สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนระนาบ

BALL PLATE CONTROL SYSTEM

T104237

นายอรรถพล อยู่เสนสุข
นายภิเษก เลิศวรรณการ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....104237
วัน,เดือน,ปี.....30 ต.ค. 2552

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนระนาบ
BALL PLATE CONTROL SYSTEM

ผู้จัดทำ นายอรรถพล อยู่แสนสุข 48011087
นายภิเษก เลิศวรรณการ 48011136

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร. ถาวร เบญจนราสุทธิ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนระนาบ

โดย

นายอรรถพล อยู่แสนสุข 48011087

นายภิเษก เลิศวรรณการ 48011136

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. ถาวร เบญจนราสุทธิ์

ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอทฤษฎี และการออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติ เพื่อควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนระนาบ โดยอาศัยแผ่นหน้าจอแบบสัมผัสตรวจจับตำแหน่งลูกบอล ซึ่งโครงสร้างของระบบจะประกอบไปด้วย คอมพิวเตอร์ แผ่นหน้าจอแบบสัมผัส วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวของ และโครงสร้างระบบลูกบอลบนระนาบ เป้าหมายในการควบคุมคือบังคับลูกบอลให้ไปยังตำแหน่งที่ต้องการตามที่กำหนดบนระนาบและรักษาตำแหน่งของบอลนั้นโดยการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงที่ต่อกับระนาบ

ขั้นตอนดำเนินการ เริ่มจากการออกแบบและประกอบโครงสร้างของระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนระนาบ ศึกษาและออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้ภาษาวิชวลเบสิกเพื่อตรวจจับตำแหน่งของลูกบอลจากแผ่นหน้าจอแบบสัมผัส และหาค่าสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมโดยอาศัยแนวคิดระบบควบคุมพีไอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BALL PLATE CONTROL SYSTEM

By

Mr. Attapon Yusaensuk 48011087

Mr. Pisake Lertwanakarn 48011136

Advisor

Asst. Prof. Dr. Taworn Benjanarasuth

Academic Year 2008

ABSTRACT

This thesis presents theories and implementation procedures of a ball plate control system using a resistive touch panel as a feedback sensor. The system composes of the ball and plate structure, computer, resistive touch panel and interfacing circuits. The goal is to control the ball to any desired position on the plate and maintain the ball at that position by controlling the DC motors connected to the plate.

The project has been conducted as in the following steps. First, the structure of the ball plate control system is designed and constructed. Second, necessary electronic circuits are studied and implemented. Then, the computer program written in Visual Basic language is composed. Its tasks are to detect the ball position from resistive touch panel and to compute suitable control signal based on PID control scheme.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดี จาก ผศ.ดร. ถาวร เบญจนราสุทธิ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำที่ดีมาโดยตลอดตั้งแต่ต้น รวมทั้งเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่จำเป็น และความช่วยเหลืออื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงาน รวมถึงให้ความเอาใจใส่ดูแลสอบถามถึงความก้าวหน้าอย่าสม่ำเสมอ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ รศ.ดร. จงกล งามวิวิทย์ ที่คอยถามความคืบหน้าอยู่ตลอดเวลา รวมถึงการเอื้อเฟื้อด้านสถานที่ในการวิจัย และยังขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้แก่คณะ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุมที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณในการทำโครงงาน

ขอขอบคุณนายสฤษธิภัสร์ บู่ทองที่คอยแนะนำรวมถึงให้ความรู้เกี่ยวกับโครงงานอยู่เสมอ และขอบคุณนายภราดร อธิจิตสกุล ที่คอยช่วยเหลือในการเขียนโปรแกรม รวมถึงเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ สนับสนุนอุปกรณ์ที่ขาดเหลือ กระตุ้นเตือน และถามไถ่ความคืบหน้าของโครงงานอยู่เสมอ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา รวมถึงการสนับสนุนในเรื่องของงบประมาณที่ขาดเหลือ ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดทำให้โครงงานนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้

ผู้จัดทำ

นายอรรถพล อยู่แสนสุข

นายภิเษก เลิศวรรณการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของการจัดทำโครงงาน	1
1.2 เนื้อหาในปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ตัวควบคุมแบบพีไอดี	3
2.1.1 ตัวควบคุมแบบพี	3
2.1.2 ตัวควบคุมแบบไอ	6
2.1.3 ตัวควบคุมแบบดี	8
2.1.4 ระบบควบคุมแบบพีไอ	10
2.1.5 ระบบควบคุมแบบพีดี	12
2.1.6 ตัวควบคุมแบบพีไอดี	13
2.2 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยสัญญาณพีดับบิวเอ็ม	15
2.3 หลักการทำงานของโพเท็นทิโอมิเตอร์	16
2.4 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกโดยผ่านพอร์ตอนุกรม	17
2.4.1 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส	17
2.4.2 การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	17
2.5 การนำเสนอตัวอักษรและตัวเลขในอุปกรณ์ดิจิตอล	19
2.5.1 รหัสแอสกี้	19
2.5.2 ระบบเลขฐาน	20
2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์	21
2.7 แบบจำลองทางคณิศาสตร์ของระบบควบคุมลูกบอลบนระนาบ	22
บทที่ 3 หลักการออกแบบ	25
3.1 โครงสร้างทางกายภาพ	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2 คอมพิวเตอร์	29
3.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์	29
บทที่ 4 ผลการทดลอง	33
4.1 การระบุตำแหน่งลูกบอลระนาบโดยเทียบกับค่าการแปลงค่าระดับอนาล็อกเป็นดิจิตอล	33
4.2 การระบุตำแหน่งลูกบอลโดยเทียบพิกเซล	34
4.3 ผลการทดลองควบคุมมุมระนาบโดยอาศัยตัวควบคุมแบบพีไอดี	35
4.4 ผลจำลองการควบคุมตำแหน่งลูกบอลโดยอาศัยการควบคุมแบบพีไอดี	39
บทที่ 5 วิจารณ์และสรุปผล	47
5.1 สรุปผลการทดลอง	47
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข	47
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา	48
ภาคผนวก	49
ภาคผนวก ก โปรแกรมการประมวลผลและควบคุมตำแหน่งลูกบอล	50
ก.1 โปรแกรมสำหรับควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนระนาบ	51
ก.2 โปรแกรมควบคุมมอเตอร์ในไมโครคอนโทรลเลอร์	55
ก.3 โปรแกรมสำหรับรับข้อมูลเพื่อบันทึกผล	63
ภาคผนวก ข เอกสารคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	64
ข.1 เอกสารคู่มือการใช้งาน PIC 16F877A	64
ข.2 เอกสารคู่มือการใช้งาน IC MAX 232	65
ข.3 เอกสารคู่มือการใช้งาน L293D	67
ภาคผนวก ค รหัสแอสกี้	67
เอกสารอ้างอิง	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 การกำหนดช่วงจำกัดของเอาท์พุต	4
2.2 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบพี	5
2.3 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพี	5
2.4 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบไอ	7
2.5 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบไอ	7
2.6 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบดี	9
2.7 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบดี	9
2.8 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพีไอ	11
2.9 การตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีไอ	11
2.10 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพีดี	13
2.11 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพีไอดี	14
2.12 สัญญาณพีดับบิวเอ็มมีความกว้างพัลส์เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์	15
2.13 สัญญาณพีดับบิวเอ็มมีความกว้างพัลส์เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์	15
2.14 สัญญาณพีดับบิวเอ็มมีความกว้างพัลส์เท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์	16
2.15 โพเท็นทิโอมิเตอร์	16
2.16 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส	17
2.17 การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	18
2.18 แนวการเคลื่อนที่ของลูกบอลในแต่ละแกน	22
2.19 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมลูกบอลบนระนาบ	24
3.1 หลักการทำงานของระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนระนาบ	25
3.2 โครงสร้างของระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนระนาบ	26
3.3 แผ่นหน้าจอแบบสัมผัส	27
3.4 แผงวงจรควบคุมการทำงานของแผ่นหน้าจอแบบสัมผัส	27
3.5 การยึดมอเตอร์	28
3.6 การยึดโพเท็นทิโอมิเตอร์	28
3.7 โฟลว์ชาร์ตการควบคุมตำแหน่งมุมของระนาบโดยคอมพิวเตอร์	30
3.8 โฟลว์ชาร์ตการหาตำแหน่งลูกบอลบนระนาบ	31
3.9 โฟลว์ชาร์ตการควบคุมตำแหน่งมุมระนาบในไมโครคอนโทรลเลอร์	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 ขอบเขตการทำงานของหน้าจอสัมผัส	34
4.2 ผลตอบสนองการควบคุมมุมระนาบจาก 0 องศาไปยัง 3 องศาในแนวแกน X โดยอาศัยตัวควบคุมแบบ พี พีไอ และพีไอดี	36
4.3 ผลตอบสนองการควบคุมมุมระนาบจาก 0 องศาไปยัง -3 องศาในแนวแกน X โดยอาศัยตัวควบคุมแบบ พี พีไอ และพีไอดี	36
4.4. ผลตอบสนองการควบคุมมุมระนาบจาก 0 องศาไปยัง 3 องศาในแนวแกน Y โดยอาศัยตัวควบคุมแบบ พี พีไอ และพีไอดี	37
4.5 ผลตอบสนองการควบคุมมุมระนาบจาก 0 องศาไปยัง -3 องศาในแนวแกน Y โดยอาศัยตัวควบคุมแบบ พี พีไอ และพีไอดี	37
4.6 ผลตอบสนองการควบคุมมุมระนาบจาก 0 องศาไปยังมุมบวกโดยอาศัยตัวควบคุมแบบพี	38
4.7 ผลตอบสนองการควบคุมมุมระนาบจาก 0 องศาไปยังมุมลบโดยอาศัยตัวควบคุมแบบพี	39
4.8 แบบจำลองของระบบโดยใช้โปรแกรม Matlab	40
4.9 ตำแหน่งลูกบอลเมื่ออาศัยตัวควบคุมแบบพี	41
4.10 คำสั่งมุมระนาบเมื่ออาศัยตัวควบคุมแบบพี	41
4.11 ตำแหน่งลูกบอลเมื่ออาศัยการควบคุมแบบไอ	42
4.12 คำสั่งมุมระนาบโดยอาศัยตัวควบคุมแบบไอ	42
4.13 ตำแหน่งลูกบอลเมื่ออาศัยตัวควบคุมแบบพีไอ	43
4.14 คำสั่งมุมระนาบโดยอาศัยตัวควบคุมแบบพีไอ	43
4.15 ตำแหน่งลูกบอลเมื่ออาศัยตัวควบคุมแบบพีดี	44
4.16 คำสั่งมุมระนาบเมื่ออาศัยตัวควบคุมแบบพีดี	45
4.17 ตำแหน่งลูกบอลเมื่ออาศัยตัวควบคุมแบบพีไอดี	46
4.18 คำสั่งมุมระนาบเมื่ออาศัยตัวควบคุมแบบพีไอดี	46
ก.1 หน้าต่างเชื่อต่อกับผู้ใช้ในโปรแกรมการตรวจสอบตำแหน่งลูกบอลบนระนาบ	50
ก.2 หน้าต่างเชื่อมต่อกับผู้ใช้ในโปรแกรมการรับข้อมูลเพื่อบันทึกผล	62
ค.1 ตารางรหัสแอสกี้	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

4.1 ผลทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับสัญญาณดิจิตอลกับมุมของระนาบ 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

การศึกษาในสาขาวิชาระบบควบคุม เป็นการศึกษาและประยุกต์ทฤษฎีต่างๆ เพื่อการออกแบบระบบควบคุมให้มีเสถียรภาพ และมีสมรรถนะตามความต้องการหรือให้เป็นไปตามข้อกำหนด อาทิ ระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนคาน ระบบควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และระบบควบคุมการไหลและความสูงของระดับน้ำ จากโครงงานที่ผ่านมาได้มีการศึกษาระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนคานซึ่งเป็นการควบคุมในหนึ่งมิติ ดังนั้น เพื่อเป็นการพัฒนาความรู้ทางด้านระบบควบคุม จึงมีการปรับปรุงระบบเพิ่มเติมโดยเปลี่ยนการควบคุมแบบหนึ่งมิติ เป็นการควบคุมในระนาบซึ่งเป็นการควบคุมแบบสองมิติ เนื่องจากโครงงานในปีที่ผ่านมานั้น ได้มีการศึกษาระบบควบคุมบนระนาบ โดยใช้กล้องดิจิตอล เป็นอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งของลูกบอล ในโครงงานนี้จึงได้เปลี่ยนจากการใช้งานกล้องดิจิตอลเป็นแผ่นหน้าจอแบบสัมผัส ซึ่งจะมีความเร็วในการตรวจจับตำแหน่งของลูกบอลเป็นอย่างมาก และเพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการนี้จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาการจำลองระบบควบคุมด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ การออกแบบตัวควบคุมหรือตัวชดเชยแบบต่างๆ การศึกษาวงจรอิเล็กทรอนิกส์และอิเล็กทรอนิกส์กำลัง รวมไปถึงศึกษาการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การศึกษาและการเลือกอุปกรณ์วัดและแปลงสัญญาณ ตลอดจนการบูรณาการเรื่องที่ศึกษาเหล่านี้ในการประยุกต์ให้ใช้งานกับระบบควบคุมทางกายภาพได้จริง ซึ่งนับเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการศึกษาในสาขาวิชานี้

ระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนระนาบ เป็นตัวอย่างหนึ่งของระบบควบคุมที่นิยมใช้ในการศึกษา เนื่องจากเป็นระบบวงเปิดที่ไม่มีเสถียรภาพ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมเพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพ โดยเลือกใช้การควบคุมแบบป้อนกลับอัตโนมัติ ซึ่งมีหลายแบบ เช่น การควบคุมแบบพีไอดี การป้อนกลับสเตท (State Feedback) และแบบอื่นๆ เป้าหมายของการควบคุมคือการทำให้ลูกบอลหยุดนิ่ง ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งบนระนาบได้ตามต้องการ

รายละเอียดของบทนี้จะกล่าวถึงวัตถุประสงค์ของการจัดทำโครงงาน และรวมถึงขั้นตอนการศึกษาและการจัดทำโครงงานโดยภาพรวม ตลอดจนรายละเอียดต่างๆ ที่จะกล่าวถึงในบทต่อไป

1.1 วัตถุประสงค์ของการจัดทำโครงงาน

1. ศึกษาทฤษฎีระบบควบคุมเพื่อออกแบบตัวควบคุมแบบต่างๆและสามารถนำมาใช้งานจริง
2. ศึกษาและทดลองการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆในทางระบบควบคุม
3. ศึกษาและสร้างระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนระนาบ ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ประกอบเป็นโครงสร้างทางกล อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ของระบบควบคุม อุปกรณ์วัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งของลูกบอลบนระนาบ ซึ่งในโครงงานนี้ใช้แผ่นหน้าจอแบบสัมผัส (Touch Panel) รวมถึงส่วนของการควบคุมและประมวลผล โดยโครงงานนี้ใช้คอมพิวเตอร์และโปรแกรมวิชวลเบสิค (Visual Basic)

1.2 เนื้อหาในปริญญานิพนธ์

เนื้อหาในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย บทที่ 1 บทนำ กล่าวนำถึงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนการศึกษา การจัดทำโครงงาน พร้อมทั้งรายละเอียดของแต่ละบทในปริญญานิพนธ์ บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้องในการจัดทำโครงงาน เช่น การออกแบบระบบควบคุมแบบพีไอดี การติดต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกโดยผ่านพอร์ตอนุกรม การทำงานของโพเท็นทิออมิเตอร์ เป็นต้น บทที่ 3 หลักการออกแบบ นำเสนอการประกอบโครงสร้างของระบบ รวมถึงแนวคิดในการออกแบบระบบควบคุม บทที่ 4 การทดลอง เป็นส่วนการทดสอบองค์ประกอบต่างๆ ในระบบตลอดจนการทดลองระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนระนาบ บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป จะสรุปผลการดำเนินงาน ปัญหาที่เกิดขึ้น และแนวทางการปรับปรุงพัฒนาโครงงานนี้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบและสร้างระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนระนาบนั้น ต้องศึกษาองค์ความรู้และทฤษฎีซึ่งจะนำไปใช้ในโครงงาน โดยในระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนระนาบนั้น มีส่วนที่สำคัญหลายส่วน ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงองค์ประกอบต่างๆ ที่จะนำไปใช้งานจริง ประกอบด้วยแผ่นหน้าจอชนิดสัมผัส และตัวควบคุมแบบต่างๆ

2.1 ตัวควบคุมแบบพีไอดี

ตัวควบคุม (Controller) เป็นส่วนประกอบหนึ่งในระบบควบคุมแบบป้อนกลับ ซึ่งมีสัญญาณความผิดพลาดเป็นอินพุตและมีเอาท์พุตเป็นอินพุตของอุปกรณ์ขับสำหรับพลานท์ (Plant) ที่ต้องการควบคุม ในโครงงานนี้จะใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี ซึ่งระบบควบคุมพีไอดีที่ใช้นั้นจะประกอบไปด้วยตัวควบคุมพื้นฐาน 3 ลักษณะดังนี้

1. ตัวควบคุมแบบพี (Proportional Controller: P-Controller)
2. ตัวควบคุมแบบไอ (Integral Controler: I-Controller)
3. ตัวควบคุมแบบดี (Derivative Controler: D-Controller)

2.1.1 ตัวควบคุมแบบพี

ในตัวควบคุมแบบพี ถ้ากำหนดสัญญาณอินพุตให้กับตัวควบคุมเป็นค่าความผิดพลาด e(t) เอาท์พุต u(t) ของตัวควบคุม จะเป็นสัดส่วนกับอินพุต e(t) ของตัวควบคุมอธิบายได้ดังสมการที่ (2.1)

$$u(t) = K_p e(t) \tag{2.1}$$

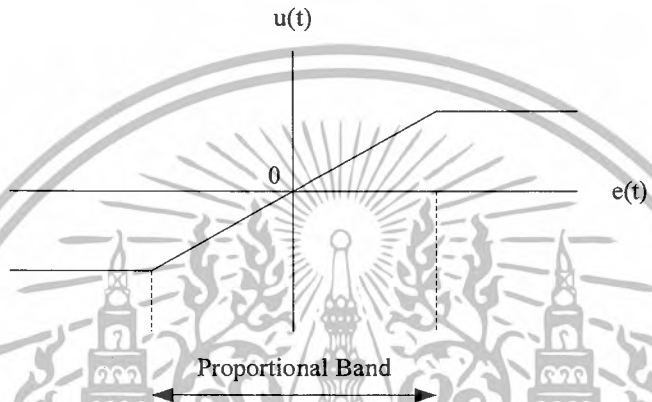
เมื่อ K_p คือ อัตราขยายสัดส่วน (Proportional Gain)

จากสมการที่ (2.1) จะได้ฟังก์ชั่นถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบพีเป็น

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p \tag{2.2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบนี้ก็จะเป็นเพียงการขยายสัญญาณความผิดพลาดเท่านั้น การที่ได้สัญญาณความผิดพลาดขนาดใหญ่ที่เวลาหนึ่ง ทำให้เกิดเอาท์พุตที่มีขนาดใหญ่จากตัวควบคุมในเวลานั้น อย่างไรก็ตามการที่ให้ อัตราขยายคงที่นั้นในทางปฏิบัติอาจกำหนดไว้ในบางช่วงของสัญญาณความผิดพลาดเท่านั้น หรืออาจกำหนดให้ตัวควบคุมมีค่าเอาท์พุตจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.1 และการกำหนดเอาท์พุตของตัวควบคุมแบบพี ช่วงที่มีการกำหนดสัดส่วนนี้ จะเรียกว่า Proportional Band



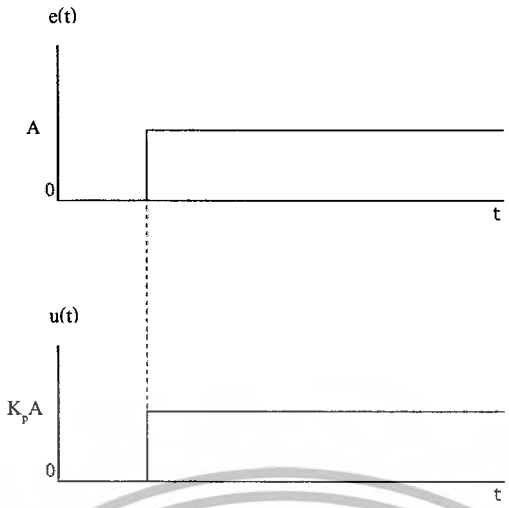
รูปที่ 2.1 การกำหนดช่วงจำกัดของเอาท์พุต

การกำหนด Proportional Band นี้จะช่วยให้สัญญาณเอาท์พุตมีค่าจำกัดไม่ไปสู่ค่าอนันต์ ทั้งด้านบวกและด้านลบ และเมื่อตัวควบคุมมีเอาท์พุตสูงที่สุดที่เป็นไปได้ค่าหนึ่ง ก็นิยมที่จะกำหนดเอาท์พุตค่าใดๆเป็นร้อยละของค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าเอาท์พุตของตัวควบคุม 100% ก็หมายถึงว่า เอาท์พุตจะเปลี่ยนค่าจากค่าต่ำสุดที่เป็นไปได้ ไปเป็นค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ ซึ่งจะได้ว่า

$$K_p = \frac{100}{\text{Proportional Band}} \tag{2.3}$$

เนื่องจากเอาท์พุตของตัวควบคุมจะเป็นสัดส่วนกับอินพุต ดังนั้น ถ้าหากอินพุตมีลักษณะเป็นสัญญาณระดับ (Step) เอาท์พุตที่ได้ก็จะมีลักษณะเป็นสัญญาณระดับเช่นกัน โดยลักษณะของกราฟแสดงอินพุตและเอาท์พุตจะมีสัดส่วนที่แน่นอนค่าหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 2.2 โดยรูปนี้แสดงถึงการตอบสนองของตัวควบคุม เมื่ออินพุตอยู่ในช่วง Proportional Band

