

เครื่องบอกพิกัด 3 มิติ

3D COORDINATE MEASURING MACHINE (CMM)



เลขหมู่.....83147
.....
.....- 6 ส.ค. 2551

b. 119 62123
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3D COORDINATE MEASURING MACHINE (CMM)



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULLFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท เครื่องบอกพิกัด 3 มิติ

3D COORDINATE MEASURING MACHINE (CMM)

นักศึกษาผู้จัดทำ นางสาวณิษฐา จีระมะกร รหัสนักศึกษา 47010066

นายสุรศักดิ์ สุจิเสริมกุล รหัสนักศึกษา 47010899

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา 2550

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
รศ.ประภาส อุกคภิมาพันธุ์	

ภาควิชารับรองแล้ว



(รศ.ประภาส อุกคภิมาพันธุ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญาานิพนธ์	เครื่องบอกพิกัด 3 มิติ 3D COORDINATE MEASURING MACHINE (CMM)	
นักศึกษาผู้จัดทำ	นางสาวชนิษฐา จีระมะกร รหัสประจำตัว 47010066	นายสุรศักดิ์ สุจิเสริมกุล รหัสประจำตัว 47010899
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. ประภาส อุกกภิมาพันธุ์	
ปีการศึกษา	2550	

บทคัดย่อ

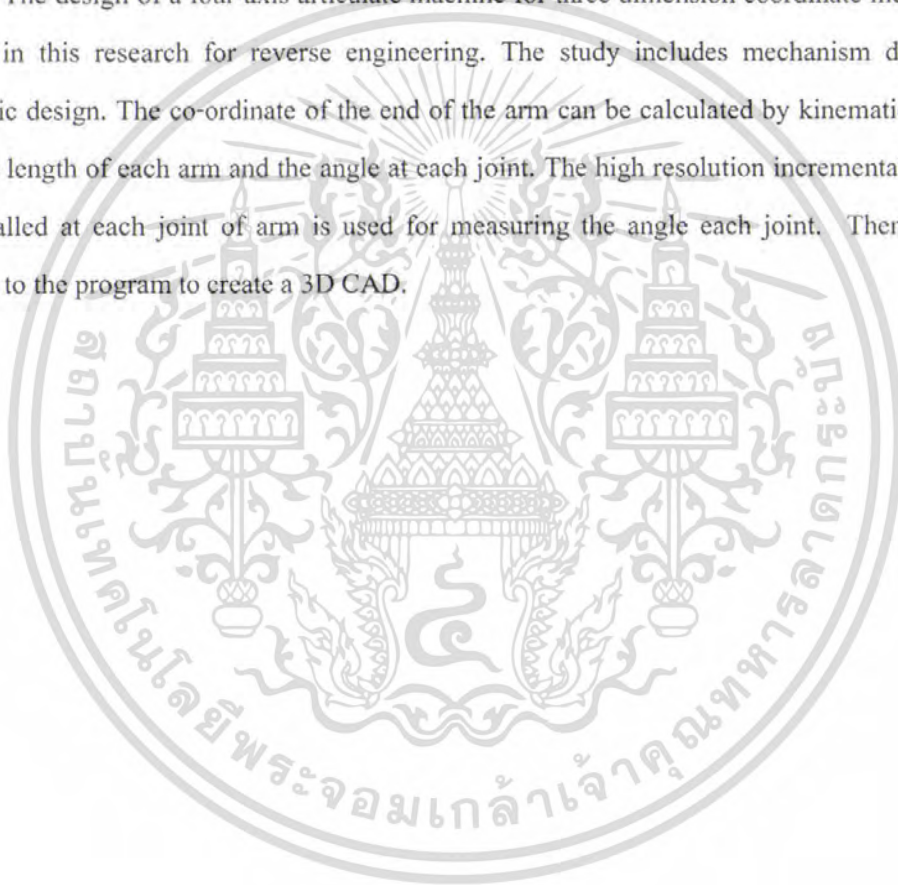
โครงการนี้เป็นการศึกษาและออกแบบเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ ประกอบด้วยแกนกลที่มี
 ข้อต่อ 4 ข้อต่อ เพื่อวัดพิกัด 3 มิติ สำหรับกระบวนการทางด้านวิศวกรรมย้อนกลับ (Reverse
 Engineering) การออกแบบโครงสร้างกลไกและหลักการทางจลนศาสตร์ (Kinematic) นี้
 ประยุกต์ใช้ทฤษฎีบท Forward Kinematic ในการหาดำแหน่งที่ปลายสุดของแขน ซึ่งสามารถ
 คำนวณได้โดยการทราบความยาวของแต่ละแกน และมุมของแต่ละข้อต่อทั้งหมดจากการแปลง
 สัญญาณพัลส์ (Pulse) ของออปติคัลโรตารีเอนโคเดอ (Optical Rotary Encoder) แบบอินคริ
 เม้นทัล (Incremental) ที่ติดตั้งแต่ละข้อต่อของแกนกลเพื่อส่งเข้าโปรแกรมและแสดงผลออกมาเป็น
 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	3D Coordinate Measuring Machine (CMM)	
Authors	Miss. Kanitha	Chiramakara
	Mr. Surasak	Sujiscomkul
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Prapart	Ukakimapurn
Year	2007	

ABSTRACT

The design of a four-axis articulate machine for three dimension coordinate measuring is studied in this research for reverse engineering. The study includes mechanism design and kinematic design. The co-ordinate of the end of the arm can be calculated by kinematics method with the length of each arm and the angle at each joint. The high resolution incremental encoders are installed at each joint of arm is used for measuring the angle each joint. Then send the position to the program to create a 3D CAD.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเพราะได้รับความเมตตาจาก รองศาสตราจารย์ ประภาส อุกคฤมาพันธุ์ รองศาสตราจารย์ไสว พงศ์สวัสดิ์ และ อาจารย์กฤษณ์ เสมอพิทักษ์ ที่ได้ให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์และให้ความช่วยเหลือตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา อันเป็นที่รักยิ่ง ที่สนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาบัตรฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน



คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของกรวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 หลักการของเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ.....	3
2.1 การจำแนกประเภทของ CMM โดยระบบพิกัดฉาก.....	3
2.1.1 CMMในระบบพิกัดแบบคาร์ทีเซียน (Cartesian CMM).....	4
2.1.1.1 Moving Bridge.....	4
2.1.1.2 Fixed Bridge.....	4
2.1.1.3 Cantilever.....	5
2.1.1.4 Horizontal Arm.....	6
2.1.1.5 Gantry CMM.....	7
2.1.1.6 CMM ระบบพิกัดแบบอื่นๆ.....	8
2.1.2 CMM ที่ไม่ใช่ระบบพิกัดแบบคาร์ทีเซียน (Non-Cartesian CMM).....	8
2.1.2.1 ระบบไทรเลทเทอเรชัน (Trilateration System).....	9
2.1.2.2 ระบบไทรแองกูเลชัน (Triangulation System).....	9
2.1.2.2.1 ระบบทีโอดอลไลท์ (Theodolite System).....	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.1.2.2.2	สเตอริโอวิชัน หรือโฟโตแกรมเมทรี (Stereo Vision or Photogrammetry).....	10
2.1.2.3	ระบบโมโนไซด์ิง (Mono-Sighting System).....	10
2.1.2.3.1	ระบบเลเซอร์แทรคคิง (Laser Tracking System)....	10
2.1.2.3.2	ระบบเลเซอร์เรดาร์แบบไทม์ออฟไฟลท์ (Laser Radar, Timer-of-Flight System).....	11
2.1.2.3.3	ระบบอินฟราเรดเรนจิง (Infrared Ranging System).....	11
2.1.2.4	ระบบสตรัคเจอร์ไลท์ (Structured Light System).....	12
2.1.2.4.1	ระบบเลเซอร์สแกนนิ่ง (Laser-Scanning).....	12
2.1.2.4.2	ระบบวิชันเช็กกิง (Vision Checking System).....	12
2.1.2.4.3	ระบบออฟติคัลโรโบติกเกจจิง (Optical-Robotic Gauging System).....	13
2.1.2.5	ระบบแบบอาร์ติคิวเลตติ้งอาร์ม (Articulating Arm System)...	13
บทที่ 3	เอนโคดเดอร์.....	15
3.1	เทคโคเจนเนอเรเตอร์ (Tacho Generator).....	15
3.2	รีโซลเวอ์ (Resolver).....	15
3.3	Absolute Encoder.....	17
3.4	อินครีเมนท์เอนโคดเดอร์ (Incremental Encoder).....	18
3.4.1	ความละเอียดของอินครีเมนท์เอนโคดเดอร์.....	19
บทที่ 4	หลักการในการออกแบบเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ.....	22
4.1	การออกแบบเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ.....	22
4.1.1	การเลือกใช้วัสดุ.....	25
4.2	การออกแบบวงจร.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 ทฤษฎีบทจลนศาสตร์ (Kinematics)	28
5.1 จลนศาสตร์ (Kinematics).....	28
5.2 สมการสำหรับการหาดำแหน่งของเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ (3D Coordinate Measuring Machine, CMM).....	34
บทที่ 6 โปรแกรมประมวลผลและแสดงผล.....	39
6.1 โปรแกรม MPLAB IDE.....	39
6.1.1 โมดูล UART (RS232).....	40
6.1.2 โมดูลเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรม (SPI).....	43
6.1.3 โมดูลเชื่อมต่อตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์ (QEI).....	44
6.2 โปรแกรม Visual Basic 6.0.....	46
บทที่ 7 การสอบเทียบ (Calibration).....	48
บทที่ 8 การทดลองและผลการทดลอง.....	51
บทที่ 9 ปัญหา แนวทางการแก้ไข และข้อเสนอแนะ.....	54
บรรณานุกรม.....	55
ภาคผนวก.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ในระบบจลนศาสตร์ของหุ่นยนต์พุ่ม้า.....	32
5.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ในระบบจลนศาสตร์ของเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ.....	36
7.1 แสดงค่า error ที่ $d_1 = 208.62$ $a_2 = 199.2591956$	49
7.2 แสดงค่า error ที่ $d_1 = 208.62$ $a_2 = 199.2591956$ $a_3 = 199.7591956$	49
7.3 แสดงค่า error ที่ $d_5 = 198.6807865$	50
8.1 แสดงข้อมูลพิกัด X, Y, Z ที่วัดได้จากเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ.....	51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงเครื่องวัดกัศแบบ 3 แกนของ Hexagonmetrology.....	3
2.2 ซีเอ็มเอ็มแบบมูฟวี่ริงบริดจ์ของบริษัท Mitutoyo.....	4
2.3 ซีเอ็มเอ็มแบบฟิกซ์บริดจ์ของบริษัท Mitutoyo.....	5
2.4 ซีเอ็มเอ็มแบบแคนทิลีเวอร์ของ TARUS.....	6
2.5 ซีเอ็มเอ็มแบบ Horizontal Arm ขณะทำการวัดรถยนต์ของHexagonmetrology.....	6
2.6 ซีเอ็มเอ็มแบบ Gantry ของบริษัท WANZEL.....	7
2.7 หุ่นยนต์สำหรับงานวัดพิคัดในระบบควบคุมการผลิตของบริษัท Mitutoyo.....	8
2.8 รูปแสดงหลักการทำงานของเครื่องบอกพิคัดระบบโทรเลขเทอร์เรน.....	9
2.9 รูปแสดงหลักการทำงานของเครื่องวัดพิคัดระบบทีโอโดไลต์.....	9
2.10 รูปแสดงหลักการของระบบสเตอริโอวิชั่นเพื่อใช้ในการวัดขนาด.....	10
2.11 รูปแสดงหลักการทำงานของเครื่องวัดพิคัดระบบเลเซอร์แทรกกึ่งแบบ 3 แกน.....	11
2.12 รูปแสดงหลักการของระบบ โมโนไซด์ดิง.....	11
2.13 รูปแสดงหลักการของระบบสตรัคเจอร์ไลท์แบบเลเซอร์สแกนนิ่ง.....	12
2.14 รูปแสดงระบบวิชั่นเช็คกึ่งของบริษัท Perceptrom, Inc.....	12
2.15 รูปแสดงเครื่องวัดพิคัดระบบออฟติคอลลโรโบติกเกจจิง.....	13
2.16 แสดงเครื่องวัดพิคัด 3 มิติแบบอาร์ตคิวเลทติงอาร์มของบริษัท Cimcore.....	14
3.1 รูปแสดงการแบ่งประเภทของเอนโคคเคอร์.....	15
3.2 แสดงโครงสร้างภายในของรีโซลเวอร์.....	15
3.3 ขดลวดของรีโซลเวอร์.....	16
3.4 แสดงโครงสร้างภายใน Absolute Encoder.....	17
3.5 แสดงรูปแบบเกรย์โคคขนาด 4 บิตที่ได้จาก Absolute Encoder	18
3.6 เอนโคคเคอร์แบบโรตารี.....	18
3.7 โครงสร้างภายในเอนโคคเคอร์แบบโรตารี.....	19
3.8 แผ่นงานโรตารีภายในเอนโคคเคอร์.....	20
3.9 แสดงรูปคลื่นเอาท์พุท (คลื่นสี่เหลี่ยม).....	20
3.10 เอนโคคเคอร์ที่เลือกใช้.....	21
4.1 ภาพร่างการออกแบบขนาดของเครื่องบอกพิคัด 3 มิติ.....	22
4.2 ลักษณะแกนของเครื่องบอกพิคัด 3 มิติ ที่วาดในโปรแกรม SolidWorks.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 ลักษณะแกนของเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ.....	23
4.4 หัว Probe.....	24
4.5 เครื่องบอกพิกัด 3 มิติ ที่ออกแบบโดยโปรแกรม SolidWorks.....	24
4.6 ลักษณะของเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ.....	25
4.7 แสดงลักษณะรูปร่างของโปรแกรม Protel99-SE.....	26
4.8 แสดงลายวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Schematic Circuit).....	27
4.9 แสดงตัวอย่างแผ่นวงจร PCB บอร์ด.....	27
5.1 แสดงตัวอย่างการตั้งระบบแกนพิกัด.....	29
5.2 แขนกลพู่มาหุ่นยนต์พู่มาที่ใช้กันในอุตสาหกรรมต่างๆ ไป.....	30
5.3 แสดงตำแหน่งการกำหนดระบบพิกัด (แกนที่ 1-4) ของแขนหุ่นยนต์พู่มา.....	31
5.4 แสดงตำแหน่งการกำหนดระบบพิกัด (แกนที่5-6) ของแขนหุ่นยนต์พู่มา.....	31
5.5 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดให้แต่ละข้อและแต่ละแขน.....	35
6.1 dsPIC30F6010 80-Lead Plastic Thin Quad Flatpack (TQFP).....	39
6.2 วงจรการสื่อสารข้อมูลระหว่าง dsPIC30F2010 กับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม.....	40
6.3 โค้ดแอสเซมบลีแสดงส่วนประกอบหลักของโมดูล UART ในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC.....	40
6.4 โค้ดแอสเซมบลีการทำงานของตัวส่งข้อมูลใน โมดูล UART ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC...	41
6.5 โค้ดแอสเซมบลีเวลาของการส่งข้อมูลใน โมดูล UART ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC.....	41
6.6 โค้ดแอสเซมบลีการทำงานของตัวรับข้อมูลใน โมดูล UART ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC...	42
6.7 โค้ดแอสเซมบลีเวลาของการรับข้อมูลใน โมดูล UART ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC.....	42
6.8 โค้ดแอสเซมบลีการทำงานของ SPI ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC.....	43
6.9 ตัวอย่างการทำงานพื้นฐานของตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์.....	44
6.10 ตัวอย่างการทำงานของตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์ที่มีพัลส์อินเด็กซ์.....	45
6.11 โค้ดแอสเซมบลีแสดงส่วนประกอบและการทำงานของโมดูล QEI.....	45
6.12 แสดงลักษณะรูปร่างของโปรแกรม Visual Basic 6.0.....	46
6.13 แสดงลักษณะ โปรแกรมที่ใช้กับเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ.....	47
7.1 รูปแสดงเครื่องมือวัดที่ใช้ในการสอบเทียบ.....	48
7.2 แสดงวิธีการหา d _i ด้วยเครื่องมือ High Gauge.....	48
8.1 รูปแสดงลักษณะการใช้งานเครื่องบอกพิกัด.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
8.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	52
8.3 ลักษณะของรูปที่ได้จากเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ.....	53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย

ในปัจจุบัน ภาคอุตสาหกรรมมีการแข่งขันกันสูง เนื่องจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีต่าง ๆ ดังนั้นผู้ผลิตต้องสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้า สิ่งสำคัญที่ผู้ผลิตต้องคำนึงถึงคือ คุณภาพและราคา แต่อีกสิ่งหนึ่งที่ขาดไม่ได้คือ ความรวดเร็วในการผลิต

ในการผลิตชิ้นงานต่าง ๆ นั้น นักออกแบบจะทำการออกแบบและผลิตชิ้นงานต้นแบบออกมา จากนั้นผู้เขียนแบบจะต้องทำการวัดขนาดต่าง ๆ ของชิ้นงานต้นแบบ โดยที่ความถูกต้องของชิ้นงานจะขึ้นอยู่กับการวัดของผู้เขียนแบบและความถูกต้องของเครื่องมือวัด ซึ่งต้องพยายามให้มีความผิดพลาดน้อยที่สุด จากนั้นจึงนำข้อมูลที่วัดได้ไปเขียนแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยในการออกแบบ (Computer Aids Design, CAD) ซึ่งผู้เขียนต้องมีความชำนาญระดับหนึ่ง แต่การทำงานด้วยวิธีการนี้จะทำให้เสียเวลามาก วิธีการหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหานี้ได้คือ การวัดพิกัดต่างๆ ของชิ้นงานต้นแบบด้วยเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ แล้วจึงส่งข้อมูลที่วัดได้ไปยังโปรแกรมเพื่อสร้างแบบ 3 มิติ ซึ่งเรียกว่า กระบวนการวิศวกรรมย้อนกลับ (Reverse Engineering) ซึ่งเป็นวิธีการที่ช่วยให้ผู้ผลิตสามารถผลิตสินค้าได้รวดเร็วขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์

- เพื่อนำทฤษฎีบทของ Kinematic มาประยุกต์ใช้เพื่อหาสมการการเคลื่อนที่ของเครื่องบอกพิกัด 3 มิติซึ่งก็คือ Forward Kinematic เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาตำแหน่งพิกัดสุดท้ายของแขน
- แขนศึกษาลักษณะและการทำงานของเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ
- ออกแบบและสร้างเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ แบบ ข้อต่อ 4 แกน
- ออกแบบวงจรเพื่อใช้กับเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ
- ศึกษาและเขียน โปรแกรมเพื่อนำมาใช้งานกับเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ

1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์

- โครงการนี้เป็น การออกแบบและสร้างเครื่องบอกพิกัด 3 มิติแบบแขนกล ที่มีข้อต่อทั้งหมด 4 แกน โดยจะวิเคราะห์ถึงน้ำหนักและชนิดของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบด้วย
- การหาพิกัดปลายของเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ จำนวน โดยใช้หลักทางจลศาสตร์ (Kinematic) มาวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ศึกษาและเขียน โปรแกรมภาษา C เพื่อหาค่าตำแหน่งปลายสุดของเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ
- ศึกษาและเขียน โปรแกรม Visual Basic 6.0 เพื่อแสดงผลออกมาทางคอมพิวเตอร์ในรูปแบบ 3 มิติ

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

การทำโครงงานวิจัยในปริญญาโทระดับนี้ มีขั้นตอนการศึกษาเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีบทพื้นฐานของ Kinematic มาประยุกต์ใช้ โดยการนำเอาทฤษฎีของ Forward Kinematic มาใช้ในการหาค่าตำแหน่งสุดท้ายที่จะเคลื่อนที่ไป ทำการออกแบบเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ โดยใช้โปรแกรม solidworks แล้วนำไปสร้างชิ้นงานตามที่ได้กำหนดเอาไว้ ศึกษาวงจรและสร้างวงจรเพื่อนำมาใช้กับเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ จากนั้นศึกษาวิธีการเขียน โปรแกรมภาษา C เพื่อประมวลผลหาค่าตำแหน่งปลายสุดและวิธีการเขียนโปรแกรม Visual Basic 6.0 เพื่อแสดงผลออกมาทางคอมพิวเตอร์ในรูปแบบ 3 มิติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการของเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ

เครื่องบอกพิกัด 3 มิติ(3D Coordinate Measuring machine, CMM) มีลักษณะต่าง ๆ มากมาย แต่ที่รู้จักกันโดยทั่วไปได้แก่ เครื่องวัดพิกัดที่เป็นระบบพิกัดฉาก (CMM with Cartesian Coordinate Systems) กล่าวคือในการวัดพิกัดของเครื่องบอกพิกัดในระบบพิกัดฉากจะอาศัยการอ่านตำแหน่งของตัวเครื่องเองซึ่งอาจจะมีหลายแกน แต่ละแกนก็จะตั้งฉากกันและกัน เช่นเครื่องวัดพิกัดแบบ 3 แกน ก็จะมีแกน X, Y, Z ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงเครื่องวัดพิกัดแบบ 3 แกนของ Hexagon metrology

เครื่องบอกพิกัด 3 มิติ ประกอบด้วยส่วนที่เป็น โครงสร้าง (Hardware) และส่วนที่เป็น โปรแกรมการทำงาน (Software) ส่วนที่เป็น โปรแกรมทำงานจะทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้ เช่น รับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ การตรวจสอบสถานะของ โครงสร้าง ทำการคำนวณหาพิกัด เป็นต้น

2.1 การจำแนกประเภทของ CMM โดยระบบพิกัดฉาก

CMM นั้นหมายถึงเครื่องที่สามารถวัดและบอกพิกัดฉาก 3 มิติ ในระบบพิกัดแบบคาร์ทีเซียน (Cartesian Coordinate System) ได้โดยการเคลื่อนที่ของแกนเครื่องมือซึ่งเคลื่อนที่ตั้งฉากกัน นอกจากนั้นยังมี CMM บางประเภทที่สามารถวัดและบอกพิกัดฉาก 3 มิติได้เช่นเดียวกัน แต่ละแกนของเครื่องไม่ได้เคลื่อนที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน ในที่นี้จึงแบ่งประเภทของ CMM ตามระบบพิกัดของตัวเครื่องออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 CMM ในระบบพิกัดแบบคาร์ทีเซียน (Cartesian CMM)

เป็น CMM ที่มีแกนของเครื่องเคลื่อนที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน 3 แกน ทำให้สามารถวัดและบอกพิกัดฉาก 3 มิติ ในระบบคาร์ทีเซียนได้โดยตรงซึ่งก็ยังมีรูปแบบต่าง ๆ กันอีก ตามลักษณะโครงสร้างและคุณลักษณะของเครื่องดังเช่นค่าความถูกต้อง(Accuracy) ความยืดหยุ่นในการใช้งาน (Flexibility) เวลาที่ใช้ในการวัดและราคา โดยแบ่งได้ดังนี้

2.1.1.1 Moving Bridge

เป็นรูปแบบโครงสร้างของ CMM ที่แพร่หลายที่สุด โดยตัวเครื่องจะมีแท่นรองรับชิ้นงานที่จะทำการวัดพิศักยึดแน่นอยู่กับที่ แล้วตัวแกนของเครื่องจะเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ของชิ้นงาน โดยตัวแกนเครื่องจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.2

รูปที่ 2.2 ซีเอ็มเอ็มแบบมูฟวี่ริงบริดจ์ของบริษัท Mitutoyo

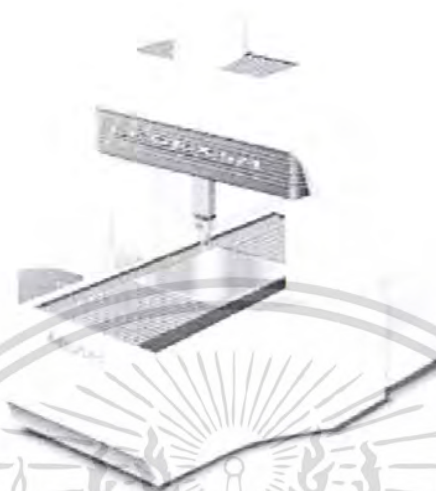
จะเห็นว่าลักษณะแกนของเครื่องคล้ายกับสะพาน ซึ่งจะทำให้เกิดการบิดตัวของแกนได้ หากเสาทั้ง 2 เคลื่อนที่ไม่เท่ากัน ส่งผลให้ค่าความถูกต้องของเครื่องที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของแท่นรองรับชิ้นงานไม่เท่ากัน แต่ลักษณะโครงสร้างแบบนี้มีประโยชน์คือ ตัวโครงสร้างจะมีลักษณะแข็งแรงและทำให้มีค่าความถี่ธรรมชาติของเครื่องสูงกว่าโครงสร้างแบบ Cantilever

2.1.1.2 Fixed Bridge

สำหรับโครงสร้างแบบนี้จะมีความแตกต่างกับแบบแรก คือ ตัวแกนของเครื่องที่มีลักษณะคล้ายสะพานจะยึดแน่นอยู่กับที่ ส่วนตัวแท่นรองรับชิ้นงานจะสามารถเคลื่อนที่ได้แทนดังรูปที่ 2.3 โครงสร้างแบบนี้มีข้อดีคือ โครงสร้างของเครื่องมีความแข็งแรงสูง (High Rigid) และเนื่องจากตัวแกนถูกยึดอยู่กับที่ทำให้ไม่เกิดการบิดตัวของโครงสร้าง ส่งผลให้โครงสร้างแบบนี้มีค่าความถูกต้องในการวัดสูง แต่มีข้อเสียคือความเร็วในการทำงานต่ำ เนื่องจากจะต้องเคลื่อนตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแท่นรองรับชิ้นงาน ซึ่งมีน้ำหนักมากและยังมีข้อจำกัดในเรื่องน้ำหนักของชิ้นงานที่จะนำมาทำการวัด

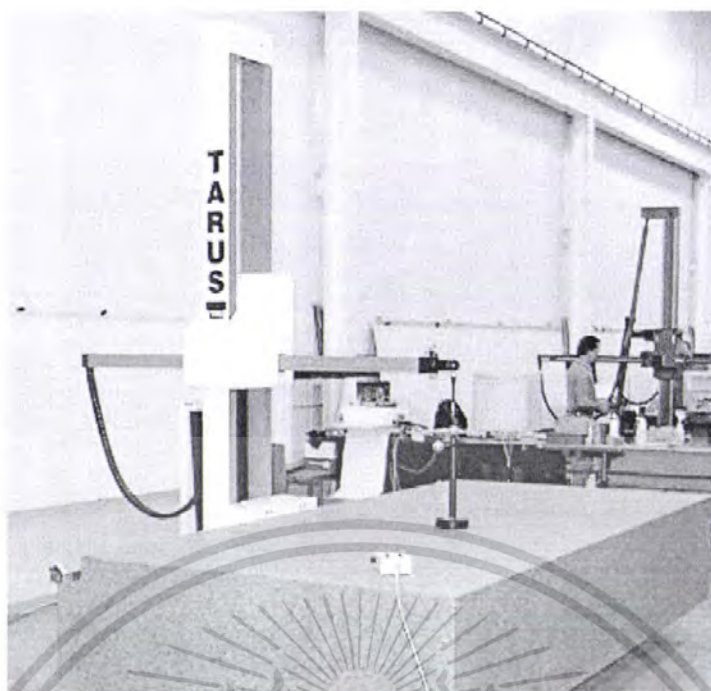


รูปที่ 2.3 ซีเอ็มเอ็มแบบพีกจับบริดจ์ของบริษัท Mitutoyo

2.1.1.3 Cantilever

โครงสร้างแบบนี้จะมีคานเคลื่อนที่เพียงหนึ่งแนวแกน และจะทำหน้าที่รองรับอีกสองแกนที่เหลือดังแสดงในรูปที่ 2.4 โดยทั่วไปแล้วด้วยโครงสร้างลักษณะนี้จะทำให้โครงสร้างที่ต้องมีการเคลื่อนที่มีน้ำหนักน้อยจึงทำให้สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว ไม่ว่าจะเป็นการวัดโดยผู้ปฏิบัติงานหรือ โดยการควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์โดยตรง (Direct Computer Control) อีกทั้งยังสามารถเข้าถึงชิ้นงานได้ดี เนื่องจากโครงสร้างเป็นแบบเปิด 3 ด้าน (มีคานเป็นโครงสร้างเพียงด้านเดียว) แต่มีข้อเสียคือการแอ่นเนื่องจากโครงสร้างที่เป็นแบบคาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตำแหน่งที่แกนชี้ดอกที่สุด ซึ่งทำให้ความถี่ธรรมชาติของตัวเครื่องมีค่าต่ำเป็นข้อจำกัดทำให้เครื่องมีขนาดเล็ก ดังนั้น โดยทั่วไปโครงสร้างแบบนี้จะมีแท่นรองรับชิ้นงานที่ยาว แต่จะมีช่วงการใช้งานในอีกสองแกนที่เหลือต่ำมาก โครงสร้างแบบนี้เหมาะกับชิ้นงานที่มีลักษณะบางแต่ยาว

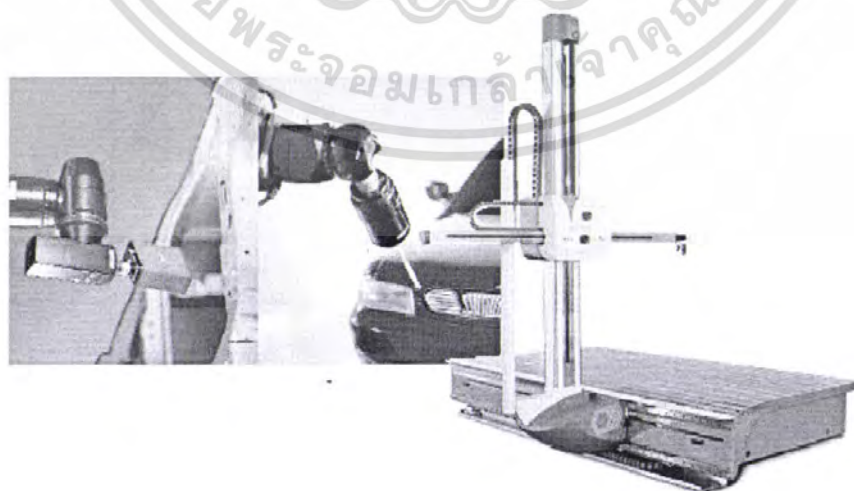
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ซีเอ็มเอ็มแบบแกนทิวเวอร์ของ TARUS

2.1.1.4 Horizontal Arm

เป็น CMM ที่มีลักษณะ โครงสร้างของเครื่อง เหมาะสำหรับใช้ในงานวัดพิคัดชิ้นส่วนรถยนต์มากที่สุด โดยลักษณะโครงสร้างของเครื่องจะมีลักษณะคล้ายกับ Cantilever CMM แต่แกนของหัววัดจะสามารถเคลื่อนที่ได้ในแนวระดับแทน ดังรูปที่ 2.5 จึงทำให้ CMM แบบนี้สามารถเกิดการแอ่นของโครงสร้างได้เช่นเดียวกับโครงสร้างแบบ Cantilever

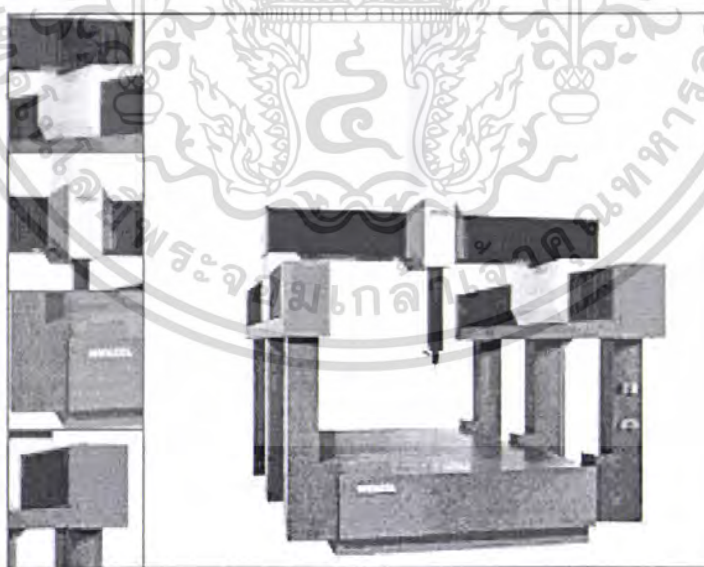


รูปที่ 2.5 ซีเอ็มเอ็มแบบ Horizontal Arm ขณะทำการวัดรถยนต์ของ Hexagon metrology เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของ CMM แบบนี้คือความสามารถในการเข้าถึงชิ้นงานมาก โดยเฉพาะความรวดเร็วในการทำงานค้นเป็นจุดเด่นของโครงสร้างแบบนี้ แต่มีข้อเสียอันเนื่องมาจากการแอ่นตัวของโครงสร้างจึงทำให้มีข้อจำกัดในเรื่องของค่าความถูกต้อง อย่างไรก็ตามในปัจจุบันได้มีการปรับปรุงแก้ไขจุดบกพร่องเหล่านี้ให้หมด ดังเช่นการด่วงสมดุลให้กับตัวโครงสร้างเพื่อลดการแอ่นของคาน และนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้แก้ไขค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น โดยการชดเชย (Compensate) ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการแอ่นตัวของคาน

2.1.1.5 Gantry CMM

เป็น CMM ที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ที่เหมาะสมสำหรับวัดชิ้นงานที่มีขนาด 10 ลูกบาศก์เมตรขึ้นไป ตัวโครงสร้างฐานของเครื่องจะได้รับการออกแบบให้มีขนาดใหญ่และมีความแข็งแรงมากเพื่อลดการเกิดการบิดตัวของโครงสร้างในส่วนที่ใช้สำหรับการวัดตำแหน่ง นอกจากลดการบิดตัวแล้ว โครงสร้างฐานของเครื่องยังจำเป็นที่จะต้องแข็งแรงเพียงพอที่จะสามารถรองรับน้ำหนักของชิ้นงานขนาดใหญ่ได้โดยไม่ทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดขึ้น ดังรูปที่ 2.6 และ 2.7 ในการหลีกเลี่ยงการเกิดการบิดในแกนยอว์ (Yawing) ของคานเคลื่อนที่ ระบบขับเคลื่อนที่ร่วม (Dual Drive System-Master and Slave Configuration) มักจะเป็นระบบที่ถูกนำมาใช้มากที่สุดอีกทั้งยังมีการนำโปรแกรมสำหรับแก้ไขความผิดพลาดของรูปทรง ลักษณะโครงสร้างอันเนื่องมาจากการติดตั้งโครงสร้างฐานของเครื่องและผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ



รูปที่ 2.6 ซีเอ็มเอ็มแบบ Gantry ของบริษัท WANZEL

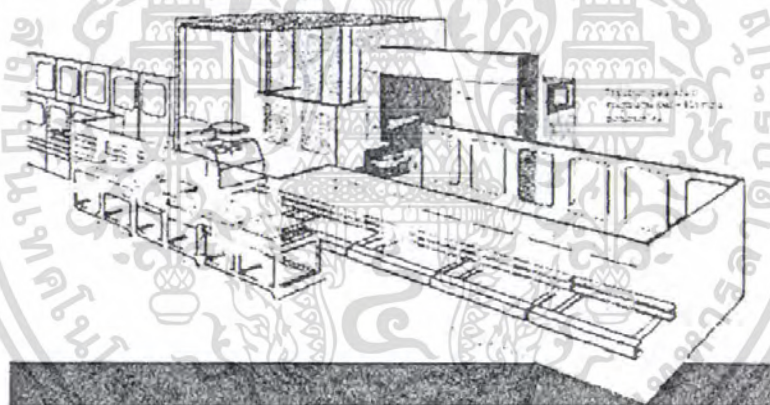
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.6 CMM ระบบพิกัดแบบอื่นๆ

โครงสร้างแบบคอลัมน์ (Column Configuration CMM) การเคลื่อนที่ในแนวระดับจะเคลื่อนโดยตัวแท่นรองรับชิ้นงาน ส่วนการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งจะไดจากการเคลื่อนที่โดยใช้เสาซึ่งยึดแน่นอยู่กับที่จึงมีความแข็งแรงในแนวดิ่งสูง ทำให้โครงสร้างแบบนี้มีความแม่นยำในการวัดสูง แต่ด้วยโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นตัวซี (Open C Section) จึงทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดจากผลกระทบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมาก ดังนั้น CMM ประเภทนี้จึงมักใช้งานอยู่ภายในห้องควบคุมอุณหภูมิมากกว่าที่จะนำไปใช้ร่วมกับสายการผลิต

โครงสร้างแบบตัวแอล (L-Shaped Bridge Configuration) เป็นโครงสร้างที่ดัดแปลงมาจากโครงสร้างแบบคาน โดยมีการเพิ่มขาสำหรับรองรับปลายแกนของเครื่องในฝั่งตรงข้าม แต่ถึงแม้จะมีการเพิ่มการรองรับมากขึ้น CMM แบบนี้ก็ยังมีความเร็วในการทำงาน และความถี่ธรรมชาติต่ำ

ยังมี CMM อีกชนิดซึ่งมักถูกเรียกว่า หุ่นยนต์สำหรับรับงานวัดพิกัด (Measuring Robot) คุณลักษณะของเครื่องวัดแบบนี้คือมีความเร็วในการวัดสูง และมักจะใช้ร่วมอยู่ในสายการผลิต ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 หุ่นยนต์สำหรับงานวัดพิกัดในระบบควบคุมการผลิตของบริษัท Mitutoyo

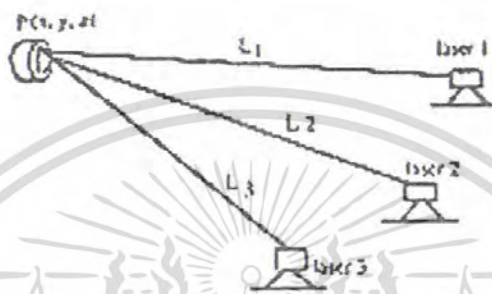
2.1.2 CMM ที่ไม่ใช่ระบบพิกัดแบบคาร์ทีเซียน (Non-Cartesian CMM)

เครื่องวัดพิกัดประเภทให้ค่าพิกัดเป็นระบบพิกัดฉาก โดยไม่มีแกนเคลื่อนที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน ในที่นี้จะแบ่ง CMM ประเภทนี้ออกเป็นแบบต่างๆดังนี้ ไตรเลทเทอเรชัน (Trilateration), ไตรแองกูลേഷัน (Triangulation), โมโนไซต์ติ้ง (Mono-sighting), สตรัคเจอร์ไลท์ (Structured Light) และ อาร์ติคิวเลตติ้งอาร์ม (Articulating Arm) หากเปรียบเทียบกับ CMM ในระบบพิกัดฉาก CMM ประเภทนี้จะมีค่าความถูกต้องต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.1 ระบบโทรเลขเทอร์เชียน (Trilateration System)

โทรเลขเทอร์เชียนเป็นวิธีในการหาค่าแหน่ง โดยวัดความยาวในแกนรัศมีด้วย เลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ (Laser Interferometer) ในการวัดตำแหน่งจุดใน 3 มิติ จำเป็นจะต้องใช้ แทรคคิงเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ (Tracking Laser Interferometer) อย่างน้อย 3 ตัว เพื่อโฟกัสไปยังไวต์แองเกิลรีเฟลคเตอร์ (Wide-Angle Retroreflector) หรือเรียกอีกอย่างว่า แคทส์อาย (Cats eye) ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งตัวแคทส์อายนี้ถูกติดตั้งอยู่บนวัตถุที่ต้องการจะวัดขนาดพิกัด CMM ชนิดนี้จะเหมาะสำหรับงานวัดพิกัดชิ้นงานขนาดใหญ่มาก ๆ เช่น ลำตัวและ ปีกเครื่องบิน



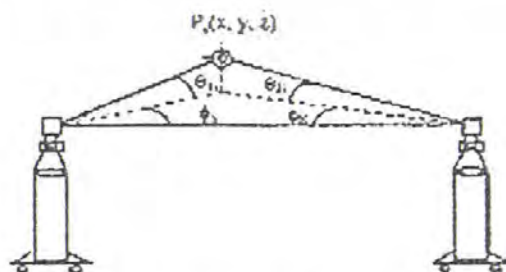
รูปที่ 2.8 รูปแสดงหลักการการทำงานของเครื่องวัดพิกัดระบบโทรเลขเทอร์เชียน

2.1.2.2 ระบบโทรแองกูลชัน (Triangulation System)

ในที่นี้จะแบ่ง CMM ในระบบนี้จะแบ่งออกเป็นระบบทีโอดอลไลท์ (Theodolite System) และระบบแบบสเตอริโอวิชัน (Stereo-Vision System) ดังนี้

2.1.2.2.1 ระบบทีโอดอลไลท์ (Theodolite System)

ระบบนี้ได้รับริเริ่มมาจากอุปกรณ์และงานทางด้านการสำรวจ โดยมีหลักการพื้นฐานคือใช้กล้องสำรวจ 2 ตัว ส่องไปยังจุดที่ต้องการหาพิกัด แล้วนำมุม 2 มุมที่เกิดจากกล้องส่องแต่ละตัวมาคำนวณหาพิกัดของจุดที่ต้องการวัดดังรูปที่ 2.9 นอกจากนี้การวัดตำแหน่งโดย Manual แล้ว ยังมีการติดตั้งอุปกรณ์ขับเคลื่อนกล้องพร้อมทั้งใช้กล้องซีซีดี (CCD) ในการวิเคราะห์ภาพร่วมกัน เพื่อทำการวัดชิ้นงาน โดยอัตโนมัติ (Automatic)

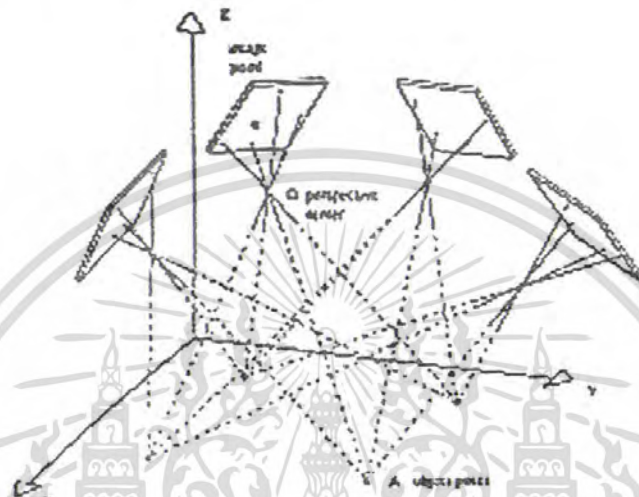


รูปที่ 2.9 รูปแสดงหลักการการทำงานของเครื่องวัดพิกัดระบบทีโอดอลไลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 สเตอริโอวิชัน หรือโฟโตแกรมเมทรี (Stereo Vision or Photogrammetry)

