

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบควบคุมตำแหน่งเครน 2 มิติ

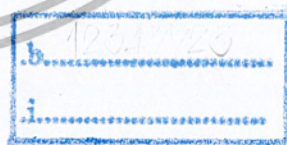
TWO DIMENSIONAL CRANE CONTROL SYSTEM



T117581



เลขหมู่.....117581
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....- 9 ต.ค. 2554



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TWO DIMENSIONAL CRANE CONTROL SYSTEM



THE THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHATRONICS ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบควบคุมตำแหน่งเครน 2 มิติ
TWO DIMENSIONAL CRANE CONTROL SYSTEM

ผู้จัดทำ นายศุภวัชร กลิ่น โปธิ 50011599
นายสรกฤษ สหชัยภัทร 50011633
นายสิทธิชาติ เหลี่ยมลิขิต 50011674


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. อีวาร์ เบนจุมนราสุทธิ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมตำแหน่งเครน 2 มิติ

โดย

นายสุภวัชร	กลั่นโพธิ์	50011599
นายสรกฤษ	สหชัยภัทร	50011633
นายสิทธิชาติ	เหล็ยมลิจิต	50011674

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร. ถาวร เบญจนาสุทธี

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

ปฏิญานี้ฉบับนี้ นำเสนอระบบควบคุมตำแหน่งเครน 2 มิติ โดยโครงสร้างของเครนถูกออกแบบให้สามารถเคลื่อนที่ใน 2 ทิศทางบนระนาบ อาศัยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวขับเคลื่อน พร้อมติดตั้งเอนโค้ดเดอร์เป็นเซนเซอร์วัดค่าตำแหน่ง และโพเทนชิโอมิเตอร์เป็นเซนเซอร์วัดมุมการแกว่งของภาระ โดยอาศัยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและโปรแกรมวิซวลเบสิกทำหน้าที่เชื่อมต่อกับผู้ใช้งานเพื่อส่งคำสั่งสัญญาณอ้างอิงไปให้ตัวควบคุมหลัก ซึ่งอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลและส่งสัญญาณควบคุมไปยังชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ โดยการควบคุมอาศัยการควบคุมแบบพี จากผลการจำลองและการทดลองพบว่าระบบที่ได้ออกแบบสามารถควบคุมให้เครนเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้ นอกจากนี้ยังช่วยลดมุมแกว่งของภาระลงได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TWO DIMENSIONAL CRANE CONTROL SYSTEM

by

Mr.Suppawat Klinpo

Mr.Sorrakrit Sahachaiphath

Mr.Sittchart Liamlikit

Advisor

Assoc. Prof. Dr. Taworn Benjanarasuth

Academic Year 2010

ABSTRACT

This thesis presents the positional control system of a two-dimensional crane. The crane's structure is designed to allow its movements in two dimensions on the plane using DC motors as actuators. Encoders are installed as crane position sensors and the potentiometers are employed as load swing angle sensors. A personal computer with Visual Basic is used for implementing a user interface program to receive crane position reference signals and send them to a microcontroller. The microcontroller then computes corresponding command signals using P control algorithms to drive DC motors. Simulation and experimental results show that the control systems can control the crane to the desired positions. Moreover the control system can reduce the load swing angle.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความเมตตาช่วยเหลือจากรศ.ดร. ถาวร เบญจนาสุทธี ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและให้โอกาสสมาโดยตลอด ตั้งแต่ต้น คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่เป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา รวมถึงการสนับสนุนในเรื่องของงบประมาณที่ขาดเหลือ จนทำให้โครงการชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงขึ้นมาได้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบุคคลทุกบุคคล ปัญหาทุกปัญหา และทุกสิ่งทุกอย่างที่ผ่านเข้ามาแล้วทำให้โครงการชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณมากครับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 รายละเอียดส่วนประกอบของปริญญานิพนธ์	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบควบคุมตำแหน่งเครน 2 มิติ	4
2.2 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	6
2.2.1 ตัวบ่งชี้สมรรถนะของระบบ	6
2.2.2 ระบบควบคุมแบบพีไอดี	8
2.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	10
2.3.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	10
2.3.2 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	12
2.3.3 การขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	13
2.4 เอนโค้ดเดอร์	16
2.5 โทเทนชิโอมิเตอร์	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV อย่างอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 ใจโรเซนเซอร์	18
2.7 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกโดยผ่านพอร์ตอนุกรม	20
2.7.1 การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส	20
2.7.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	21
2.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์	23
บทที่ 3 การออกแบบและโครงสร้าง	25
3.1 การออกแบบโครงสร้างส่วนประกอบของเครื่อง	25
3.2 การออกแบบวงจรที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่อง	28
3.2.1 วงจรขับมอเตอร์	28
3.2.2 วงจรรับข้อมูลจากอุปกรณ์วัดความเร็ว	30
3.3 การออกแบบระบบควบคุมการทำงานของเครื่อง	31
3.3.1 ส่วนประมวลผลสัญญาณอ้างอิงจากคอมพิวเตอร์รับค่าแสดงผลตำแหน่ง	32
3.3.2 ส่วนการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์	33
3.3.3 ส่วนรับค่าสัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์	34
3.3.4 ส่วนส่งค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์เซนเซอร์ป้อนกลับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์	35
บทที่ 4 ผลการทดลอง	36
4.1 การทดลองการแกว่งของภาระ	36
4.2 การจำลองระบบควบคุมเครื่อง 2 มิติ	39
4.2.1 การจำลองระบบควบคุมแบบพีโดยการใช้การป้อนกลับระยะทาง	39
4.2.2 การจำลองระบบควบคุมแบบพีโดยการใช้การป้อนกลับทั้งระยะทางและมุมแกว่ง	46
4.3 การทดลองควบคุมระบบด้วยการควบคุมแบบพี	54
4.3.1 การทดลองระบบควบคุมแบบพีโดยการใช้การป้อนกลับระยะทาง	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.2 การทดลองระบบควบคุมแบบพีโดยใช้การป้อนกลับทั้งระยะทางและมุมแกว่ง	61
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	70
5.1 ผลสัมฤทธิ์ของโครงการ	70
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข	71
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา	72
ภาคผนวก	73
ภาคผนวก ก. คู่มือประกอบการใช้งานอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในโครงการ	74
ก.1 มอเตอร์และอุปกรณ์วัดตำแหน่ง	74
ก.2 อุปกรณ์ประกอบวงจร	80
ก.2.1 ไอซี dsPIC 30F4011	80
ก.2.2 ไอซี HD74LS04	83
ก.2.3 ไอซี HD74LS125A	85
ก.2.4 ไอซี LM324	87
ก.2.5 บอร์ดทดลอง JX-dsPIC40	88
ก.2.6 ไอซี ADXL330	90
ก.2.7 ไอซี SN74LS244N	93
ภาคผนวก ข. โปรแกรมการจำลองและการทดลอง	94
ข.1 โปรแกรมสำหรับการออกแบบ	94
ข.2 โปรแกรมสำหรับการควบคุม	96
ข.2.1 โปรแกรมระบบควบคุมแบบพีโดยใช้การป้อนกลับระยะทาง	96
ข.2.2 โปรแกรมระบบควบคุมแบบพีโดยใช้การป้อนกลับระยะทางและมุมแกว่ง	113
ข.3 โปรแกรมสำหรับส่งและรับค่าจากไมโครคอนโทรลเลอร์	130
เอกสารอ้างอิง	135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แบบจำลองระบบควบคุมเครน 2 มิติ	4
2.2 ผลตอบสนองของระบบต่อสัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วย	7
2.3 แผนภาพการควบคุมระบบแบบพีไอดี	8
2.4 ระบบควบคุมแบบพี	9
2.5 สเตเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 2 โพล และแบบ 4 โพล	10
2.6 โรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	11
2.7 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	12
2.8 วงจรขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบใช้ตัวต้านทานอนุกรม	13
2.9 คุณสมบัติการควบคุมความเร็วโดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้	14
2.10 คุณสมบัติการควบคุมความเร็วโดยเปลี่ยนค่าแรงดัน	14
2.11 สัญญาณพีคดับบีวเอ็มมีความกว้างพัลส์เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์	15
2.12 สัญญาณพีคดับบีวเอ็มมีความกว้างพัลส์เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์	15
2.13 สัญญาณพีคดับบีวเอ็มมีความกว้างพัลส์เท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์	15
2.14 ส่วนประกอบของเอนโค้ดเดอร์	16
2.15 สัญญาณที่ได้จากเอนโค้ดเดอร์	17
2.16 โฟเทนซิโอมิเตอร์ในลักษณะต่างๆ	18
2.17 โครงสร้างพื้นฐานของใจโรสโคป	19
2.18 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส	20
2.19 การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	21
2.20 แผงวงจรไมโครคอนโทรเลอร์ dspic 30f4011	24
3.1 รางบอลสกรูแกน Y	25
3.2 ลิเนียร์สไลด์	26
3.3 รางบอลสกรูแกน X	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต่อ VII อิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4 อุปกรณ์การวัดแวง	27
3.5 โครงสร้างของเกรน	28
3.6 วงจรขับมอเตอร์แบบ H-Bridge	29
3.7 แผงวงจรขับมอเตอร์แบบ H-Bridge	29
3.8 วงจรปรับค่าความชันและตำแหน่งศูนย์	30
3.9 แผงวงจรปรับความชันและขยายสัญญาณ	31
3.10 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมตำแหน่งเกรน 2 มิติ	32
3.11 หน้าต่างเชื่อมต่อผู้ใช้งาน	33
3.12 แผนภาพขั้นตอนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์	34
4.1 ผลตอบสนองการแกว่งของภาระตามแนวแกน X	37
4.2 ผลตอบสนองการแกว่งของภาระตามแนวแกน Y	38
4.3 ผลจากการจำลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน X เมื่อปรับ $K_p = 3$	40
4.4 ผลจากการจำลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน X เมื่อปรับ $K_p = 5$	41
4.5 ผลจากการจำลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน X เมื่อปรับ $K_p = 10$	42
4.6 ผลจากการจำลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน Y เมื่อปรับ $K_p = 5$	43
4.7 ผลจากการจำลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน Y เมื่อปรับ $K_p = 10$	44
4.8 ผลจากการจำลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน Y เมื่อปรับ $K_p = 15$	45
4.9 ผลจากการจำลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน X เมื่อปรับ $K_{pt} = 10$	47
4.10 ผลจากการจำลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน X เมื่อปรับ $K_{pt} = 15$	48
4.11 ผลจากการจำลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน X เมื่อปรับ $K_{pt} = 25$	49
4.12 ผลจากการจำลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน Y เมื่อปรับ $K_{pt} = 10$	50
4.13 ผลจากการจำลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน Y เมื่อปรับ $K_{pt} = 15$	51
4.14 ผลจากการจำลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน Y เมื่อปรับ $K_{pt} = 25$	52

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15 ผลการทดลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน X ที่ตำแหน่ง 10 เซนติเมตร	55
4.16 ผลการทดลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน X ที่ตำแหน่ง 20 เซนติเมตร	56
4.17 ผลการทดลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน X ที่ตำแหน่ง 30 เซนติเมตร	57
4.18 ผลการทดลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน Y ที่ตำแหน่ง 10 เซนติเมตร	58
4.19 ผลการทดลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน Y ที่ตำแหน่ง 20 เซนติเมตร	59
4.20 ผลการทดลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน Y ที่ตำแหน่ง 30 เซนติเมตร	60
4.21 ผลการทดลองระบบควบคุมในแนวแกน X เมื่อ $K_p = 10$ ที่ตำแหน่ง 10 เซนติเมตร	63
4.22 ผลการทดลองระบบควบคุมในแนวแกน X เมื่อ $K_p = 10$ ที่ตำแหน่ง 20 เซนติเมตร	64
4.23 ผลการทดลองระบบควบคุมในแนวแกน X เมื่อ $K_p = 10$ ที่ตำแหน่ง 30 เซนติเมตร	65
4.24 ผลการทดลองระบบควบคุมในแนวแกน Y เมื่อ $K_p = 15$ ที่ตำแหน่ง 10 เซนติเมตร	66
4.25 ผลการทดลองระบบควบคุมในแนวแกน Y เมื่อ $K_p = 15$ ที่ตำแหน่ง 20 เซนติเมตร	67
4.26 ผลการทดลองระบบควบคุมในแนวแกน Y เมื่อ $K_p = 15$ ที่ตำแหน่ง 30 เซนติเมตร	68
ก.1 มอเตอร์และอุปกรณ์วัดตำแหน่ง	74
ก.2 ไอซี dsPIC30F4011	80
ก.3 รายละเอียดไอซี HD74LS04	84
ก.4 รายละเอียดไอซี HD74LS125A	86
ก.5 รายละเอียดไอซี LM324	87
ก.6 รายละเอียดบอร์ดทดลอง JX-dsPIC40	89
ก.7 รายละเอียดไอซี ADXL330	92
ก.8 รายละเอียดไอซี SN74LS244N	93
ข.1 บล็อกไดอะแกรมระบบครน 2 มิติ ในแต่ละแนวแกน	95
ข.2 แบบจำลองระบบควบคุมแบบพีโดยป้อนกลับค่าระยะทาง	95
ข.3 แบบจำลองระบบควบคุมแบบพีโดยป้อนกลับทั้งค่าระยะทางและมุมแกว่ง	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 พารามิเตอร์ของระบบเครน 2 มิติ	39
4.2 สมรรถนะผลการจำลองระบบควบคุมซึ่งป้อนกลับระยะทาง	46
4.3 สมรรถนะผลการจำลองระบบควบคุมซึ่งป้อนกลับระยะทางและมุมแกว่ง	53
4.4 สมรรถนะผลการทดลองระบบควบคุมซึ่งป้อนกลับระยะทาง	61
4.5 สมรรถนะผลการทดลองระบบควบคุมซึ่งป้อนกลับระยะทางและมุมแกว่ง	69



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตมนุษย์อย่างมาก ซึ่งส่งผลให้ชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์มีความสะดวกสบายยิ่งขึ้น ไม่ว่าจะเป็น เทคโนโลยีทางการสื่อสารที่รวดเร็วทันใจ การเดินทางด้วยยานพาหนะที่รวดเร็วและปลอดภัย ตลอดจนการทำงานในกระบวนการทางอุตสาหกรรมต่าง ๆ อาทิเช่น เทคโนโลยีที่ใช้เครื่องจักรทำงานแทนคน เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับพลังงาน เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการผลิต เทคโนโลยีที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบต่าง ๆ เป็นต้น เทคโนโลยีเหล่านี้ส่งผลให้การทำงานต่าง ๆ มีประสิทธิภาพ และมีความปลอดภัยเพิ่มมากขึ้น

การควบคุมการทำงานของระบบต่าง ๆ นั้นเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ทุก ๆ โรงงานอุตสาหกรรมจะต้องมี เพื่อให้งานเหล่านั้นบรรลุตรงตามเป้าหมายที่ต้องการอย่างมีคุณภาพ ยกตัวอย่างเช่น การควบคุมความหนาของแผ่นโลหะ ระบบการลำเลียงผลิตภัณฑ์โดยสายพานในโรงงานอุตสาหกรรม การควบคุมการเปิดปิดวาล์วของถังสารเคมีในโรงงาน ระบบเครนที่ใช้เคลื่อนย้ายวัตถุ เป็นต้น จากตัวอย่างที่กล่าวมา ระบบเครนเป็นระบบที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมที่มีการขนย้ายวัตถุที่มีขนาดใหญ่ และน้ำหนักมาก โดยระบบเครนนั้นจะต้องมีโครงสร้างที่แข็งแรง เพื่อใช้ยกวัตถุหรือสินค้าภายในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อให้เกิดความรวดเร็วในกระบวนการผลิตต่าง ๆ รวมถึงการนำระบบเครนมาใช้เพื่อให้เกิดความสะดวกในงานก่อสร้างที่มีความสูงและต้องใช้ความระมัดระวังมาก นอกจากนี้ระบบเครนถูกนำมาใช้บนเรือเดินทะเลและในท่าเทียบเรือ เพื่อช่วยประหยัดเวลาค่าใช้จ่ายในการขนถ่ายวัตถุหรือสินค้าต่าง ๆ ในการควบคุมการทำงานของระบบเครนที่ผ่านมานั้นจะควบคุมการทำงานโดยอาศัยผู้ควบคุมสั่งการ (manual operation) แต่ในปัจจุบันระบบเครนมีขนาดใหญ่มากขึ้นและมีความเร็วสูงซึ่งค่อนข้างยากที่จะควบคุมการทำงานโดยอาศัยผู้ควบคุม ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการค้นคว้าหาวิธีการควบคุมแบบอัตโนมัติมาใช้ในการควบคุมระบบเครนเหนือศีรษะเพื่อสามารถขนถ่ายสินค้าไปยังตำแหน่งที่ต้องการโดยสะดวกและปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

โครงการซึ่งนำเสนอในปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จึงศึกษาระบบควบคุมตำแหน่งเครน 2 มิติโดยอาศัยการควบคุมแบบอัตโนมัติ การศึกษาประกอบด้วย การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ การออกแบบตัวควบคุม การจำลองระบบโดยคอมพิวเตอร์ การออกแบบระบบพร้อมทั้งประกอบขึ้นเป็นระบบจริง จากนั้นทำการทดลองในส่วนต่าง ๆ บันทึกผล สรุปและวิเคราะห์ โดยจากการศึกษาและการทดลองพบว่า สามารถออกแบบระบบควบคุมตำแหน่งเครน 2 มิติจำลองให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถใช้งานได้จริง และสามารถออกแบบตัวควบคุมเพื่อให้เครนเข้าสู่ตำแหน่งตามที่ต้องการอย่างแม่นยำได้โดยอัตโนมัติ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อปรับปรุงระบบควบคุมตำแหน่งเครน 2 มิติจำลอง โดยเพิ่มอุปกรณ์วัดแวกซ์ ปรับปรุงวงจรขับ และเปลี่ยนไมโครคอนโทรลเลอร์ให้รองรับประเภทและจำนวนอุปกรณ์วัดที่ใช้งาน นอกจากนี้จะหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบและออกแบบระบบควบคุม โดยในการควบคุมจริงจะประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผลหลัก และใช้โปรแกรมวิซวลเบสิก (visual basic) เป็นส่วนเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- ปรับปรุงโครงสร้างเครน 2 มิติ
- ปรับปรุงอุปกรณ์ควบคุมตำแหน่งเครน 2 มิติ โดยอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม
- หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบเครน 2 มิติ
- ออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบควบคุมตำแหน่งเครน 2 มิติ
- จำลองระบบควบคุมตำแหน่งเครน 2 มิติ โดยใช้โปรแกรมเมทแลป (matlab)
- พัฒนาโปรแกรมควบคุมตำแหน่งเครน 2 มิติ และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม
- บันทึกผล และสรุป

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เชิงปริมาณ

- ได้ชุดโครงสร้างและวงจร ระบบควบคุมตำแหน่งเครน 2 มิติจำลอง
- ได้โปรแกรมควบคุมตำแหน่งเครน 2 มิติ และโปรแกรมคอมพิวเตอร์เชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์

เชิงคุณภาพ

- ได้ความรู้เพิ่มเติมด้านทฤษฎีวิศวกรรมระบบควบคุม
- ได้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ผู้มีความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้อุปกรณ์วัดต่างๆ ในทางวิศวกรรม ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ได้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC 30F4011
- ได้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้งาน โปรแกรมแมทแลป ในการจำลองระบบ และช่วยในการออกแบบระบบควบคุม
- ได้ความรู้เกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมวิซวลเบสิก และ โปรแกรมภาษาซี (C language) เพื่อเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์เพิ่มขึ้น
- ได้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการติดต่อข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรมเพิ่มขึ้น

1.5 รายละเอียดปริญญาโท

ในปริญญาโทฉบับนี้ประกอบไปด้วย 5 บท โดยมีรายละเอียดของแต่ละบทดังนี้

บทที่ 1 จะกล่าวนำบอกถึงวัตถุประสงค์ของโครงการ ขอบเขตของโครงการ ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการนี้

บทที่ 2 จะอธิบายเกี่ยวกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเกรน 2 มิติ ทฤษฎีการควบคุมแบบพีไอดี ทฤษฎีพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง การควบคุมด้วยสัญญาณพีดีบีวีเอ็ม หลักการทำงานของเอนโค้ดเดอร์ โพเทนชิโอมิเตอร์ ไจโรเซนเซอร์ การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกโดยผ่านพอร์ตอนุกรม และ ไมโครคอนโทรลเลอร์

บทที่ 3 จะอธิบายถึงการออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบของเกรน 2 มิติ แผนผังการทำงานของเกรน การออกแบบวงจรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมเกรน

บทที่ 4 จะเป็นส่วนผลที่ได้จากการทดลองและการวิเคราะห์ผล ซึ่งประกอบด้วยผลการพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบ ผลจากการจำลองและการทดลองในการควบคุมระบบ

บทที่ 5 เป็นบทสุดท้าย จะสรุปรวมและวิเคราะห์ปัญหาที่พบ ตลอดจนแนวทางแก้ไขต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการต่างๆ ซึ่งใช้ในโครงการนี้ ได้แก่ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบเครน 2 มิติ ระบบควบคุมแบบพีไอดี มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและหลักการทำงาน การทำงานของเอนโค้ดเดอร์ หลักการของโพเทนชิโอมิเตอร์ หลักการทำงานของใจโรเซนเซอร์ การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกโดยผ่านพอร์ตอนุกรม และไมโครคอนโทรลเลอร์

2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบเครน 2 มิติ

ระบบเครน 2 มิติพื้นฐานสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งประกอบด้วยรถเครนและภาระที่ถูกแขวนด้วยเชือกสลิง โดยรถเครนสามารถเคลื่อนที่ในระนาบ XY ได้อย่างอิสระในแต่ละแนวแกน



รูปที่ 2.1 แบบจำลองระบบควบคุมเครน 2 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยตัวแปร

- x, y คือ ตำแหน่งของรถเข็นในแนวแกน X และ Y ตามลำดับ (เมตร)
 x_m, y_m คือ ตำแหน่งของภาระในแนวแกน X และ Y ตามลำดับ (เมตร)
 θ_x, θ_y คือ มุมแกว่งของภาระในแนวแกน X และ Y ตามลำดับ (เรเดียน)
 u_x, u_y คือ แรงที่กระทำต่อรถเข็นในแนวแกน X และ Y ตามลำดับ (นิวตัน)

และมีพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่

- l คือ ความยาวเชือกสลิง (เมตร)
 M คือ มวลของรถเข็น (กิโลกรัม)
 m คือ มวลของภาระ (กิโลกรัม)
 b_x, b_y คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของรถเข็นในแนวแกน X และ Y ตามลำดับ (นิวตัน·วินาทีต่อเมตร)
 $b_{\theta_x}, b_{\theta_y}$ คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานการแกว่งของภาระในแนวแกน X และ Y ตามลำดับ (นิวตัน·วินาทีต่อเรเดียน)

อาศัยกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน และความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งรถเข็นและตำแหน่งของภาระ จะได้สมการการเคลื่อนที่ของตัวรถเข็นตามแนวแกน X ดังสมการที่ (2.1)

$$\begin{aligned} M\ddot{x} &= u_x - m\ddot{x}_m - b_x\dot{x} \\ x_m &= x + l \sin \theta_x \end{aligned} \quad (2.1)$$

และตามแนวแกน Y ดังสมการที่ (2.2)

$$\begin{aligned} M\ddot{y} &= u_y - m\ddot{y}_m - b_y\dot{y} \\ y_m &= y + l \sin \theta_y \end{aligned} \quad (2.2)$$

โดยสมการที่ (2.1) และ (2.2) สามารถจัดรูปได้ดังสมการที่ (2.3) และ (2.4) ตามลำดับ

$$(M + m)\ddot{x} = u_x - ml\ddot{\theta}_x \cos \theta_x + ml\dot{\theta}_x^2 \sin \theta_x - b_x\dot{x} \quad (2.3)$$

$$(M + m)\ddot{y} = u_y - ml\ddot{\theta}_y \cos \theta_y + ml\dot{\theta}_y^2 \sin \theta_y - b_y\dot{y} \quad (2.4)$$

และได้สมการการแกว่งของภาระตามแนวแกน X และแกน Y ดังสมการที่ (2.5) และ (2.6)

ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$ml\ddot{\theta}_x = -mg \sin \theta_x - m\ddot{x} \cos \theta_x - b_{\theta_x} \dot{\theta}_x \quad (2.5)$$

$$ml\ddot{\theta}_y = -mg \sin \theta_y - m\ddot{y} \cos \theta_y - b_{\theta_y} \dot{\theta}_y \quad (2.6)$$

เมื่อพิจารณาแบบจำลองของระบบครน 2 มิติ ในสมการที่ (2.3) ถึง (2.6) ณ บริเวณจุดสมดุลที่ $x=0, \theta_x=0, \dot{x}=0, \dot{\theta}_x=0$ และ $y=0, \theta_y=0, \dot{y}=0, \dot{\theta}_y=0$ จะสามารถประมาณ $\sin \theta \cong \theta$, $\cos \theta \cong 1$ และ $\dot{\theta}^2 \cong 0$ ดังนั้นจะได้แบบจำลองของระบบครน 2 มิติในรูปแบบตัวแปรสถานะเชิงเส้น ดังสมการที่ (2.7)

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= \frac{u_x}{M} + \frac{mg}{M} \theta_x + \frac{b_{\theta_x}}{M} \dot{\theta}_x - \frac{b_x}{M} \dot{x} \\ \ddot{\theta}_x &= -\frac{u_x}{Ml} - \frac{g(M+m)}{Ml} \theta_x - \frac{b_{\theta_x}(M+m)}{Mml} \dot{\theta}_x + \frac{b_x}{Ml} \dot{x} \\ \ddot{y} &= \frac{u_y}{M} + \frac{mg}{M} \theta_y + \frac{b_{\theta_y}}{M} \dot{\theta}_y - \frac{b_y}{M} \dot{y} \\ \ddot{\theta}_y &= -\frac{u_y}{Ml} - \frac{g(M+m)}{Ml} \theta_y - \frac{b_{\theta_y}(M+m)}{Mml} \dot{\theta}_y + \frac{b_y}{Ml} \dot{y} \end{aligned} \quad (2.7)$$

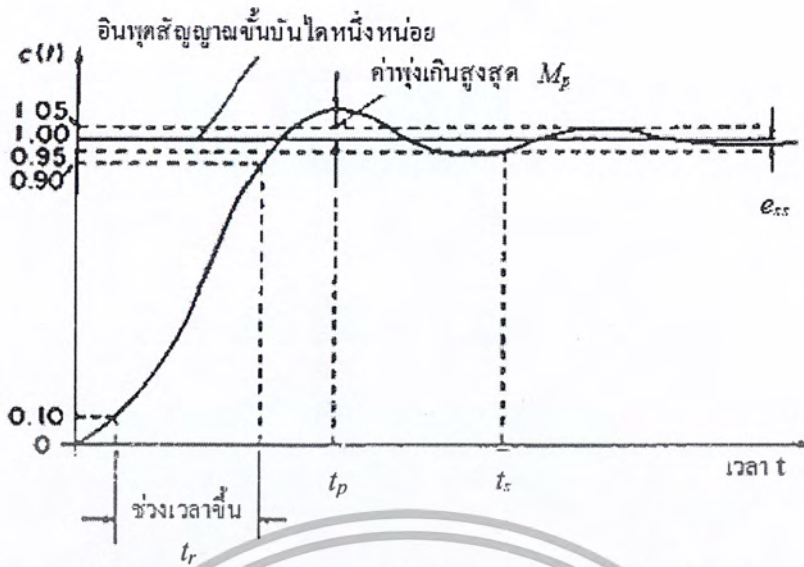
2.2 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ เป็นระบบควบคุมที่ใช้ค่าเอาต์พุตที่ได้จากการประมวลผลแล้ว ทำการป้อนกลับ ไปเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงที่กำหนดไว้ตอนเริ่มต้น เพื่อให้ระบบทำงานได้ตรงตามต้องการอย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะสามารถวิเคราะห์ผลตอบสนองของระบบว่าดีหรือไม่ ได้จากการศึกษาทำความเข้าใจตัวบ่งชี้สมรรถนะของระบบ

2.2.1 ตัวบ่งชี้สมรรถนะของระบบ

การระบุสมรรถนะ (performance) ของระบบนั้น นิยมพิจารณาจากผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วย (unit step response) โดยทำการป้อนสัญญาณดังกล่าวเป็นอินพุตให้กับระบบที่ต้องการวิเคราะห์ จากนั้นตรวจสอบสัญญาณเอาต์พุตหรือผลตอบสนองที่ได้ โดยวิเคราะห์จากตัวบ่งชี้สมรรถนะต่าง ๆ ของระบบ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว ระบบมักมีผลตอบสนองดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ผลตอบสนองของระบบต่อสัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วย

จากรูปที่ 2.2 สามารถวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ โดยอาศัยตัวบ่งชี้สมรรถนะที่นิยมพิจารณา ดังนี้

ผลตอบสนองในสภาวะอยู่ตัว (steady-state response) นิยมพิจารณาค่าความผิดพลาดในสภาวะอยู่ตัว (steady-state error) หรือ e_{ss} ซึ่งก็คือ ผลต่างระหว่างสัญญาณอินพุตอ้างอิง กับสัญญาณเอาต์พุต เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว

ผลตอบสนองในสภาวะชั่วคราว (transient response) นิยมพิจารณาตัวบ่งชี้สมรรถนะ ดังนี้

- ค่าพุ่งเกินสูงสุด (maximum overshoot) หรือ M_p

เป็นค่าความผิดพลาดที่มากที่สุดระหว่างสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต ค่านี้จะใช้ในการประมาณความเสถียรของระบบ ซึ่งค่าพุ่งเกินสูงสุดนี้จะวัดเป็นสัดส่วนเทียบกับค่าสุดท้าย

- ช่วงเวลาขึ้น (rise time) หรือ t_r

เป็นช่วงเวลาตั้งแต่เอาต์พุตมีค่าเป็น 10% จนถึง 90% ของค่าเอาต์พุตในสภาวะอยู่ตัว

- เวลาสู่สมดุล (settling time) หรือ t_s

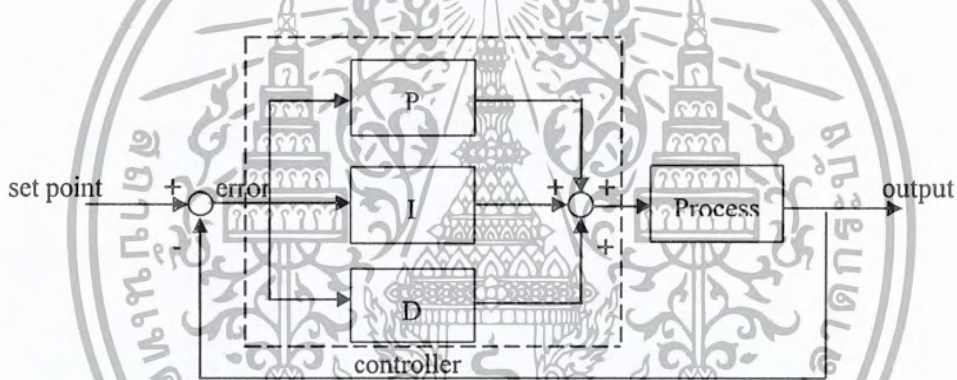
เป็นช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งการแกว่งของเอาต์พุตลดลงอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ว่าเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว โดยปกติแล้วขอบเขตนี้จะอยู่ในช่วงไม่เกิน 5% ของเอาต์พุตในสภาวะอยู่ตัว

2.2.2 ระบบควบคุมแบบพีไอดี

ระบบควบคุมแบบพีไอดี หรือระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ (PID control system) เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้กันอย่างกว้างขวางลักษณะดังรูปที่ 2.3 ซึ่งค่าที่เป็นอินพุตของตัวควบคุม คือค่าความผิดพลาดที่หามาจากความแตกต่างของเอาต์พุตของกระบวนการกับค่าที่ต้องการ หรือค่าเป้าหมาย (set point) เพื่อคำนวณปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการ โดยทั่วไปแล้วตัวควบคุม จะช่วยปรับปรุงสมรรถนะต่าง ๆ ของระบบป้อนกลับ

จากรูปที่ 2.3 เห็นว่าระบบควบคุมแบบพีไอดีนั้นประกอบไปด้วยการควบคุมที่สำคัญ 3 ส่วน ได้แก่

- การควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional control action หรือ P action)
- การควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral control action หรือ I action)
- การควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative control action หรือ D action)



รูปที่ 2.3 แผนภาพการควบคุมระบบแบบพีไอดี

การควบคุมแบบสัดส่วน

เป็นการกำหนดการทำงานของเอาต์พุต ให้เป็นสัดส่วนเปอร์เซ็นต์กับค่าความผิดพลาด (error) หรือการเปลี่ยนแปลงของค่าที่วัดได้ โดยปรับค่าอัตราขยายสัดส่วนที่ขึ้นอยู่กับค่าความผิดพลาดที่ได้จากการนำเอาค่าเป้าหมายลบด้วยค่าที่วัดได้ ซึ่งในทางปฏิบัติการควบคุมแบบสัดส่วนจะเข้าใกล้ค่าหนึ่งที่ไม่ใช่ค่าเป้าหมายจริง ซึ่งค่าความผิดพลาดจากค่าเป้าหมายนิยมเรียกว่า ค่าออฟเซต (offset)

การควบคุมแบบปริพันธ์

จะใช้ในการแก้ปัญหาออฟเซตของระบบ โดยการควบคุมแบบปริพันธ์ จะเข้าไปช่วยกำจัดค่าออฟเซต ที่ยังคงมีอยู่ให้ระบบเข้าสู่ค่าเป้าหมาย โดยค่าเอาต์พุตที่ออกมาจะขึ้นอยู่กับค่า

ปริพันธ์เวลา (integral time) ที่กำหนดขึ้นมาตั้งแต่ต้น หากกำหนดให้ปริพันธ์เวลาน้อย ระบบจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นาเบเซประยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าสู่ค่าเป้าหมายได้อย่างรวดเร็วแต่จะเกิดการกระเพื่อม (hunting) ของสัญญาณมากด้วย และหากกำหนดให้ค่าปริพันธ์เวลามากจะเกิดการกระเพื่อมน้อย แต่จะใช้เวลานานกว่าระบบจะเข้าสู่ค่าเป้าหมาย