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



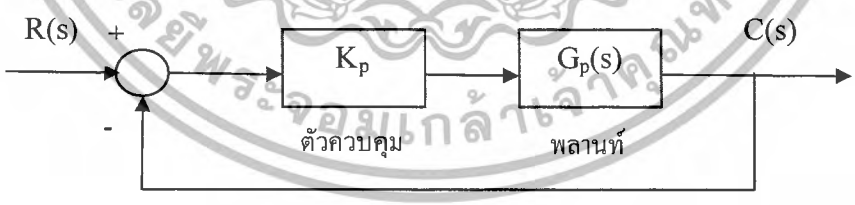
รูปที่ 2.2 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบพี

ตัวควบคุมแบบพีนั้นจะมีลักษณะเหมือนกับเครื่องขยายสัญญาณรูปแบบหนึ่ง ซึ่งอาจจะเป็นในลักษณะของอุปกรณ์ทางไฟฟ้า หรืออาจจะเป็นเครื่องขยายสัญญาณเชิงกล เช่น คาน, ระนาบ เป็นต้น โดยที่ฟังก์ชันถ่ายโอนระบบวงเปิดของตัวควบคุมแบบพีจะได้ดังสมการที่ (2.4)

$$G_o(s) = K_pG_p(s) \tag{2.4}$$

เมื่อ $G_p(s)$ เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนของพลานท์ที่ต้องการควบคุม

ลักษณะตัวควบคุมแบบพีสามารถอธิบายได้ด้วยบล็อกไดอะแกรมดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพี

ข้อเสียของระบบที่มีตัวควบคุมแบบพี คือ ไม่มีการเพิ่มอินทิเกรตหรือ 1/s ในส่วน Forward Path ซึ่งหมายความว่า ถ้าพลานท์เป็นชนิด 0 (Type 0) ตัวควบคุมจะไม่เปลี่ยนแปลงชนิด ทำให้ระบบเป็นชนิด 0 เหมือนเดิม ซึ่งจะทำให้เกิดความผิดพลาดที่สถานะคงตัว (Steady State Error)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.3 ระบบควบคุมแบบพี ซึ่งมีการป้อนกลับหนึ่งหน่วย จะมีฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดของระบบเป็น

$$G(s)=\frac{K_pG_p(s)}{1+K_pG_p(s)} \tag{2.5}$$

ซึ่งสมการคุณลักษณะระบบวงปิดของตัวควบคุมแบบพีจะมีค่าเป็น $1 + K_pG_p(s)$ ซึ่งมีรากเปลี่ยนไปตามค่าของ K_p

2.1.2 ตัวควบคุมแบบไอ

ในระบบควบคุมแบบไอ เอาท์พุตของตัวควบคุมจะเป็นสัดส่วนกับการอินทิเกรตของสัญญาณค่าความผิดพลาดเทียบกับเวลา ดังแสดงในสมการที่ (2.6)

$$u(t)=K_i\int_0^t e(t)dt \tag{2.6}$$

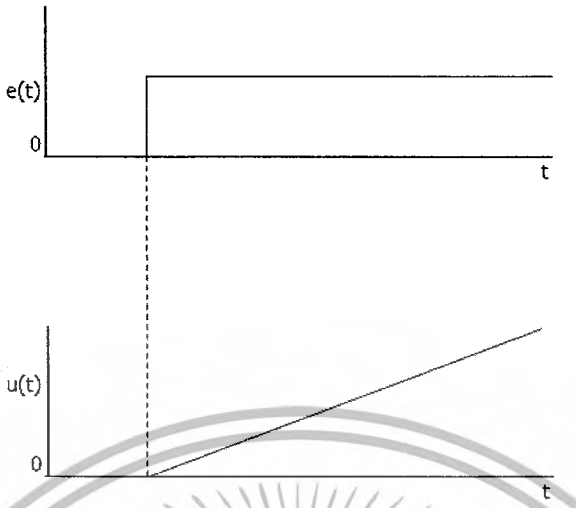
เมื่อ K_i คือ อัตราขยายอินทิเกรต (Integral Gain) ซึ่งจะมีหน่วยเป็น sec^{-1}

จากสมการที่ (2.6) จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบไอเป็น

$$G_c(s)=\frac{U(s)}{E(s)}=\frac{K_i}{s} \tag{2.7}$$

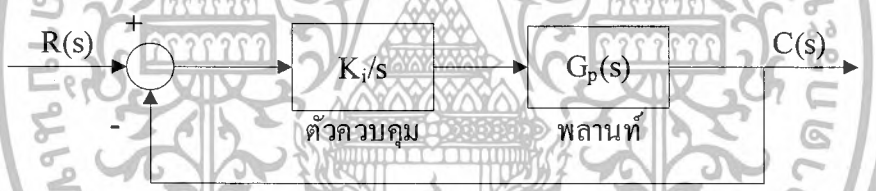
จากรูปที่ 2.4 ค่า u(t) ณ เวลา t ใดๆ หมายถึงพื้นที่ใต้กราฟของสัญญาณอินพุตจากเวลา 0 ถึง t คูณด้วยอัตราขยายอินทิเกรต ดังนั้นเนื่องจากเริ่มมีสัญญาณอินพุตแบบระดับ เอาท์พุตที่ออกจากตัวควบคุมจึงมีค่ามากขึ้นเรื่อยๆ ด้วยอัตราที่คงที่ในลักษณะรูปสัญญาณความชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบไอ

ลักษณะตัวควบคุมแบบไอ สามารถอธิบายได้ด้วยบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบไอ

ทำให้ระบบควบคุมแบบไอที่แสดงในรูปที่ 2.5 มีฟังก์ชันถ่ายโอนวงเปิดเป็น $\frac{K_i}{s}G_p(s)$ และมีฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดเป็นดังสมการที่ (2.8)

$$G(s) = \frac{\frac{K_i}{s}G_p(s)}{1+\frac{K_i}{s}G_p(s)} \qquad (2.8)$$

ดังนั้นสามารถพิจารณาถึงข้อได้เปรียบของการควบคุมแบบไอ ได้จากฟังก์ชันถ่ายโอนวงเปิด ซึ่งจะเห็นว่า ระบบควบคุมแบบไอ จะเพิ่มชนิดของระบบขึ้นมา 1 ระดับ เช่น หากพลานท์เดิมเป็นชนิด 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมแบบไอจะเป็น ชนิด 1 ซึ่งทำให้ระบบมีความผิดพลาดที่สถานะคงตัวเป็นศูนย์เทียบต่อสัญญาณอินพุตแบบระดับ อย่างไรก็ตาม การเพิ่มโพลที่ s = 0 ในระบบวงเปิดและไม่มีการเพิ่มซีโรให้กับระบบควบคุม ทำให้ความแตกต่างระหว่างจำนวนโพล (n) และจำนวนซีโร (m) เพิ่มขึ้นอีก 1 ซึ่งมีผลให้มุมของเส้นอะซิมโทด (Asymptote Angles) ของเส้นทางรากลดลง และจุดตัดเส้นอะซิมโทดบนแกนจริง (Centroid) เคลื่อนไปทางครึ่งขวาของระนาบ s มากขึ้นมีผลทำให้ความเสถียรสัมพัทธ์ของระบบลดลง

2.1.3 ตัวควบคุมแบบดี

ตัวควบคุมแบบดี จะมีเอาท์พุตของตัวควบคุมเป็นสัดส่วนกับอนุพันธ์ของอินพุตความผิดพลาดเทียบต่อเวลา นั่นคือ

$$u(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \tag{2.9}$$

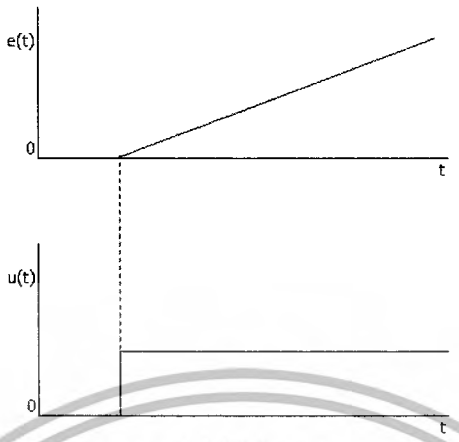
เมื่อ K_d คือ อัตราขยายอนุพันธ์ (Derivative Gain) และมีหน่วยเป็นวินาที

จากสมการที่ (2.9) จะเห็นว่าตัวควบคุมแบบดีจะให้สัญญาณส่งออกจากตัวควบคุมมีค่ามากเมื่อค่าอินพุตความผิดพลาดมีแนวโน้มเพิ่มในอัตราที่สูงก่อนที่จะเกิดความผิดพลาดขึ้นมากจริงๆ อย่างไรก็ตามหากความผิดพลาดมีค่าคงที่ก็จะไม่มีการสะสมค่าความผิดพลาดแม้ว่าค่าความผิดพลาดจะมีมากก็ตาม ทำให้การควบคุมแบบดีนี้ ไม่เปลี่ยนแปลงต่อค่าความผิดพลาดที่คงที่หรือเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ดังนั้นการควบคุมแบบนี้จึงไม่นิยมใช้เพียงลำพัง แต่มักจะใช้ควบคุมร่วมกับการควบคุมแบบอื่น ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบดี จะเป็น

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_d s \tag{2.10}$$

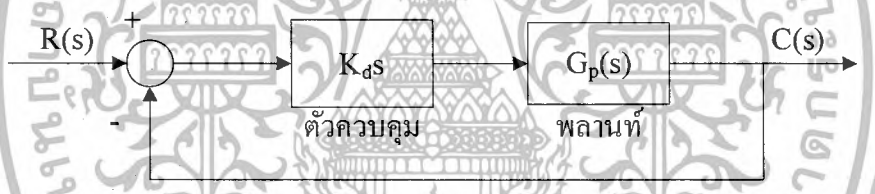
จากรูปที่ 2.6 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบดี เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณแบบความชัน ณ เวลา t ใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบดี

ลักษณะตัวควบคุมแบบดี สามารถอธิบายได้ด้วยบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบดี

จากรูปที่ 2.7 ระบบจะมีฟังก์ชันถ่ายโอนวงเปิดเป็น $K_d s G_p(s)$ และมีฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดเป็น

$$G(s) = \frac{K_d s G_p(s)}{1 + K_d s G_p(s)} \tag{2.11}$$

ถ้าหากว่าระบบเป็นแบบชนิด 1 หรือสูงกว่า การควบคุมแบบดีจะลดเทอม s ในพหุนามส่วนของฟังก์ชันถ่ายโอนวงเปิดลง ซึ่งจะไปลดชนิดของระบบลง 1 อย่างไรก็ตามดังที่ได้กล่าวก่อนหน้านี้แล้วว่าการควบคุมแบบดีนี้จะไม่ใช้เพียงลำพังแต่จะใช้ร่วมกับตัวควบคุมแบบอื่น เพราะเมื่อใช้การควบคุมแบบดี ทำให้เพิ่มความเร็วในการตอบสนองของระบบต่อความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติการนำการควบคุมแบบดีไปใช้นั้นค่อนข้างจะลำบาก ดังนั้น ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปจะเป็นการประมาณการควบคุมแบบดีโดยใช้ตัวชดเชยแบบมุมนำ (Lead Compensator)

2.1.4 ระบบควบคุมแบบพีไอ

การที่ระบบควบคุมมีความเสถียรสัมพัทธ์ลดลงเมื่อใช้การควบคุมแบบไอ สามารถที่จะแก้ไขได้ในระดับหนึ่งโดยการใช้การควบคุมแบบพีร่วมกับแบบไอเรียกว่า การควบคุมแบบพีไอ (Proportional plus Integral Control) โดยมีเอาท์พุตของตัวควบคุมเป็น

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t)dt \tag{2.12}$$

จากสมการที่ (2.12) จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบพีไอเป็น

$$\begin{aligned} G_c(s) &= \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} \\ &= \frac{sK_p + K_i}{s} \\ &= \frac{\left(s + \frac{K_i}{K_p}\right)K_p}{s} \end{aligned} \tag{2.13}$$

โดนส่วนมากจะนิยามค่าเวลาคงตัวอินทิกรัล (Integral Time Constant) เป็น

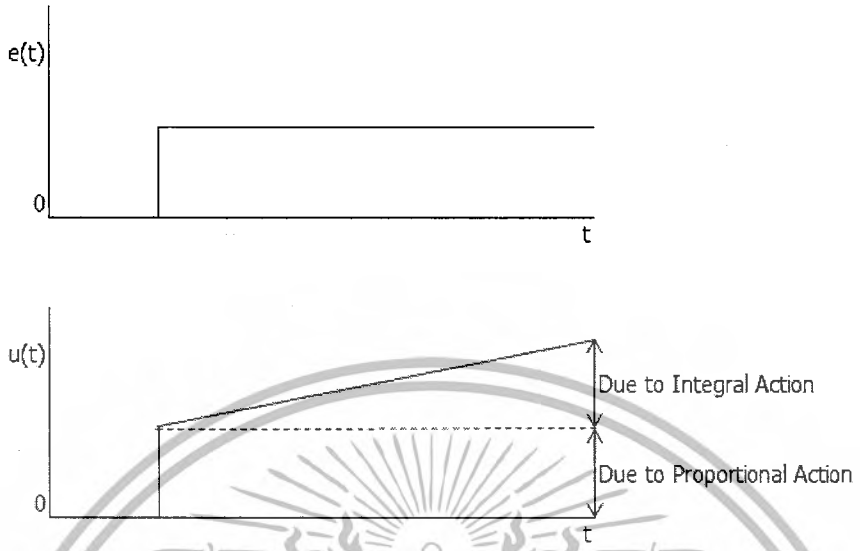
$$\tau_i = \frac{K_p}{K_i} \tag{2.14}$$

จากสมการที่ (2.13) และ(2.14) จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบเป็น

$$G_c = \frac{K_p[s + (1/\tau_i)]}{s} \tag{2.15}$$

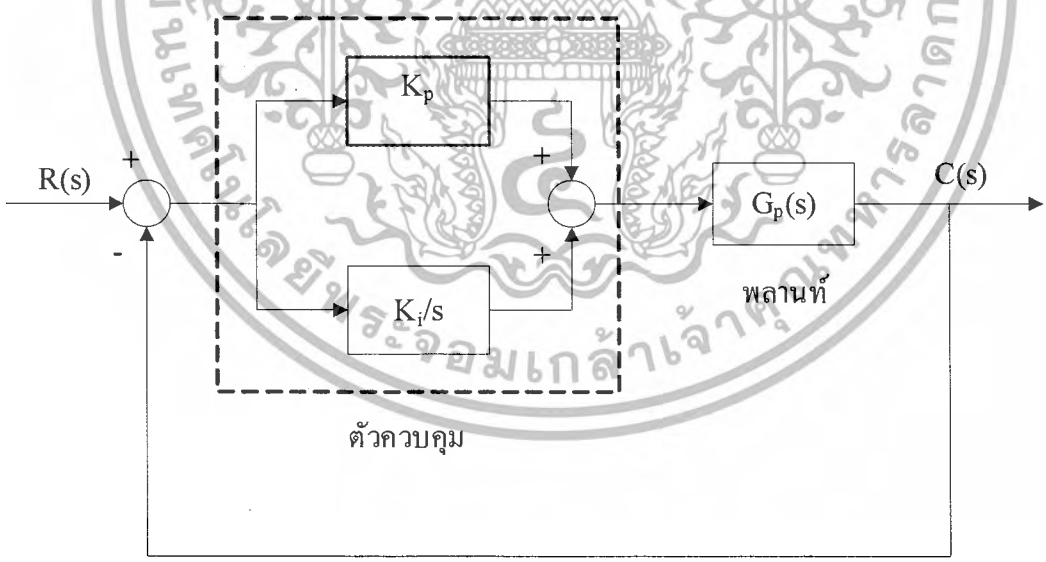
จากรูปที่ 2.8 แสดงเอาท์พุตของตัวควบคุมที่ได้รับเมื่อมีอินพุตเป็นแบบระดับ ณ เวลา t ใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีไอ

ลักษณะตัวควบคุมแบบพีไอ สามารถอธิบายได้ด้วยบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพีไอ

จากรูปที่ 2.9 ระบบจะมีฟังก์ชันถ่ายโอนวงเปิดเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_o(s) = G_c(s)G_p(s)$$

$$= \frac{K_p[s + (1/\tau_i)G_p(s)]}{s} \qquad (2.16)$$

จากสมการที่ (2.16) จะเห็นว่าฟังก์ชันถ่ายโอนวงเปิดของระบบมีซีโรที่ $s = -1/\tau_i$ และโพลที่ $s = 0$ เพิ่มให้กับฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบเมื่อใช้การควบคุมแบบพีไอ การที่เพิ่มตัวประกอบ s เข้ากับพหุนามส่วนของฟังก์ชันถ่ายโอนวงเปิดเป็นการเพิ่มชนิดของระบบขึ้นไป 1 จึงทำให้ระบบควบคุมแบบพีไอนี้ไม่มีความผิดพลาดที่สภาวะคงตัวสำหรับอินพุตแบบระดับ นอกจากนั้นการที่เพิ่มซีโร่ให้กับระบบไปพร้อมๆกัน ก็ทำให้ความแตกต่างระหว่างจำนวนโพล (n) และจำนวนซีโร่ (m) มีค่าคงที่ ดังนั้นมุมของเส้นอะซิมโทดสำหรับเส้นทางรากมีค่าคงเดิม แต่จุดตัดของเส้นอะซิมโทดบนแกนจริง จะเคลื่อนที่เข้าหาจุดกำเนิดมากขึ้นเนื่องจาก

จุดตัดของเส้นอะซิมโทดบนแกนจริง = (ผลรวมของโพล – ผลรวมของซีโร่)/(n-m)

ดังนั้นจุดตัดของเส้นอะซิมโทดจะเปลี่ยนไปเท่ากับ $-(1/\tau_i)/(n-m)$ ส่งผลให้ความเสถียรภาพของระบบลดลง อย่างไรก็ตาม การลดลงของความเสถียรสัมพันธ์นี้จะน้อยกว่าการที่ใช้การควบคุมแบบไอเพียงอย่างเดียว

2.1.5 ระบบควบคุมแบบพีดี

การควบคุมแบบดีใช้ร่วมกับการควบคุมแบบพี หรือเรียกว่าการควบคุมแบบพีดี (Proportional plus Derivative Control) โดยมีฟังก์ชันถ่ายโอนวงเปิดเป็น

$$G_o(s) = (K_p + K_d s)G_p(s) \qquad (2.17)$$

เราจะนิยามค่าเวลาคงตัวอนุพันธ์ (Derivative Time Constant) เป็น

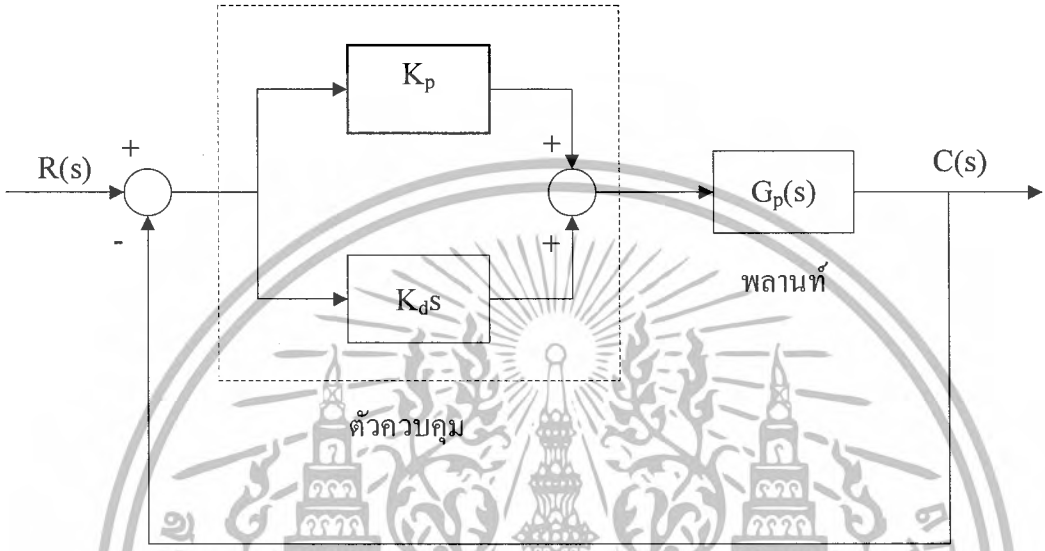
$$\tau_d = \frac{K_p}{K_d} \qquad (2.18)$$