สเตอริโอวิชันจะใช้กล้องถ่ายรูปอย่างน้อย 2 ตัว ถ่ายภาพเดียวกันแต่ถ่ายจากคนละมุมมอง ภาพที่ได้จึงมีความเหลื่อม (Offsets) แบบสัมพันธ์กันไปในแต่ละภาพที่ถ่ายได้ ดังแสดงในรูปที่ 2-10 แล้ว จึงนำค่าความเหลื่อมที่ได้มาคำนวณหาข้อมูลค่าความลึกหรือระยะของวัตถุที่ต้องการวัดชิ้นงาน



รูปที่ 2.10 รูปแสดงหลักการของระบบสเตอริโอวิชันเพื่อใช้ในการวัดขนาด

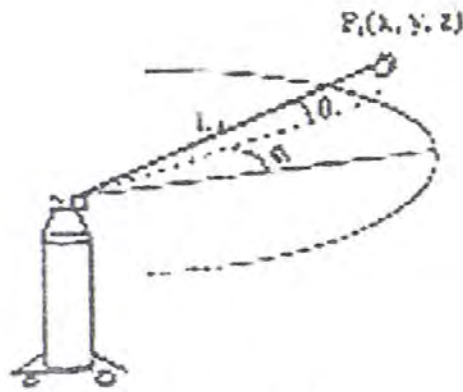
2.1.2.3 ระบบโมโนไซติง (Mono-Sighting System)

ในส่วนนี้จะขอกล่าวถึง CMM ประเภทนี้เพียง 3 ชนิดเท่านั้น ได้แก่ เลเซอร์แทรกเกอร์ (Laser-Tracker) เลเซอร์เรดาร์ (Laser Radar) และระบบอินฟราเรดเรนจิง (Infrared Ranging System)

2.1.2.3.1 ระบบเลเซอร์แทรคคิง (Laser Tracking System)

ระบบเลเซอร์แทรคคิงนั้นจะมีเซอร์โว (Servo System) ทำหน้าที่ในการติดตามตำแหน่งวัตถุโดยอัตโนมัติ ระบบนี้จะประกอบไปด้วยตัวติดตามตำแหน่งวัตถุหรือแทรคคิง-เฮด (Tracking Head) หนึ่งหรือสองตัว และจะใช้ตัวรีเฟลคเตอร์แบบแคทส์อาย (Cat eye Retroreflector) เพื่อบอกตำแหน่งของวัตถุ หรืออาจใช้ชุดมอเตอร์ไรซ์มินิเจอร์ไรซ์แทรคคิงทาร์เก็ต (Motorized Miniaturized Tracking Target) แทน ซึ่งสามารถเป็นได้ทั้งตัวบอกตำแหน่งและตัวบอกโอเรียนเทชัน (Orientation) ของวัตถุ โดยระบบพิกัดที่วัดได้จากเครื่องชนิดนี้จะเป็นระบบพิกัดแบบทรงกลม (Spherical Coordinate System) ดังแสดงในรูปที่ 2.11 จากนั้นจึงทำการแปลงข้อมูลให้กลายเป็นตำแหน่งพิกัดฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



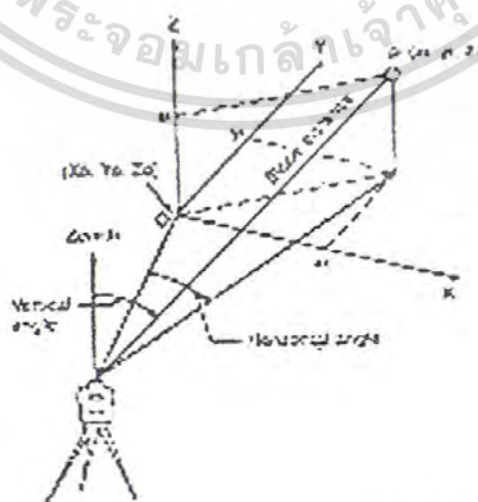
รูปที่ 2.11 รูปแสดงหลักการการทำงานของเครื่องวัดพิสัยระบบเลเซอร์แทรกกิ่งแบบ 3 แกน

2.1.2.3.2 ระบบเลเซอร์เรดาร์แบบไทม์ออฟไฟลต์ (Laser Radar, Timer-of-Flight System)

ในการวัดพื้นผิวของวัตถุแบบ 3 มิติ ยังสามารถวัดได้โดยใช้เทคนิคเลเซอร์เรดาร์ซึ่งใช้หลักการไทม์ออฟไฟลต์ โดยมีวิธีการพื้นฐานในการวัดอยู่ 2 วิธี คือวัดระยะโดยการวัดระยะเวลาที่แสงเดินทางจากแหล่งกำเนิดไปยังวัตถุทั้งขาไป และนำมาคำนวณหาระยะทาง ส่วนวิธีที่สองคำนวณระยะทางจากความแตกต่างเฟสของลำแสงที่สะท้อนกลับมากับลำแสงที่ออกจากแหล่งกำเนิด

2.1.2.3.3 ระบบอินฟราเรดเรนจิง (Infrared Ranging System)

เป็นระบบที่พัฒนามาจากระบบที่โอโดโลด โดยใช้ระบบการคำนวณหาพิสัยคล้ายกับระบบเลเซอร์แทรกกิ่งแบบ 3 แกน แต่จะไม่มีระบบเซอร์ไวในการจับตำแหน่งอัตโนมัติต้องให้ผู้ปฏิบัติงานเป็นผู้จับตำแหน่งวัตถุด้วยตนเอง ดังในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 รูปแสดงหลักการของระบบโมโนไซด์ดิง

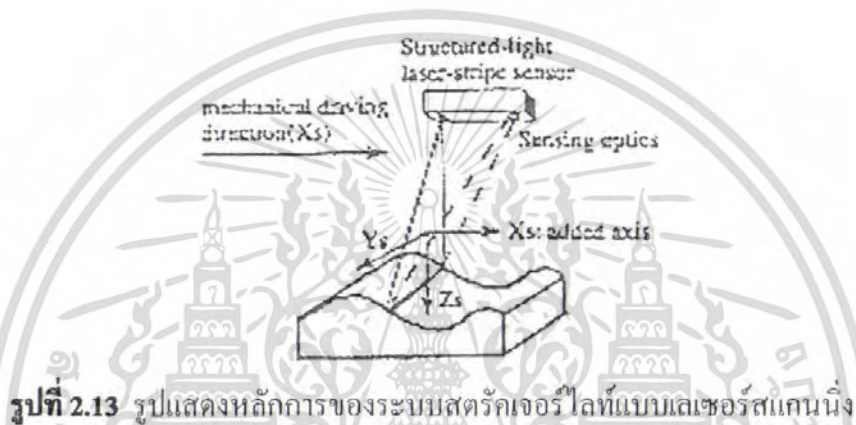
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.4 ระบบสตรัคเจอร์ไลท์ (Structured Light System)

ระบบที่จัดอยู่ใน CMM ประเภทนี้ ได้แก่ เลเซอร์สแกนนิ่ง (Laser-Scanning), วิชันเช็คคิง (Vision Checking) และระบบออฟติคัลโรโบติกเกจจิง (Optical-Robotic Gauging System)

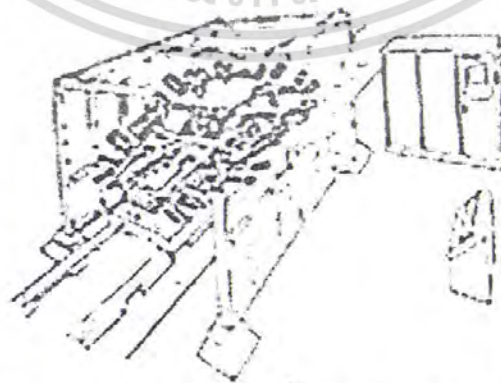
2.1.2.4.1 ระบบเลเซอร์สแกนนิ่ง (Laser-Scanning)

ระบบนี้จะทำการวัดหาพื้นที่ผิวของวัตถุใน 3 มิติได้โดยใช้วิธีแอคทีฟไลท์ (Active Light Method) เพื่อสร้างภาพจากแสงซึ่งรู้ค่าของมุมที่ฉายไปยังวัตถุแล้วนำภาพที่ได้มาคำนวณเพื่อหาตำแหน่งพิกัดของวัตถุดังแสดงในรูปที่ 2.13



2.1.2.4.2 ระบบวิชันเช็คคิง (Vision Checking System)

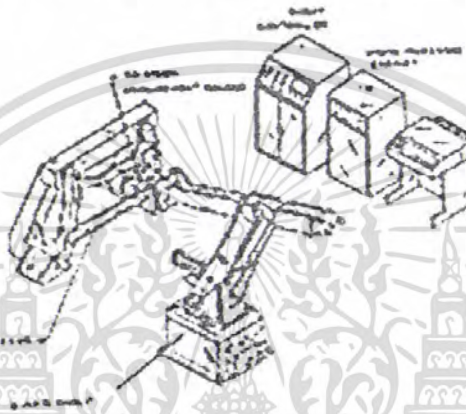
ระบบนี้เป็นระบบที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตตัวถังรถยนต์ โดยไม่มีชิ้นส่วนใด ๆ ของเครื่องเคลื่อนไหวแต่ละจะทำการวัดพิกัดด้วยการใช้ระบบเลเซอร์ไตรแองกูเลชัน (Laser Triangulation) ซึ่งถูกยึดติดอยู่กับที่หลาย ๆ ตัวเพื่อทำการวัดพิกัดชิ้นส่วนต่าง ๆ ของตัวถังรถยนต์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ กัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.14



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.4.3 ระบบออฟติคัลโรบอติกเกจจิง (Optical-Robotic Gauging System)

ระบบนี้จะประกอบด้วยตัวหุ่นยนต์อุตสาหกรรม และตัวฟิกเจอร์ (fixture) ที่ใช้สำหรับจับยึดชิ้นงานที่จะทำการตรวจวัด ดังแสดงในรูปที่ 2.15 CMM ชนิดนี้จะเหมาะสำหรับงานตรวจวัดที่เป็นชิ้นส่วนโลหะแผ่น หลักการทำงานของเครื่องคือจะหาพิกัดต่าง ๆ ของชิ้นส่วนด้วยทริคิสตริกเจอร์ไลทิวทัศน์เซนเซอร์ (3D Structured Light Vision Sensor) ที่ติดตั้งอยู่ปลายแขนของตัวหุ่นยนต์ การทำงานจะเป็นไปโดยอัตโนมัติ ดังนั้นค่าความถูกต้องของเครื่องจึงขึ้นอยู่กับค่าความถูกต้องของตัวทริคิสตริกเจอร์ไลทิวทัศน์เซนเซอร์และตัวหุ่นยนต์ประกอบเข้าด้วยกัน



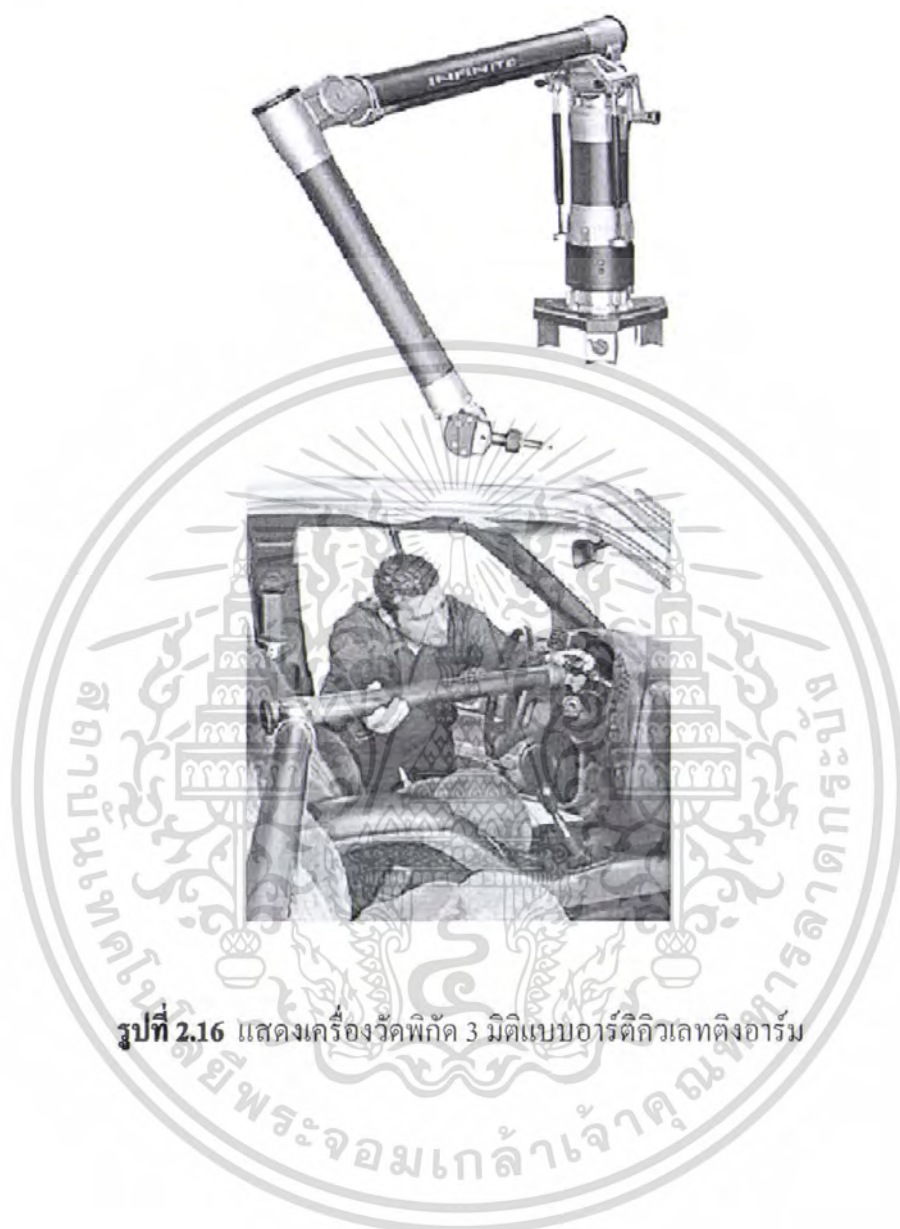
รูปที่ 2.15 รูปแสดงเครื่องวัดพิกัดระบบออฟติคัลโรบอติกเกจจิง

2.1.2.5 ระบบแบบอาร์ติคิวเลตติ้งอาร์ม (Articulating Arm System)

ระบบนี้จะใช้ชุดของแขนกลซึ่งมีค่าองศาอิสระเท่ากับ 6 (Six-Degrees-of-Freedom Linkage Arm) ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ค่าพิกัดต่าง ๆ ได้จาก ฟริชชันโรตารีทรานสดิวเซอร์ (Precision Rotary Transducers) ที่ติดตั้งภายในทุกข้อต่อเพื่อใช้ในการวัดตำแหน่งของตัวแขนกล แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาตำแหน่งของหัววัด (Probe) โดยการใช้หลักการทางจลนศาสตร์ (Kinematics) ของแขนกล โดยผู้ปฏิบัติงานจะเป็นผู้เคลื่อนย้ายหัววัดไปยังตำแหน่งต่างๆบนชิ้นงานด้วยตัวเอง ปริมาตรการวัดของตัวเครื่องแบบนี้จะเป็นทรงกลมที่มีรัศมีเท่ากับความยาวของตัวแขนกล แต่ก็อาจจะมีข้อจำกัดในปริมาตรการวัดอันเนื่องมาจากทั้งคอนฟิกูเรชัน(Configuration) ของตัวแขนกล และลักษณะการติดตั้งขณะใช้งานของตัวแขน ค่าความถูกต้องของ CMM ประเภทนี้จะไม่สามารถนำไปเปรียบเทียบกับ CMM แบบพิกัดฉากได้เลย เนื่องจากค่าความถูกต้องของ CMM ประเภทนี้จะค่อนข้างต่ำกว่ามาก แต่มีข้อดีที่แตกต่างจาก CMM ระบบพิกัดฉาก คือสามารถเคลื่อนย้ายได้โดยสะดวกสบาย จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ปฏิบัติงานนอกสถานที่หรือนำไปใช้ร่วมอยู่ในระบบการผลิต อีกทั้งชิ้นงานที่จะทำการวัดก็ไม่จำเป็นต้องนำมาติดตั้งบนแท่นรองรับชิ้นงานของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่อง จึงมีประโยชน์มากสำหรับการวัดชิ้นงานที่มีความยากลำบากการเคลื่อนย้ายหรือไม่สามารถนำมาติดตั้งบนแท่นรองรับชิ้นงานได้โดยสะดวก



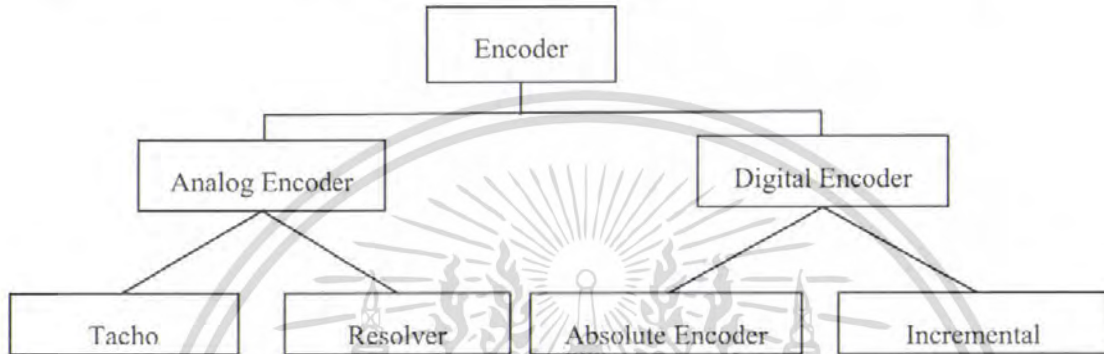
รูปที่ 2.16 แสดงเครื่องวัดพิกัด 3 มิติแบบอาร์ตีกิวเลทติงอาร์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

เอนโคเดอร์ (Encoder)

เอนโคเดอร์จะทำหน้าที่เสมือนกับผู้ตรวจการ โดยจะทำหน้าที่ตรวจวัดความเร็ว (speed) , ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ (Direction of Rotation) และตำแหน่งเพลตของโรเตอร์ (shaft position) โดยเราจะใช้เอนโคเดอร์ในการวัดการหมุนของแต่ละข้อต่อของเครื่องบดพริก 3 มิติ



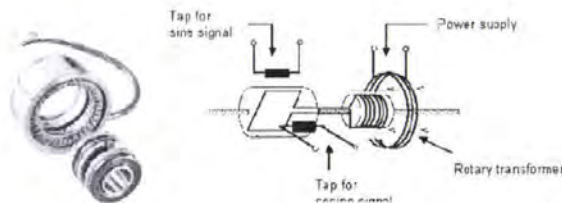
รูปที่ 3.1 รูปแสดงการแบ่งประเภทของเอนโคเดอร์

3.1 เทคโคเจนเนอเรเตอร์ (Tacho Generator)

นิยามของเทคโคเจน ก็คือเจนเนอเรเตอร์ขนาดเล็ก ที่ทำหน้าที่แปลงความเร็วรอบมาเป็นแรงดันไฟฟ้าสำหรับควบคุม 0 - 10 V. เพื่อป้อนกลับไปยังชุดไดร์ฟ (โดยทั่วไปจะใช้ในระบบดิสก์ไดร์ฟ)

3.2 รีโซลเวอร์ (Resolver)

รีโซลเวอร์เป็นเอนโคเดอร์ชนิดหนึ่งที่ใช้งานในระบบคอนโทรลอย่างกว้างขวาง เช่น ใช้เป็นตัวแปลงระยะพิกัด (coordinate) ตัวดีเท็คเตอร์เรอร์ ตัวเลื่อนเวลาหรือเฟสและใช้สำหรับการส่งข้อมูล



รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างภายในของรีโซลเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวรีโซลเวอร์ทำด้วยแกนเหล็ก สเตเตอร์มี 2 โพลและมีขดลวดพันอยู่ของลวดที่พันบน สเตเตอร์จะถูกจัดให้แยกกันด้วยเฟส 90 องศาทางไฟฟ้า และมีโรเตอร์ 2 อัน พันด้วยขดลวดที่มีมุม ต่างกัน 90 องศาเชิงกล ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ถ้าเป็นรีโซลเวอร์ชนิด 3 เฟส ก็จะมีขดลวดบน โรเตอร์บน โรเตอร์เพียงขดเดียว



รูปที่ 3.3 ขดลวดของรีโซลเวอร์

เมื่อป้อนโวลต์เตจ ES_1 และ ES_2 ซึ่งเป็นค่าคงที่เข้าที่ขดลวดทั้ง 2 บนสเตเตอร์จะได้ โวลต์เตจเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในโรเตอร์ดังนี้

$$E_{r1} = ES_1 \cos\theta + ES_2 \sin\theta$$

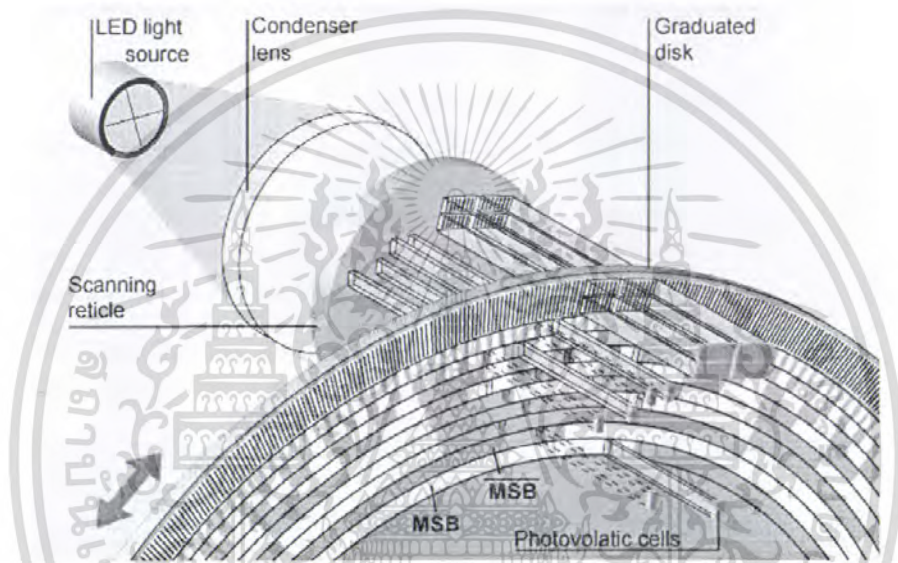
$$E_{r2} = ES_1 \sin\theta - ES_2 \cos\theta$$

ในรูป 3.3 แสดงให้เห็นว่าโวลต์เตจที่คร่อมขดลวดของโรเตอร์ทั้งสองจะเป็นผลบวกและ ผลต่างของ cosine และ sine ของมุมการหมุนของโรเตอร์ และ โวลต์เตจที่ได้ทั้ง 2 นี้จะมีมุมต่างกัน 90 องศา เราเรียกว่าเป็น ควอดราเจอร์กันจะเห็นได้ว่าโวลต์เตจของโรเตอร์ทั้ง 2 นี้สามารถเป็นตัว บอกรตำแหน่งของโรเตอร์และควอดราเจอร์โวลต์เตจนี้ยังสามารถบอกทิศทาง การหมุนของโรเตอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วย อย่างไรก็ตามในระบบการบังคับตำแหน่ง เนื่องจากโรเตอร์โวลต์เดจแต่ละค่าจะมีค่าเป็นศูนย์ (null) อยู่ 2 จุดในทุก ๆ หนึ่งรอบหรือ 360 องศา ที่โรเตอร์หมุนไป รีโซลเวอร์ดั้งเดิมจะมีโพลจำนวนน้อยจึงเหมาะที่จะนำไปใช้สำหรับงานที่ต้องการความแตกต่างของตำแหน่งเป็นศูนย์ในระบบคอนโทรลเท่านั้น

3.3 Absolute Encoder

Absolute Encoder เป็นดิจิตอลเอนโคเดอร์อีกชนิดหนึ่งที่สำคัญหลักการออกพีดคอล คล้ายกับ Incremental Encoder โดยประกอบด้วยตัวกำเนิดแสง, ตัวจับแสง และงานเข้ารหัสดังรูปที่ 3.4

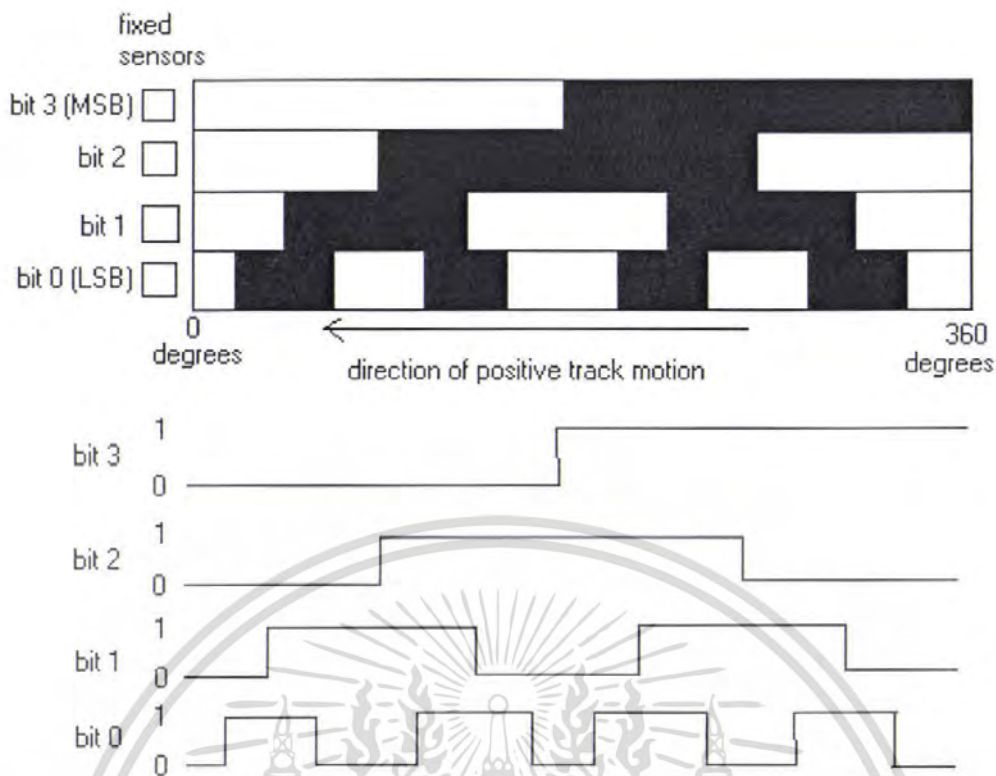


รูปที่ 3.4 แสดงโครงสร้างภายใน Absolute Encoder

จากรูปที่ 3.4 ตัว Absolute Encoder มีโครงสร้างแผ่นดิสก์ที่พิเศษกว่า Incremental Encoder ซึ่งมีลักษณะเป็น Gray Scales โดยความละเอียดและตำแหน่งของ Absolute Encoder จะขึ้นกับจำนวนบิต Absolute Encoder จะให้ข้อมูลตำแหน่งค่อนข้างละเอียดและสามารถรายงานบอกตำแหน่งได้ทุก ๆ จุดที่โรเตอร์หมุนเคลื่อนที่ไป ไม่มีปัญหาเรื่องจุดอ้างอิงกรณีไฟดับหรือปิดเครื่อง แต่จะไม่ทนต่อสภาพแวดล้อมอุตสาหกรรม เช่น การสั่นสะเทือนและฝุ่นควันนอกจากนั้นงานเข้ารหัสยังเปราะและแตกง่าย

83147

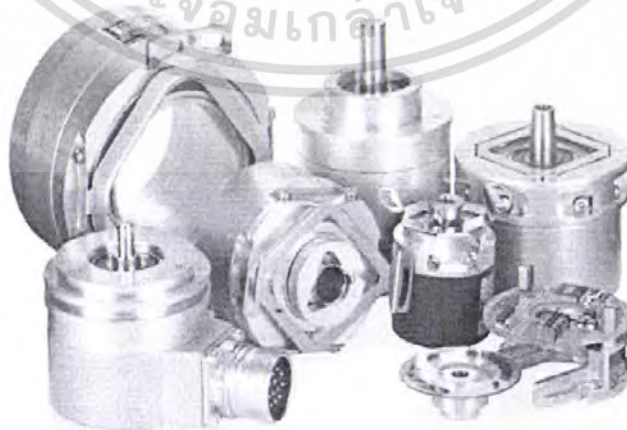
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงรูปแบบเกรย์โคดขนาด 4 บิตที่ได้จาก Absolute Encoder

3.4 อินคริเมนต์เอนโคเดอร์ (Incremental Encoder)

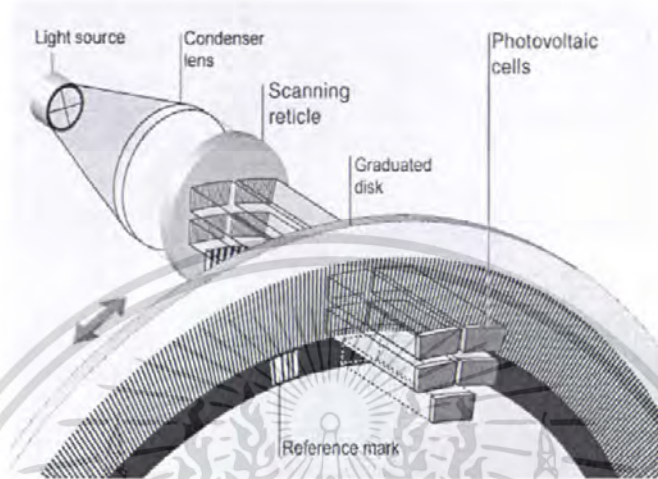
ในระบบการบังคับตำแหน่ง หรือความเร็วของมอเตอร์ใช้อินคริเมนต์เอนโคเดอร์ หรือ เอนโคเดอร์สำหรับรักษาตำแหน่งและสำหรับสร้างสัญญาณป้อนกลับ โดยที่ตัวเอนโคเดอร์จะสร้างสัญญาณพัลส์ที่แปรผันตรงกับความเร็วของเพลา ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการรับรู้ความเร็วของเพลามอเตอร์ ในรูปของอัตราจำนวนพัลส์ได้ในรูป 3.6 แสดงรูปลักษณะของอินคริเมนต์เอนโคเดอร์แบบ โรตารีและแบบลิเนียร์



รูปที่ 3.6 เอนโคเดอร์แบบโรตารี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

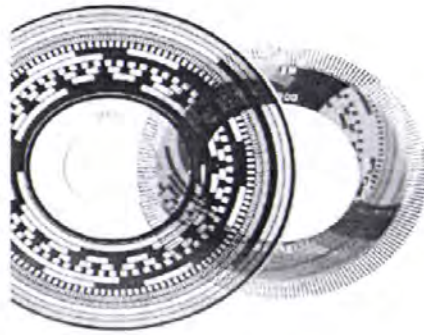
อินทรีเม้นท์เอนโคคเคอร์ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ คือ ตัวกำเนิดแสง จานหมุน (rotary disk) จานอยู่กับที่และตัวเซ็นเซอร์ บนแผ่นจานหมุนทำเป็นช่องโคจรอบดั่งแสดงในรูปที่ 3.7 และบนแผ่นอยู่กับที่จะมีช่องสำหรับให้แสงผ่านตรงข้ามไปยังตัวเซ็นเซอร์ ถ้าเป็นเอนโคคเคอร์ที่ใช้วัดความเร็วต่ำไม่ต้องมีแผ่นอยู่กับที่ก็ได้ ส่วนตัวกำเนิดแสงอาจจะเป็นหลอดไฟหรือ LED ก็ได้



รูปที่ 3.7 โครงสร้างภายในเอนโคคเคอร์แบบโรตารี

3.4.1 ความละเอียดของอินทรีเม้นท์เอนโคคเคอร์

ความละเอียดของเอนโคคเคอร์ คือ จำนวนคาบเวลาของสัญญาณเอาต์พุตต่อการหมุนของเฟลา 1 รอบ ซึ่งบวกเป็นจำนวนพัลส์ต่อรอบหรือจำนวนไซเคิลต่อ 360 องศา มุมทางเชิงกบหรือไซเคิลต่อองศาเอนโคคเคอร์ที่ใช้กันทั่ว ๆ ไป มีค่าความละเอียดตั้งแต่ 15 ถึง 10,000 พัลส์ต่อรอบ ในทางปฏิบัติเนื่องจากแสงที่ออกจากแหล่งกำเนิดเป็นลำแสงเดี่ยว ถ้าเราต้องการให้แสงที่ผ่านช่องไปยังเซ็นเซอร์เป็นเส้นตรงพร้อม ๆ กัน (collimation) ก็ทำได้โดยใช้เลนซ์หรือ พาราโบลิกรีเฟลคเตอร์ โดยทั่ว ๆ ไปแล้วสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากเอนโคคเคอร์โดยตรงจะมีระดับไม่เพียงพอในการควบคุมหรือสำหรับการประมวลสัญญาณ ดังนั้นจึงต้องมีวงจรขยายและแปลงรูปร่างลูกคลื่นสัญญาณต่อไว้ในตัวเอนโคคเคอร์ด้วยเสมอ สัญญาณลูกคลื่นที่ได้จากตัวเซ็นเซอร์ปกติแล้วจะเป็นรูปสัญญาณสามเหลี่ยมหรือ รูปสัญญาณซายน้ขึ้นอยู่กับความละเอียดที่ต้องการรูปสัญญาณเหล่านี้สามารถทำให้เป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมได้ โดยการต่อตัวคอมพาราเตอร์เข้ากับลิเนียร์แอมพลิไฟของเอนโคคเคอร์ก็จะได้อาท์พุตเป็นลูกคลื่นสี่เหลี่ยมตามต้องการ



รูปที่ 3.8 แผ่นจานโรตารีภายในเอนโคดเดอร์



รูป 3.9 แสดงรูปคลื่นเอาต์พุต (คลื่นสี่เหลี่ยม)

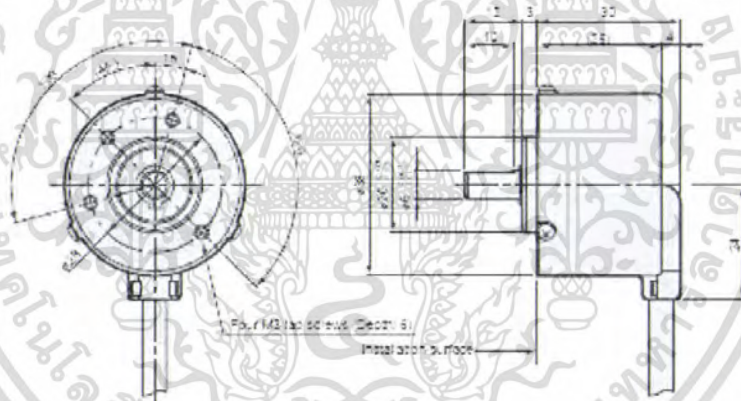
จากรูปที่ 3.9 โครงสร้างของเอนโคดเดอร์จะประกอบด้วยตัวกำเนิดแสง, ตัวจับแสงซึ่งถูกคั่นกลางด้วยแผ่นจานกลม ๆ ที่มีการทำรูเจาะไว้รอบ ๆ แผ่น (จำนวนรูจะขึ้นอยู่กับความละเอียดของ incremental encoder) และหน้ากากแยกช่องของสัญญาณพัลส์ A, B และ Z สัญญาณพัลส์ที่ได้จากเอนโคดเดอร์ชนิดนี้จะประกอบด้วย 3 แทรค (tracks) คือ A, B และ Z ดังพัลส์ที่เกิดจากแทรค A และ B จะเกิดการเหลื่อมกันมีความต่างเฟสกัน 90 องศา เพื่อทำหน้าที่รายงานผลของความเร็วและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ให้คอนโทรลเลอร์ดังนี้ กรณีพัลส์ A เกิดขึ้นก่อน B คอนโทรลเลอร์จะรับรู้ว่ามีมอเตอร์กำลังหมุนด้วยทิศทางตามเข็มนาฬิกา แต่ถ้าหากพัลส์ B เกิดขึ้นก่อน A คอนโทรลเลอร์จะรับรู้ว่ามีมอเตอร์กำลังหมุนด้วยทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ส่วนแทรค Z หรือพัลส์อ้างอิงจะเกิดขึ้น 1 พัลส์ในการหมุน 1 รอบ ทำหน้าที่อ้างอิงตำแหน่งของโรเตอร์ Incremental Encoder โดยทั่วไปจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่นิยมใช้กับระบบเซอร์โวที่มีการควบคุมตำแหน่ง (Position control) เนื่องจากไม่สามารถจำตำแหน่งเดิมได้กรณีที่มีการปิดเครื่องหรือไฟดับ

ซึ่งในโครงการนี้ได้เลือกใช้ Incremental encoder ของ Koyo รุ่น TRD-SH2500V (ดังแสดงให้ดูในรูปที่ 3.10) โดยมีคุณสมบัติดังนี้

Supply Voltage	:	5 VDC \pm 5 %
Current Consumption	:	50 mA max.
Resolution	:	2,500 PPR
Output phases	:	A, B, Z
Starting torque	:	Max. 0.001 Nm
Approximate Weight	:	150g
Operating Humidity	:	35-85% RH
Storage temperature	:	-25 to 85°C
Max. Allowable Speed	:	6000 rpm



รูปที่ 3.10 เอนโคเดอร์ที่เลือกใช้

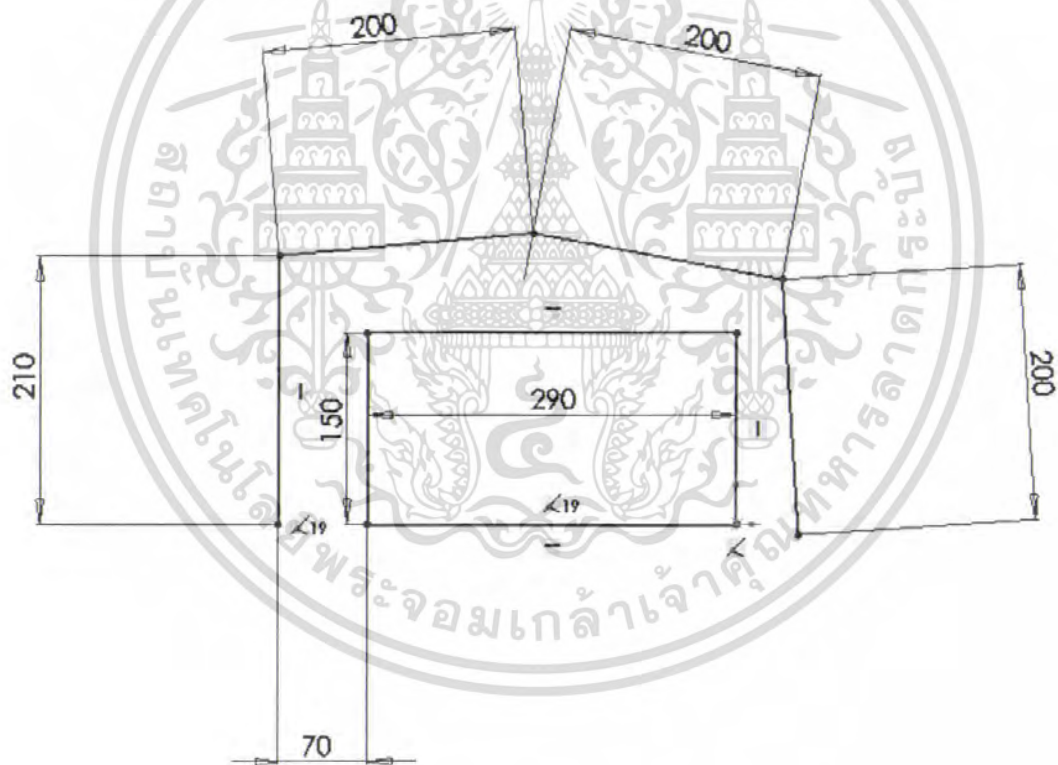
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

หลักการในการออกแบบเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ

4.1 การออกแบบเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ

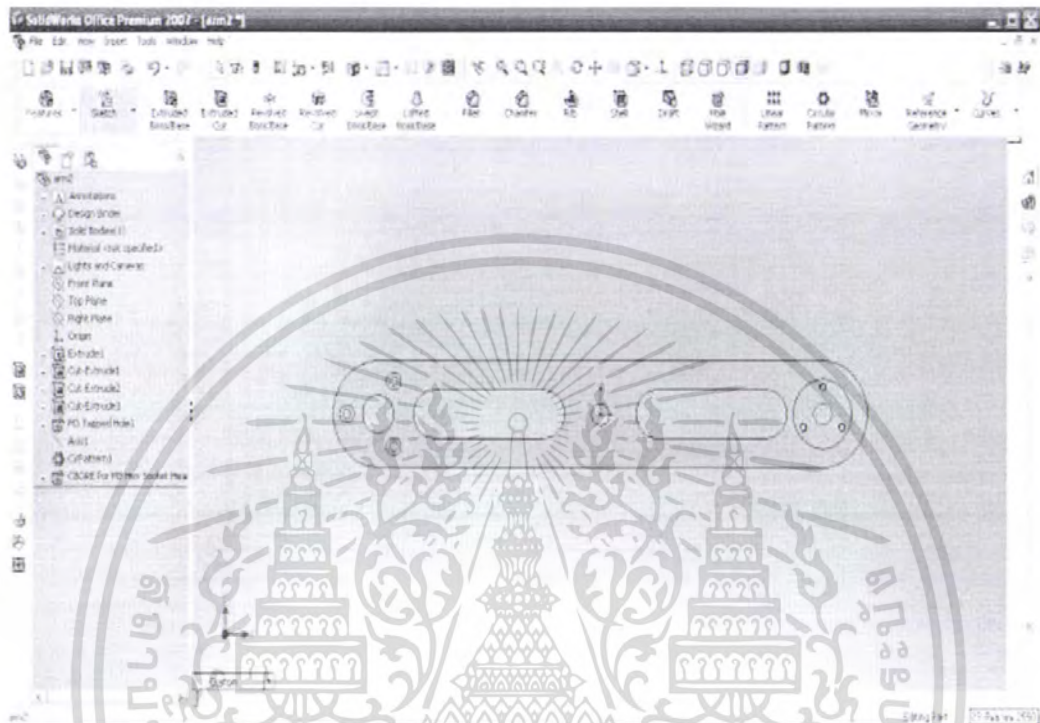
ในการออกแบบเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ เราจะใช้โปรแกรม SolidWorks ซึ่งเป็นโปรแกรมเปลี่ยนชิ้นงาน 3 มิติ ที่ผ่านการวิเคราะห์และวางแผนก่อนการเขียนรูปชิ้นงาน เพื่อจัดเรียงชิ้นงาน การใช้ตัวแปร ควบคุมการเขียนชิ้นงาน (Configuration) เพื่อลดเวลาในการเขียนชิ้นงาน ที่มีลักษณะคล้าย ๆ กัน และสามารถแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงชิ้นงานได้ง่ายและทำที่สุดคือการประกอบชิ้นงานส่วนที่มีจำนวนชิ้นส่วนมาก ๆ เราสามารถตรวจสอบการทับซ้อนของชิ้นส่วน ซึ่งจะช่วยในการทำงาน ให้ง่ายขึ้น เราสามารถทราบรูปร่างและขนาดที่เหมาะสมก่อนนำไปกลัดเป็นชิ้นงานออกมา