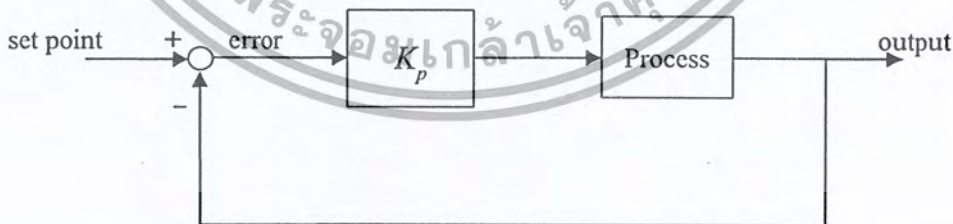
การควบคุมแบบอนุพันธ์

ในกรณีที่มีการรบกวนระบบจากภายนอก (disturbance) เป็นผลให้การประมวลผลของระบบมีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด ควรจะใช้การควบคุมแบบอนุพันธ์ ซึ่งจะมีการตอบสนองที่รวดเร็ว เป็นผลให้ระบบเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้รวดเร็วขึ้น

จะเห็นว่าการควบคุมทั้งสามส่วนนั้นจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป ซึ่งการนำมาใช้งานในแต่ละส่วนย่อมขึ้นอยู่กับลักษณะของงานควบคุมระบบที่ต้องการนำไปใช้ ว่ามีความเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะให้งานเหล่านั้นสามารถที่จะบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้อย่างมีประสิทธิภาพนั่นเอง

ส่วนในการควบคุมระบบครนในระนาบ 2 มิติ นั้น ก็สามารถที่จะนำทฤษฎีการควบคุมแบบพีโอดีมาใช้ในการควบคุมได้ แต่ในที่นี้ทางกลุ่มได้เลือกใช้การควบคุมแบบสัดส่วน หรือที่นิยมเรียกกันว่า การควบคุมแบบพี แต่เพียงลำพัง เพราะเป็นทฤษฎีที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจ และการออกแบบก็ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ที่สำคัญสามารถใช้งานในระบบควบคุมได้จริง

การควบคุมแบบพีนี้ จะทำงาน โดยการป้อนกลับค่าเอาต์พุตที่ได้จากการประมวลผลแล้ว กลับไปเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย จากนั้นนำค่าความผิดพลาดที่ได้คูณกับอัตราขยายสัดส่วน (proportional gain) หรือ K_p ดังโครงสร้างในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ระบบควบคุมแบบพี

โดยปกติแล้วการปรับอัตราขยายสัดส่วนที่สูงจะช่วยลดค่าความผิดพลาดในสภาวะอยู่ตัวได้มาก แต่ถ้าสูงเกินไประบบอาจมีค่าพุ่งเกินสูงสุดมากทำให้ระบบอาจไม่เสถียรได้ ในทางตรงกันข้าม การปรับอัตราขยายสัดส่วนที่ต่ำ ระบบควบคุมอาจมีค่าความผิดพลาดในสภาวะอยู่ตัวมาก และ

มีผลตอบสนองที่ช้า แต่จะมีค่าพุ่งเกินสูงสุดน้อยหรืออาจไม่มีเลย เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

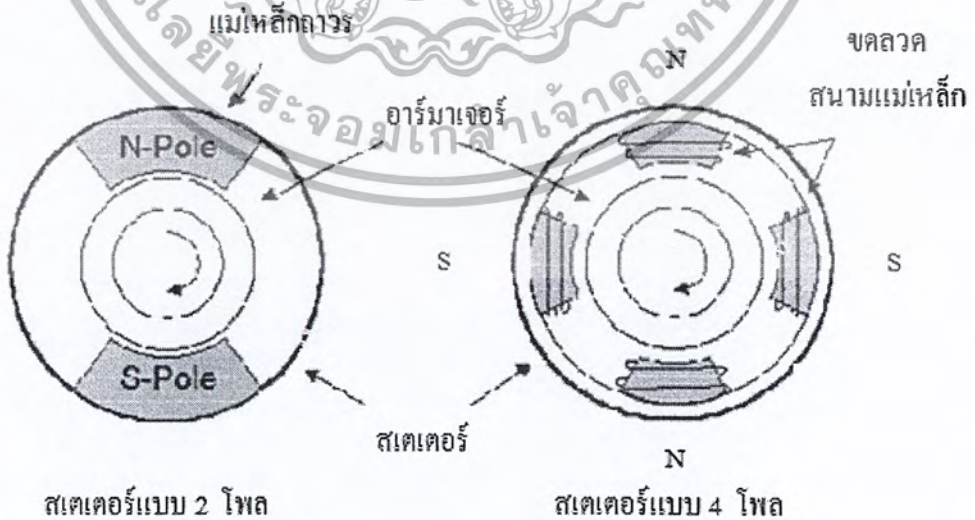
2.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นต้นกำลังขับเคลื่อนที่สำคัญอย่างหนึ่งในทางอุตสาหกรรม เพราะมีคุณสมบัติที่เด่นในด้านการปรับความเร็วต่ำสุดจนถึงสูงสุด นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานทอผ้า โรงงานเส้นใยโพลีเอสเตอร์ โรงงานถลุงโลหะ หรือให้เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า เป็นต้น ในการศึกษาเกี่ยวกับไฟฟ้ากระแสตรงจึงควรรู้จักส่วนประกอบต่างๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และเข้าใจถึงหลักการทำงานและหลักการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

2.3.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน ดังนี้

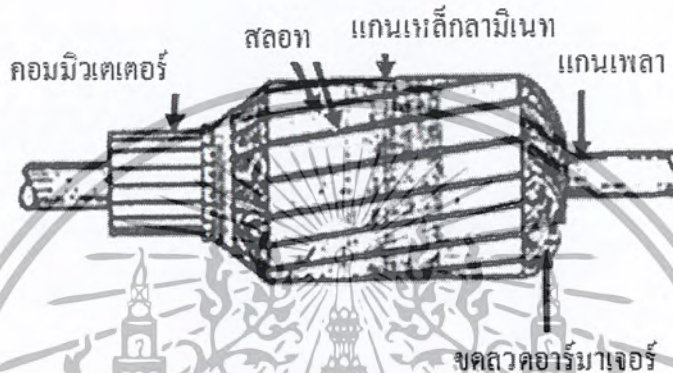
1. ส่วนที่อยู่กับที่หรือที่เรียกว่า สเตเตอร์ (stator) ประกอบด้วย เฟรม (frame) เป็นโครงภายนอกทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเหนือไปสู่ขั้วใต้ดังรูปที่ 2.5 ให้ครบวงจรและยึดส่วนประกอบอื่น ๆ ให้แข็งแรงทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นหนาม้วนเป็นรูปทรงกระบอก ขั้วแม่เหล็ก (pole) ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ แกนขั้วแม่เหล็กและขดลวด โดยแกนขั้วแม่เหล็ก (pole core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบาง ๆ กั้นด้วยฉนวนประกบกันเป็นแท่งยึดติดกับเฟรม และส่วนขดลวดสนามแม่เหล็ก (field coil) จะพันอยู่รอบ ๆ แกนของขั้วแม่เหล็ก ขดลวดนี้ทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเพื่อสร้างแรงแม่เหล็กให้เกิดขึ้น และเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะเกิดการหักล้างและเสริมกันกับสนามแม่เหล็กของอาร์มาเจอร์ (armature) ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น



รูปที่ 2.5 สเตเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 2 โพล และแบบ 4 โพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ส่วนที่เคลื่อนที่หรือที่เรียกว่า โรเตอร์ (rotor) จะมีขดลวดอาร์มาเจอร์ ที่พันอยู่บนแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ และมีคอมมิวเตเตอร์ (commutator) ยึดติดอยู่ที่ปลายของขดลวดอาร์มาเจอร์ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งในส่วนนี้คอมมิวเตเตอร์จะทำหน้าที่ในการสัมผัสกับแปรงถ่านคาร์บอน (carbon brushes) ที่อยู่ในมอเตอร์เพื่อที่จะให้มีกระแสไหลผ่านไปยังขดลวดอาร์มาเจอร์ ทำให้เกิดการสร้างสนามแม่เหล็กขึ้น เพื่อให้เกิดการหักล้างและเสริมกันกับสนามแม่เหล็ก ที่เกิดจากขดลวดสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้มอเตอร์หมุนได้



รูปที่ 2.6 โรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ส่วนประกอบที่สำคัญของโรเตอร์มีดังนี้

- แกนเพลลา (shaft) ใช้สำหรับยึดตัวคอมมิวเตเตอร์และยึดแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (armature core) ประกอบรวมกันเป็นตัวโรเตอร์ แกนเพลลานี้จะวางอยู่บนแบริ่ง เพื่อบังคับให้หมุนอยู่ในแนวหนึ่ง ไม่มีการสั่นสะเทือนได้
- แกนเหล็กอาร์มาเจอร์ ทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ อายฉนวน (laminated sheet steel)
- คอมมิวเตเตอร์ (commutator) ทำด้วยทองแดงทำการออกเคบเป็นซี่ แต่ละซี่ฉนวนไมก้า (mica) คั่นระหว่างซี่ของคอมมิวเตเตอร์ ส่วนหัวซี่ของคอมมิวเตเตอร์ จะมีร่องสำหรับใส่ปลายสาย ของขดลวดอาร์มาเจอร์ ตัวคอมมิวเตเตอร์นี้ยึดแน่นติดกับแกนเพลลา เป็นรูปกลมทรงกระบอก มีหน้าที่สัมผัสกับแปรงถ่านเพื่อรองรับกระแสจากสายป้อนเข้าไปยังขดลวดอาร์มาเจอร์เพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วนหนึ่งให้เกิดการหักล้างและเสริมกันกับเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วนซึ่งเกิดจากขดลวดขั้วแม่เหล็กดังกล่าวมาแล้วขดลวด
- ขดลวดอาร์มาเจอร์ (armature winding) เป็นขดลวดพันอยู่ในร่องสลอท (slot) ของแกนอาร์มาเจอร์ ขนาดของลวดจะเล็กหรือใหญ่ละจำนวนรอบจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับ การออกแบบของตัวโรเตอร์ชนิดนั้น ๆ เพื่อที่จะให้เหมาะสมกับงานต่างๆ ที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ในกรณีที่ส่วนของสเตเตอร์ในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กถาวร เมื่อมีกระแสไหลผ่านเข้าไปในมอเตอร์ กระแสจะผ่านแปลงถ่านคาร์บอนและผ่านคอมมิวเตเตอร์ เข้าไปในขดลวดอาร์มาเจอร์ ทำให้เกิดการสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นเพื่อให้เกิดการหักล้างและเสริมกันกับสนามแม่เหล็กที่เกิดจากสเตเตอร์ที่เป็นแม่เหล็กถาวร ซึ่งจะทำให้มอเตอร์หมุนเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นเช่นกัน โดยที่ทั้งสองสนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นในขณะเดียวกัน ตามคุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็กแล้ว เส้นแรงแม่เหล็กจะไม่มีการตัดกัน จะมีแต่การหักล้างแล้วการเสริมกัน ซึ่งทำให้เกิดแรงบิดในอาร์มาเจอร์ และทำให้อาร์มาเจอร์เกิดการหมุนนั่นเอง



เมื่อพิจารณาวงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรมในรูปที่ 2.7 นั้นจะพบว่าแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ (back emf voltage) ในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าเท่ากับ

$$V_t = E_a + I_a(R_a + R_{sr})$$

$$E_a = V_t - I_a(R_a + R_{sr}) \quad (2.8)$$

และสำหรับสมการแรงบิดที่มอเตอร์สร้างขึ้น T_d หาได้ดังสมการที่ (2.9)

$$T_d = k_a \phi I_a \quad (2.9)$$

เมื่อ

V_t คือ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

E_a คือ แรงดันไฟฟ้าต้านกลับที่เกิดขึ้นในอาร์มาเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

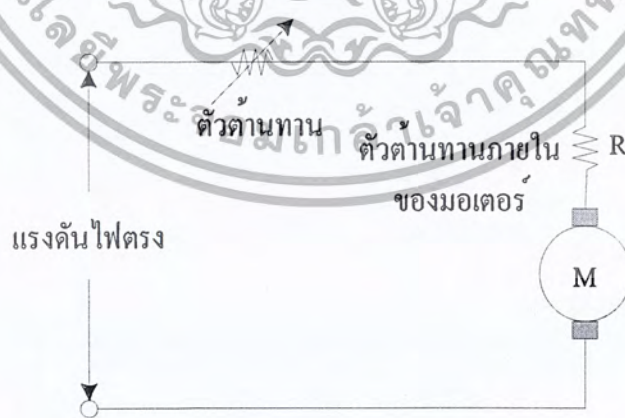
- I_a คือ กระแสที่ไหลผ่านอาร์มาเจอร์
 R_a คือ ค่าความต้านของอาร์มาเจอร์
 R_{sr} คือ ค่าความต้านทานของขดลวด

2.3.3 การขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

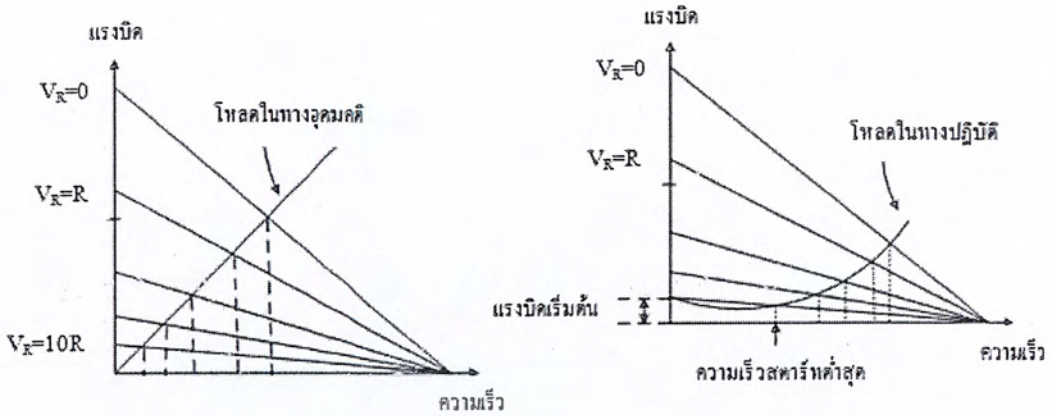
การออกแบบระบบควบคุมตำแหน่ง จะต้องอาศัยสัญญาณอ้างอิงระบุตำแหน่งที่ต้องการและสัญญาณการวัดตำแหน่งจริงที่ได้จากอุปกรณ์ป้อนกลับ ผลต่างหรือสัญญาณคลาดเคลื่อนของสองสัญญาณที่ได้นี้จะป้อนเป็นสัญญาณขาเข้าของตัวควบคุม หลังจากนั้นตัวควบคุมจะทำการประมวลผลเพื่อกำหนดสัญญาณควบคุมส่งไปขับมอเตอร์ให้หมุนไปในตำแหน่งตามที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งการขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

การขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้

การขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ เป็นรูปแบบพื้นฐานที่สุดของการขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงคือ ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้อ่อนุกรมกับมอเตอร์ ดังรูป 2.8 โดยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้จะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ขนาดเล็ก การบังคับแบบนี้ให้คุณสมบัติการสตาร์ทที่ดี คือให้แรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำ แต่จะให้ความเร็วสูงมากเมื่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงอยู่ในสถานะที่มี โหลดน้อย ดังนั้นการบังคับแบบนี้มีประโยชน์เฉพาะกรณีที่แรงต้านคงที่ เช่น การบังคับความเร็วของเครื่องจักรเย็บผ้า เป็นต้น ซึ่งการควบคุมความเร็วของมอเตอร์นั้นจะสามารถทำได้ตามกราฟคุณสมบัติดังรูปที่ 2.9



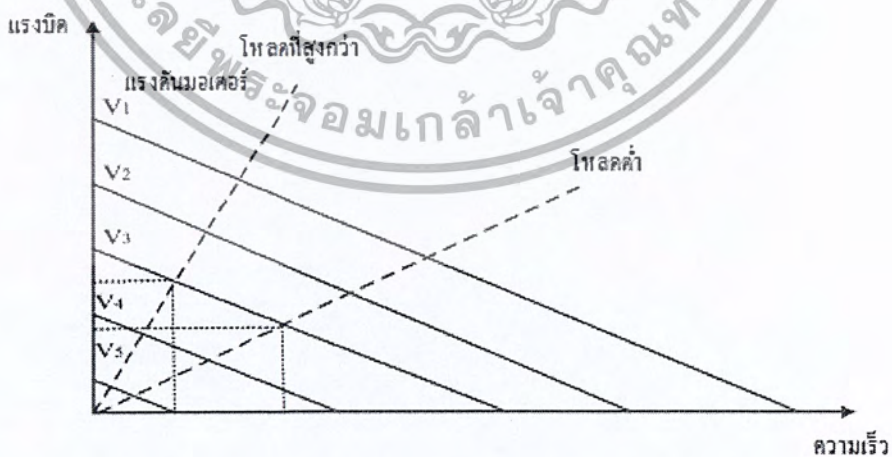
รูปที่ 2.8 วงจรขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบใช้ตัวต้านทานอนุกรม



รูปที่ 2.9 คุณสมบัติการควบคุมความเร็วโดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้

การขับเคลื่อนมอเตอร์ด้วยวิธีเปลี่ยนค่าแรงดัน

การขับเคลื่อนมอเตอร์ด้วยวิธีเปลี่ยนค่าแรงดันจะให้ผลดีกว่าวิธีการขับเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ แต่ก็จะมีข้อเสียคือ ต้องใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีอัตราขยายกำลังสูง และมอเตอร์จะถูกป้อนด้วยแรงดันที่เปลี่ยนแปลงค่าได้ จากแหล่งที่จ่ายที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำ ข้อดีของการขับเคลื่อนวิธีนี้คือ ถ้าความเร็วลดลงจากผลของแรงบิด แรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาระดับความเร็ว ส่วนข้อเสียจากการขับเคลื่อนวิธีนี้คือ เมื่อมอเตอร์มีความเร็วต่ำ แรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์จะมีค่าต่ำเช่นกัน ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 คุณสมบัติการควบคุมความเร็วโดยเปลี่ยนค่าแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขับมอเตอร์ด้วยสัญญาณพีดับบีวเอ็ม

สัญญาณพีดับบีวเอ็ม (PWM: pulse width modulation) คือ การปรับความกว้างของพัลส์ ซึ่งในโครงการระบบครน 2 มิตินี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC 30F4011 เป็นตัวกำหนดสัญญาณพีดับบีวเอ็มในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การทำงานของสัญญาณพีดับบีวเอ็ม ที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นสามารถแสดงดังนี้



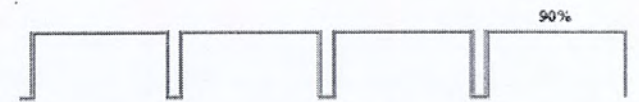
รูปที่ 2.11 สัญญาณพีดับบีวเอ็มมีความกว้างพัลส์เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 2.11 จะพบว่าสัญญาณมีความกว้างพัลส์ เป็น 10 เปอร์เซ็นต์ ของคาบสัญญาณทั้งหมด คือการขับมอเตอร์ด้วยระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 10 เปอร์เซ็นต์ของระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในวงจรขับ



รูปที่ 2.12 สัญญาณพีดับบีวเอ็มมีความกว้างพัลส์เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 2.12 จะพบว่าสัญญาณมีความกว้างพัลส์เป็น 50 เปอร์เซ็นต์ ของคาบสัญญาณทั้งหมด คือ การขับมอเตอร์ด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 50 เปอร์เซ็นต์ ของระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในวงจรขับ



รูปที่ 2.13 สัญญาณพีดับบีวเอ็มมีความกว้างพัลส์เท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 2.13 จะพบว่าสัญญาณมีความกว้างพัลส์ เป็น 90 เปอร์เซ็นต์ ของคาบสัญญาณทั้งหมด คือ การขับมอเตอร์ด้วยระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 90 เปอร์เซ็นต์ ของระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในวงจรขับ

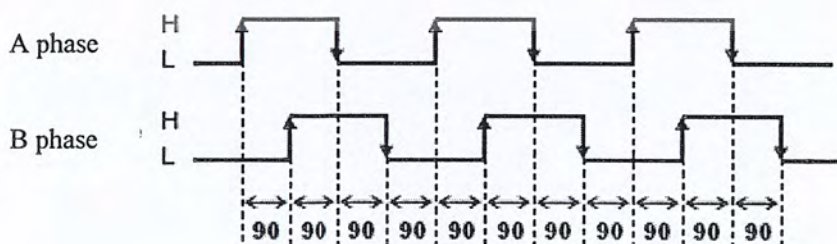
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เอนโค้ดเดอร์

เอนโค้ดเดอร์ (encoder) เป็นเซนเซอร์ที่ทำหน้าที่ตรวจวัดตำแหน่งหรือระยะทาง โดยอาศัยการตัดผ่านแสงจากแหล่งกำเนิดแสง (source) ไปยังตัวตรวจจับแสง (detector) โดยให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาอยู่ในรูปของสัญญาณพัลส์ โครงงานนี้ได้ใช้เอนโค้ดเดอร์เป็นตัวตรวจวัดตำแหน่ง และทิศทางการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แล้วส่งสัญญาณดิจิทัลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการประมวลผลและกำหนดสัญญาณควบคุม ให้สัมพันธ์กับตำแหน่งของมอเตอร์

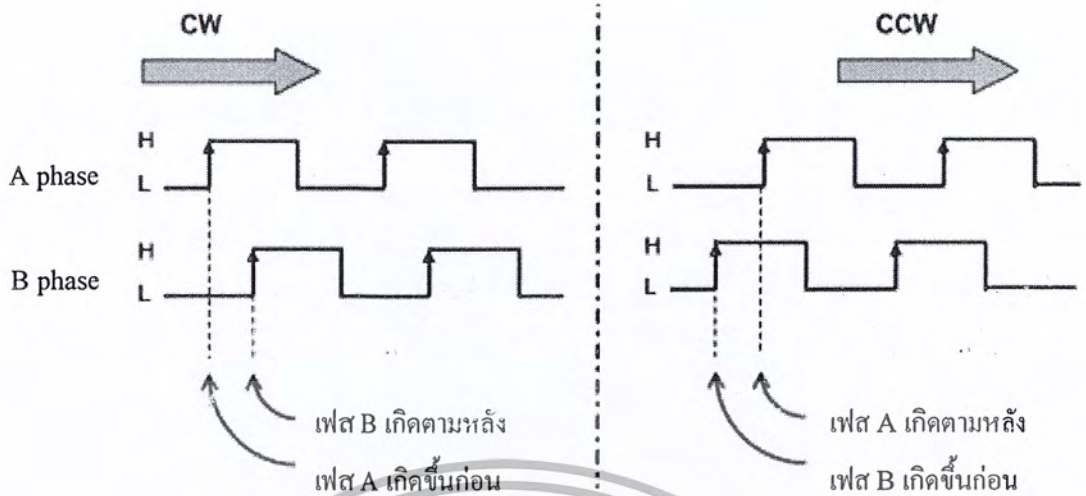
เอนโค้ดเดอร์ซึ่งใช้ในโครงงานนี้เป็นแบบอินคริเมนต์เอนโค้ดเดอร์ (incremental encoder) ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วน คือ ตัวกำเนิดแสง จานหมุน และตัวเซ็นเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.14 สัญญาณพัลส์ที่ได้จากเอนโค้ดเดอร์เกิดจากการที่จานหมุนซึ่งมีช่องขนาดเล็กเคลื่อนที่ตัดผ่านตัวกำเนิดและตัวเซ็นเซอร์ โดยความละเอียดของเอนโค้ดเดอร์ขึ้นกับจำนวนช่องขนาดเล็กนี้ เช่นหากมีจำนวน 100 ช่อง แสดงว่าในการหมุน 1 รอบ จะให้สัญญาณพัลส์ 100 ลูก นั่นคือ เอนโค้ดเดอร์มีความละเอียด 100 พัลส์ต่อรอบ (ppr: pulse per revolution) โดยเอนโค้ดเดอร์ที่ใช้กันทั่วไปมีค่าความละเอียดตั้งแต่ 15 ถึง 10,000 พัลส์ต่อรอบ

สัญญาณพัลส์จากเอนโค้ดเดอร์นั้นจะประกอบด้วย 3 เฟส คือ A B และ Z โดยพัลส์เฟส A และ B จะมีความละเอียดตามความละเอียดของเอนโค้ดเดอร์ แต่จะต่างเฟสกัน 90 องศา ซึ่งช่วยระบุทิศทางการหมุน ส่วนเฟส Z หรือพัลส์อ้างอิง จะเกิดขึ้น 1 พัลส์ในการหมุนครบ 1 รอบ



รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบของเอนโค้ดเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 สัญญาณที่ได้จากเอนโค้ดเดอร์

จากรูปที่ 2.15 ในกรณีพัลส์เฟส A เกิดขึ้นก่อนเฟส B ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับรู้ว่ามีมอเตอร์กำลังหมุนด้วยทิศทางการหมุนตามเข็มนาฬิกา (CW) แต่ถ้าหากพัลส์เฟส B เกิดขึ้นก่อนเฟส A คอนโทรลเลอร์จะรับรู้ว่ามีมอเตอร์กำลังหมุนด้วยทิศทางการหมุนทวนเข็มนาฬิกา (CCW)

ในโครงการนี้ใช้เอนโค้ดเดอร์มีค่าความละเอียดที่ 800 พัลส์ต่อรอบ ซึ่งคิดเท่ากับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

2.5 โปเทนชิโอมิเตอร์

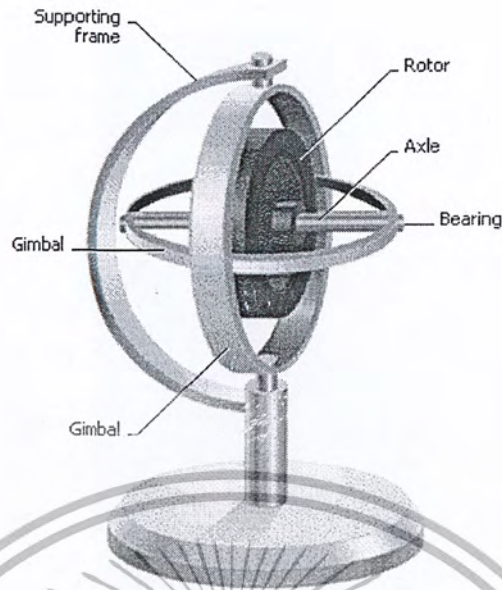
โปเทนชิโอมิเตอร์ (potentiometer) เป็นตัวต้านทานทางไฟฟ้าชนิดหนึ่งมี 3 ขั้ว และสามารถปรับค่าได้ โปเทนชิโอมิเตอร์ประกอบด้วย หน้าสัมผัส (wiper) และลวดความต้านทาน ในโครงการนี้ใช้โปเทนชิโอมิเตอร์แบบโรตารีของ Japan Servo รุ่น VP12 มีความต้านทานขนาด 10 กิโลโอห์ม มีลวดความต้านทานขึ้นรูปเป็นวงกลมและมีหน้าสัมผัสเลื่อนไปโดยแกนหมุนตามส่วนของลวดต้านทานหรือเป็นการเคลื่อนที่แบบหมุนรอบหรือเชิงมุม เมื่อป้อนแรงดันที่ปลายข้างที่อยู่กับที่ของโปเทนชิโอมิเตอร์ แรงดันที่เอาต์พุตที่ออกมาที่ปลายของส่วนที่จะแปรผันโดยตรงกับการหมุนหรือระยะทางการเคลื่อนที่เป็นเชิงมุม ต่อเข้ากับวงจรขยายแบบอินสทรูเมนต์ (instrument amplifier) แล้วนำแรงดันที่ได้ต่อผ่านวงจรปรับค่าความชันและตำแหน่งศูนย์ (zero and span circuit) ทำให้ได้แรงดันออกมาอยู่ในช่วง 0-5V เพื่อต่อเข้ากับ โมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ของไมโครคอนโทรลเลอร์

โพเทนซีโอมิเตอร์ ซึ่งบางครั้งนิยมเรียกอุปกรณ์ ชนิดนี้ว่า พอต (pot) ในรูป 2.16 รูปแสดง ลักษณะภายนอกของโพเทนซีโอมิเตอร์แบบต่าง ๆ มีทั้งชนิดที่ปรับค่าความต้านทานในแนวตรง ปรับค่าความต้านทานในแนวเลื้อน ปรับค่าความต้านทานในแนววงกลม



2.6 ไจโรเซนเซอร์

ไจโรสโคป (gyroscope) คืออุปกรณ์ที่ทำงานด้วยหลักการที่ลึกลับตามกฎแรงโน้มถ่วงของนิวตัน โดยการนำวงล้อมาติดในวงแหวนที่หมุนได้ โดยที่วงล้อนั้นจะนอนอยู่ในแนวระนาบ แต่วงแหวนนั้นสามารถหมุนได้อย่างอิสระดังรูปที่ 2.17 ซึ่งหลักการทำงานของไจโรสโคปนั้น จะเป็นไปตามกฎของนิวตันคือ มวลจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยความเร็วคงที่ ถ้าไม่มีแรงภายนอกมากระทำ เมื่อตัวไจโรหมุนไป 90 องศา จุดบนจะหมุนเปลี่ยนตำแหน่งไป 90 องศา และยังเคลื่อนที่ไปทางซ้าย เช่นเดียวกับจุดล่าง เมื่อหมุนขึ้นมา 90 องศา มันยังคงเคลื่อนที่ไปทางขวา ทำให้วงล้อเกิดการหมุนควง ขณะที่จุดบนและจุดล่างเปลี่ยนตำแหน่งไป 90 องศา การเคลื่อนที่ในครั้งแรก จะถูกยกเลิกไป ไม่เกิดการพลิกของวงล้อ ดังนั้นแกนหมุนของไจโรจะเหมือนกับห้อยอยู่กับที่ตลอดเวลา



รูปที่ 2.17 โครงสร้างพื้นฐานของไจโรสโคป

ดังนั้นเมื่อเอาคุณสมบัติดังกล่าวไปสร้างอุปกรณ์วัดระดับไจโรเซนเซอร์ (gyro sensor) เราก็จะสามารถรู้ได้เลยว่าอุปกรณ์ที่ติดตั้งไจโรเซนเซอร์นั้น เอียงไปจากเดิมเท่าไร ซึ่งเมื่อโรเตอร์หมุนแล้ว มันก็จะคงตำแหน่งอยู่แบบนั้น กรอบที่เป็นแหวนซึ่งอยู่ล้อมรอบเมื่อได้ติดตั้งตัววัดระยะวัดการหมุนทำให้สามารถรู้ค่ามุมที่เปลี่ยนไปได้ ซึ่งต่อมาไจโรเซนเซอร์นั้นก็ได้รับการพัฒนาเรื่อยมาจนมาถึงรูปแบบที่ใช้กันในปัจจุบัน ตัวเซนเซอร์มีรูปร่างคล้ายไอซีที่ใช้กันทั่วไป โดยจะเป็นเซนเซอร์อิเล็กทรอนิกส์เชิงกล ภายในเซนเซอร์จะมีอุปกรณ์ชิ้นเล็กๆ ที่เคลื่อนที่ได้ นับร้อยนับพันลักษณะ คล้ายหัวสอยอันเสียบกันอยู่ โดยสามารถวัดความเร่งได้ทั้งสามแกน (X Y และ Z) ซึ่งแรงดันเอาต์พุตทั้งสามแกนที่ออกมาจะแปรผันตามความเร่งของเซนเซอร์ จากนั้นเอาต์พุตที่ได้จะนำมาผ่านวงจรขยายสัญญาณแล้วจึงนำมาวิเคราะห์หาขนาดของมุมในแต่ละแนวแกน

ด้วยคุณสมบัติของไจโรเซนเซอร์ดังกล่าว โครงการนี้จึงประยุกต์ใช้ไจโรเซนเซอร์โดยติดเข้ากับตัวถ่วง เพื่อวัดมุมแกว่งของถ่วงร่วมกับค่าวัดมุมแกว่งที่ได้จากโพเทนชิโอมิเตอร์ เพื่อนำค่าวัดจากอุปกรณ์ทั้งสองช่วยให้สามารถระบุมุมแกว่งได้แม่นยำยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามท้ายที่สุดแล้วไม่สามารถทำได้ เนื่องจากไจโรเซนเซอร์เกิดการชำรุดขณะทำการทดลองและไม่สามารถที่จะซ่อมแซมหรือจัดหาใหม่ได้

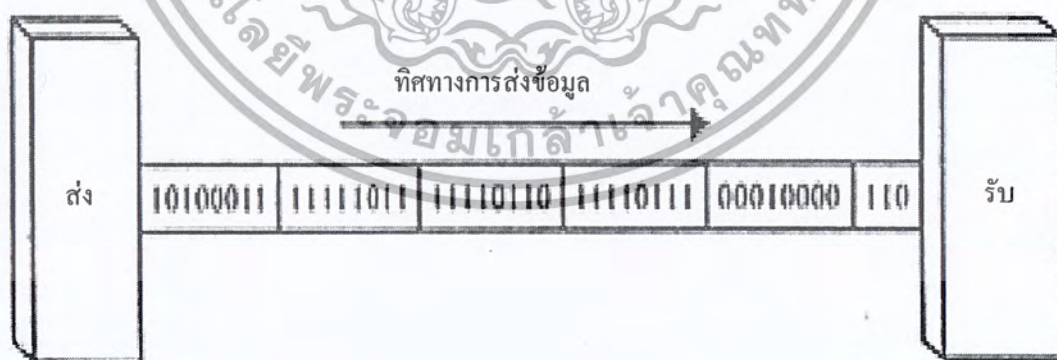
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกโดยผ่านพอร์ทอนุกรม

การสื่อสารแบบอนุกรมนั้นแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือการสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัสและแบบอะซิงโครนัส

2.7.1 การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัสจะมีสัญญาณนาฬิกา ร่วมอยู่กับการรับและส่งสัญญาณด้วยการติดต่อกันแบบนี้จะต้องใช้สายในการเชื่อมต่ออย่างน้อยที่สุด 3 เส้นคือ สัญญาณนาฬิกา ข้อมูลและกราวด์ ข้อดีของการส่งแบบนี้สามารถควบคุมเครื่องส่งและเครื่องรับทำงานได้พร้อมเพียงกันอย่างถูกต้อง การส่งบิต 0 และ 1 ที่ต่อเนื่องกันไปโดยไม่มีการแบ่งแยก ผู้รับต้องแยกบิตเหล่านี้ออกมาเป็นไบต์ หรือเป็นตัวอักษรเอง จากรูปที่ 2.18 แสดงการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส ผู้ส่งทำการส่งบิตติดต่อกันยาว ๆ ถ้าผู้ส่งต้องการแบ่งช่วงกลุ่มข้อมูลก็ส่งกลุ่มบิต 0 หรือ 1 เพื่อแสดงสถานะว่าง เมื่อแต่ละบิตมาถึงผู้รับ ผู้รับจะนับจำนวนบิตแล้วจับกลุ่มของบิตให้เป็นไบต์ที่มี 8 บิต การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบอะซิงโครนัสมาก และทำให้มีการใช้ความสามารถของสายสื่อสารได้เกือบทั้งหมด ข้อดีของการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส คือความเร็วในการส่งข้อมูล ทั้งนี้เพราะไม่มีบิตพิเศษหรือช่องว่างที่ไม่ได้ถูกนำไปใช้เมื่อถึงผู้รับ จึงทำให้ความเร็วของการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสเร็วกว่าแบบซิงโครนัสเร็วกว่าแบบอะซิงโครนัส ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำไปใช้งานที่ต้องการความเร็วสูง เช่น การส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์