จากสมการที่ (2.17)และ(2.18) จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนวงเปิดของระบบเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_o(s) = K_p(1+\tau_d s)G_p(s) \qquad (2.19)$$

โดยสามารถอธิบายได้ด้วยบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ (2.10)



รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพีดี

ในการควบคุมแบบนี้ จำมีซีโรเพิ่มขึ้นที่ $s = -\tau_d$ และจะเห็นว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงชนิดของระบบ ทำให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงตัว

2.1.6 ตัวควบคุมแบบพีไอดี

ตัวควบคุมแบบพีไอดีนี้เป็นการรวมตัวควบคุมแบบพีรวมกับแบบไอและรวมกับแบบดี (Proportional plus Integral plus Derivative Control) หรือที่เรียก การควบคุมแบบ 3 เทอม (Three – term Control) โดยมีเอาท์พุตของตัวควบคุมเป็น

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \qquad (2.18)$$

จากสมการที่ (2.18) จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมเป็น

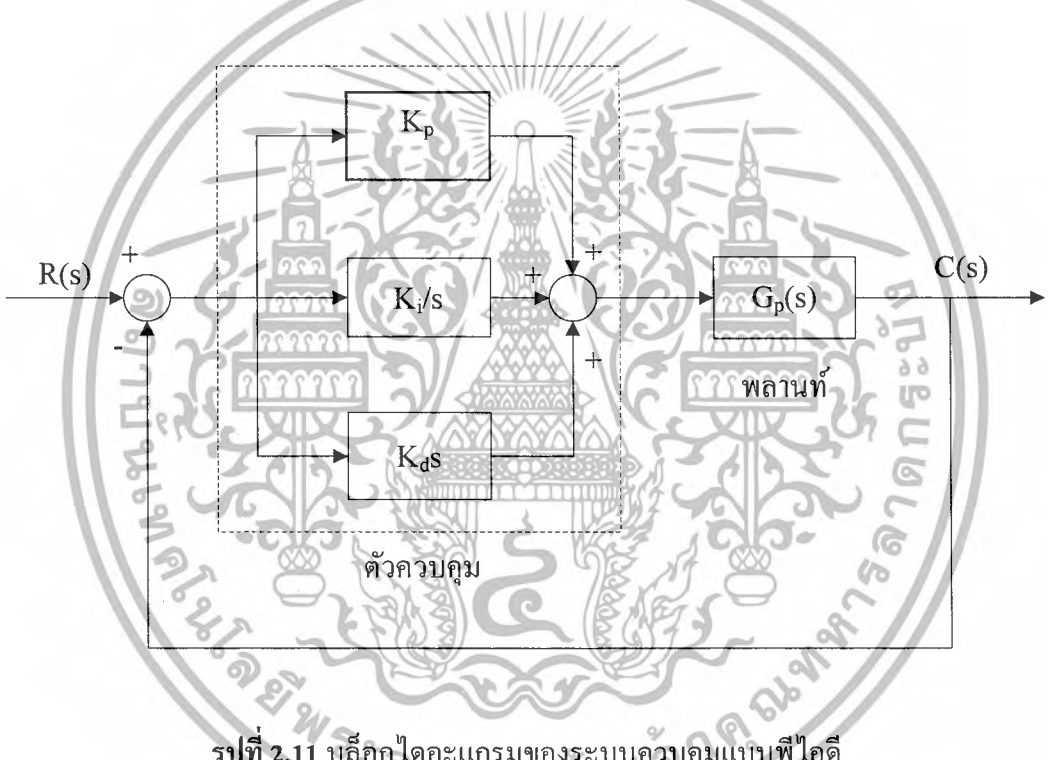
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \tag{2.19}$$

ซึ่งสามารถจัดรูปใหม่โดยใช้สมการที่ (2.14)และ(2.18) ได้ดังสมการที่ (2.20)

$$G_c(s) = K_p(1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s) \tag{2.20}$$

ลักษณะตัวควบคุมแบบพีไอดี สามารถอธิบายได้ด้วยบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพีไอดี

จากรูปที่ 2.11 จะได้ฟังก์ชันวงเปิดของระบบควบคุมแบบพีไอดีเป็น

$$G_o(s) = G_c(s)G_p(s) = K_p(1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s)G_p(s)$$

$$G_o(s) = \frac{K_p(\tau_i \tau_d s^2 + \tau_i s + 1)}{\tau_i s} G_p(s) \tag{2.21}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

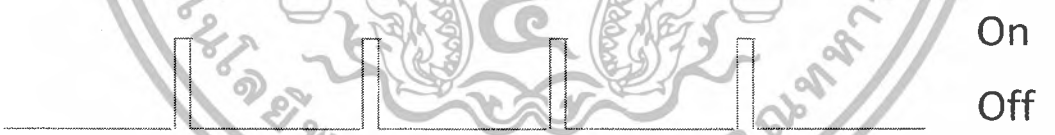
ดังนั้น การควบคุมแบบพีไอดี จะเพิ่มจำนวนซีโร่ให้กับระบบเท่ากับ 2 ตัวและเพิ่มจำนวนโพล 1 ตัว และทำให้ชนิดระบบเพิ่มขึ้น 1

2.2 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยสัญญาณพีดับบิวเอ็ม

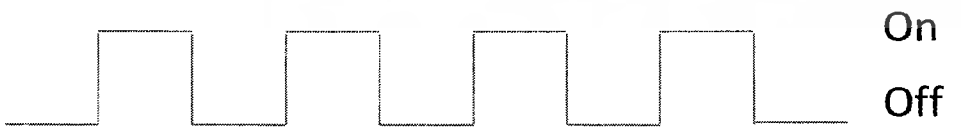
การออกแบบระบบควบคุมที่จะต้องกำหนดตำแหน่ง จำเป็นต้องอาศัยสัญญาณอ้างอิงในการกำหนดตำแหน่งที่ต้องการกับสัญญาณการป้อนกลับจากอุปกรณ์วัดตำแหน่ง ความแตกต่างระหว่างสัญญาณที่กำหนดกับสัญญาณป้อนกลับจากอุปกรณ์ที่วัดตำแหน่งในขณะนั้นก็คือสัญญาณผลต่างหรือก็คือสัญญาณความคลาดเคลื่อนสัญญาณที่ได้ทั้งสองสัญญาณนี้ก็จะถูกป้อนเข้าตัวควบคุมหลังจากนั้นตัวควบคุมก็จะประมวลผลส่งสัญญาณควบคุมออกไปขับให้มอเตอร์หมุนไปดังตำแหน่งที่ต้องการ ถ้าตำแหน่งที่ต้องการมีค่าเท่ากับตำแน่งที่วัดได้จากการอ่านตำแหน่งของอุปกรณ์ป้อนกลับจะทำให้ผลต่างของสัญญาณมีค่าเท่ากับศูนย์ จะทำให้ไม่มีสัญญาณออกมาจากตัวควบคุมส่งผลให้มอเตอร์หยุดทำงาน โดยในโครงงานนี้ได้เลือกใช้การควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยสัญญาณพีดับบิวเอ็ม

สัญญาณพีดับบิวเอ็ม (PWM: Pulse Width Modulation) คือ การปรับค่าความกว้างของพัลส์ โดยการสั่งงานจากไมโครคอนโทรเลอร์ PIC 16F877 เป็นตัวกำหนดสัญญาณพีดับบิวเอ็ม ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การทำงานของสัญญาณพีดับบิวเอ็ม ที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.12, รูปที่ 2.13 และรูปที่ 2.14

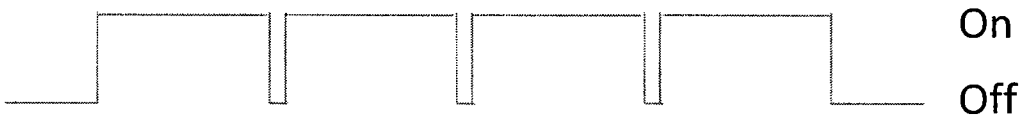


รูปที่ 2.12 สัญญาณพีดับบิวเอ็มมีความกว้างพัลส์เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.13 สัญญาณพีดับบิวเอ็มมีความกว้างพัลส์เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

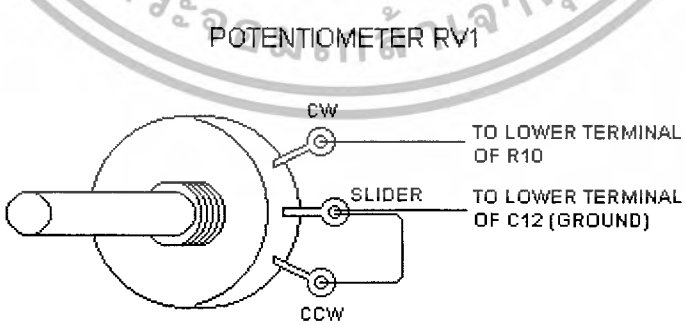


รูปที่ 2.14 สัญญาณพีดับบิวเอ็มมีความกว้างพัลส์เท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์

โดยสัญญาณมีรอบการทำงานเป็น 10, 50 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ของคาบสัญญาณทั้งหมดตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการขับมอเตอร์ด้วยระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 10, 50 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ของระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในวงจรขับ ตามลำดับ

2.3 หลักการทำงานของโพเท็นทิโอมิเตอร์

โพเท็นทิโอมิเตอร์ (Potentiometer) โพเท็นทิโอมิเตอร์ เป็นตัวต้านทานทางไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีสามขั้วและสามารถปรับค่าได้ โครงสร้างทั่วไปของโพเท็นทิโอมิเตอร์แสดงได้ดังรูปที่ 2.15 ประกอบด้วยหน้าสัมผัส (sliding contact) ที่สามารถเลื่อนขึ้นเลื่อนลงผ่านตามความยาวของลวดความต้านทานได้ หน้าสัมผัสนี้จะถูกเชื่อมต่อกับแท่งวัดซึ่งต่ออยู่กับวัตถุที่ต้องการตรวจสอบระยะขจัด ทั่วไปแล้วรูปแบบของหน้าสัมผัสของโพเท็นทิโอมิเตอร์มักมีการออกแบบแตกต่างกันออกไปซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยและเงื่อนไขในการนำไปประยุกต์ใช้งาน แต่ไม่ว่าจะมีรูปแบบแบบไหน วัสดุที่นำมาใช้ทำหน้าสัมผัสมักนิยมทำมาจากโลหะทองแดงผสมเป็นส่วนมาก ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าโลหะทองแดงผสมมีความยืดหยุ่นตัวสูง จึงทำให้นำขึ้นไปสู่รูปแบบทรงต่างๆได้ง่าย รวมทั้งยังมีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าได้ดีอีกด้วย ส่วนลวดความต้านทานของโพเท็นทิโอมอเตอร์นั้นนิยมทำมาจากลวดนิเกิลหรือลวดแพลทินัม นำมาพันรอบแกนที่เป็นฉนวนทางไฟฟ้า



รูปที่ 2.15 โพเท็นทิโอมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

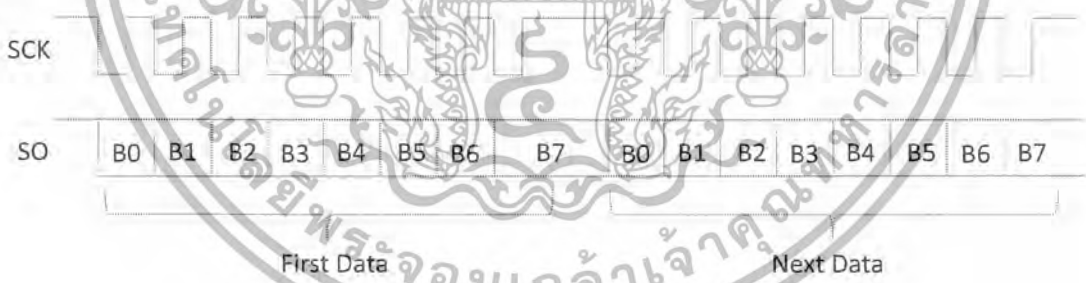
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.4 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม

การสื่อสารแบบอนุกรมนั้นแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือการสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัสและการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส

2.4.1 การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัสจะมีสัญญาณนาฬิการ่วมอยู่กับการรับและส่งสัญญาณด้วยการติดต่อกันแบบนี้จะต้องใช้สายในการเชื่อมต่อน้อยที่สุด 3 เส้นคือ สัญญาณนาฬิกา ข้อมูลและ กราวด์ ข้อดีของการส่งแบบนี้คือสามารถควบคุมเครื่องส่งและเครื่องรับทำงานได้พร้อมกันอย่างถูกต้อง การส่งบิต 0 และ 1 ที่ต่อเนื่องกันไปโดยไม่มีแบ่งแยก ผู้รับต้องแยกบิตเหล่านี้ออกมาเป็นไบต์ หรือเป็นตัวอักษรเองจากภาพแสดงการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส ผู้ส่งทำการส่งบิตติดต่อกันยาวๆ ถ้าผู้ส่งต้องการส่งช่วงกลุ่มข้อมูลก็ส่งกลุ่มบิต 0 และ 1 เพื่อแสดงสถานะว่าง เมื่อแต่ละบิตมาถึงผู้รับ ผู้รับจะนับจำนวนบิตแล้วจับกลุ่มของบิตที่ทำการนับให้เป็นไบต์ที่มีขนาด 8 บิต การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบอะซิงโครนัสมาก และทำให้มีการใช้ความสามารถของสายสื่อสารได้เกือบทั้งหมดข้อดีของการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสคือ ความเร็วในการส่งข้อมูล ทั้งนี้ เพราะไม่มีบิตพิเศษหรือช่องว่างที่ไม่ได้ถูกนำไปใช้เมื่อถึงผู้รับ จึงทำให้ความเร็วของการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสเร็วกว่าแบบอะซิงโครนัส ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำไปใช้งานที่ต้องการความเร็วสูง เช่น การส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ เป็นต้น



รูปที่ 2.16 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส

2.4.2 การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัสคือ การรับและส่งข้อมูลไปในสายโดยไม่จำเป็นต้องมีสายสัญญาณนาฬิการ่วมด้วย ซึ่งแตกต่างกับการสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัสที่ต้องใช้สายสัญญาณ

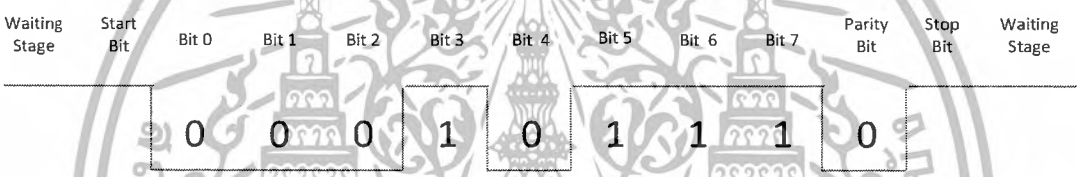
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

104237

นาฬิกาในการรับและส่งสัญญาณเพิ่มขึ้นมาอีกเส้นหนึ่ง สำหรับการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัสนั้น จะใช้การกำหนดค่าสัญญาณทั้งภาครับและภาคส่งให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดค่าให้ทั้งภาครับและภาคส่งว่า อัตราการถ่ายทอดข้อมูล หรือ บอดเรต (Baud Rate) ซึ่งมีหน่วยเป็นบิต ต่อ วินาที

จากรูปที่ 2.17 แสดงถึงรูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัสซึ่งมีส่วนประกอบอยู่ด้วยกัน 4 ส่วนคือ

- บิตเริ่มต้น (Start Bit) จะมีขนาด 1 บิต
- บิตข้อมูลแบบอนุกรมจะมีขนาด 5 ถึง 8 บิต
- บิตตรวจสอบพาริตี้ (Parity Bit) จะมีขนาด 1 บิตหรือไม่ก็ได้
- บิตปิดท้าย (Stop Bit) จะมีขนาด 1, 1.5 หรือ 2 บิต



รูปที่ 2.17 การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

ซึ่งหลักการทำงานของไดอะแกรมในรูป สามารถอธิบายได้คือขณะที่ไม่มีข้อมูลส่งมานั้นขา Data จะมีสถานะลอจิก “1” (High) ซึ่งจะเรียกสถานะนี้ว่าสถานะหยุดรอ (Waiting Stage) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มต้น จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไป โดยเริ่มจากส่งบิต LSB ก่อนจนถึงบิต MSB จากนั้นจะตามด้วยบิตพาริตี้ ซึ่งใช้เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่จะส่งคือบิตปิดท้าย ซึ่งจะให้ขา Data มีสถานะลอจิก “1” อีกครั้ง เพื่อทำให้ยืนยันสถานะหยุดรอด้วยขนาด 1 บิต และเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลมาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232 เป็นมาตรฐานที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรม แบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง ในการนำเอามาตรฐาน RS-232 ไปประยุกต์ใช้งาน จะถูกใช้งานในการส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์โดยเชื่อมต่อกับโมเด็ม มาตรฐาน RS-232 ได้กำหนดรูปแบบของอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment: DTE) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit terminating Equipment: DCE) ไว้ว่า อุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัวเช่น มโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งมีความสามารถในการสร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรมได้ส่วนอุปกรณ์ DCE จะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น โดยการรับส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองจะกระทำผ่านมาตรฐาน RS-232 ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเน็กเตอร์ที่อยู่ในโมเด็มจะเป็นแบบ DCE

ในโครงงานนี้ติดต่อกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยผ่านพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232 ในที่นี้จึงขอกล่าวการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยได้กำหนดรูปแบบอุปกรณ์เชื่อมต่อขเอมูล กับวงจรข้อมูลปลายทางไว้ว่าอุปกรณ์ DTE ต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัว ส่วนอุปกรณ์ DCE จะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น

ขาสัญญาณเอาท์พุตของพอร์ตอนุกรมได้แก่ขา DTR, RTS และ TXD โดยรีจิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ควบคุมขาเหล่านี้คือ รีจิสเตอร์ควบคุมโมเด็ม (MCR) โดยมีแอดเดรสอยู่ถัดรีจิสเตอร์หลักของพอร์ตอนุกรม 4 ตำแหน่ง รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของขา DTR จะอยู่ที่ตำแหน่งบิต 0 ส่วนขา RTS จะอยู่ที่ตำแหน่งบิต 1 ส่วนขา TXD เป็นขาปกติในการส่งข้อมูล ดังนั้นจึงมีแอดเดรสอยู่ที่แอดเดรสรีจิสเตอร์หลักระดับแรงดันที่ใช้งานสำหรับพอร์ทอนุกรมไว้ว่า ที่ลอจิก “0” จะมีระดับสัญญาณ +3V ถึง +15V

ส่วนลอจิก “1” จะมีระดับสัญญาณ -3V ถึง -15V ระดับสัญญาณนี้ทำให้ไม่สามารถที่จะนำขาเอาท์พุตใดๆ ต่อเข้ากับลอจิกเกตใช้งานได้โดยตรงจะต้องผ่านวงจรเพื่อเปลี่ยนระดับแรงดันเสียก่อน โดยปกติจะใช้ไอซีจำพวก RS-232 ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงระดับแรงดันของ RS-232 ให้อยู่ในระดับทีทีแอล โดยลอจิก “0” ซึ่งเดิมมีระดับสัญญาณ +3V ถึง +15V จะถูกเปลี่ยนแปลงเป็น 0V ส่วนลอจิก “1” ซึ่งมีระดับสัญญาณ -3V ถึง -15V จะเปลี่ยนเป็น +5V ทั้งนี้เพื่อให้สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ดิจิตอลอื่นที่ใช้ระดับแรงดันทีทีแอล

2.5 การนำเสนอตัวอักษรและตัวเลขในอุปกรณ์ดิจิตอล

2.5.1 รหัสแอสกี้

แอสกี้ (ASCII) เป็นรหัสในการนำเสนอรูปแบบตัวอักษร โดยจะแทนตัวอักษรด้วยรหัสหรือค่าตัวเลข ดังแสดงในภาคผนวก ค รหัสแอสกี้ถูกนำมาใช้งานในการแสดงข้อมูลรูปแบบเอกสาร ที่สามารถพิมพ์ให้ผู้ใช้ได้เห็นขณะที่การบันทึกบนระบบคอมพิวเตอร์ จะใช้ในการเก็บเป็นตัวเลขแทน

โดยรหัสแอสกี้แต่ละตัวจะมีขนาด 8 บิต ซึ่งสามารถสร้างรหัสที่แตกต่างกันได้ถึง 256 รหัส (ตั้งแต่ 0000 0000 ถึง 1111 1111) โดยมีการแบ่งกลุ่มรหัสออกเป็น 3 ระดับ คือ

1. ตำแหน่งที่ 0 ถึง 31 แทนรหัสควบคุมต่างๆ
2. ตำแหน่งที่ 32 ถึง 127 แทนสัญลักษณ์ ตัวเลขและตัวอักษรภาษาอังกฤษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตำแหน่งที่ 128 ถึง 255 แทนอักขระที่เรากำหนดขึ้นเอง เป็นมาตรฐานที่ใช้ในแต่ละประเทศ เพื่อการสื่อสารหรือแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ และทำให้เป็นระบบเดียวกันทั้งประเทศ สามารถรับส่งข้อมูลในความหมายเดียวกันได้

2.5.2 ระบบเลขฐาน

เลขฐานหมายถึง ระบบการคำนวณที่ใช้จำนวนนับที่มากที่สุดของตัวเลข ที่มีอยู่ในฐานนั้น เช่น ระบบเลขฐานสิบ จะมีตัวเลข 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 อยู่ในฐานสิบนั้น รวมทั้งหมดเป็น 10 ตัว ซึ่งเลขสิบนี้ จะใช้เป็นฐานในการคำนวณต่างๆ

ระบบเลขฐานที่นิยมใช้กัน ในระบบคอมพิวเตอร์ มีอยู่ด้วยกัน 4 ระบบคือ

1. **ระบบเลขฐานสอง (Binary Number System or Binary System)**

   ระบบเลขฐานสอง นี้จะมีตัวเลขในระบบอยู่ 2 ตัวคือเลข 0 และเลข 1 ซึ่งการเขียนจำนวนต่างๆ ในเลขฐานสองก็จะมีตัวเลขได้แค่ 0 และ 1 เท่านั้น เช่น 0, 1, 10, 11, 100, 101, 110, 111, 1000, 1001 ... เป็นต้น

   ระบบเลขฐานสองมีความสำคัญมากกับระบบคอมพิวเตอร์เนื่องจากการมีตัวเลขแค่ 0 และ 1 ซึ่ง สอดคล้องกับ การทำงานในระบบ ดิจิตอล หรือการประมวลผลด้วยสัญญาณไฟฟ้าที่มีลักษณะของสัญญาณแค่ 2 ลักษณะ คือ เปิดและปิด ซึ่งเราได้ใช้ระบบเลขฐานสองนี้ แทนการประมวลผลด้วยสัญญาณเหล่านั้น

2. **ระบบเลขฐานแปด (Octal Number System)**

   ระบบเลขฐานแปดจะมีตัวเลขในระบบอยู่ 8 ตัวคือเลข 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 สำหรับจำนวนนับในฐานแปดก็จะเรียงลำดับได้ดังนี้ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 30, ..., 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75 ,76, 77, 100, 101, 102...