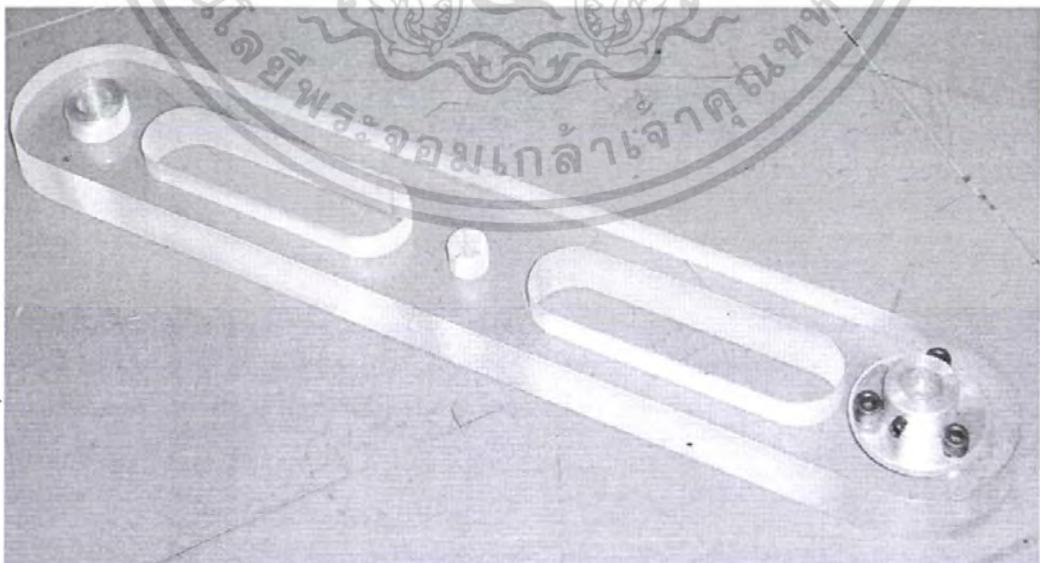
รูปที่ 4.1 ภาพร่างการออกแบบขนาดของเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 แสดงการออกแบบโดยเริ่มต้นจากการจำลองวัตถุขึ้นมาหนึ่งชิ้น โดยกำหนดขอบเขตของชิ้นงานให้มีขนาด 300X200X150 ลูกบาศก์มิลลิเมตร เพื่อหาความยาวของแกนแต่ละแกน จากนั้นก็นำเอาความยาวที่ได้มาออกแบบโดยโปรแกรม SolidWorks ซึ่งในการออกแบบเราต้องคำนึงถึงน้ำหนัก ดังนั้นจึงเจาะรูเพื่อลดน้ำหนักดังรูปที่ 4.2



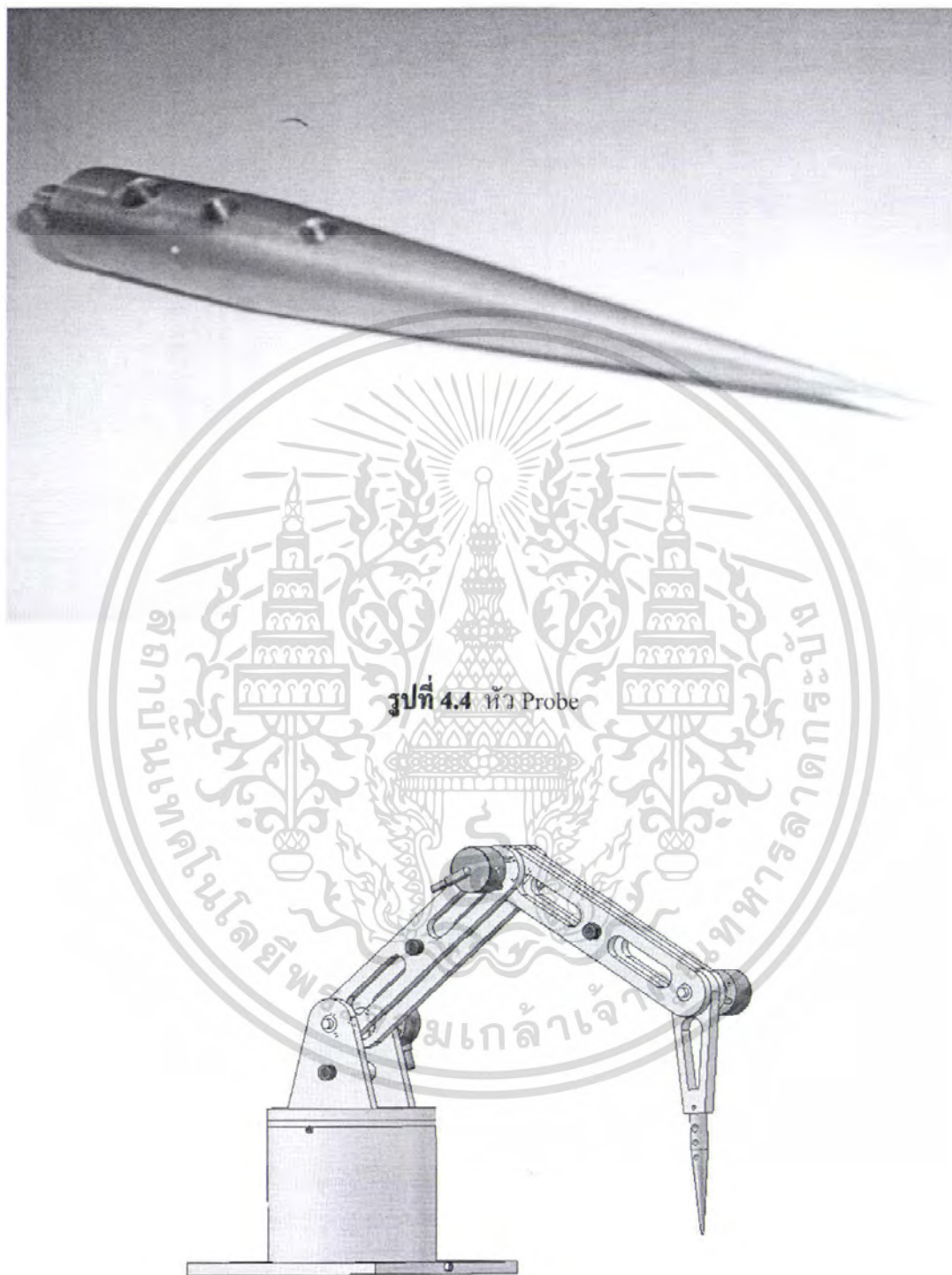
รูปที่ 4.2 ลักษณะแกนของเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ ที่วาดใน โปรแกรม SolidWorks



รูปที่ 4.3 ลักษณะแกนของเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

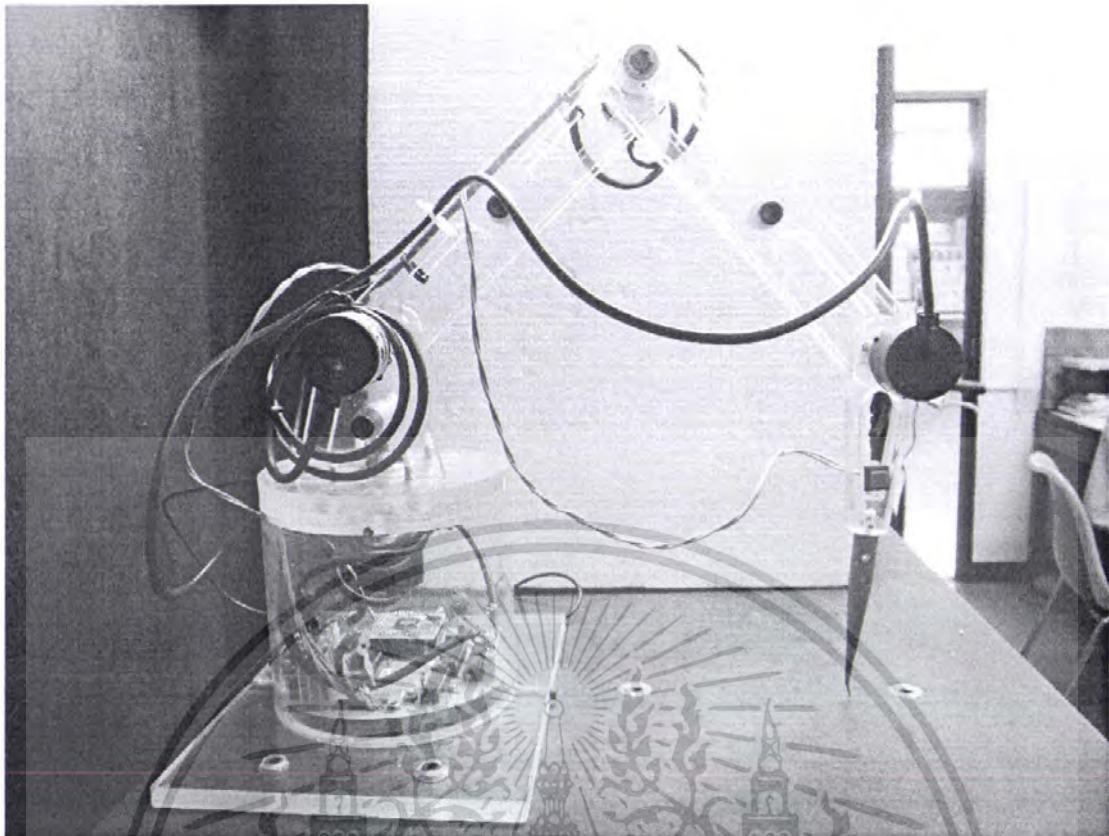
ส่วนที่ปลายของเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ นั้น จำเป็นจะต้องมีขนาดเล็กและมีความแข็งแรงทนทานไม่ทำให้ชิ้นงานเกิดเป็นรอยได้ง่ายจึงมีลักษณะดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 หัว Probe

รูปที่ 4.5 เครื่องบอกพิกัด 3 มิติ ที่ออกแบบโดยโปรแกรม SolidWorks

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ลักษณะของเครื่องบดฟัด 3 มิติ

4.1.1 การเลือกวัสดุ

อะคริลิก (Acrylic) ใช้บริเวณฐาน และแขนของเครื่องบดฟัด 3 มิติ เนื่องจากว่ามีความสวยงาม สะดวกในการใช้งาน และหาซื้อได้ง่าย

อะลูมิเนียม (Aluminum) ใช้ในส่วนที่เป็น Boost และ Spacer เพราะมีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรงกว่าอะคริลิก ไม่เปราะและไม่เป็นสนิม แต่ข้อเสียคือเป็นโลหะนิ่มเสียรูปได้ง่าย

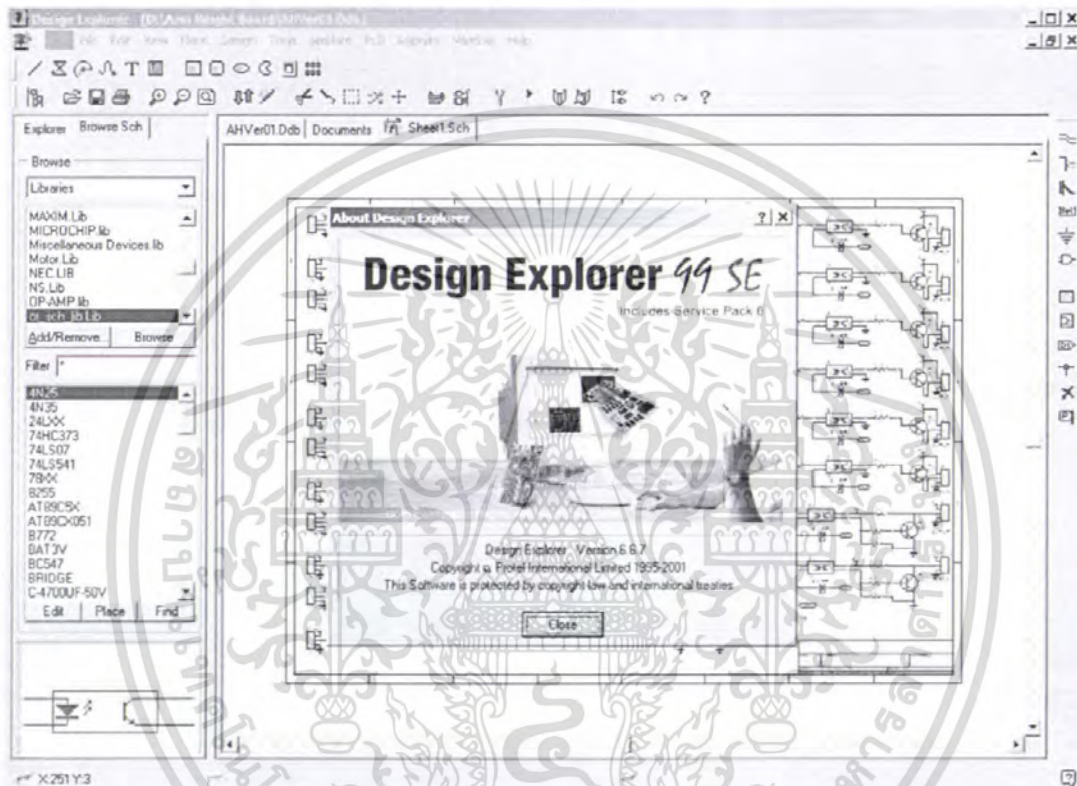
เหล็ก (Iron) ใช้ตรงส่วนที่เป็นเฟลาเพราะต้องการความแข็งแรงมาก แต่ข้อเสียของเหล็กคือมีน้ำหนักมากและเกิดสนิมได้ง่าย

ทองเหลือง (Brass) เป็นโลหะที่แข็งแรงเกิดรอยขีดข่วนได้ยาก เนื่องจากมีเนื้อละเอียด มีความเงางาม เป็นสนิมได้ยาก แต่ข้อเสียของทองเหลืองคือ มีราคาแพง และน้ำหนักมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

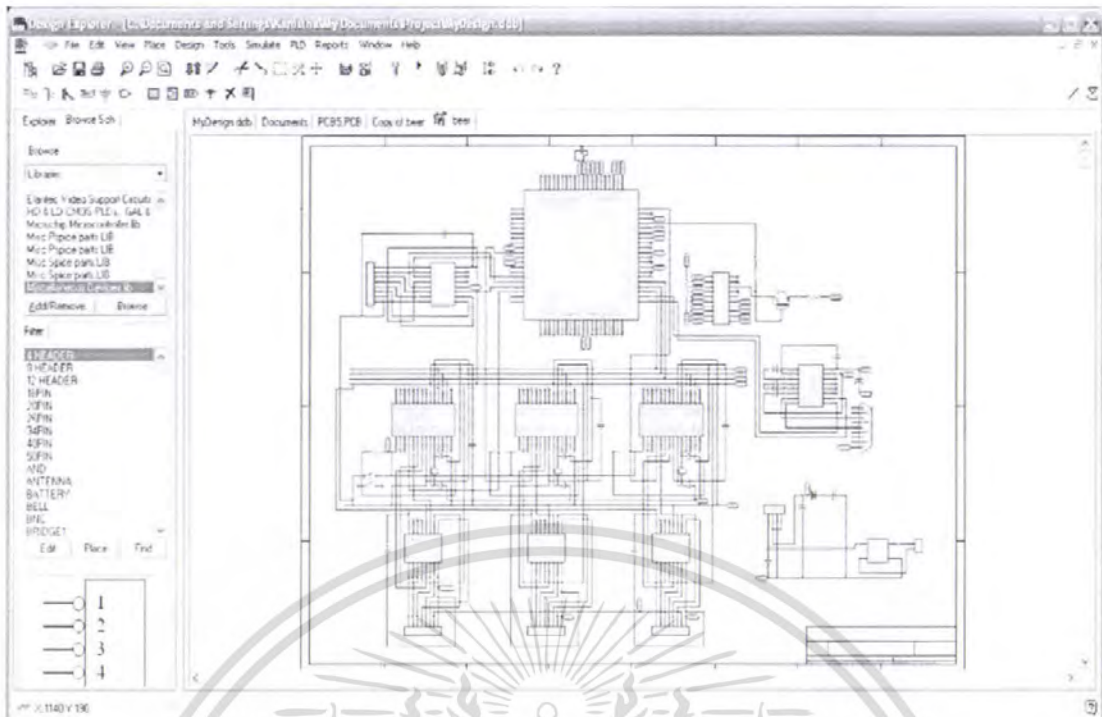
4.2 การออกแบบวงจร

เราต้องทำการเลือกใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทำการออกแบบวงจรเครื่องบอกพิกัด 3 มิติโดยเราจะใช้โปรแกรม Protel 99-SE ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับการออกแบบวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์และการทำแผ่น PCB (Print Circuit Board) บอร์ด ลักษณะเด่นคือ การสร้างวงจร (Schematic) การเดินเส้นลายทองแดง และแสดงการวางอุปกรณ์แบบ 3D แล้วทำการรวบรวมไฟล์ต่าง ๆ เก็บไว้ในไฟล์เดียวกัน เพื่อลดความยุ่งยากและง่ายต่อการบริหารจัดการข้อมูล ดังภาพด้านล่าง

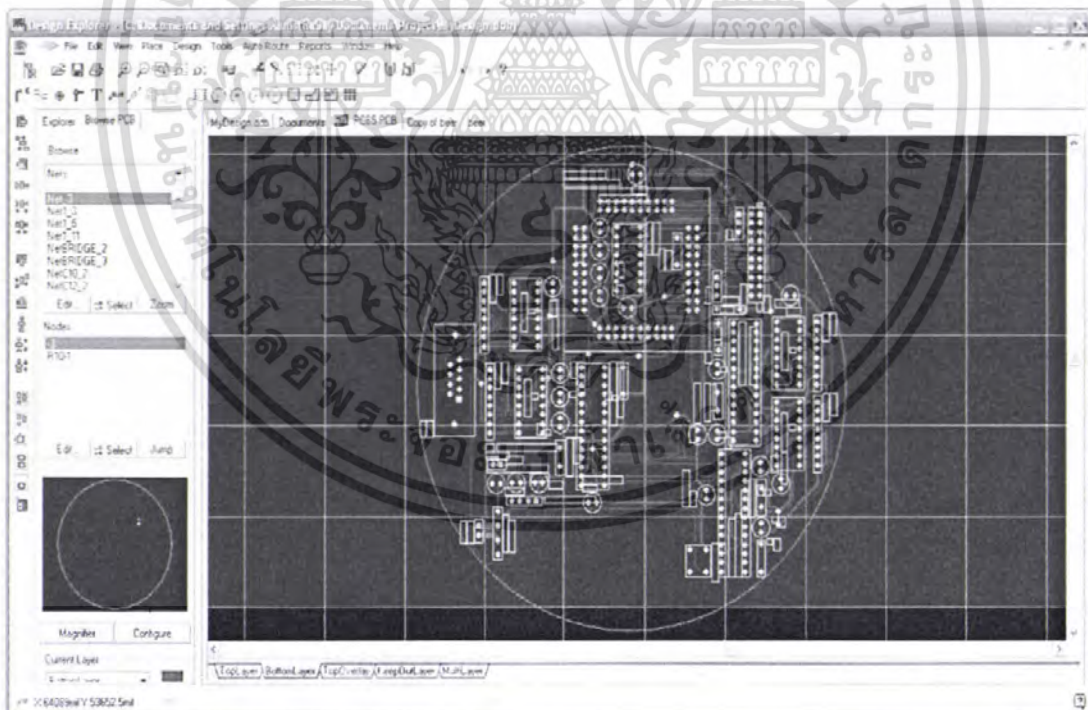


รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะรูปร่างของโปรแกรม Protel99-SE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงลายวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Schematic Circuit)



รูปที่ 4.9 แสดงตัวอย่างแผ่นวงจร PCB บอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ทฤษฎีบทจลนศาสตร์ (Kinematics)

5.1 จลนศาสตร์

จลนศาสตร์ (Kinematics) เป็นศาสตร์ที่ว่าด้วยการเคลื่อนไหวดังกล่าวโดยไม่สนใจเรื่องผลของแรงที่กระทำกับระบบจลนศาสตร์ จลนศาสตร์จะประกอบไปด้วย Forward และ Reverse Kinematic โดยจะกล่าวถึงแต่เฉพาะเรื่องของตำแหน่ง ความเร็ว ความเร่งและอนุพันธ์อันดับที่สูงขึ้นไปของตัวแปรตำแหน่ง เราสามารถที่จะใช้หลักการดังกล่าวในการคำนวณหาตำแหน่งจุดปลายของแขนกลในระบบคาร์ทีเซียน ซึ่งเราไม่สามารถหาได้จากการตรวจวัดโดยตรง แต่สามารถคำนวณได้จากตำแหน่งของแขนกลในระบบพิกัดข้อต่อ (Joint Coordinate) โดยใช้หลักการของเมตริกซ์การแปลง (Transformation Matrix)

เมตริกซ์การแปลง คือ เมตริกซ์ที่ใช้ในการแปลงเวกเตอร์ที่อยู่ในระบบพิกัดหนึ่งไปยังอีกระบบพิกัดหนึ่ง ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$P_A = T_B^A P_B$$

เมื่อ P_A คือ เวกเตอร์ที่กำหนดในแกนพิกัด A

P_B คือ เวกเตอร์ที่กำหนดในพิกัด B

T_B^A คือ เมตริกซ์การแปลงของแกนพิกัด B เทียบกับแกนพิกัด A

เมตริกซ์การแปลงที่ใช้ในการแปลงระบบพิกัดของแขนกลแบบ N ข้อต่อสามารถหาได้โดยใช้หลักการตามวิธีของดีนาวิต – ฮาร์ทเทนบอร์ก (Denavit -Hartenberg) ซึ่งหาได้โดยขั้นตอนดังต่อไปนี้

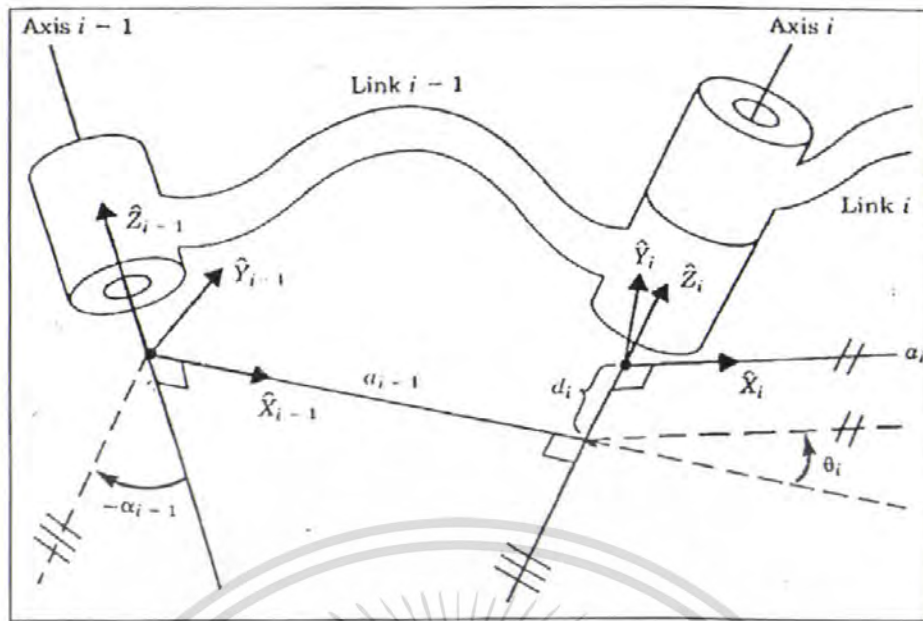
ขั้นที่หนึ่ง ต้องกำหนดแกนพิกัดของแต่ละข้อต่อตามหลักการต่อไปนี้

กำหนดให้แกน Z_i ชี้ไปตามแกนหมุนของข้อต่อข้อที่ i นั้นๆ

กำหนดให้แกน X_i ชี้ไปในทิศทางตั้งฉากกับแกน Z_i และแกน Z_{i+1} หรือถ้าแกนทั้งคู่อัดกันก็ให้

แกน X_i ชี้ไปในทิศทางที่ตั้งฉากกับระนาบที่เกิดจากแกนทั้งสอง

กำหนดให้แกน Y_i ชี้ไปในทิศทางตามกฎมือขวา



รูปที่ 5.1 แสดงตัวอย่างการตั้งระบบแกนพิกัด

ขั้นที่สอง กำหนดค่าตัวแปรต่างๆของข้อต่อเป็นไปตามดังนี้

a_i = ระยะทางจากแกน Z_i ไปยังแกน Z_{i+1} โดยวัดตามแกน X_i

α_i = มุมระหว่างแกน Z_i กับแกน Z_{i+1} โดยวัดรอบแกน X_i

d_i = ระยะห่างระหว่างแกน X_{i-1} ไปยังแกน X_i โดยวัดตามแกน Z_i

θ_i = มุมระหว่างแกน X_{i-1} ไปยังแกน X_i โดยวัดรอบแกน Z_i

ขั้นที่สาม สร้างเมตริกซ์การแปลงของแต่ละแกนจากสมการดังต่อไปนี้

กำหนดให้ T_i^{i-1} เป็นเมตริกซ์ของการแปลงของแกนที่ i เทียบกับแกนที่ $i-1$ จะได้ว่า

$$T_i^{i-1} = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ s\theta_i c\alpha_{i-1} & c\theta_i c\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} d_i \\ s\theta_i s\alpha_{i-1} & c\theta_i s\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

โดย

$$c\theta_i = \cos\theta_i$$

$$c\alpha_i = \cos\alpha_i$$

$$s\theta_i = \sin\theta_i$$

$$s\alpha_i = \sin\alpha_i$$

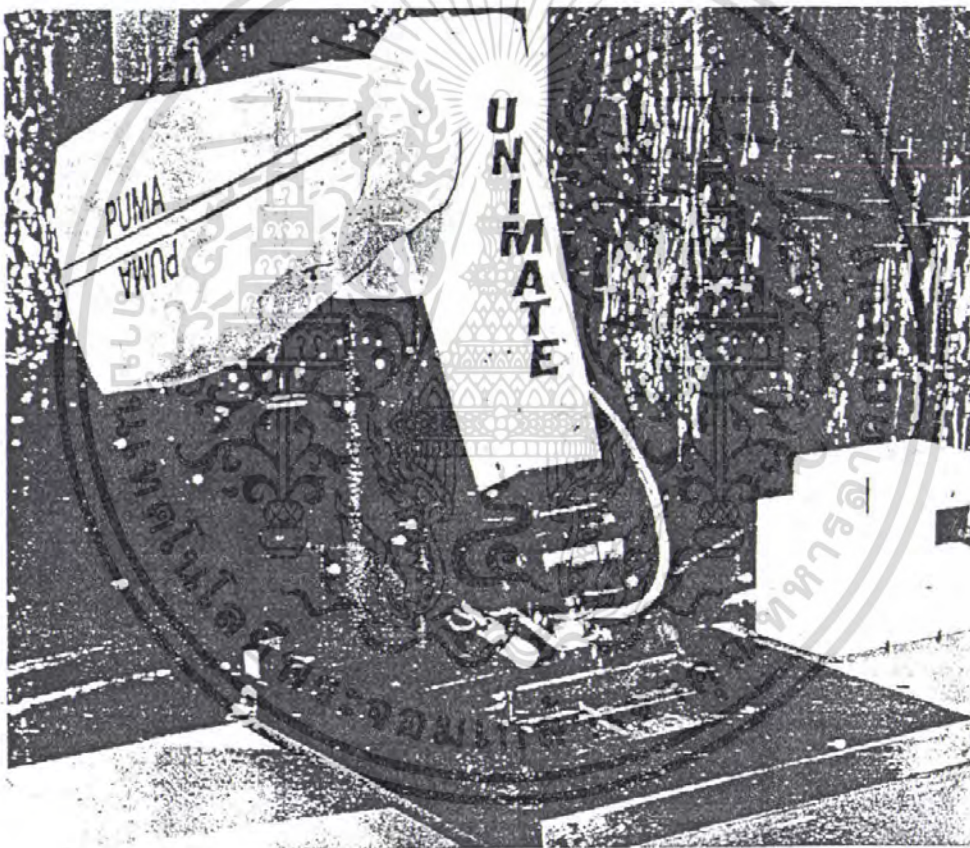
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่สี่ สร้างเมตริกซ์การแปลงของแกนที่ N เทียบกับแกนที่ 0 (เมื่อระบบรวมแขนกลมีทั้งหมด N แกน) ดังนี้

$$T_N^0 = T_1^0 T_2^1 T_3^2 \dots T_N^{N-1}$$

จะเห็นว่าเมตริกซ์การแปลง T_N^0 ในการคำนวณหาตำแหน่งและทิศทางของแกนสุดท้ายได้

ตัวอย่างต่อไปนี้ จะแสดงการคำนวณหาเมตริกซ์การแปลง T_N^0 ของแขนกลพума 560 (PUMA 560) ซึ่งมีรูปร่างดังแสดงในรูปต่อไปนี้

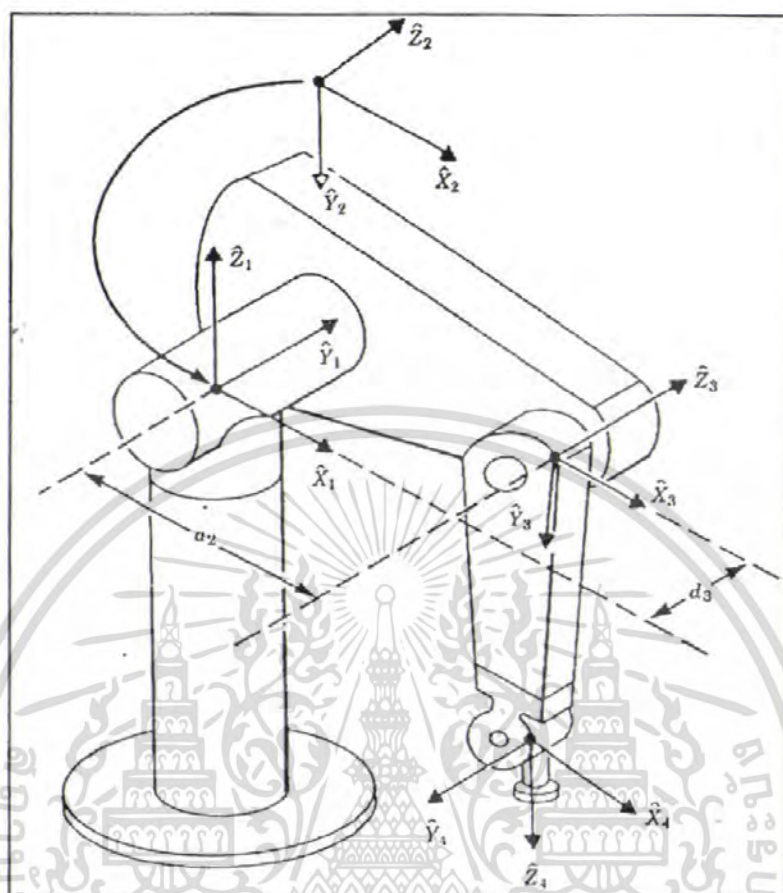


รูปที่ 5.2 แขนกลพумаหุ่นยนต์พумаที่ใช้กันในอุตสาหกรรมทั่วไป

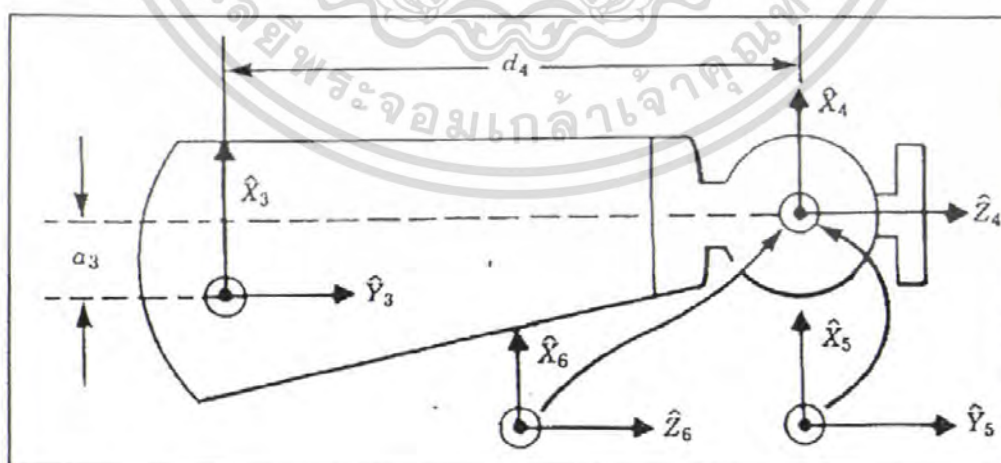
แขนกลพумаเป็นแขนกลแบบอาติจูเลต (Articulate Type) 6 ข้อต่อที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป เราสามารถที่จะทำการหาเมตริกซ์การแปลงของแขนกลพумаตามหลักการข้างต้นได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่หนึ่ง กำหนดแกนพิกัดของแต่ละข้อต่อให้ครบทุกแกนดังรูป



รูปที่ 5.3 แสดงตำแหน่งการกำหนดระบบพิกัด (แกนที่ 1-4) ของแขนหุ่นยนต์พู่มา



รูปที่ 5.4 แสดงตำแหน่งการกำหนดระบบพิกัด (แกนที่ 5-6) ของแขนหุ่นยนต์พู่มา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่สอง กำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ของแขนกล ซึ่งสามารถหาได้ดังนี้

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ในระบบจลนศาสตร์ของหุ่นยนต์พุ่ม้า

i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
1	0	0	0	θ_1
2	$-\frac{\pi}{2}$	0	0	θ_2
3	0	a_2	d_3	θ_3
4	$-\frac{\pi}{2}$	a_3	d_4	θ_4
5	$\frac{\pi}{2}$	0	0	θ_5
6	$-\frac{\pi}{2}$	0	0	θ_6

ขั้นที่สาม สร้างเมตริกซ์การแปลงของแต่ละแกนตามสมการข้างต้นได้ดังนี้

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} c\theta_1 & -s\theta_1 & 0 & 0 \\ s\theta_1 & c\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_2^1 = \begin{bmatrix} c\theta_2 & -s\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -s\theta_2 & -c\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_3^2 = \begin{bmatrix} c\theta_3 & -s\theta_3 & 0 & a_2 \\ s\theta_3 & c\theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_4^3 = \begin{bmatrix} c\theta_4 & -s\theta_4 & 0 & a_3 \\ 0 & 0 & 1 & d_4 \\ -s\theta_4 & -c\theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_5^4 = \begin{bmatrix} c\theta_5 & -s\theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ -s\theta_5 & -c\theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_6^5 = \begin{bmatrix} c\theta_6 & -s\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -s\theta_6 & -c\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ขั้นที่ ๕ จากขั้นที่สามจะสามารถหาเมทริกซ์การแปลงของแกนที่ 6 เทียบกับแกนที่ 0 ได้ ดังนี้

$$T_6^0 = T_1^0 T_2^1 T_3^2 T_4^3 T_5^4 T_6^5$$

ซึ่งจะได้ว่า

$$T_6^0 = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & P_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & P_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

โดยที่

$$r_{11} = c_1 [c_{23} (c_4 c_5 c_6 - s_4 s_6) - s_{23} s_5 c_6] + s_1 (s_4 c_5 c_6 + c_4 s_6)$$

$$r_{21} = s_1 [c_{23} (c_4 c_5 c_6 - s_4 s_6) - s_{23} s_5 c_6] - c_1 (s_4 c_5 c_6 + c_4 s_6)$$

$$r_{31} = -s_{23} (c_4 c_5 c_6 - s_4 s_6) - c_{23} s_5 c_6$$

$$r_{12} = c_1 [c_{23} (-c_4 c_5 c_6 - s_4 s_6) + s_{23} s_5 c_6] + s_1 (c_4 s_6 - s_4 c_5 c_6)$$

$$r_{22} = s_1 [c_{23} (-c_4 c_5 c_6 - s_4 s_6) + s_{23} s_5 c_6] - c_1 (c_4 s_6 - s_4 c_5 c_6)$$

$$r_{32} = -s_{23} (-c_4 c_5 c_6 - s_4 s_6) - c_{23} s_5 c_6$$

$$r_{13} = -c_1 (c_{23} c_4 s_5 + s_{23} c_5) + s_1 s_4 s_5$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$r_{23} = -s_1(c_{23}c_4s_5 + s_{23}c_5) + c_1s_4s_5$$

$$r_{33} = s_{23}c_4s_5 - c_{23}c_5$$

$$P_x = c_1[a_2c_2 + a_3c_{23} - d_3s_{23}] - d_3s_1$$

$$P_y = s_1[a_2c_2 + a_3c_{23} - d_3s_{23}] + d_3s_1$$

$$P_z = -a_3s_{23} - a_2s_2 - d_4c_{23}$$

โดยที่ $c_i = \cos \theta_i$

$$s_i = \sin \theta_i$$

$$c_{23} = \cos \theta_2 \cos \theta_3 - \sin \theta_2 \sin \theta_3$$

$$s_{23} = \cos \theta_2 \sin \theta_3 + \sin \theta_2 \cos \theta_3$$

หากพิจารณาสมการข้างต้น จะเห็นว่าสมาชิกในแถวที่ 1-3 และคอลัมน์ที่ 1-3 ของเมตริกซ์การแปลง T_6^0 จะเป็นเมตริกซ์ซึ่งแสดงตำแหน่งของการหมุนของระบบแกนที่ 6 ส่วนสมาชิกในคอลัมน์สุดท้าย จะเป็นเมตริกซ์แสดงตำแหน่งพิกัดของจุดกำเนิดของระบบแกนที่ 6 เทียบกับแกนที่ 0 ดังนั้นเมื่อรวมทั้งสองส่วนเข้าด้วยกันเป็นเมตริกซ์การแปลง T_6^0 จึงทำให้สามารถหาได้ทั้งตำแหน่งพิกัดและตำแหน่งการหมุนของเวกเตอร์ที่อยู่บนระบบแกนพิกัดที่ 6 หรือปลายแขนหุ่นยนต์พุ่มาเทียบกับแกนที่ 0 ได้

ดังนั้นจากหลักการทางจลนศาสตร์ข้างต้น เราสามารถนำมาประยุกต์สร้างเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ แบบข้อต่อได้ โดยการวัดตำแหน่งของชิ้นงานจะทำโดยการแปลงตำแหน่งของแต่ละข้อต่อที่วัดได้ไปเป็นตำแหน่งจุดปลายในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนของปลายแขนเครื่องบอกพิกัด

5.2 สมการสำหรับการหาตำแหน่งของเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ (3D Coordinate Measuring Machine CMM)

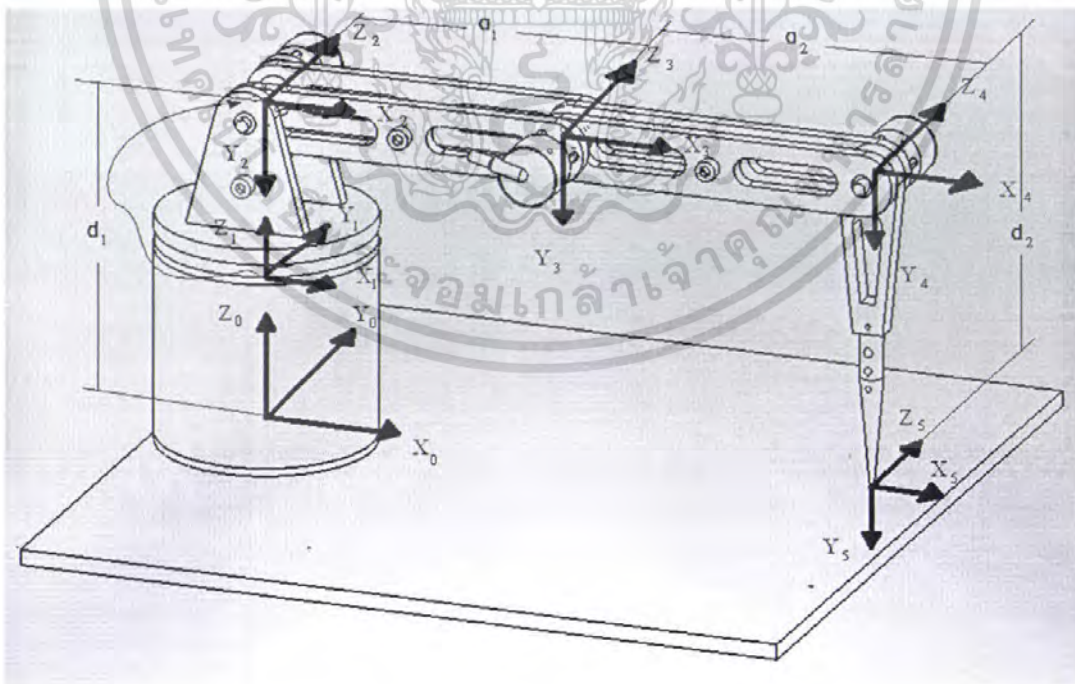
สมการที่ใช้ในการหาตำแหน่งของปลายหัววัดของเครื่องบอกพิกัด 3 มิติแบบข้อต่อจะเป็นระบบสมการที่ทำหน้าที่แปลงเวกเตอร์จากระบบพิกัดแกนหนึ่งไปยังระบบพิกัดอื่นด้วยเมตริกซ์การแปลง โดยในการหาตำแหน่งของหัววัดนี้เวกเตอร์ที่จะทำการแปลงจะเป็นเวกเตอร์ในระบบพิกัดของข้อต่อสุดท้าย ซึ่งชี้ไปยังตำแหน่งปลายของหัววัด แล้วทำการแปลงเวกเตอร์นี้ให้ไปเป็นเวกเตอร์ซึ่งอยู่ในระบบแกนพิกัดที่ตั้งอยู่บนฐานของเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ (ในการสร้างเมตริกซ์การแปลงทั่วไปจะตั้งให้เป็นระบบแกนพิกัดที่ศูนย์ โดยในการวัดตำแหน่งต่าง ๆ ที่ได้นั้นจะอ้างอิงจากระบบแกนนี้) และเนื่องจากระบบพิกัดของข้อต่อสุดท้ายตั้งอยู่บนข้อต่อที่มีการติดตั้งหัววัดเอาไว้ ดังนั้นไม่ว่าเครื่องบอกพิกัด 3 มิตินี้จะตั้งอยู่ในตำแหน่งหรือลักษณะใดก็ตาม เวกเตอร์ที่ชี้ยังปลายหัววัดก็จะยังคงเป็นเวกเตอร์เดิมในระบบแกนพิกัดสุดท้าย ดังนั้นสมการในการหาตำแหน่งจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลายของเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ จะประกอบไปด้วยเมตริกซ์การแปลง และเวกเตอร์ชี้ตำแหน่งปลายหัววัด