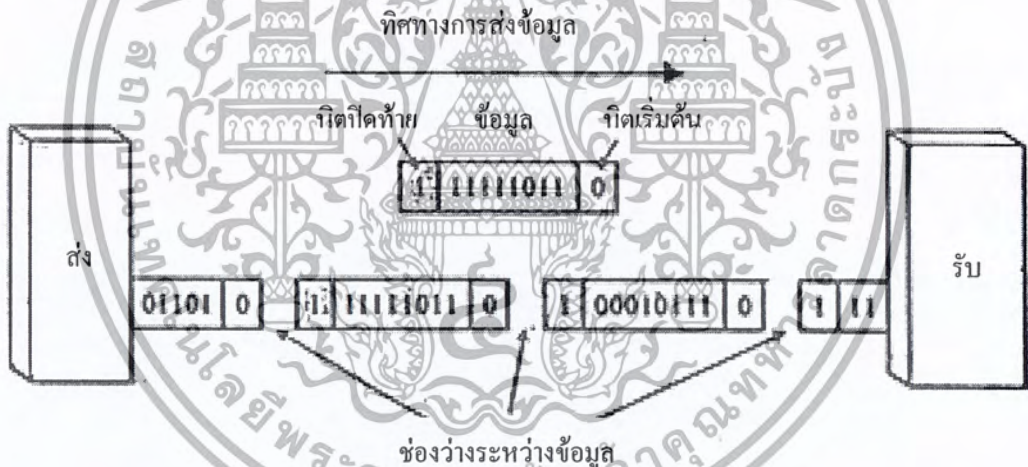
รูปที่ 2.18 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส

2.7.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส คือ การรับและส่งข้อมูลไปในสายโดยไม่จำเป็นต้องมีสายสัญญาณนาฬิกาพร้อมด้วย ซึ่งแตกต่างกับการสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัสที่ต้องใช้สายสัญญาณนาฬิกาในการรับและส่งสัญญาณเพิ่มขึ้นมาอีกเส้นหนึ่ง สำหรับการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัสนั้นจะใช้การกำหนดค่าสัญญาณนาฬิกาทั้งภาครับและภาคส่งให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกว่าสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดค่าให้ทั้งภาครับและภาคส่งว่า อัตราการถ่ายทอดข้อมูล หรือ บอกรเตด (baudrate)

ซึ่งมีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (bit per second: bps) จากรูปที่ 2.19 เป็นรูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัสซึ่งมีส่วนประกอบอยู่ด้วยกัน 4 ส่วนคือ

1. บิตเริ่มต้น (start bit) จะมีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลแบบอนุกรมจะมีขนาด 5, 6, 7 หรือ 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี (parity bit) จะมีขนาด 1 บิตหรือไม่ก็ได้
4. บิตปิดท้าย (stop bit) จะมีขนาด 1 หรือ 2 บิต



รูปที่ 2.19 การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

ซึ่งหลักการทำงานของโคแอดเจอร์ สามารถอธิบายได้คือ ขณะที่ไม่มีข้อมูลส่งมานั้นขา Data จะมีสถานะลอจิก “1” (high) ซึ่งจะเรียกสถานะนี้ว่าหยุดรอ (waiting stage) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากให้ขา Data มีลอจิก “0” (low) ด้วยช่วงขนาด 1 บิตเราเรียกบิตนี้ว่าบิตเริ่มต้น จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไป โดยเริ่มส่งจากบิต LSB ก่อนถึงบิต MSB จากนั้นจะตามด้วยบิตพาริตี ซึ่งใช้เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่จะส่ง คือ บิตปิดท้าย ซึ่งจะให้ขา

Data มีสถานะลอจิก “1” อีกครั้งเพื่อทำให้ยืนยันสถานะหยุดรอด้วยขนาด 1 บิต และเป็นการแสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่าสิ้นสุดข้อมูลมาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS 232 เป็นมาตรฐานที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรม แบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง ในการนำเอามาตรฐาน RS 232 ไปประยุกต์ใช้งาน จะถูกใช้งานในการส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ โดยเชื่อมต่อกับโมเด็ม มาตรฐาน RS 232 ได้กำหนดรูปแบบของอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (DTE: data terminal equipment) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (DCE: data communication equipment) ใ้ว่าอุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัวเช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งมีความสามารถในการสร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE จะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น โดยการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองจะทำการผ่านมาตรฐาน RS 232 ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE อย่างหนึ่งให้เห็นได้ชัดคือ คอนเน็กเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็กเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ทอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเน็กเตอร์ที่อยู่ทีโมเด็มจะเป็นแบบ DCE

ในโครงการนี้จะติดต่อกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยผ่านพอร์ทอนุกรมแบบ RS 232 ในที่นี้จะขอกล่าวการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยได้กำหนดรูปแบบอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล DTE กับวงจรข้อมูลปลายทาง DCE ใ้ว่าอุปกรณ์ DTE ต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัว ส่วนอุปกรณ์ DCE จะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น

ขาสัญญาณเอาต์พุตของพอร์ทอนุกรมได้แก่ ขา DTR, RTS และ TxD โดยรีจิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ควบคุมขาเหล่านี้คือ รีจิสเตอร์ควบคุมโมเด็ม (MCR) โดยมีแอดเดรสอยู่ด้รีจิสเตอร์หลักของพอร์ทอนุกรม 4 ตำแหน่ง รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของขา DTR จะอยู่ที่ตำแหน่งบิต 0 ส่วนขา RTS จะอยู่ที่ตำแหน่งบิต 1 ส่วนขา DxT เป็นขาปกติในการส่งข้อมูล ดังนั้นจึงมีแอดเดรสอยู่ที่แอดเดรสรีจิสเตอร์หลัก ระดับแรงดันที่ใช้งานสำหรับพอร์ทอนุกรม RS 232 ได้ระบุช่วงระดับแรงดันสำหรับการทำงานของพอร์ทอนุกรมไว้ว่าที่ ลอจิก “0” จะมีระดับสัญญาณ +3V ถึง +15V

ส่วนลอจิก “1” จะมีระดับสัญญาณ -3V ถึง -15V ระดับสัญญาณนี้ทำให้ไม่สามารถที่จะนำขาเอาต์พุตใด ๆ ต่อเข้ากับลอจิกเกตใช้งานได้โดยตรงจะต้องผ่านวงจรเพื่อเปลี่ยนระดับแรงดันเสียก่อน โดยปกติจะใช้ไอซีจำพวก RS 232 ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงระดับแรงดันของ RS 232 ให้อยู่ในระดับทีทีแอล โดยลอจิก “0” ซึ่งเดิมมีระดับสัญญาณ +3V ถึง +15V จะถูกแปลงเป็น 0V ส่วนลอจิก “1” ซึ่งมีระดับสัญญาณ -3V ถึง -15V จะเปลี่ยนเป็น +5V ทั้งนี้เพื่อให้สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ดิจิทัลอื่นที่ใช้ระดับแรงดันทีทีแอลได้

2.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ไอซี (IC: integrated circuit) ที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้ซับซ้อน สามารถรับข้อมูลในรูปสัญญาณดิจิทัลเข้าไปทำการประมวลผลแล้วส่งผลลัพธ์ข้อมูลดิจิทัลออกมาเพื่อนำไปใช้งานตามที่ต้องการได้

ภายในชิพไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีหน่วยประมวลผล หน่วยความจำพอร์ท อยู่ในชิพเพียงตัวเดียวซึ่งอาจจะเรียกได้ว่าเป็นคอมพิวเตอร์ชิพเดี่ยว ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ชนิดหนึ่ง เช่นเดียวกับหน่วยประมวลผลกลาง (CPU: central processing unit) ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ แต่ได้รับการพัฒนาแยกออกมาภายหลังเพื่อนำไปใช้ในวงจรทางด้านงานควบคุม คือ แทนที่ในการใช้งานจะต้องต่อวงจรภายนอกต่าง ๆ เพิ่มเติมเช่นเดียวกับไมโครโปรเซสเซอร์ ก็จะรวมวงจรที่จำเป็น เช่น หน่วยความจำ ส่วนอินพุต/เอาต์พุต บางส่วนเข้าไปในตัวไอซี และเพิ่มวงจรบางอย่างเข้าไปเพื่อให้มีความสามารถและเหมาะสมกับการใช้งานควบคุม เช่น วงจรตั้งเวลา วงจรการสื่อสารอนุกรม วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล เป็นต้นสรุปคือ

$$\text{Microcontroller} = \text{Microprocessor} + \text{Memory} + \text{I/O}$$

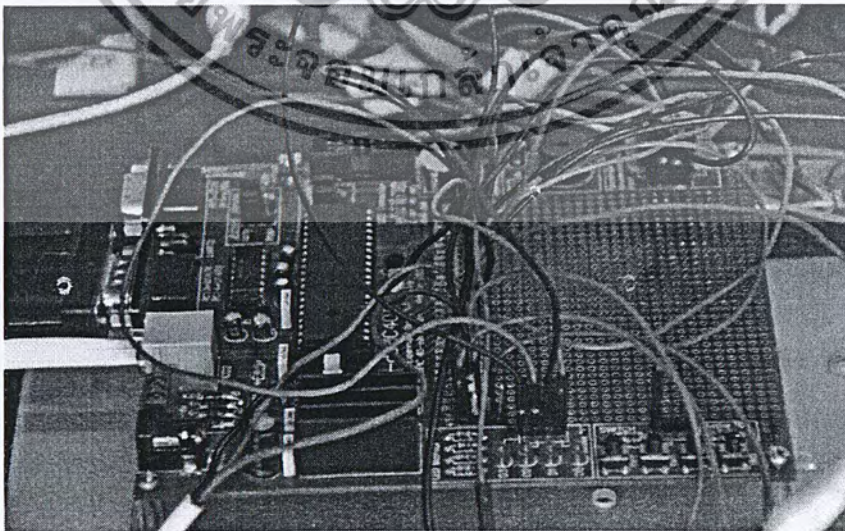
ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยมักจะเป็นการนำไปใช้ฝังในระบบของอุปกรณ์อื่น ๆ (embedded systems) เพื่อให้ควบคุมการทำงานบางอย่าง เช่น ใช้ในรถยนต์ เต้าอบไมโครเวฟ เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้าอัตโนมัติ เป็นต้น เพราะวไมโครคอนโทรลเลอร์มีข้อดีเหมาะสมกับการใช้งานควบคุมหลายประการ เช่น ระบบควบคุมที่ได้มีราคาถูกกว่าใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ วงจรที่ได้จะมีความซับซ้อนน้อยช่วยลดข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในการต่อวงจร มีคุณสมบัติเพิ่มเติมสำหรับงานควบคุมโดยเฉพาะซึ่งใช้งานได้ง่าย

ไมโครคอนโทรลเลอร์มีหลายตระกูล และหลายรุ่นด้วยกัน ซึ่งแต่ละรุ่นก็จะมีโครงสร้างภายในและความสามารถในการทำงานที่แตกต่างกันทำให้เลือกใช้กับงานได้อย่างเหมาะสม ซึ่งในโครงงานนี้ได้เลือกใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dspic 30f4011 โดยมีลักษณะแผงวงจรดังรูปที่ 2.20 และมีคุณสมบัติเด่นดังนี้

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูแบบ RISC
- มีวอตซ์ค็อกไทเมอร์แบบโปรแกรมได้
- ความเร็วในการทำงานสูงถึง 30 ล้านคำสั่งต่อวินาที
- มี 84 คำสั่งภาษาแอสเซมบลีมาตรฐาน รองรับรูปแบบการอ้างแอดเดรสได้อย่างอิสระ
- ชุดคำสั่งมีขนาด 24 บิต สามารถประมวลผลข้อมูลได้ 16 บิต
- มีอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์ 48 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลชความจุ 12 กิโลไบต์ สามารถลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 100,000 ครั้ง สามารถป้องกันการอ่านได้
- หน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม 1 กิโลไบต์ สามารถลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 1,000,000 ครั้ง
- มีวงจรตรวจจับแรงดันไฟเลี้ยงต่ำกว่ากำหนดแบบโปรแกรมได้
- มีเพาเวอร์-อนรีเซต, เพาเวอร์-อัปไทเมอร์ และออสซิลเลเตอร์สตาร์ต-อัปไทเมอร์
- มีวงจรตรวจสอบการทำงานของวงจรถ้าเกิดสัญญาณนาฬิกา
- รองรับการโปรแกรมในวงจรแบบอนุกรม (ICSP : in-circuit serial programming)
- สามารถเลือกใช้โหมดการใช้พลังงานได้
- กระแสทั้งซิงค์ และ ซอร์สของพอร์ต คือ 25 mA
- มีไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต ไม่น้อยกว่า 3 ตัว ต่อใช้งานร่วมกันเป็นไทเมอร์ 32 บิต
- มีโมดูลตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณดิจิทัล ขนาด 16 บิต 4 ชุด
- มีโมดูลสร้างสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมมอเตอร์ 6 ช่อง
- มีโมดูลเชื่อมต่อตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์
- มีวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล 10 บิต 6 ช่อง
- มีโมดูลเปรียบเทียบข้อมูลและกำเนิดสัญญาณ PWM 16 บิต 2 ชุด
- มีหน่วยความจำข้อมูลแรม 512 ไบต์
- สามารถตอบสนองอินเทอร์รัปต์ 62 แหล่ง รวมจากภายนอก 3 แหล่ง มีสเต็ป 8 ระดับ
- ความถี่สัญญาณนาฬิกาภายนอก ตั้งแต่ย่านไฟตรงจนถึง 40 MHz



รูปที่ 2.20 แผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ dspic 30f4011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ผู้ใช้เห็นหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและโครงสร้าง

การออกแบบระบบควบคุมตำแหน่งเครน 2 มิติ ในเบื้องต้นนั้นต้องเข้าใจหลักการทำงานในภาพรวมของระบบควบคุมตำแหน่งเครน 2 มิติ ก่อนว่ามีหลักการทำงานอย่างไร แล้วจึงพิจารณาส่วนย่อยต่าง ๆ อันประกอบไปด้วย หลักการทำงานของวงจรถ่าง ๆ ที่ใช้ในระบบควบคุม และการเชื่อมต่อวงจรที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งเครน 2 มิติ ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

- การออกแบบโครงสร้างส่วนประกอบของเครน
- การออกแบบวงจรที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครน
- การออกแบบระบบควบคุมการทำงานของเครน

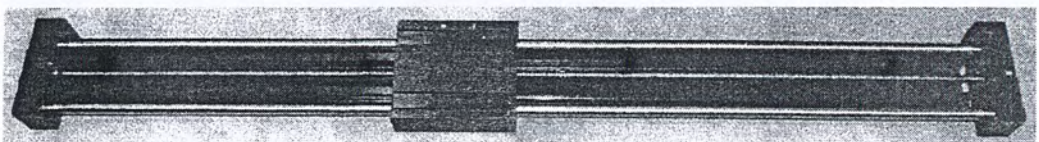
3.1 การออกแบบโครงสร้างส่วนประกอบของเครน

- ส่วนโครงสร้างฐาน

โครงสร้างของฐานทำจากเหล็กด้วย นำมาประกอบกันเป็นเสาทั้งหมด 4 ต้น โดยมีความกว้าง 1.50 เมตร ความยาว 1.50 เมตรและความสูง 1.50 เมตร ซึ่งสามารถรับน้ำหนักของตัวคานทั้งแกน Y และแกน X ที่มีน้ำหนักมากได้

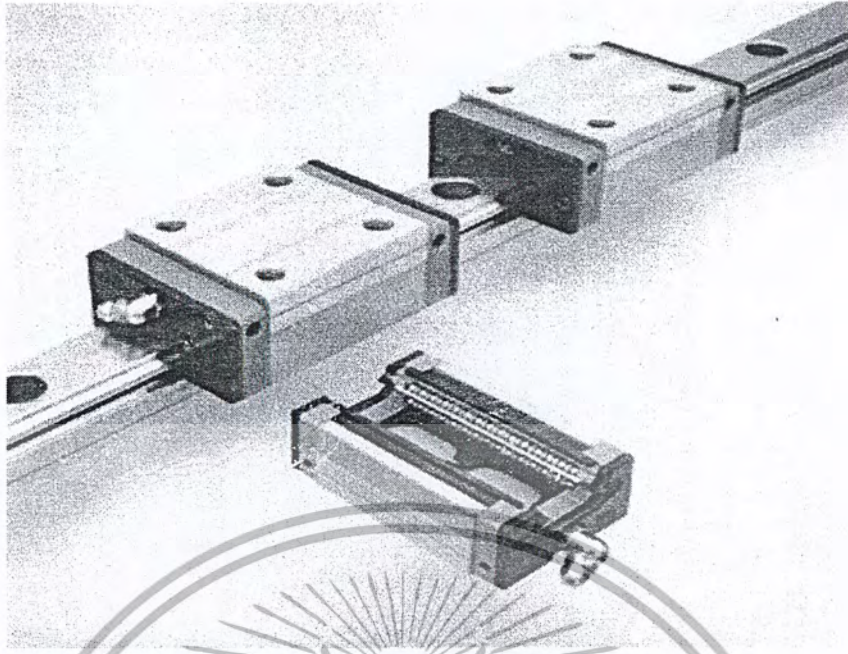
- ส่วนของแกน Y

ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วย รางบอลสกรูดังรูปที่ 3.1 และรางลิเนียร์สไลด์ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งใช้ในการเคลื่อนที่ รางบอลสกรูและลิเนียร์สไลด์มีความยาว 80 เซนติเมตร และนำมายึดติดกับอลูมิเนียมกล่องที่มีความยาว 1.50 เมตร ซึ่งเป็นคานรับน้ำหนักของรางบอลสกรูและลิเนียร์สไลด์ โดยมีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวขับให้รางบอลสกรูและลิเนียร์สไลด์เคลื่อนที่ แกน Y นี้จะถูกบังคับจากบอลรางสกรู โดยการหมุนของมอเตอร์หนึ่งรอบสามารถเคลื่อนที่ได้ 0.5 เซนติเมตร



รูปที่ 3.1 รางบอลสกรูแกน Y

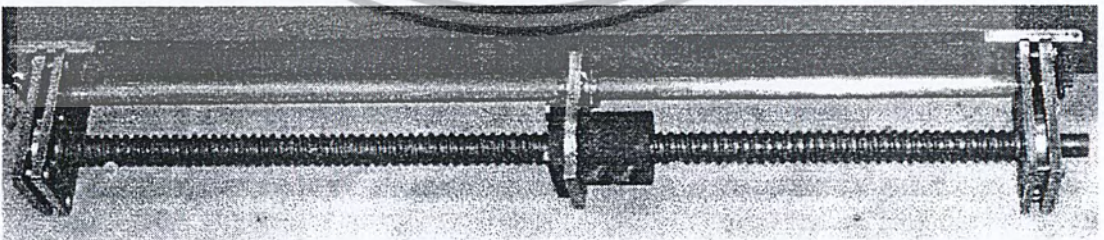
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ลิเนียร์สไลด์

- ส่วนของแกน X

ในส่วนนี้ได้เลือกใช้รางบอลสกรูดังรูปที่ 3.3 ในการเคลื่อนที่ รางบอลสกรูมีความยาว 80 เซนติเมตร และนำมายึดกับคูมิเนียมกล่องที่มีความยาว 1.50 เมตร เพื่อรับน้ำหนักของโหลดได้มาก โดยมีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวขับให้บอลสกรูเคลื่อนที่ ตัวแกน X นี้จะถูกบังคับจากบอลสกรูโดยการหมุนของมอเตอร์หนึ่งรอบสามารถเคลื่อนที่ได้ 1 เซนติเมตร

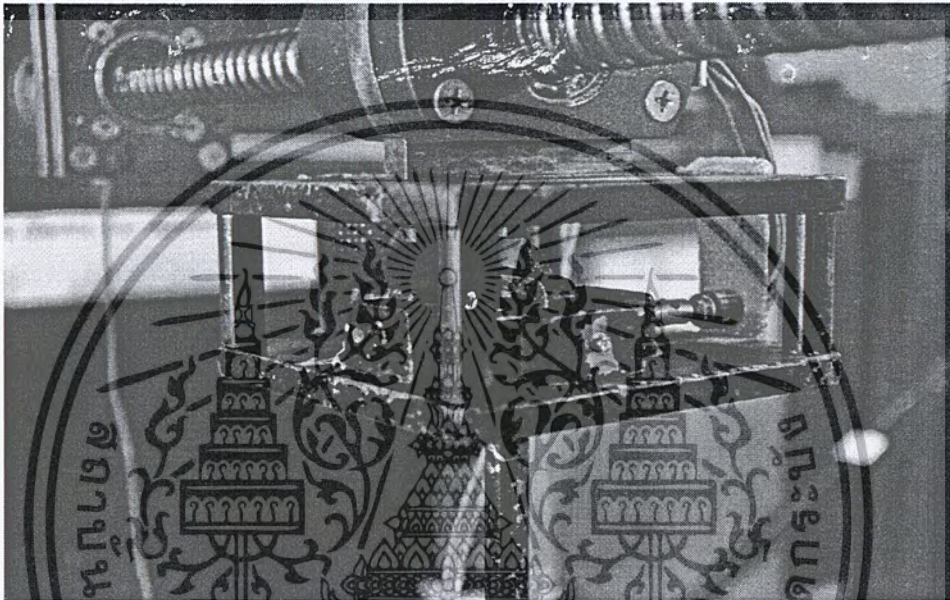


รูปที่ 3.3 รางบอลสกรูแกน X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ส่วนอุปกรณ์การวัดแกว่ง

ในส่วนนี้ได้เลือกใช้เหล็กนำมาประกอบเป็นอุปกรณ์การวัดแกว่ง โดยอาศัยหลักการโยกของ จอยสติ๊กนำมาประยุกต์ใช้ดังรูปที่ 3.4 เพื่อรับน้ำหนักของโหลดได้มาก โดยมีโพเทนชิโอมิเตอร์ และ ใจโรเซนเซอร์ ทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์ตรวจสอบการแกว่งของภาระ ซึ่งภาระจะแกว่งตาม แนวแกน X และแนวแกน Y ได้อย่างอิสระ



รูปที่ 3.4 อุปกรณ์การวัดแกว่ง

เมื่อนำโครงสร้างทั้ง 4 ส่วนมาประกอบรวมเข้าด้วยกัน และติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 2 ตัวเพื่อเป็นตัวขับในแกน X และแกน Y ติดโพเทนชิโอมิเตอร์ 2 ตัวเพื่อเป็นอุปกรณ์วัดมุมแกว่งของ ภาระที่จุดหมุน และติดใจโรเซนเซอร์ที่ตัวภาระ จะได้เครนดังรูปที่ 3.5 โดยเครนที่สร้างขึ้นนี้ สามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งแกน X และ แกน Y ในระยะทาง 80 เซนติเมตร และมีความสูง 1.50 เซนติเมตร มอเตอร์ที่เลือกใช้เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวรของ Minertia Motor RM Series รุ่น 02MA20E ขนาด 100 วัตต์ ความเร็วสูงสุด 3000 รอบต่อนาที กระแสไฟฟ้าสูงสุด เท่ากับ 22.1 แอมแปร์ และมีแรงบิดสูงสุด 1.77 นิวตัน ซึ่งข้อมูลการใช้งานโดยละเอียดนั้นสามารถ ดูได้จากคู่มือของมอเตอร์ ในภาคผนวก ก นอกจากนี้ยังมีเอนโค้ดเดอร์ความละเอียด 800 พัลส์ต่อ รอบ ที่ติดมากับมอเตอร์ ใช้โพเทนชิโอมิเตอร์ของ Japan Servo รุ่น VP12 ขนาด 10 กิโล โอห์ม และ

ใช้ใจโรเซนเซอร์ของ iMEMS รุ่น ADXL330 มีความไว 300 mV/g อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 โครงสร้างของเครน

3.2 การออกแบบวงจรที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครน

ในการควบคุมตำแหน่งของเครน ได้ทำการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานในส่วนต่างๆ ของเครน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

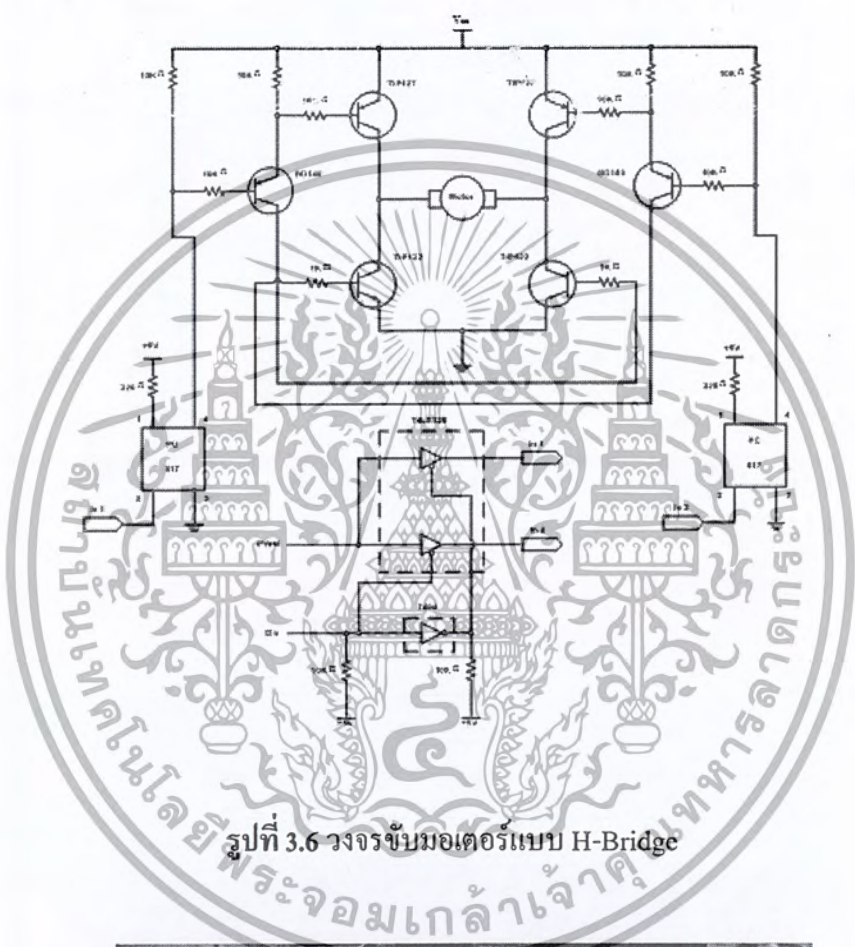
- วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์
- วงจรป้อนกลับค่าของอุปกรณ์วัดแกว่งส่ง ไปคอมพิวเตอร์

3.2.1 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

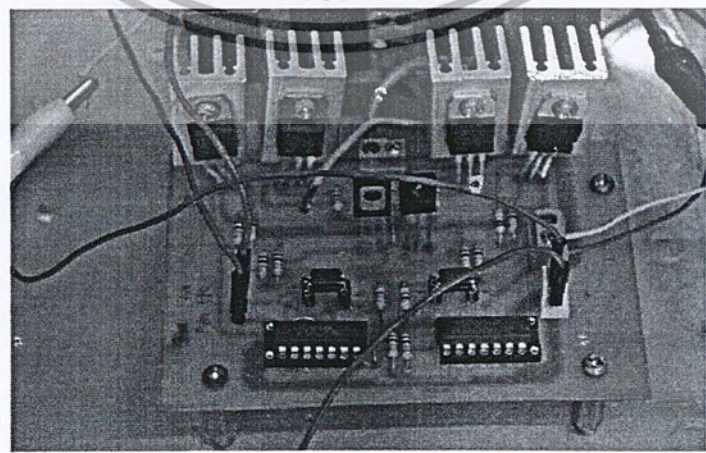
ในส่วนนี้ได้เลือกใช้วงจรแบบ H-Bridge ดังรูปที่ 3.6 ประกอบด้วยสวิตช์ 4 ตัว คือ S1 S2 S3 และ S4 โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นภาระของวงจร ในสภาวะเริ่มต้นสวิตช์ทุกตัวจะทำการ

เปิดวงจรซึ่งทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่มอเตอร์ เมื่อสวิตช์ S1 และ S2 ทำงานพร้อมกันจะเป็นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมต่อวงจรทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมอเตอร์จากขั้วบวกของมอเตอร์ไปยังขั้วลบของมอเตอร์ทำให้มอเตอร์หมุนได้ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกาขึ้นอยู่กับลักษณะการพันขดลวดภายในมอเตอร์ ในทางกลับกันหากสวิตช์ S2 และ S4 ทำงานพร้อมกันก็จะทำให้เป็นการเชื่อมต่อวงจรและทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมอเตอร์จากขั้วลบไปยังขั้วบวกของมอเตอร์ทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางกลับกันกับทิศทางแรก โดยมีแผงวงจรดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 วงจรขับมอเตอร์แบบ H-Bridge



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.7 แผงวงจรขับมอเตอร์แบบ H-Bridge
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 วงจรรับข้อมูลจากอุปกรณ์วัดแกว่ง

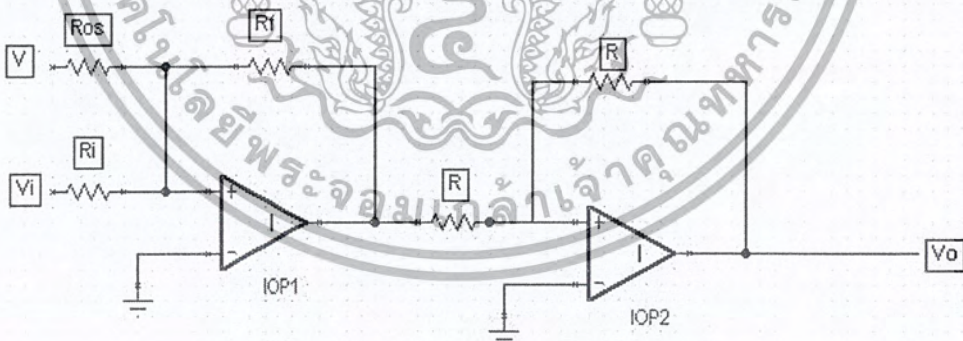
วงจรรับข้อมูลจากอุปกรณ์วัดแกว่ง ทางกลุ่มได้เลือกใช้วงจรรีบค่าความชันและตำแหน่งศูนย์เพื่อนำมารับสัญญาณที่ได้มาจากโพเทนชิโอมิเตอร์ และไอโรเซนเซอร์มาทำการปรับความชันของสัญญาณให้อยู่ในช่วง 0-5 โวลต์ แล้วจึงทำการส่งสัญญาณนั้นไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการประมวลผลขนาดของมุมแกว่ง โดยค่าที่วัดได้นั้นจะทำการส่งไปให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการประมวลผลสัญญาณควบคุม ซึ่งสามารถออกแบบวงจรรีบค่าความชันและตำแหน่งศูนย์ได้ ดังรูปที่ 3.8 และมีแผนผังวงจรดังรูปที่ 3.9 โดยใช้สมการอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าระหว่างแรงดันอินพุตกับแรงดันเอาต์พุตของวงจร ซึ่งมีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง ดังสมการที่ (3.1)

$$y = mx + b \quad (3.1)$$

โดยที่

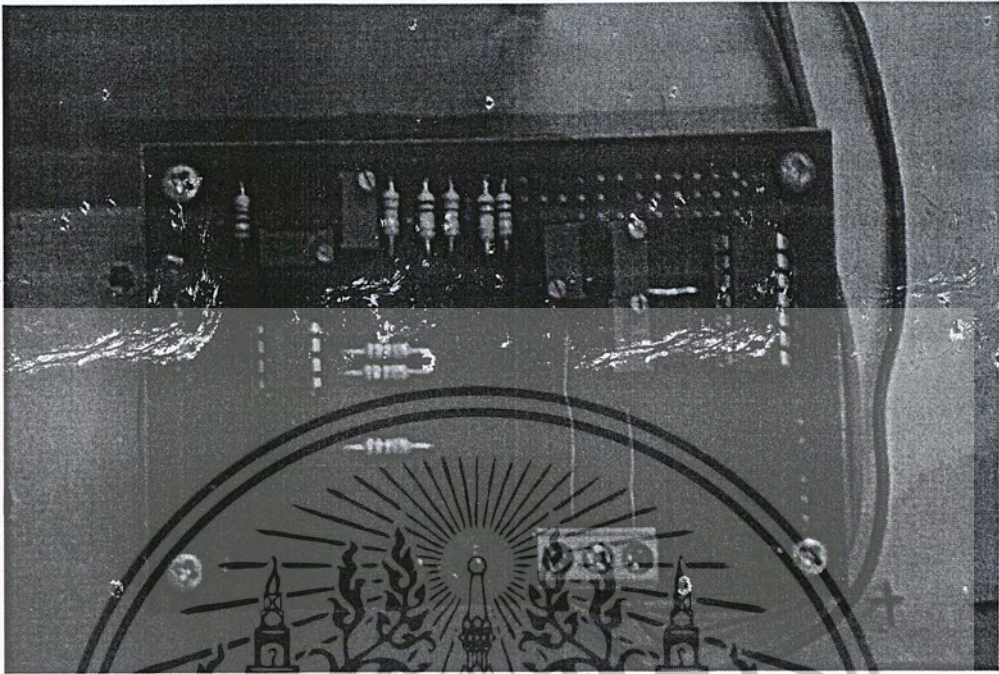
$$m = \frac{R_f}{R_i} \quad (3.2)$$

$$b = \frac{R_f}{R_{os}} (\pm V) \quad (3.3)$$



รูปที่ 3.8 วงจรรีบค่าความชันและตำแหน่งศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