   ระบบเลขฐานแปดมีความสำคัญในการช่วยจำรหัสต่างๆ สำหรับนักเขียนโปรแกรมได้ง่ายขึ้น ในระบบ Binary Coded Decimal (BCD) และ American Standard Code for Information Interchange 7 (ASCII-7) แต่เนื่องจาก การเข้ารหัสทั้ง 2 วิธีไม่นิยมใช้ในปัจจุบันแล้ว ระบบเลขฐานแปดจึงไม่นิยมใช้ไปด้วย

3. **ระบบเลขฐานสิบ (Decimal Number System) หรือ ระบบทศนิยม**

   เป็นระบบเลขฐานที่เราใช้ในปัจจุบัน มีเลข 0 ถึง 9 รวม 10 ตัว ระบบเลขฐานสิบจะเป็นระบบเลข ฐานที่มนุษย์ เข้าใจง่ายที่สุด เพราะเราได้ใช้กันมานานและถือเป็นสากลในการคำนวณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ระบบเลขฐานสิบหก (Hexadecimal Number System)

ระบบเลขฐานสิบหก จะมีตัวเลขในระบบอยู่ 16 ตัวคือเลข 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F สำหรับ จำนวนนับ ในฐานแปดก็จะเรียงลำดับได้ดังนี้ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 2A, 2B, 2C, 2D, 2E, 2F, 30, …, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 9A, 9B, 9C, 9D, 9E, 9F, A0, A1, A2, A3, A4, A6, A7, A8, A9, AA, AB, AC, AD, AE, AF, B0, B1, B2, … , F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9, FA, FB, FC, FD, FE, FF, 100, 101, …

ระบบเลขฐานสิบหกมีความสำคัญในการช่วยจำรหัสต่างๆ สำหรับนักเขียนโปรแกรมได้ง่ายขึ้น ในระบบ Extended American Standard Code for Information Interchange (ASCII-8) และExtended Binary Coded Decimal Interchange Code (EBCDIC) และการเข้ารหัสในระบบอื่นๆ ซึ่งระบบเลขฐานสิบหก ยังเป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับคำสั่งสัญญาณควบคุมของระบบ เพื่อทำการควบคุมมุมของระนาบผ่านวงจรขับมอเตอร์ต่อไป

เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการควบคุมตำแหน่งมุมของระนาบ ดังนั้นจึงเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่มีความสามารถในการประมวลผลเร็วพอต่อคาบการสุ่มสัญญาณ การเขียนโปรแกรมต้องมีการรัดกุมและง่ายต่อความเข้าใจ สำหรับโครงงานนี้เลือกใช้การเขียนโปรแกรมโดยภาษาซี

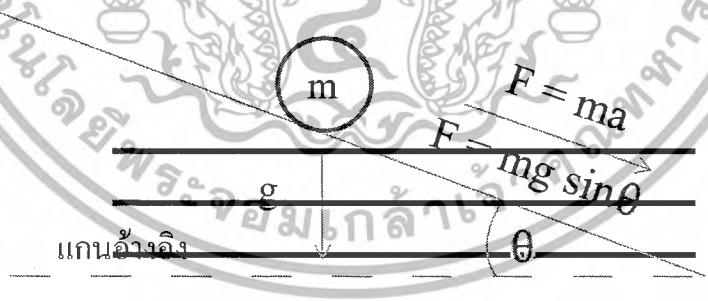
ในการควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนระนาบนี้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC 16F877 เหตุที่เลือกเพราะมีคุณสมบัติและฟังก์ชันการทำงานต่างๆที่ค่อนข้างครบถ้วน และมีโครงสร้างการทำงานที่ไม่ยุ่งยากมากและยังสามารถศึกษาไว้เป็นพื้นฐานสำหรับการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ในเบอร์อื่นๆที่สูงขึ้นได้เป็นอย่างดี ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดนี้เป็นแบบ 14 บิต คือ มีโครงสร้างของคำสั่งเป็นแบบ 14 บิต และมีคุณสมบัติที่เด่น และเหมาะสมกับการใช้งานดังนี้การจ่าย และ การรับกระแสของขาสัญญาณอินพุตพอร์ตต่างๆ ที่สามารถจ่ายและรับกระแส สูงสุดได้ถึง 25 มิลลิแอมป์ ทำให้สามารถขับโหลดต่างๆได้เป็นอย่างดีโดยไม่จำเป็นต้องต่อบัฟเฟอร์ หรือวงจรขยายกระแสอื่นๆ แต่อย่างใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. มีฟังก์ชันการทำงานต่างๆ มากมาย เช่น Power–on Reset , Power–up Timer , Timer/Counter , A/D , PWM เป็นต้น
2. มีโมดูลการใช้งานให้เลือกมากมาย เช่น โมดูลการสื่อสาร USART , โมดูลตรวจจับระดับไฟเลี้ยง Brown–out reset (BOR) , โมดูล Capture/Compare/PWM จำนวน 2 ชุด
3. สามารถเลือกใช้งานโหมดของสัญญาณนาฬิกาได้หลายโหมด และมีโหมดประหยัดพลังงาน
4. สามารถโปรแกรมให้ใช้ได้กับแรงดันขนาด +5 โวลต์ และทำงานได้ที่ 2.0 ถึง 5.5 โวลต์
5. สามารถตรวจสอบสัญญาณรบกวนได้ถึง 14 แหล่ง
6. มีฟังก์ชันการรีเซต
   - วงจรเพาเวอร์ออนรีเซตภายใน
   - วงจรเพาเวอร์อัพไทม์เมอร์
   - วงจรออสซิลเลเตอร์สตาร์ทไทม์เมอร์

2.7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบควบคุมลูกบอลบนระนาบ

ระบบควบคุมลูกบอลบนระนาบประกอบไปด้วยลูกบอล และแผ่นระนาบขนาดเท่ากับแผ่นหน้าจอแบบสัมผัส โดยลูกบอลสามารถเคลื่อนที่ได้ 2 ทิศทาง ทั้งในแนวตั้งและในแนวนอน ซึ่งจะเคลื่อนที่อยู่บนระนาบได้อย่างอิสระ โดยเราสามารถจำลองทิศทางการเคลื่อนที่ของลูกบอลในแต่ละแกนได้ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แนวการเคลื่อนที่ของลูกบอลในแต่ละแกน

เมื่อ m คือ มวลของลูกบอล (กิโลกรัม)
g คือ แรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งกระทำต่อลูกบอล (เมตร ต่อ วินาที)
θ คือ มุมที่ระนาบทำต่อแนวแกน (เรเดียน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F คือ แรงที่กระทำต่อลูกบอลในขณะเคลื่อนที่ (นิวตัน)

เมื่อลูกบอลเกิดการเคลื่อนที่จะทำให้เกิดความเร่ง a ขึ้น ซึ่งความเร่งของลูกบอลนั้นจะมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของลูกบอลดังในสมการที่ (2.22)

$$a = \frac{d^2Z(t)}{dt^2} \tag{2.22}$$

เมื่อ Z(t) คือ ตำแหน่งของลูกบอลในแกนนั้นๆ ณ เวลา t ใดๆ
จากรูปที่ 2.18 จะได้ แรงที่กระทำเมื่อลูกบอลเคลื่อนที่โดยไม่คิดแรงเสียดทานมีค่าเป็น

$$F = ma = mg\sin\theta(t) \tag{2.23}$$

จากสมการที่ (2.22) และ (2.23) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของลูกบอลและมุมของระนาบ ดังสมการที่ (2.24)

$$\frac{d^2Z(t)}{dt^2} = g\sin\theta(t) \tag{2.24}$$

แต่เนื่องจากมุมที่เราจะดำเนินการควบคุมนั้น มีค่าน้อยมาก จึงประมาณค่า $\sin\theta(t)$ ได้เป็น $\theta(t)$

$$\frac{d^2Z(t)}{dt^2} = g\theta(t) \tag{2.25}$$

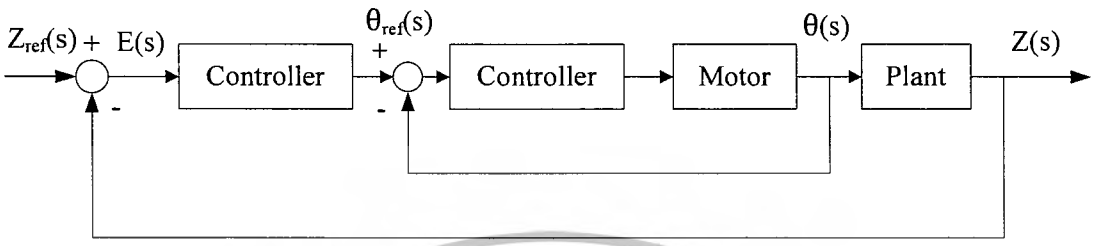
เมื่อทำการลาปลาซจะได้

$$\frac{Z(s)}{\theta(s)} = \frac{g}{s^2} \tag{2.26}$$

พบว่าตำแหน่งลูกบอลที่ต้องการควบคุมจะขึ้นอยู่กับค่ามุมที่เปลี่ยนไป แต่ไม่สามารถป้อนค่ามุมที่ต้องการได้ ดังนั้นจึงใช้ค่าตำแหน่งที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับมุมที่ต้องการ จากรูปที่ 2.19 พบว่ามีการควบคุมใน 2 ส่วนด้วยกัน ในส่วนด้านนอกจะเป็นการควบคุมตำแหน่งลูกบอล โดยอาศัยตัวควบคุมใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบค่าตำแหน่งให้เป็นมุมระนาบที่ต้องการ และในส่วนด้านในจะเป็นการควบคุมมุมระนาบโดยอาศัยมุมอ้างอิงจากส่วนด้านนอก



รูปที่ 2.19 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมลูกบอลบนระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
หลักการออกแบบ

การออกแบบระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนระนาบ ในเบื้องต้นนั้นต้องเข้าใจหลักการทำงานในภาพรวบของระบบควบคุมก่อนว่ามีหลักการทำงานอย่างไร และจึงพิจารณาส่วนย่อยต่างๆ อันประกอบไปด้วยโครงสร้างของระบบควบคุม ส่วนที่เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการประมวลภาพและควบคุมระบบ

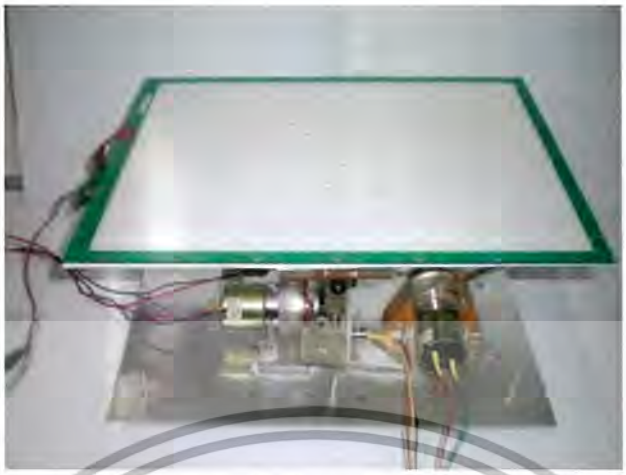
หลักการทำงานในภาพรวมของระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนระนาบ สามารถแสดงดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 หลักการทำงานของระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนระนาบ

จากรูปที่ 3.1 จะเห็นว่าระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนระนาบประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้

- โครงสร้างทางกายภาพของระบบ
- คอมพิวเตอร์
- ไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนระนาบ

3.1 โครงสร้างทางกายภาพของระบบ

โครงสร้างทางกายภาพของระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนระนาบ ประกอบด้วยโครงสร้างหลัก เช่น มอเตอร์ โพเท็นทิโอมิเตอร์ และ ชุดหน้าจอแบบสัมผัส โดยแผ่นระนาบ และส่วนฐานทำมาจากแผ่นอลูมิเนียม ซึ่งในส่วนฐานมีน็อต เพื่อใช้เป็นตัวปรับมุมของโครงสร้างเพื่อให้สามารถใช้งานได้ในกรณีที่พื้นที่ที่ใช้วางโครงสร้างมีความเอียง แสดงดังรูปที่ 3.2

3.1.1 ลูกบอล

ลูกบอลเป็นอุปกรณ์หลักของโครงงานที่ต้องการควบคุม โดยลูกบอลที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติเหมาะสมกับโครงสร้างทางกายภาพระบบควบคุม เพื่อไม่ให้ลูกบอลไหลเร็วจนเกินไป รวมไปถึงความหนืดขณะลูกบอลเคลื่อนที่ ซึ่งในโครงงานนี้เลือกใช้เป็นลูกบอลยาง ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.25 เซนติเมตร และน้ำหนักประมาณ 10 กรัม

3.1.2 ชุดหน้าจอแบบสัมผัส

- **แผ่นหน้าจอแบบสัมผัส**

แผ่นหน้าจอแบบสัมผัส เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญสำหรับโครงงานนี้ เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจสอบตำแหน่งของลูกบอลบนระนาบ เพื่อทำการประมวลผลหาค่าสัญญาณควบคุมที่เหมาะสม

ในโครงงานนี้ใช้แผ่นหน้าจอแบบสัมผัสยี่ห้อ Fujitsu รุ่น N010 - 0510 - T222 ซึ่งมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 แผ่นหน้าจอแบบสัมผัส

- สามารถสัมผัสได้ทั้งนิ้วมือและปากกา
- จะทำงานก็ต่อเมื่อมีแรงมากระทำตั้งแต่ 0.05 – 0.49 N
- ขนาดความยาวของเส้นทะแยงมุมประมาณ 15 นิ้ว

- **แผงวงจรควบคุมการทำงานของแผ่นหน้าจอแบบสัมผัส**

แผงวงจรควบคุมการทำงานของแผ่นหน้าจอแบบสัมผัสแสดงดังรูปที่ 3.4 เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมสัญญาณจากแผ่นหน้าจอแบบสัมผัส โดยทำการแปลงค่าจากอนาล็อกให้เป็นค่าดิจิตอล เพื่อนำไปประมวลผลในการปรับค่ามุมของระนาบ ซึ่งในโครงงานนี้ ได้เลือกใช้ แผงวงจรควบคุมการทำงานของแผ่นหน้าจอแบบสัมผัส รุ่น N16B – 0558 – B280 ซึ่งมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

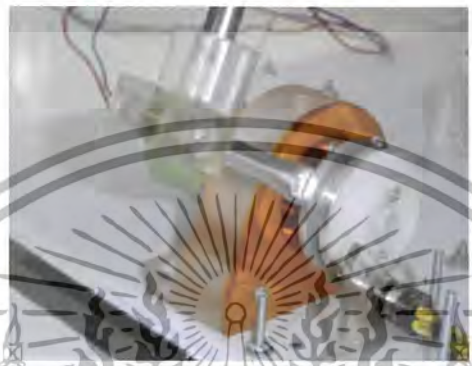
- สามารถใช้งานคู่กับแผ่นหน้าจอสัมผัสยี่ห้อ Fujitsu แบบ 7 สายได้ทุกขนาด
- สามารถเชื่อมต่อโดยตรงกับคอมพิวเตอร์ ผ่านทางพอร์ตอนุกรมแบบ RS - 232
- ไดเวอร์ (Driver) สนับสนุนระบบปฏิบัติการ(OS) ที่สำคัญดังนี้ Windows รุ่น95 ขึ้นไป จนถึงWindows XP
- มีสวิตซ์สำหรับเลือกรูปแบบการวางหน้าจอ และโหมดการทำงานแบบ PnP(Plug and Play)
- มีขนาดเล็ก ง่ายต่อการออกแบบเพื่อประยุกต์ใช้งาน และลดปัญหาความขัดแย้งระหว่างอุปกรณ์

รูปที่ 3.4 แผงวงจรควบคุมการทำงานของแผ่นหน้าจอแบบสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 มอเตอร์

มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมมุมของระนาบ เพื่อให้ลูกบอลเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ในโครงงานนี้ได้เลือกใช้มอเตอร์กระแสตรงขนาด 12V และมีความเร็วรอบสูงสุดในการหมุน 5000 รอบต่อนาที ซึ่งมีการต่อชุดเฟืองทดเนื่องจากในกรณีที่มอเตอร์เคลื่อนที่น้อยๆ จะทำให้อ่านค่าได้มีความละเอียดมากขึ้น โดยการติดตั้งมอเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การยึดมอเตอร์

3.1.4 โพเท็นทิโอมิเตอร์

โพเท็นทิโอมิเตอร์ (Potentiometer) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดมุมของระนาบดังแสดงดังรูปที่ 3.6 โดยจะทำหน้าที่เสมือนตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ ในโครงงานนี้เลือกใช้โพเท็นทิโอมิเตอร์ขนาด 10 กิโลโอห์มยี่ห้อ JAPAN SERVO เพื่อใช้ในการวัดมุมของระนาบได้โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะแปลงระดับสัญญาณ ไฟฟ้า ที่เปลี่ยนแปลงตามค่าความต้านทานของโพเท็นทิโอมิเตอร์ ให้เป็นระดับสัญญาณดิจิตอล

รูปที่ 3.6 การยึดโพเท็นทิโอมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 คอมพิวเตอร์

คอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับข้อมูลจากแผ่นหน้าจอแบบสัมผัสผ่านทางพอร์ตอนุกรม โดยมีโปรแกรมซึ่งทำหน้าที่ประมวลผลเพื่อหาตำแหน่งของลูกบอล แล้วส่งค่าไปประมวลหาสัญญาณควบคุมที่เหมาะสม จากนั้นจึงส่งค่าสัญญาณควบคุมที่คำนวณได้ผ่านทางพอร์ตอนุกรมไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมมุมของระนาบต่อไป

เนื่องจากการควบคุมในโครงงานนี้ใช้คอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์ในการประมวลผลหลัก ดังนั้นการเขียนโปรแกรมจึงเป็นการดำเนินการบนเวลาดีสครีต แทนการควบคุมแบบระบบเวลาต่อเนื่อง ดังนั้นการเขียนโปรแกรมต้องรัดกุม และทำงานได้รวดเร็วซึ่งคอมพิวเตอร์ที่ใช้ต้องมีความเร็วพอที่จะทำให้คาบการสุ่มสัญญาณมีค่าน้อยเพียงพอจนไม่มีผลต่อการควบคุมระบบทั้งหมดด้วย สำหรับโครงงานนี้เลือกใช้การเขียนโปรแกรมโดยภาษาวิชวลเบสิก