เนื่องจากเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ แบบแขนเป็นเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ ได้วัดตำแหน่งพิกัดเป็นระบบพิกัดฉาก โดยจะตรวจวัดตำแหน่งการหมุนของแต่ละข้อต่อ แล้วจึงนำมาคำนวณหาตำแหน่งพิกัดปลายของหัววัดในระบบพิกัดฉากด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์แทน ดังนั้นในการหาค่าพารามิเตอร์ค่าที่ใช้ในเมตริกซ์การแปลงและเวกเตอร์ชี้ตำแหน่งหัววัด จึงมีผลต่อค่าตำแหน่งพิกัดปลายของหัววัดและความถูกต้องในการวัดด้วย ซึ่งโดยปกติแล้วค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะมาจากการเขียนแบบ (Drawing) ของแขนกล แต่ในทางปฏิบัติการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่จะผลิตด้วยกระบวนการใดก็ตาม ก็ไม่สามารถผลิตชิ้นส่วนให้ได้ขนาดตามที่กำหนดในแบบได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นขนาดของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องบอกพิกัด 3 มิติที่ผลิตออกมา จึงไม่ตรงตามที่ได้เขียนไว้ในแบบและเมื่อนำชิ้นส่วนต่าง ๆ มาประกอบเข้าด้วยกัน พิกัดขนาดต่าง ๆ ของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ จึงไม่ตรงตามแบบ แต่เนื่องจากการหาค่าพารามิเตอร์ที่ถูกต้องมีความยุ่งยากมาก เพื่อความสะดวกในการออกแบบจึงใช้ค่าพารามิเตอร์ตามที่ได้เขียนไว้ในแบบ แล้วเราสามารถทำให้ค่าผิดพลาดลดน้อยลงได้ โดยใช้โปรแกรมคำนวณภายหลังจากสร้างและประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เสร็จแล้ว เพื่อให้ได้ความถูกต้องในการวัดมากที่สุด ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการออกแบบสามารถหาได้ดังนี้

ขั้นที่หนึ่ง กำหนดแกนพิกัดของแต่ละข้อต่อให้ครบทุกแกนดังรูป



รูปที่ 5.5 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดให้แต่ละข้อและแต่ละแขน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่สอง กำหนดค่าตัวแปรต่างๆของแขนกล ซึ่งสามารถหาได้ดังนี้

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ในระบบจลนศาสตร์ของเครื่องบอกลูกัด 3 มิติ

i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
1	0	0	d_1	θ_1
2	$-\frac{\pi}{2}$	0	0	θ_2
3	0	a_2	0	θ_3
4	0	a_3	0	θ_4
5	$-\frac{\pi}{2}$	0	d_5	0

ขั้นที่สาม สร้างเมตริกซ์การแปลงของแต่ละแกนตามสมการข้างต้นได้ดังนี้

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} c\theta_1 & -s\theta_1 & 0 & 0 \\ s\theta_1 & c\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_2^1 = \begin{bmatrix} c\theta_2 & -s\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -s\theta_2 & -c\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_3^2 = \begin{bmatrix} c\theta_3 & -s\theta_3 & 0 & a_2 \\ s\theta_3 & c\theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_4^3 = \begin{bmatrix} c\theta_4 & -s\theta_4 & 0 & a_3 \\ s\theta_4 & c\theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_5^4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_5 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ขั้นที่สี่ จากขั้นที่สามจะสามารถหาเมทริกซ์การแปลงของแกนที่ 6 เทียบกับแกนที่ 0 ได้ ดังนี้

$$T_5^0 = T_1^0 T_2^1 T_3^2 T_4^3 T_5^4$$

จะได้ว่า

$$T_5^0 = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & P_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & P_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

โดยที่

$$r_{11} = c_1 c_{234}$$

$$r_{12} = s_1$$

$$r_{13} = -c_1 s_{234}$$

$$r_{21} = s_1 c_{234}$$

$$r_{22} = -c_1$$

$$r_{23} = -s_1 s_{234}$$

$$r_{31} = -s_{234}$$

$$r_{32} = 0$$

$$r_{33} = -c_{234}$$

$$P_x = -d_5 c_1 s_{234} + a_3 c_1 c_{23} + a_2 c_1 c_2$$

$$P_y = -d_5 s_1 s_{234} + a_3 s_1 c_{23} + a_2 s_1 c_2$$

$$P_z = -d_5 c_{234} - a_3 s_{23} - a_2 s_2 + d_1$$

โดยที่

$$c_i = \cos \theta_i$$

$$s_i = \sin \theta_i$$

$$c_{234} = \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)$$

$$s_{234} = \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการออกแบบเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ ทำให้ทราบค่าความยาวของแต่ละแขน โดย

$$d_1 = 210 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$a_2 = 200 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$a_3 = 200 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$d_5 = 200 \text{ มิลลิเมตร}$$

ดังนั้นจะได้พิกัดจุดปลายของเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ เป็น

$$P_x = -200c_1s_{234} + 200c_1c_{23} + 200c_1c_2$$

$$P_y = -200s_1s_{234} + 200s_1c_{23} + 200s_1c_2$$

$$P_z = -200c_{234} - 200s_{23} - 200s_2 + 210$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

โปรแกรมประมวลผลและแสดงผล

โปรแกรมที่นำมาประยุกต์ช่วยในการทำโครงการนี้ ได้แก่ โปรแกรม MPLAB IDE และโปรแกรม Visual Basic 6.0 เพราะบางครั้งการทำงานสิ่งไหนที่สามารถนำมาใช้แล้ว ทำให้เกิดการ ทำงานที่รวดเร็วขึ้น ก็ต้องพิจารณาเพื่อให้สอดคล้องกับการทำงาน ดังต่อไปนี้

6.1 โปรแกรม MPLAB IDE

โปรแกรม MPLAB IDE เป็นตัวคอมไพเลอร์ จะใช้ภาษาซีในการเขียนโปรแกรมซึ่งเป็นภาษาระดับสูงข้อดีคือเขียนง่ายและแก้ไขเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มเติมได้ง่าย ส่วนข้อเสียก็คือการทำงานจะช้า ขนาดโปรแกรมที่เขียนมีขนาดใหญ่

การออกแบบโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ dsPIC

เนื่องจากการทำงานของเครื่องบอทักัด 3 มิติ นั้น จำเป็นต้องอาศัยการประมวลผลของ การคำนวณที่มีความไวค่อนข้างมาก และมีหน่วยความจำที่ใช้มากพอสมควรเหล่านี้ทำให้ต้องเลือกใช้ เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์แบบดิจิทัลหรือ Digital Signal Processing (dsPIC) ก่อนอื่นจะขอกล่าว ข้อมูลเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบนี้ก่อน

ข้อมูลเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ dsPIC

dsPIC คือชื่อของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ 16 บิต มีชื่ออย่างเป็นทางการสำหรับไมโคร - คอนโทรลเลอร์อนุกรมใหม่นี้ว่า Digital Signal Controller หรือ DSP นั้นหมายความว่า dsPIC เป็น ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษ ซึ่งจะรวมเอาทุกอย่างเอาไว้ในตัวของมัน ไม่ว่าจะเป็น PROGRAM MEMORY, RAM, EEPROM, SERIAL, I²C, PWM, A/D ฯลฯ โดยไม่ จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอก ในตัวของ dsPIC จะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผลรวม ทั้งหน่วยความจำ ซึ่งทำให้มันเหมือนกับ CPU ตัวนี้จึงเพื่องานประมวลผลสัญญาณดิจิทัลสำหรับ สร้างระบบควบคุมอัตโนมัติที่มีความสามารถสูง



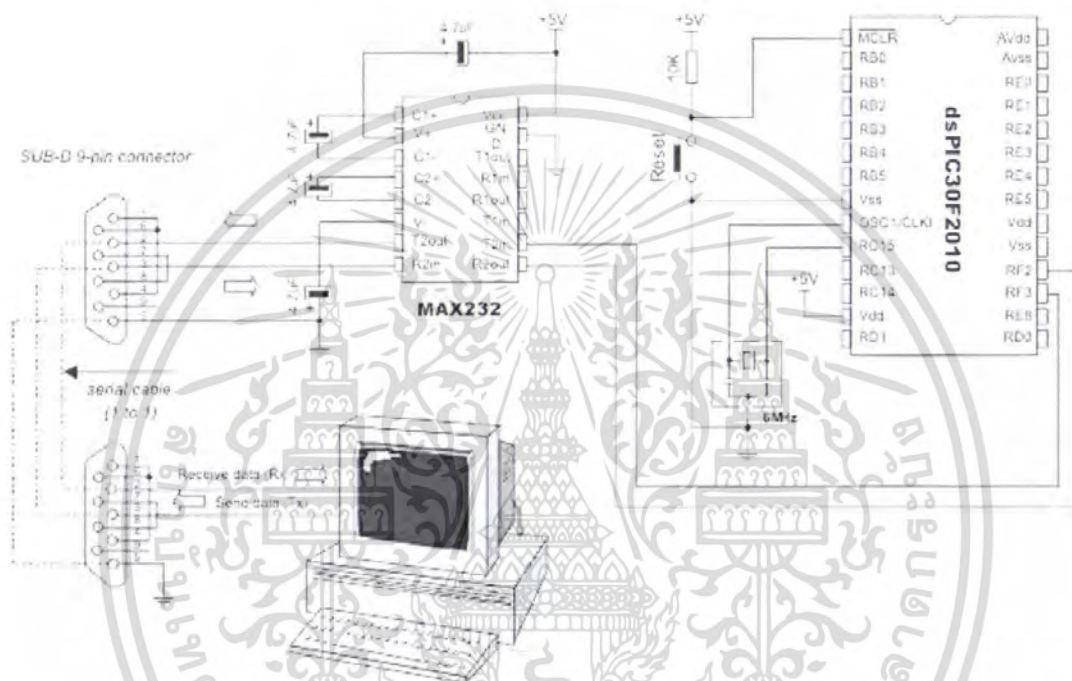
รูปที่ 6.1 dsPIC30F6010 80-Lead Plastic Thin Quad Flatpack (TQFP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

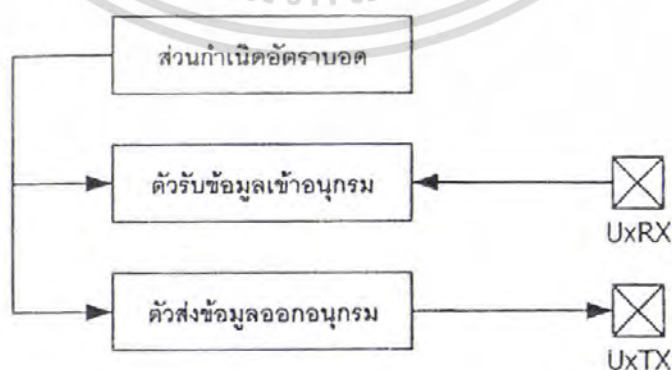
ในการใช้งานนั้นจะเลือกรุ่น dsPIC30F2010, dsPIC30F6010 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 28, 80 ขา สาเหตุที่ใช้รุ่นนี้เนื่องจากมีโมดูลครบตามความต้องการ คือ สื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมเพื่อรับข้อมูลจาก dsPIC ไปยังคอมพิวเตอร์, การเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรม (SPI), การเชื่อมต่อตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์ (QEI) ซึ่งรายละเอียดของโมดูลที่เลือกใช้มีดังนี้

6.1.1 โมดูล UART (RS232)

เป็นการสื่อสารข้อมูลอนุกรมระหว่าง dsPIC กับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม

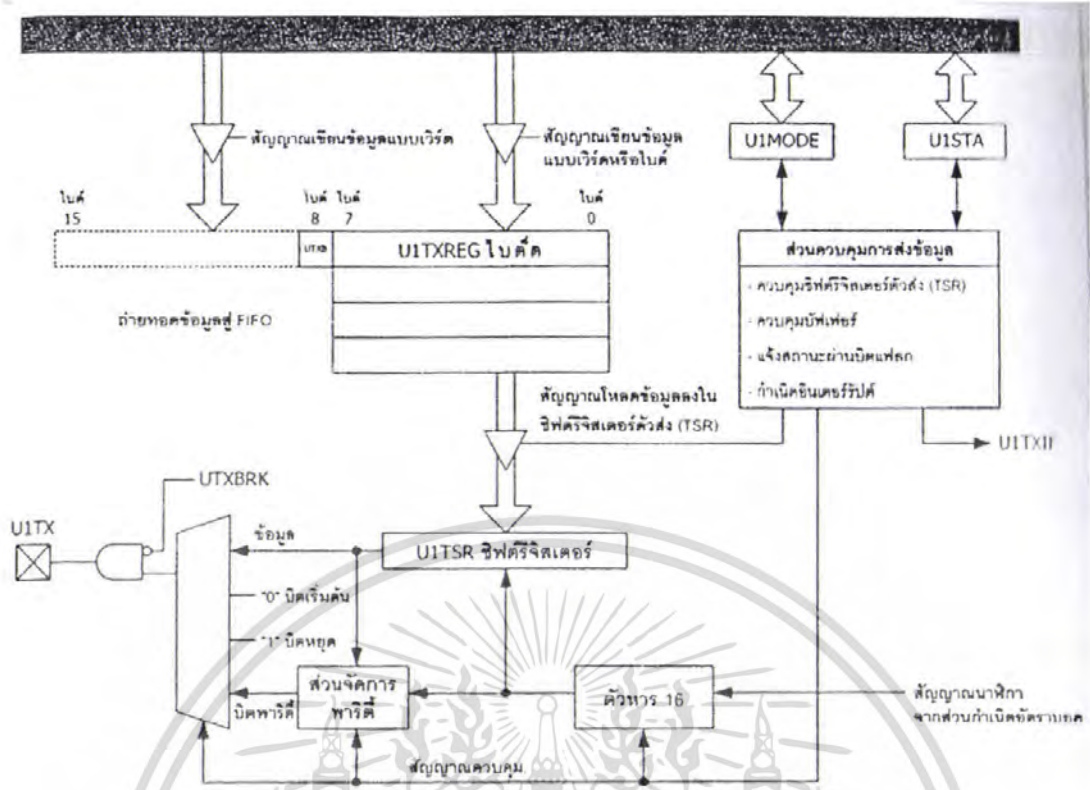


รูปที่ 6.2 วงจรการสื่อสารข้อมูลระหว่าง dsPIC30F2010 กับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม

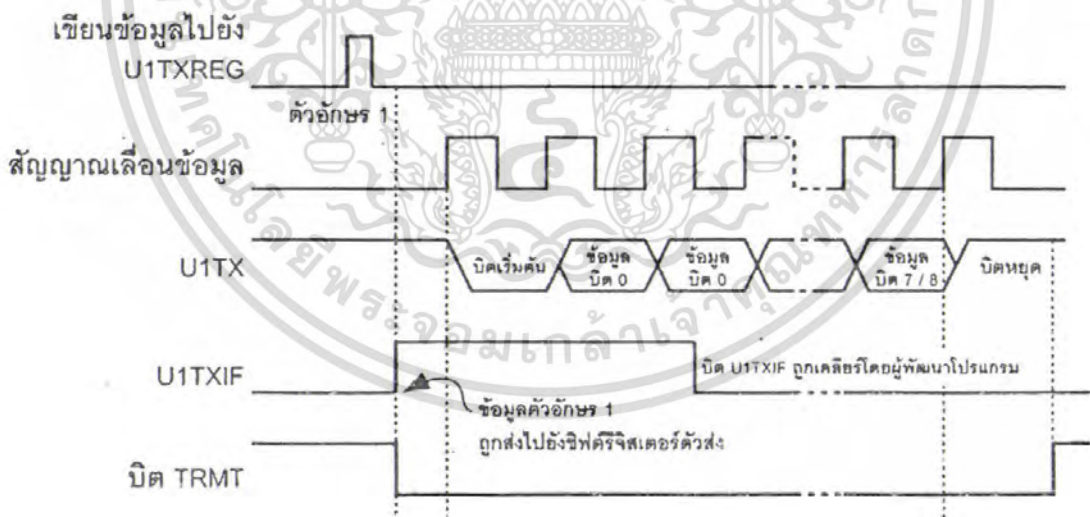


รูปที่ 6.3 ไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบหลักของโมดูล UART ในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

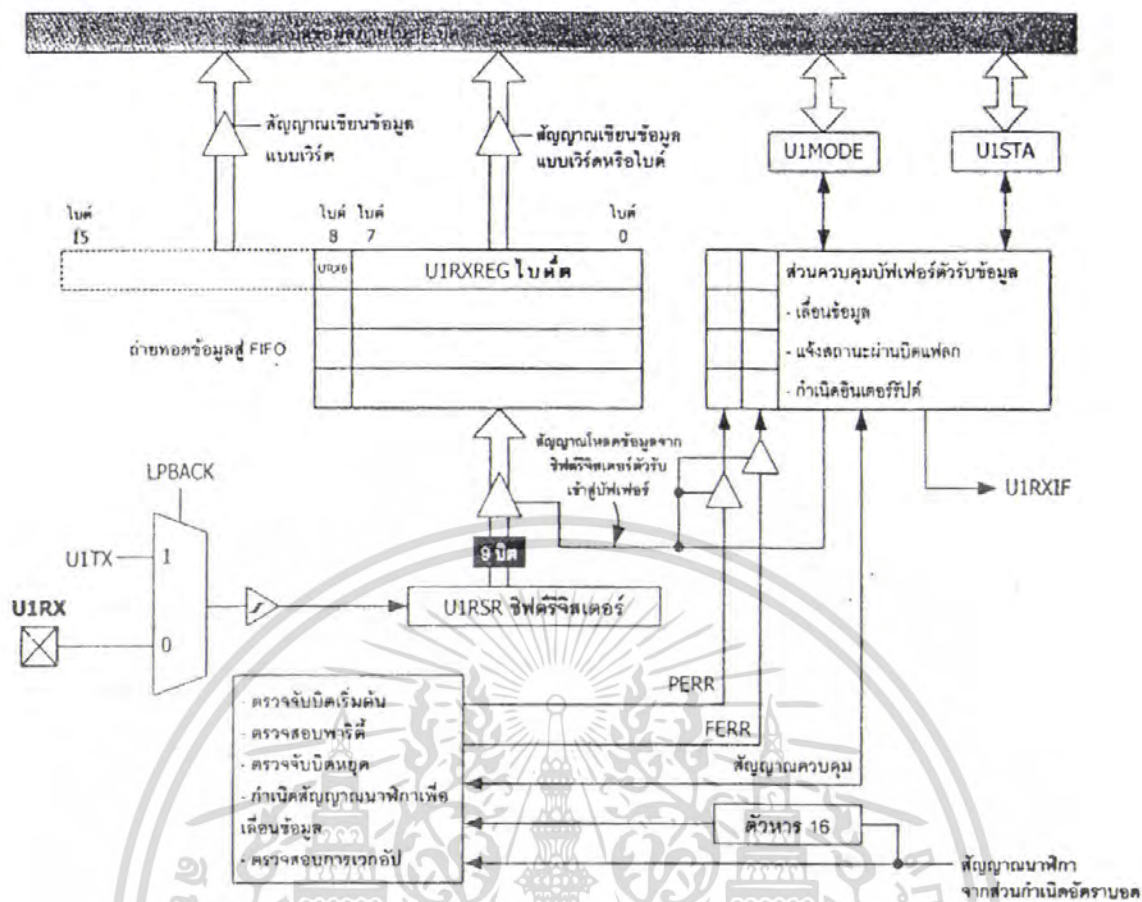


รูปที่ 6.4 ไดอะแกรมการทำงานของตัวส่งข้อมูลในโมดูล UART ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC

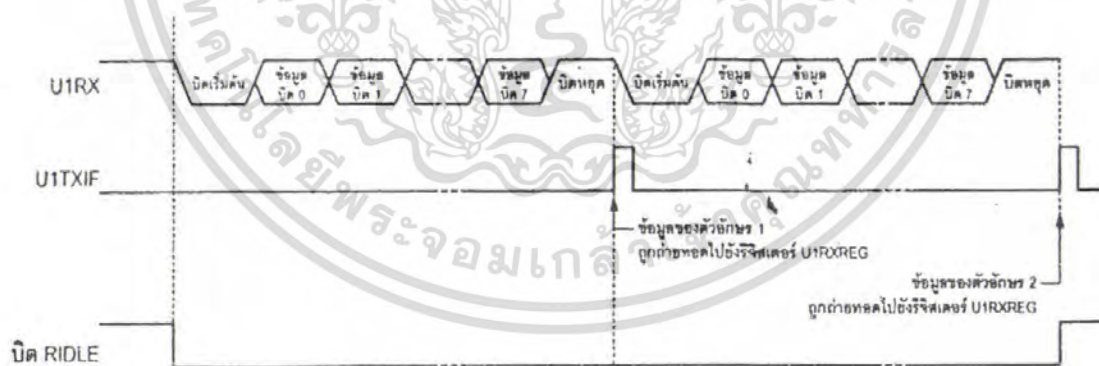


รูปที่ 6.5 ไดอะแกรมเวลาของการส่งข้อมูลใน โมดูล UART ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.6 ไดอะแกรมการทำงานของตัวรับข้อมูลในโมดูล UART ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC

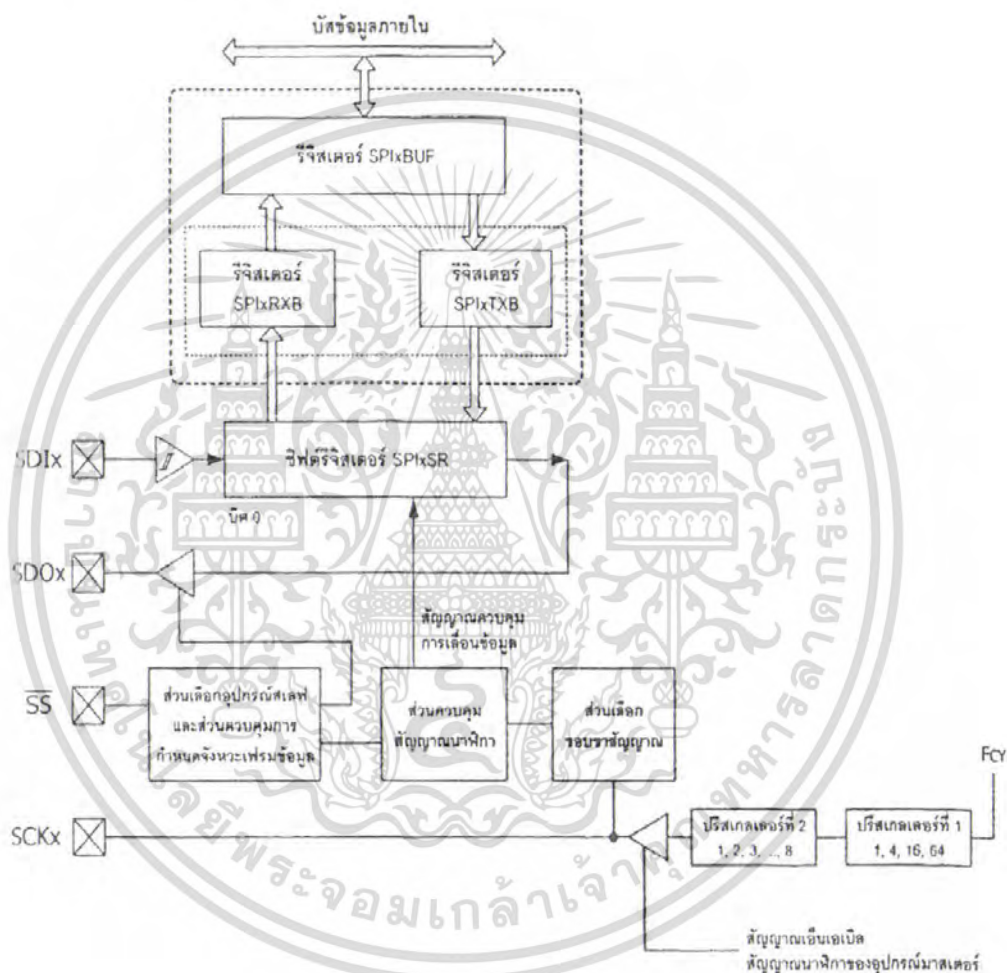


รูปที่ 6.7 ไดอะแกรมเวลาของการรับข้อมูลในโมดูล UART ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.2 โมดูลเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรม (SPI)

SPI หรือ Serial Peripheral Interface โดยโมดูลนี้จะช่วยอำนวยความสะดวกในการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกที่ระบบการติดต่อ SPI เหมือนกัน อาทิ หน่วยความจำอีอีพรอมอนุกรม IC วัดอุณหภูมิ, IC แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลหรือ แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอก เป็นต้น แต่ในโครงการนี้เราจะใช้ SPI ในการติดต่อระหว่าง dsPIC30F6010 กับ dsPIC30F2010 โดยให้ dsPIC30F6010 เป็น Master และ dsPIC30F2010 เป็น Slave

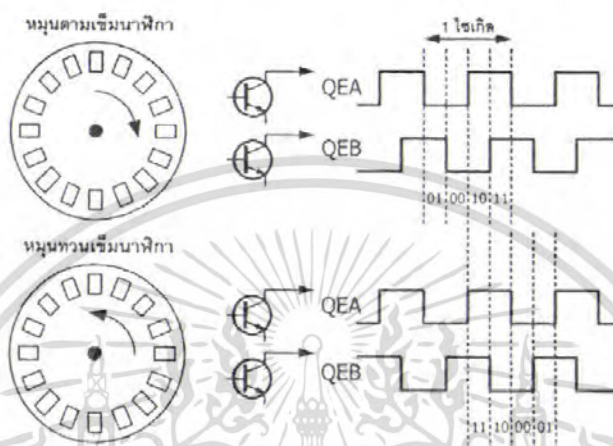


รูปที่ 6.8 ไตอะแกรมการทำงานของ SPI ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.3 โมดูลเชื่อมต่อตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์ (QEI)

QEI มาจาก Quadrature Encoder Interface เป็นโมดูลเชื่อมต่อตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจจับแบบหนึ่งที่ใช้ในการระบุตำแหน่ง และความเร็วในการเคลื่อนที่ของระบบ ควบคุมวงจรถ่ายรหัสแบบควอดราเจอร์จะให้ผลการทำงานเป็นสัญญาณ 2 เส้นคือ สัญญาณเฟส A และ B โดยสัญญาณทั้งสองมีเฟสต่างกันอย่างสา ดังแสดงตัวอย่างการทำงานพื้นฐานในรูปที่ 6.8



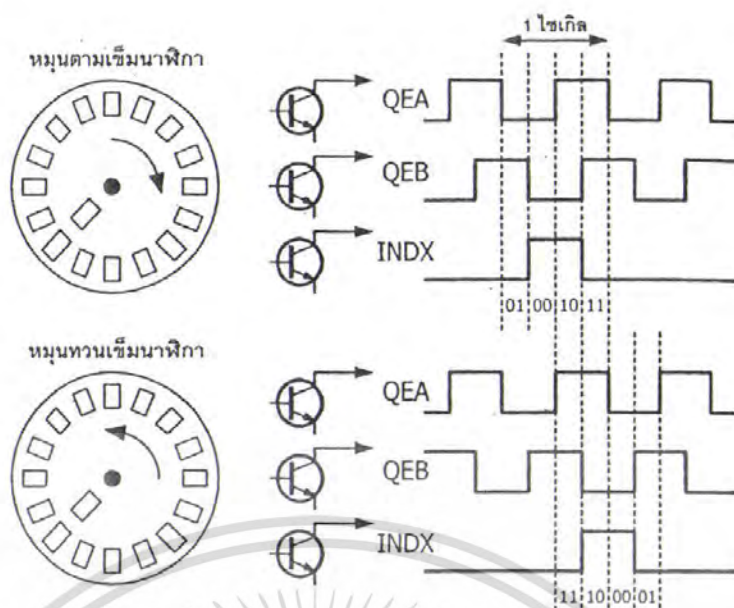
รูปที่ 6.9 ตัวอย่างการทำงานพื้นฐานของตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์

สิ่งที่ป็นข้อกำหนดหลักของการเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์คือ เฟสของสัญญาณตรวจจับทั้งสองต้องต่างกัน 90 องศา นั่นหมายความว่า ที่จวนรหัสต้องมีการกำหนดแถบสะท้อนแสงหรือขอบตัดแสงที่ทำให้จังหวะการตรวจจับมีเฟสต่างกัน 90 องศาด้วย

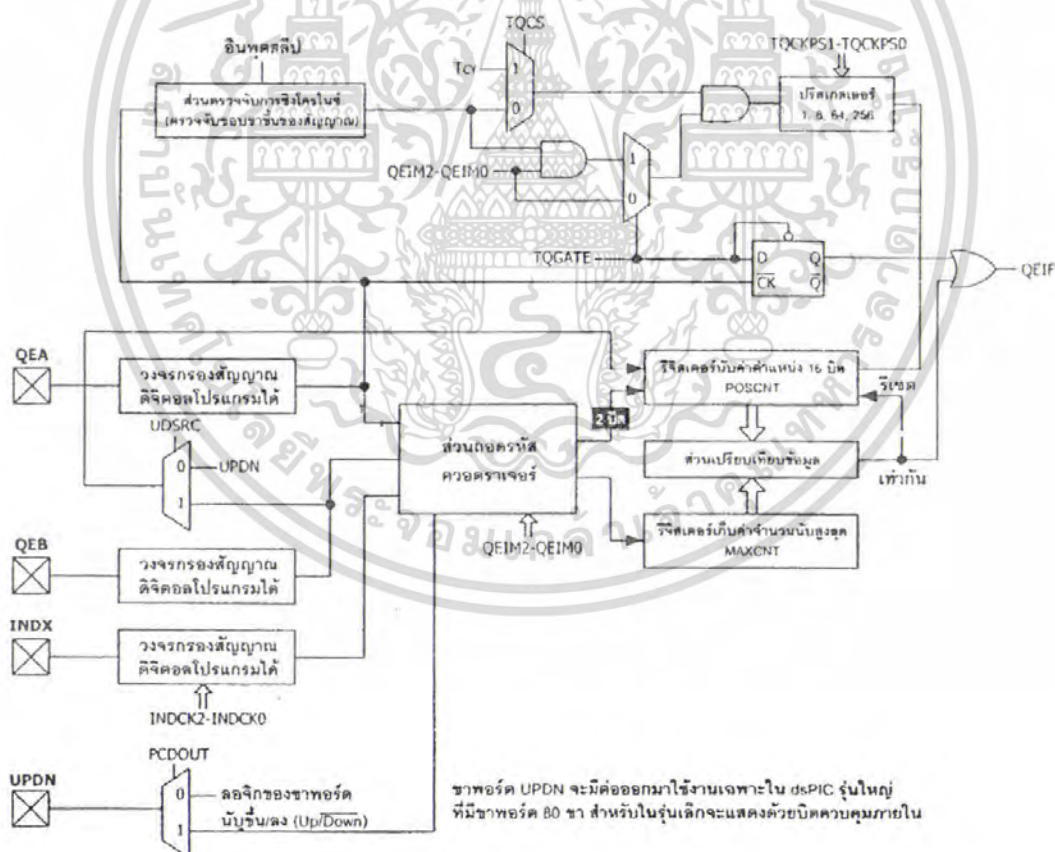
เมื่อย่างจวนเข้ารหัสทำงานจะส่งสัญญาณพัลส์ออกมาที่สัมพันธ์กับความเร็วและทิศทาง ในกรณีที่เป็นวงจรถ่ายรหัสแบบควอดราเจอร์จะให้สัญญาณข้อมูลดิจิทัล 1 ไชเกิดออกมา 4 ค่าคือ 01, 00, 10 และ 11 เมื่อจวนเข้ารหัสถูกหมุนไปในทิศทางหนึ่งกับ 11, 10, 00 และ 01 เมื่อจวนเข้ารหัสถูกหมุนไปในอีกทิศทางหนึ่ง ถ้าหากสัญญาณเฟส A นำหน้าเฟส B นั้นหมายความว่าทิศทางการหมุนเป็นบวกหรืออาจพิจารณาว่าเป็นการหมุนไปข้างหน้าก็ได้ ในทางตรงข้ามหากสัญญาณเฟส A ตามหลังเฟส B ทิศทางการหมุนจะเป็นลบ

ใน dsPIC ได้บรรจุโมดูลสำหรับเชื่อมต่อวงจรถ่ายรหัสแบบนี้ไว้ด้วยมีชื่อว่า โมดูล QEI สามารถรองรับกับสัญญาณจากวงจรถ่ายรหัสทั้งสองเฟส โดยต่อเข้าที่อินพุต QEA สำหรับสัญญาณเฟส A และอินพุต QEB สำหรับสัญญาณเฟส B และสามารถรับสัญญาณชี้ตำแหน่งโดยใช้อินพุต IDX โมดูล QEI มีหน้าที่หลักคือ ถอดรหัสของสัญญาณเฟสและสัญญาณชี้ตำแหน่งออกมาเป็นข้อมูลของจำนวนสัญญาณพัลส์ที่นับได้ โดยค่าของการนับควรจะเพิ่มขึ้นเมื่อแกนหมุนไปในทิศทางเดิมและลดลงเมื่อกลับทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.10 ตัวอย่างการทำงานของตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์ที่มีพัลส์อินเด็กซ์



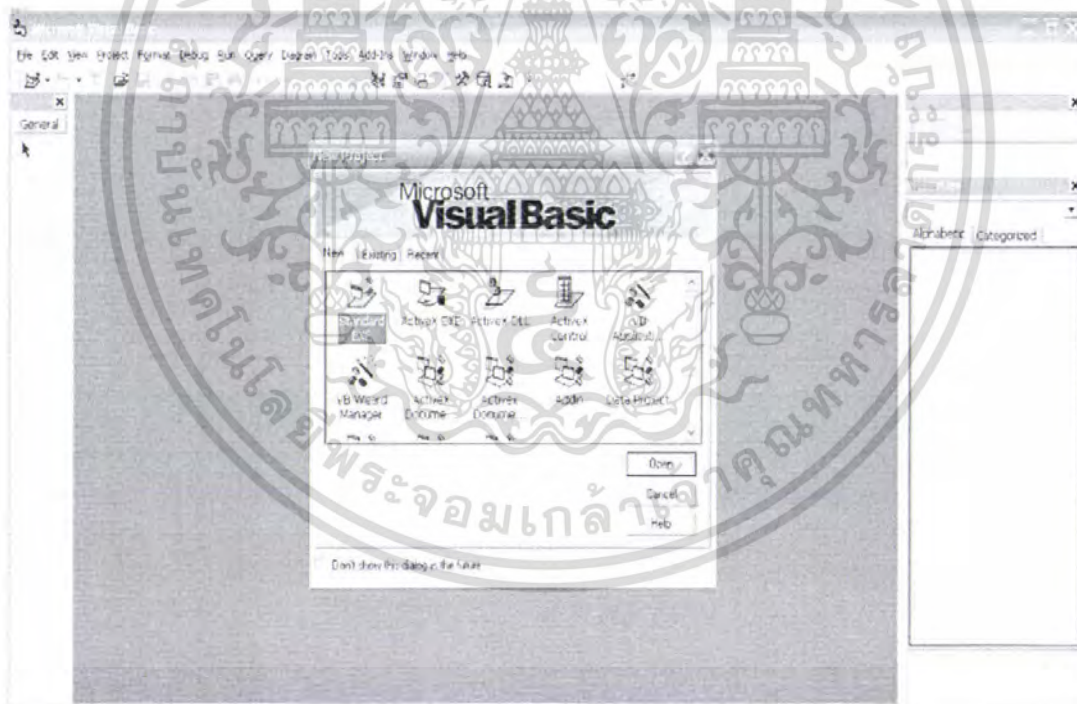
รูปที่ 6.11 ไตอะแกรมแสดงส่วนประกอบและการทำงานของโมดูล QEI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 โปรแกรม Visual Basic 6.0

โปรแกรม Visual Basic 6.0 เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้งานพัฒนาโปรแกรมบนระบบ Windows เนื่องจาก เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้เทคโนโลยีในลักษณะ Visualize นั่นก็คือ จะสะดวกในการหีบเครื่องมือที่โปรแกรมได้จัดเตรียมไว้ให้สำหรับออกแบบหน้าจอและสิ่งต่าง ๆ สำหรับในการเขียนโปรแกรมให้เรียบร้อย ซึ่งแตกต่างจากสมัยก่อนเวลาจะออกแบบหน้าจอก็ยังจะต้องมานั่งเขียน Source Code ให้ลำบาก

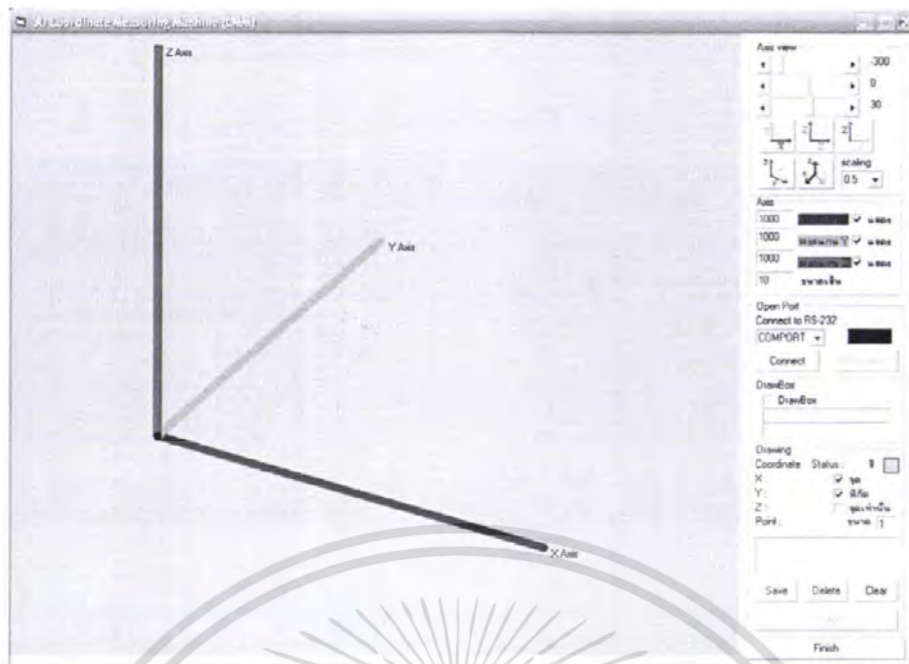
Visual Basic เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมขึ้นใช้งานที่ใช้ได้ตั้งแต่ระดับต้นเพื่อใช้สร้างโปรแกรมง่าย ๆ บน Windows หรือโปรแกรมเมอร์ระดับกลาง ที่จะเรียกใช้ฟังก์ชันต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนโปรแกรมเมอร์ระดับมืออาชีพ ที่จะพัฒนาโปรแกรมในระดับสูง โดยการใช้ Object Linking and Embedding (OLE) และ Application Programming Interface (API) ของระบบ windows มาประกอบการเขียนโปรแกรม



รูปที่ 6.12 แสดงลักษณะรูปร่างของโปรแกรม Visual Basic 6.0

ในที่นี้เราจะใช้ซอฟต์แวร์ Visual Basic 6.0 ในการเชื่อมต่อกับเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ เพื่อรับค่านำไปประมวลผลเป็นตำแหน่ง (x, y, z) แล้วจึงนำค่าที่ได้ไปสร้างเป็นภาพ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.13 แสดงลักษณะ โปรแกรมที่ใช้กับเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ

หลักการการทำงานของโปรแกรมประมวลผลและแสดงผล

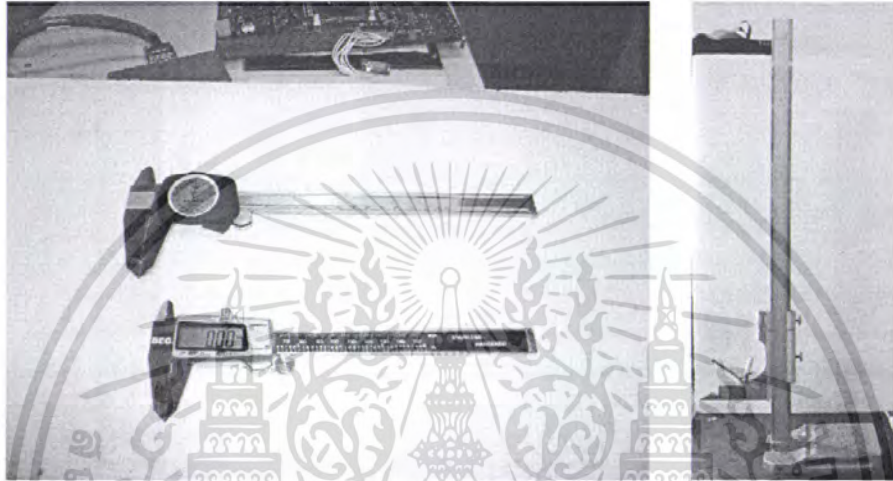
1. การทำงานของโปรแกรมประมวลผลและแสดงผลนี้ จะเป็นการรับข้อมูลที่เป็นค่าตำแหน่งมาจากเซนเซอร์ทั้ง 4 ตัวที่ประมวลผลใน dsPIC ผ่านทางพอร์ต RS232
2. ค่าตำแหน่งของการวัดมุมที่วัดได้ทั้ง 4 มุม จะถูกส่งไปทำการคำนวณด้วยวิธีทางจลนศาสตร์ (Kinematic) โดยฟังก์ชันการคำนวณใน โปรแกรม Visual Basic 6.0 ข้อมูลที่ได้ออกมาจะเป็นค่าพิกัดจุดปลายของหัววัด(X, Y, Z) ซึ่งข้อมูลนี้จะถูกเก็บค่าเมื่อกดปุ่ม save และแสดงผลออกมาเป็น 3 มิติเมื่อกดปุ่ม draw

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การสอบเทียบ (Calibration)

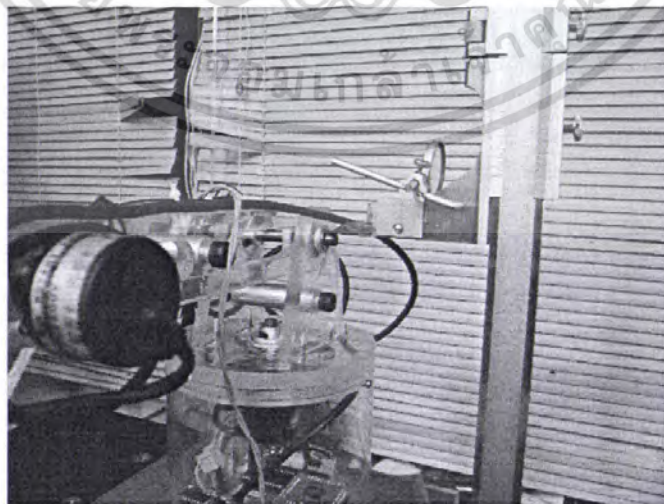
การสอบเทียบ คือ การนำเครื่องมือที่ใช้งานมาวัดเปรียบเทียบกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์มาตรฐานที่มีค่าความถูกต้องสูงกว่าภายใต้สภาวะที่กำหนด ทำให้สามารถประมาณค่าผิดพลาดของเครื่องมือหรืออุปกรณ์นั้นๆได้



รูปที่ 7.1 รูปแสดงเครื่องมือวัดที่ใช้ในการสอบเทียบ

ขั้นตอนการสอบเทียบ

1. เริ่มต้นหาค่า d_1 ที่แท้จริงด้วยเครื่องมือวัดมาตรฐาน โดยจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า High Gauge และเวอร์เนียในการวัด



รูปที่ 7.2 แสดงวิธีการหา d , ด้วยเครื่องมือ High Gauge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. จากนั้นปรับค่า a_2 และ θ_2 จากการวัดค่าซ้ำ ๆ กลับไปกลับมา เพื่อให้เกิดค่าผิดพลาดน้อยที่สุด
3. เมื่อได้ค่า d_1 , a_2 และ θ_2 แล้ว นำมาหาค่า a_3 และ θ_3 โดยทำเหมือนกับข้อ 2 โดยปรับค่าทั้งสองให้เกิดค่าผิดพลาดที่น้อยที่สุด
4. จากนั้นนำค่าที่ได้จากข้อ 2 และ ข้อ 3 มาแทนในสมการจลนศาสตร์ไปข้างหน้าแล้วหาค่า d_3 และ θ_4 เหมือนกับข้อ 2 และ ข้อ 3
5. จากนั้น หาค่า θ_1 โดยนำค่าทั้งหมดมาแทนในสมการจลนศาสตร์ไปข้างหน้าแล้วหาค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นน้อยที่สุดของ θ_1

ตารางที่ 7.1 แสดงค่า error ที่ $d_1 = 208.62$ $a_2 = 199.2591956$

Z_3	Z_2	e_z
208.62	209.12	-0.5
283.76	283.95	-0.19
344.44	344.75	-0.31
381.24	381.2	0.04
408.20	407.88	0.32
382.1	382.2	-0.1
357.88	358.17	-0.29
302.2	302.85	-0.65
208.66	209.12	-0.46

ตารางที่ 7.2 แสดงค่า error ที่ $d_1 = 208.62$ $a_2 = 199.2591956$ $a_3 = 199.7591956$

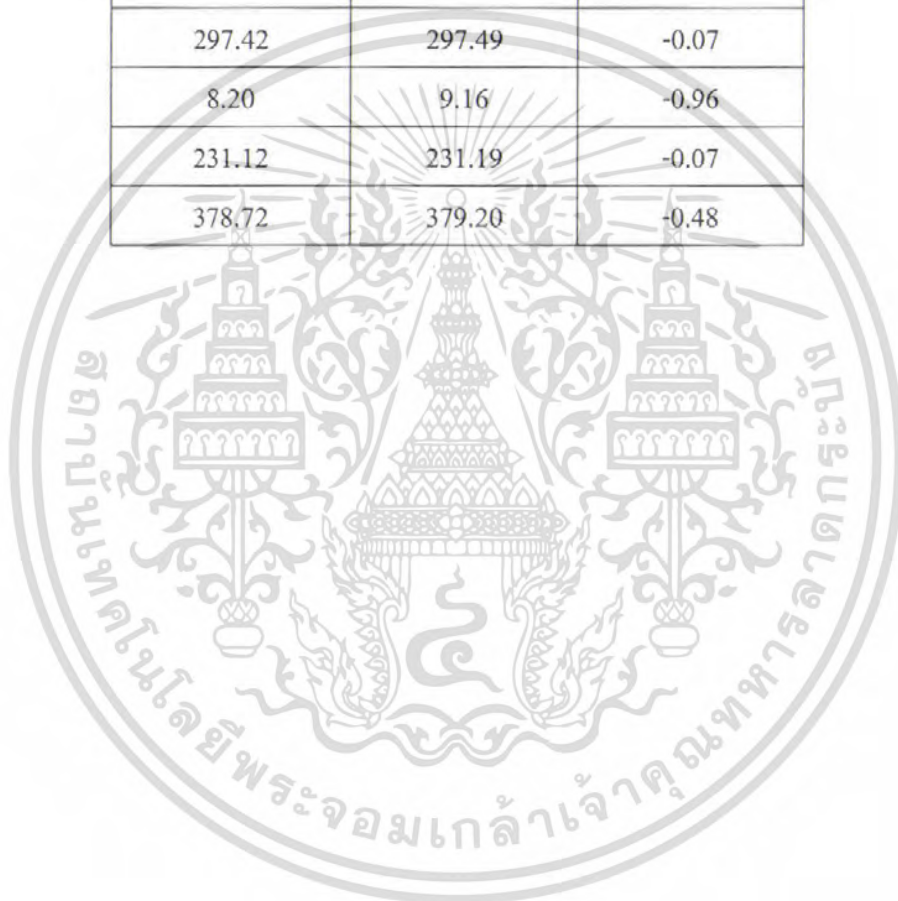
Z_3	Z_2	e_z
19.62	20.26	-0.64
80.5	81.18	-0.68
196.1	195.71	0.39
234.74	234.57	0.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

376.1	375.77	0.33
439.94	439.02	0.92

ตารางที่ 7.3 แสดงค่า error ที่ $d_5 = 198.6807865$

Z_R	Z_D	e_z
137.78	138.70	-0.92
192.50	192.83	-0.33
297.42	297.49	-0.07
8.20	9.16	-0.96
231.12	231.19	-0.07
378.72	379.20	-0.48



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

การทดลองและผลการทดลอง

หลังจากการสอบเทียบความถูกต้องของเครื่องบอกพิกัด 3 มิติแล้ว จากนั้นทำการทดลอง โดยการนำเครื่องบอกพิกัดไปวัดจุด ๆ หนึ่งที่รู้ตำแหน่งแน่นอน จากการวัดด้วยเวอร์เนียร์ที่ได้มาตรฐานจุด ๆ นั้นคือ $X = 68.68 \text{ mm}$, $Y = 18.53 \text{ mm}$, และ $Z = 10.3 \text{ mm}$.