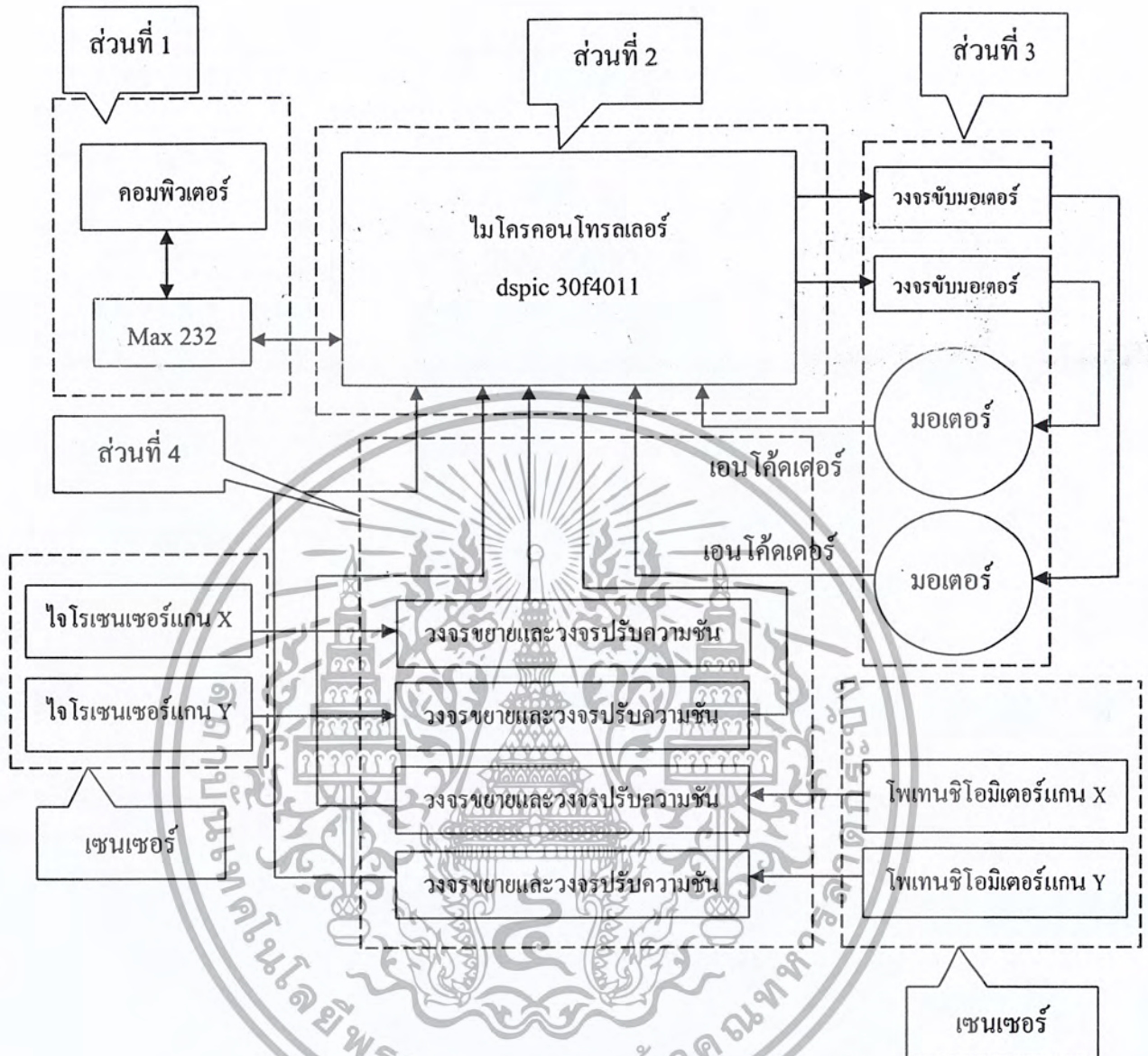
รูปที่ 3.9 แผงวงจรปรับความชื้นและขยายสัญญาณ

3.3 การออกแบบระบบควบคุมการทำงานของเครื่อง

ในการออกแบบระบบควบคุมตำแหน่งเครื่อง 2 มิติ จัดทำโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dspic 30f4011 ทำหน้าที่ประมวลผลหลัก โดยจะรับค่าสัญญาณอ้างอิงจากคอมพิวเตอร์ และรับค่าจาก เอนโค้ดเดอร์ และเซนเซอร์วัดแกว่งของภาระ มาประมวลผลแล้วส่งสัญญาณควบคุมไปยังวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์เพื่อทำการควบคุมมอเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.10 ดังนั้นการออกแบบการควบคุมการทำงานของเครื่องสามารถแบ่งเป็นส่วนสำคัญได้ดังนี้

- ส่วนประมวลผลสัญญาณอ้างอิงจากคอมพิวเตอร์และรับค่าแสดงผลตำแหน่ง
- ส่วนประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์
- ส่วนรับค่าสัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์
- ส่วนส่งค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์เซนเซอร์ป้อนกลับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมตำแหน่งแกน 2 มิติ

3.3.1 ส่วนประมวลผลสัญญาณอ้างอิงจากคอมพิวเตอร์และรับค่าแสดงผลตำแหน่ง

การประมวลผลสัญญาณอ้างอิงอาศัยคอมพิวเตอร์เป็นตัวประมวลผลอ้างอิงจากคอมพิวเตอร์ โดยผู้ใช้งานเป็นผู้กำหนดสั่งการ คอมพิวเตอร์ก็จะทำการส่งสัญญาณติดต่อไปยังอุปกรณ์ ไมโครคอนโทรลเลอร์โดยผ่านพอร์ต RS 232 นำไปประมวลผลต่อไป แล้วส่งค่าตำแหน่งกลับมา แสดงผลที่คอมพิวเตอร์ ดังส่วนที่ 1 ในรูปที่ 3.10 ซึ่งได้เลือกใช้โปรแกรมวิซวลเบสิก เพื่อใช้ออกแบบพัฒนาแอปพลิเคชัน ดังหน้าตาการเชื่อมต่อผู้ใช้งานในรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The image shows a software interface window titled "Form1" with a grid layout. It is divided into four main sections: X_AXIS, Y_AXIS, X_AXIS, and Y_AXIS. Each section contains:

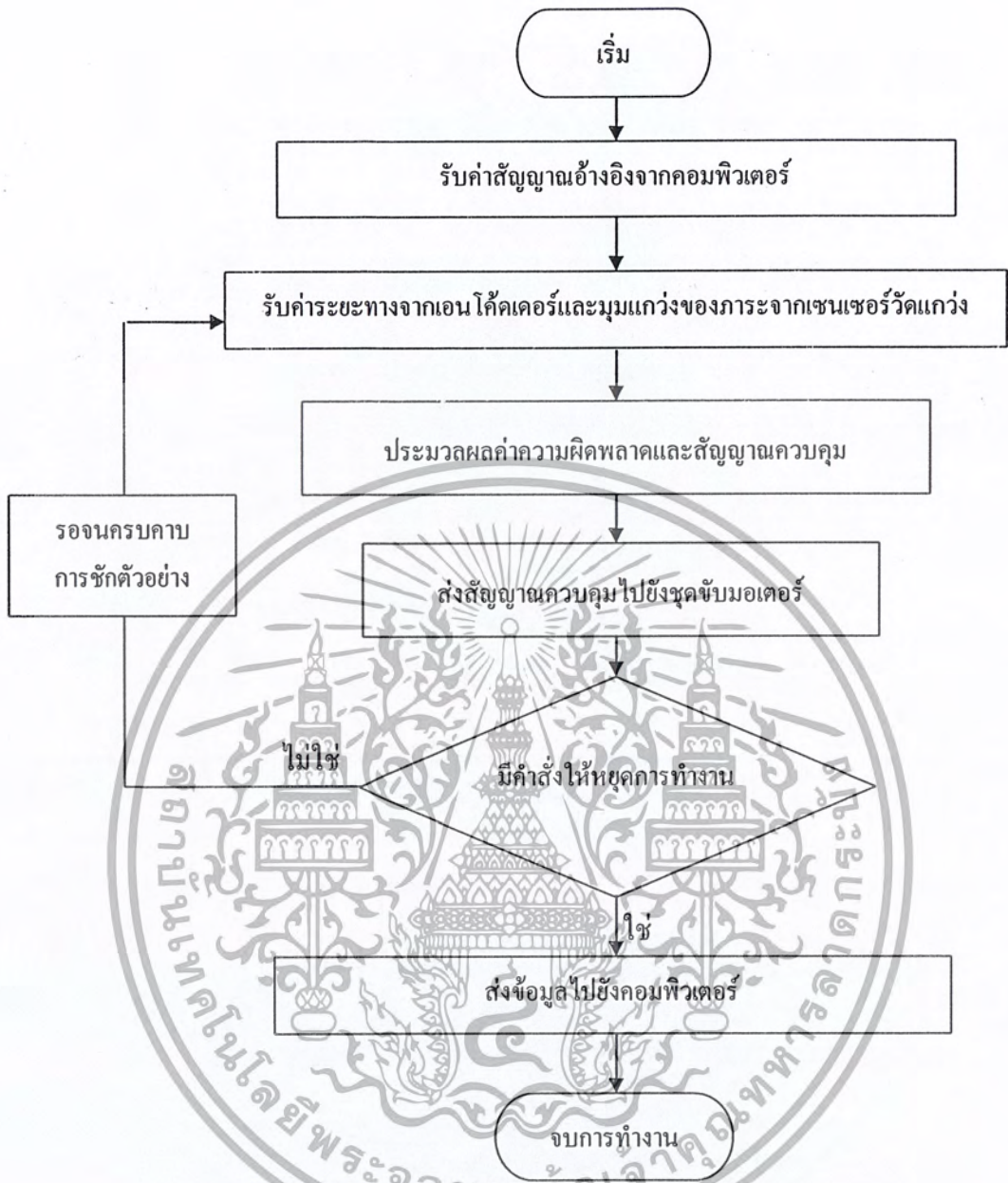
- POSITION (mm.)**: A row of four buttons labeled 10, 20, 30, and 40.
- KP VALUE**: Two rows of buttons. The first row has buttons for "Kp of position" with values 3, 5, 10, and 15. The second row has buttons for "Kp of angle" with values 10, 15, 25, and 40.
- FEEDBACK_POSITION (mm.)**: A vertical input field with a "RECEIVE" button to its right.
- FEEDBACK_ANGLE (mm.)**: A vertical input field with a "RECEIVE" button to its right.
- GO!**: A button located between the two feedback input fields.

รูปที่ 3.11 หน้าต่างเชื่อมต่อผู้ใช้งาน

3.3.2 ส่วนประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์

ในส่วนการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังส่วนที่ 2 ในรูปที่ 3.10 ใช้ dspic 30f4011 จำนวน 1 ตัว จะทำหน้าที่รับสัญญาณอ้างอิงตำแหน่งจากคอมพิวเตอร์มาประมวลผล แล้วจะทำหน้าที่ควบคุมการขับเคลื่อนทั้งแกน X และแกน Y ประมวลผลระยะทางจากเอนโค้ดเดอร์ ทั้งแกน X และแกน Y และประมวลผลสัญญาณจากวงจรปรับความถี่ที่เหมาะสม แล้วทำการส่งข้อมูลของตำแหน่งและข้อมูลของมุมแกว่งที่อ่านได้ไปยังคอมพิวเตอร์ มีการทำงานดังแผนภาพรูปที่ 3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แผนภาพขั้นตอนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

3.3.3 ส่วนรับคำสั่งสัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์

ส่วนการรับคำสั่งสัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ ซึ่งจะรับสัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ และทำการขับเคลื่อนมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปทั้งในแนวแกน X และแกน Y ตามทิศทาง ความเร็วและตำแหน่งของสัญญาณควบคุม ดังส่วนที่ 3 ในรูปที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 ส่วนส่งค่าที่ได้จากอุปกรณ์เซนเซอร์ป้อนกลับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์

ส่วนส่งค่าที่ได้จากอุปกรณ์เซนเซอร์ป้อนกลับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังส่วนที่ 4 ในรูปที่ 3.10 จะเป็นส่วนที่ใช้ทำหน้าที่ส่งค่าของตำแหน่งการเคลื่อนที่ทั้ง 2 แกนของแครน และการแกว่งของภาระ โดยในส่วนของการวัดค่าตำแหน่งจะมีเอ็นโค้ดเดอร์เป็นชุดเซนเซอร์วัดตำแหน่ง แล้วส่งสัญญาณพัลส์ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการอ่านค่าระยะทาง และในการแกว่งของภาระจะมีโพเทนชิโอมิเตอร์ และใจโรเซนเซอร์เป็นชุดเซนเซอร์ที่คอยวัดการแกว่งของภาระแล้วส่งค่าแรงคั้นที่ได้ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการอ่านค่าการแกว่งของภาระ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองแกว่งภาระเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของระบบ การจำลองและการทดลองของระบบควบคุมตำแหน่งครน 2 มิติ ด้วยตัวควบคุมแบบพี โดยการจำลองจะอาศัยโปรแกรม Matlab/Simulink และการทดลองอาศัยระบบที่พัฒนาขึ้นซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC 30F4011 ประมวลผลด้วยคาบการสุ่ม 50 มิลลิวินาที

การออกแบบระบบควบคุมนั้น ก่อนอื่นต้องทำการศึกษาสมการทางคณิตศาสตร์ของระบบ รวมถึงหาค่าพารามิเตอร์ของระบบให้ครบถ้วน จากนั้นจึงนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาจำลองระบบเพื่อตรวจสอบสนองของการควบคุมที่แปรผันตามการปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมระบบ ซึ่งในโครงการนี้ได้เลือกใช้การควบคุมแบบพี จึงจำลองระบบเพื่อแปรค่าเกน K_p จากนั้นเมื่อได้ค่าเกนที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ผลตอบสนองตามต้องการแล้ว จึงนำค่าเกนดังกล่าวไปทดลองใช้กับระบบควบคุมจริง เพื่อทดสอบว่าระบบควบคุมที่ออกแบบมานั้นสามารถที่จะควบคุมตำแหน่งของรถครน และมุมการแกว่งของภาระ ได้ตามที่ต้องการหรือไม่

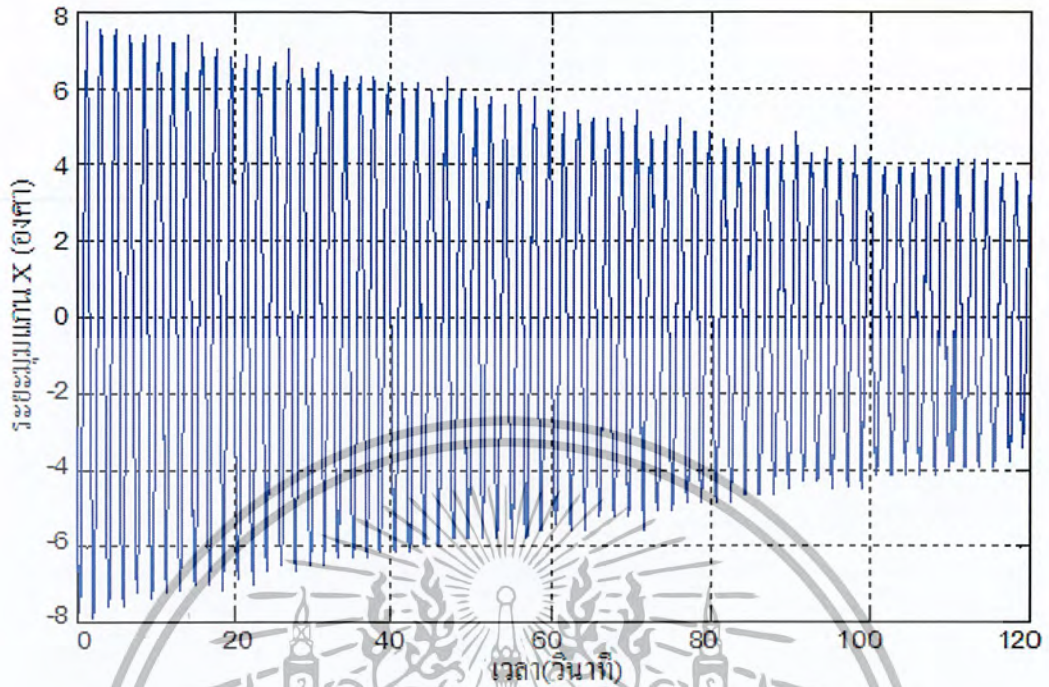
4.1 การทดลองการแกว่งของภาระ

การทดลองการแกว่งของภาระ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของระบบบางตัวที่ยังไม่ทราบค่า ได้แก่ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของรถครน b_x และ b_y และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการแกว่ง b_{θ_x} และ b_{θ_y} ซึ่งการทดลองจะวัดผลตอบสนองมุมแกว่งของภาระเมื่อมีมุมเริ่มต้นในแกน X ที่ 8 องศา และแกน Y ที่ 5 องศา โดยไม่จ่ายอินพุตในระบบวงเปิดของระบบครน แล้วเทียบกับการจำลองซึ่งอาศัยแบบจำลองในสมการที่ (2.3) ถึง (2.6) โดยใช้ค่าของพารามิเตอร์ที่สามารถวัดได้ตรงในตารางที่ 4.1 และทำการลองสุ่มค่า b_x, b_y และ $b_{\theta_x}, b_{\theta_y}$ จนกว่าจะใกล้เคียงกับผลการทดลองจริง โดยได้ผลการทดลองและจำลองดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 สำหรับการแกว่งของภาระในแกน X และแกน Y ตามลำดับ

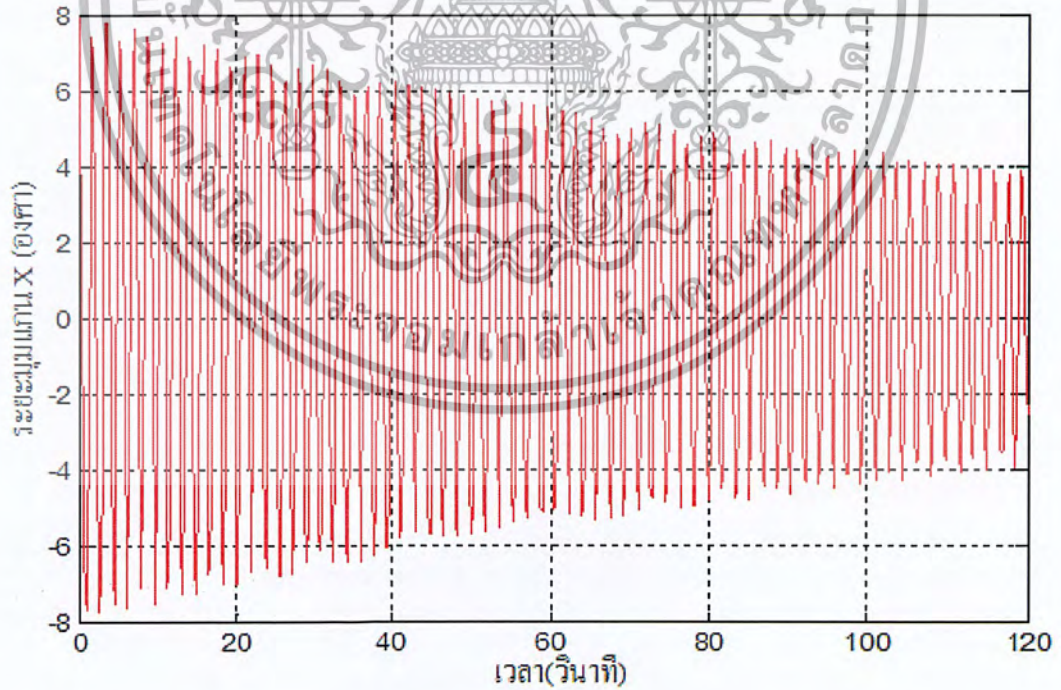
จากการทดลองนี้ ทำให้สามารถหาค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดของระบบครน 2 มิติสรุปได้ดังตาราง

ที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



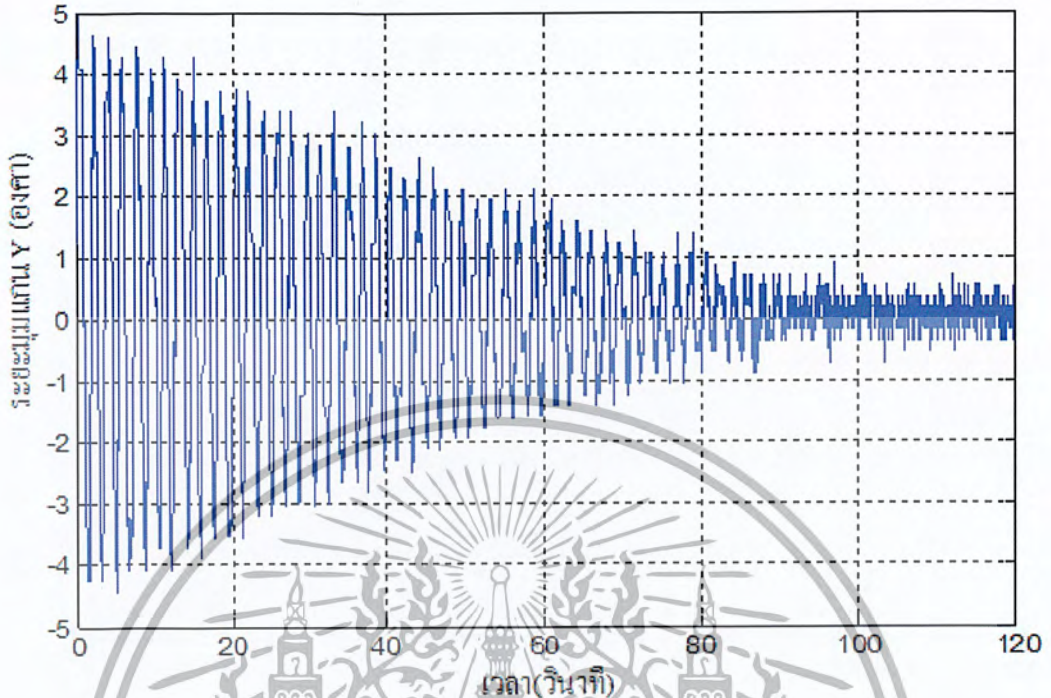
(ก) ผลการทดลอง



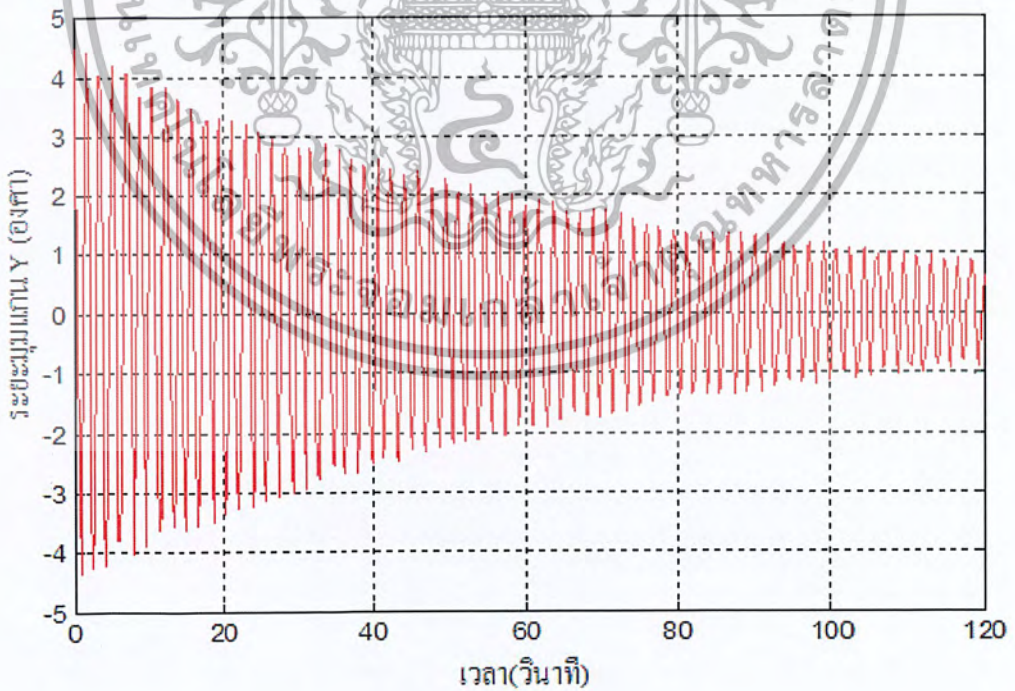
(ข) ผลการจำลอง

รูปที่ 4.1 ผลตอบสนองการแกว่งของภระตามแนวแกน X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ผลการทดลอง



(ข) ผลการจำลองทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในวงจำกัดเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ของระบบครน 2 มิติ

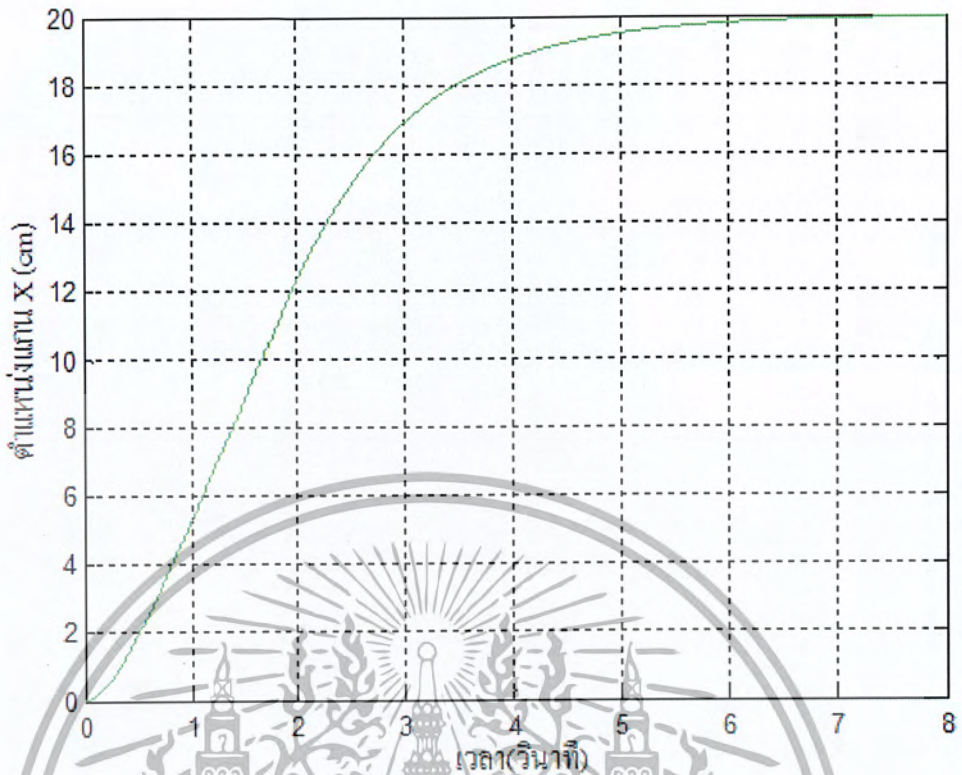
น้ำหนักของรถครน (M)	3 kg
น้ำหนักของภาระ (m)	5 kg
ความยาวเชือก (l)	0.8 m
แรงโน้มถ่วง (g)	9.81 m / sec ²
สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของรถครนตามแนวแกน X (b_x)	7 N sec / m
สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของรถครนตามแนวแกน Y (b_y)	2 N sec / m
สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการแกว่งตามแนวแกน X ($b_{\theta x}$)	0.00001 N sec / m
สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการแกว่งตามแนวแกน Y ($b_{\theta y}$)	0.0000001 N sec / m

4.2 การจำลองระบบควบคุมครน 2 มิติ

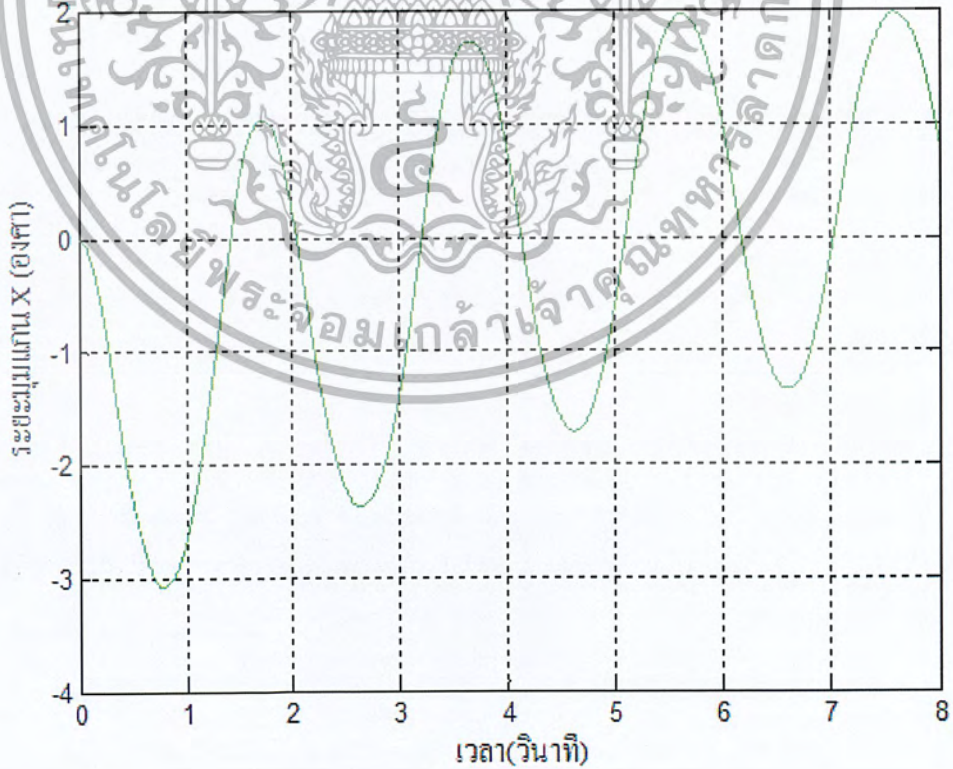
การจำลองการควบคุมครน 2 มิติ ด้วยตัวควบคุมแบบพี โดยป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันได (step signal) เพื่อทดสอบตัวควบคุมที่ได้ออกแบบมานั้น ว่ามีประสิทธิภาพเป็นไปตามต้องการหรือไม่ ก่อนที่จะนำตัวควบคุมนี้ไปทดลองกับระบบครนจริง การจำลองจะพิจารณาค่าเป้าหมายหรือตำแหน่งที่ต้องการให้รถเคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่ง 20 เซนติเมตร ทั้งในแกน X และแกน Y ซึ่งในปริยายณิพจน์ฉบับนี้ได้ออกแบบจำลองใน 2 ลักษณะคือ มีการป้อนกลับระยะทาง และมีการป้อนกลับทั้งระยะทางและมุมแกว่ง

4.2.1 การจำลองระบบควบคุมแบบพีโดยใช้การป้อนกลับระยะทาง

การจำลองระบบควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพี อาศัยแบบจำลองดังรูปที่ ๔.2 ในภาคผนวก ข ซึ่งมีการป้อนกลับระยะทาง สอดคล้องกับการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นำค่าระยะทางที่ได้รับจากเอนโคเดอร์มาประมวลผลเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง แล้วจึงนำค่าความผิดพลาดที่ได้นั้นมาคูณกับค่าอัตราขยายสัดส่วน หรือค่าเกน K_p โดยการจำลองในหัวข้อนี้เลือกปรับค่าเกน K_p เป็น 3, 5 และ 10 ในแนวแกน X ซึ่งจะได้ผลตอบสนองจากการจำลองระบบตามแนวแกน X ดังรูปที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 ส่วนในแนวแกน Y จะใช้ค่าเกน K_p เป็น 5, 10 และ 15 โดยได้ผลตอบสนองจากการจำลองในแนวแกน Y ดังรูปที่ 4.6, 4.7 และ 4.8

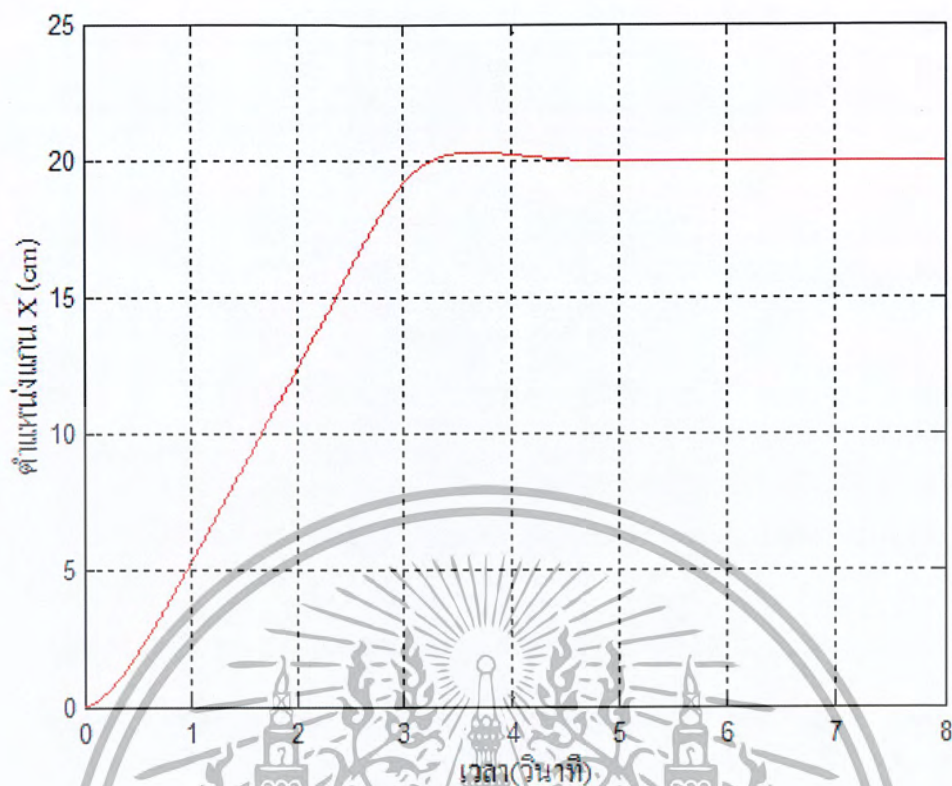


(ก) ตำแหน่งรถเลื่อน

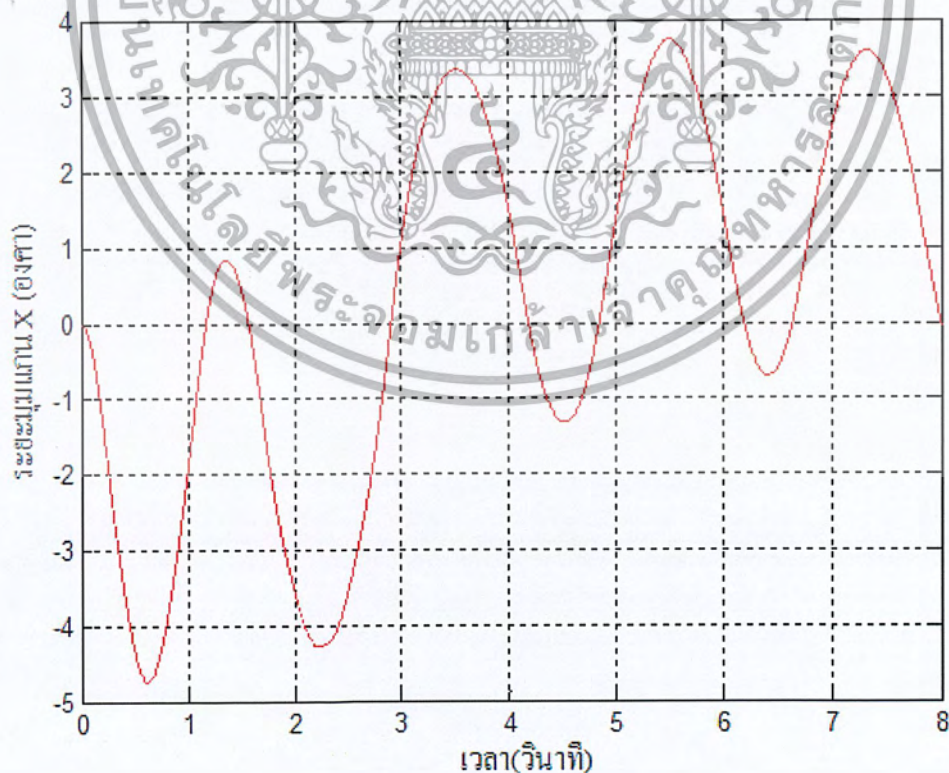


(ข) มุมการแกว่งของภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.3 ผลการจำลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน X เมื่อปรับ $K_p = 3$
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