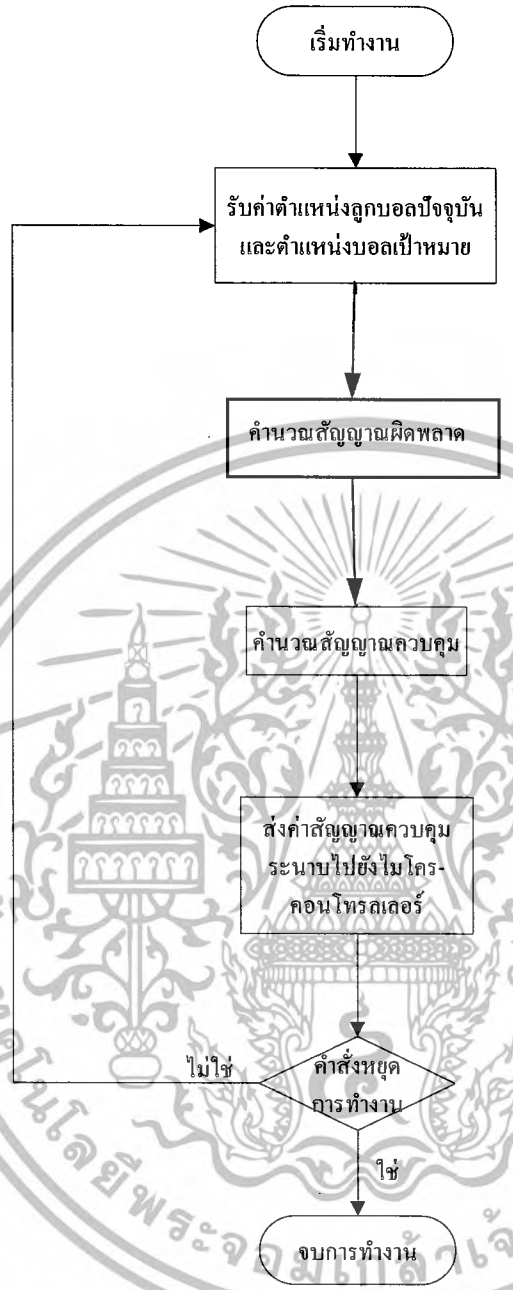
ในส่วนของโปรแกรมควบคุมระบบ เริ่มจากเขียนโปรแกรมรับตำแหน่งจากแผ่นหน้าจอแบบสัมผัส จากนั้นเปรียบเทียบตำแหน่งมุมระนาบที่ต้องการให้ลูกบอลเคลื่อนไป โปรแกรมส่วนควบคุมจะประมวลผลเพื่อหาสัญญาณควบคุมที่เหมาะสม ซึ่งอาศัยตัวควบคุมแบบพีไอดี ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 แล้ว จึงสั่งให้คอมพิวเตอร์ส่งค่าสัญญาณควบคุมออกทางพอร์ตอนุกรม เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการควบคุมตำแหน่งมุมระนาบต่อไป สามารถเขียนโฟล์วชาร์ต (Flowchart) แสดงการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8

3.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการควบคุมตำแหน่งมุมของระนาบ ดังนั้นจึงเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่มีความสามารถในการประมวลผลเร็วเพียงพอต่อคาบการสุ่มสัญญาณ การเขียนโปรแกรมต้องมีการรัดกุมและง่ายต่อความเข้าใจ สำหรับโครงงานนี้เลือกใช้การเขียนโปรแกรมโดยภาษาซี

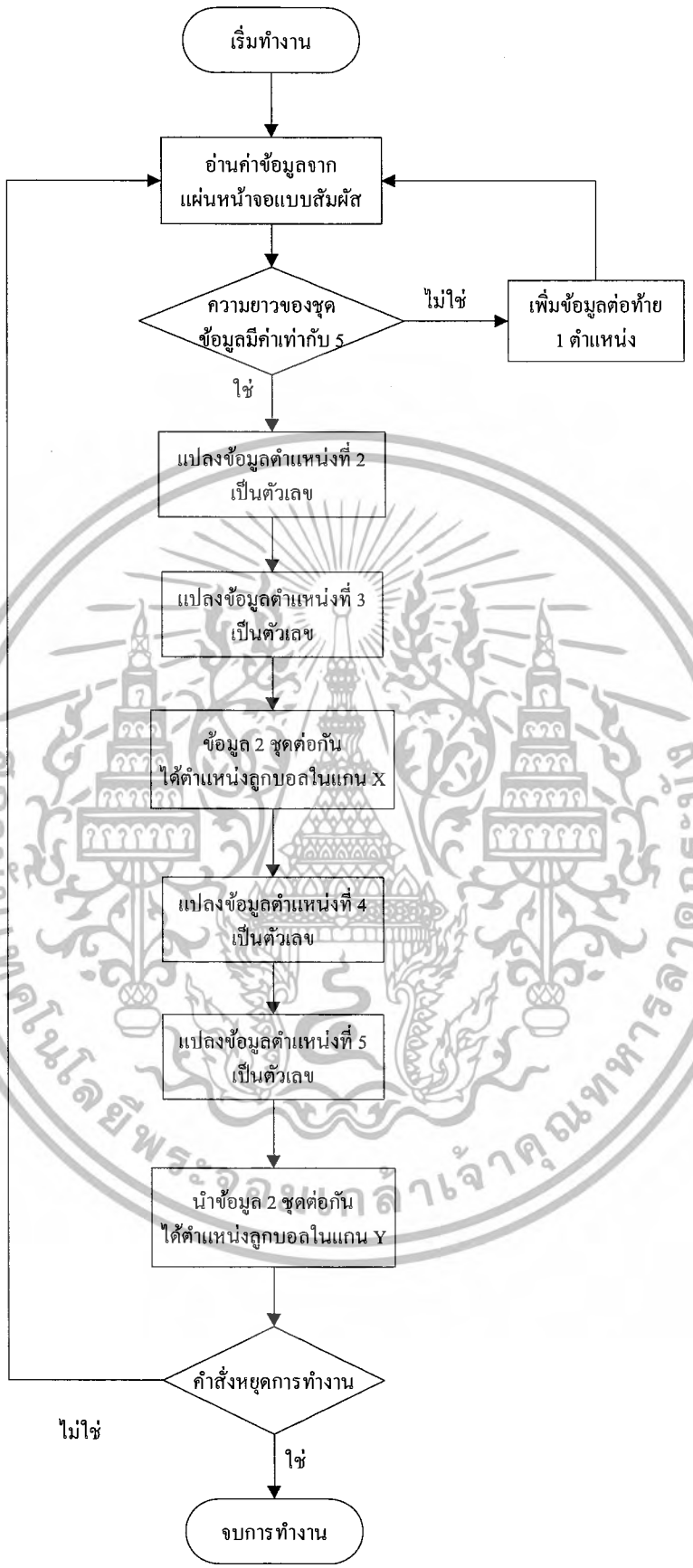
การเขียนโปรแกรมเริ่มจากการรับข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมและตำแหน่งมุมของระนาบที่ต้องการผ่านทางพอร์ตอนุกรม และประมวลผลข้อมูลที่ได้ว่าเป็นข้อมูลสำหรับการเปลี่ยนตำแหน่งมุมของระนาบ การปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ พีไอดี หรือสั่งหยุดการเคลื่อนที่ของระนาบ จากนั้นโปรแกรมส่วนควบคุมจะรับค่าตำแหน่งมุมปัจจุบันของระนาบและประมวลผล เพื่อหาสัญญาณควบคุมที่เหมาะสม จากนั้นจะส่งสัญญาณควบคุมซึ่งอยู่ในลักษณะสัญญาณแบบพัลวิทมอทดูเลชั่นไปยังมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อควบคุมมุมระนาบ สามารถเขียนโฟล์วชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมได้ดังรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



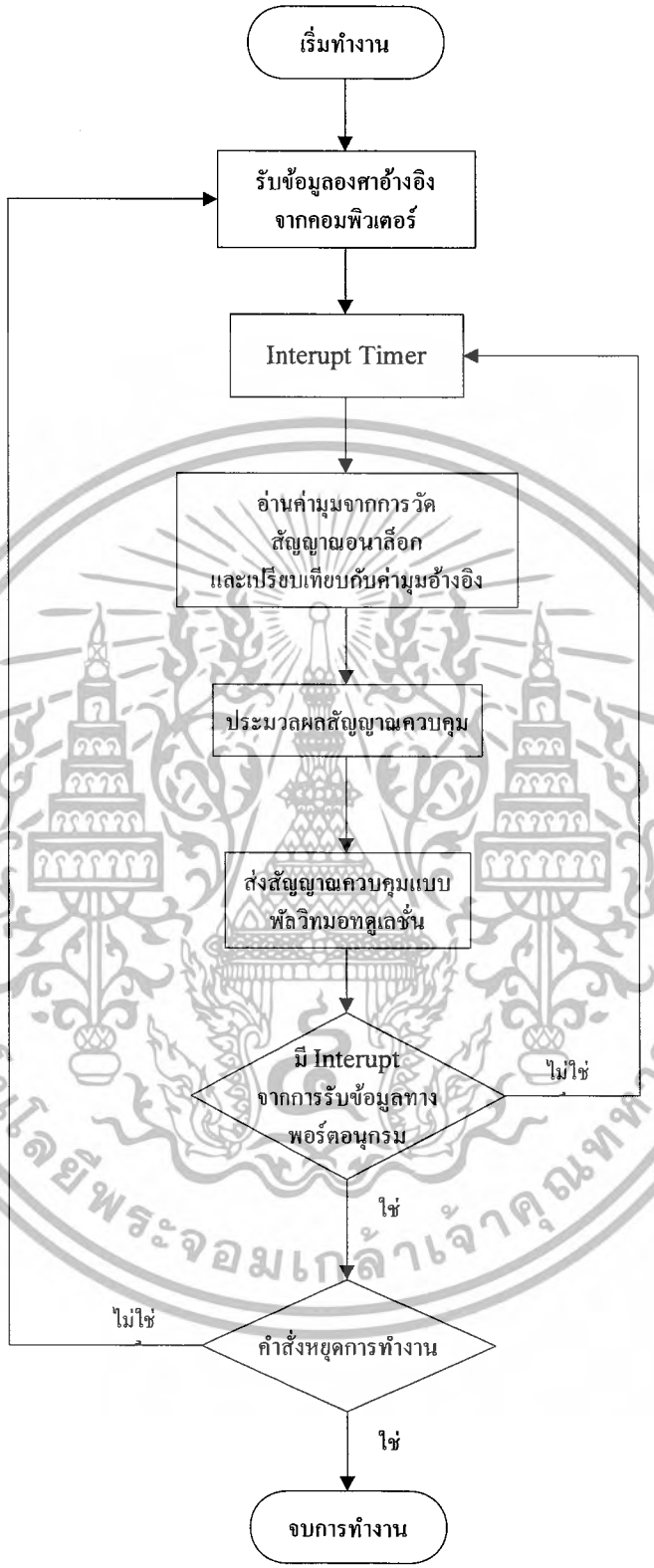
รูปที่ 3.7 โฟลว์ชาร์ตการควบคุมตำแหน่งมุมของระนาบโดยคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 โฟลว์ชาร์ตการหาตำแหน่งลูกบอลบนระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 โฟลว์ชาร์ตการควบคุมตำแหน่งมุมระนาบในไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้กล่าวถึงการทดลองต่างๆ ของระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนระนาบโดยทำการทดลองควบคุมตำแหน่งมุมระนาบ และการจำลองการควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนระนาบ โดยมีรายละเอียดของการทดลองดังนี้

4.1 การระบุตำแหน่งมุมของระนาบโดยเทียบกับค่าการแปลงค่าระดับอนาล็อกเป็นดิจิตอล

การระบุตำแหน่งมุมของระนาบโดยการเปรียบเทียบค่ามุมของระนาบเป็นระดับสัญญาณดิจิตอล โดยการใช้ระดับน้ำวัดมุมของระนาบที่ระดับ 0 องศา และอ่านค่าระดับดิจิตอลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.1 โดยค่าที่ได้นั้น สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามการปรับค่าโพเท็นทิโอมิเตอร์ที่ตำแหน่ง 0 องศา ซึ่งพบว่าค่ามุมของระนาบที่เปลี่ยนไปทุกๆ 1 องศา ค่าระดับดิจิตอล จะเปลี่ยนแปลงไป 39 ระดับในแกน X และ 37 ระดับในแกน Y ซึ่งค่าดังกล่าวนี้จะนำไปใช้ในการคำนวณระดับมุมจากค่าวัดที่เป็นระดับดิจิตอล

X		Y	
มุม (องศา)	ระดับสัญญาณดิจิตอล	มุม (องศา)	ระดับสัญญาณดิจิตอล
+3	393	+3	419
+2	432	+2	456
+1	472	+1	493
0	510	0	530
-1	549	-1	567
-2	588	-2	604
-3	627	-3	641

ตารางที่ 4.1 ผลทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับสัญญาณดิจิตอลกับมุมของระนาบ

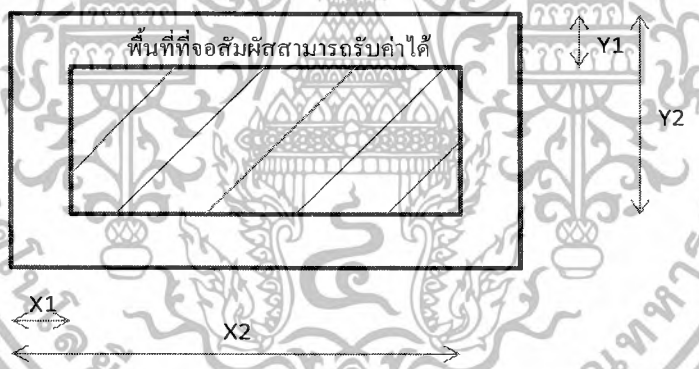
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การระบุตำแหน่งลูกบอลโดยเทียบพิกเซล

โครงงานนี้ได้ติดตั้งแผ่นหน้าจอแบบสัมผัสสำหรับตรวจจับตำแหน่งของลูกบอลบนระนาบ ค่าตำแหน่งของลูกบอลที่อ่านได้จากหน้าจอแบบสัมผัสจะเป็นตำแหน่งพิกเซล ซึ่งสามารถแปลงเป็นตำแหน่งในหน่วยมิลลิเมตรได้ โดยจากคุณสมบัติของแผ่นหน้าจอแบบสัมผัสสามารถระบุตำแหน่งกว้างและยาวที่สุดเท่ากันทั้งสองแกนโดยเท่ากับ 8192 พิกเซล ดังนั้นการแปลงหน่วยทำได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ดังสมการที่ (4.1)

$$A = \frac{B \times \text{ความกว้างในแนวแกนของระนาบ}}{8192} \tag{4.1}$$

เมื่อ A คือตำแหน่งของลูกบอลบนระนาบในหน่วยมิลลิเมตร และ B คือค่าวัดของลูกบอลที่อ่านได้จากหน้าจอแบบสัมผัสในหน่วยพิกเซล ซึ่งความกว้างและความยาวของแผ่นหน้าจอแบบสัมผัสในโครงงานนี้มีค่าไม่เท่ากัน โดยระนาบมีความกว้าง 250.6 มิลลิเมตร และมีความยาว 330.3 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.1 ขอบเขตการทำงานของหน้าจอสัมผัส

อย่างไรก็ตามหน้าจอสัมผัสนั้นไม่สามารถจับค่าตำแหน่งได้ทั่วทั้งระนาบ โดยมีขอบเขตการทำงานดังรูปที่ 4.1 ซึ่งตำแหน่งแรกและตำแหน่งสุดท้ายในแนวแกน X ที่หน้าจอสัมผัสจะทำงานสามารถหาได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.3) ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันสามารถหาตำแหน่งแรกและตำแหน่งสุดท้ายในแนวแกน Y ที่หน้าจอสัมผัสจะทำงานสามารถหาได้จากสมการที่ (4.4) และ (4.5) ตามลำดับ

$$XL = \frac{X1 \times 8192}{330.3} \tag{4.2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$XR = \frac{X2 \times 8192}{330.3} \quad (4.3)$$

$$YT = \frac{Y1 \times 8192}{250.6} \quad (4.4)$$

$$YB = \frac{Y2 \times 8192}{250.6} \quad (4.5)$$

เมื่อ X1 และ X2 คือระยะจากขอบระนาบในแกน X มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

Y1 และ Y2 คือระยะจากขอบระนาบในแกน Y มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

XL และ XR คือระยะจากขอบระนาบ ในแกน X มีหน่วยเป็นพิกเซล

YT และ YB คือระยะจากขอบระนาบในแกน Y มีหน่วยเป็นพิกเซล

4.3 ผลการทดลองการควบคุมมุมระนาบโดยอาศัยตัวควบคุมแบบพีไอดี

เมื่อพิจารณาจากโครงสร้างของระบบควบคุมลูกบอลบนระนาบดังรูปที่ 2.19 จะมีการควบคุม 2 วง คือส่วนควบคุมวงใน (Inner Loop) เพื่อควบคุมมุมระนาบโดยสัญญาณควบคุมคือแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ขับมอเตอร์ และส่วนควบคุมวงนอก (Outer Loop) เพื่อควบคุมตำแหน่งลูกบอลโดยสัญญาณควบคุมคือมุมระนาบ

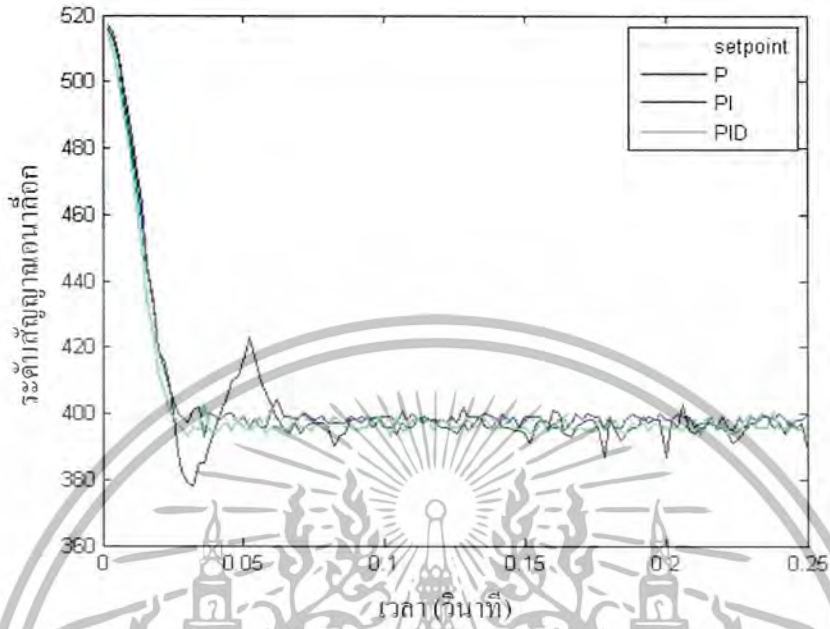
การทดลองในหัวข้อนี้จะพิจารณาส่วนควบคุมวงในซึ่งทำการควบคุมมุมของระนาบโดยอาศัยตัวควบคุมแบบพีไอดี โดยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในโครงงานนี้สามารถรับค่าแรงดันไฟฟ้าในย่านจำกัด -12 ถึง +12 โวลต์ และอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม โดยเลือกใช้คาบการสุ่มสัญญาณ (Sampling Period) ที่ 1.6 มิลลิวินาที ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มากพอในการทำงานแต่ละรอบการประมวลผล

การทดลองประกอบด้วยการควบคุมตำแหน่งมุมระนาบจากตำแหน่งมุม 0 องศาไปยังตำแหน่งมุม 3 และ -3 องศา โดยอาศัยระดับสัญญาณอนาล็อกที่สอดคล้องจากตารางที่ 4.1 ทั้งในแนวแกน X และแนวแกน Y โดยทดลองปรับค่าเกนของตัวควบคุมโดยการลองผิดลองถูก (Trial and Error) ได้ดังนี้