ตารางที่ 8.1 แสดงข้อมูลพิกัด X, Y, Z ที่วัดได้จากเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ

X	Y	Z
69.24	18.15	9.37
69.38	18.19	9.16
69.26	18.15	9.18
69.25	18.15	9.19
69.03	18.09	9.15
69.10	18.11	8.98
69.45	18.20	9.41
68.86	21.37	10.18
68.76	18.72	9.04
68.78	18.72	9.21
68.95	18.77	9.10
68.82	21.46	10.26
68.83	21.46	10.25
68.90	21.48	9.79
68.77	21.44	9.55
68.64	20.65	9.22
68.60	20.63	9.24
68.50	20.60	9.17
68.44	20.59	9.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

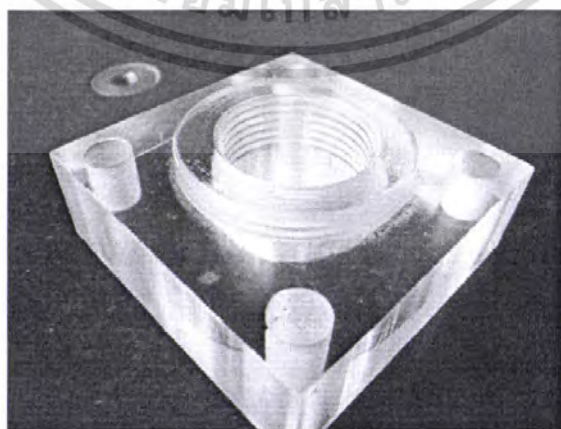
จากการทดลองการวัดค่าที่ตำแหน่งเดิมจะได้ ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 68.92\text{mm}$, $\bar{Y} = 19.62\text{mm}$. และ $\bar{Z} = 9.4\text{ mm}$. ดังนั้นจะได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ $X = 0.24\text{ mm}$, ที่ $Y = 1.09\text{ mm}$. และ ที่ $Z = 0.9\text{ mm}$.

ตัวอย่างการใช้งานเครื่องบอกพิทช์ 3 มิติ

ในการใช้งานเครื่องบอกพิทช์ 3 มิตินั้น เราต้องนำเครื่องไปติดตั้งกับแท่นหินฉากเพื่อใช้เป็นระนาบอ้างอิง



รูปที่ 8.1 รูปแสดงลักษณะการใช้งานเครื่องบอกพิทช์



รูปที่ 8.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวัดตำแหน่งของชิ้นงานต้นแบบ ผู้ใช้งานสามารถที่จะบันทึกค่าพิกัดที่ได้จากการวัด โดยกดปุ่ม save ในหน้าของโปรแกรม Visual Basic 6.0 เมื่อได้พิกัดต่างๆตามที่ต้องการแล้วกด draw ก็จะสามารถสร้างเส้นจากจุดถึงจุด



รูปที่ 8.3 ลักษณะของรูปที่ได้จากเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9

ปัญหา แนวทางการแก้ไข และข้อเสนอแนะ

ปัญหาที่พบในโรงงาน

1. เครื่องบอกพิทช์ 3 มิติ เกิดค่าความคลาดเคลื่อนของทางด้านตัวเครื่อง เช่น การเคลื่อนตัวของตัวเครื่อง และ การสร้างตัวเครื่อง
2. เวลาสอบเทียบเครื่องมือวัดเกิดค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากตัวผู้วัดและสภาพแวดล้อม
3. เนื่องจากเครื่องบอกพิทช์ใช้เพียง 4 แกนเท่านั้น ทำให้การเข้าถึงชิ้นงานที่มีจำกัด จึงทำให้ค่าที่วัดได้เกิดความคลาดเคลื่อนหรือไม่สามารถวัดได้เลย

แนวทางการแก้ไขและข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากเวลาสร้างเครื่องบอกพิทช์ 3 มิติ เราไม่สามารถสร้างได้ตามทฤษฎี จึงต้องทำการสอบเทียบ (calibration) ให้ได้ผลที่ผิดพลาดน้อยที่สุด
2. เครื่องบอกพิทช์ 3 มิติ ที่มี 4 แกน ไม่สามารถเข้าถึงชิ้นงานที่ซับซ้อนมากได้ ถ้าจะทำให้สามารถเข้าถึงชิ้นงานที่ซับซ้อน ได้จำเป็นจะต้องมีทั้งหมด 6 แกน จึงจะสามารถเข้าถึงชิ้นงานได้
3. เอน โคลเดอร์ที่ใช้ยังมีความละเอียดต่ำ ถ้าใช้เอน โคลเดอร์ที่มีความละเอียดสูงมากขึ้นจะทำให้เครื่องบอกพิทช์มีความละเอียดมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] ชีรศักดิ์ สุโชตินันท์, ประยุทธ์ อินแบน “ โปรแกรมเมอร์มือใหม่ หัดเขียนโปรแกรม ”
- [2] อภิชาติ ภู่อัลป์ “เริ่มต้นเขียนโปรแกรมติดต่อกับควบคุมฮาร์ดแวร์ด้วย Visual Basic 6.0”
- [3] จักรกฤษณ์ พิเศษผล, พิชิต สันติภูพานนท์ “คู่มือเรียน Visual Basic 6.0”
- [4] นคร ภัคดีชาติ, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล “dsPIC microcontroller: Basic experiment in C programming with MPLAB C30” Innovative Experiment Co.,Ltd.
- [5] John J. Craig , Introduction to Robotics Mechanics and Control : Prentice Hall@2001
- [6] วิบูลย์แสงวีระพินธุศิริ, กิตติศักดิ์ บุญยังคุณ, “เครื่องวัดพิทช์ 3 มิติ แบบข้อต่อ 6 แกน” จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545
- [7] รศ.ดร. มนัส สังวรศิลป์, วรรัตน์ ภัทรอมรกุล, “คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์” สำนักพิมพ์ อิน โฟเพรส, 2543
- [8] http://www.9engineer.com/9aumain/Drives/ServoDriveSystem_2.htm
- [9] www.cimcore.com
- [10] www.wanzel.com
- [11] www.brownandsharpe.com
- [12] www.borboffametrolgy.com
- [13] www.hexagonmetrology.com.cn/en/cpindex.asp
- [14] www.mitutoyo.com
- [15] www.michiganmeasurement.com
- [16] www.tarus.com
- [17] www.wanzel.com
- [18] <http://jamesrobotics.wordpress.com/robot->

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

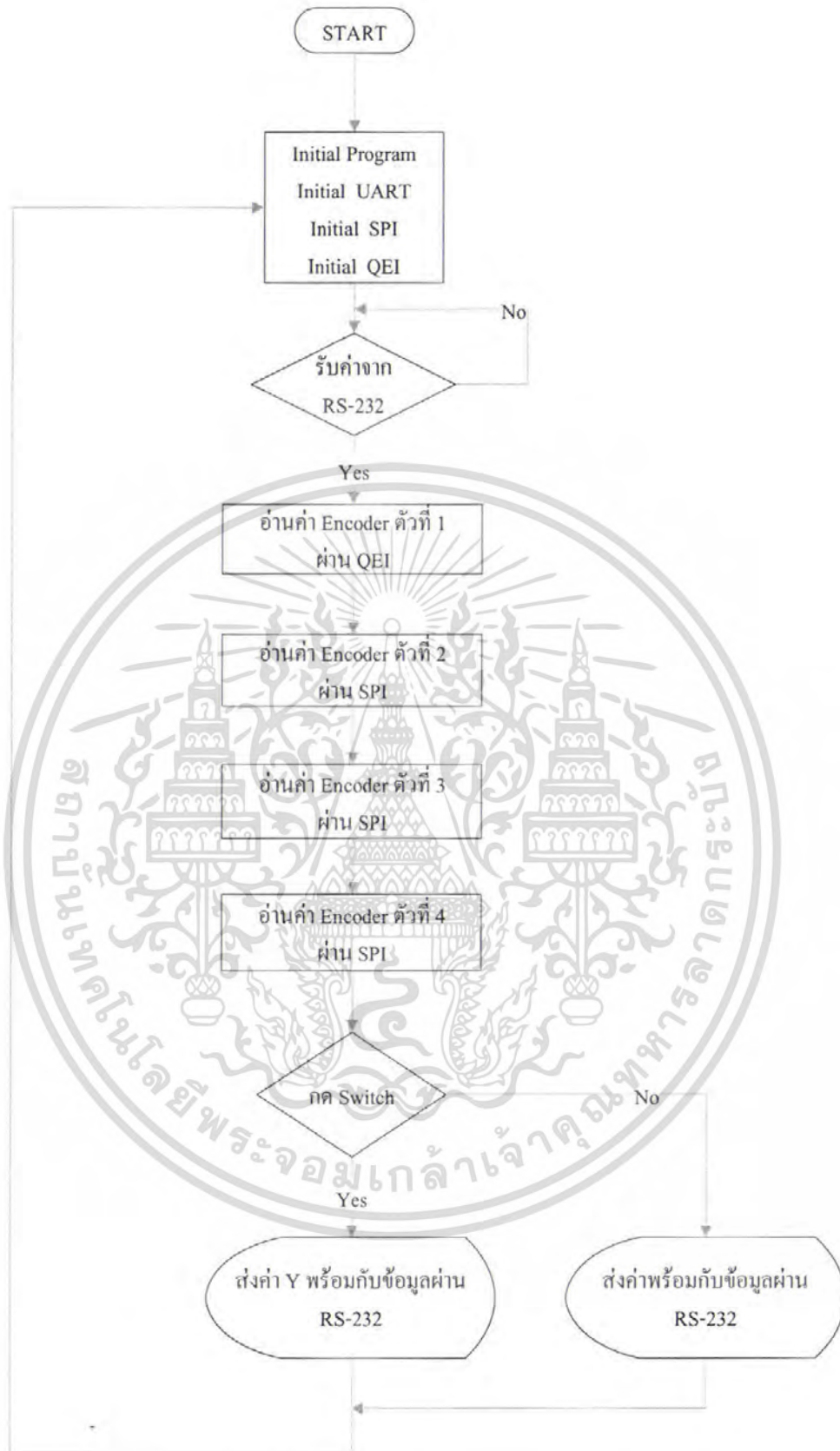
ภาคผนวก ก

โปรแกรมประมวลผลบนไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC และ โปรแกรมแสดงผล Visual Basic 6.0

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6010 (Master)
2. ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 (Slave)
3. Visual Basic 6.0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Flowchart ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6010 (Master)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6010 (Master)

```
#include<p30f6010.h>
#include<uart.h>
#include<stdio.h>
#include <print.c>
#include <spi.c>
#include <QEI.c>

unsigned int In_key;
char In_key_Fax ;
char Buf[10];
char One;
void delay_ms(unsigned int ms)
{
    unsigned int x; // Keep for counter loop
    char a;
    for(x=0;x<ms;x++)
    {
        for(a=0;a<2;a++); // Loop for delay 1 millisecc per unit
    }
}
void _ISR_QEIInterrupt(void)
{
    POSCNT = 0; // Clear position count
    IFS2bits.QEIIF = 0; // Clear QEI interrupt flag
}
//////////////////////////////// TX1 RX1 //////////////////////////////////
void __attribute__((__interrupt__)) _U1TXInterrupt(void)
{
    IFS0bits.U1TXIF=0;
}
void __attribute__((__interrupt__)) _U1RXInterrupt(void)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    IFS0bits.U1RXIF=0;
}

void __attribute__((__interrupt__)) _SPI1Interrupt(void)
{
    IFS0bits.SPI1IF = 0;          // Clear SPI1 interrupt flag
}

#define SS1 1
#define SS2 2
#define SS3 3

#define Mode1 1
#define Mode2 2

// #define ZERO PORTBbits.RB3
#define SAVE PORTFbits.RF5

unsigned int Value_SS1;
unsigned int Value_SS2;
unsigned int Value_SS3;
unsigned int Value_M;

unsigned int BB1;
unsigned int CC1;

unsigned int SPI1_Sent_Data_Recive( unsigned int Data_in_SPI,unsigned char SS){
    unsigned int BB1;
    if(SS == 1 ){ CUP1 delay_ms(1);}
    if(SS == 2) { CUP2 delay_ms(1);}
    if(SS == 3) { CUP3 delay_ms(1);}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

WriteSPI1( Data_in_SPI);
while(SPI1STATbits.SPITBF);
delay_ms(1);
while(!DataRdySPI1());
BB1 = ReadSPI1();

if(SS == 1){ CUP1_DE delay_ms(1);}
if(SS == 2) { CUP2_DE delay_ms(1);}
if(SS == 3) { CUP3_DE delay_ms(1);}

return ( BB1);
}

void Read_Encoder_SS1(){
Value_SS1 = SPI1_Sent_Data_Recive( Mode1,SS1 ); delay_ms(300);
Value_SS1 = SPI1_Sent_Data_Recive( Mode2,SS1 ); delay_ms(300);
Value_SS1 = SPI1_Sent_Data_Recive( Mode2,SS1 ); delay_ms(300);
}

void Read_Encoder_SS2(){
Value_SS2 = SPI1_Sent_Data_Recive( Mode1,SS2 ); delay_ms(300);
Value_SS2 = SPI1_Sent_Data_Recive( Mode2,SS2 ); delay_ms(300);
Value_SS2 = SPI1_Sent_Data_Recive( Mode2,SS2 ); delay_ms(300);
}

void Read_Encoder_SS3(){
Value_SS3 = SPI1_Sent_Data_Recive( Mode1,SS3 ); delay_ms(300);
Value_SS3 = SPI1_Sent_Data_Recive( Mode2,SS3 ); delay_ms(300);
Value_SS3 = SPI1_Sent_Data_Recive( Mode2,SS3 ); delay_ms(300);
}

unsigned int Wait_And_Read_Data(){
unsigned int Data_out ;
while ( 0 != getsUART1 ( 1,Buf,6000) );
Data_out = atoi ( Buf );
return ( Data_out );
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

void Start_Program()
{
    TRISBbits.TRISB2 = 0;
    TRISGbits.TRISG9 = 0;
    TRISCbits.TRISC14 = 0;
    SAVE = 1;
    TRISFbits.TRISF5 = 1;
}

```

```

//////////////////////////////////// Main Program //////////////////////////////////////

```

```

int main(void)
{
    unsigned int Data;
    Start_Program();
    uart1_init();
    spi_init();
    qei_init();
    EnableIntQEI;

    while(1) {

        Data = Wait_And_Read_Data();

        Read_Encoder_SS1();
        Read_Encoder_SS2();
        Read_Encoder_SS3();
        Value_M = ReadQEI(); // Read position count
        if ( SAVE==0){

            printf("GY=%d=%d=%d=%dV\r",Value_M,Value_SS1,Value_SS2,Value_SS3);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

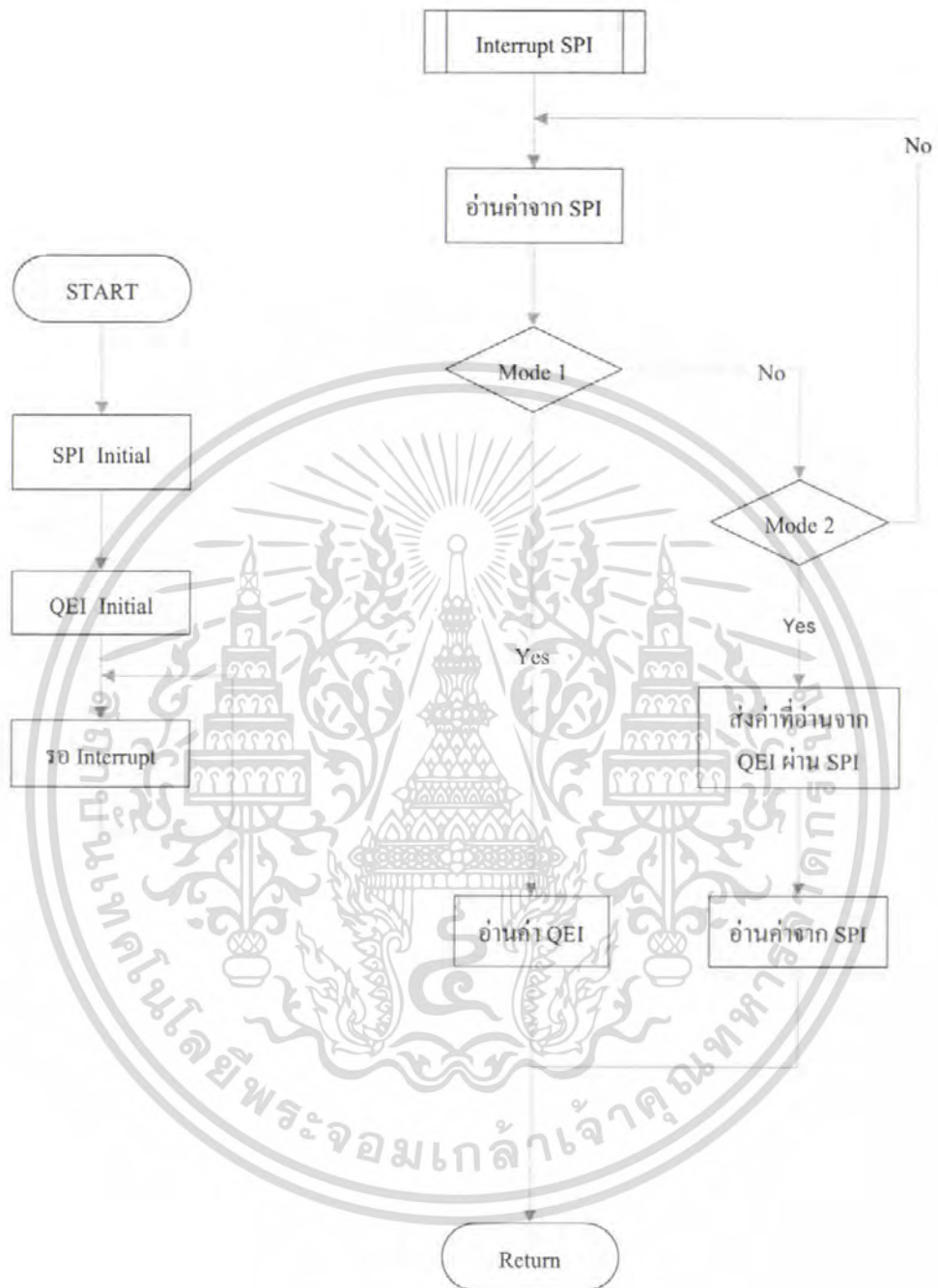
        delay_ms(200);
        while (SAVE==0){delay_ms(100);}
    }
else{

printf("GN=%d=%d=%d=%dV\r",Value_M,Value_SS1,Value_SS2,Value_SS3);
    }
}
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



FlowChart ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 (Slave)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 (Slave)

```
#include <p30f2010.h>
#include <SPI.c>
#include <QEI.c>
#define Mode1          1
#define Mode2          2

/////////////////////////////////////////////////////////////////

unsigned int    Data_SPI ;
unsigned int    Count;

void _ISR_QEInterrupt(void)
{
    IFS2bits.QE1IF = 0;          // Clear QE1 interrupt flag
}

//-----//
//----- Interrupt service routine for SPI1 -----//
//-----//

void __attribute__((__interrupt__)) _SPI1Interrupt(void)
{
    while(!DataRdySPI1());
    Data_SPI = ReadSPI1();
    switch (Data_SPI) {
        case Mode1 :
            Count = ReadQE1();
            break;
        case Mode2:
            while(!DataRdySPI1());
                WriteSPI1(Count);
                Data_SPI = ReadSPI1();
            break;
    }
    IFS0bits.SPI1IF = 0;
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

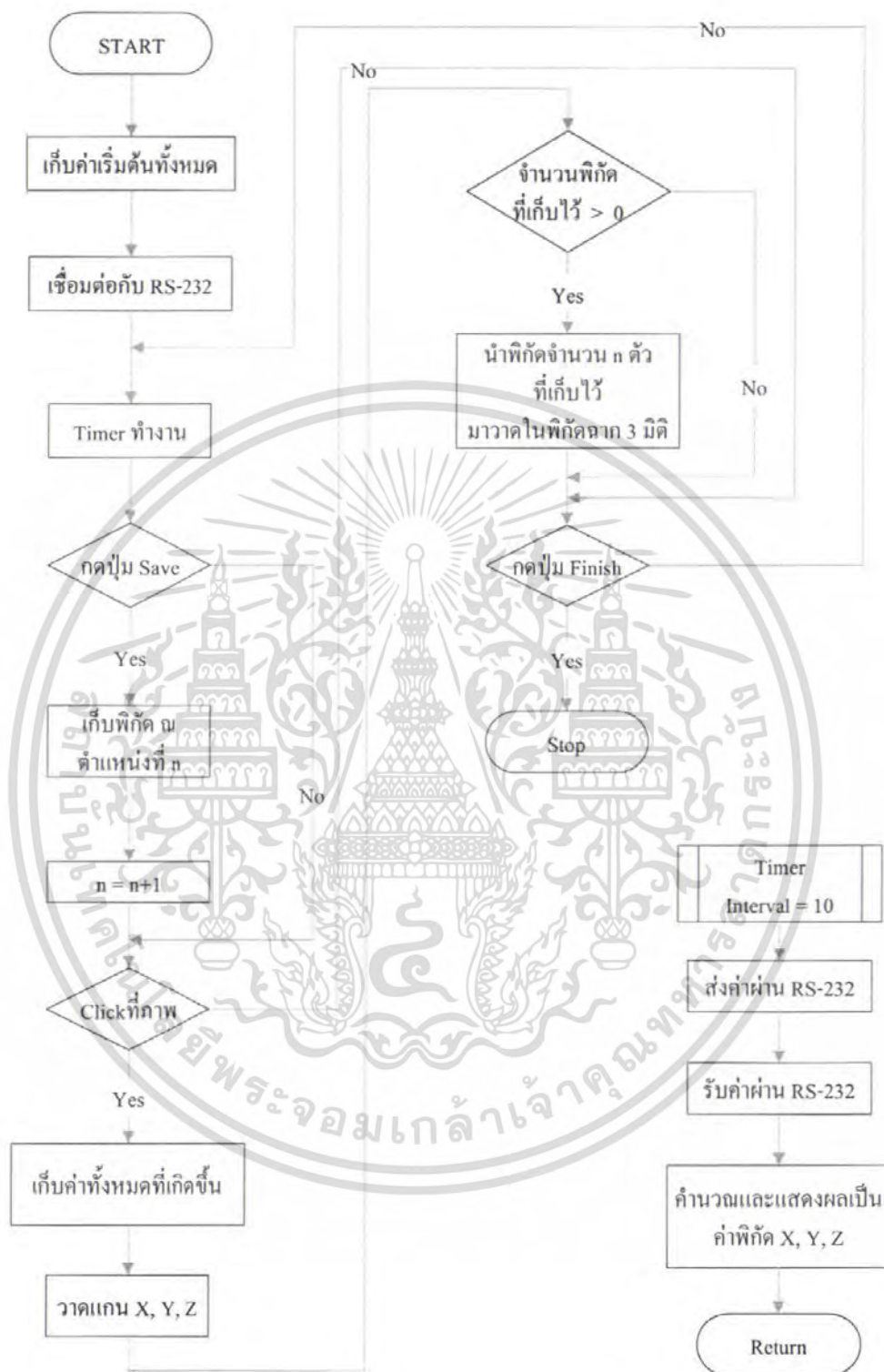
//-----//
//----- Main Program -----//
//-----//

int main(void)
{
    int Count=0;
    SPI1_init();
    qei_init();
    EnableIntQEI;
    while(1)           // Infinite loop
    {
    }
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Flowchart ของโปรแกรมแสดงผล Visual Basic 6.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าหลักของโปรแกรม Visual Basic 6.0

Option Explicit

Dim count1 As Integer

Private Sub Command1_Click(Index As Integer)

Select Case Index

Case 0:

Rotage_X = 0: Rotage_Y = 0: Rotage_R = 0

Case 1:

Rotage_X = 0: Rotage_Y = 0: Rotage_R = 90

Case 2:

Rotage_X = 90: Rotage_Y = 0: Rotage_R = 90

Case 3:

Rotage_X = 0: Rotage_Y = 30: Rotage_R = -300

Case 4:

Rotage_X = 0: Rotage_Y = 135: Rotage_R = -315:

End Select

HScroll1(0).Value = Rotage_X

HScroll1(1).Value = Rotage_Y

HScroll1(2).Value = Rotage_R

Label1(0).Caption = Rotage_X

Label1(1).Caption = Rotage_Y

Label1(2).Caption = Rotage_R

End Sub

Private Sub Command3_Click()

Tool_path(1, 0) = "x100 y100 z300" & " " & Check6.Value & " " & Check5.Value & " " &
Text6.Text & " " & Shape2.BackColor

Tool_path(1, 1) = "x200 y500 z400" & " " & Check6.Value & " " & Check5.Value & " " &
Text6.Text & " " & Shape2.BackColor

Tool_path(1, 2) = "x30 y20 z400" & " " & Check6.Value & " " & Check5.Value & " " &
Text6.Text & " " & Shape2.BackColor

Tool_path(1, 3) = "x10 y200 z500" & " " & Check6.Value & " " & Check5.Value & " " &
Text6.Text & " " & Shape2.BackColor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Tool_path(1, 4) = "x200 y100 z50" & " " & Check6.Value & " " & Check5.Value & " " &
Text6.Text & " " & Shape2.BackColor
Tool_path(1, 5) = "x500 y500 z500" & " " & Check6.Value & " " & Check5.Value & " " &
Text6.Text & " " & Shape2.BackColor
Tool_path_count(1) = 5
End Sub

```

```

Private Sub Command2_Click()

```

```

    Dim R As String

```

```

    On Error GoTo Errorcancel

```

```

    R = InputBox("Please Enter the path number to delete it :", "Enter Number", 0, 4000,
4000)

```

```

    If R >= 0 And R <= 10 Then

```

```

        List1(R).Clear

```

```

    End If

```

```

Errorcancel:

```

```

    Resume Next

```

```

End Sub

```

```

Private Sub Command6_Click()

```

```

    On Error GoTo Errorport

```

```

    If Combo2.Text = "COMPORT" Then

```

```

        MsgBox " You haven't chosen COMPORT Please choose them", vbInformation +
vbOKOnly, "Choose COMPORT and Buadrate"

```

```

    Else

```

```

        MSComm1.Settings = "38400,n,8,2"

```

```

        MSComm1.CommPort = Combo2.ListIndex + 1

```

```

        MSComm1.PortOpen = True

```

```

        Command6.Enabled = False

```

```

        Command7.Enabled = True

```

```

        Combo2.Enabled = False

```

```

        Timer1.Enabled = True

```

```

        Label3.Caption = "Connected, " & Combo2.Text & ", " & "38400, n, 8, 2"

```

```

    End If

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Exit Sub

Errorport:

```
MsgBox " This COMPORT isn't avialable. Select again,please.", vbInformation +  
vbOKOnly, "Choose COMPORT"
```

End Sub

Private Sub Command7_Click()

```
MSComm1.PortOpen = False
```

```
Command6.Enabled = True
```

```
Command7.Enabled = False
```

```
Combo2.Enabled = True
```

```
Label3.Caption = "Connect to RS-232"
```

```
Timer1.Enabled = False
```

```
Label9(0).Caption = ""
```

```
Label9(1).Caption = ""
```

```
Label9(2).Caption = ""
```

```
Form1.Label4.Caption = ""
```

```
Form1.Label5.Caption = ""
```

```
Form1.Label6.Caption = ""
```

End Sub

Private Sub Command8_Click()

```
Beep
```

```
End
```

End Sub

Private Sub Command9_Click()

```
Dim save As String
```

```
save = "x" & Label9(0).Caption & " y" & Label9(1).Caption & " z" & Label9(2).Caption
```

```
If save = "x y z" Then
```

```
Else
```

```
List1(0).AddItem save
```

```
End If
```

```
If count1 < 2 Then
```

```
    If Check4.Value = 1 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Text7(count1).Text = Label9(0).Caption & "," & Label9(1).Caption & "," & -
Label9(2).Caption
count1 = count1 + 1
If count1 = 2 Then
    count1 = 0
End If
End If
End If
End If
If List1(0).ListCount > 0 Then
    Command11.Enabled = True
End If
End Sub

```

```

Private Sub Command10_Click()
Dim i As Integer
Dim j As Integer
For i = 0 To Countdraw
    List1(i).Clear
    For j = 0 To List1(0).ListCount
        Tool_path(1, j) = List1(0).List(j) & " " & Check6.Value & " " & Check5.Value & " " &
Text6.Text & " " & Shape2.BackColor
    Next j
Next i
Tool_path_count(1) = j - 2
Countdraw = 0
Command11.Caption = "Drawline1"
Command11.Enabled = False
Command9.Enabled = True
Text7(0).Text = ""
Text7(1).Text = ""
End Sub

```

```

Private Sub Command11_Click()
Dim h As Integer

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Dim i As Integer
Dim j As Integer
Dim K As Integer
Countdraw = Countdraw + 1
If List1(0).ListCount > 1 Then
    For h = 1 To List1(0).ListCount
        List1(Countdraw).AddItem List1(0).List(i)
        i = i + 1
    Next h
Else
    Countdraw = Countdraw - 1
End If
If Countdraw < 100 Then
    Command11.Caption = "Drawline" & Countdraw + 1
Else
    Command9.Enabled = False
End If
If List1(0).ListCount > 1 Then
    List1(0).Clear
End If
For K = 0 To Countdraw - 1
    For j = 0 To List1(K + 1).ListCount - 1
        Tool_path(K + 1, j) = List1(K + 1).List(j) & " " & Check6.Value & " " & Check5.Value & "
        " & Text6.Text & " " & Shape2.BackColor
    Next j
    Tool_path_count(K + 1) = j - 1
Next K
End Sub

```

```

Private Sub Command12_Click()
If List1(0).ListIndex >= 0 Then
    List1(0).RemoveItem (List1(0).ListIndex)
End If

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub  


---

Private Sub Form_Load()  
Open_File_back_up  
Scal_3D = Val(Combo1.Text)  
X_axis = Val(Text1.Text)  
Y_axis = Val(Text2.Text)  
Z_axis = Val(Text3.Text)  
DrawPart_Axis 0, 0, 0
```

```
    If List1(0).Text = "" Then  
        Command11.Enabled = False  
    Else  
        Command11.Enabled = True  
    End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub HScroll1_Change(Index As Integer)
```

```
Picture1.Cls  
Scal_3D = Val(Combo1.Text)  
X_axis = Val(Text1.Text)  
Y_axis = Val(Text2.Text)  
Z_axis = Val(Text3.Text)
```

```
Select Case Index
```

```
    Case 0:
```

```
        Rotage_X = HScroll1(0).Value
```

```
    Case 1:
```

```
        Rotage_Y = HScroll1(1).Value
```

```
    Case 2:
```

```
        Rotage_R = HScroll1(2).Value
```

```
End Select
```

```
Label1(0).Caption = Rotage_X
```

```
Label1(1).Caption = Rotage_Y
```

```
Label1(2).Caption = Rotage_R
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DrawPart_with_line Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Label8_Click()
```

```
CommonDialog1.ShowColor
```

```
Shape2.FillColor = CommonDialog1.Color
```

```
Shape2.BackColor = CommonDialog1.Color
```

```
Shape2.FillStyle = 0
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Picture1_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
```

```
Rotage_X = HScroll1(0).Value
```

```
Rotage_Y = HScroll1(1).Value
```

```
Rotage_R = HScroll1(2).Value
```

```
X_axis = Val(Text1.Text)
```

```
Y_axis = Val(Text2.Text)
```

```
Z_axis = Val(Text3.Text)
```

```
Scal_3D = Val(Combo1.Text)
```

```
Cx = -X
```

```
Cy = -Y
```

```
Picture1.Cls
```

```
DrawPart_with_line Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Timer1_Timer()
```

```
Dim BuffdsPIC As String
```

```
Dim Index1 As Integer
```

```
Dim Index2 As Integer
```

```
Dim Inputdata As String
```

```
Dim Buff() As String
```

```
Dim senddata As String
```

```
Dim a, b, c, d, e, f, g, h, i, m, n, o, d1, a2, a3, d5, pi As String
```

```
Dim X, Y, Z As String
```

```
senddata = 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Shape1.FillColor = vbGreen

MSComm1.Output = senddata

BuffdsPIC = MSComm1.Input

Index1 = InStr(BuffdsPIC, "G")

Index2 = InStr(Index1, BuffdsPIC, "V")

If Index2 <> 0 Then

    Inputdata = Mid(BuffdsPIC, Index1 + 1, Index2 - 1 - Index1)

    Buff = Split(Inputdata, "=")

    Label11.Caption = Buff(0)

    f = Buff(2) + 5375

    g = Buff(4) + 16

    h = -Buff(1) + 93

    i = Buff(3) - 137

    Shape1.FillColor = vbRed

End If

pi = 3.141592653589

a = (f * pi) / 5000

b = (g * pi) / 5000

c = (h * pi) / 5000

d = (i * pi) / 5000

e = c + d

d1 = 208.62

a2 = 199.2591956

a3 = 199.7591956

d5 = 198.6807865

X = -d5 * Cos(a) * Sin(b + c + d) + a3 * Cos(a) * Cos(b + c) + a2 * Cos(a) * Cos(b)

Y = -d5 * Sin(a) * Sin(b + c + d) + a3 * Sin(a) * Cos(b + c) + a2 * Sin(a) * Cos(b)

Z = -d5 * Cos(b + c + d) - a3 * Sin(b + c) - a2 * Sin(b) + d1

Label9(0).Caption = Round(X, 2)

Label9(1).Caption = Round(Y, 2)

Label9(2).Caption = Round(Z, 2)

Form1.Label4.Caption = "X = " & Label9(0).Caption

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Form1.Label5.Caption = "Y =" & Label9(1).Caption
Form1.Label6.Caption = "Z =" & Label9(2).Caption
If Label11.Caption = "Y" Then
    Label11.ForeColor = vbBlue
    Dim save As String
    save = "x" & Label9(0).Caption & " y" & Label9(1).Caption & " z" & Label9(2).Caption
    If save = "x y z" Then
        Else
        Command11.Enabled = True
        List1(0).AddItem save
        If count1 < 2 Then
            If Check4.Value = 1 Then
                Text7(count1).Text = Label9(0).Caption & "," & Label9(1).Caption & "," &
Label9(2).Caption
                count1 = count1 + 1
                If count1 = 2 Then
                    count1 = 0
                End If
            End If
        End If
        End If
        Timer1.Enabled = False
        delay
        Timer1.Enabled = True
    End If
Else
    Label11.ForeColor = vbRed
End If
Label10.Caption = "Point : " & List1(0).ListCount
End Sub

```

```

Private Sub delay()