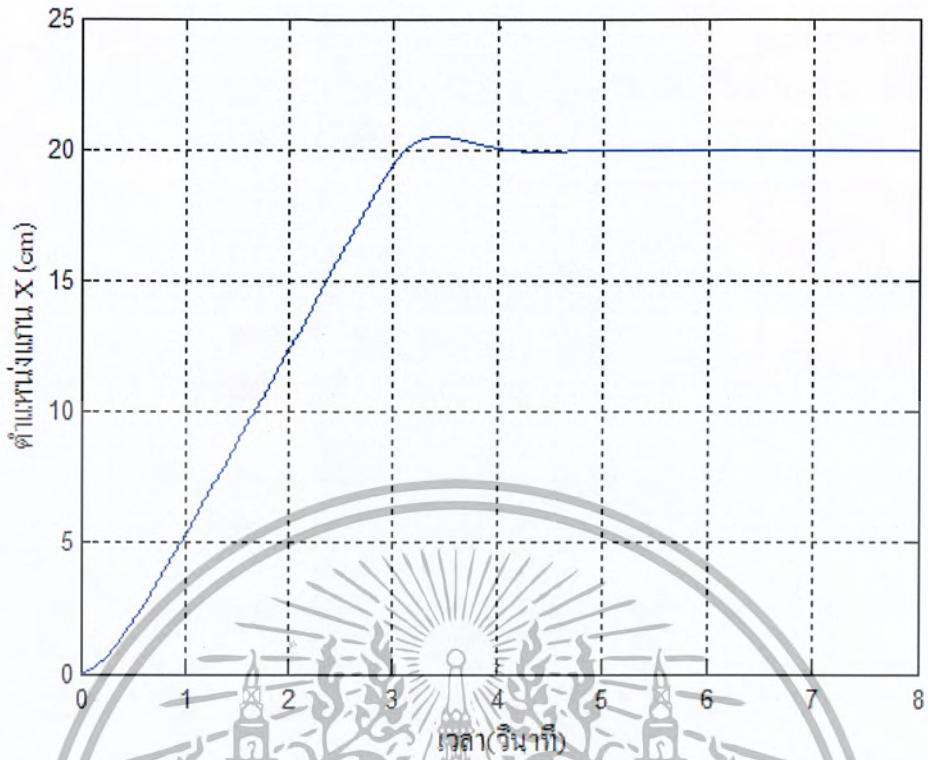


(ก) ตำแหน่งรถเข็น

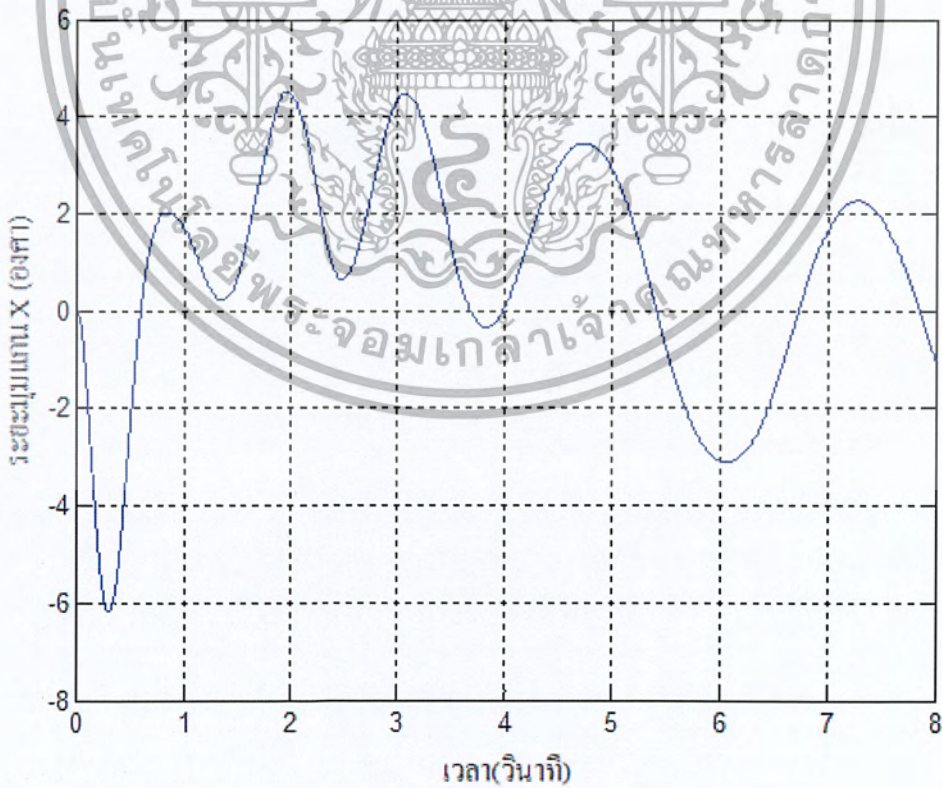


(ข) มุมการแกว่งของภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้วงเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.4 ผลการจำลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน X เมื่อปรับ $K_p = 5$
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



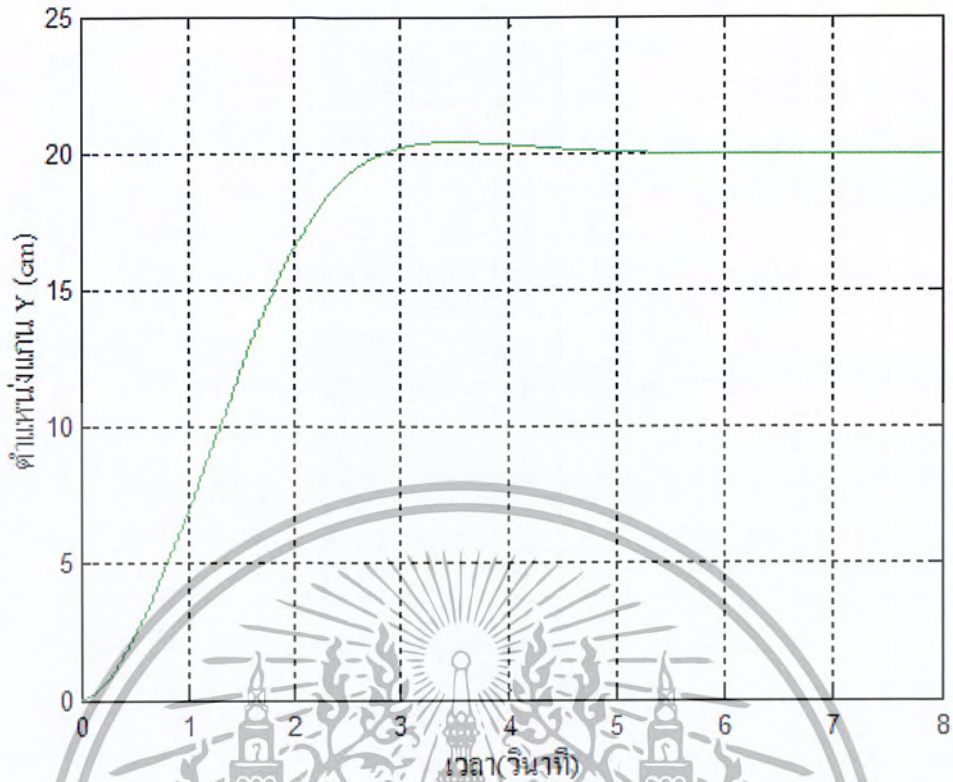
(ก) ตำแหน่งรถเครน



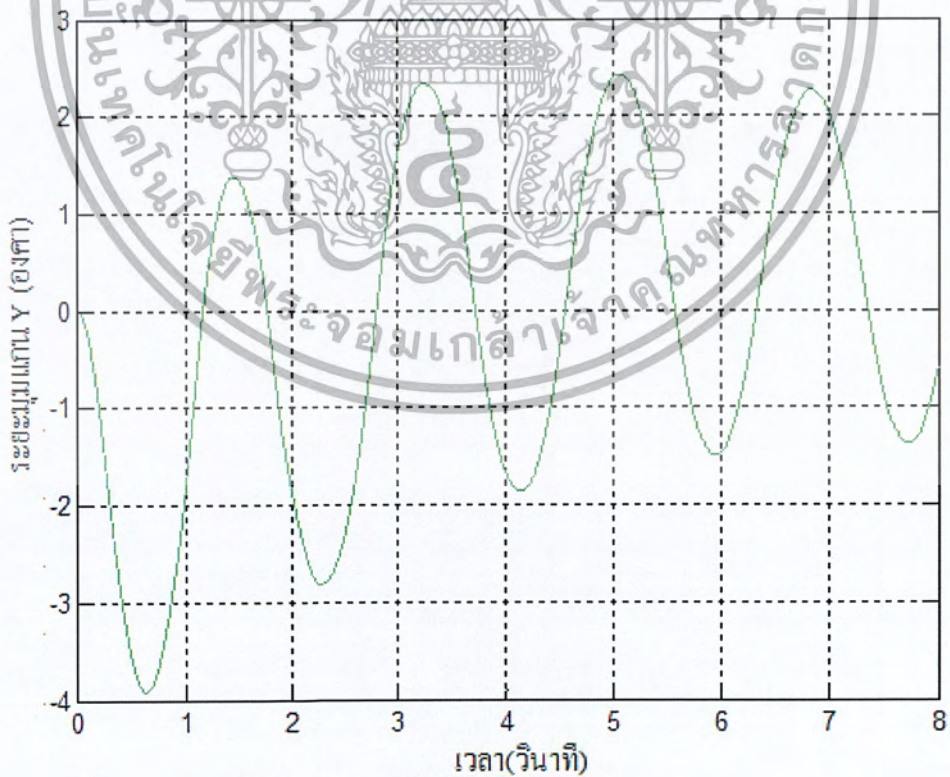
(ข) มุมการแกว่งของภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีฉุกเฉินเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 ผลการจำลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน X เมื่อปรับ $K_p = 10$

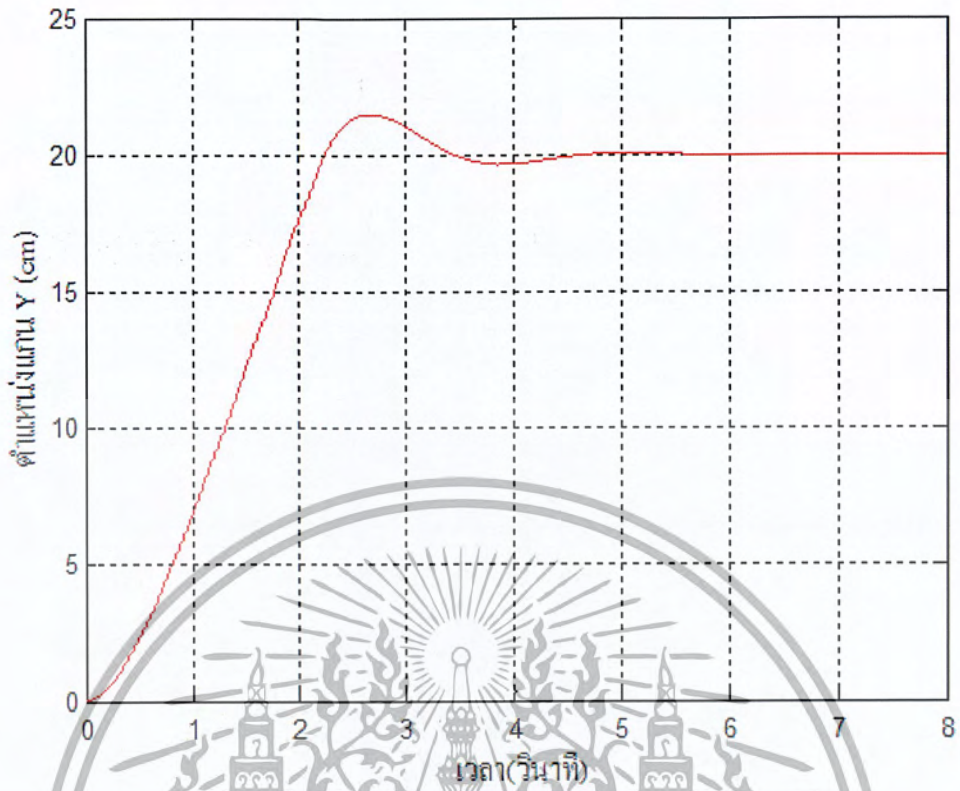


(ก) ตำแหน่งรถเคาน์

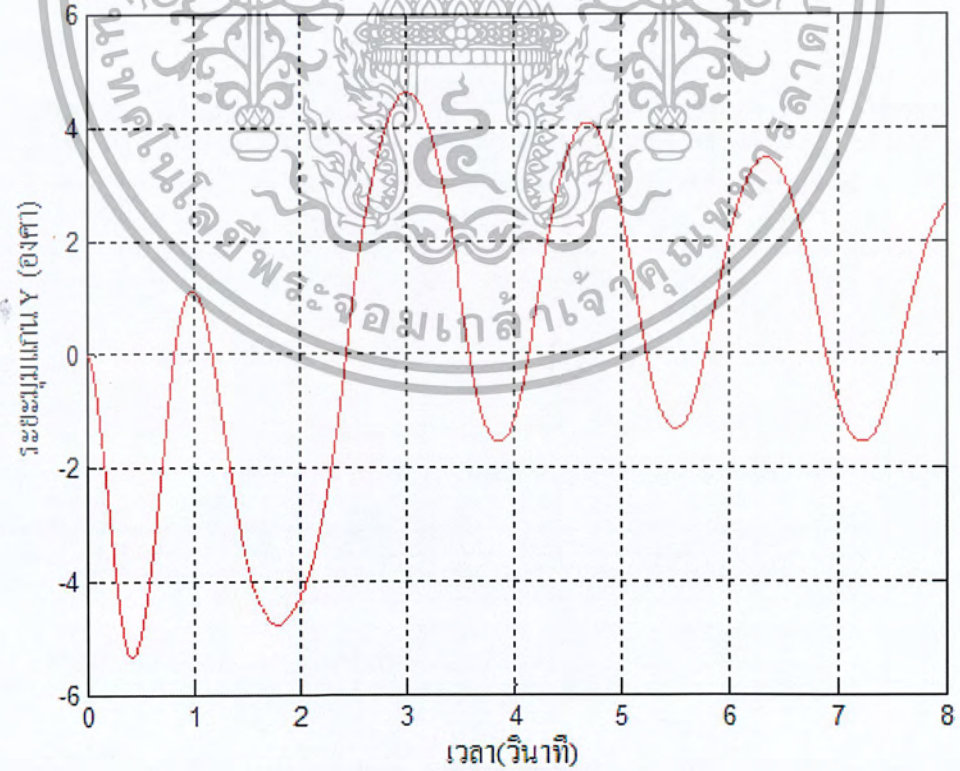


(ข) มุมการแกว่งของภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปรับ $K_p = 5$ ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

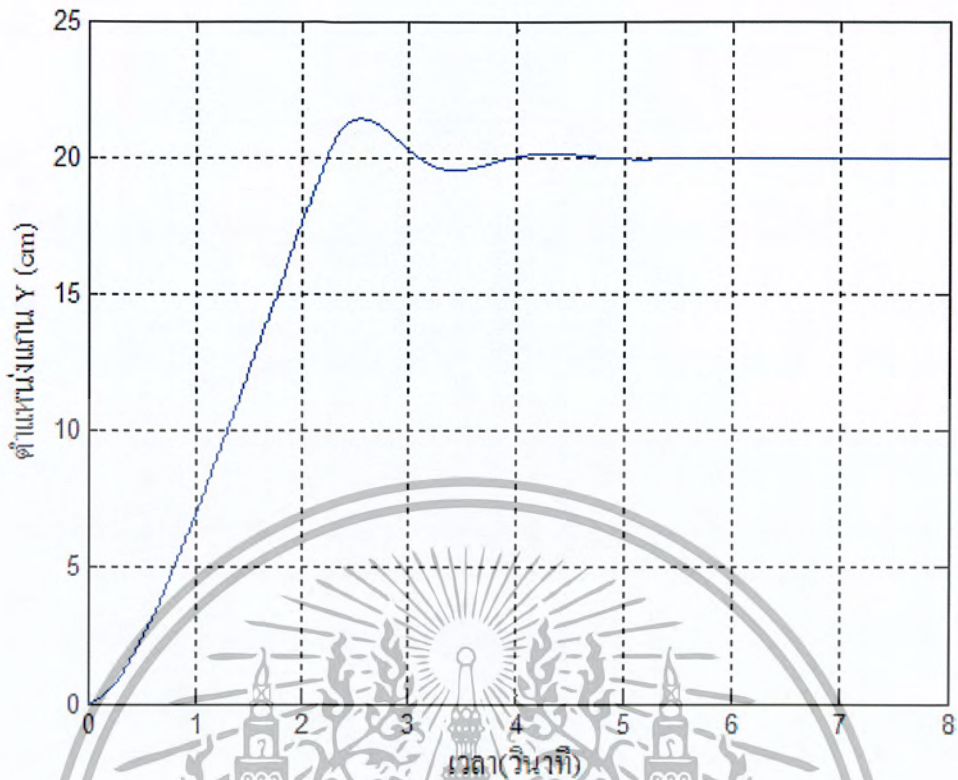


(ก) ตำแหน่งรถเคลื่อน

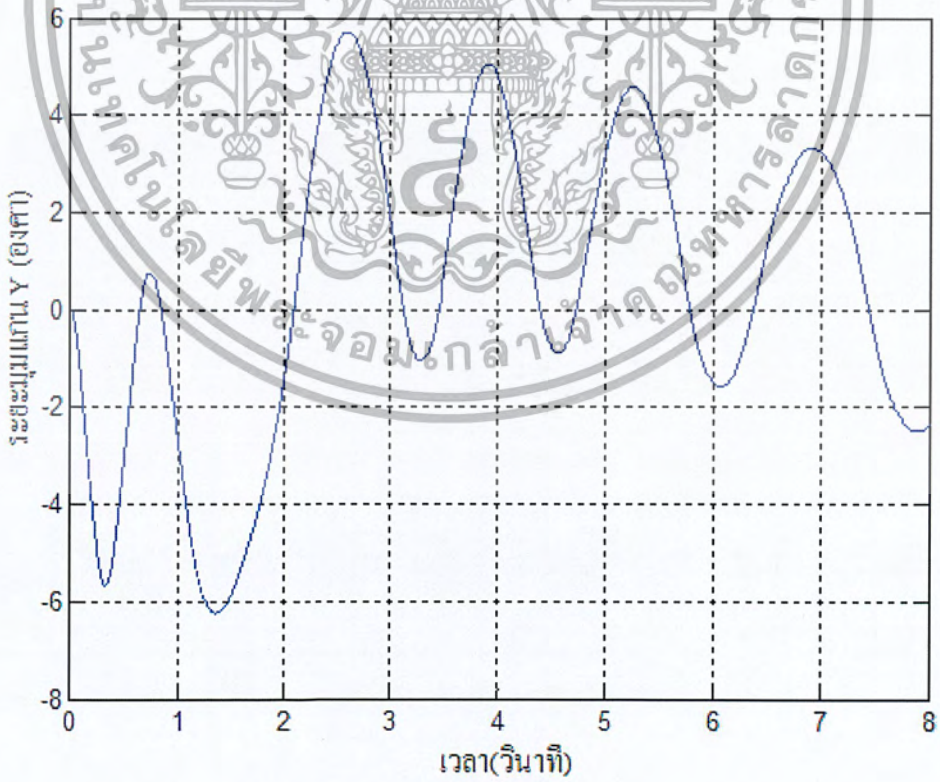


(ข) มุมการแกว่งของภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.7 ผลการจำลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน Y เมื่อปรับ $K_p = 10$
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ตำแหน่งรถครน



(ข) มุมการแกว่งของถาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ว่าห้ามการจำลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน Y เมื่อปรับ $K_p = 15$ ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลตอบสนองที่ได้จากแบบจำลองทั้งแกน X และแกน Y ดังกล่าว สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.2 จากผลการจำลองเห็นว่า การใช้ระบบควบคุมแบบพี เพียงพอที่จะควบคุมให้รถเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งที่ต้องการได้ โดยพบว่าเมื่อค่าเกน K_p มีค่ามากขึ้น ทำให้ระบบควบคุมใช้เวลาเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว t_s น้อยกว่าการใช้ค่าเกนที่น้อย แต่ก็จะทำให้มีค่าเปอร์เซ็นต์ฟุงเกิน M_p (%) และมุมแกว่ง θ เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 4.2 สมรรถนะผลการจำลองระบบควบคุมซึ่งป้อนกลับระยะทาง

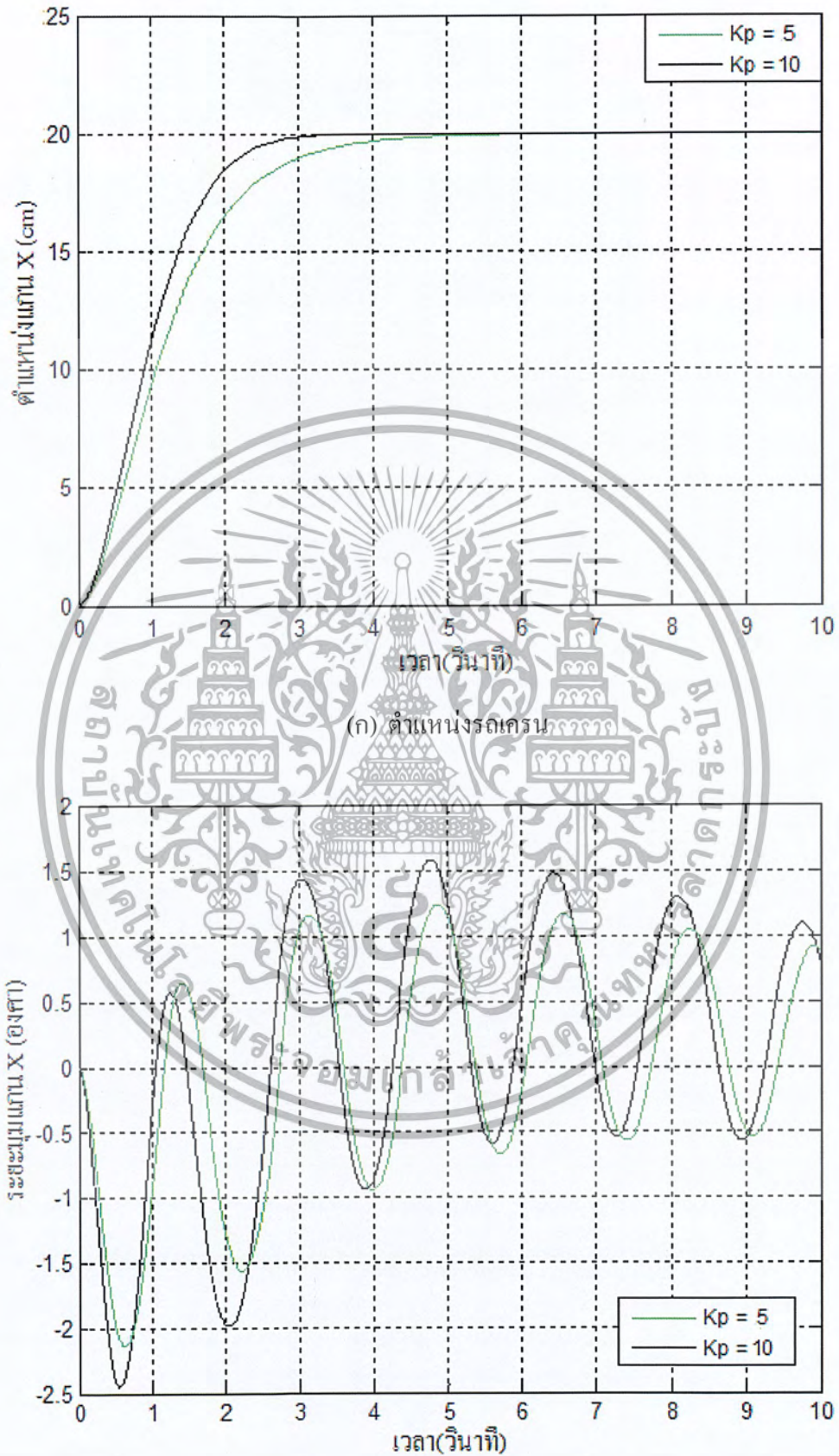
แนวแกน	K_p	M_p (%)	t_s (วินาที)	$ \theta_{\max} $ (องศา)
X	3	0	7.3	3.1
	5	2.0	4.5	4.7
	10	3.0	4.2	6.1
Y	5	3.0	5.2	3.9
	10	8.0	4.5	5.2
	15	8.5	4.0	6.2

4.2.2 การจำลองระบบควบคุมแบบพีโดยใช้การป้อนกลับทั้งระยะทางและมุมแกว่ง

จากผลการจำลองระบบควบคุมที่ได้จากหัวข้อ 4.2.1 จะเห็นว่า การป้อนกลับแต่เพียงค่าระยะทางนั้นสามารถที่จะควบคุมตำแหน่งของรถเคลื่อนที่ได้ โดยค่าเกนที่ทำให้ระบบเข้าสู่ตำแหน่งได้เร็วในแนวแกน X คือค่าเกนที่เท่ากับ 5 และ 10 ส่วนในแนวแกน Y คือค่าเกนที่เท่ากับ 10 และ 15 อย่างไรก็ตามการป้อนกลับด้วยค่าระยะทางเพียงอย่างเดียวทำให้การแกว่งมาก ในหัวข้อนี้จึงพิจารณาการป้อนกลับมุมแกว่งร่วมด้วย เพื่อศึกษาว่าการป้อนกลับมุมแกว่งจะช่วยให้สามารถลดการแกว่งของภาระได้หรือไม่

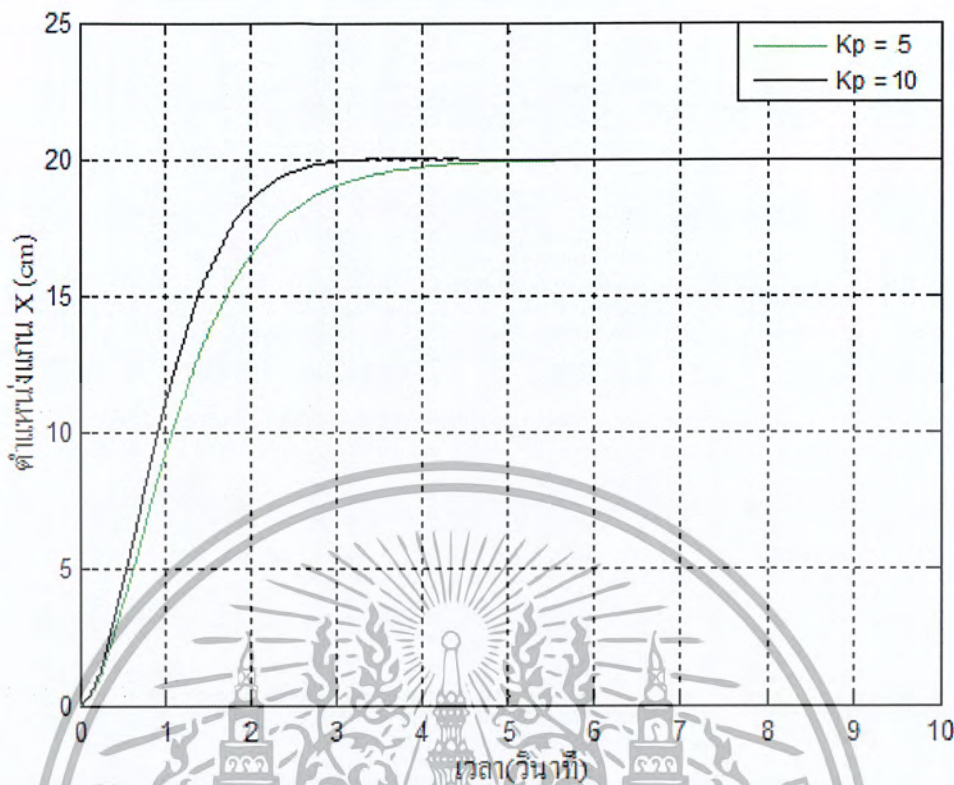
การจำลองระบบควบคุมแบบพีโดยใช้การป้อนกลับทั้งระยะทางและมุมแกว่ง อาศัยแบบจำลองดังรูปที่ ข.3 ในภาคผนวก ข ซึ่งในการจำลองนี้เพิ่มค่าเกนส่วนการป้อนกลับมุมแกว่งเพิ่ม $K_{p\theta}$ ขึ้นอีกตัว โดยเลือกปรับค่าเป็น 10, 15 และ 25 จะได้ผลการจำลองในแนวแกน X ดังรูปที่ 4.9, 4.10 และ 4.11 และในแนวแกน Y ดังรูปที่ 4.12, 4.13 และ 4.14 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

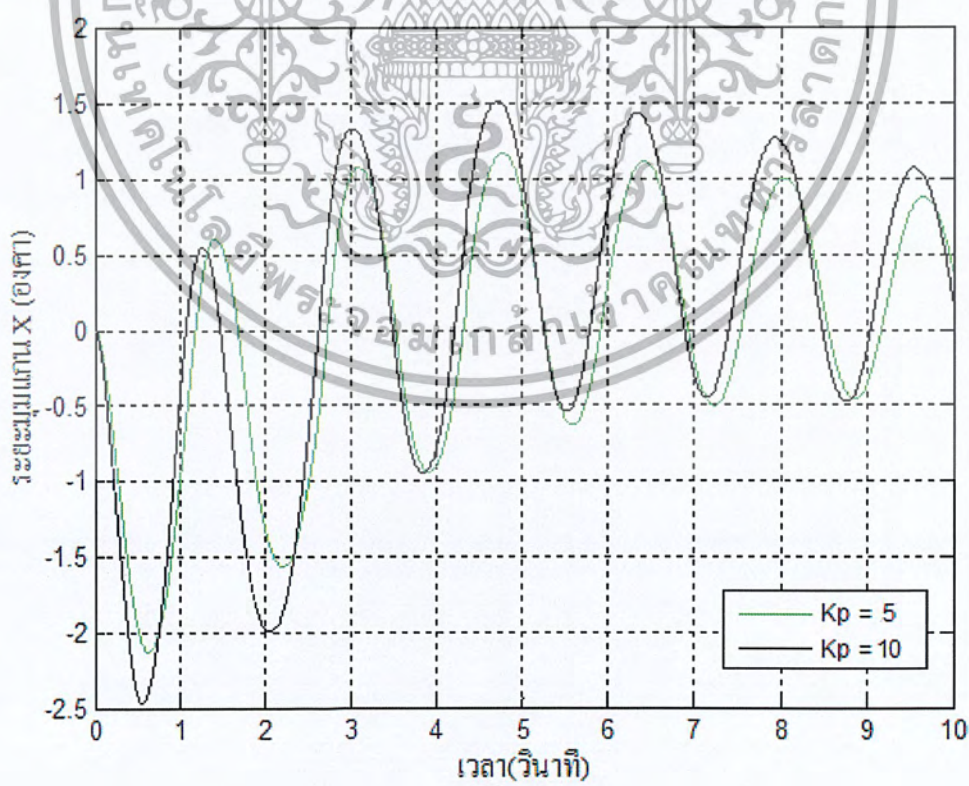


(ข) มุมการแกว่งของภาวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.9 ผลการจำลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน X เมื่อปรับ $K_{pI} = 10$
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