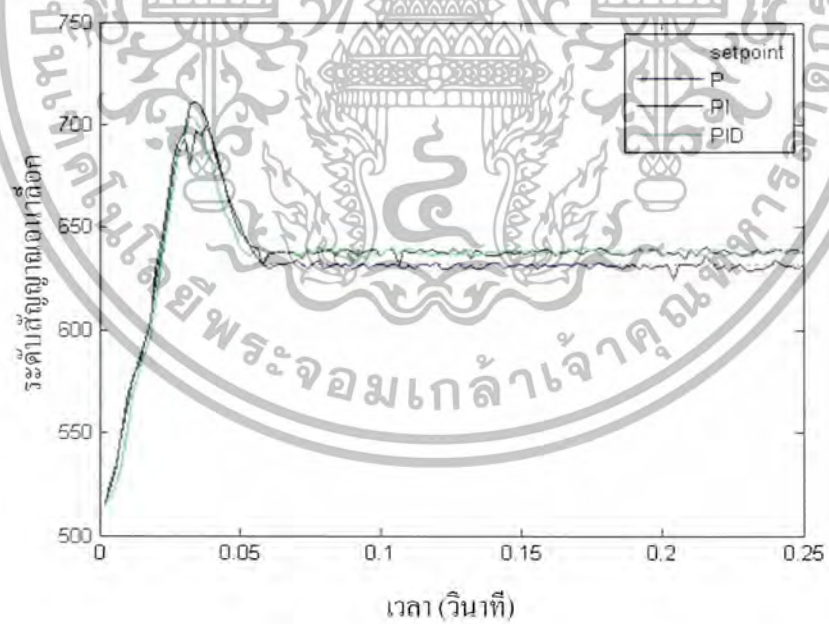
- ตัวควบคุมแบบพีใช้ค่าเกน $K_p = 9.5$
- ตัวควบคุมแบบพีไอใช้ค่าเกน $K_p = 9.5$ และ $K_i = 0.1$
- ตัวควบคุมแบบพีไอดีใช้ค่าเกน $K_p = 9.5$ $K_i = 0.1$ และ $K_d = 0.001$

ซึ่งผลตอบสนองเปรียบเทียบระหว่างตัวควบคุมทั้งสามโดยการควบคุมในแนวแกน X จากมุม 0 องศาไปยังมุม 3 องศา และ -3 องศา แสดงดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ และการควบคุมในแนวแกน Y จากมุม 0 องศาไปยังมุม 3 องศา และ -3 องศา แสดงดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

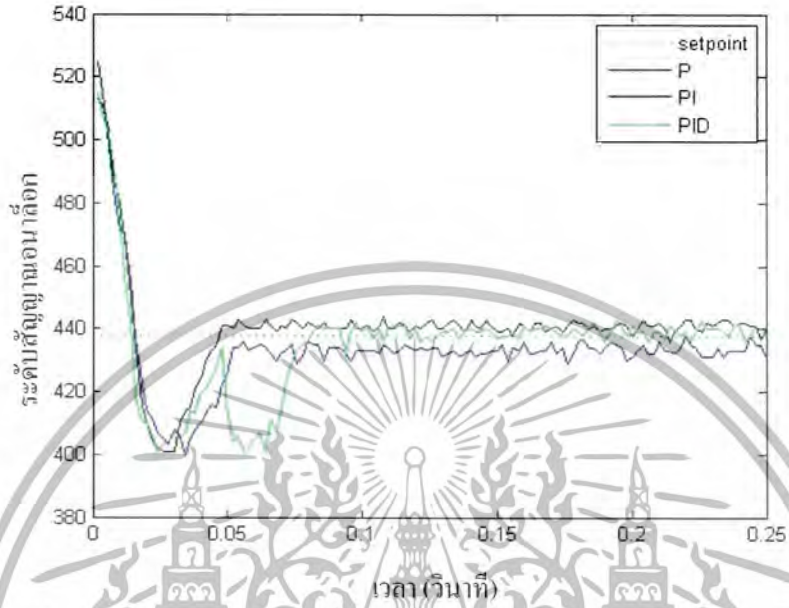


รูปที่ 4.2 ผลตอบสนองการควบคุมมุมระนาบจาก 0 องศาไปยัง 3 องศาในแนวแกน X โดยอาศัยตัวควบคุมแบบ พี พีไอ และพีไอดี

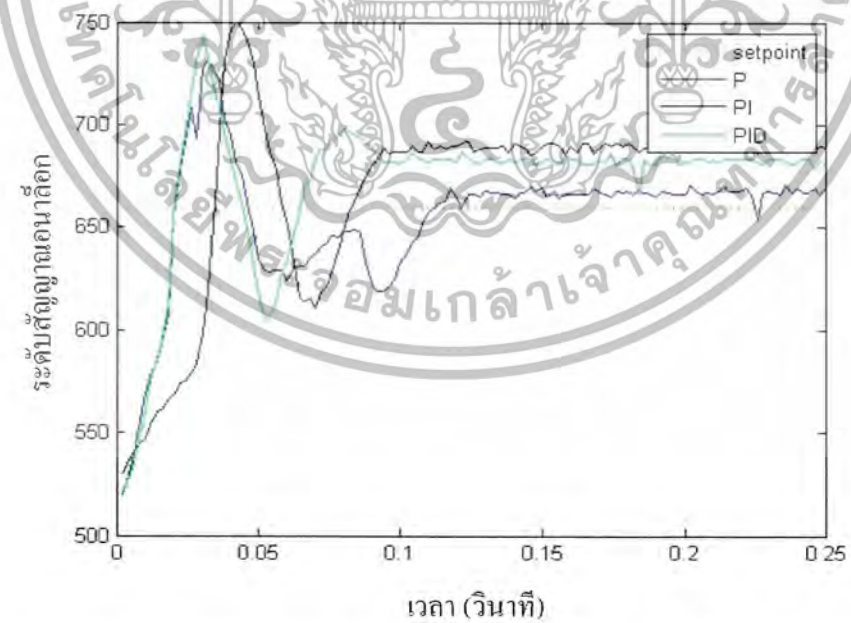


รูปที่ 4.3 ผลตอบสนองการควบคุมมุมระนาบจาก 0 องศาไปยัง -3 องศาในแนวแกน X โดยอาศัยตัวควบคุมแบบ พี พีไอ และพีไอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



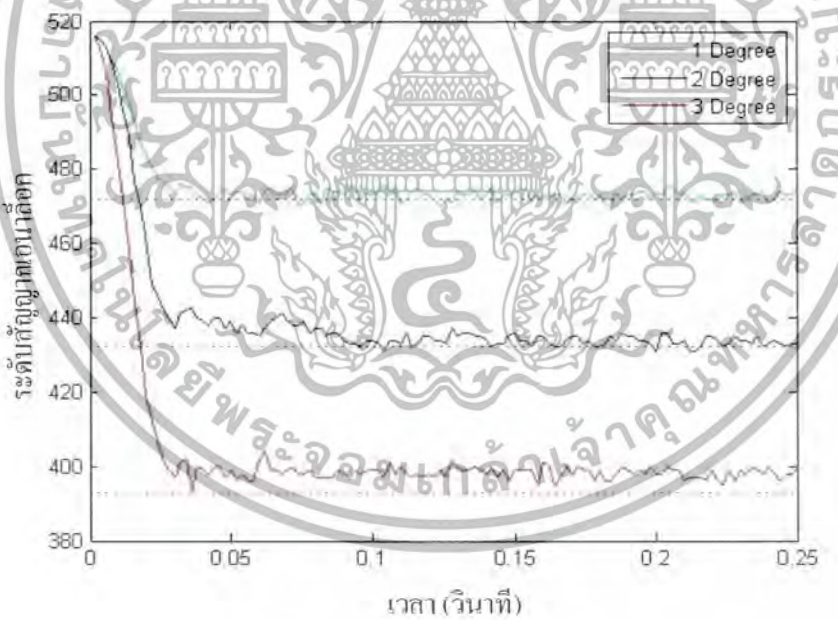
รูปที่ 4.4 ผลตอบสนองการควบคุมมุมระนาบจาก 0 องศาไปยัง 3 องศาในแนวแกน Y โดยอาศัยตัวควบคุมแบบ พี พีไอ และพีไอดี



รูปที่ 4.5 ผลตอบสนองการควบคุมมุมระนาบจาก 0 องศาไปยัง -3 องศาในแนวแกน Y โดยอาศัยตัวควบคุมแบบ พี พีไอ และพีไอดี

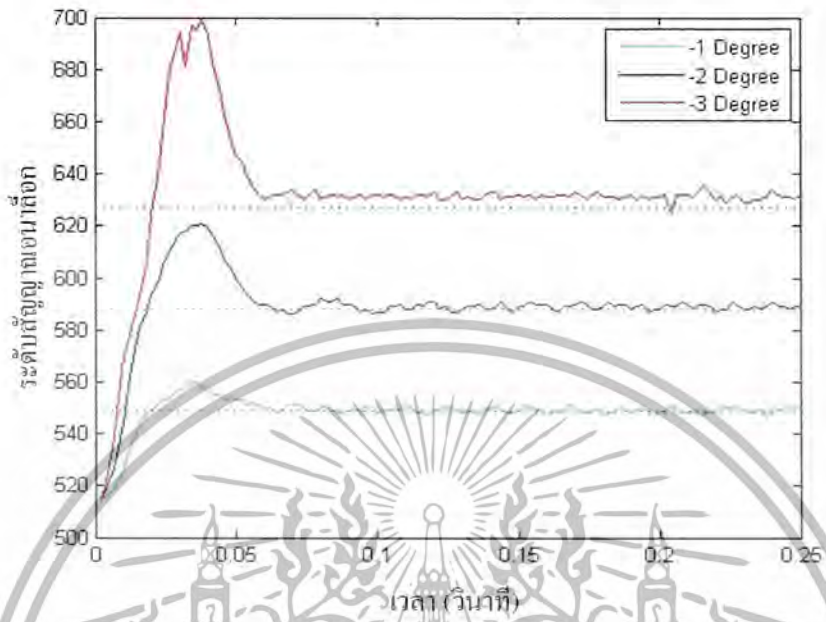
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.2 ถึง 4.5 พบว่า ตัวควบคุมแบบพีให้ผลตอบสนองดีกว่าตัวควบคุมแบบพีไอและแบบพีไอดีทั้งในแนวแกน X และในแนวแกน Y ดังนั้นในโครงงานนี้จึงเลือกใช้ตัวควบคุมแบบพีในการควบคุมตำแหน่งมุมระนาบ และทดลองใช้ตัวควบคุมแบบพีเพื่อควบคุมตำแหน่งมุมระนาบในแนวแกน X โดยเพิ่มและลดครั้งละ 1 องศา ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 ตามลำดับ พบว่าการควบคุมมุมระนาบจากตำแหน่ง 0 องศาไปยังมุมบวกนั้น สามารถควบคุมให้มุมระนาบเข้าสู่มุมที่ต้องการได้โดยไม่เกิดค่าพุ่งเกินขึ้นและสามารถเข้าสู่สภาวะคงตัวด้วยเวลาประมาณ 40 มิลลิวินาที แต่ในการควบคุมมุมระนาบจากตำแหน่ง 0 องศาไปยังมุมลบนั้น สามารถควบคุมให้มุมระนาบเข้าสู่มุมที่ต้องการได้เช่นเดียวกัน แต่จะเกิดค่าพุ่งเกินขึ้นโดยในการควบคุมไปยังมุม -1, -2 และ -3 องศาเกิดค่าพุ่งเกิน 28.2%, 41.0% และ 62.4% ตามลำดับ ก่อนเข้าสู่สภาวะคงตัวด้วยเวลาประมาณ 70 มิลลิวินาที



รูปที่ 4.6 ผลตอบสนองการควบคุมมุมระนาบจาก 0 องศาไปยังมุมบวกโดยอาศัยตัวควบคุมแบบพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ผลตอบสนองการควบคุมมุมระนาบจาก 0 องศาไปยังมุมสบโดยอาศัยตัวควบคุมแบบพี

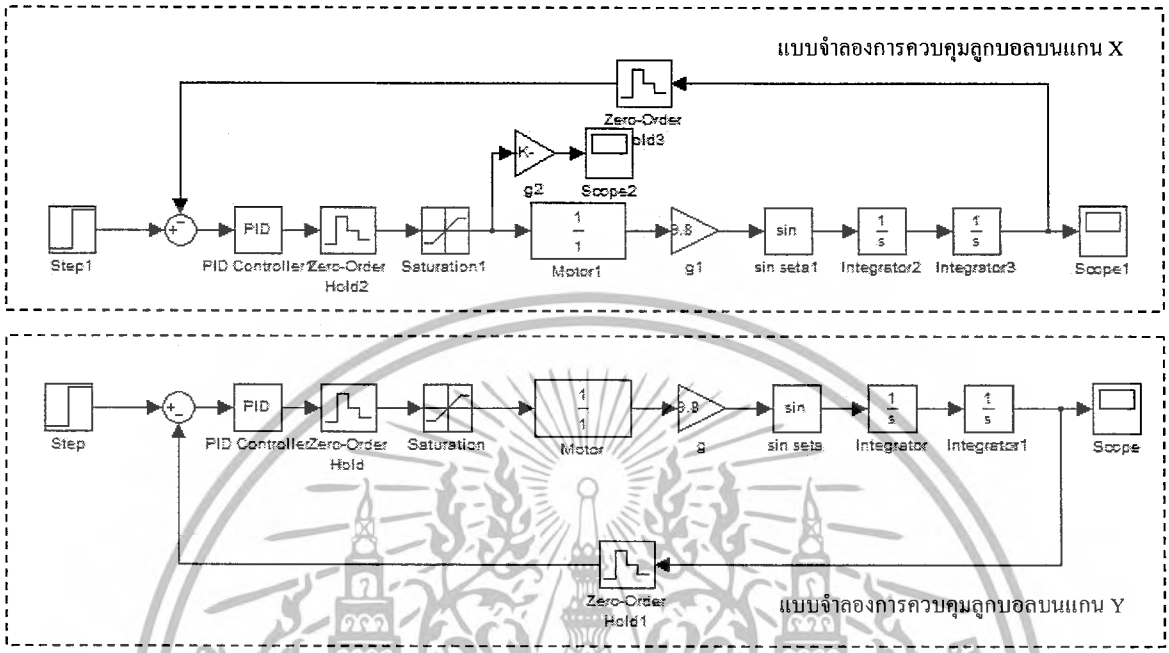
4.4 ผลจำลองการควบคุมตำแหน่งลูกบอลโดยอาศัยการควบคุมแบบพีไอดี

ในหัวข้อนี้จะพิจารณาการควบคุมวงนอกเพื่อควบคุมตำแหน่งลูกบอลไปยังตำแหน่งเป้าหมายโดยเลือกใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี ทำการจำลองเพื่อออกแบบตัวควบคุมโดยใช้โปรแกรม Matlab/Simulink โดยจำลองการเคลื่อนที่ของลูกบอลทั้ง 2 แกน ดังแบบจำลองในรูปที่ 4.8

อย่างไรก็ตามการควบคุมในแนวแกน X และแนวแกน Y เป็นอิสระจากกันและมีการควบคุมที่เหมือนกัน ดังนั้นผลการจำลองทั้ง 2 แกนนั้นจะเหมือนกัน จึงเลือกศึกษาการควบคุมจากผลการจำลองเพียงแค่แกน X แกนเดียว โดยอาศัยตัวควบคุมแบบพีไอดี

จากการออกแบบโครงสร้างระบบที่ใช้งานจริงดังรูปที่ 3.1 จะอาศัยคอมพิวเตอร์ในการประมวลผลซึ่งเป็นการทำงานบนเวลาดีสครีต ตลอดจนจะจำกัดค่ามุมอิมตัวไว้ที่ ± 0.0524 เรเดียนหรือประมาณ ± 3 องศา เพื่อไม่ให้ลูกบอลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่มากเกินไปและป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับระบบ จึงพิจารณาผลดังกล่าวนี้ในแบบจำลองรูปที่ 4.8 นอกจากนั้นจากผลการควบคุมมุมระนาบในรูปที่ 4.6 และ 4.7 พบว่ามอเตอร์มีผลตอบสนองในการเข้าสู่สถานะคงตัวภายในเวลา 0.15 วินาที ดังนั้นจึงเลือกใช้คาบการสุ่มสัญญาณที่ 0.15 วินาที ซึ่งมอเตอร์สามารถเข้าสู่มุมที่ต้องการได้ จึงจะประมาณฟังก์ชันถ่ายโอนในส่วนการควบคุมมุมระนาบโดยมอเตอร์เป็น 1 ซึ่งในการจำลองนี้ได้กำหนดให้ลูกบอลเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งอ้างอิงที่ 15 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แบบจำลองของระบบโดยใช้โปรแกรม Matlab

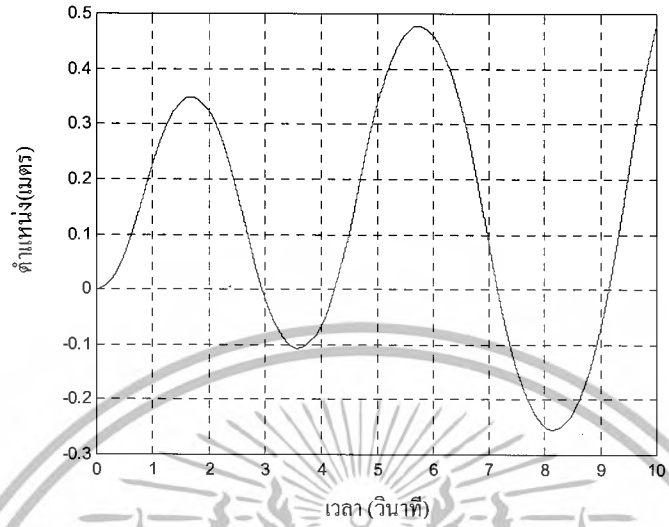
4.4.1 การจำลองการควบคุมตำแหน่งลูกบอลโดยอาศัยตัวควบคุมแบบพี

จากแบบจำลองเชิงเส้นของระบบควบคุมลูกบอลดังสมการที่ (2.26) และโครงสร้างตัวควบคุมแบบพี สามารถหาสมการคุณลักษณะของระบบวงปิดได้ดังสมการที่ (4.6)

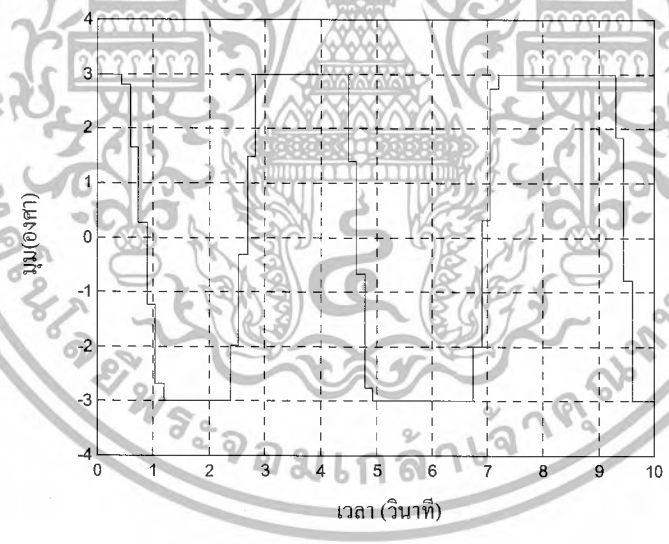
$$s^2 + gK_p = 0 \tag{4.6}$$

จากสมการคุณลักษณะพบว่าโพลของระบบทั้ง 2 ตัวอยู่บนแกนจินตภาพ ทำให้ผลตอบสนองของตำแหน่งลูกบอลแกว่งด้วยค่าคงที่ ที่ค่าเกนใดๆก็ตาม โดยในการจำลองเลือกใช้ค่าเกนตัวอย่างที่ K_p = 0.5 ซึ่งผลตอบสนองตำแหน่งลูกบอลแสดงดังรูปที่ 4.9 และคำสั่งมุมระนาบแสดงดังรูปที่ 4.10 พบว่าไม่สามารถควบคุมตำแหน่งลูกบอลได้ตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ตำแหน่งลูกบอลเมื่ออาศัยตัวควบคุมแบบพี



รูปที่ 4.10 คำสั่งมุมระนาบเมื่ออาศัยตัวควบคุมแบบพี

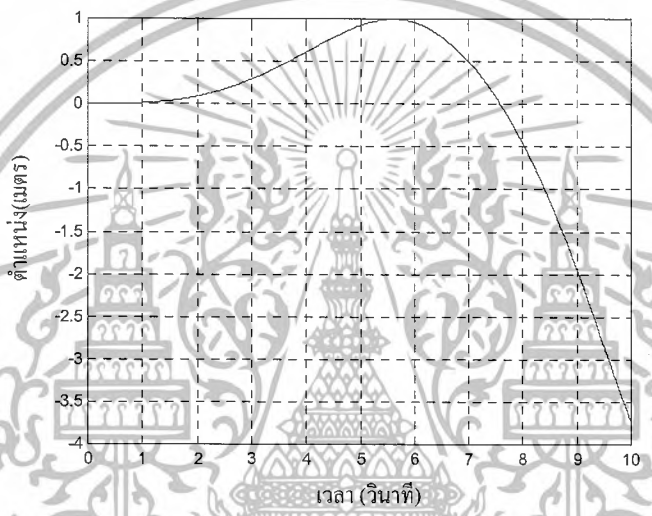
4.4.2 การจำลองการควบคุมตำแหน่งลูกบอลโดยอาศัยตัวควบคุมแบบไอ

ในทำนองเดียวกัน เมื่ออาศัยตัวควบคุมแบบไอ สามารถหาสมการคุณลักษณะของระบบวงปิดได้ดังสมการที่ (4.7)