```

```

    Dim i As Single

```

```

    i = Timer

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$i = i + 0.5$

k1:

DoEvents

If $i > \text{Timer}$ Then

GoTo k1

End If

End Sub



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Module1 ของโปรแกรม Visual Basic 6.0

Option Explicit

Public Countlist(100) As Long

Public Countdraw As Integer

Public Tool_path(100, 5000) As String

Public Tool_path_count(100) As Long

Public Scal_convert As Single

Public View_3D_ok As Boolean

Public Scal_3D As Single

Public D3_command As Integer

Public Rotage_X As Long

Public Rotage_Y As Long

Public Rotage_R As Long

Private Type POINTAPI

 X As Long

 Y As Long

End Type

Private Declare Function Polyline Lib "gdi32" (ByVal hdc As Long, lpPoint As POINTAPI,
ByVal nCount As Long) As Long

Dim Pts(0 To 6) As POINTAPI

Public Rot3dX As Long

Public Rot3dY As Long

Public Cx As Long

Public Cy As Long

Public Cz As Long

Public Z_axis As Long

Public X_axis As Long

Public Y_axis As Long

Public Draw_mode As Integer

Public Out_to_motion(100) As String

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Public Sub DrawBox_P1_P2(X1_Box As Single, Y1_Box As Single, Z1_Box As Single,
X2_Box As Single, Y2_Box As Single, Z2_Box As Single, Color_line As Long, Width_line As
Integer)

Dim p(2) As POINTAPI

Dim DataX As Single

Dim DataY As Single

Dim DataZ As Single

Dim Color As Long

Dim W_Line As Single

With Form1

Color = Color_line

.Picture1.DrawWidth = Width_line

DataX = X1_Box: DataY = Y1_Box: DataZ = Z1_Box

Rot3D DataX, -DataY, DataZ, Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y

p(1).X = Rot3dX - Cx: p(1).Y = Rot3dY - Cy

DataX = X2_Box: DataY = Y1_Box: DataZ = Z1_Box

Rot3D DataX, -DataY, DataZ, Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y

p(2).X = Rot3dX - Cx: p(2).Y = Rot3dY - Cy

.Picture1.Line (p(1).X, p(1).Y)-(p(2).X, p(2).Y), Color

DataX = X1_Box: DataY = Y1_Box: DataZ = Z1_Box

Rot3D DataX, -DataY, DataZ, Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y

p(1).X = Rot3dX - Cx: p(1).Y = Rot3dY - Cy

DataX = X1_Box: DataY = Y2_Box: DataZ = Z1_Box

Rot3D DataX, -DataY, DataZ, Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y

p(2).X = Rot3dX - Cx: p(2).Y = Rot3dY - Cy

.Picture1.Line (p(1).X, p(1).Y)-(p(2).X, p(2).Y), Color

DataX = X1_Box: DataY = Y1_Box: DataZ = Z1_Box

Rot3D DataX, -DataY, DataZ, Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y

p(1).X = Rot3dX - Cx: p(1).Y = Rot3dY - Cy

DataX = X1_Box: DataY = Y1_Box: DataZ = Z2_Box

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rot3D DataX, -DataY, DataZ, Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y
p(2).X = Rot3dX - Cx: p(2).Y = Rot3dY - Cy
.Picture1.Line (p(1).X, p(1).Y)-(p(2).X, p(2).Y), Color

DataX = X1_Box: DataY = Y2_Box: DataZ = Z1_Box
Rot3D DataX, -DataY, DataZ, Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y
p(1).X = Rot3dX - Cx: p(1).Y = Rot3dY - Cy
DataX = X1_Box: DataY = Y2_Box: DataZ = Z2_Box
Rot3D DataX, -DataY, DataZ, Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y
p(2).X = Rot3dX - Cx: p(2).Y = Rot3dY - Cy
.Picture1.Line (p(1).X, p(1).Y)-(p(2).X, p(2).Y), Color

DataX = X1_Box: DataY = Y2_Box: DataZ = Z1_Box
Rot3D DataX, -DataY, DataZ, Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y
p(1).X = Rot3dX - Cx: p(1).Y = Rot3dY - Cy
DataX = X2_Box: DataY = Y2_Box: DataZ = Z1_Box
Rot3D DataX, -DataY, DataZ, Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y
p(2).X = Rot3dX - Cx: p(2).Y = Rot3dY - Cy
.Picture1.Line (p(1).X, p(1).Y)-(p(2).X, p(2).Y), Color

DataX = X1_Box: DataY = Y2_Box: DataZ = Z2_Box
Rot3D DataX, -DataY, DataZ, Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y
p(1).X = Rot3dX - Cx: p(1).Y = Rot3dY - Cy
DataX = X1_Box: DataY = Y1_Box: DataZ = Z2_Box
Rot3D DataX, -DataY, DataZ, Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y
p(2).X = Rot3dX - Cx: p(2).Y = Rot3dY - Cy
.Picture1.Line (p(1).X, p(1).Y)-(p(2).X, p(2).Y), Color

DataX = X1_Box: DataY = Y2_Box: DataZ = Z2_Box
Rot3D DataX, -DataY, DataZ, Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y
p(1).X = Rot3dX - Cx: p(1).Y = Rot3dY - Cy
DataX = X2_Box: DataY = Y2_Box: DataZ = Z2_Box

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rot3D DataX, -DataY, DataZ, Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y

p(2).X = Rot3dX - Cx: p(2).Y = Rot3dY - Cy

.Picture1.Line (p(1).X, p(1).Y)-(p(2).X, p(2).Y), Color

DataX = X2_Box: DataY = Y2_Box: DataZ = Z2_Box

Rot3D DataX, -DataY, DataZ, Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y

p(1).X = Rot3dX - Cx: p(1).Y = Rot3dY - Cy

DataX = X2_Box: DataY = Y2_Box: DataZ = Z1_Box

Rot3D DataX, -DataY, DataZ, Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y

p(2).X = Rot3dX - Cx: p(2).Y = Rot3dY - Cy

.Picture1.Line (p(1).X, p(1).Y)-(p(2).X, p(2).Y), Color

DataX = X2_Box: DataY = Y2_Box: DataZ = Z2_Box

Rot3D DataX, -DataY, DataZ, Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y

p(1).X = Rot3dX - Cx: p(1).Y = Rot3dY - Cy

DataX = X2_Box: DataY = Y1_Box: DataZ = Z2_Box

Rot3D DataX, -DataY, DataZ, Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y

p(2).X = Rot3dX - Cx: p(2).Y = Rot3dY - Cy

.Picture1.Line (p(1).X, p(1).Y)-(p(2).X, p(2).Y), Color

DataX = X2_Box: DataY = Y1_Box: DataZ = Z2_Box

Rot3D DataX, -DataY, DataZ, Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y

p(1).X = Rot3dX - Cx: p(1).Y = Rot3dY - Cy

DataX = X1_Box: DataY = Y1_Box: DataZ = Z2_Box

Rot3D DataX, -DataY, DataZ, Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y

p(2).X = Rot3dX - Cx: p(2).Y = Rot3dY - Cy

.Picture1.Line (p(1).X, p(1).Y)-(p(2).X, p(2).Y), Color

DataX = X2_Box: DataY = Y1_Box: DataZ = Z2_Box

Rot3D DataX, -DataY, DataZ, Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y

p(1).X = Rot3dX - Cx: p(1).Y = Rot3dY - Cy

DataX = X2_Box: DataY = Y1_Box: DataZ = Z1_Box

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Rot3D DataX, -DataY, DataZ, Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y
p(2).X = Rot3dX - Cx: p(2).Y = Rot3dY - Cy
.Picture1.Line (p(1).X, p(1).Y)-(p(2).X, p(2).Y), Color
```

```
DataX = X2_Box: DataY = Y1_Box: DataZ = Z1_Box
Rot3D DataX, -DataY, DataZ, Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y
p(1).X = Rot3dX - Cx: p(1).Y = Rot3dY - Cy
DataX = X2_Box: DataY = Y2_Box: DataZ = Z1_Box
Rot3D DataX, -DataY, DataZ, Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y
p(2).X = Rot3dX - Cx: p(2).Y = Rot3dY - Cy
.Picture1.Line (p(1).X, p(1).Y)-(p(2).X, p(2).Y), Color
```

End With

End Sub

```
Public Sub DrawPart_with_line(R As Long, X As Long, Y As Long)
```

```
Dim i As Long
```

```
Dim dx(2) As Long
```

```
Dim dy(2) As Long
```

```
Dim dz(2) As Long
```

```
Dim p() As POINTAPI
```

```
Dim py() As POINTAPI
```

```
Dim DataX(100) As Long
```

```
Dim DataY(100) As Long
```

```
Dim DataZ(100) As Long
```

```
Dim Buffer() As String
```

```
Dim j As Long
```

```
Dim K As Long
```

```
Dim W As Long
```

```
Dim count As Long
```

```
Dim X1_B As Single
```

```
Dim Y1_B As Single
```

```
Dim Z1_B As Single
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Dim X2_B As Single
Dim Y2_B As Single
Dim Z2_B As Single
Dim Pbox() As String
Dim X_file As Single
Dim Y_file As Single
Dim Z_file As Single
With Form1
Save_File_back_up
Rotage_R = R
Rotage_X = X
Rotage_Y = Y
count = 0
.Picture1.ScaleMode = 3 '3 = scale pixel
ReDim p(0 To UBound(Out_to_motion)) As POINTAPI
DrawPart_Axis 0, 0, 0
If .Check4.Value = 1 Then
If .Text7(0).Text = "" Or .Text7(1).Text = "" Then
Else
Pbox = Split(.Text7(0).Text, ",")
X1_B = Val(Pbox(0)) * Scal_3D
Y1_B = Val(Pbox(1)) * Scal_3D
Z1_B = Val(Pbox(2)) * Scal_3D
Pbox = Split(.Text7(1).Text, ",")
X2_B = Val(Pbox(0)) * Scal_3D
Y2_B = Val(Pbox(1)) * Scal_3D
Z2_B = Val(Pbox(2)) * Scal_3D
DrawBox_P1_P2 X1_B, Y1_B, Z1_B, X2_B, Y2_B, Z2_B, .Shape2.BackColor,
Val(.Text6.Text)
End If
End If
For K = 1 To Countdraw

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

If Tool_path_count(K) <> 0 Then
    For i = 1 To Tool_path_count(K) '.List1(K).ListCount
        If Len(Tool_path(K, i)) >= 16 Then
            Buffer = Split(Tool_path(K, i - 1), " ")
            X_file = Mid(Buffer(0), 2, 10) * Scal_3D: Y_file = Mid(Buffer(1), 2, 10) * Scal_3D:
            Z_file = Mid(Buffer(2), 2, 10) * Scal_3D
            Rot3D X_file, -Y_file, Z_file, Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y
            p(1).X = Rot3dX - Cx: p(1).Y = Rot3dY - Cy
            Buffer = Split(Tool_path(K, i), " ")
            X_file = Mid(Buffer(0), 2, 10) * Scal_3D: Y_file = Mid(Buffer(1), 2, 10) * Scal_3D:
            Z_file = Mid(Buffer(2), 2, 10) * Scal_3D
            Rot3D X_file, -Y_file, Z_file, Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y
            p(2).X = Rot3dX - Cx: p(2).Y = Rot3dY - Cy
        If .Check7.Value = 0 Then
            .Check5.Enabled = True
            .Check6.Enabled = True
            .Picture1.DrawWidth = Val(Buffer(5))
            .Picture1.Line (p(1).X, p(1).Y)-(p(2).X, p(2).Y), Val(Buffer(6))
            If Val(Buffer(3)) = 1 Then
                .Picture1.PSet (p(1).X, p(1).Y), vbBlack
            End If
            If Val(Buffer(4)) = 1 Then
                Buffer = Split(Tool_path(K, i - 1), " ")
                .Picture1.Print " P(" & K & ") " & i & "(" & Mid(Buffer(0), 2, 10) & "," &
                Mid(Buffer(1), 2, 10) & "," & Mid(Buffer(2), 2, 10) & ")"
            End If
        Else
            .Check5.Enabled = False
            .Check6.Enabled = False
            .Picture1.DrawWidth = Val(Buffer(5))
            .Picture1.PSet (p(1).X, p(1).Y), vbBlack
        End If
    End If

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

End If
Next i
If .Check7.Value = 0 Then
    Buffer = Split(Tool_path(K, i - 1), " ")
    If Val(Buffer(3)) = 1 Then
        .Picture1.PSet (p(2).X, p(2).Y), vbBlack
    End If
    If Val(Buffer(4)) = 1 Then
        .Picture1.Print " P(" & K & ") " & i & "(" & Mid(Buffer(0), 2, 10) & "," &
Mid(Buffer(1), 2, 10) & "," & Mid(Buffer(2), 2, 10) & ")"
    End If
Else
    .Picture1.PSet (p(2).X, p(2).Y), vbBlack
End If
End If
Next K
Exit Sub
count = 0
For i = 0 To UBound(Out_to_motion) - 1
    If Out_to_motion(i) <> "" Then
        Buffer = Split(Out_to_motion(i), " ")
        DataX(count) = Buffer(0) * Scal_3D
        DataY(count) = Buffer(1) * Scal_3D
        DataZ(count) = Buffer(2) * Scal_3D
        Rot3D DataX(count), -DataY(count), DataZ(count), Rotage_R, Rotage_X,
Rotage_Y
        p(i).X = Rot3dX - Cx
        p(i).Y = Rot3dY - Cy
        count = count + 1
    End If
Next i
.Picture1.DrawWidth = 3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

.Picture1.Print " P0,0,0"

For i = 0 To count - 2

.Picture1.Line (p(i).X, p(i).Y)-(p(i + 1).X, p(i + 1).Y), RGB(255, 255, 0)

.Picture1.DrawWidth = 10

.Picture1.PSet (p(i).X, p(i).Y), vbBlack

.Picture1.DrawWidth = 3

.Picture1.Print " P" & i + 1& "(" & DataX(i) & "," & DataY(i) & "," & DataZ(i) & ")"

Next i

.Picture1.DrawWidth = 10

.Picture1.PSet (p(i).X, p(i).Y), vbBlack

.Picture1.DrawWidth = 3

.Picture1.Print " P" & i + 1& "(" & DataX(i) & "," & DataY(i) & "," & DataZ(i) & ")"

End With
End Sub

```

```

Private Function DtoR(X) 'degree to radian
DtoR = X * (3.1415 / 180)
End Function

```

```

Private Function RtoD(X) 'radian to degree
RtoD = X * (180 / 3.1415)
End Function

```

```

Public Sub Rot3D(X, Y, Z, AX, AY, AZ)

Dim AA1 As Single
Dim AA2 As Single
Dim AA3 As Single
Dim XROT As Single
Dim YROT As Single
Dim ZROT As Single

AA1 = AZ * (0.0174528)
AA2 = AX * (0.0174528)
AA3 = AY * (0.0174528)

'Calculate the New X,Y Positions

XROT = (X * Cos(AA1)) - (Y * Sin(AA1))

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

YROT = (X * Sin(AA1)) + (Y * Cos(AA1))

ZROT = (YROT * Sin(AA2)) + (Z * Cos(AA2))

'Theses are the variables that are returned

Rot3dX = (XROT * Cos(AA3)) - (ZROT * Sin(AA3))

Rot3dY = (YROT * Cos(AA2)) - (Z * Sin(AA2))

End Sub

Public Sub DrawPart_Axis(R As Long, X As Long, Y As Long)

Dim i As Long

Dim dx(2) As Long

Dim dy(2) As Long

Dim dz(2) As Long

Dim p() As POINTAPI

Dim py() As POINTAPI

Dim DataX As Long

Dim DataY As Long

Dim DataZ As Long

Dim Buffer() As String

'Convert the points to their new coord system

With Form1

.Picture1.ScaleMode = 3

dx(0) = Val(X_axis): dy(0) = 0: dz(0) = 0

dx(1) = 0: dy(1) = -Val(Y_axis): dz(1) = 0

dx(2) = 0: dy(2) = 0: dz(2) = Val(Z_axis)

ReDim p(2) As POINTAPI

For i = 0 To 2

Rot3D dx(i) * Scal_3D, dy(i) * Scal_3D, dz(i) * Scal_3D, Rotage_R, Rotage_X, Rotage_Y

p(i).X = Rot3dX

p(i).Y = Rot3dY

Next i

.Picture1.DrawWidth = Val(.Text4.Text)

If .Check1.Value = 1 Then

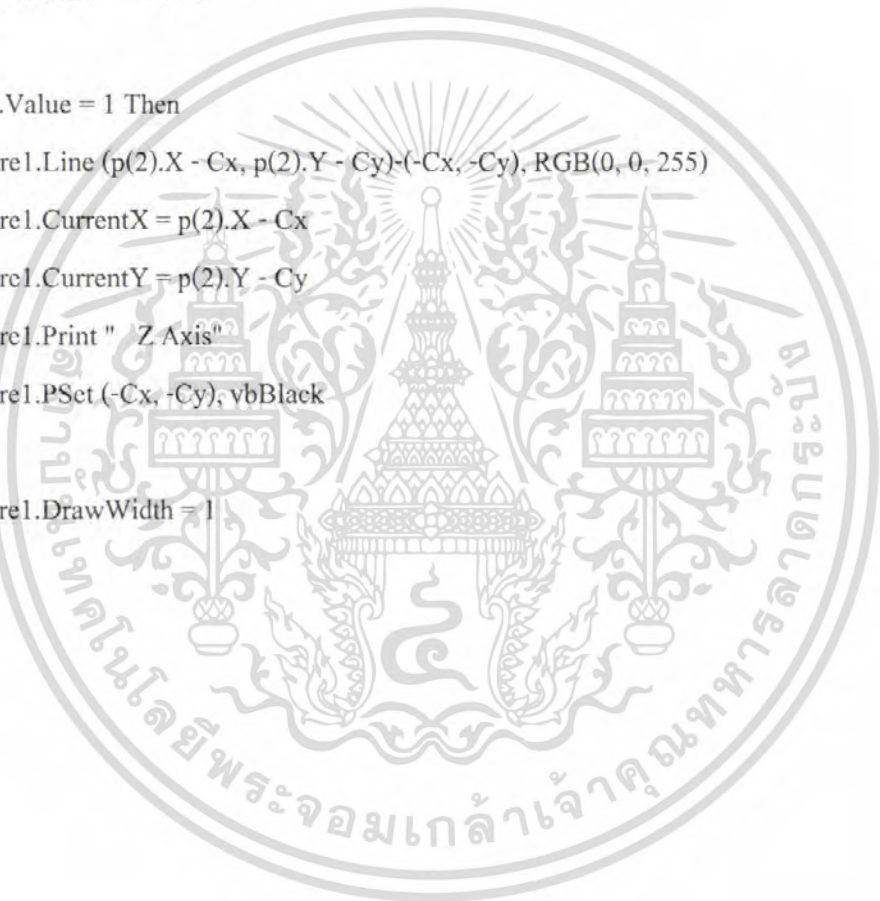
.Picture1.Line (p(0).X - Cx, p(0).Y - Cy)-(-Cx, -Cy), RGB(255, 0, 0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

.Picture1.CurrentX = p(0).X - Cx
.Picture1.CurrentY = p(0).Y - Cy
.Picture1.Print " X Axis"
End If
If .Check2.Value = 1 Then
.Picture1.Line (p(1).X - Cx, p(1).Y - Cy)-(-Cx, -Cy), RGB(0, 255, 0)
.Picture1.CurrentX = p(1).X - Cx
.Picture1.CurrentY = p(1).Y - Cy
.Picture1.Print " Y Axis"
End If
If .Check3.Value = 1 Then
.Picture1.Line (p(2).X - Cx, p(2).Y - Cy)-(-Cx, -Cy), RGB(0, 0, 255)
.Picture1.CurrentX = p(2).X - Cx
.Picture1.CurrentY = p(2).Y - Cy
.Picture1.Print " Z Axis"
.Picture1.PSet (-Cx, -Cy), vbBlack
End If
.Picture1.DrawWidth = 1
End With
End Sub

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Module2 ของโปรแกรม Visual Basic 6.0

```
Public Sub Open_File_back_up()
Dim iFile As Integer
Dim Buffer() As String
Dim data As String
Dim i As Integer
Dim K As Integer
iFile = FreeFile
Open App.Path & "\File_BackUp.txt" For Input As #iFile
Do While Not EOF(iFile)
Line Input #iFile, data
Loop
Close #iFile
With Form1
Buffer = Split(data, ";")
.Text1.Text = Buffer(i): i = i + 1
.Text2.Text = Buffer(i): i = i + 1
.Text3.Text = Buffer(i): i = i + 1
.Text4.Text = Buffer(i): i = i + 1
.Check1.Value = Buffer(i): i = i + 1
.Check2.Value = Buffer(i): i = i + 1
.Check3.Value = Buffer(i): i = i + 1
End With
End Sub
```

```
Public Sub Save_File_back_up()
Dim iFile As Integer
Dim Buffer() As String
Dim data As String
Dim i As Integer
iFile = FreeFile
Open App.Path & "\File_BackUp.txt" For Output As #iFile
```