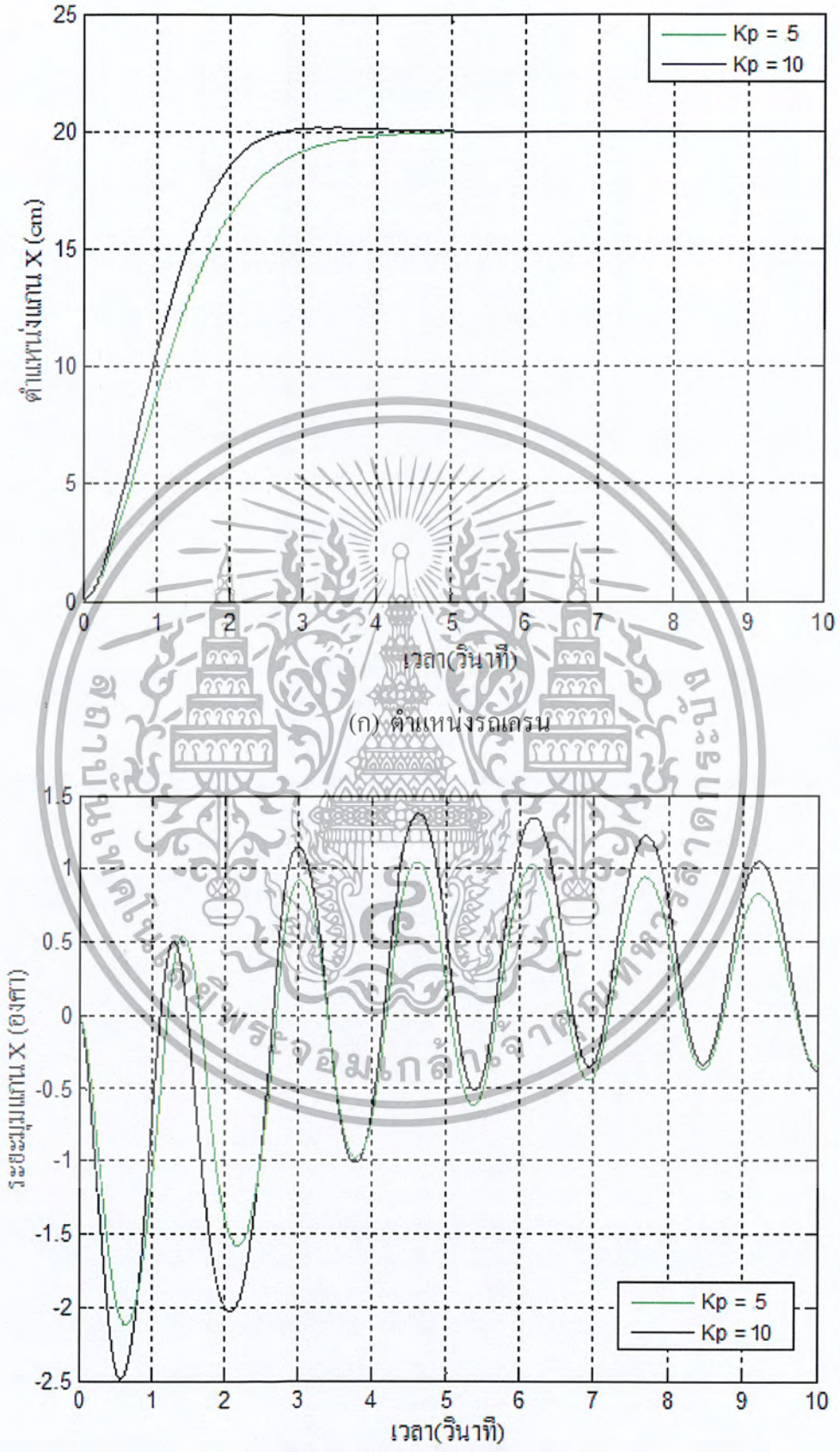


(ก) ตำแหน่งรถเครม



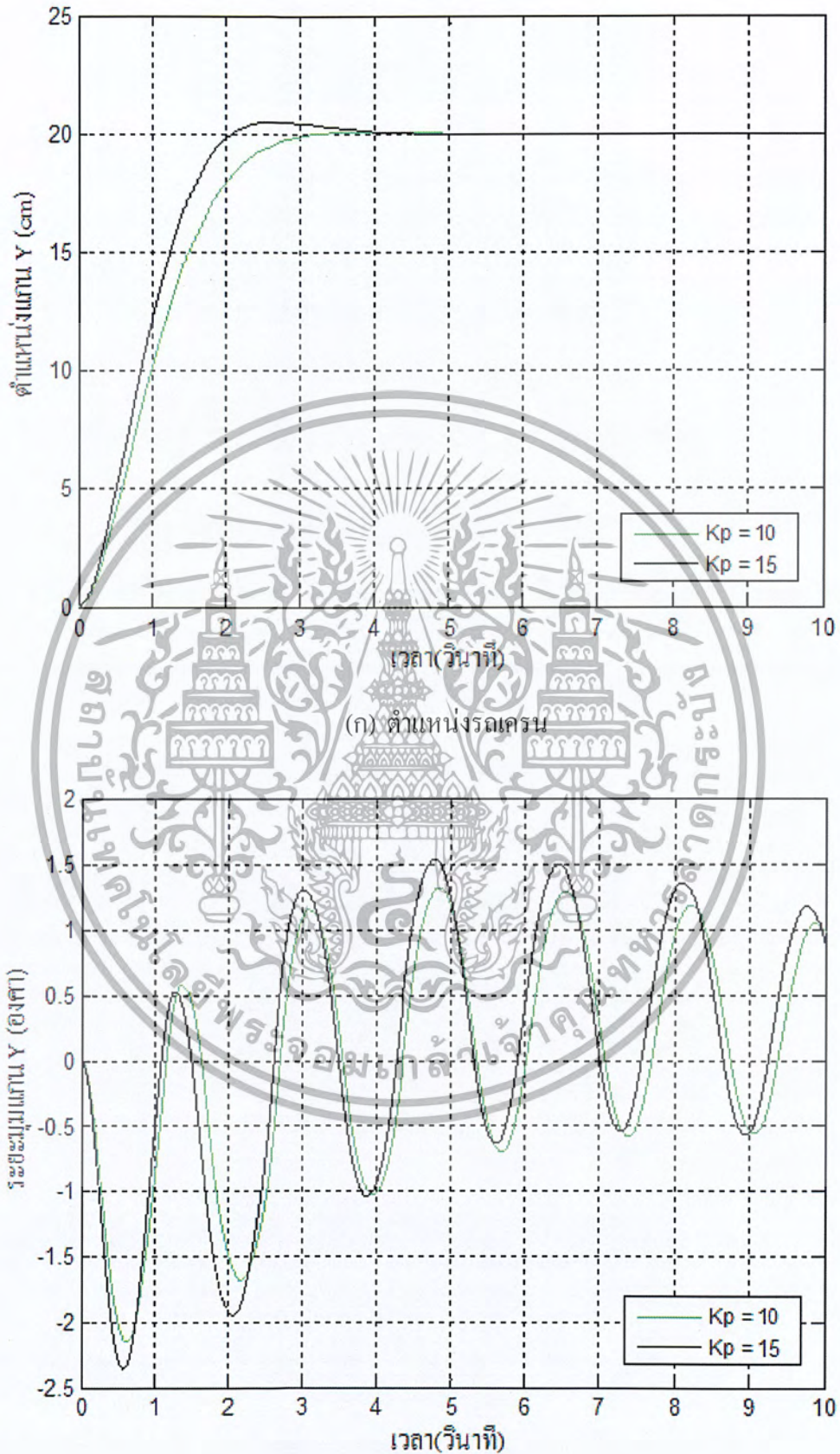
(ข) มุมการแกว่งของภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.10 ผลการจำลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน X เมื่อปรับ $K_{pi} = 15$
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



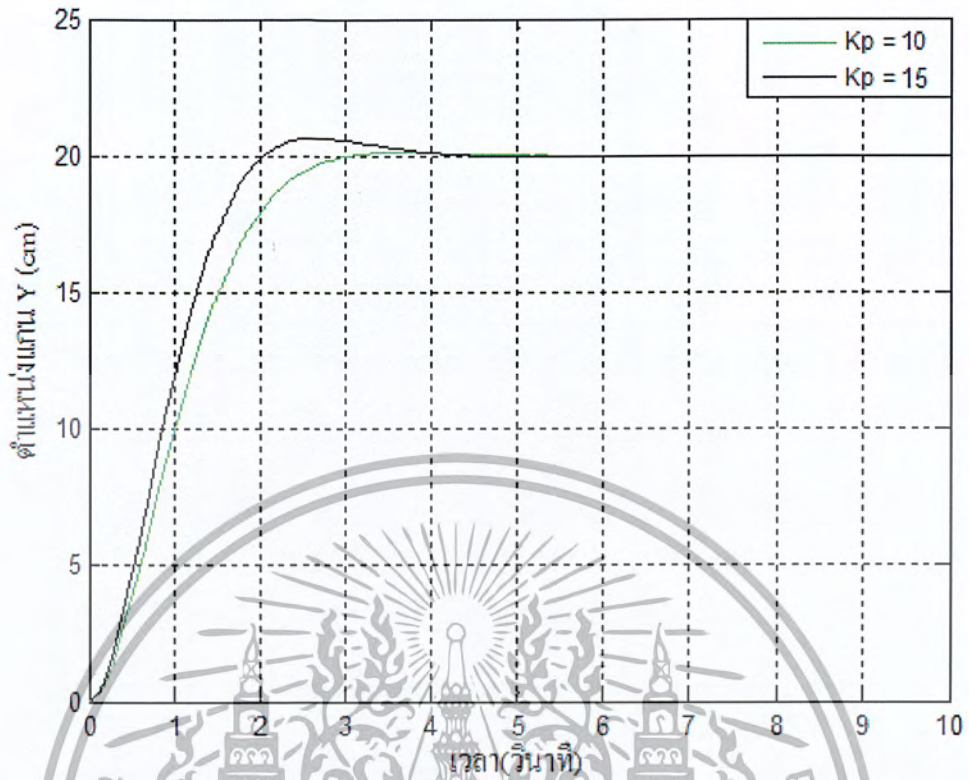
(ข) มุมการแกว่งของภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.11 ผลการจำลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน X เมื่อปรับ $K_{PI} = 25$
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

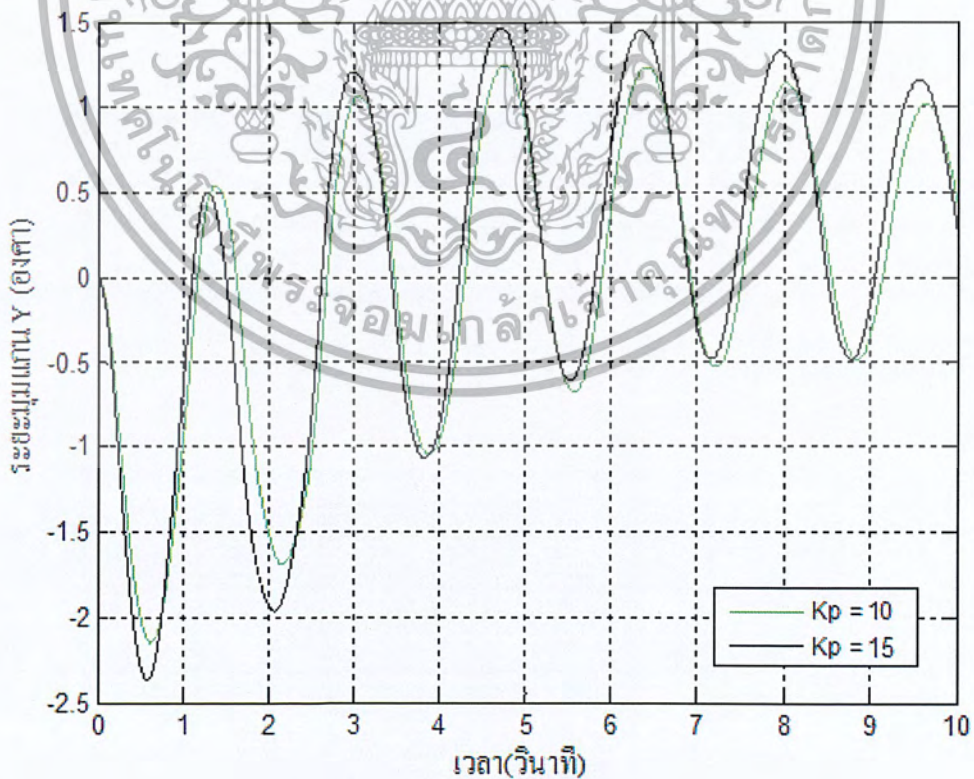


(ข) มุมการแกว่งของภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.12 ผลการจำลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน Y เมื่อปรับ $K_{pE} = 10$
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

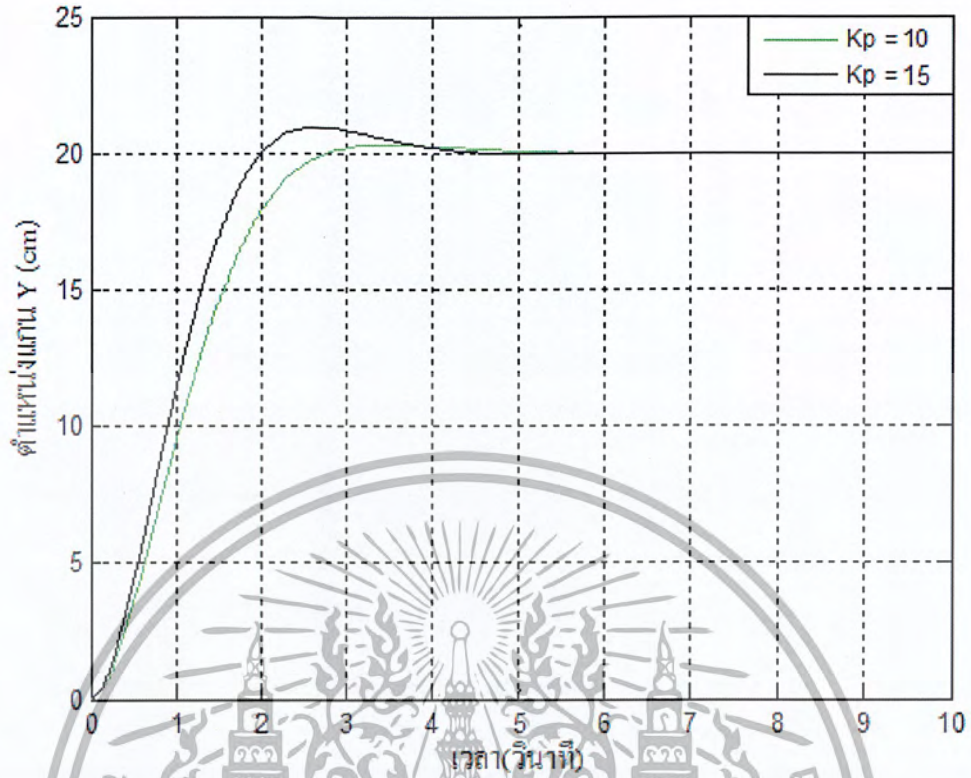


(ก) ตำแหน่งรถเครน

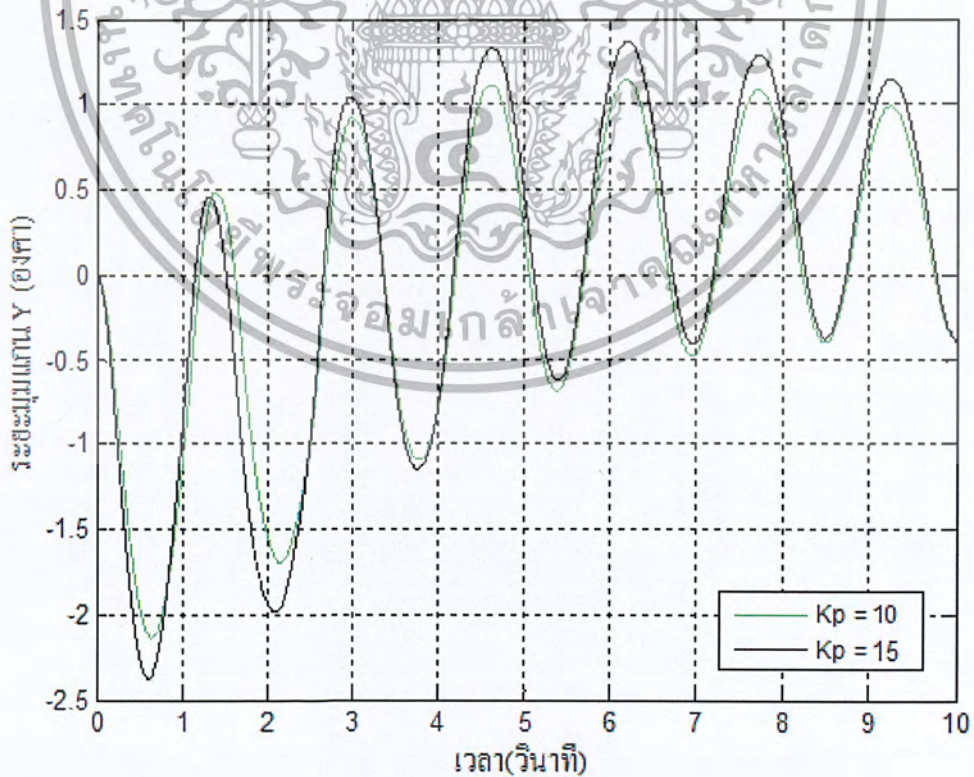


(ข) มุมการแกว่งของภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.13 ผลการจำลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน Y เมื่อปรับ $K_p = 15$
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ตำแหน่งรถเครน



(ข) มุมการแกว่งของภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.14 ผลการจำลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน Y เมื่อปรับ $K_p = 25$
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการจำลองระบบควบคุมแบบป้อนกลับทั้งระยะทางและมุมแกว่ง ทั้งแนวแกน X และ แกน Y สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.3 จากผลการจำลองเห็นว่า ทั้งในแนวแกน X และ แกน Y นั้น การปรับค่าเกน K_p ให้มีค่ามากจะสามารถทำให้รถเคลื่อนเข้าสู่ตำแหน่งได้เร็วกว่าการใช้ค่า K_p ที่ น้อย แต่จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ฟุ้งเกินสูงสุด และค่ามุมแกว่งมากกว่า ส่วนการปรับค่าเกน K_{pt} นั้น การ ปรับให้มีค่ามากจะมีผลให้มุมแกว่งมีค่าน้อยกว่าการปรับค่า K_{pt} ให้มีค่าน้อย ณ ค่า K_p เดียวกัน ซึ่งจากผลดังกล่าวเมื่อนำมาเทียบกับกับผลการจำลองที่ได้จากหัวข้อ 4.2.1 จะเห็นว่า ระบบที่ ป้อนกลับทั้งระยะทางและมุมแกว่งนั้นช่วยให้มุมแกว่งลดลงไปได้สูงสุดถึงประมาณ 40 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้การเพิ่มค่า K_{pt} เข้าไปในระบบไม่มีผลกระทบต่อการเข้าสู่ค่าเป้าหมายของ ตำแหน่งรถเคลื่อนแต่อย่างใด และยังช่วยลดค่าฟุ้งเกินลงอีกด้วย กล่าวโดยสรุปก็คือ การควบคุม ระบบด้วยตัวควบคุมแบบพี โดยป้อนกลับทั้งค่าระยะทางและมุมแกว่งให้ผลตอบสนองดีกว่าการ ป้อนกลับแต่ค่าระยะทางเพียงอย่างเดียว คือสามารถควบคุมให้รถเคลื่อนเข้าสู่ตำแหน่งได้ตามต้องการ และยังสามารถช่วยลดมุมแกว่งของภาระลงได้พอสมควร

ตารางที่ 4.3 สมรรถนะผลการจำลองระบบควบคุมซึ่งป้อนกลับระยะทางและมุมแกว่ง

แนวแกน	K_{pt}	K_p	M_p (%)	t_s (วินาที)	$ \theta_{max} $ (องศา)
X	10	5	0	5.7	1.25
		10	0	3.3	1.60
	15	5	0	5.5	1.20
		10	0.5	4.4	1.50
	25	5	0	5.0	1.05
		10	1.5	4.5	1.40
Y	10	10	0.5	5.0	1.30
		15	4.0	4.5	1.55
	15	10	1.5	5.3	1.25
		15	4.5	4.4	1.47
	25	10	2.0	5.5	1.15
		15	5.5	4.5	1.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

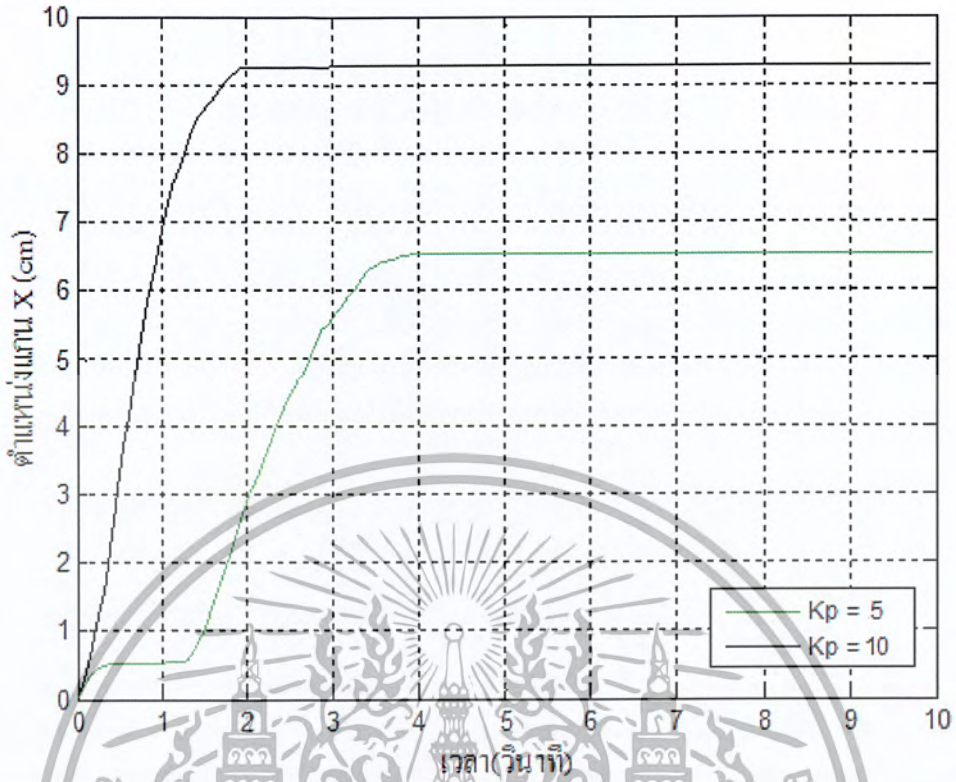
4.3 การทดลองควบคุมระบบด้วยการควบคุมแบบพี

การทดลองควบคุมระบบครน 2 มิติ ด้วยการควบคุมแบบพี จะทำการทดลองควบคุมให้รด์ครนเคลื่อนไปยังตำแหน่งเป้าหมายต่าง ๆ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ตามแบบจำลองที่ได้ออกแบบไว้ในเบื้องต้น และจะทำการพิจารณาใน 2 ลักษณะ คือ การทดลองระบบควบคุมแบบพีโดยใช้การป้อนกลับระยะทาง และการทดลองระบบควบคุมแบบพีโดยใช้การป้อนกลับทั้งระยะทาง และมุมแกว่ง เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างที่ได้จากผลการทดลองทั้ง 2 ลักษณะ ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร และแบบใดสามารถที่จะควบคุมระบบครน 2 มิติ ให้ได้ตรงตามเป้าหมายที่ต้องการ

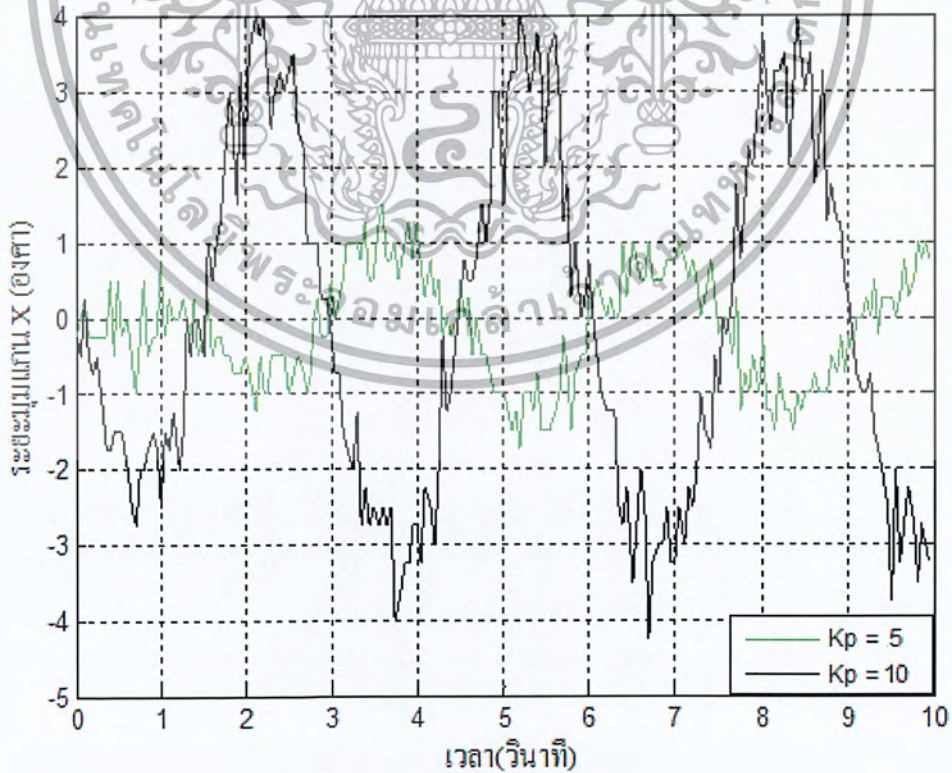
4.3.1 การทดลองระบบควบคุมแบบพีโดยใช้การป้อนกลับระยะทาง

ในการทดลองควบคุมครน 2 มิติ โดยใช้ตัวควบคุมแบบพี อาศัยการป้อนกลับระยะทางในหน่วยมิลลิเมตร ประกอบด้วยการทดลองในแนวแกน X และแนวแกน Y โดยให้รด์ครนเคลื่อนที่ไปตำแหน่งที่ 10, 20 และ 30 เซนติเมตร ซึ่งการทดลองในแนวแกน X จะปรับค่าเกน K_p เป็น 5 และ 10 ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.15, 4.16 และ 4.17 ส่วนการทดลองในแนวแกน Y จะปรับค่าเกน K_p เป็น 5, 10 และ 15 ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.18, 4.19 และ 4.20 และสามารถสรุปสมรรถนะของระบบได้ดังตารางที่ 4.4

จากผลการทดลองระบบควบคุมแบบพีโดยอาศัยการป้อนกลับระยะทางนั้นพบว่า ผลตอบสนองแตกต่างจากผลการจำลอง โดยเฉพาะเกิดความผิดพลาดในสถานะอยู่ตัว e_{ss} แต่ไม่มีค่าพุ่งเกินสูงสุดในทุกกรณี โดยเห็นได้ว่าการใช้ค่าเกน K_p ที่มากจะทำให้ระบบเข้าสู่สถานะอยู่ตัวได้เร็วกว่าการใช้ค่าเกน K_p ที่น้อย นอกจากนี้ยังช่วยลดความผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวลงได้ตามค่าเกน K_p ที่เพิ่มมากขึ้นทั้งแกน X และแกน Y แต่ในแนวแกน X มุมแกว่งจะแปรตามค่าเกน K_p อย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือเมื่อใช้ค่าเกน K_p ที่มาก มุมแกว่งก็จะมีค่ามาก ในขณะที่แนวแกน Y จะให้มุมที่ใกล้เคียงกันมากคือ ± 2 องศาในทุกกรณี และในทุก ๆ ตำแหน่ง ซึ่งถือว่าได้ผลใกล้เคียงกับแบบจำลองในหัวข้อ 4.2.1

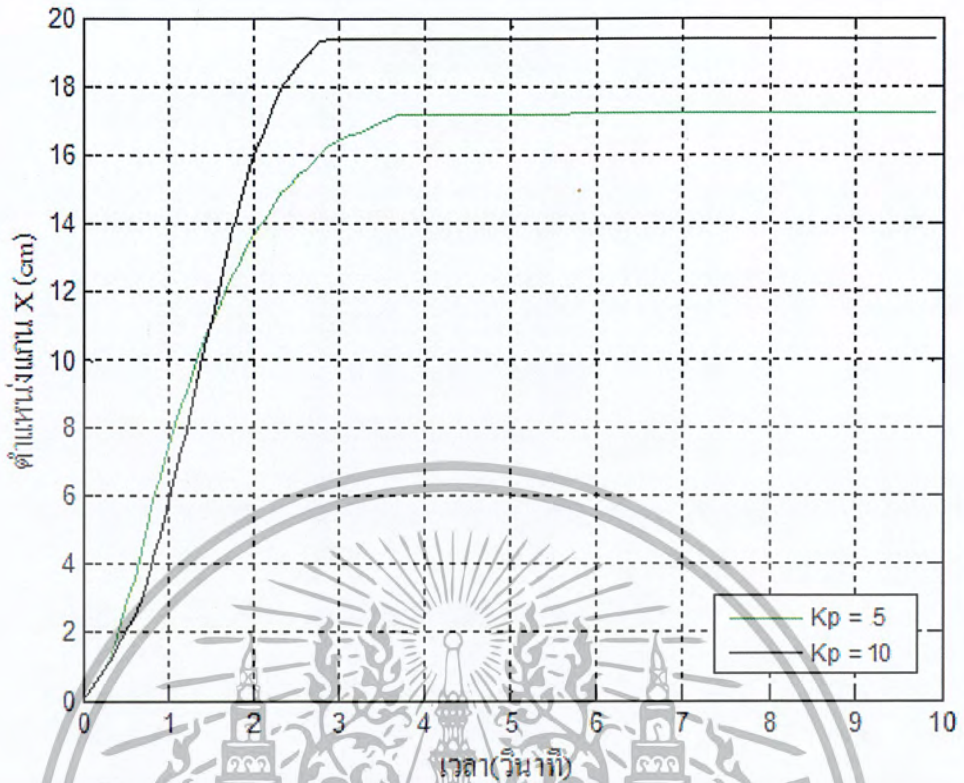


(ก) ตำแหน่งรถเครน

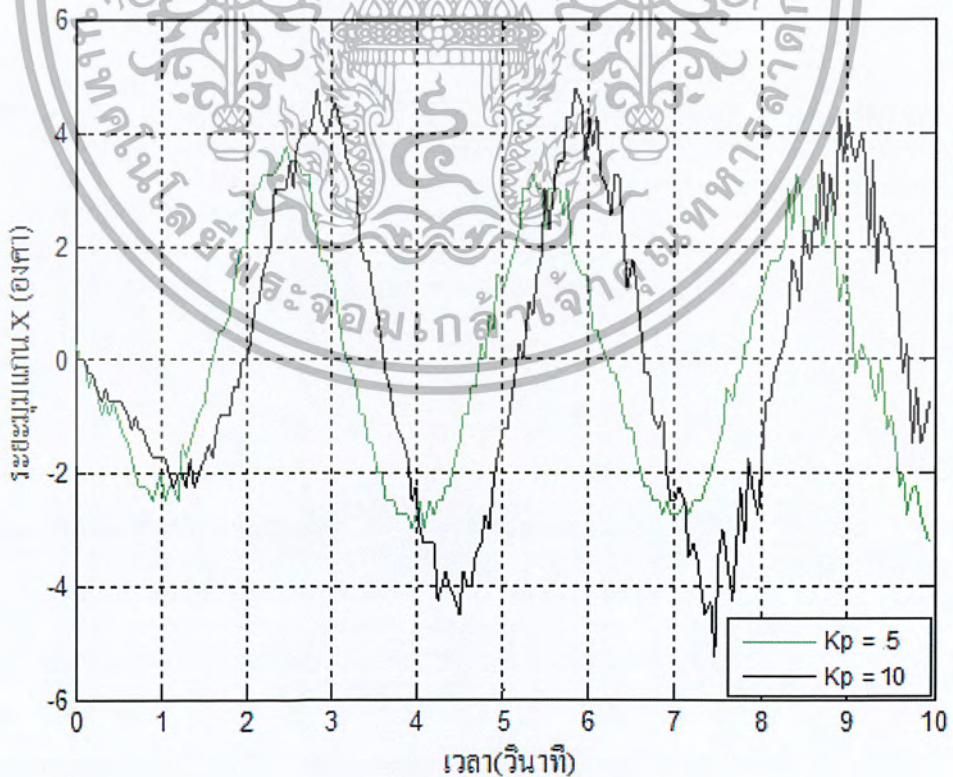


(ข) มุมการแกว่งของภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.15 ผลการทดลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน X ที่ตำแหน่ง 10 เซนติเมตร
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

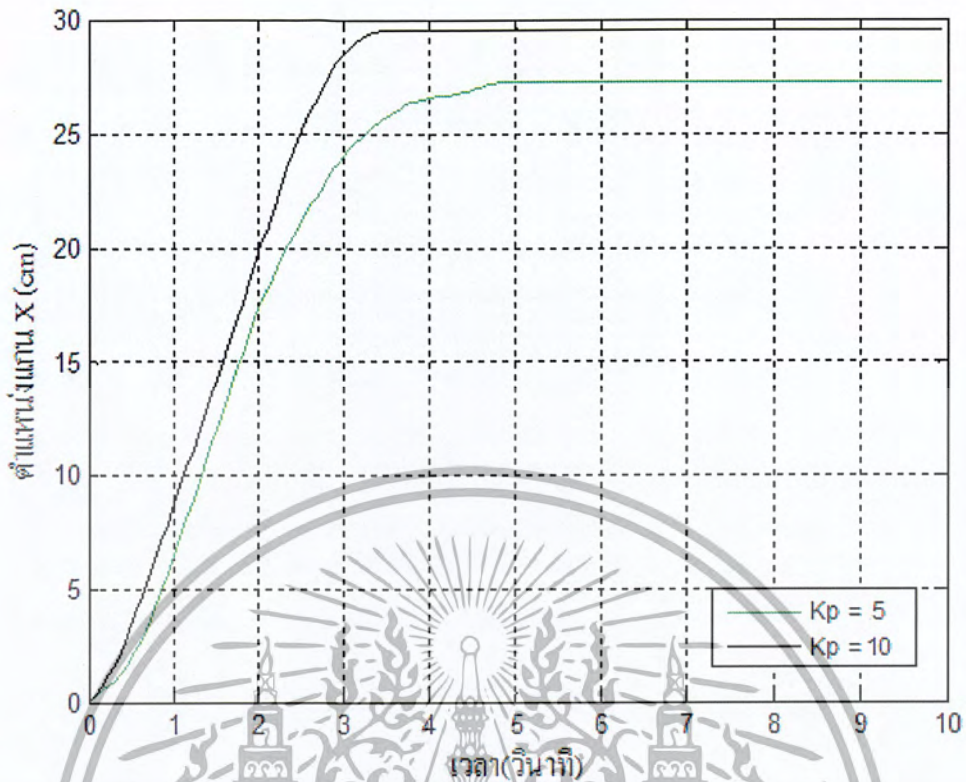


(ก) ตำแหน่งรถเครน

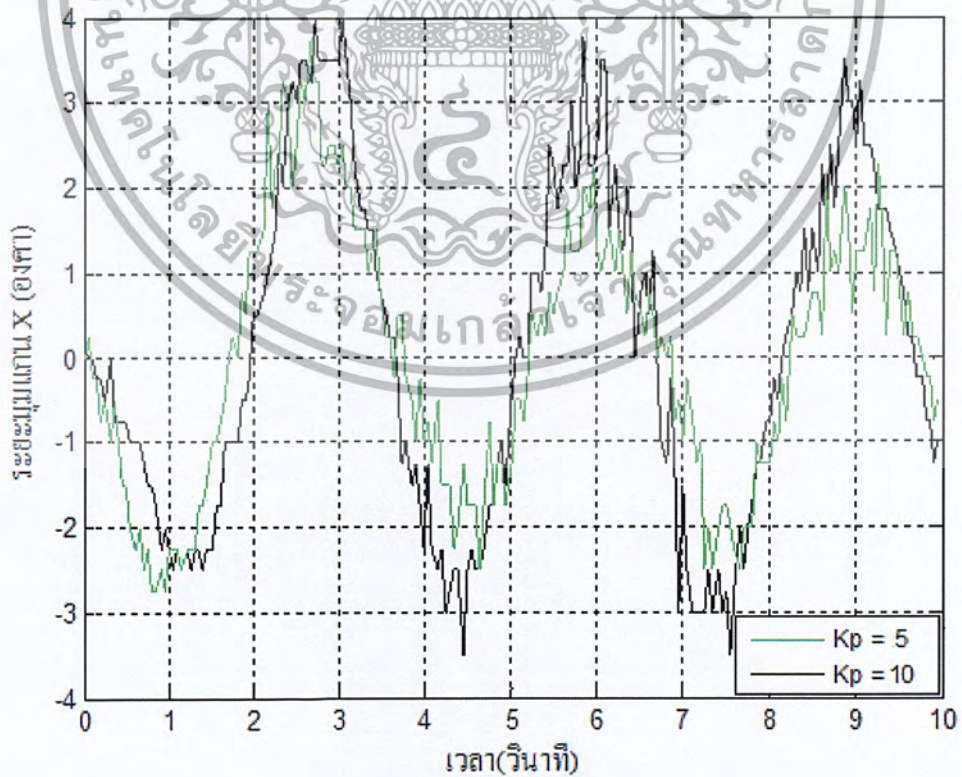


(ข) มุมการแกว่งของภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.16 ผลการทดลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน X ที่ตำแหน่ง 20 เซนติเมตร
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