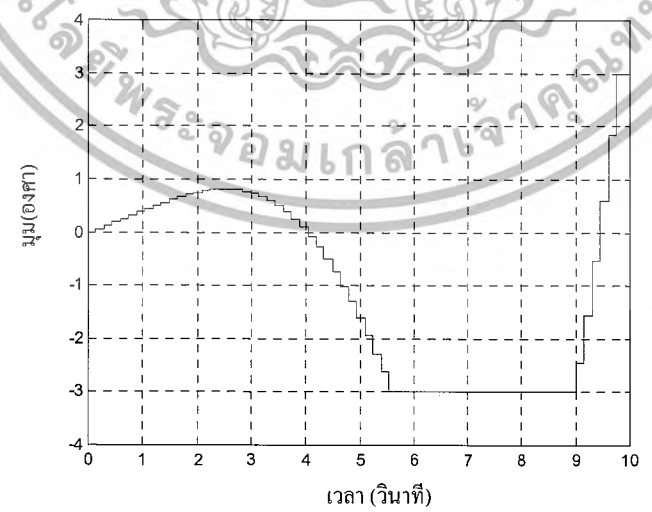
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$s^3 + gK_i = 0 \tag{4.7}$$

ซึ่งจากการใช้วิธี Routh-Hurwitz พบว่าระบบจะมีโพลอยู่ทางด้านบวก 2 ตัว ดังนั้นระบบจะไม่มีเสถียรภาพและไม่สามารถควบคุมตำแหน่งของลูกบอลได้ที่ค่าเกนใดๆก็ตาม โดยหากเลือกใช้ค่าเกนตัวอย่างที่ $K_i = 0.05$ มีผลตอบสนองตำแหน่งของลูกบอลดังรูปที่ 4.11 และคำสั่งมุมระนาบดังรูปที่ 4.12 ซึ่งพบว่าไม่สามารถควบคุมตำแหน่งของลูกบอลได้เช่นกัน



รูปที่ 4.11 ตำแหน่งลูกบอลเมื่ออาศัยการควบคุมแบบไอ



รูปที่ 4.12 คำสั่งมุมระนาบโดยอาศัยตัวควบคุมแบบไอ

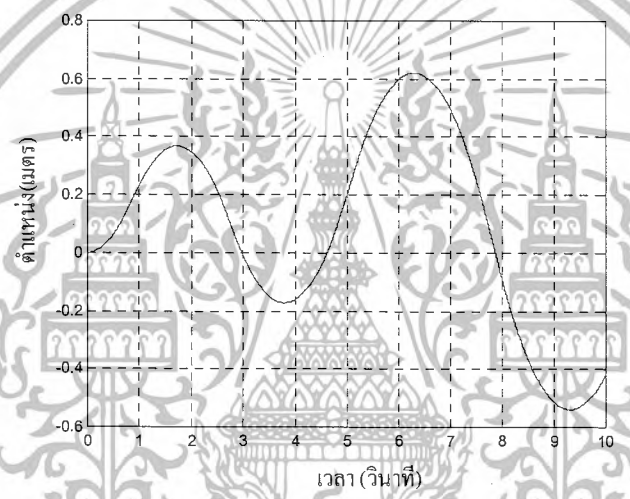
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 การจำลองการควบคุมตำแหน่งลูกบอลโดยอาศัยตัวควบคุมแบบพีไอ

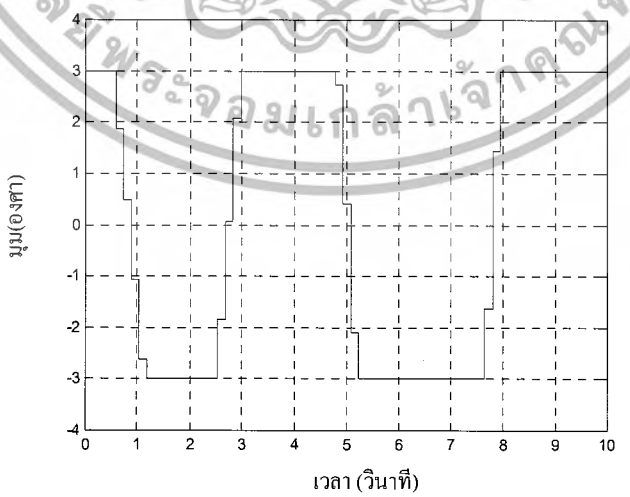
เมื่ออาศัยตัวควบคุมแบบพีไอจะสามารถหาสมการคุณลักษณะของระบบวงปิดได้ดังสมการที่ (4.8)

$$s^3 + gK_p s + gK_i = 0 \tag{4.8}$$

จากการใช้วิธี Routh-Hurwitz พบว่าระบบมีโพลอยู่ทางด้านขวาอยู่ 2 ตัว ดังนั้นระบบจึงไม่มีเสถียรภาพที่ค่าเกนใดๆก็ตาม โดยหากเลือกใช้ค่าเกนตัวอย่างที่ $K_p = 0.5$ และ $K_i = 0.05$ ได้ผลตอบสนองดังแสดงในรูปที่ 4.13 และจะได้คำสั่งมุมระนาบดังรูปที่ 4.14 ซึ่งพบว่าไม่สามารถควบคุมได้เช่นกัน



รูปที่ 4.13 ตำแหน่งลูกบอลเมื่ออาศัยตัวควบคุมแบบพีไอ



รูปที่ 4.14 คำสั่งมุมระนาบโดยอาศัยตัวควบคุมแบบพีไอ

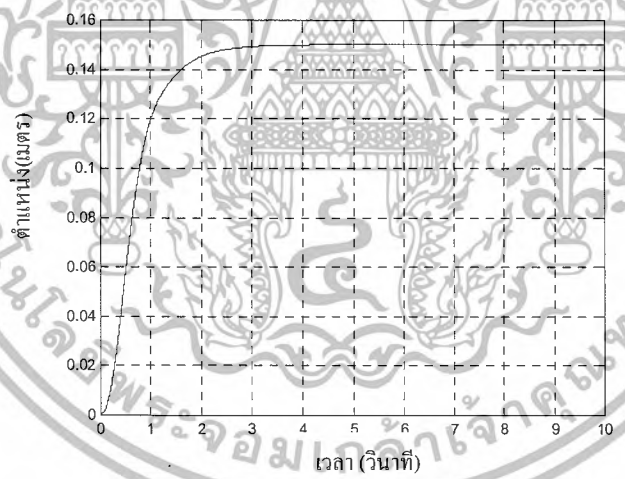
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4 การจำลองการควบคุมตำแหน่งลูกบอลโดยอาศัยตัวควบคุมแบบพีดี

ในทำนองเดียวกัน เมื่ออาศัยตัวควบคุมแบบพีดีจะสามารถหาสมการคุณลักษณะของระบบวงปิดได้ดังสมการที่ (4.9)

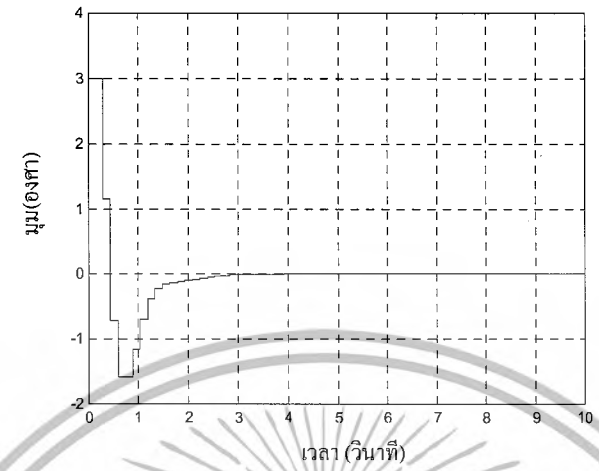
$$s^2 + gK_d s + gK_p = 0 \tag{4.9}$$

จากการใช้วิธี Routh-Hurwitz พบว่าระบบมีเสถียรภาพโดยมีเงื่อนไข K_p และ K_d ต้องมีค่ามากกว่าศูนย์เสมอ ดังนั้นจึงอาจควบคุมตำแหน่งลูกบอลให้เข้าตำแหน่งที่ต้องการได้ โดยหากเลือกใช้ค่าเกนตัวอย่างที่ $K_p = 0.5$ และ $K_d = 0.005$ ซึ่งค่าเกนที่ได้เลือกมานั้นอยู่ภายใต้เงื่อนไขข้างต้น ดังนั้นระบบจะสามารถควบคุมตำแหน่งลูกบอลได้ โดยผลตอบสนองแสดงดังรูปที่ 4.15 และจะได้คำสั่งมุมระนาบแสดงดังรูปที่ 4.16 ซึ่งพบว่าตำแหน่งลูกบอลสามารถเข้าสู่ตำแหน่งที่ต้องการได้ในเวลาประมาณ 2.5 วินาทีโดยไม่เกิดค่าพุ่งเกินขึ้น นอกจากนั้นสามารถจำกัดคำสั่งมุมระนาบให้มีค่าไม่เกิน ± 3 องศา



รูปที่ 4.15 ตำแหน่งลูกบอลเมื่ออาศัยตัวควบคุมแบบพีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 คำสั่งมุมระนาบเมื่ออาศัยตัวควบคุมแบบพีดี

4.4.5 การจำลองการควบคุมตำแหน่งลูกบอลโดยอาศัยตัวควบคุมแบบพีไอดี

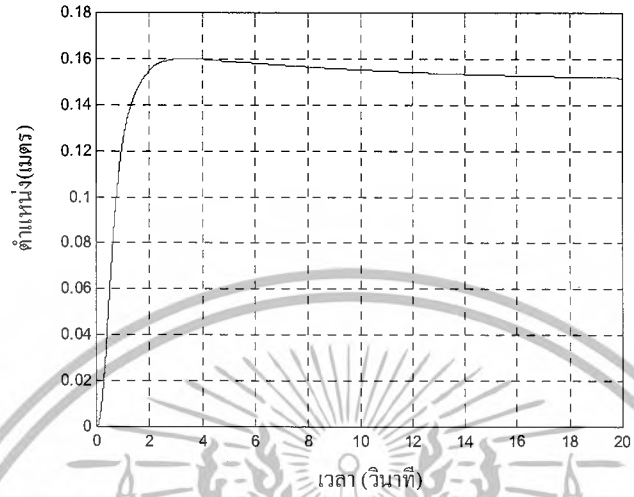
ในทำนองเดียวกัน เมื่ออาศัยตัวควบคุมแบบพีไอดีจะสามารถหาสมการคุณลักษณะของระบบวงปิดได้ดังสมการที่ (4.10)

$$s^3 + gK_d s^2 + gK_p s + gK_i = 0 \qquad (4.10)$$

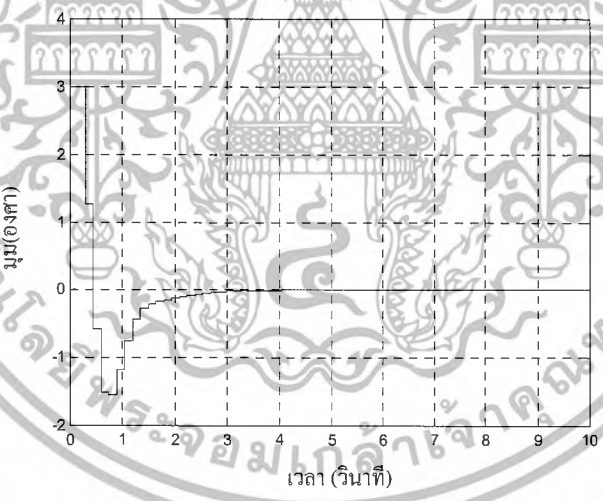
จากการใช้ Routh-Hurwitz พบว่าระบบจะมีเสถียรภาพก็ต่อเมื่อค่าเกน K_p, K_i และ K_d มีค่ามากกว่าศูนย์ และ $K_i < gK_dK_p$ โดยเลือกใช้ค่าเกนตัวอย่างที่ $K_p = 0.5$, $K_i = 0.05$ และ $K_d = 0.005$ ซึ่งค่าเกนที่เลือกใช้อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ยกมาข้างต้น ดังนั้นระบบจะสามารถควบคุมตำแหน่งลูกบอลได้ โดยผลตอบสนองแสดงดังรูปที่ 4.17 พบว่าจะใช้เวลาไต่ขึ้นได้เร็วโดยมีค่าประมาณ 1.8 วินาทีแต่จะเกิดค่าพุ่งเกินขึ้นประมาณ 6.7% และใช้เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัวนานขึ้นโดยใช้เวลาประมาณ 20 วินาที และจะได้คำสั่งมุมระนาบแสดงดังรูปที่ 4.18 ซึ่งพบว่าสามารถควบคุมมุมระนาบได้ โดยถูกจำกัดไว้ไม่เกิน ± 3 องศา

จากผลการจำลองข้างต้นจะเห็นว่า ตัวควบคุมแบบพีดี และแบบพีไอดี เท่านั้น ที่สามารถออกแบบให้ระบบมีเสถียรภาพและตำแหน่งลูกบอลเข้าสู่ตำแหน่งที่ต้องการได้ โดยผลตอบสนองในการใช้ตัวควบคุมแบบพีดีนั้นจะใช้เวลาในการเข้าสู่สถานะคงตัวน้อยกว่า และค่าพุ่งเกินสูงสุดน้อยกว่าการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี ดังนั้นในโครงงานนี้จึงเลือกใช้ตัวควบคุมแบบพีดีในการควบคุมตำแหน่งลูกบอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ตำแหน่งลูกบอลเมื่ออาศัยตัวควบคุมแบบพีไอดี



รูปที่ 4.18 คำสั่งมุมระนาบเมื่ออาศัยตัวควบคุมแบบพีไอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
วิจารณ์และสรุปผล

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนระนาบ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ ด้วยกัน คือ ส่วนการควบคุมมุมระนาบ และส่วนการควบคุมตำแหน่งบอล

ในส่วนการควบคุมตำแหน่งมุมระนาบ ทำการทดลองโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี ในการควบคุมมอเตอร์ ซึ่งมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นหน่วยประมวลผล และใช้โพเท็นทิโอมิเตอร์ขนาด 10 กิโลโอห์ม เป็นอุปกรณ์วัดมุมระนาบ โดยการทดลองนั้นได้ทดลองให้มอเตอร์เคลื่อนที่ทำให้ระนาบที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งบอลนั้นขยับจากมุม 0 องศา ไปยังมุม -3 ถึง 3 องศาทั้งในแนวแกน X และแนวแกน Y พบว่าเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีนั้นสามารถควบคุมให้แผ่นระนาบเคลื่อนที่ไปยังมุมที่ต้องการได้โดยใช้เวลาไม่เกิน 70 มิลลิวินาที

ในส่วนการควบคุมตำแหน่งบอล สามารถทำการจำลองระบบพบว่า เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีดีจะให้ผลตอบสนองซึ่งไม่มีค่าพุ่งเกินและลูกบอลสามารถเข้าสู่ตำแหน่งที่ต้องการได้ภายในเวลา 2.5 วินาทีโดยใช้คำสั่งมุมในการควบคุมไม่เกิน ± 3 องศา อย่างไรก็ตามเมื่อนำมาทดลองจริงพบว่าหน้าจอแบบสัมผัสสามารถจับตำแหน่งของลูกบอลได้ถูกต้อง แต่ระบบไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจาก ปัญหาทางด้านโปรแกรม โดยไม่สามารถควบคุมมุมระนาบให้เป็นไปตามที่ต้องการได้อย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะไม่สามารถควบคุมมุมให้เคลื่อนที่ในมุมขนาดเล็กได้

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข

ปัญหาที่พบในโครงงานในส่วนของโครงสร้างพบว่า ในส่วนของเฟืองทดที่ใช้ระหว่างมอเตอร์กับโพเท็นทิโอมิเตอร์นั้นเกิดการไม่ขบกันของเฟืองบางช่วงทำให้การอ่านค่าขาดความแม่นยำส่งผลให้ไม่สามารถควบคุมมุมระนาบได้ถูกต้อง แนวทางแก้ไขคือควรเปลี่ยนชุดเฟืองทดให้มีความละเอียดมากยิ่งขึ้น

ปัญหาที่พบในโครงงานในส่วนของหน้าจอแบบสัมผัส พบว่าหน้าจอแบบสัมผัสถูกออกแบบมาให้ใช้ในคอมพิวเตอร์แบบพกพาจึงทำให้ค่อนข้างบางและมีส่วนประกอบเป็นกระจก จึงต้องระมัดระวังในการทดลองเพราะอาจจะแตกได้อีกทั้งข้อมูลในการใช้ค่อนข้างมีให้น้อยมาก จึงทำให้เสียเวลาในการเขียนโปรแกรมรับค่าจากหน้าจอแบบสัมผัสมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

1. ควรที่จะเปลี่ยนชุดทดที่ใช้ระหว่างมอเตอร์กับโพเท็นทิโอมิเตอร์ให้มีความละเอียดมากยิ่งขึ้น

2. ควรที่จะเปลี่ยนไมโครคอนโทรเลอร์จาก 16F877 มาใช้เป็น dsPIC หรือไมโครคอนโทรเลอร์ที่มีความไวในการทำงานมากขึ้น ให้สามารถรับค่าตำแหน่งลูกบอลจากแผ่นหน้าจอแบบสัมผัสได้โดยตรง สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องอาศัยคอมพิวเตอร์

3. ปรับปรุงโครงสร้างให้มีความแข็งแรงมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

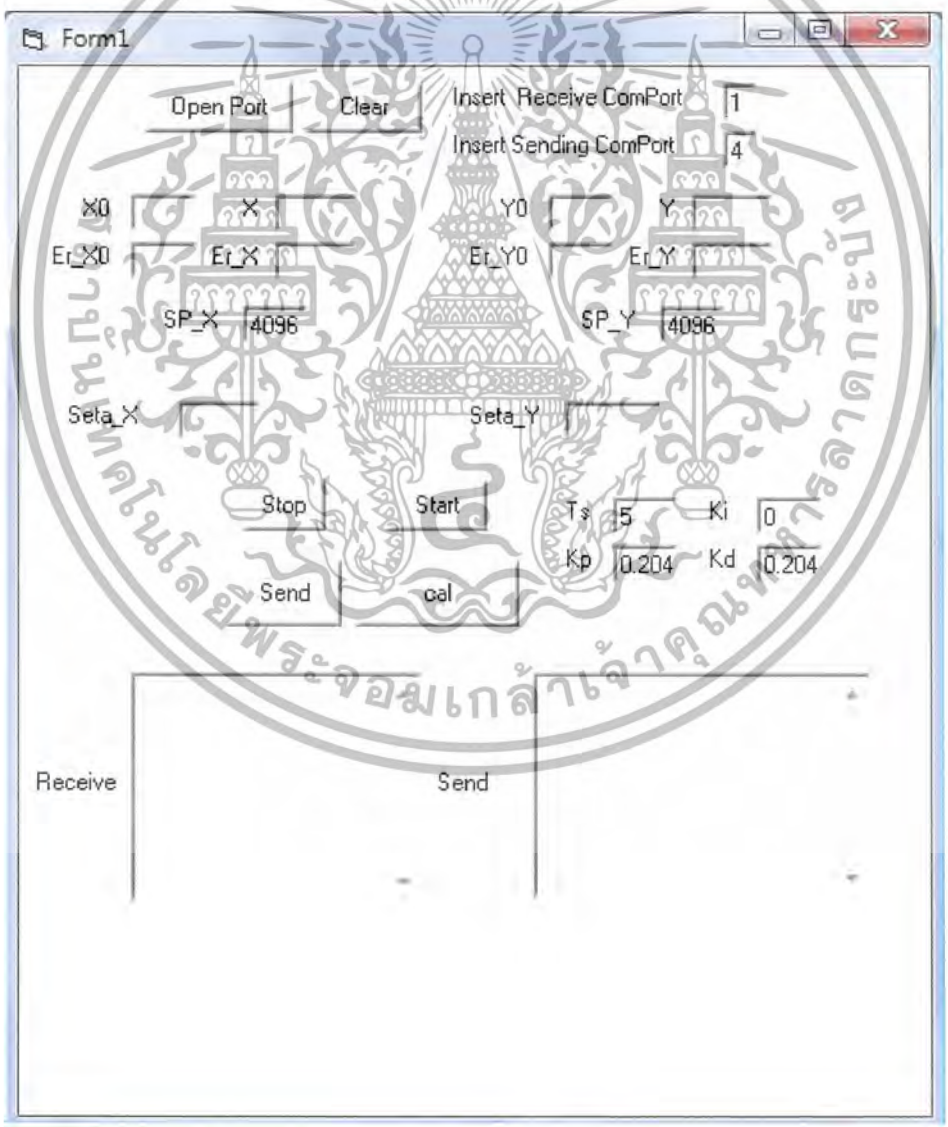
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