```
With Form1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

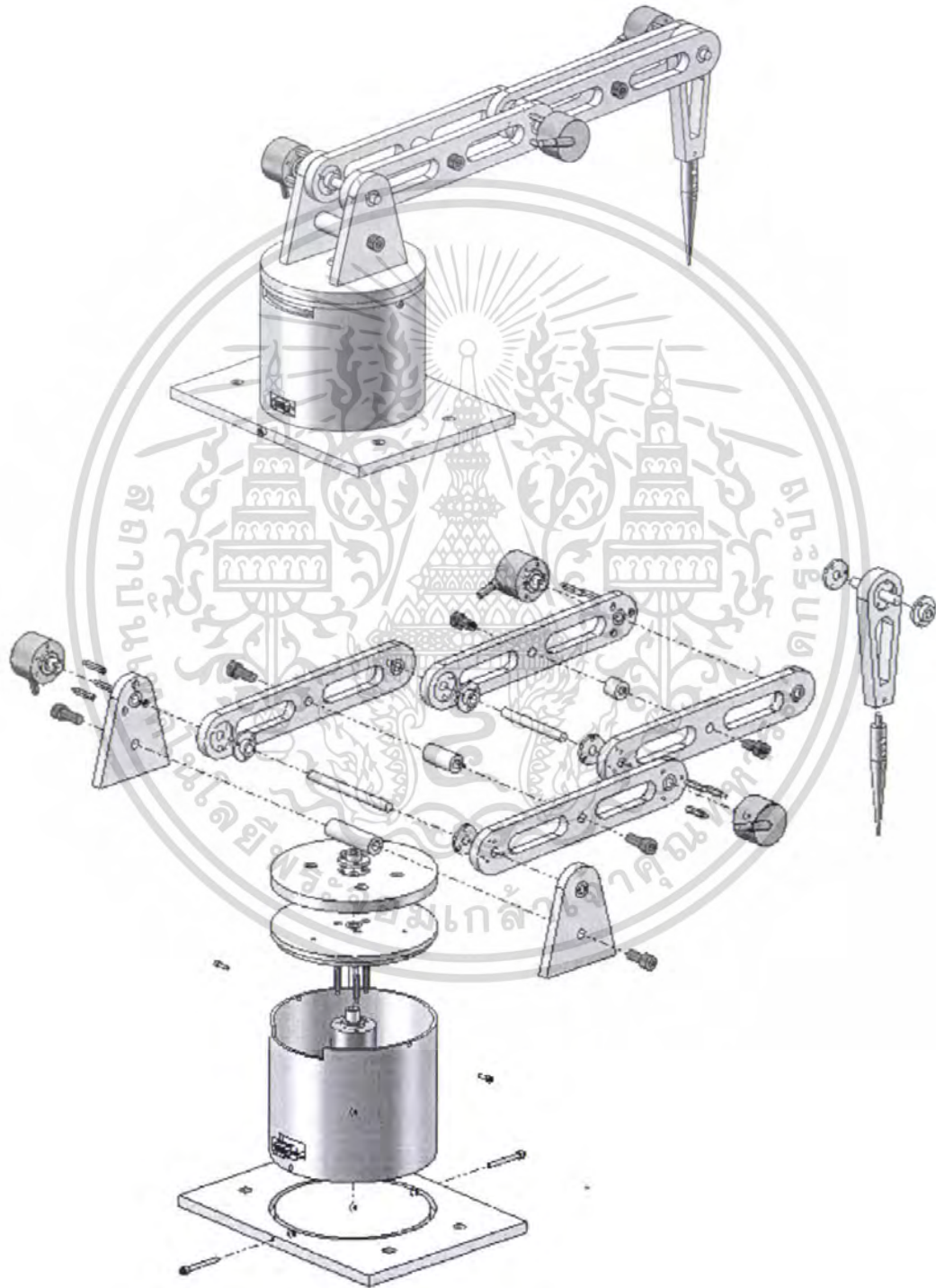
```
data = .Text1.Text & ";"  
data = data & .Text2.Text & ";"  
data = data & .Text3.Text & ";"  
data = data & .Text4.Text & ";"  
data = data & .Check1.Value & ";"  
data = data & .Check2.Value & ";"  
data = data & .Check3.Value & ";"  
End With  
Print #iFile, data  
Close #iFile  
End Sub
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

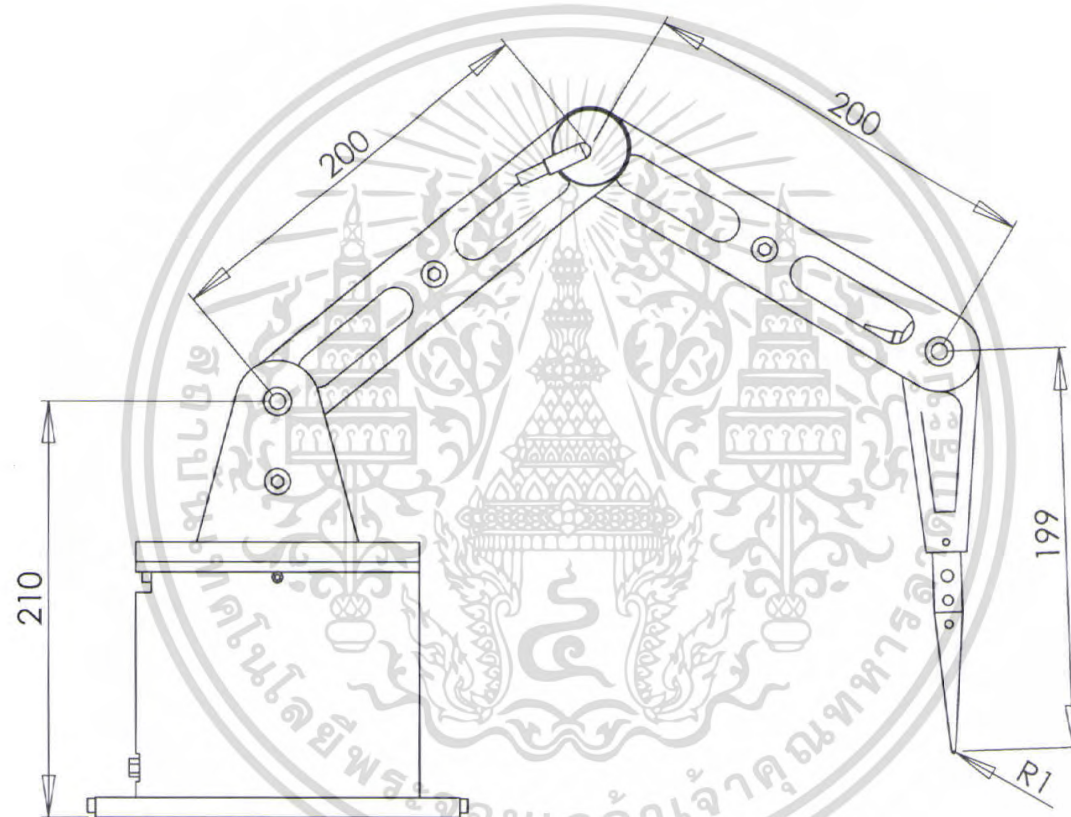
ภาคผนวก ข

โครงสร้างและส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ

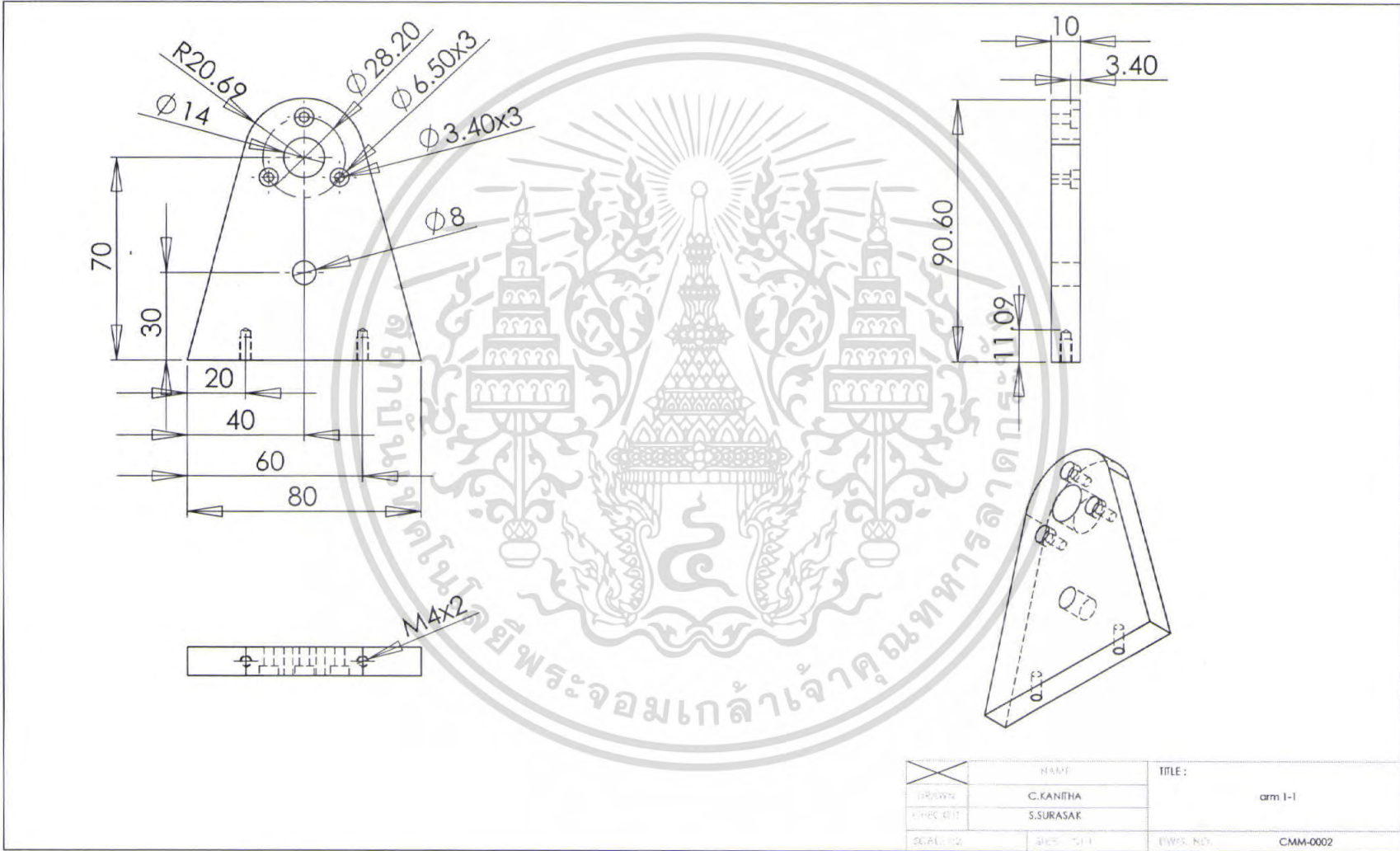


ส่วนประกอบทั้งหมดของเครื่องบอกพิกัด 3 มิติ

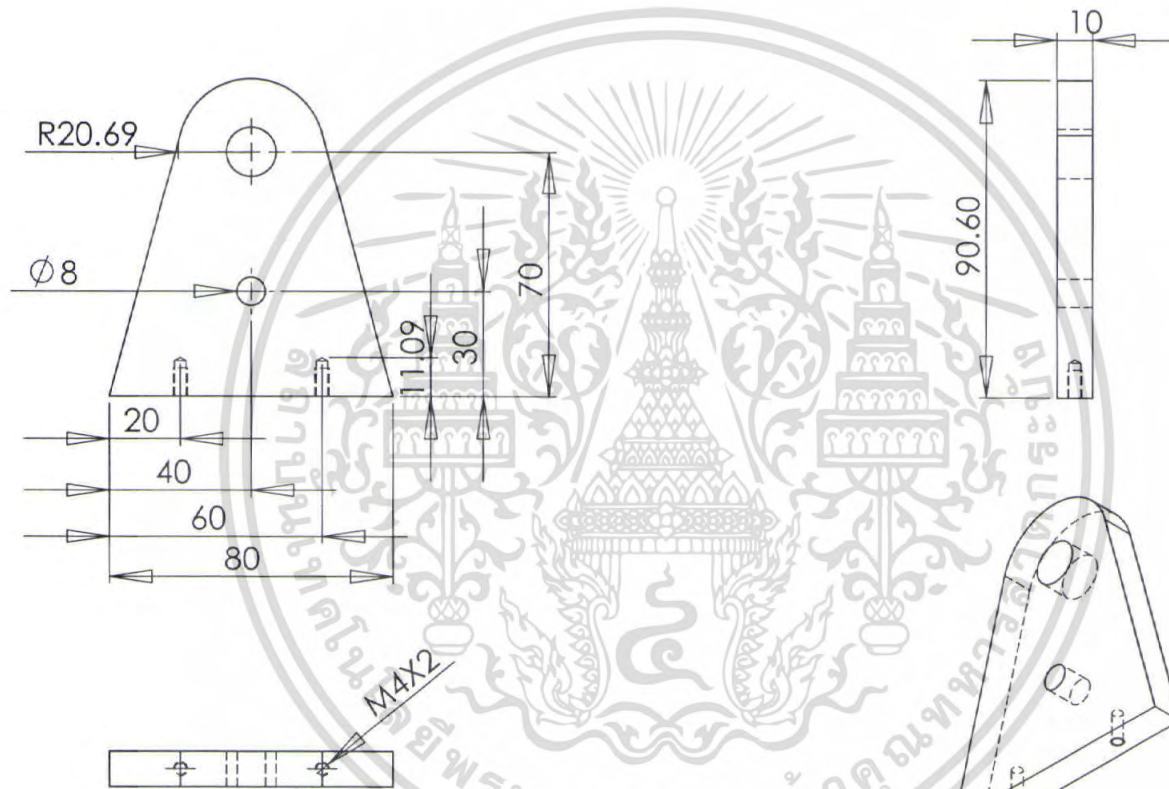
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



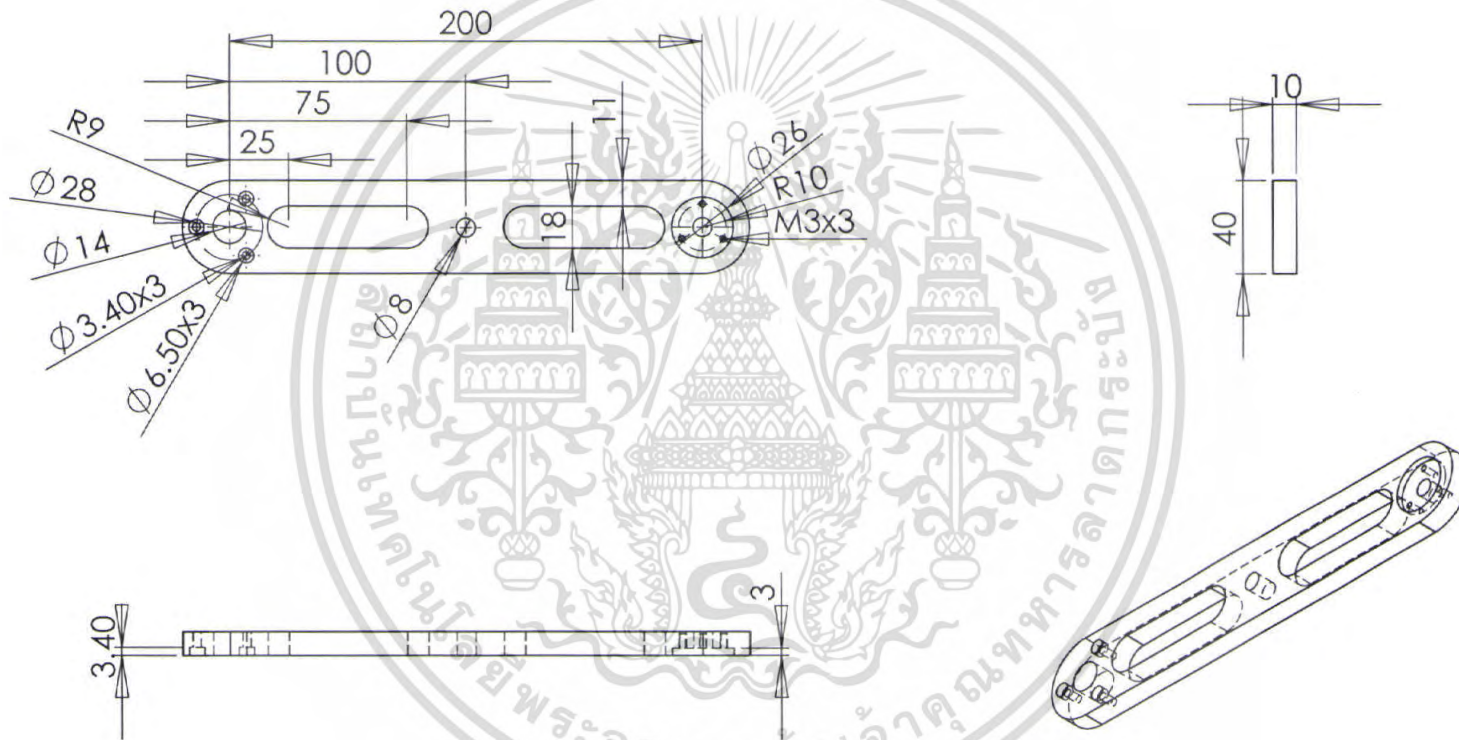
	NAME	TITLE :
DESIGN	C.KANTHA	CMM
DRAWING	S.SURASAK	
SCALE: 1:1	DATE: 2013	DWG. NO. CMM-0001



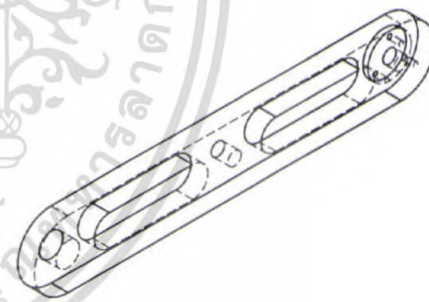
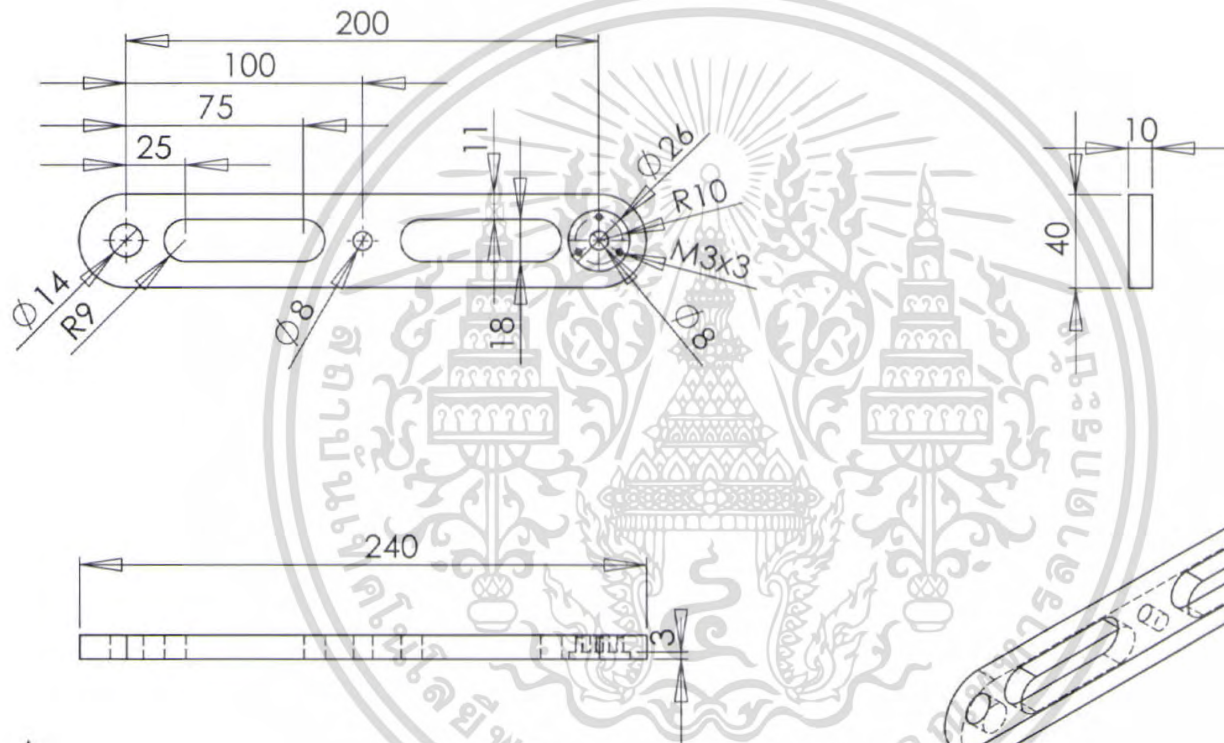
NAME	C. KANTHA	TITLE	arm 1-1
DESIGNER	S. SURASAK		
SCALE: 1:2	SHEET: 1/1	DWG. NO.	CMM-0002



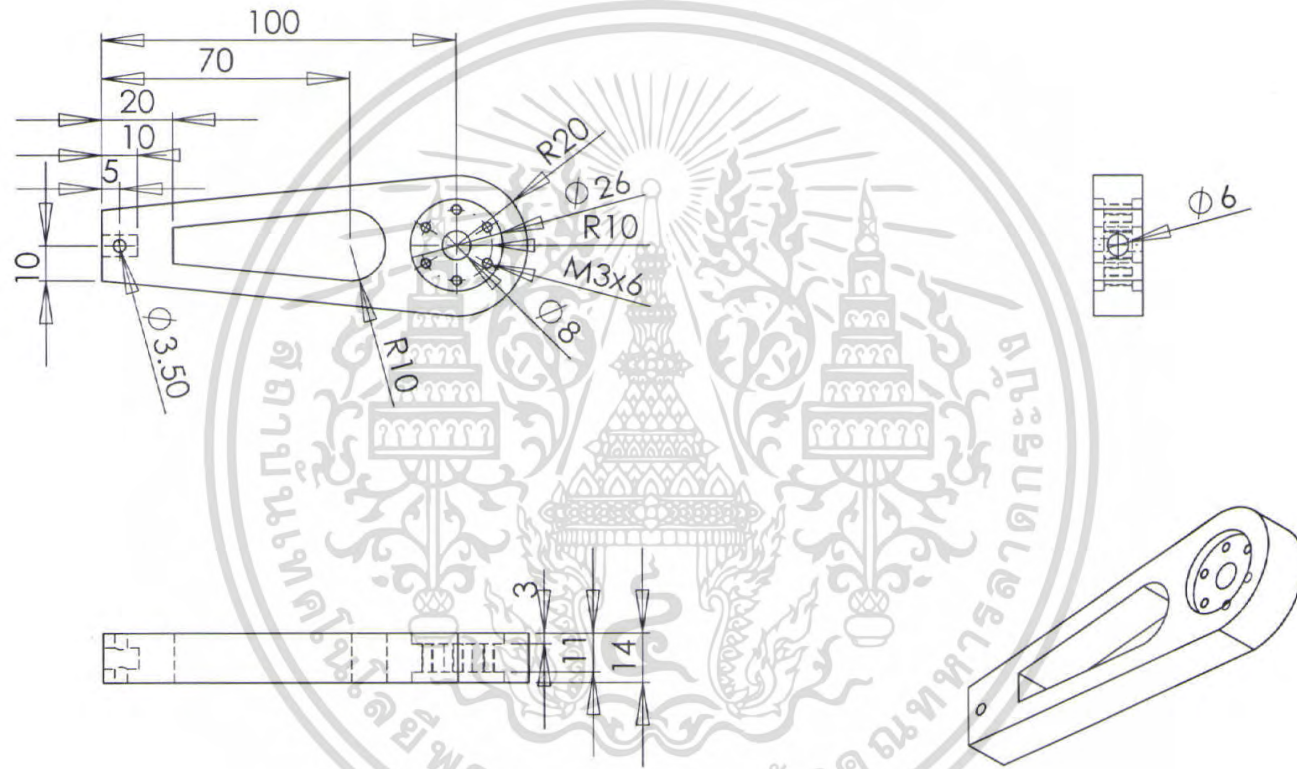
	NAME	TITLE :
DRAWN	C.KANTHA	arm 1-2
PROJECT	S.SURASAK	
SCALE 1:2	SHEET 1/29-1	DWG. NO. CMM-0003



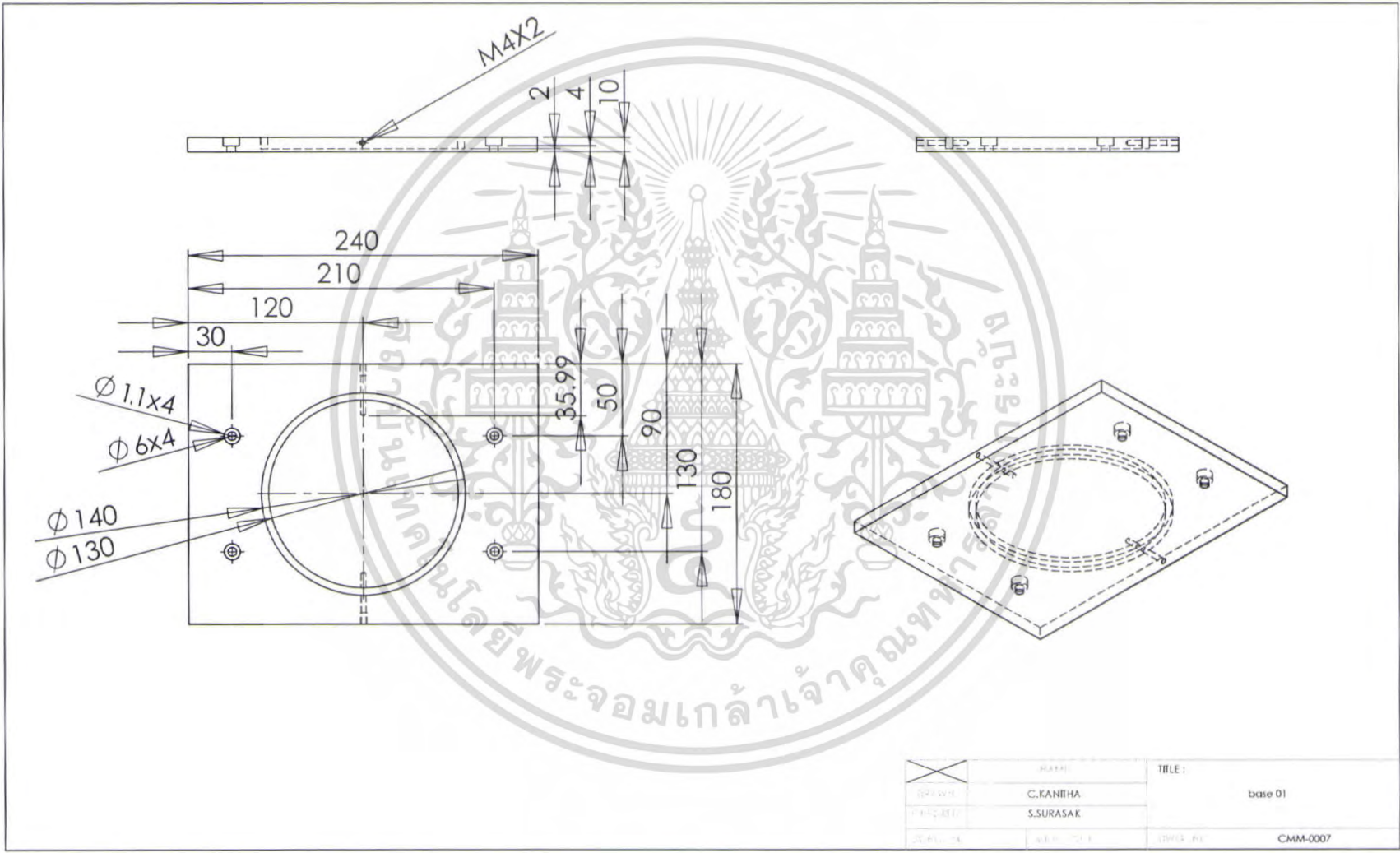
	NAME	TITLE	
DESIGN	C.KANITHA		arm 2-1
CHECKER	S.SURASAK		
SCALE 1:1	DATE 1/2/21	DWG. NO.	CMM-0004



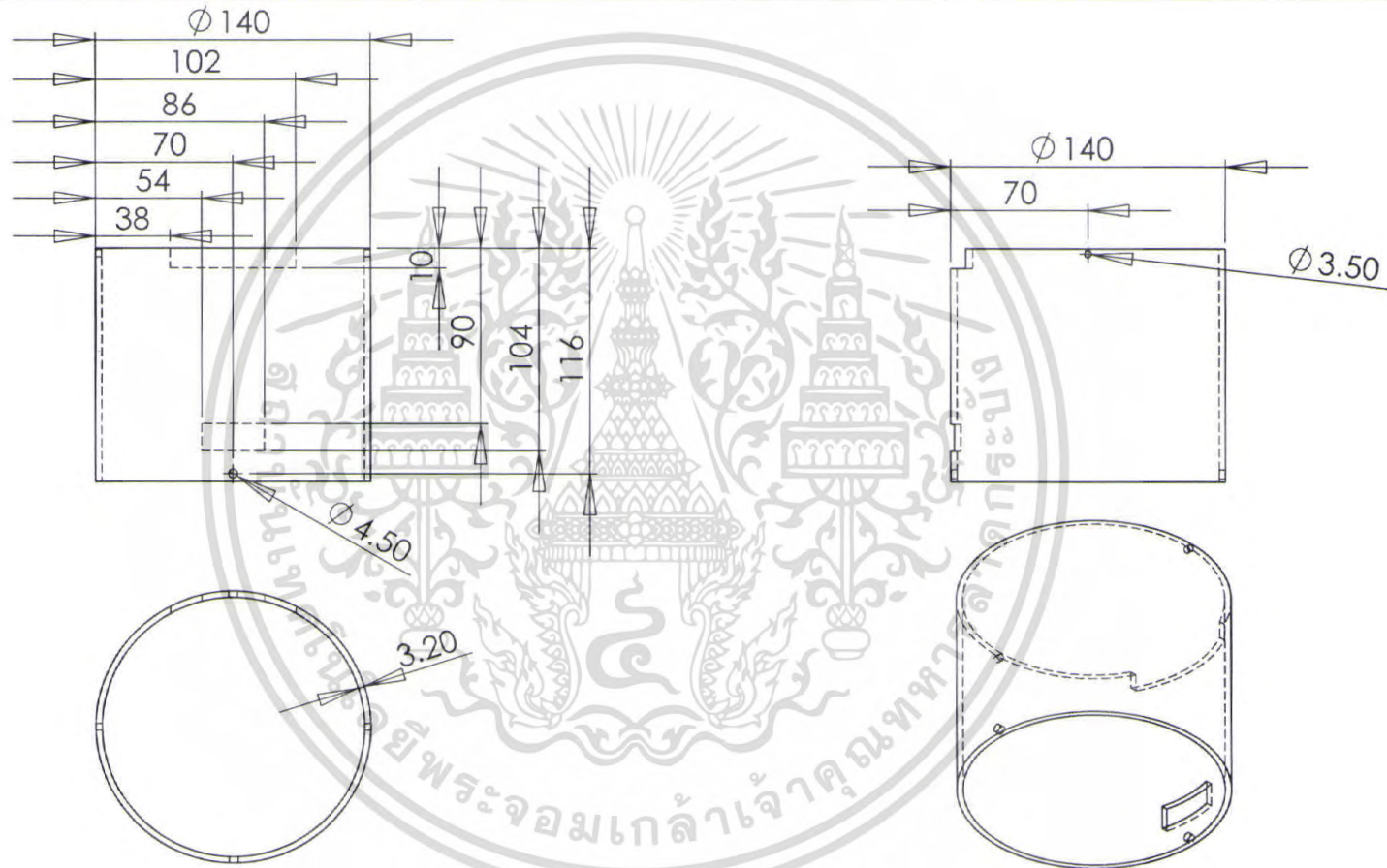
DRAWN	C.KANIHA	TITLE	arm 2-2
CHECKED	S.SURASAK		
SCALE		REVISED	CMM-0005



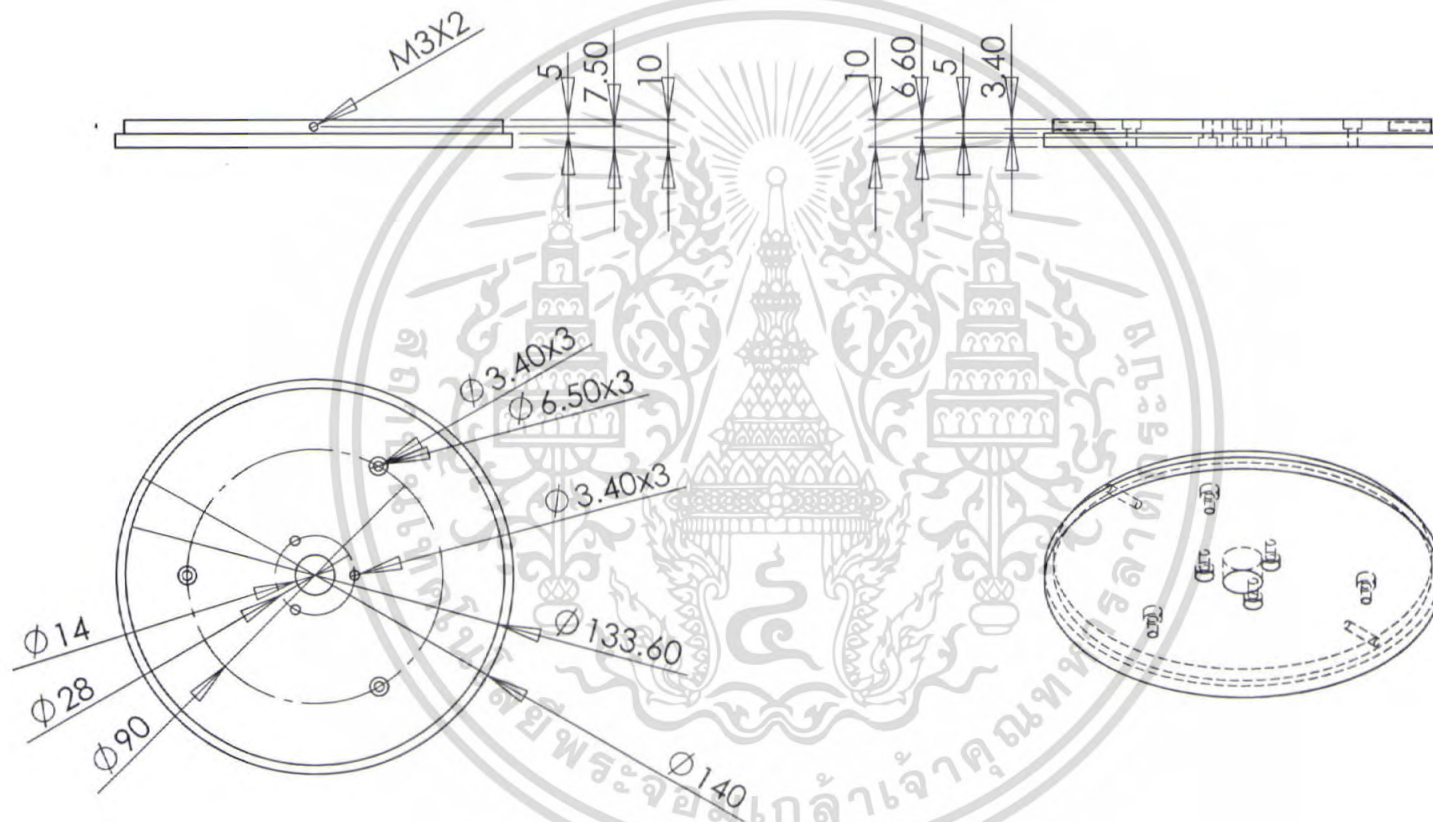
DESIGNED	NAME	TITLE
DRAWN	C.KANITHA	arm 3
CHECKED	S.SURASAK	
DATE	DATE	DWG. NO. CMM-0006



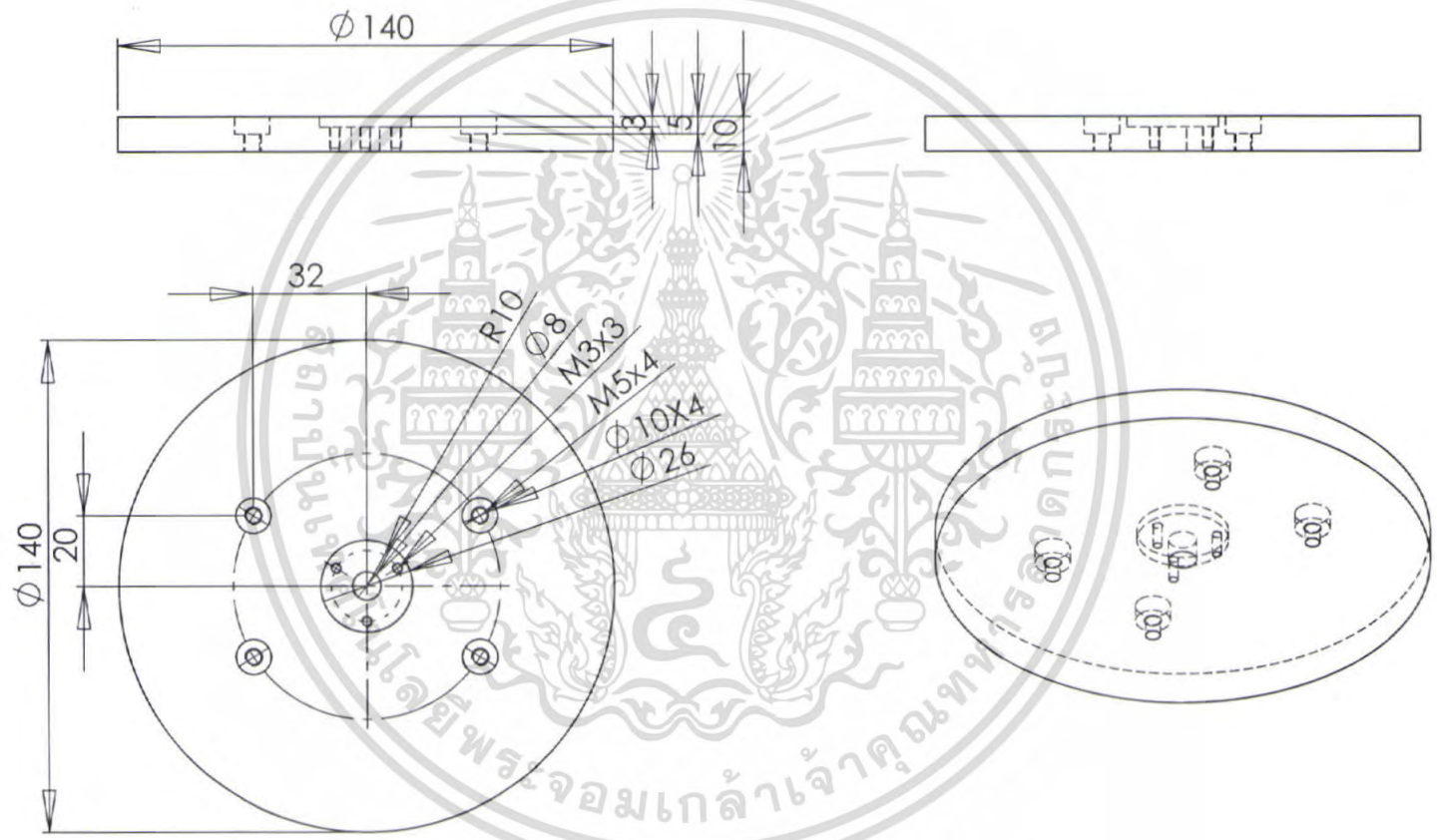
<input checked="" type="checkbox"/>	DATE:	TITLE:
DRAWN:	C.KANITHA	base 01
CHECKED:	S.SURASAK	
DATE:	NO. OF SHEETS:	NO. OF SHEETS:
		CMM-0007



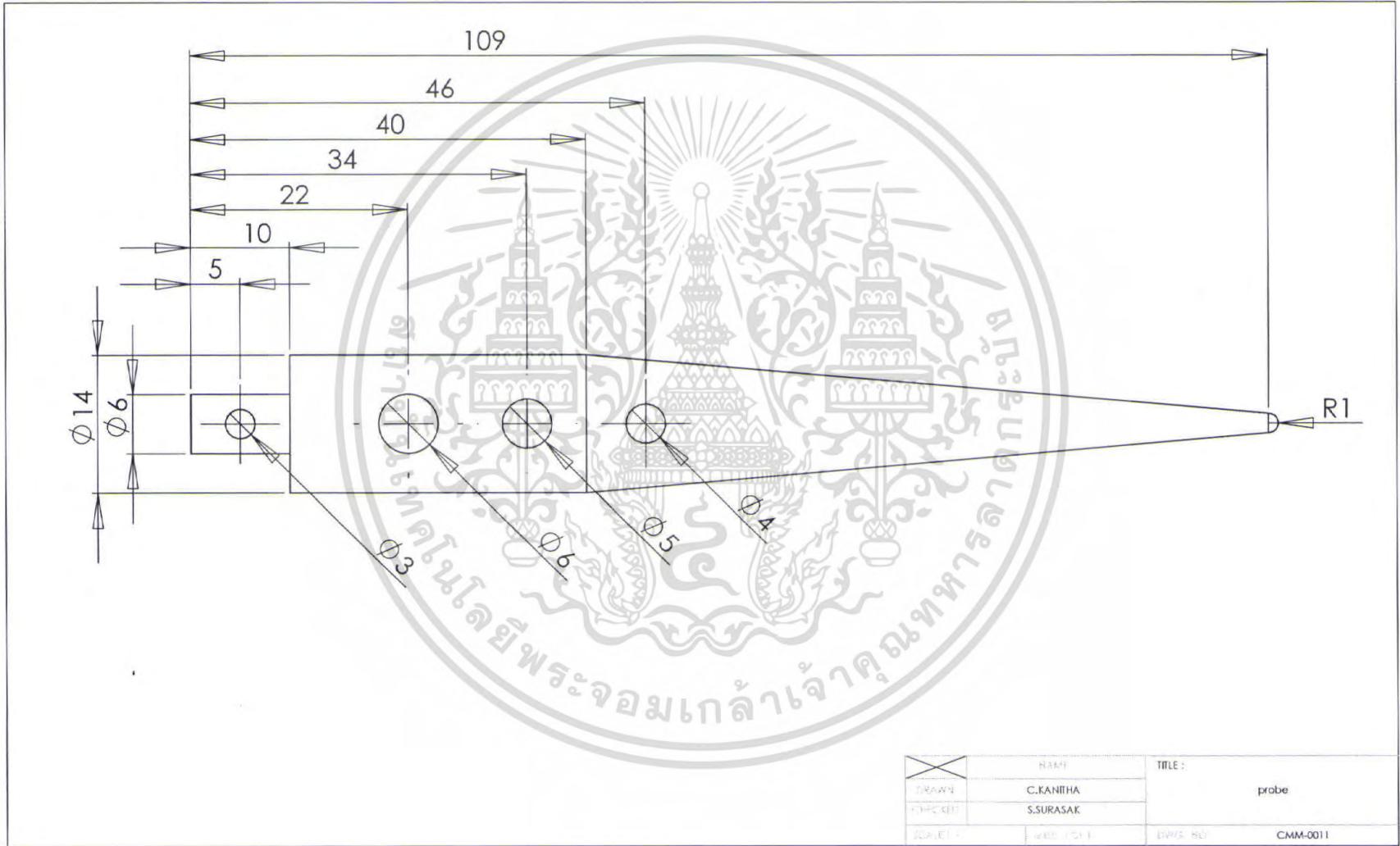
NAME	TITLE :
DRAWN C.KANITHA	base 02
DESIGNED S.SURASAK	
DATE	REV. NO.
SCALE	CMM-0008



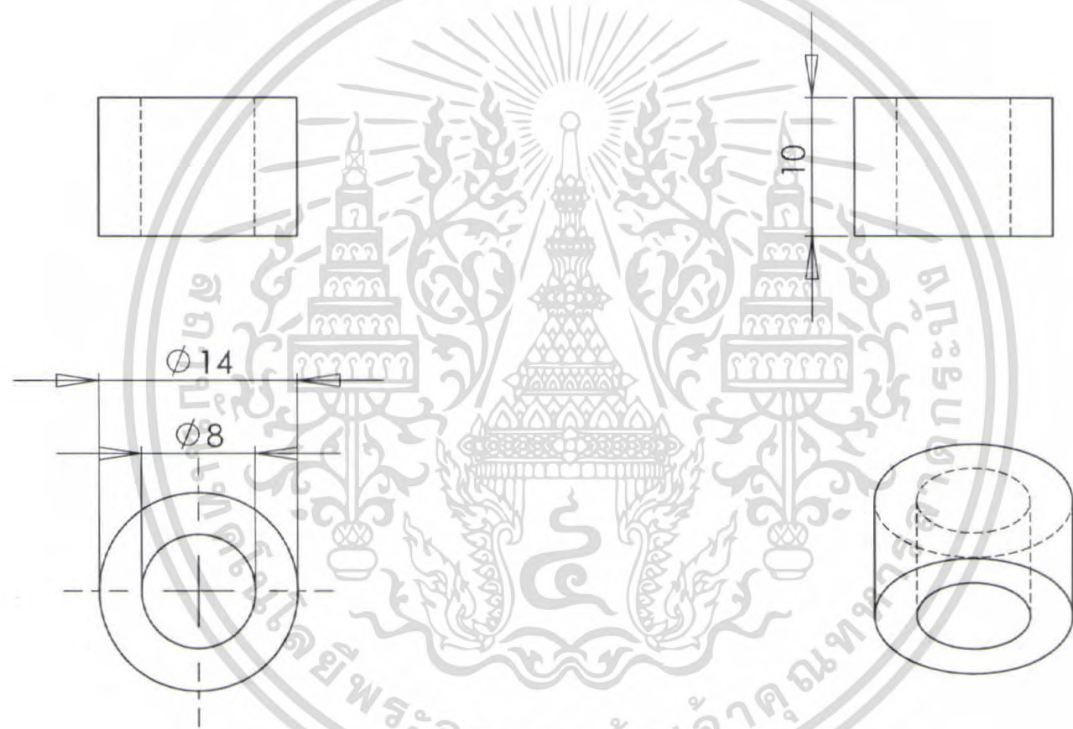
DATE:	NAME:	TITLE:
DRAWN BY:	C.KANITHA	base 03
CHECKED BY:	S.SURASAK	
SCALE: 1:1	DATE: 1/1/1	DRAWN BY: CMM-0009



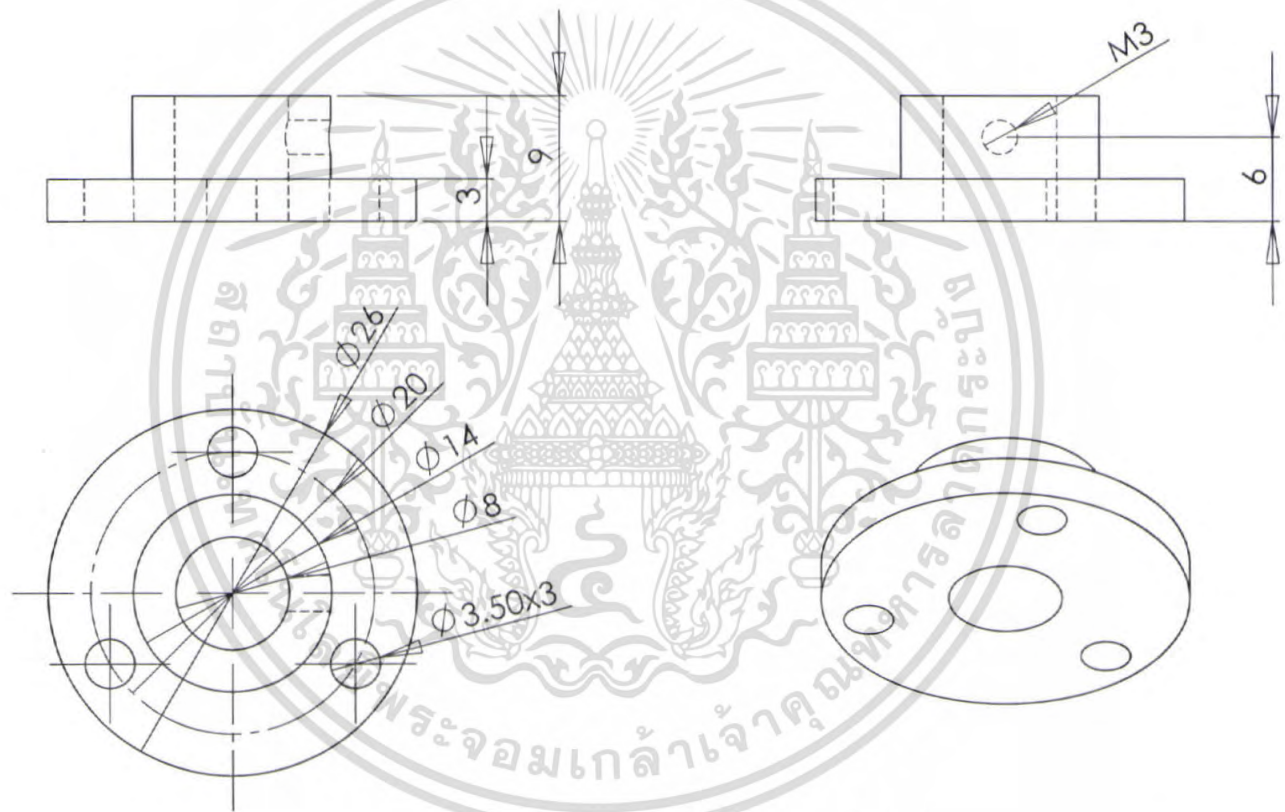
NAME	C. KANIHA	TITLE	base 04
DESIGNER	S. SURASAK		
DATE		DRAW. NO.	CMM-0010



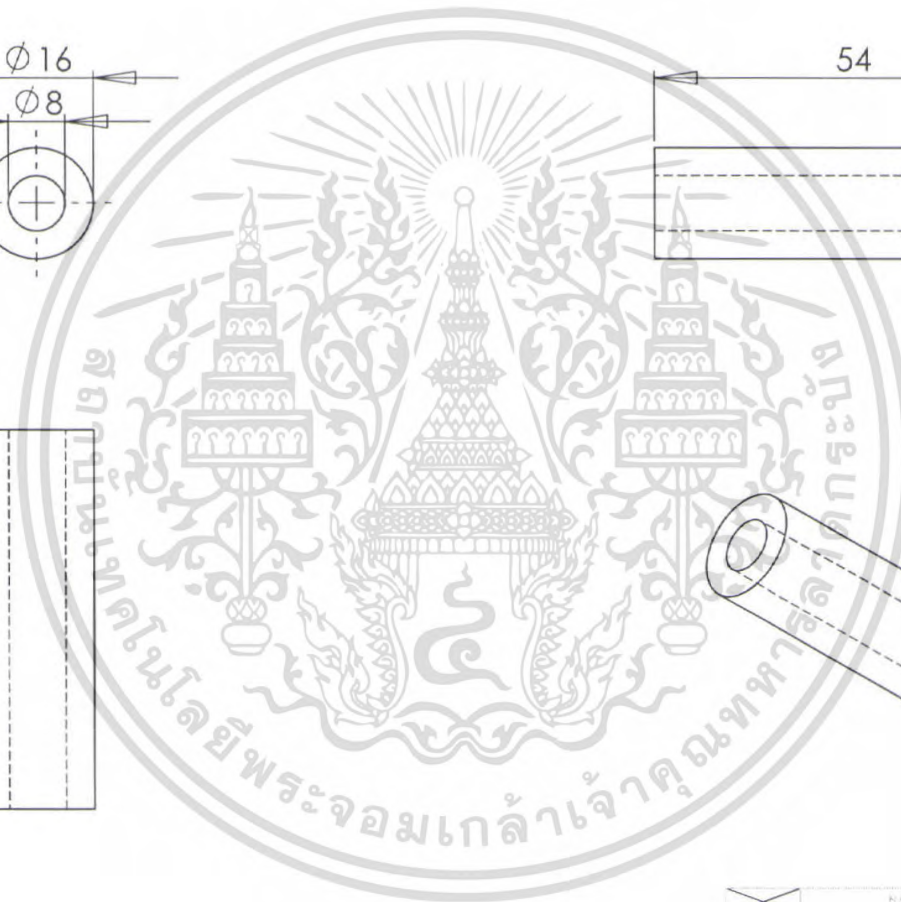
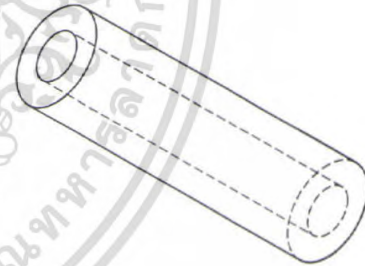
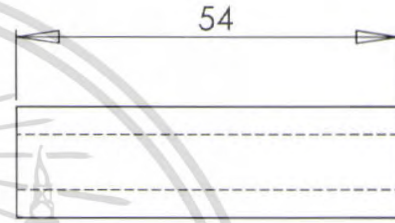
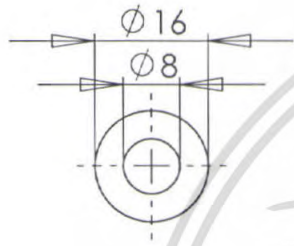
DATE:	NAME:	TITLE:
DRAWN:	C.KANITHA	probe
CHECKED:	S.SURASAK	
SCALE:	NO. (S/N):	EWMS: REV: CMM-0011



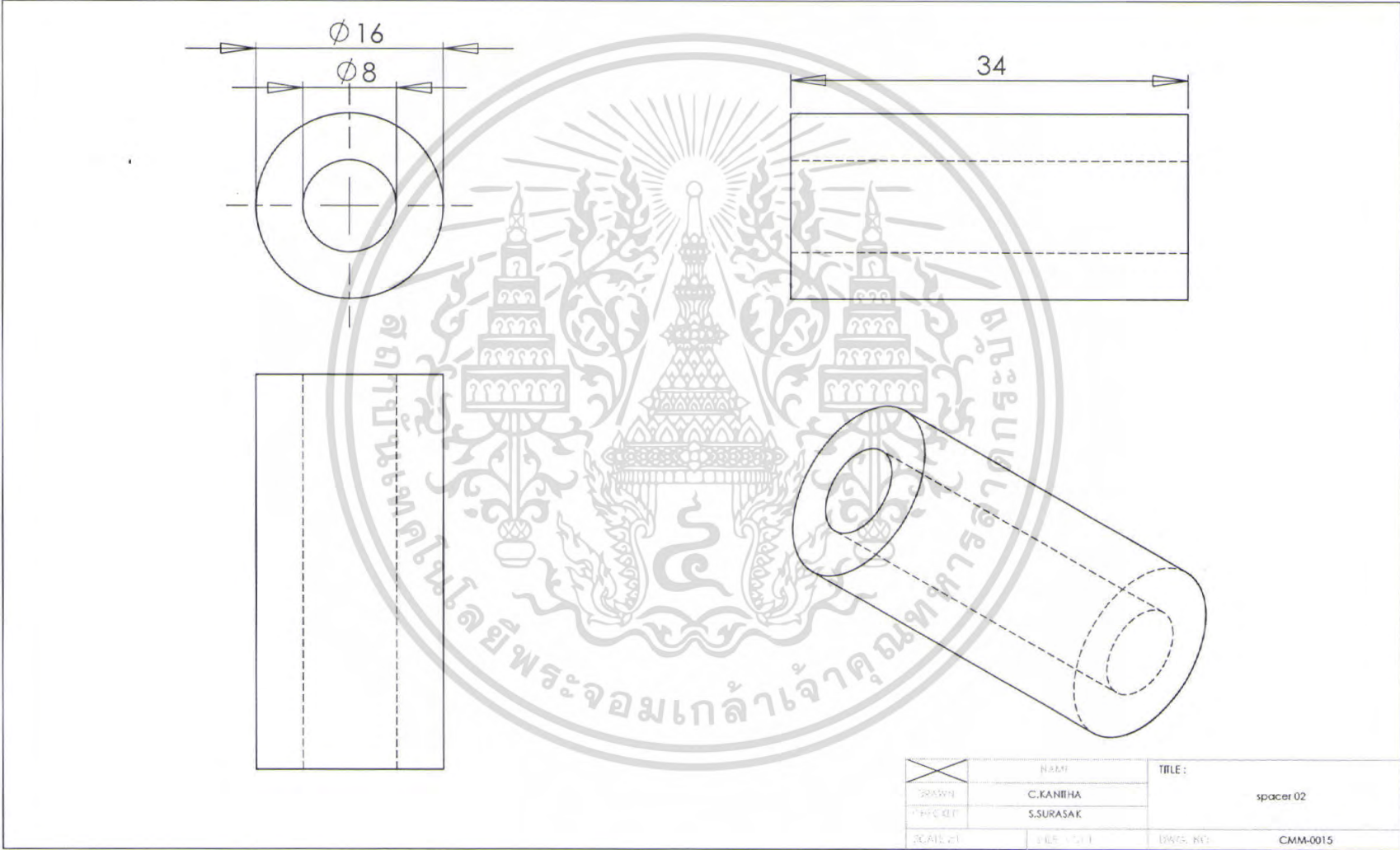
<input checked="" type="checkbox"/>	NAME	TITLE :
DRAWN	C.KANITHA	boost
CHECKED	S.SURASAK	
DATE	DATE	ISSUE NO. CMM-0012



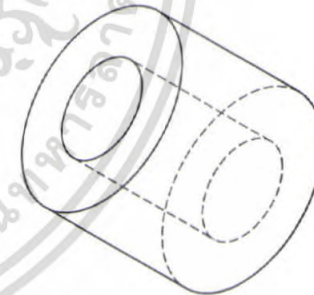
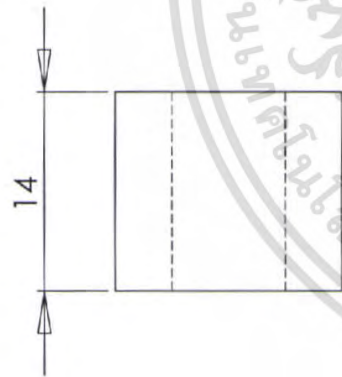
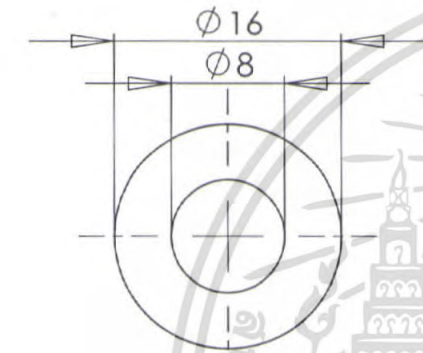
ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้จัดทำ	ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา	ชื่อเรื่อง
	C.KANIHA	S.SURASAK	Coupling
ชื่อผู้จัดทำ	ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา	ชื่อเรื่อง	CMM-0013



	NAME	TITLE
DESIGN	C.KANITHA	spacer 01
DRAWN	S.SURASAK	
DATE	DATE	DWG. NO. CMM-0014



	NAME	TITLE :
GRAPH	C.KANIHA	spacer 02
PROJECT	S.SURASAK	
SCALE: 1	FILE: 1-1-1	DWG. NO: CMM-0015



DRAWN	NAME	TITLE
	C.KANITHA	spacer 03
CHKD BY	S.SURASAK	
DATE	NO.	SPR. NO.
		CMM-0016

ภาคผนวก ค

ข้อมูลของไอซีที่ใช้ในปริญญาโท

1. dsPIC30F2010(ไมโครคอนโทรลเลอร์)
2. dsPIC30F6010(ไมโครคอนโทรลเลอร์)
3. AM26C32
4. MAX232



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

28-pin dsPIC30F2010 Enhanced Flash 16-bit Digital Signal Controller

Note: This data sheet summarizes features of this group of dsPIC30F devices and is not intended to be a complete reference source. For more information on the CPU, peripherals, register descriptions and general device functionality, refer to the *dsPIC30F Family Reference Manual* (DS70046). For more information on the device instruction set and programming, refer to the *dsPIC30F Programmer's Reference Manual* (DS70030).

High-Performance Modified RISC CPU:

- Modified Harvard architecture
- C compiler optimized instruction set architecture
- 84 base instructions with flexible addressing modes
- 24-bit wide instructions, 16-bit wide data path
- 12 Kbytes on-chip Flash program space
- 512 bytes on-chip data RAM
- 1 Kbyte non-volatile data EEPROM
- 16 x 16-bit working register array
- Up to 30 MIPS operation:
 - DC to 40 MHz external clock input
 - 4 MHz-10 MHz oscillator input with PLL active (4x, 8x, 16x)
- 27 interrupt sources
- Three external interrupt sources
- 8 user selectable priority levels for each interrupt
- 4 processor exceptions and software traps

DSP Engine Features:

- Modulo and Bit-Reversed modes
- Two, 40-bit wide accumulators with optional saturation logic
- 17-bit x 17-bit single cycle hardware fractional/integer multiplier
- Single cycle Multiply-Accumulate (MAC) operation
- 40-stage Barrel Shifter
- Dual data fetch

Peripheral Features:

- High current sink/source I/O pins: 25 mA/25 mA
- Three 16-bit timers/counters; optionally pair up 16-bit timers into 32-bit timer modules
- Four 16-bit Capture input functions
- Two 16-bit Compare/PWM output functions
 - Dual Compare mode available
- 3-wire SPI™ modules (Supports 4 Frame modes)
- I²C™ module supports Multi-Master/Slave mode and 7-bit/10-bit addressing
- Addressable UART modules with FIFO buffers

Motor Control PWM Module Features:

- 6 PWM output channels
 - Complementary or Independent Output modes
 - Edge and Center Aligned modes
- 4 duty cycle generators
- Dedicated time base with 4 modes
- Programmable output polarity
- Dead time control for Complementary mode
- Manual output control
- Trigger for synchronized A/D conversions

Quadrature Encoder Interface Module Features:

- Phase A, Phase B and Index Pulse input
- 16-bit up/down position counter
- Count direction status
- Position Measurement (x2 and x4) mode
- Programmable digital noise filters on inputs
- Alternate 16-bit Timer/Counter mode
- Interrupt on position counter rollover/underflow

Analog Features:

- 10-bit Analog-to-Digital Converter (A/D) with:
 - 500 Ksps (for 10-bit A/D) conversion rate
 - Six input channels
 - Conversion available during Sleep and Idle
- Programmable Brown-out Detection and Reset generation

dsPIC30F2010

Special Microcontroller Features:

- Enhanced Flash program memory:
 - 10,000 erase/write cycle (min.) for industrial temperature range, 100K (typical)
- Data EEPROM memory:
 - 100,000 erase/write cycle (min.) for industrial temperature range, 1M (typical)
- Self-reprogrammable under software control
- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Flexible Watchdog Timer (WDT) with on-chip low power RC oscillator for reliable operation
- Fail-Safe clock monitor operation

- Detects clock failure and switches to on-chip low power RC oscillator
- Programmable code protection
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™)
- Selectable Power Management modes
 - Sleep, Idle and Alternate Clock modes

CMOS Technology:

- Low power, high speed Flash technology
- Wide operating voltage range (2.5V to 5.5V)
- Industrial and Extended temperature ranges
- Low power consumption

dsPIC30F Motor Control and Power Conversion Family*

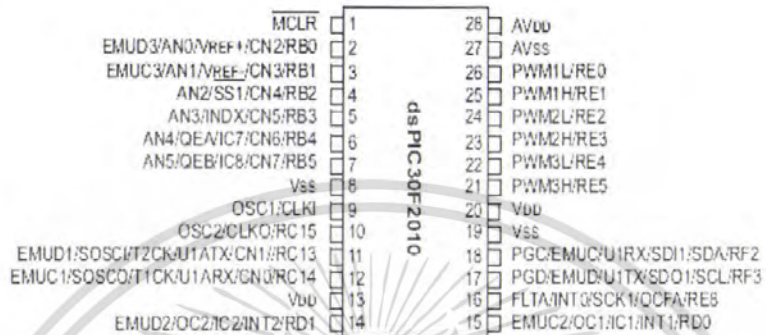
Device	Pins	Program Mem. Bytes/Instructions	SRAM Bytes	EEPROM Bytes	Timer, 16-bit	Input Cap	Output Comp/Std PWM	Motor Control PWM	A/D 10-bit 500 Ksps	Quad Enc	UART	SPI™	I ² C™	CAN
dsPIC30F2010	28	12K/4K	512	1024	3	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	-
dsPIC30F3010	28	24K/8K	1024	1024	5	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	-
dsPIC30F4012	28	48K/16K	2048	1024	5	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	1
dsPIC30F3011	40/44	24K/8K	1024	1024	5	4	4	6 ch	9 ch	Yes	2	1	1	-
dsPIC30F4011	40/44	48K/16K	2048	1024	5	4	4	6 ch	9 ch	Yes	2	1	1	1
dsPIC30F5015	64	66K/22K	2048	1024	5	4	4	8 ch	16 ch	Yes	1	2	1	1
dsPIC30F6010	80	144K/48K	8192	4096	5	8	8	8 ch	16 ch	Yes	2	2	1	2

* This table provides a summary of the dsPIC30F2010 peripheral features. Other available devices in the dsPIC30F Motor Control and Power Conversion Family are shown for feature comparison.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Diagrams

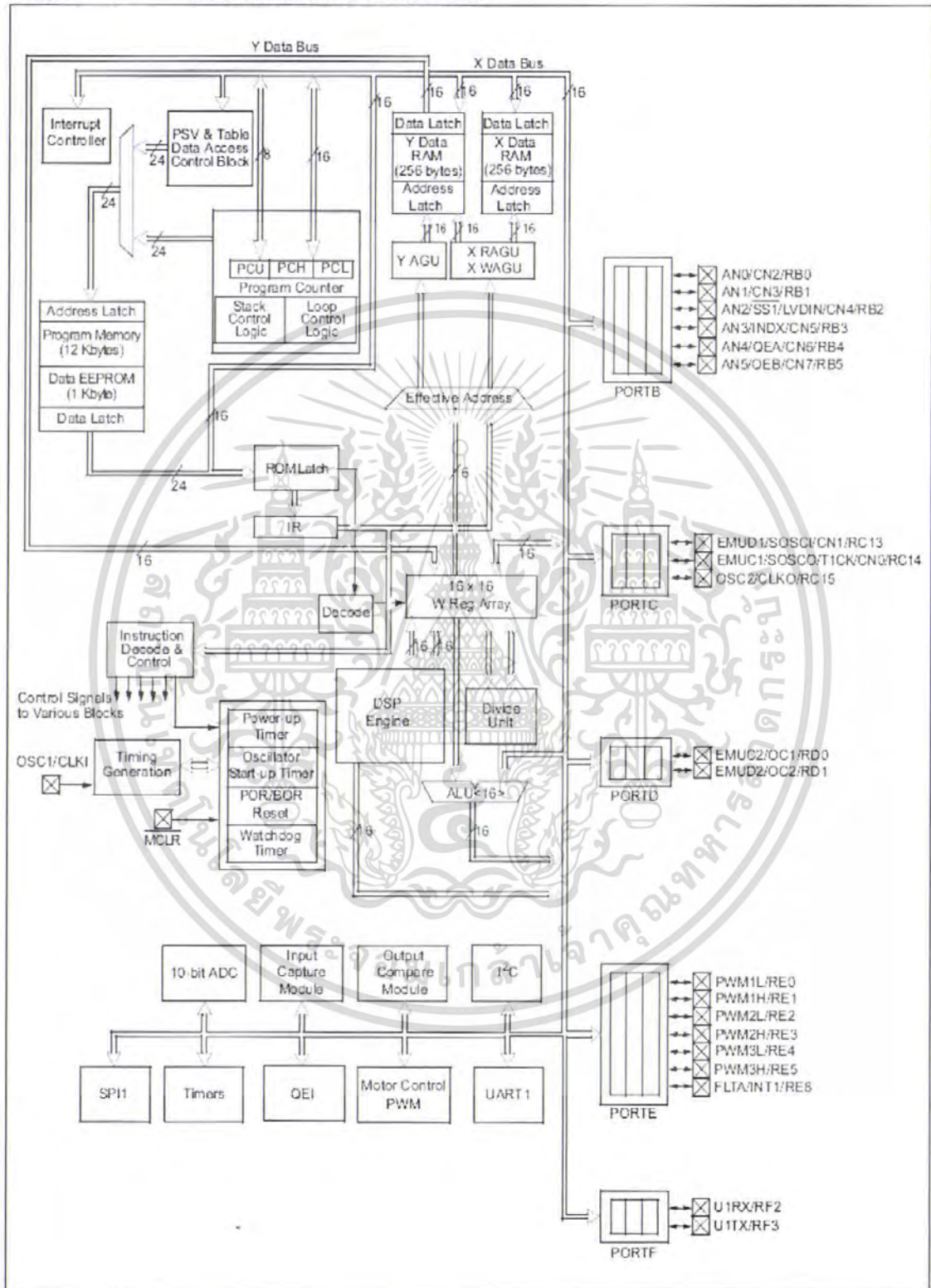
28-Pin SDIP and SOIC



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dsPIC30F2010

FIGURE 1-1: dsPIC30F2010 BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1-1 provides a brief description of device I/O pinouts and the functions that may be multiplexed to a port pin. Multiple functions may exist on one port pin. When multiplexing occurs, the peripheral module's functional requirements may force an override of the data direction of the port pin.

TABLE 1-1: PINOUT I/O DESCRIPTIONS

Pin Name	Pin Type	Buffer Type	Description
AN0-AN5	I	Analog	Analog input channels.
AVDD	P	P	Positive supply for analog module.
AVSS	P	P	Ground reference for analog module.
CLKI CLKO	I O	ST/CMOS —	External clock source input. Always associated with OSC1 pin function. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. Optionally functions as CLKO in RC and EC modes. Always associated with OSC2 pin function.
CN0-CN7	I	ST	Input change notification inputs. Can be software programmed for internal weak pull-ups on all inputs.
EMUD EMUC EMUD1 EMUC1 EMUD2 EMUC2 EMUD3 EMUC3	I/O I/O I/O I/O I/O I/O I/O I/O	ST ST ST ST ST ST ST ST	ICD Primary Communication Channel data input/output pin. ICD Primary Communication Channel clock input/output pin. ICD Secondary Communication Channel data input/output pin. ICD Secondary Communication Channel clock input/output pin. ICD Tertiary Communication Channel data input/output pin. ICD Tertiary Communication Channel clock input/output pin. ICD Quaternary Communication Channel data input/output pin. ICD Quaternary Communication Channel clock input/output pin.
IC1, IC2, IC7, IC8	I	ST	Capture inputs. The dsPIC30F2010 has 4 capture inputs. The inputs are numbered for consistency with the inputs on larger device variants.
INDX QEA QEB	I I I	ST ST ST	Quadrature Encoder Index Pulse input. Quadrature Encoder Phase A input in QE1 mode. Auxiliary Timer External Clock/Gate input in Timer mode. Quadrature Encoder Phase A input in QE1 mode. Auxiliary Timer External Clock/Gate input in Timer mode.
INT0 INT1 INT2	I I I	ST ST ST	External interrupt 0 External interrupt 1 External interrupt 2
FLTA PWM1L PWM1H PWM2L PWM2H PWM3L PWM3H	I O O O O O O	ST — — — — — —	PWM Fault A Input PWM 1 Low output PWM 1 High output PWM 2 Low output PWM 2 High output PWM 3 Low output PWM 3 High output
MCLR	I/P	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active low Reset to the device.
OCFA OC1-OC2	I O	ST —	Compare Fault A input (for Compare channels 1, 2, 3 and 4). Compare outputs.
OSC1 OSC2	I I/O	ST/CMOS —	Oscillator crystal input. ST buffer when configured in RC mode; CMOS otherwise. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. Optionally functions as CLKO in RC and EC modes.

Legend: CMOS =CMOS compatible input or output Analog= Analog input
 ST =Schmitt Trigger input with CMOS levels O= Output
 I =Input P = Power

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dsPIC30F2010

TABLE 1-1: PINOUT I/O DESCRIPTIONS (CONTINUED)

Pin Name	Pin Type	Buffer Type	Description
PGD	I/O	ST	In-Circuit Serial Programming data input/output pin.
PGC	I	ST	In-Circuit Serial Programming clock input pin.
RB0-RB5	I/O	ST	PORTB is a bidirectional I/O port.
RC13-RC14	I/O	ST	PORTC is a bidirectional I/O port.
RD0-RD1	I/O	ST	PORTD is a bidirectional I/O port.
RE0-RE5, RE8	I/O	ST	PORTE is a bidirectional I/O port.
RF2, RF3	I/O	ST	PORTF is a bidirectional I/O port.
SCK1	I/O	ST	Synchronous serial clock input/output for SPI™ #1.
SDI1	I	ST	SPI #1 Data In.
SDO1	O	—	SPI #1 Data Out.
SS1	I	ST	SPI #1 Slave Synchronization.
SCL	I/O	ST	Synchronous serial clock input/output for I ² C.
SDA	I/O	ST	Synchronous serial data input/output for I ² C.
SOSCO	O	—	32 kHz low power oscillator crystal output.
SOSCI	I	ST/CMOS	32 kHz low power oscillator crystal input. ST buffer when configured in RC mode; CMOS otherwise.
T1CK	I	ST	Timer1 external clock input.
T2CK	I	ST	Timer2 external clock input.
U1RX	I	ST	UART1 Receive.
U1TX	O	—	UART1 Transmit.
U1ARX	I	ST	UART1 Alternate Receive.
U1ATX	O	—	UART1 Alternate Transmit.
VDD	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
VSS	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VREF+	I	Analog	Analog Voltage Reference (High) input.
VREF-	I	Analog	Analog Voltage Reference (Low) input.

Legend: CMOS = CMOS compatible input or output Analog = Analog input
 ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels O = Output
 I = Input P = Power

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dsPIC30F6010 Enhanced Flash 16-bit Digital Signal Controller

Note: This data sheet summarizes features of this group of dsPIC30F devices and is not intended to be a complete reference source. For more information on the CPU, peripherals, register descriptions and general device functionality, refer to the *dsPIC30F Family Reference Manual* (DS70046). For more information on the device instruction set and programming, refer to the *dsPIC30F Programmer's Reference Manual* (DS70030).

High-Performance Modified RISC CPU:

- Modified Harvard architecture
- C compiler optimized instruction set architecture with flexible Addressing modes
- 84 base instructions
- 24-bit wide instructions, 16-bit wide data path
- 144 Kbytes on-chip Flash program space (Instruction words)
- 8 Kbytes of on-chip data RAM
- 4 Kbytes of non-volatile data EEPROM
- Up to 30 MIPS operation
 - DC to 40 MHz external clock input
 - 4 MHz-10 MHz oscillator input with PLL active (4x, 8x, 16x)
- 44 interrupt sources
 - 5 external interrupt sources
 - 8 user selectable priority levels for each interrupt source
 - 4 processor trap sources
- 16 x 16-bit working register array

DSP Engine Features:

- Dual data fetch
- Accumulator write back for DSP operations
- Modulo and Bit-Reversed Addressing modes
- Two, 40-bit wide accumulators with optional saturation logic
- 17-bit x 17-bit single cycle hardware fractional/integer multiplier
- All DSP instructions single cycle
- \pm 16-bit single cycle shift

Peripheral Features:

- High current sink/source I/O pins: 25 mA/25 mA
- Timer module with programmable prescaler:
 - Five 16-bit timers/counters; optionally pair 16-bit timers into 32-bit timer modules
- 16-bit Capture input functions
- 16-bit Compare/PWM output functions
- 3-wire SPI™ modules (supports 4 Frame modes)
- I²C™ module supports Multi-Master/Slave mode and 7-bit/10-bit addressing
- 2 UART modules with FIFO Buffers
- 2 CAN modules, 2.0B compliant

Motor Control PWM Module Features:

- 8 PWM output channels
 - Complementary or Independent Output modes
 - Edge and Center Aligned modes
- 4 duty cycle generators
- Dedicated time base
- Programmable output polarity
- Dead Time control for Complementary mode
- Manual output control
- Trigger for A/D conversions

Quadrature Encoder Interface Module Features:

- Phase A, Phase B and Index Pulse input
- 16-bit up/down position counter
- Count direction status
- Position Measurement (x2 and x4) mode
- Programmable digital noise filters on inputs
- Alternate 16-bit Timer/Counter mode
- Interrupt on position counter rollover/underflow

dsPIC30F6010

Analog Features:

- 10-bit Analog-to-Digital Converter (A/D) with 4 S/H Inputs:
 - 500 Ksps conversion rate
 - 16 input channels
 - Conversion available during Sleep and Idle
- Programmable Low Voltage Detection (PLVD)
- Programmable Brown-out Detection and Reset generation

- Self-reprogrammable under software control
- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Flexible Watchdog Timer (WDT) with on-chip low power RC oscillator for reliable operation
- Fail-Safe clock monitor operation detects clock failure and switches to on-chip low power RC oscillator
- Programmable code protection
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™)
- Selectable Power Management modes
 - Sleep, Idle and Alternate Clock modes

Special Microcontroller Features:

- Enhanced Flash program memory:
 - 10,000 erase/write cycle (min.) for industrial temperature range, 100K (typical)
- Data EEPROM memory:
 - 100,000 erase/write cycle (min.) for industrial temperature range, 1M (typical)

CMOS Technology:

- Low power, high speed Flash technology
- Wide operating voltage range (2.5V to 5.5V)
- Industrial and Extended temperature ranges
- Low power consumption

dsPIC30F Motor Control and Power Conversion Family*

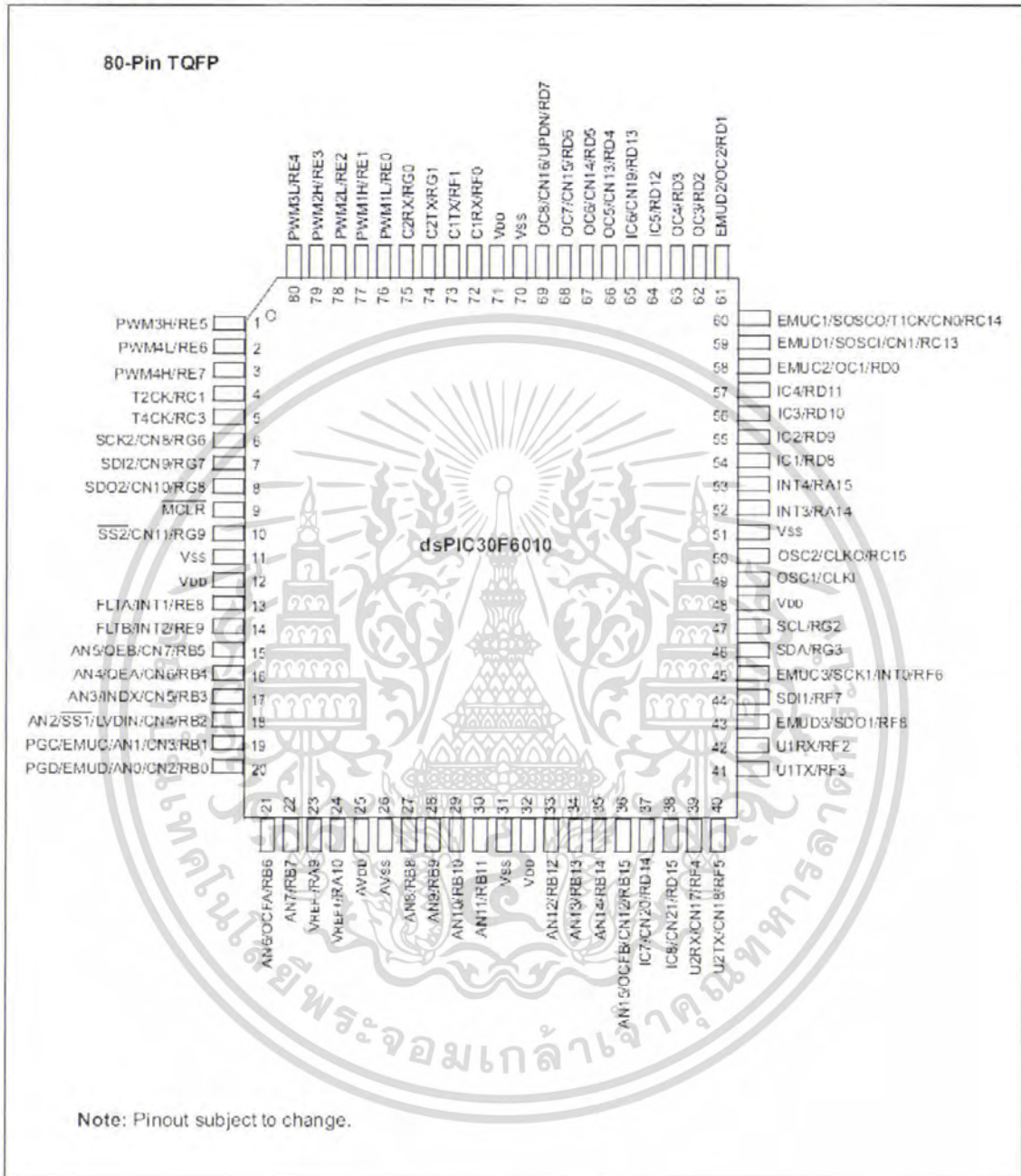
Device	Pins	Program. Mem. Bytes/Instructions	SRAM Bytes	EEPROM Bytes	Timer 16-bit	Input Cap	Output Comp/Std PWM	Moto Control PWM	A/D-10-bit 500 Ksps	Quad Enc	UART	SPI™	I ² C™	CAN
dsPIC30F2010	28	12K/4K	512	1024	3	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	-
dsPIC30F3010	28	24K/8K	1024	1024	5	4	2	8 ch	6 ch	Yes	1	1	1	-
dsPIC30F4012	28	48K/16K	2048	1024	5	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	1
dsPIC30F3011	40/44	24K/8K	1024	1024	5	4	4	6 ch	9 ch	Yes	2	1	1	-
dsPIC30F4011	40/44	48K/16K	2048	1024	5	4	4	6 ch	9 ch	Yes	2	1	1	1
dsPIC30F5015	64	66K/22K	2048	1024	5	4	4	8 ch	16 ch	Yes	1	2	1	1
dsPIC30F6010	80	144K/48K	8192	4096	5	8	8	8 ch	16 ch	Yes	2	2	1	2

* This table provides a summary of the dsPIC30F6010 peripheral features. Other available devices in the dsPIC30F Motor Control and Power Conversion Family are shown for feature comparison.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dsPIC30F6010

Pin Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dsPIC30F6010

Table 1-1 provides a brief description of the device I/O pinout and the functions that are multiplexed to a port pin. Multiple functions may exist on one port pin. When multiplexing occurs, the peripheral module's functional requirements may force an override of the data direction of the port pin.

TABLE 1-1: dsPIC30F6010 I/O PIN DESCRIPTIONS

Pin Name	Pin Type	Buffer Type	Description
AN0-AN15	I	Analog	Analog input channels. AN0 and AN1 are also used for device programming data and clock inputs, respectively.