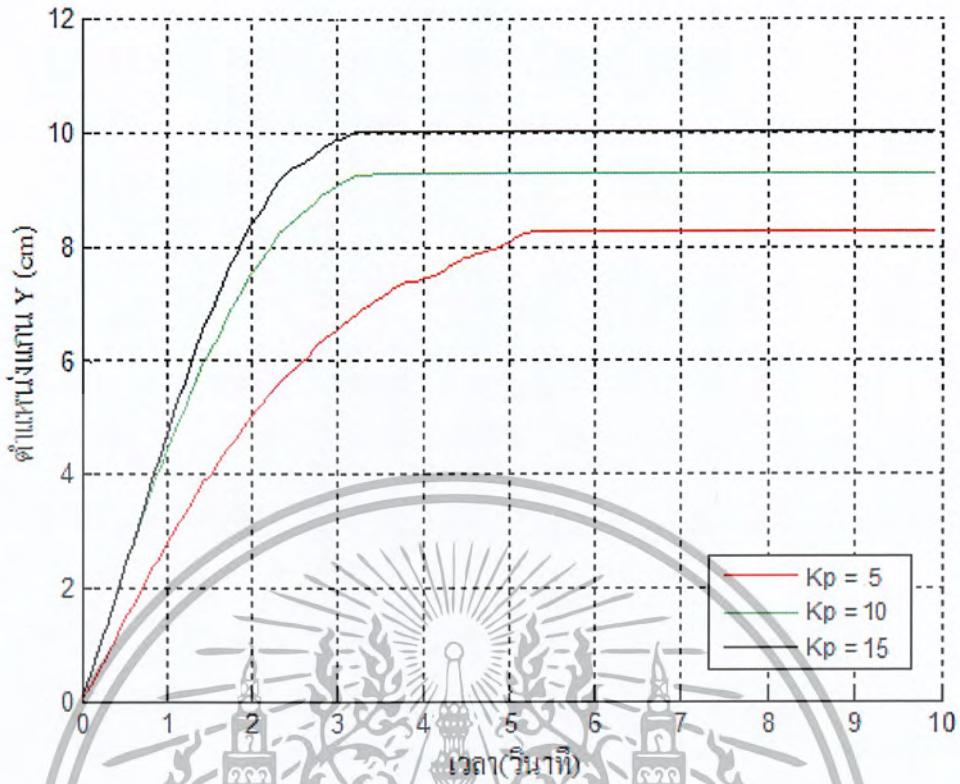


(ก) ตำแหน่งรถเครน

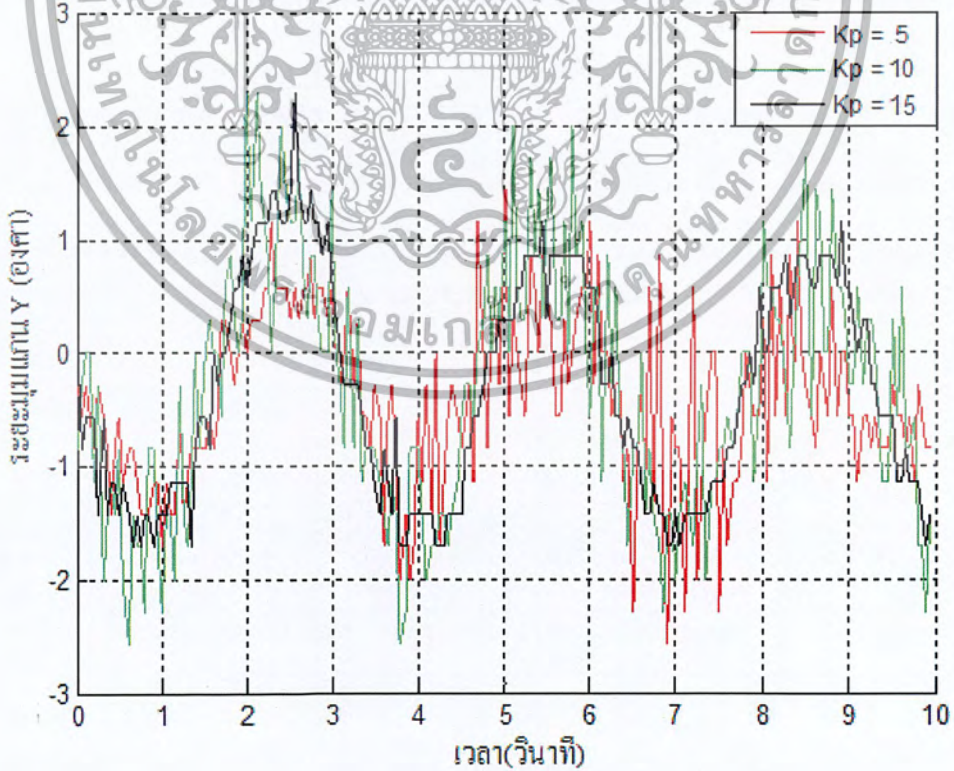


(ข) มุมการแกว่งของภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.17 ผลการทดลองระบบควบคุมแบบพี ในแนวแกน X ที่ตำแหน่ง 30 เซนติเมตร
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

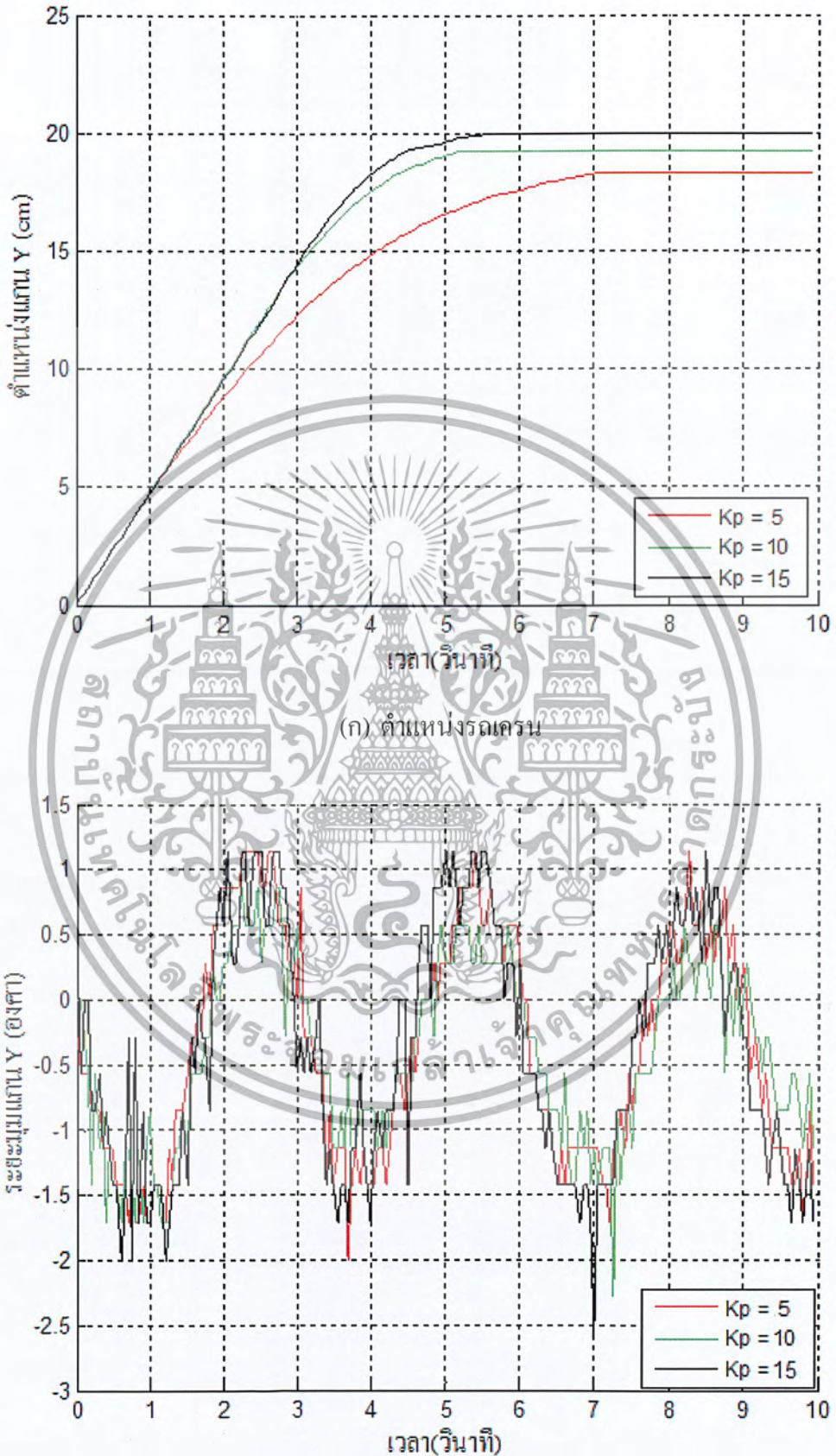


(ก) ตำแหน่งรถเครน



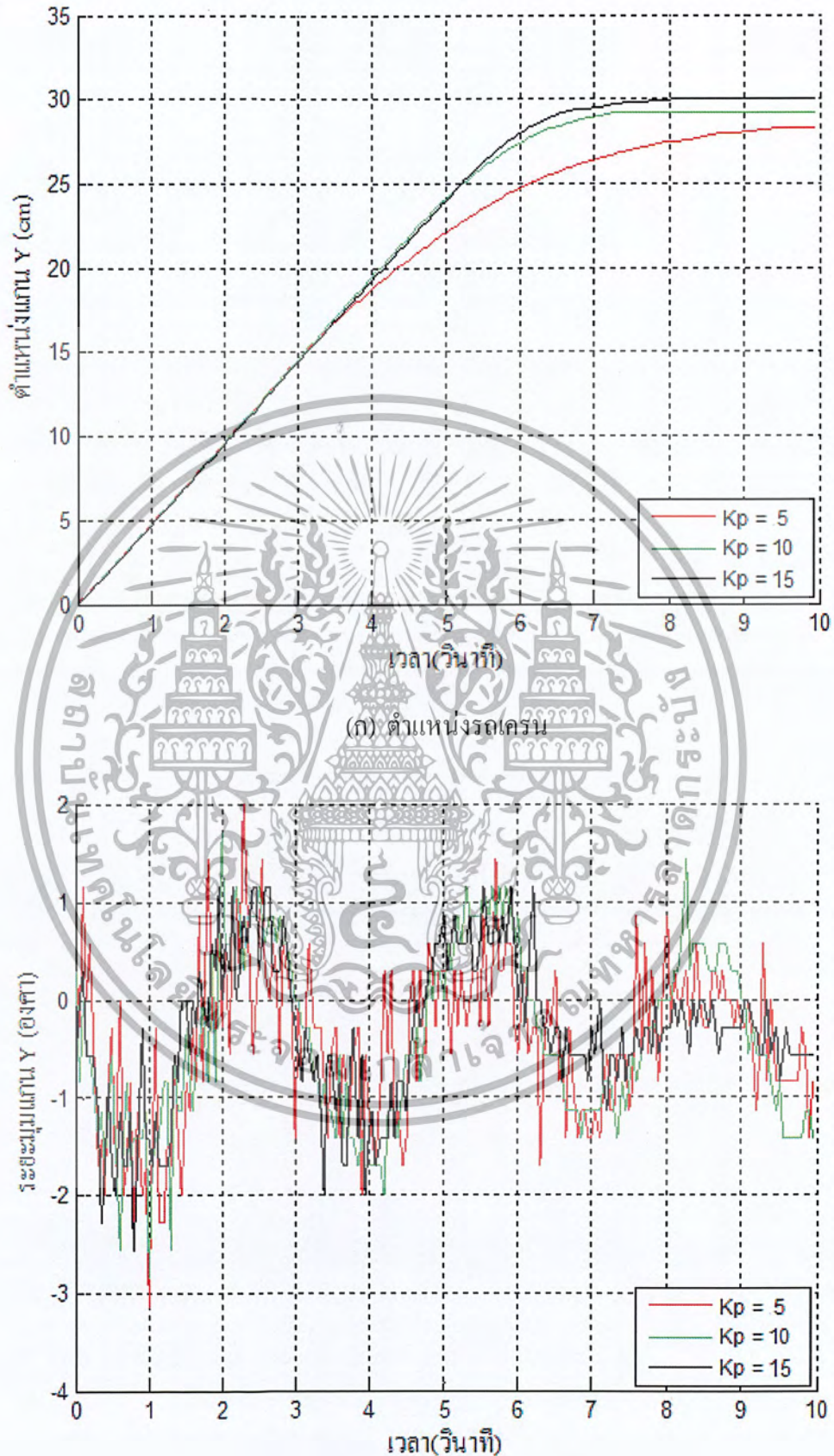
(ข) มุมการแกว่งของภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.18 ผลการทดลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน Y ที่ตำแหน่ง 10 เซนติเมตร
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) มุมการแกว่งของภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.19 ผลการทดลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน Y ที่ตำแหน่ง 20 เซนติเมตร
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) มุมการแกว่งของภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.20 ผลการทดลองระบบควบคุมแบบพีในแนวแกน Y ที่ตำแหน่ง 30 เซนติเมตร
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 สมรรถนะผลการทดลองระบบควบคุมซึ่งป้อนกลับระยะทาง

แนวแกน	ตำแหน่ง (เซนติเมตร)	K_p	t_s (วินาที)	e_{ss} (%)	$ \theta_{max} $ (องศา)
X	10	5	4.0	34.60	1.5
		10	2.0	7.40	4.0
	20	5	3.8	14.20	3.5
		10	3.0	3.20	4.2
	30	5	4.8	9.13	3.8
		10	3.3	1.50	4.0
Y	10	5	5.2	17.30	2.0
		10	3.4	7.30	2.0
		15	3.2	0	2.0
	20	5	7.0	8.50	2.0
		10	5.2	3.60	2.0
		15	5.5	0	2.0
	30	5	9.3	5.60	2.0
		10	8.2	2.50	2.0
		15	8.0	0	2.0

4.3.2 การทดลองระบบควบคุมแบบพีโดยการใช้การป้อนกลับทั้งระยะทางและมุมแกว่ง

จากการทดลองในหัวข้อ 4.3.1 จะเห็นว่า ระบบควบคุมแบบพีที่อาศัยการป้อนกลับระยะทางเพียงอย่างเดียว นั้น สามารถควบคุมตำแหน่งของรถเครนได้เมื่อเลือกใช้ค่าเกน K_p ที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามการป้อนกลับด้วยค่าระยะทางเพียงอย่างเดียวทำให้การะมีการแกว่งมาก ในหัวข้อนี้จึงพิจารณาการป้อนกลับมุมแกว่งร่วมด้วย เพื่อศึกษาว่าการป้อนกลับมุมแกว่งจะช่วยให้สามารถลดการแกว่งของภาระลงดังผลที่ได้จากแบบจำลองหรือไม่ โดยในการทดลองนี้จะเพิ่มค่าเกนส่วนการป้อนกลับมุมแกว่งเพิ่ม $K_{p\theta}$ ขึ้นอีกตัว โดยเลือกปรับค่าเป็น 10, 15 และ 25

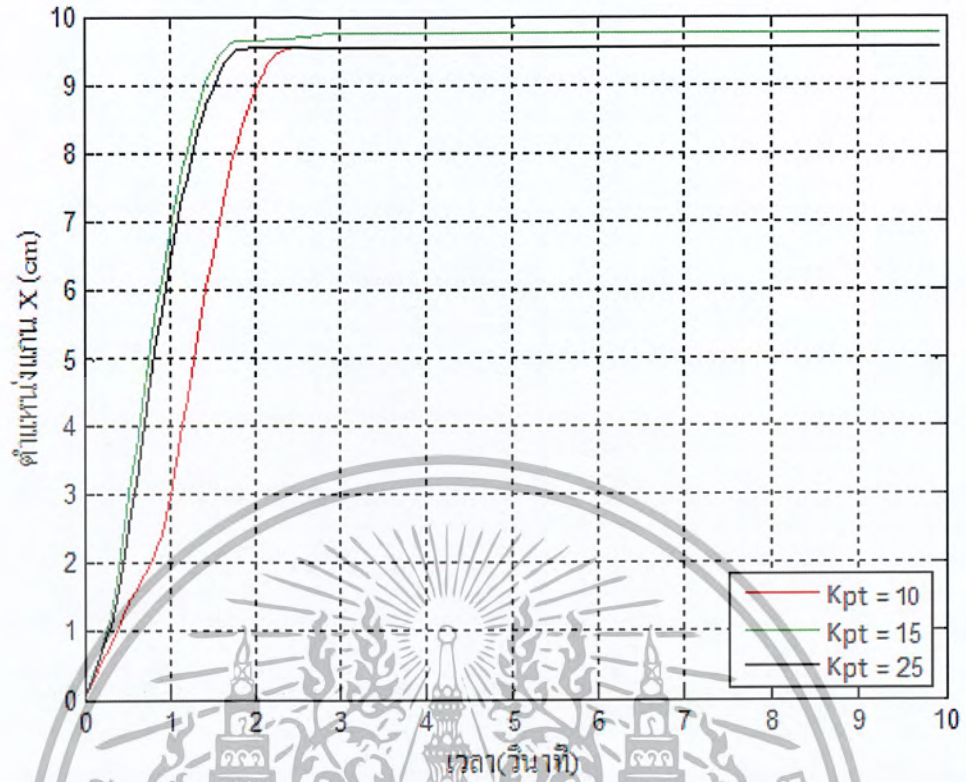
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองจะประกอบไปด้วย การทดลองในแนวแกน X และแนวแกน Y โดยให้รถเครน เคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่ง 10, 20 และ 30 เซนติเมตร และเลือกปรับค่าแกน K_p ในแนวแกน X เป็น 10 ซึ่งสังเกตได้จากหัวข้อก่อนหน้าเห็นว่าสามารถทำให้รถเครนในแนวแกน X เคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่ง ได้ใกล้เคียงที่สุด และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการปรับค่า K_p ทั้ง 3 ค่าในแต่ละตำแหน่ง ได้ผลการ ทดลองดังรูปที่ 4.21, 4.22 และ 4.23 ส่วนการทดลองในแนวแกน Y จะเลือกปรับค่าแกน K_p เป็น 15 ซึ่งสังเกตได้จากหัวข้อก่อนหน้าเห็นว่าสามารถทำให้รถเครนในแนวแกน Y เคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งได้ แม่นยำ และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการปรับค่า K_p ทั้ง 3 ค่าในแต่ละตำแหน่ง ได้ผลการทดลองดัง รูปที่ 4.24, 4.25 และ 4.26

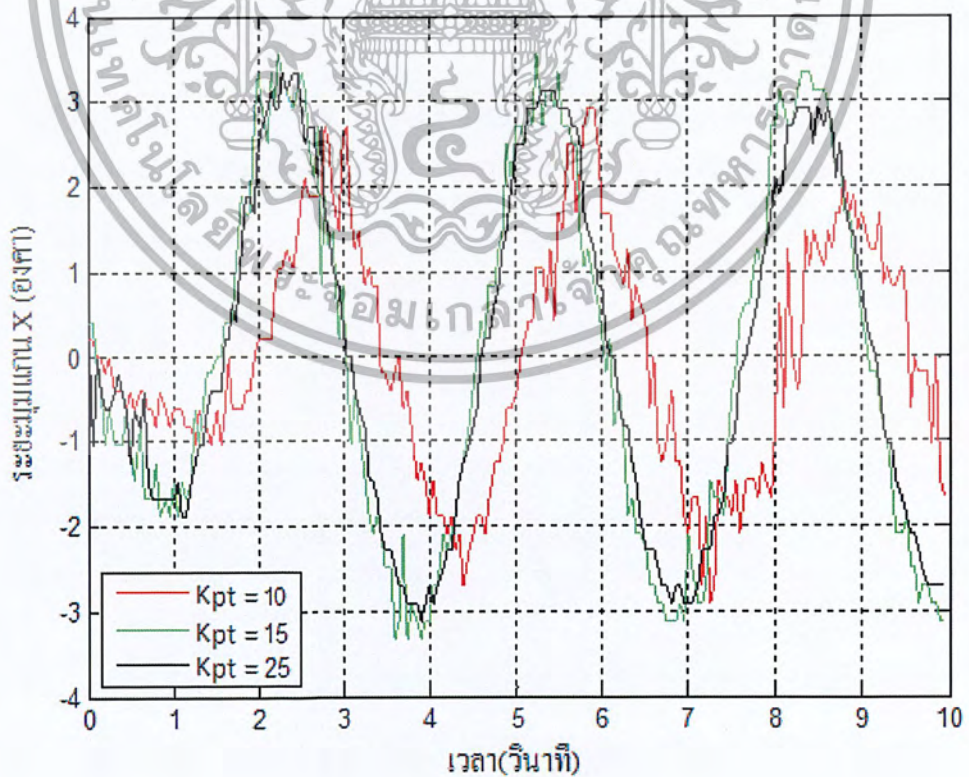
จากผลการทดลองที่ได้พบว่าไม่มีค่าพุงเกินสูงสุดในทุกกรณี และสามารถนำมาสรุป เปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 4.5 จะเห็นว่า ค่าแกน K_p นั้นไม่ได้มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด มากนัก โดยจะเห็นว่าในแนวแกน Y รถเครนสามารถเข้าสู่ตำแหน่งได้ตรงตามเป้าหมายในทุกกรณี คือเมื่อรถเครนเข้าสู่สภาวะหยุดแล้ว ไม่มีค่าความผิดพลาดเลย ในขณะที่แนวแกน X นั้นแม้จะมีค่า ความผิดพลาดที่แตกต่างกัน แต่ก็เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งในบางกรณีอาจเกิดจากการที่รางสกรูของ แกน X นั้นมีความผิดในแต่ละตำแหน่งที่ไม่เท่ากัน เป็นผลให้ผลการทดลองที่ได้นั้นเกิดการ ผิดพลาดไป ดังสังเกตได้จากที่ตำแหน่ง 10 เซนติเมตร เมื่อใช้ค่าแกน K_p เป็น 10 และที่ตำแหน่ง 30 เซนติเมตร เมื่อใช้ค่าแกน K_p เป็น 15 ในรูปที่ 4.21(ก) และ 4.23(ก) ตามลำดับ ซึ่งความผิดพลาดของ ผลการทดลองที่เกิดขึ้นนี้ยังส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ตำแหน่งผิดพลาดไปเช่นเดียวกัน จะเห็น ได้ชัดเจนจาก กรณีที่ ใช้ค่าแกน K_p เป็น 15 ที่ตำแหน่ง 30 เซนติเมตร จะเข้าสู่ตำแหน่งได้ช้ากว่า กรณีอื่นที่ตำแหน่งเดียวกัน ทั้งที่จริง ๆ แล้วค่าที่ได้ควรจะมีความเท่ากันหรือใกล้เคียงกันเช่นเดียวกับ ผลที่ได้ในแกน Y ซึ่งจะเห็นว่า ที่ตำแหน่งเดียวกันในแต่ละกรณีจะใช้เวลาเข้าสู่ตำแหน่งเท่ากัน และ จากผลการทดลองทั้ง 2 แกนพบว่าการปรับค่าแกน K_p แต่ละค่านั้น ที่ตำแหน่งเดียวกัน ไม่ได้มีผล ให้มุมการแกว่งมีค่าแตกต่างกันแต่อย่างใด แต่เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับผลที่ได้ จากหัวข้อก่อนหน้านี้ที่ตำแหน่งเดียวกัน และค่าแกน K_p เดียวกัน จะเห็นว่าเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ ตำแหน่งในแต่ละตำแหน่งทั้งแกน X และแกน Y มีค่าใกล้เคียงกันมาก และผลมุมที่ได้จากการ ทดลองควบคุมด้วยการป้อนกลับทั้งระยะทางและมุมแกว่งนั้น มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับการควบคุมที่

ป้อนกลับค่าระยะทางเพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

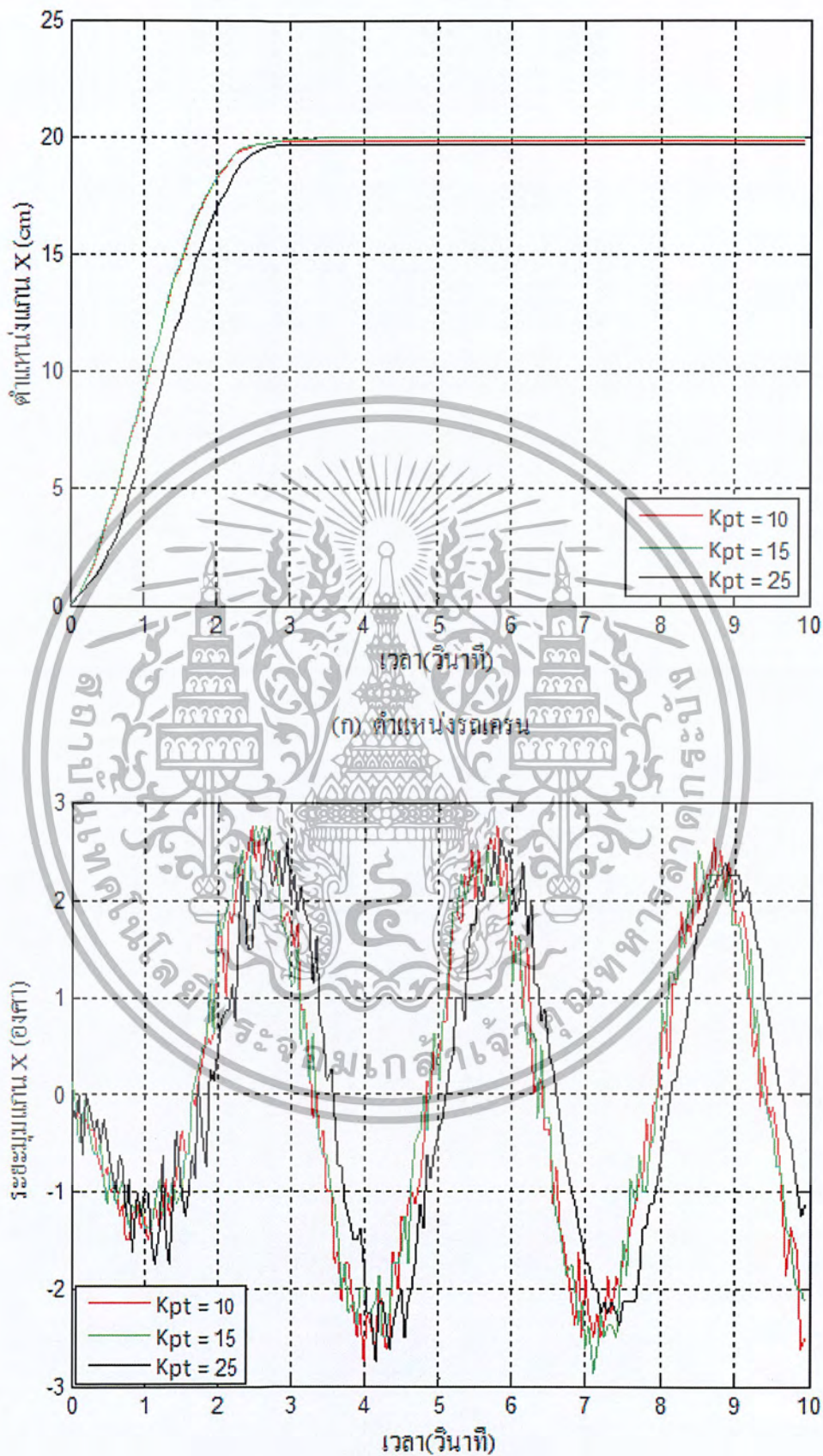


(ก) ตำแหน่งรถเครน



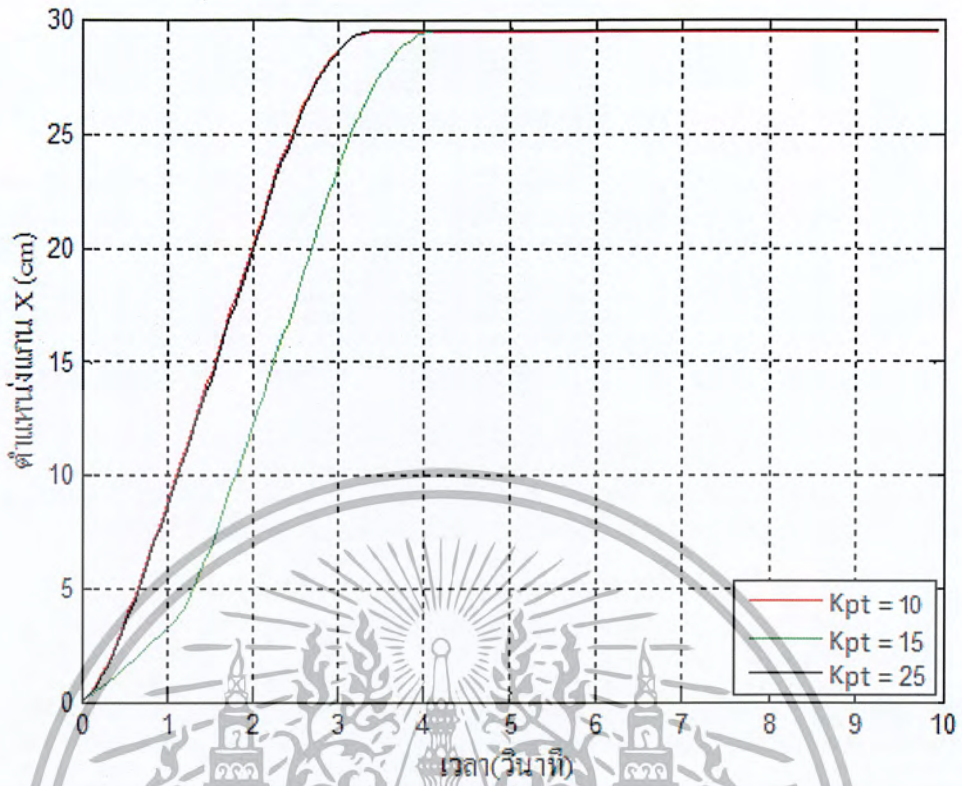
(ข) มุมการแกว่งของภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.21 ผลการทดลองระบบควบคุมในแนวแกน X เมื่อ $K_{pt} = 10$ ที่ตำแหน่ง 10 เซนติเมตร
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

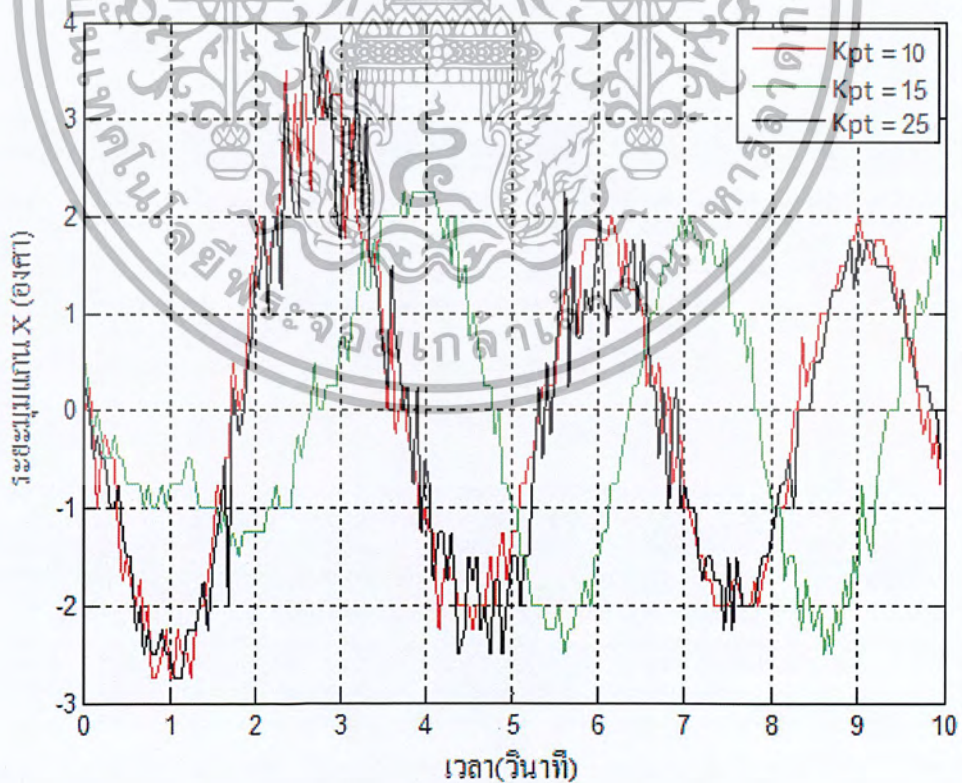


(ข) มุมการแกว่งของภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.22 ผลการทดลองระบบควบคุมในแนวแกน X เมื่อ $K_p = 10$ ที่ตำแหน่ง 20 เซนติเมตร
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