โปรแกรมการประมวลผลและควบคุมตำแหน่งลูกบอล

โปรแกรมวิชวลเบสิก ซึ่งพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการตรวจสอบตำแหน่งลูกบอลบนระนาบ ประมวลผลสัญญาณควบคุมตำแหน่งมุม และส่งตำแหน่งมุมอ้างอิงไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ประกอบด้วย หน้าต่างเชื่อมต่อกับผู้ใช้ (Graphical User Interface) ดังรูปที่ ก.1 และโค้ดโปรแกรมในหัวข้อ ก.1 และโปรแกรมภาษาซี ซึ่งพัฒนาขึ้นเพื่อรับคำสั่งมุมอ้างอิงจากคอมพิวเตอร์และประมวลผลสัญญาณควบคุมแรงดันไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีโค้ดโปรแกรมดังในหัวข้อ ก.2



รูปที่ ก.1 หน้าต่างเชื่อมต่อกับผู้ใช้ในโปรแกรมการตรวจสอบตำแหน่งลูกบอลบนระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1 โปรแกรมสำหรับควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนระนาบ

```
Option Explicit
Private Sub cmdOpenPort_Click()
   MSComR.CommPort = txtPortR
   If MSComR.PortOpen = False Then
      MSComR.PortOpen = True
   End If
   MSComR.RThreshold = 1
   txtReceive.Text = "Rconnected"
   MSComS.CommPort = txtPortS
   If MSComS.PortOpen = True Then
      MSComS.PortOpen = True
   End If
   MSComS.RThreshold = I
   txtReceive.Text = "Sconnected"
End Sub
Private Sub cmdClear_Click()
   txtReceive.Text = ""
   txtSend.Text = ""
End Sub
Private Sub cmdSend_Click()
   Timer2.Enabled = True
End Sub
Private Sub cmdStp_Click()
   Timer1.Enabled = False
   Timer2.Enabled = False
End Sub
Private Sub cmdStt_Click()
Timer1.Enabled = True
End Sub
Private Sub Form_Load()
   MSComR.RThreshold = 0
   MSComS.RThreshold = 0
   MSComR.Settings = "9600,n,8,I"
   MSComS.Settings = "9600,n,8,1"
   MSComR.RTSEnable = True
End Sub
Private Sub MSComR_OnComm()
Dim buffer, bin As String
Dim i, j, leng As Integer
Dim fileData As Byte
j = 1
bin = ""
   If MSComR.CommEvent = comEvReceive Then
   buffer = MSComR.Input
   leng = Len(buffer)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'   txtReceive.Text = txtReceive.Text & buffer
      If leng < 5 Then
        For i = leng To 4
          buffer = buffer & " "
        Next i
      End If
      For i = 2 To 3
        fileData = CByte(Asc(Mid(buffer, i, 1)))
        bin = toBinary(fileData) & "0" & bin
        If (i Mod 2) = 1 Then
          txtX.Text = toDec(bin)
          bin = ""
        End If
      Next i
      For i = 4 To 5
        fileData = CByte(Asc(Mid(buffer, i, 1)))
        bin = toBinary(fileData) & "0" & bin
        If (i Mod 2) = 1 Then
          txtY.Text = toDec(bin)
          bin = ""
        End If
      Next i
    End If
    buffer = ""
End Sub
Function toBinary(val As Byte) As String
    Dim bin As String
    Dim i As Integer
    bin = ""
    For i = 0 To 6
      If (val Mod 2) = 0 Then
        bin = "0" & bin
      Else
        bin = "1" & bin
      End If
      val = val \ 2
    Next i
    toBinary = bin
End Function
Function toDec(val As String) As Long
    Dim i As Long
    Dim dec As Long
    For i = 1 To 15
      If Mid(val, 16 - i, 1) = "1" Then
        dec = dec + 2 ^ (i - 1)
      End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Next i
    toDec = dec
End Function
Private Sub Timer1_Timer()
Dim xp, xi, xd As Single
Dim yp, yi, yd As Single
txtEX0 = 0
txtEY0 = 0
txtEX = (txtSPX - txtX) * 416178 / 180224000
txtEY = (txtSPY - txtY) * 315756 / 180224000
    xp = txtKP * txtEX
    xi = xi + txtKI * (txtEX - txtEX0) * txtTS / 2
    xd = (txtEX - txtEX0) * txtKD / txtTS
    txtSX = (xp + xi + xd)
    txtEX0 = txtEX
    yp = txtKP * txtEY
    yi = yi + txtKI * (txtEY - txtEY0) * txtTS / 2
    yd = (txtEY - txtEY0) * txtKD / txtTS
    txtSY = (yp + yi + yd)
    txtEY0 = txtEY
End Sub
Private Sub Timer2_Timer()
Dim data(9), i As Integer
Dim sx, sy As Single
    data(0) = 88
    data(5) = 89
    sx = txtSX
    sy = txtSY
    sx = sx * 39
    sy = sy * 39
    If sx = 0 Then
       data(1) = 43
       data(2) = data(3) = data(4) = 0
    ElseIf Abs(sx) >= 117 Then
       If sx > 0 Then
          data(1) = 43
       ElseIf sx < 0 Then
          data(1) = 45
       End If
       data(2) = 1 + 48
       data(3) = I + 48
       data(4) = 7 + 48
    ElseIf Abs(sx) < 117 Then
       If sx >= 0 Then
          data(1) = 43
       ElseIf sx < 0 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        data(1) = 45
    End If
    sx = Abs(sx)
    data(2) = Int(sx / 100) + 48
    sx = sx Mod 100
    data(3) = Int(sx / 10) + 48
    sx = sx Mod 10
    data(4) = Int(sx) + 48
End If

If sy = 0 Then
    data(6) = 43
    data(7) = data(8) = data(9) = 0
ElseIf Abs(sy) >= 117 Then
    If sy > 0 Then
        data(6) = 43
    ElseIf sy < 0 Then
        data(6) = 45
    End If
    data(7) = 1 + 48
    data(8) = 1 + 48
    data(9) = 7 + 48
ElseIf Abs(sy) < 117 Then
    If sy >= 0 Then
        data(6) = 43
    ElseIf sy < 0 Then
        data(6) = 45
    End If
    sy = Abs(sy)
    data(7) = Int(sy / 100) + 48
    sy = sy Mod 100
    data(8) = Int(sy / 10) + 48
    sy = sy Mod 10
    data(9) = Int(sy) + 48
End If
txtSend.Text = " "
 For i = 0 To 9
    txtSend.Text = txtSend.Text & Chr(data(i))
    MSComR.Output = Chr(data(i))
Next i
MSComR.Output = "!"
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 โปรแกรมควบคุมมอเตอร์ในไมโครคอนโทรลเลอร์

```
#include <16F877.h>
#device adc=10
#FUSES NOWDT                    //No Watch Dog Timer
#FUSES HS                       //High speed Osc (> 4mhz)
#FUSES NOPUT                    //No Power Up Timer
#FUSES NOPROTECT                //Code not protected from reading
#FUSES NOBROWNOUT               //No brownout reset
#FUSES NOLVP                    //No low voltage prgming, B3(PIC16) or B5(PIC18) used for I/O
#FUSES NOCPD                    //No EE protection
#FUSES NOWRT                    //Program memory not write protected
#FUSES NODEBUG                  //No Debug mode for ICD
#use delay(clock=20000000)
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)
//#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_b6,rcv=PIN_b7,stream=s2)
#include <stdlib.h>                //                              (3)
#include "input.c"
int8 tmp,count,TimeCount,data[6],start;
int16 Uxi,Uyi;
float Kp,Kd,Ki,Ts,ex,Upx,Uix,Udx,Ux,Uix0,ex0,ADC1,X,value_data_x,sign_x;
float         ey,Upy,Uiy,Udy,Uy,Uiy0,ey0,ADC2,Y,value_data_y,sign_y;
char a;
int b;
short int rx;
#INT_RDA                        //                              (6)
void RxD_ISR(void)
{
   a = getc();
   b=(a-0x30);
   RX = 1;
}
//#byte rcreg = 0x1a
/*void s_w(void)
{
  char selection;
  printf("\r\n enter your number \r\n");
  printf("   0) start new   ");
  printf("   1) x= +3\r\n");
  printf("   2) x= -3\r\n");
  printf("   3) x= 0\r\n");
  selection=getc();
  switch(selection)
  {
  case '0' : data[0]=2;
break;
  case '1' :   data[0]=1,data[1]=3,data[2]=0.data[3]=0,data[4]=0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
break;
    case '2' : data[0]=1,data[1]=3,data[2]=1,data[3]=0,data[4]=0;
break;
    case '3' : data[0]=1,data[1]=0,data[2]=0.data[3]=0,data[4]=0;
break;
  }
}*/
/*void s_w(void)
{
char selection;
  printf("\r\n enter your number \r\n");
  printf("   1) x= -3\r\n");
  printf("   2) x= 0\r\n");
  printf("   3) x= 3\r\n");
  printf("   4) y= -3\r\n");
  printf("   5) y= 0\r\n");
  printf("   6) y= 3\r\n");
  selection=getc();
  switch(selection)
  {
   case '1' :  data[0]=1,data[1]=3,data[2]=0,data[3]=0, data[4]=0;
break;
    case '2' :  data[0]=1,data[1]=0,data[2]=0,data[3]=0, data[4]=0;
break;
   case '3' :  data[0]=1,data[1]=3,data[2]=0,data[3]=1, data[4]=0;
break;
   case '4' :  data[0]=1,data[1]=0,data[2]=3,data[3]=0, data[4]=0;
break;
   case '5' :  data[0]=1,data[1]=0,data[2]=0,data[3]=0, data[4]=0;
break;
   case '6' :  data[0]=1,data[1]=0,data[2]=3,data[3]=0, data[4]=1;
break;
  }
}*/
void convert_show(void)
{
    value_data_x=data[1];
    value_data_y=data[2];
    sign_x=data[3];
    sign_y=data[4];
                    kp=8.55;
                    ki=0;
                    kd=0;
                    if(sign_x==0)//??? ??
                      {
                       value_data_x=value_data_x;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                X = (value_data_x*39)+515;
               }
             else if (sign_x==1)//??????
               {
                value_data_x=-value_data_x;
                X = (value_data_x*39)+515;
               }
             if(sign_y==0)//?????
               {
                value_data_y=value_data_y;
                Y = (value_data_y*37)+520;
               }
             else if (sign_y==1)//??????
               {
                value_data_y=-value_data_y;
                Y = (value_data_y*37)+520;
               }
              printf(" X-Y :%f %f",X,Y);
      //data[0]=1;
}
void ADC(void)
{
  set_adc_channel(0);
  delay_us(10);
  ADC1=read_adc();
  delay_us(10);
  //printf("\r\nADC1:%f\r\n",ADC1);
  set_adc_channel(1);
  delay_us(10);
  ADC2=read_adc();
  delay_us(10);
}
void Gain_PID(void)
{
  ex= X-ADC1;
  ey= Y-ADC2;
  //printf("\r\n ey:%f \r\n",ey);
  Upx=Kp*ex;
  Upy=Kp*ey;
  Udx=Kd*(ex-ex0)/Ts;
  Udy=Kd*(ey-ey0)/Ts;
  if((Ux>=-650)&(Ux<=650))
  {
    Uix=Uix0+Ki*(Ts/2)*(ex+ex0);
  }
   Uix0=Uix;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  ex0=ex;
  Ux=Upx+Uix+Udx+150;
 if((Uy>=-650)&(Uy<=650))
  {
   Uiy=Uiy0+Ki*(Ts/2)*(ey+ey0);
  }
  Uiy0=Uiy;
  ey0=ey;
  Uy=Upy+Uiy+Udy+150;
}
void DriveMotor_X(void)
{
 if(Ux>1023.0)
  {
   Uxi=800;
   output_high(pin_b1);
   output_low(PIN_b0);
  }
 if((Ux>0.0)&(Ux<1023.0))
  {
   Uxi=(int16)Ux+600;
   output_high(pin_b1);
   output_low(PIN_b0);
  }
 if(Ux==0.0)
  {
   Uxi=0;
   output_low(pin_b1);
   output_low(PIN_b0);
  }
 if(Ux<0.0)
  {
   Uxi=(-1)*(Ux)+600;
   //Uxi=(int16)Ux;
    if(Uxi>1023)
     {
      Uxi=700;
      output_high(pin_b0);
      output_low(PIN_b1);
     }
    else
     {
      Uxi=Uxi+400;
      output_high(pin_b0);
      output_low(PIN_b1);
     }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  }
   //printf(" \r\nUxi :%lu\r\n ",Uxi);
   set_pwm1_duty(Uxi);
}
void DriveMotor_Y(void)
{
 if(Uy>1023.0)
  {
   Uyi=700;
   output_high(pin_b3);
   output_low(PIN_b2);
  }
 if((Uy>0.0)&(Uy<1023.0))
  {
   Uyi=(int16)Uy+400;
   output_high(pin_b3);
   output_low(PIN_b2);
  }
 if(Uy==0.0)
  {
   Uyi=0;
   output_low(pin_b3);
   output_high(PIN_b2);
  }
 if(Uy<0.0)
  {
   Uyi=(-1)*Uy+600;
   //Uyi=(int16)Uy;
    if(Uyi>1023)
     {
       Uyi=700;
       output_high(pin_b2);
       output_low(PIN_b3);
     }
     else
     {
       Uyi=Uyi+400;
       output_high(pin_b2);
       output_low(PIN_b3);
     }
  }
   // printf(" \r\nUyi :%lu\r\n ",Uyi);
   set_pwm2_duty(Uyi);
}
/*#int_RDA
 void RDA_isr()//interrup
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{
}*/
#int_TIMER0//interub
 void TIMER0_isr()
{
 //restart_wdt();
 TimeCount++;
}
  void main()
{
  //int state = 1;
  port_b_pullups(TRUE);
  setup_adc_ports(RA0_RA1_RA3_ANALOG);
  setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
  setup_psp(PSP_DISABLED);
  setup_spi(FALSE);
  setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_4); // Overflow every 1 msec
  set_timer0(6);
  setup_timer_1(T1_DISABLED);
  setup_timer_2 ( T2_DIV_BY_1,255,1);
  setup_ccp1(CCP_PWM);
  setup_ccp2(CCP_PWM);
  set_tris_c(0x81);
  //printf("Test send Serial\r\n");
 // printf("Press Number 0-9 : 4 digits\r\n");
  Ts=0.002;
  Ux=0;
  ex0=0;
  Uix0=0;
  Uy=0;
  ey0=0;
  Uiy0=0;
  count = 0;
  TimeCount = 0;
 enable_interrupts(INT_TIMER0);
 enable_interrupts(INT_RDA);
 enable_interrupts(GLOBAL);
 enable_interrupts(INT_RDA);
 enable_interrupts(GLOBAL);
  while(true)
  {
//////////////**********X
        if (RX) {
         if(b==1)
         {
          data[0]=1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

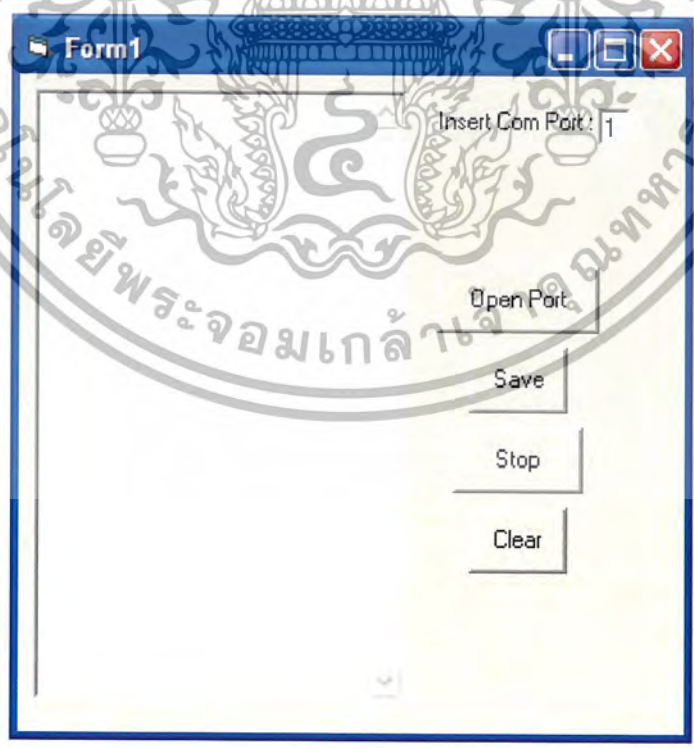
```
 data[1]=3;
 data[2]=0;
 data[3]=0;
 data[4]=0;
}
 if(b==2)
{
 data[0]=1;
 data[1]=0;
 data[2]=0;
 data[3]=0;
 data[4]=0;
}
 if(b==3)
{
 data[0]=1;
 data[1]=3;
 data[2]=0;
 data[3]=1;
 data[4]=0;
//////************************************ Y
}
if(b==4)
{
 data[0]=1;
 data[1]=0;
 data[2]=3;
 data[3]=0;
 data[4]=0;
}
 if(b==5)
{
 data[0]=1;
 data[1]=0;
 data[2]=0;
 data[3]=0;
 data[4]=0;

}
 if(b==6)
{
 data[0]=1;
 data[1]=0;
 data[2]=3;
 data[3]=0;
 data[4]=1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    }
        RX = 0;
        }
    convert_show();
    if(data[0]==1)
          {
          while(TimeCount==2);
          TimeCount = 0;
          ADC();

          Gain_PID();
          //printf("\r\n Ux:%f \r\n",Ux);
          DriveMotor_X();
          //printf(" \r",);
          DriveMotor_Y();
          //printf("\r\nUyi:%lu\r\n",Uyi);
          //delay_us(2);
          printf(" %f\r\n", ADC2);
        // fprintf(s2,"\r\n%f\r\n",ADC2);
          }
}
 // break;
}
```



รูปที่ ก.2 หน้าต่างเชื่อมต่อกับผู้ใช้ในโปรแกรมการรับข้อมูลเพื่อบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.3 โปรแกรมที่ใช้สำหรับรับข้อมูลเพื่อบันทึกผล

ในหัวข้อนี้ นำเสนอโค้ดโปรแกรมวิชวลเบสิกซึ่งทำหน้าที่รับค่าจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อบันทึกค่ามุมระนาบที่อ่านได้จากวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล โดยมีหน้าต่างเชื่อมต่อกับผู้ใช้ดังรูปที่ ก.2 และโค้ดโปรแกรมดังนี้

```
Private Sub cmdClear_Click()
   txtData.Text = ""
End Sub
Private Sub cmdOP_Click()
   MSCom.CommPort = txtPort.Text
   If MSCom.PortOpen = False Then
      MSCom.PortOpen = True
   End If
End Sub
Private Sub cmdSave_Click()
Dim filelocation As String
' loads save as box
   CommonDialog1.ShowSave
    filelocation = CommonDialog1.FileName

' append saves over file if it assists
   Open filelocation For Append As #1
      Print #1, txtData.Text
   Close #1
End Sub
Private Sub cmdStp_Click()
   MSCom.PortOpen = False
End Sub
Private Sub Form_Load()
   MSCom.Settings = "9600,n,8,1"
   MSCom.RThreshold = 1
End Sub
Private Sub MSCom_OnComm()
Dim buffer As Variant
If MSCom.CommEvent = comEvReceive Then
   buffer = MSCom.Input
   txtData.Text = txtData.Text & buffer & vbCrLf
End If
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ข.1 เอกสารคู่มือการใช้งาน PIC 16F877A

MICROCHIP

PIC16F87X

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

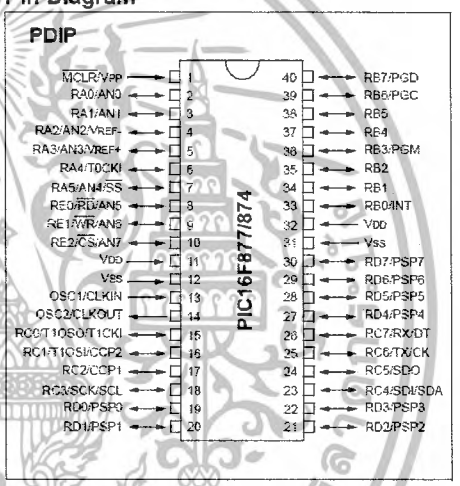
- PIC16F873
- PIC16F874
- PIC16F876
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
  DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
  Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
  Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature ranges
- Low-power consumption:
  - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
  - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
  - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram

PDIP



Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during SLEEP via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

© 2001 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] เป็นเอก เพ็งวัน, สุริยันต์ โชตะศรี. **"การควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนคาน."** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2548.

[2] กนก ทาสี, สฤษธิภัสร์ บู่ทอง, วศกร นาวีกิจ. **"ระบบควบคุมตำแหน่งลูกบอลบนระนาบ."** ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2550.

[3] สัจจะ จรัสรุ่งรวีวร. **คู่มือการเขียนโปรแกรม Visual Basic 6.0 ฉบับผู้เริ่มต้น.** นนทบุรี : ไอดีซีฯ. 2548.

[4] ประภาพร ช่างไม้. **คู่มือการเขียนโปรแกรมภาษา C ฉบับผู้เริ่มต้น.** นนทบุรี : อินโฟเพรส. 2545.

[5] ประจิน พลังสันติกุล. **เรียนรู้และการใช้งาน CCS C คอมไพเลอร์.** กรุงเทพ : อินโนเวตีฟเอ็กเพอริเมนต์. 2548.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้