AVdd	P	P	Positive supply for analog module.
AVss	P	P	Ground reference for analog module.
CLKI CLKO	I O	ST/CMOS	External clock source input. Always associated with OSC1 pin function. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. Optionally functions as CLKO in RC and EC modes. Always associated with OSC2 pin function.
CN0-CN23	I	ST	Input change notification inputs. Can be software programmed for internal weak pull-ups on all inputs.
COFS	I/O	ST	Data Converter Interface frame synchronization pin.
CSCK	I/O	ST	Data Converter Interface serial clock input/output pin.
CSDI	I	ST	Data Converter Interface serial data input pin.
CSDO	O	ST	Data Converter Interface serial data output pin.
C1RX C1TX	I O	ST	CAN1 bus receive pin. CAN1 bus transmit pin.
C2RX C2TX	I O	ST	CAN2 bus receive pin. CAN2 bus transmit pin.
EMUD EMUC	I/O I/O	ST ST	ICD Primary Communication Channel data input/output pin. ICD Primary Communication Channel clock input/output pin.
EMUD1 EMUC1	I/O I/O	ST ST	ICD Secondary Communication Channel data input/output pin. ICD Secondary Communication Channel clock input/output pin.
EMUD2 EMUC2	I/O I/O	ST ST	ICD Tertiary Communication Channel data input/output pin. ICD Tertiary Communication Channel clock input/output pin.
EMUD3 EMUC3	I/O I/O	ST ST	ICD Quaternary Communication Channel data input/output pin. ICD Quaternary Communication Channel clock input/output pin.
IC1-IC8	I	ST	Capture Inputs 1 through 8.
INDX QEA	I I	ST ST	Quadrature Encoder Index Pulse input. Quadrature Encoder Phase A input in QE1 mode.
QEB	I	ST	Auxiliary Timer External Clock/Gate input in Timer mode. Quadrature Encoder Phase A input in QE1 mode.
UPDN	O	CMOS	Auxiliary Timer External Clock/Gate input in Timer mode. Position Up/Down Counter Direction State.
INT0 INT1 INT2 INT3 INT4	I I I I I	ST ST ST ST ST	External interrupt 0. External interrupt 1. External interrupt 2. External interrupt 3. External interrupt 4.
LVDIN	I	Analog	Low Voltage Detect Reference Voltage input pin.

Legend: CMOS = CMOS compatible input or output Analog = Analog input
 ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels O = Output
 I = Input P = Power

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dsPIC30F6010

TABLE 1-1: dsPIC30F6010 I/O PIN DESCRIPTIONS (CONTINUED)

Pin Name	Pin Type	Buffer Type	Description
FLTA	I	ST	PWM Fault A input.
FLTB	I	ST	PWM Fault B input.
PWM1L	O	—	PWM 1 Low output.
PWM1H	O	—	PWM 1 High output.
PWM2L	O	—	PWM 2 Low output.
PWM2H	O	—	PWM 2 High output.
PWM3L	O	—	PWM 3 Low output.
PWM3H	O	—	PWM 3 High output.
PWM4L	O	—	PWM 4 Low output.
PWM4H	O	—	PWM 4 High output.
MCLR	I/P	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active low Reset to the device.
OCFA	I	ST	Compare Fault A input (for Compare channels 1, 2, 3 and 4).
OCFB	I	ST	Compare Fault B input (for Compare channels 5, 6, 7 and 8).
OC1-OC8	O	—	Compare outputs 1 through 8.
OSC1	I	ST/CMOS	Oscillator crystal input. ST buffer when configured in RC mode; CMOS otherwise.
OSC2	I/O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. Optionally functions as CLK0 in RC and EC modes.
PGD	I/O	ST	In-Circuit Serial Programming data input/output pin.
PGC	I	ST	In-Circuit Serial Programming clock input pin.
RA9-RA10	I/O	ST	PORTA is a bi-directional I/O port.
RA14-RA15	I/O	ST	
RB0-RB15	I/O	ST	PORTB is a bi-directional I/O port.
RC1	I/O	ST	PORTC is a bi-directional I/O port.
RC3	I/O	ST	
RC13-RC15	I/O	ST	
RD0-RD15	I/O	ST	PORTD is a bi-directional I/O port.
RE0-RE9	I/O	ST	PORTE is a bi-directional I/O port.
RF0-RF8	I/O	ST	PORTF is a bi-directional I/O port.
RG0-RG3	I/O	ST	PORTG is a bi-directional I/O port.
RG6-RG9	I/O	ST	
SCK1	I/O	ST	Synchronous serial clock input/output for SPI #1.
SDI1	I	ST	SPI #1 Data in.
SDO1	O	—	SPI #1 Data Out.
SS1	I	ST	SPI #1 Slave Synchronization.
SCK2	I/O	ST	Synchronous serial clock input/output for SPI #2.
SDI2	I	ST	SPI #2 Data in.
SDO2	O	—	SPI #2 Data Out.
SS2	I	ST	SPI #2 Slave Synchronization.
SCL	I/O	ST	Synchronous serial clock input/output for I ² C.
SDA	I/O	ST	Synchronous serial data input/output for I ² C.
SOSCO	O	—	32 kHz low power oscillator crystal output.
SOSCI	I	ST/CMOS	32 kHz low power oscillator crystal input. ST buffer when configured in RC mode; CMOS otherwise.

Legend: CMOS = CMOS compatible input or output Analog = Analog input
 ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels O = Output
 I = Input P = Power

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dsPIC30F6010

TABLE 1-1: dsPIC30F6010 I/O PIN DESCRIPTIONS (CONTINUED)

Pin Name	Pin Type	Buffer Type	Description
T1CK	I	ST	Timer1 external clock input.
T2CK	I	ST	Timer2 external clock input.
T3CK	I	ST	Timer3 external clock input.
T4CK	I	ST	Timer4 external clock input.
T5CK	I	ST	Timer5 external clock input.
U1RX	I	ST	UART1 Receive.
U1TX	O	—	UART1 Transmit.
U1ARX	I	ST	UART1 Alternate Receive.
U1ATX	O	—	UART1 Alternate Transmit.
U2RX	I	ST	UART2 Receive.
U2TX	O	—	UART2 Transmit.
VDD	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
VSS	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VREF+	I	Analog	Analog Voltage Reference (High) input.
VREF-	I	Analog	Analog Voltage Reference (Low) input.

Legend: CMOS = CMOS compatible input or output Analog = Analog input
 ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels O = Output
 I = Input P = Power

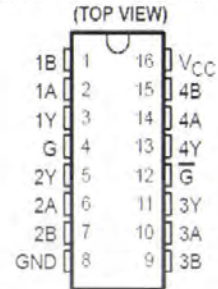
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AM26C32 QUADRUPLE DIFFERENTIAL LINE RECEIVER

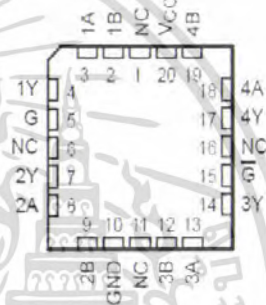
SLLS104I – DECEMBER 1990 – REVISED SEPTEMBER 2004

- Meets or Exceeds the Requirements of ANSI TIA/EIA-422-B, TIA/EIA-423-B, and ITU Recommendation V.10 and V.11
- Low Power, $I_{CC} = 10 \text{ mA Typ}$
- $\pm 7\text{-V}$ Common-Mode Range With $\pm 200\text{-mV}$ Sensitivity
- Input Hysteresis . . . 60 mV Typ
- $t_{pd} = 17 \text{ ns Typ}$
- Operates From a Single 5-V Supply
- 3-State Outputs
- Input Fail-Safe Circuitry
- Improved Replacements for AM26LS32
- Available in Q-Temp Automotive
 - High Reliability Automotive Applications
 - Configuration Control/Print Support
 - Qualification to Automotive Standards

AM26C32C . . . D, N, OR NS PACKAGE
AM26C32I . . . D, N, NS, OR PW PACKAGE
AM26C32Q . . . D PACKAGE
AM26C32M . . . J OR W PACKAGE



AM26C32M . . . FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC – No internal connection

description/ordering information

The AM26C32 is a quadruple differential line receiver for balanced or unbalanced digital data transmission. The enable function is common to all four receivers and offers a choice of active-high or active-low input. The 3-state outputs permit connection directly to a bus-organized system. Fail-safe design specifies that if the inputs are open, the outputs always are high.

The AM26C32 devices are manufactured using a BiCMOS process, which is a combination of bipolar and CMOS transistors. This process provides the high voltage and current of bipolar with the low power of CMOS to reduce the power consumption to about one-fifth that of the standard AM26LS32, while maintaining ac and dc performance.

The AM26C32C is characterized for operation from 0°C to 70°C. The AM26C32I is characterized for operation from -40°C to 85°C. The AM26C32Q is characterized for operation from -40°C to 125°C. The AM26C32M is characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AM26C32 QUADRUPLE DIFFERENTIAL LINE RECEIVER

SLLS104I – DECEMBER 1990 – REVISED SEPTEMBER 2004

description/ordering information (continued)

ORDERING INFORMATION

T _A	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 70°C	PDIP (N)	Tube of 25	AM26C32CN	AM26C32CN
	SOIC (D)	Tube of 40	AM26C32CD	AM26C32C
		Reel of 2500	AM26C32CDR	
	SOP (NS)	Reel of 2000	AM26C32CNSR	26C32
-40°C to 85°C	PDIP (N)	Tube of 25	AM26C32IN	AM26C32IN
	SOIC (D)	Tube of 40	AM26C32ID	AM26C32I
		Reel of 2500	AM26C32IDR	
	SOP (NS)	Reel of 2000	AM26C32INSR	26C32I
TSSOP (PW)	Tube of 80	AM26C32IPW	26C32I	
-40°C to 125°C	SOIC (D)	Tube of 40	AM26C32QD	AM26C32QD
-55°C to 125°C	CDIP (J)	Tube of 25	AM26C32MJ	AM26C32MJ
	QFP (W)	Tube of 150	AM26C32MW	AM26C32MW
	LQCC (FK)	Tube of 55	AM26C32MFK	AM26C32MFK

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package

FUNCTION TABLE
(each receiver)

DIFFERENTIAL INPUT	ENABLES		OUTPUT Y
	G	\bar{G}	
$V_{ID} = V_{IT+}$	H	X	H
	X	L	H
$V_{IT-} < V_{ID} < V_{IT+}$	H	X	Z
	X	L	Z
$V_{ID} \leq V_{IT-}$	H	X	L
	X	L	L
X	L	H	Z

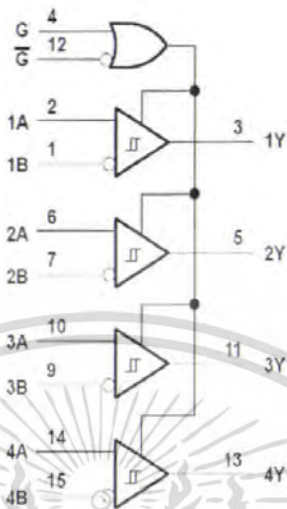
H = high level, L = low level, X = irrelevant
Z = high impedance (off), ? = indeterminate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AM26C32 QUADRUPLE DIFFERENTIAL LINE RECEIVER

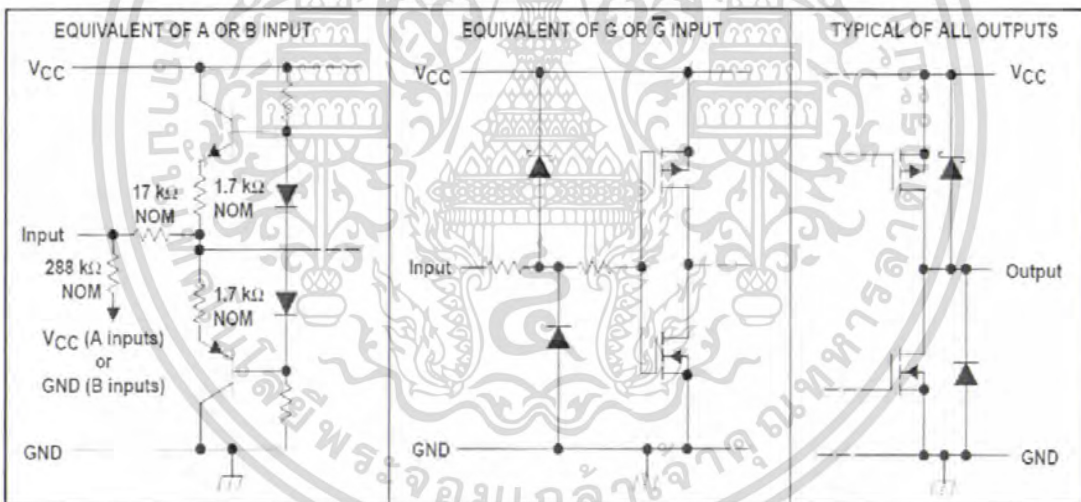
SLLS104I - DECEMBER 1990 - REVISED SEPTEMBER 2004

logic diagram (positive logic)



Pin numbers shown are for the D, J, N, NS, PW, and W packages

schematics



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

General Description

The MAX220-MAX249 family of line drivers/receivers is intended for all EIA/TIA-232E and V.28/V.24 communications interfaces, particularly applications where $\pm 12V$ is not available.

These parts are especially useful in battery-powered systems, since their low-power shutdown mode reduces power dissipation to less than 5 μ W. The MAX225, MAX233, MAX235, and MAX245/MAX246/MAX247 use no external components and are recommended for applications where printed circuit board space is critical.

Next-Generation Device Features

- ◆ For Low-Voltage, Integrated ESD Applications
MAX3222E/MAX3232E/MAX3237E/MAX3241E/
MAX3246E: +3.0V to +5.5V, Low-Power, Up to
1Mbps, True RS-232 Transceivers Using Four
0.1 μ F External Capacitors (MAX3246E Available
in a UCSP™ Package)
- ◆ For Low-Cost Applications
MAX221E: $\pm 15kV$ ESD-Protected, +5V, 1 μ A,
Single RS-232 Transceiver with AutoShutdown™

Applications

Portable Computers
Low-Power Modems
Interface Translation
Battery-Powered RS-232 Systems
Multidrop RS-232 Networks

Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX220CPE	0°C to +70°C	16 Plastic DIP
MAX220CSE	0°C to +70°C	16 Narrow SO
MAX220CWE	0°C to +70°C	16 Wide SO
MAX220C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX220EPE	-40°C to +85°C	16 Plastic DIP
MAX220ESE	-40°C to +85°C	16 Narrow SO
MAX220EWE	-40°C to +85°C	16 Wide SO
MAX220EJE	-40°C to +85°C	16 CERDIP
MAX220MJE	-55°C to +125°C	16 CERDIP

AutoShutdown and UCSP are trademarks of Maxim Integrated Products, Inc.

Ordering information continued at end of data sheet.
*Contact factory for dice specifications.

Selection Table

Part Number	Power Supply (V)	No. of RS-232 Drivers/Rx	No. of Ext. Caps	Nominal Cap. Value (μ F)	SHDN & Three-State	Rx Active In SHDN	Data Rate (kbps)	Features
MAX220	+5	2/2	4	0.047/0.33	No	—	120	Ultra-low-power, industry-standard pinout
MAX222	+5	2/2	4	0.1	Yes	—	200	Low-power shutdown
MAX223 (MAX213)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	✓	120	MAX241 and receivers active in shutdown
MAX225	+5	5/5	0	—	Yes	✓	120	Available in SO
MAX230 (MAX200)	+5	5/0	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	5 drivers with shutdown
MAX231 (MAX201)	+5 and +7.5 to +13.2	2/2	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; same functions as MAX232
MAX232 (MAX202)	+5	2/2	4	1.0 (0.1)	No	—	120 (64)	Industry standard
MAX232A	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Higher slew rate, small caps
MAX233 (MAX203)	+5	2/2	0	—	No	—	120	No external caps
MAX233A	+5	2/2	0	—	No	—	200	No external caps, high slew rate
MAX234 (MAX204)	+5	4/0	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1489
MAX235 (MAX205)	+5	5/5	0	—	Yes	—	120	No external caps
MAX236 (MAX206)	+5	4/3	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Shutdown, three-state
MAX237 (MAX207)	+5	5/3	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Complements IBM PC serial port
MAX238 (MAX208)	+5	4/4	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488 and 1489
MAX239 (MAX209)	+5 and +7.5 to +13.2	3/5	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; single-package solution for IBM PC serial port
MAX240	+5	5/5	4	1.0	Yes	—	120	DIP or flatpack package
MAX241 (MAX211)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Complete IBM PC serial port
MAX242	+5	2/2	4	0.1	Yes	✓	200	Separate shutdown and enable
MAX243	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Open-line detection simplifies cabling
MAX244	+5	8/10	4	1.0	No	—	120	High slew rate
MAX245	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, two shutdown modes
MAX246	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, three shutdown modes
MAX247	+5	8/9	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, nine operating modes
MAX248	+5	8/8	4	1.0	Yes	✓	120	High slew rate, selective half-chip enables
MAX249	+5	6/10	4	1.0	Yes	✓	120	Available in quad flatpack package

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS—MAX223/MAX230—MAX241

V _{CC}	-0.3V to +6V	20-Pin Wide SO (derate 10.00mW/°C above +70°C)	800mW
V ₊	(V _{CC} - 0.3V) to +14V	24-Pin Wide SO (derate 11.76mW/°C above +70°C)	941mW
V ₋	+0.3V to -14V	28-Pin Wide SO (derate 12.50mW/°C above +70°C)	1W
Input Voltages		44-Pin Plastic FP (derate 11.11mW/°C above +70°C)	889mW
T _{IN}	-0.3V to (V _{CC} + 0.3V)	14-Pin CERDIP (derate 9.09mW/°C above +70°C)	727mW
R _{IN}	±30V	16-Pin CERDIP (derate 10.00mW/°C above +70°C)	800mW
Output Voltages		20-Pin CERDIP (derate 11.11mW/°C above +70°C)	889mW
T _{OUT}	(V ₊ + 0.3V) to (V ₋ - 0.3V)	24-Pin Narrow CERDIP	
R _{OUT}	-0.3V to (V _{CC} + 0.3V)	(derate 12.50mW/°C above +70°C)	1W
Short-Circuit Duration, T _{OUT}	Continuous	24-Pin Sidebrazed (derate 20.0mW/°C above +70°C)	1.6W
Continuous Power Dissipation (T _A = +70°C)		28-Pin SSOP (derate 9.52mW/°C above +70°C)	762mW
14-Pin Plastic DIP (derate 10.00mW/°C above +70°C)		Operating Temperature Ranges	
16-Pin Plastic DIP (derate 10.53mW/°C above +70°C)		MAX2 __ C	0°C to +70°C
20-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C)		MAX2 __ E	-40°C to +85°C
24-Pin Narrow Plastic DIP		MAX2 __ M	-55°C to +125°C
(derate 13.33mW/°C above +70°C)		Storage Temperature Range	-65°C to +160°C
1.07W		Lead Temperature (soldering, 10s) (Note 4)	+300°C
24-Pin Plastic DIP (derate 9.09mW/°C above +70°C)			
500mW			
16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C)			
762mW			

Note 4: Maximum reflow temperature for the MAX233/MAX235 is +225°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 in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX223/MAX230—MAX241

(MAX223/230/232/234/236/237/238/240/241, V_{CC} = +5V ±10%; MAX233/MAX235, V_{CC} = 5V ±5%, C1-C4 = 1.0µF; MAX231/MAX239, V_{CC} = 5V ±10%; V₊ = 7.5V to 13.2V; T_A = T_{MIN} to T_{MAX}; unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output Voltage Swing	All transmitter outputs loaded with 3kΩ to ground	±5.0	±7.3		V
V _{CC} Power-Supply Current	No load, T _A = +25°C		5	10	mA
	MAX223/230/234-236/240/241		7	15	
	MAX231/239		0.4	1	
V ₊ Power-Supply Current	MAX231		1.8	5	mA
	MAX239		5	15	
Shutdown Supply Current	T _A = +25°C		15	50	µA
	MAX223		1	10	
Input Logic Threshold Low	T _{IN} ; EN, SHDN (MAX233); EN, SHDN (MAX230/235-241)			0.8	V
	T _{IN}	2.0			
Input Logic Threshold High	EN, SHDN (MAX233); EN, SHDN (MAX230/235/236/240/241)		2.4		V
	T _{IN} = 0V		1.5	200	
Logic Pull-Up Current	T _{IN} = 0V				µA
Receiver Input Voltage Operating Range		-30		+30	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX223/MAX230–MAX241 (continued)

(MAX223/230/232/234/236/237/238/240/241, $V_{CC} = +5V \pm 10\%$; MAX233/MAX235, $V_{CC} = 5V \pm 5\%$, C_1 – $C_4 = 1.0\mu F$; MAX231/MAX239, $V_{CC} = 5V \pm 10\%$; $V_+ = 7.5V$ to $13.2V$; $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} ; unless otherwise noted.)

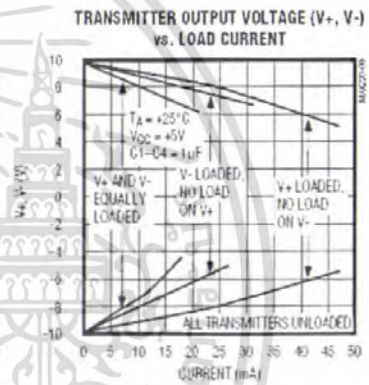
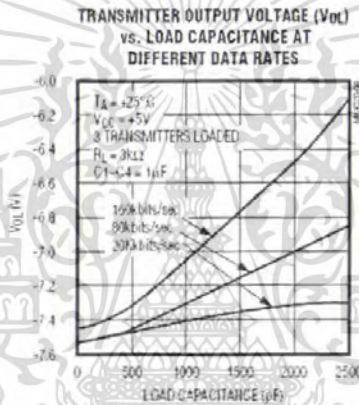
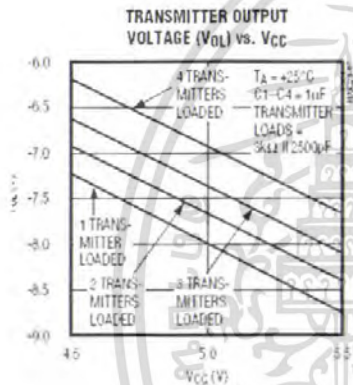
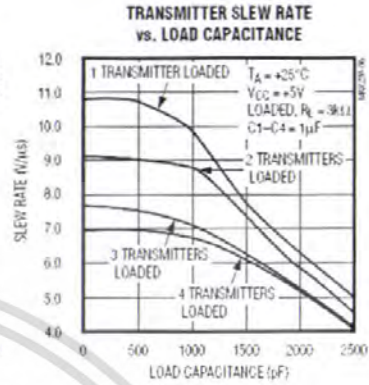
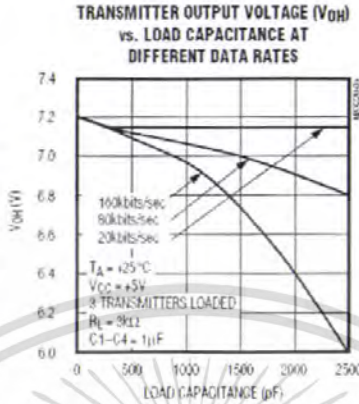
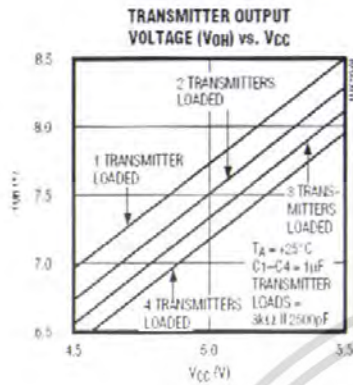
PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
RS-232 Input Threshold Low	$T_A = +25^\circ C$, $V_{CC} = 5V$	Normal operation SHDN = 5V (MAX223) SHDN = 0V (MAX235/236/240/241)	0.8	1.2		V
		Shutdown (MAX223) SHDN = 0V, EN = 5V (R_{4IN} , R_{5IN})	0.6	1.5		
RS-232 Input Threshold High	$T_A = +25^\circ C$, $V_{CC} = 5V$	Normal operation SHDN = 5V (MAX223) SHDN = 0V (MAX235/236/240/241)		1.7	2.4	V
		Shutdown (MAX223) SHDN = 0V, EN = 5V (R_{4IN} , R_{5IN})		1.5	2.4	
RS-232 Input Hysteresis	$V_{CC} = 5V$, no hysteresis in shutdown		0.2	0.5	1.0	V
RS-232 Input Resistance	$T_A = +25^\circ C$, $V_{CC} = 5V$		3	5	7	k Ω
TTL/CMOS Output Voltage Low	$I_{OUT} = 1.6mA$ (MAX231/232/233, $I_{OUT} = 3.2mA$)				0.4	V
TTL/CMOS Output Voltage High	$I_{OUT} = -1mA$		3.5	$V_{CC} - 0.4$		V
TTL/CMOS Output Leakage Current	$0V \leq R_{OUT} \leq V_{CC}$; EN = 0V (MAX223), EN = V_{CC} (MAX235–241)			0.05	± 10	μA
Receiver Output Enable Time	Normal operation	MAX223		600		ns
		MAX235/236/239/240/241		400		
Receiver Output Disable Time	Normal operation	MAX223		900		ns
		MAX235/236/239/240/241		250		
Propagation Delay	RS-232 IN to TTL/CMOS OUT $C_L = 150pF$	Normal operation SHDN = 0V (MAX223)	t_{PHLS}	4	40	μs
		t_{PLHS}	6	40		
Transition Region Slew Rate	MAX223/MAX230/MAX234–241, $T_A = +25^\circ C$, $V_{CC} = 5V$, $R_L = 3k\Omega$ to $7k\Omega$, $C_L = 50pF$ to $2500pF$, measured from $+3V$ to $-3V$ or $-3V$ to $+3V$		3	5.1	30	V/ μs
	MAX231/MAX232/MAX233, $T_A = +25^\circ C$, $V_{CC} = 5V$, $R_L = 3k\Omega$ to $7k\Omega$, $C_L = 50pF$ to $2500pF$, measured from $+3V$ to $-3V$ or $-3V$ to $+3V$			4	30	
Transmitter Output Resistance	$V_{CC} = V_+ = V_- = 0V$, $V_{OUT} = \pm 2V$		300			Ω
Transmitter Output Short-Circuit Current				± 10		mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

Typical Operating Characteristics

MAX223/MAX230-MAX241



500ns/div
*SHUTDOWN POLARITY IS REVERSED FOR NON MAX241 PARTS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

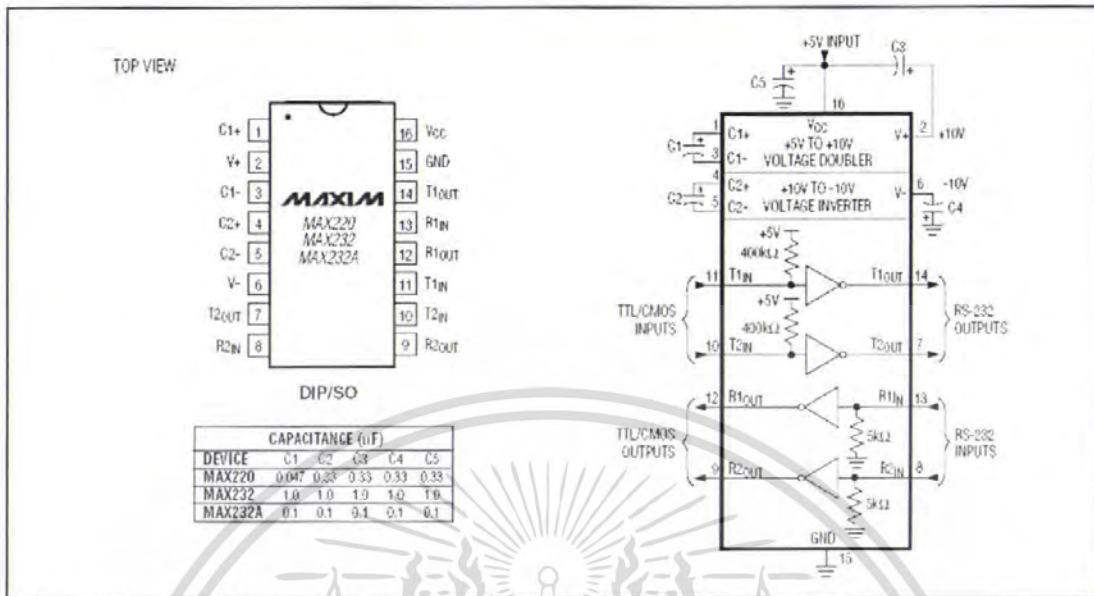


Figure 5. MAX220/MAX232/MAX232A Pin Configuration and Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้