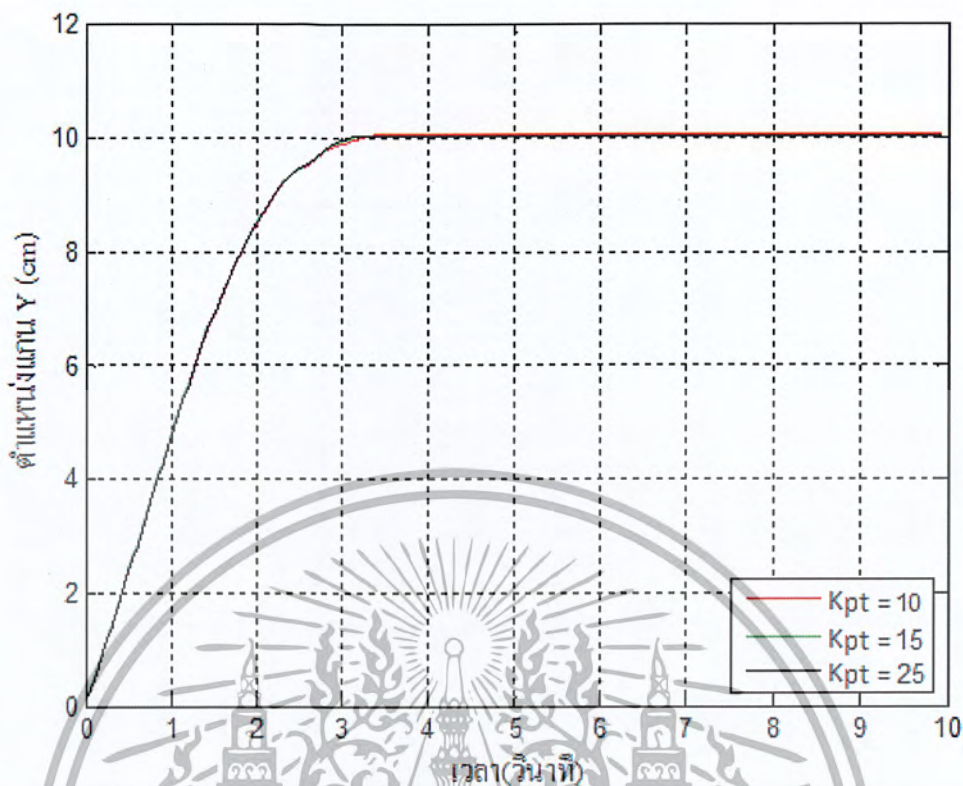


(ก) ตำแหน่งรถเกรน

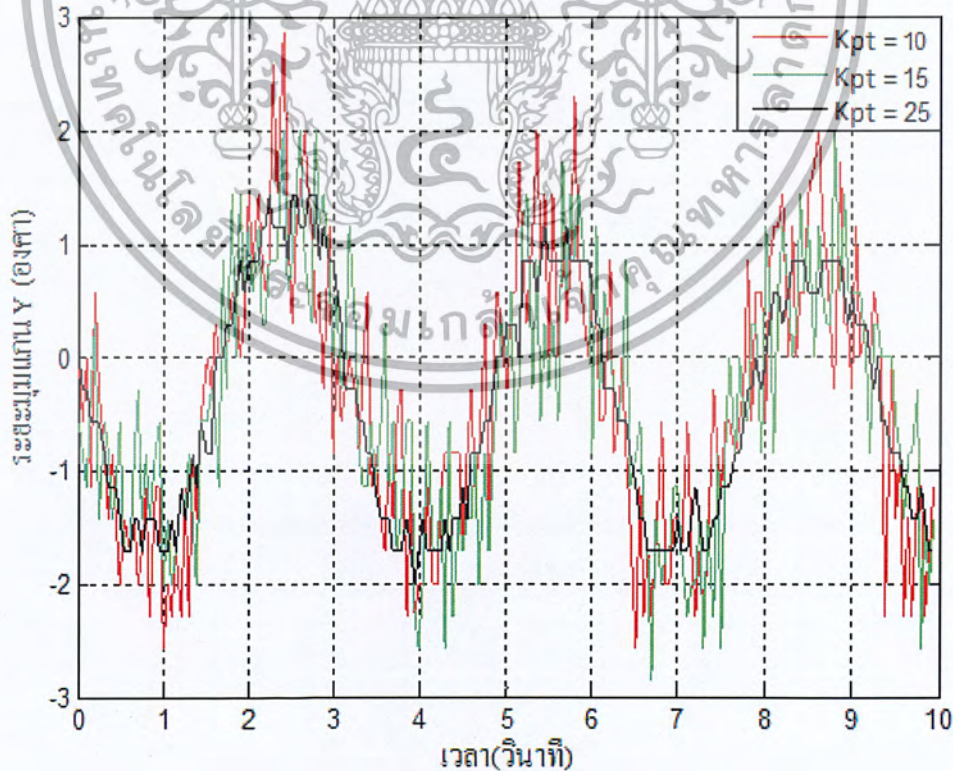


(ข) มุมการแกว่งของภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.23 ผลการทดลองระบบควบคุมในแนวแกน X เมื่อ $K_p = 10$ ที่ตำแหน่ง 30 เซนติเมตร
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

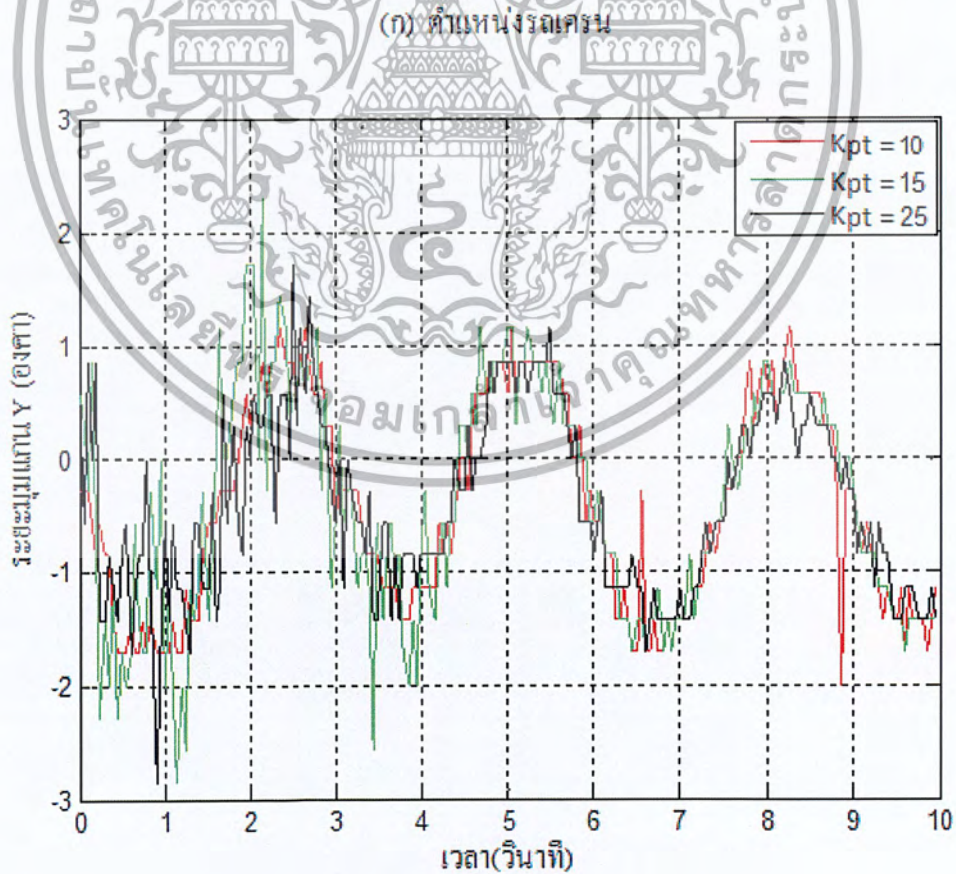
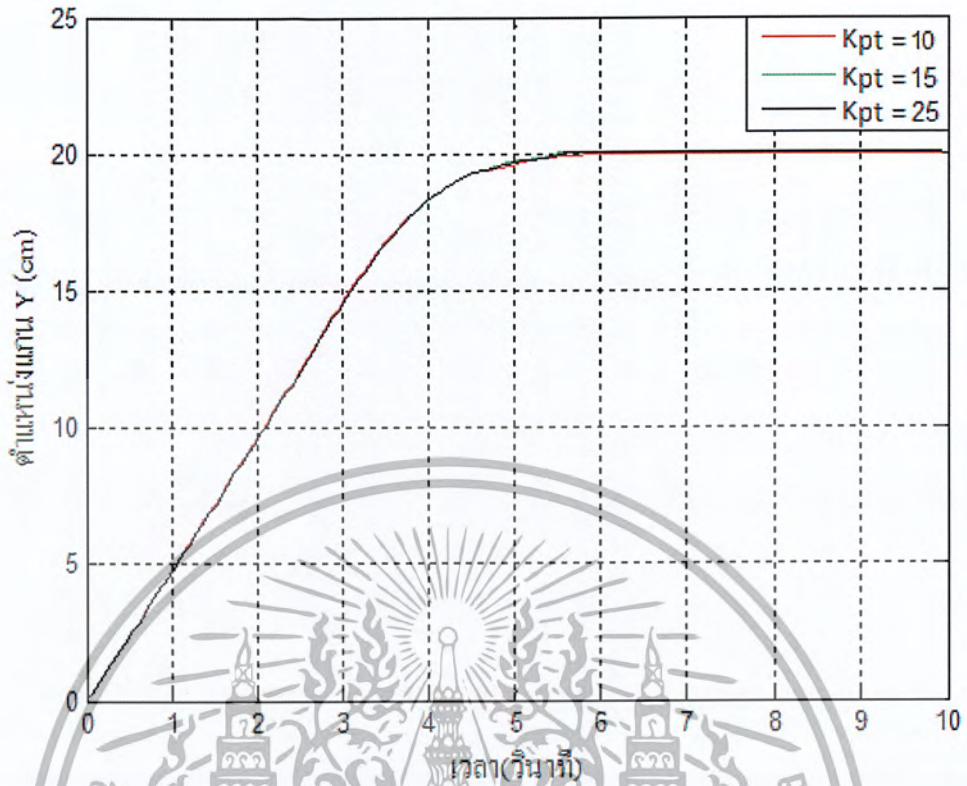


(ก) ตำแหน่งรถเล่น



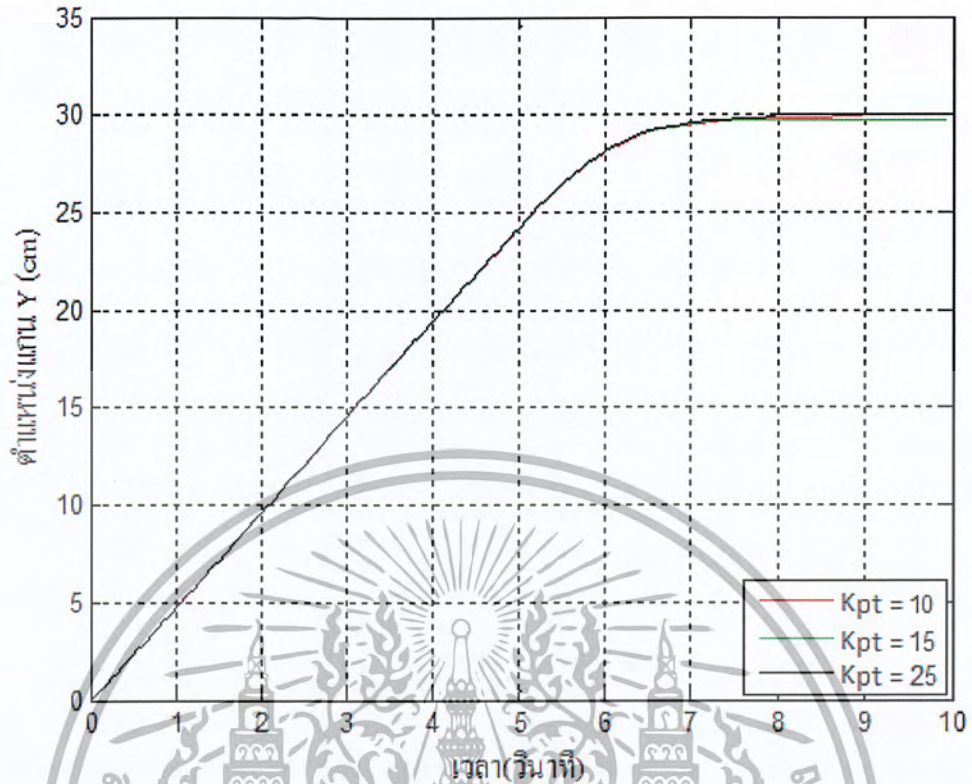
(ข) มุมการแกว่งของภาวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.24 ผลการทดลองระบบควบคุมในแนวแกน Y เมื่อ $K_p = 15$ ที่ตำแหน่ง 10 เซนติเมตร
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

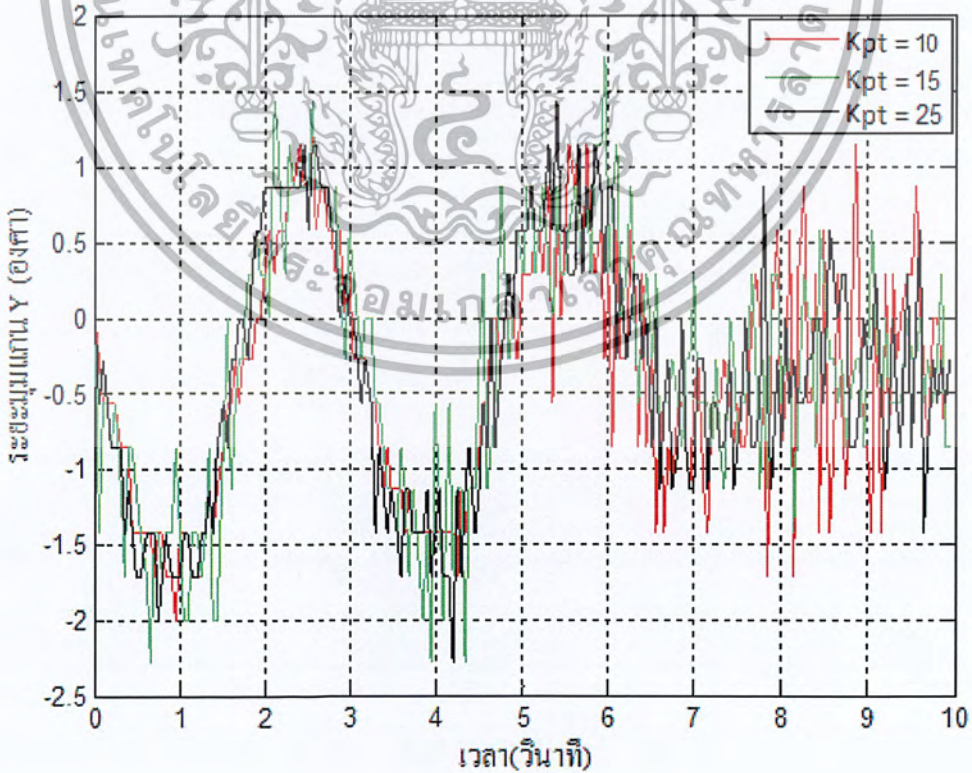


(ข) มุมการแกว่งของภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.25 ผลการทดลองระบบควบคุมในแนวแกน Y เมื่อ $K_{pt} = 15$ ที่ตำแหน่ง 20 เซนติเมตร
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ตำแหน่งรถเครน



(ข) มุมการแกว่งของเกาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.26 ผลการทดลองระบบควบคุมในแนวแกน Y เมื่อ $K_p = 15$ ที่ตำแหน่ง 30 เซนติเมตร
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 สมรรถนะผลการทดลองระบบควบคุมซึ่งป้อนกลับระยะทางและมุมแกว่ง

แนวแกน	ตำแหน่ง (เซนติเมตร)	K_{pt}	t_s (วินาที)	e_{ss} (%)	$ \theta_{max} $ (องศา)	
X ($K_p=10$)	10	10	2.4	4.60	3.0	
		15	2.7	2.30	3.0	
		25	2.0	4.60	3.0	
	20	10	2.8	0.85	2.5	
		15	2.8	0.20	2.5	
		25	2.8	1.60	2.5	
	30	10	3.4	1.83	3.4	
		15	4.0	1.63	2.2	
		25	3.5	1.63	3.4	
	Y ($K_p=15$)	10	10	3.0	0	2.0
			15	3.0	0	2.0
			25	3.0	0	2.0
20		10	5.5	0	1.5	
		15	5.5	0	1.5	
		25	5.5	0	1.5	
30		10	8.0	0	2.0	
		15	8.0	0	2.0	
		25	8.0	0	2.0	

อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองที่ได้ พบว่าในการควบคุมระบบดังกล่าว ตอนช่วงที่รถครนเริ่มต้นเคลื่อนที่นั้น จะมีความเร็วเท่า ๆ กัน และที่บางค่าแกน K_{pt} ก็จะเห็นว่าระบบเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวได้ช้า ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการที่สัญญาณควบคุมเกิดการอิมพัลส์นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 ผลสัมฤทธิ์ของโครงการ

โครงการนี้ได้ออกแบบ โครงสร้างเครนให้สามารถเคลื่อนที่ได้ในระนาบ 2 ทิศทาง และ ออกแบบวงจรประกอบที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของเครนจนแล้วเสร็จ ตลอดจนวิเคราะห์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครน 2 มิติ แล้วสร้างตัวควบคุมขึ้นจริง โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นส่วนควบคุมหลัก และคอมพิวเตอร์เป็นส่วนเชื่อมต่อผู้ใช้งาน โดยอาศัยโปรแกรมวิชวลเบสิก ซึ่งคอมพิวเตอร์จะรับคำสั่งจากผู้ใช้งานเพื่อกำหนดตำแหน่งและทิศทางการเคลื่อนที่ของรถเครน และเนื่องจากการทดลองควบคุมตำแหน่งของรถเครนนั้นอาศัยตัวควบคุมแบบพีคอมพิวเตอร์จึงต้องรับคำสั่งจากผู้ใช้งานด้วย จากนั้นคอมพิวเตอร์จึงทำการส่งคำสั่ง 2 ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมระบบให้เป็นไปตามต้องการต่อไป

ผลการทดลองในการควบคุมตำแหน่งเครน เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพี ซึ่งพิจารณาเปรียบเทียบใน 2 กรณี คือระบบควบคุมแบบพีที่ป้อนกลับเพียงระยะทาง และระบบควบคุมแบบพีที่ป้อนกลับทั้งระยะทางและมุมแกว่ง ด้วยค่าเกนต่าง ๆ กัน พบว่าการควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีที่ป้อนกลับระยะทางเพียงอย่างเดียว นั้น สามารถควบคุมตำแหน่งของรถเครนได้ทั้งในแนวแกน X และแกน Y จากการทดลองพบว่าค่าเกน K_p ที่เหมาะสมในแกน X มีค่าเท่ากับ 10 ซึ่งทำให้ผลตอบสนองมีความผิดพลาดที่สภาวะอยู่ตัวน้อย ส่วนค่าเกน K_p ที่เหมาะสมในแกน Y มีค่าเท่ากับ 15 แต่หากลดค่าเกน K_p ของตัวควบคุมแบบพีในแนวแกน X ให้มีค่าน้อยกว่า 10 และในแนวแกน Y ให้มีค่าน้อยกว่า 15 จะพบว่ารถเครนไม่สามารถเข้าสู่ตำแหน่งที่ต้องการได้ และยังมีผลตอบสนองช้าลง โดยยิ่งค่าเกนมีค่าน้อยลงระบบจะยิ่งมีความผิดพลาดที่สภาวะอยู่ตัวมากขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาผลของการแกว่งของภาระทั้ง 2 แนวแกนนั้น พบว่าภาระจะยังไม่หยุดแกว่ง ถึงแม้รถเครนจะเข้าสู่ตำแหน่งที่สภาวะอยู่ตัวแล้วก็ตาม ส่วนการใช้ระบบควบคุมโดยป้อนกลับทั้งค่าระยะทางและมุมแกว่งนั้น สามารถที่จะควบคุมให้รถเครนเข้าสู่ตำแหน่งที่ต้องการได้ เมื่อเลือกปรับค่า K_p ให้

มากเพียงพอ ซึ่งก็คือค่าเดียวกันกับที่ใช้ในระบบควบคุมที่ป้อนกลับระยะทางเพียงอย่างเดียว คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกน X ใช้ค่าแกนเท่ากับ 10 และแกน Y ใช้ค่าแกนเท่ากับ 15 และจะต้องเลือกปรับค่าแกน K_p ให้เหมาะสมเช่นกัน เพื่อที่จะให้ระบบให้ผลตอบสนองที่ดีที่สุด ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ค่าแกน K_p ทั้ง 3 ค่าคือ 10, 15 และ 25 จะให้ผลมุมที่ใกล้เคียงกันเมื่อใช้ค่า K_p ค่าเดียวกัน แต่ผลของมุมแกว่งที่ได้นั้นจะเห็นว่ามีความลดลงเมื่อนำมาเทียบกับผลมุมที่ได้จากระบบควบคุมที่ป้อนกลับระยะทางอย่างเดียว โดยจะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนในแนวแกน X ทั้ง 3 ตำแหน่ง คือลดลงจาก ± 4 องศาเหลือประมาณ ± 3 องศา ซึ่งพบว่าสามารถลดมุมแกว่งลงไปได้ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในแนวแกน Y จะสังเกตเห็นได้ค่อนข้างชัดเจนที่ตำแหน่ง 30 เซนติเมตร โดยลดลงจากประมาณ ± 2 องศาเหลือประมาณ ± 1 องศาที่ตำแหน่งสภาวะอยู่ตัว ซึ่งจะเห็นว่าลดลงไปถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่ตำแหน่ง 10 และ 20 เซนติเมตรนั้นลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นการควบคุมระบบครน 2 มิติด้วยระบบควบคุมแบบพี โดยป้อนกลับทั้งระยะทางและมุมแกว่งสามารถที่จะควบคุมให้รถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้ และยังช่วยลดมุมแกว่งของภาระลงได้ เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว โดยการเลือกปรับค่าแกน K_p และ K_{p_i} ในแต่ละแกนให้เหมาะสม ระบบควบคุมดังกล่าวก็จะสามารถทำงานได้ตรงตามเป้าหมายอย่างมีประสิทธิภาพ ตรงตามแบบจำลองควบคุมระบบที่ได้ออกแบบไว้

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข

ในการศึกษาระบบควบคุมตำแหน่งครน 2 มิติ มีปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไขอยู่ 3 ข้อ ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

1. เนื่องจากบอลลูนในแนวแกน X มีอายุการใช้งานที่นาน และเกิดการบิดงอขึ้นในรางบ้างเล็กน้อย จึงทำให้ความผิดพลาดในแนวแกนแต่ละช่วงไม่เท่ากันและส่งผลให้ความเร็วของรถครนไม่เป็นไปตามโปรแกรมควบคุมที่ออกแบบไว้ นอกจากนี้ยังมีการสั่นสะเทือนในขณะที่รถครนกำลังเคลื่อนที่ ทำให้เซ็นเซอร์วัดมุมแกว่งวัดค่ามุมแกว่งคลาดเคลื่อน วิธีแก้ไขคือ ควรติดตั้งบอลลูนชุดใหม่ ในแนวแกน X

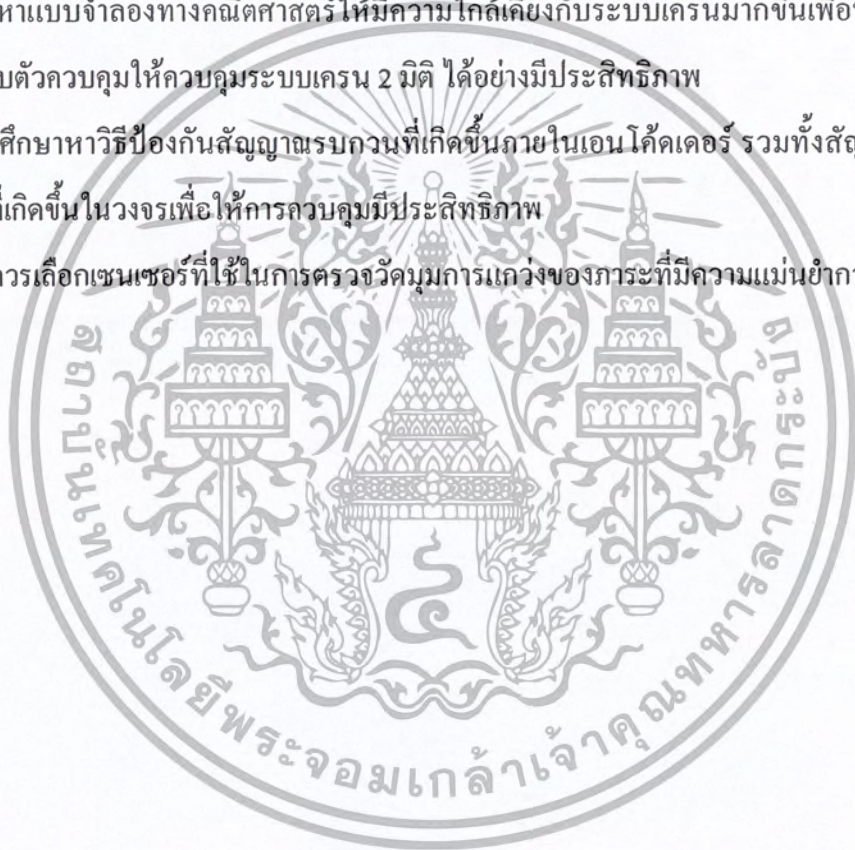
2. เซ็นเซอร์วัดมุมแกว่งมีความละเอียดในการวัดน้อย ทำให้ค่ามุมแกว่งที่เซ็นเซอร์วัดได้มีความคลาดเคลื่อน วิธีแก้ไขคือ เปลี่ยนเซ็นเซอร์วัดมุมแกว่งของภาระให้มีความละเอียดและมีความแม่นยำสูงกว่าเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. มีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นภายในเอนโค้ดเดอร์ ซึ่งเป็นปัญหาที่ทำให้การตรวจวัดระยะทางผิดพลาดและอาจทำให้การประมวลสัญญาณควบคุมเกิดผิดพลาดได้ ในการแก้ปัญหาควรต่อสายกราวด์ของเอนโค้ดเดอร์ เข้ากับโครงสร้างครенซึ่งจะช่วยลดสัญญาณรบกวนได้

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนาต่อ

1. เปลี่ยนบอลสกรูในส่วนของแกน X ให้มีระยะทางในการเคลื่อนที่เท่ากับบอลสกรูที่ใช้ในแกน Y
2. หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้มีความใกล้เคียงกับระบบครенมากขึ้นเพื่อให้สามารถออกแบบตัวควบคุมให้ควบคุมระบบครен 2 มิติ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. ศึกษาหาวิธีป้องกันสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นภายในเอนโค้ดเดอร์ รวมทั้งสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในวงจรเพื่อให้การควบคุมมีประสิทธิภาพ
4. ควรเลือกเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดมุมการแกว่งของภาระที่มีความแม่นยำกว่า





ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

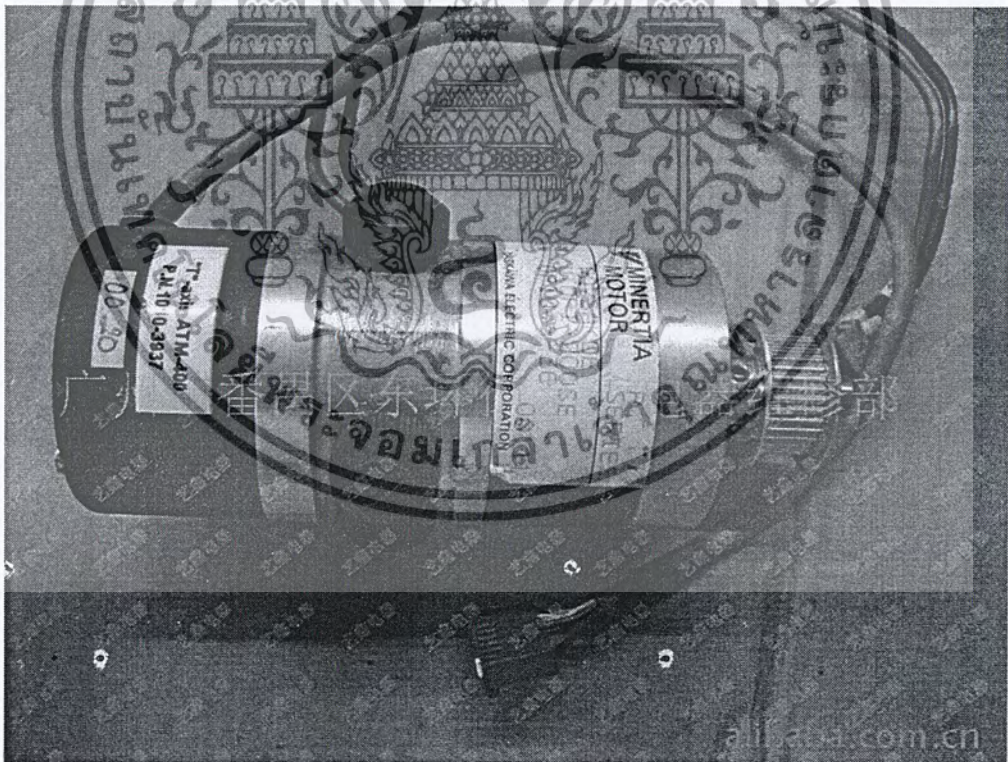
ภาคผนวก ก.

คู่มือประกอบการใช้งานอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในโครงการ

ในส่วนของ ภาคผนวก ก: จะอธิบายในรายละเอียดสำคัญของ อุปกรณ์วัดตำแหน่ง และ อุปกรณ์ประกอบอยู่ภายในส่วนต่างๆ ของวงจรที่ได้สร้างขึ้นเพื่อควบคุมตำแหน่งครน 2 มิติ

ก.1 มอเตอร์และอุปกรณ์วัดตำแหน่ง

มอเตอร์และอุปกรณ์วัดตำแหน่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญสำหรับโครงการนี้ เลือกใช้มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรของ Minertia Motor RM Series รุ่น 02MA2OE และมีอุปกรณ์วัดตำแหน่ง หรือ เอ็นโค้ดเดอร์ เป็นชนิดอินคริเมนทัลเอ็นโค้ดเดอร์ ประกอบติดมากับมอเตอร์



รูปที่ ก.1 มอเตอร์และอุปกรณ์วัดตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งานมอเตอร์

คู่มือการใช้มอเตอร์กระแสตรง Minertia Motor RM Series รุ่น 02MA2OE ซึ่งมีเอนโค้ดเดอร์

ติดมากับมอเตอร์ มีข้อมูลดังนี้

FEATURES

- High performance DC servomotor
- Magnetic field formation using rare earth magnet
- Rated speed as high as 3000 rpm
- Compact and light weight : Small diameter, Short length
- Excellent torque/weight and torque/volume ratios
- Totally-enclosed construction having slot core armature
- Available with optical encoders, feedback units, DC tachometers
- Suitable motor controllers available for special applications
- Unique bearing configuration—no thrust movement of motor shaft

RATINGS AND SPECIFICATIONS

Time rating: Continuous

Insulation:

Class B for Type UGRMEM-01SA to -08MB
Class F for Type UGRMEM-04SA and -40MA

Dielectric Strength:

500VAC min. for Type UGRMEM-01SA to -08SA
1000VAC min. for Type UGRMEM-08MB to 40SA
1500VAC min. for Type UGRMEM-40MA

Enclosure: Totally-enclosed self-cooled type

Ambient Temperature: -10°C to +40°C in operation
-20°C to +60°C in storage (no condensation)

Humidity: 35% to 80% RH in operation
10% to 80% RH in storage (no condensation)

Vibration: V-15

Finish in Munsell Notation: N1.5 (Black)

Excitation: Permanent magnet

Mounting: Flange-mounted type

Drive Method: Direct drive

Table 1 Ratings and Specifications

Spec.	Unit	01SA	02SA	03SA	04SA	04MA	08SA	08MB	40SA	40MA
Peak Rated Torque	N.m	0.53	1.06	1.77	2.12	3.53	4.41	7.06	8.38	15.1
Rated Torque	N.m	0.106	0.212	0.353	0.424	0.706	1.06	1.77	3.18	6.0
Torque Constant	N.m/A	0.0534	0.0573	0.0812	0.084	0.119	0.142	0.231	0.365	0.487
Armature Winding Resistance	Ω (at 25°C)	2.75	1.12	0.94	0.59	0.41	0.41	0.49	0.57	0.34
Armature Inductance	mH	1.2	0.9	0.9	0.7	0.6	1.2	2.0	4.0	3.1
Peak Current	A	10	18.8	22.1	25.5	30.1	37.5	36.5	27.6	36.3
Voltage Constant	V/1000rpm	5.6	6.0	8.5	8.8	12.4	14.9	24.2	38.2	51.0
Viscous Damping Constant	mN.m/1000rpm	2.94	5.88	10.8	15.7	26.5	25.5	17.7	28.4	51.0
Friction Torque	mN.m	6.37	16.7	24.5	25.5	36.3	49.0	58.8	110	137
Inertia	$\text{kg}\cdot\text{m}^2 \times 10^{-4}$	0.046	0.157	0.28	0.95	1.68	5.1	8.3	25.9	44.1
Mechanical Time Constant	ms	4.4	5.4	4.0	8.0	4.9	10	7.7	11	6.1
Electrical Time Constant	ms	0.44	0.6	0.96	1.2	1.5	2.9	4.1	7.1	9.4
Power Rate	kW/s	2.44	2.86	4.45	1.87	2.97	2.2	3.73	3.94	8.16
Torque Inertia Ratio	rad^2/s^2	23000	13500	12600	4410	4210	2080	2120	1230	1360
Thermal Resistance	°C/W	3.5	2.33	1.86	1.86	1.55	1.25	1.0	0.8	0.6
Max Temperature Rise	°C	100	100	100	100	100	100	100	130	130
Rated Speed	rpm	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	2500	2200
Max Safe Operating Speed	rpm	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	3500
Cooling Required	cfm, m ³ /h ² O	Totally-enclosed self-cooled								

Note: Rated torque is indicated by allowable continuous torque value at ambient temperature 40°C.

when the following heat dissipating aluminum plate is mounted on the motor:

150 mm × 150 mm × 3 mm for type UGRMEM-01,

250 mm × 250 mm × 6 mm for type UGRMEM-02, 04,

300 mm × 300 mm × 12 mm for type UGRMEM-08, 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของ บริษัท อุตสาหกรรมเครื่องจักรกล จำกัด การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRIC CHARACTERISTICS

SPEED-TORQUE CHARACTERISTICS

Speed-torque characteristics shown in Fig. 1 are based on armature voltage (E_t) and armature current (I_a) maintained constant at an armature winding temperature of 100°C.

E_t : Armature voltage
 A: Continuous duty zone
 B: Intermittent duty zone
 C: Recommended commutation limit

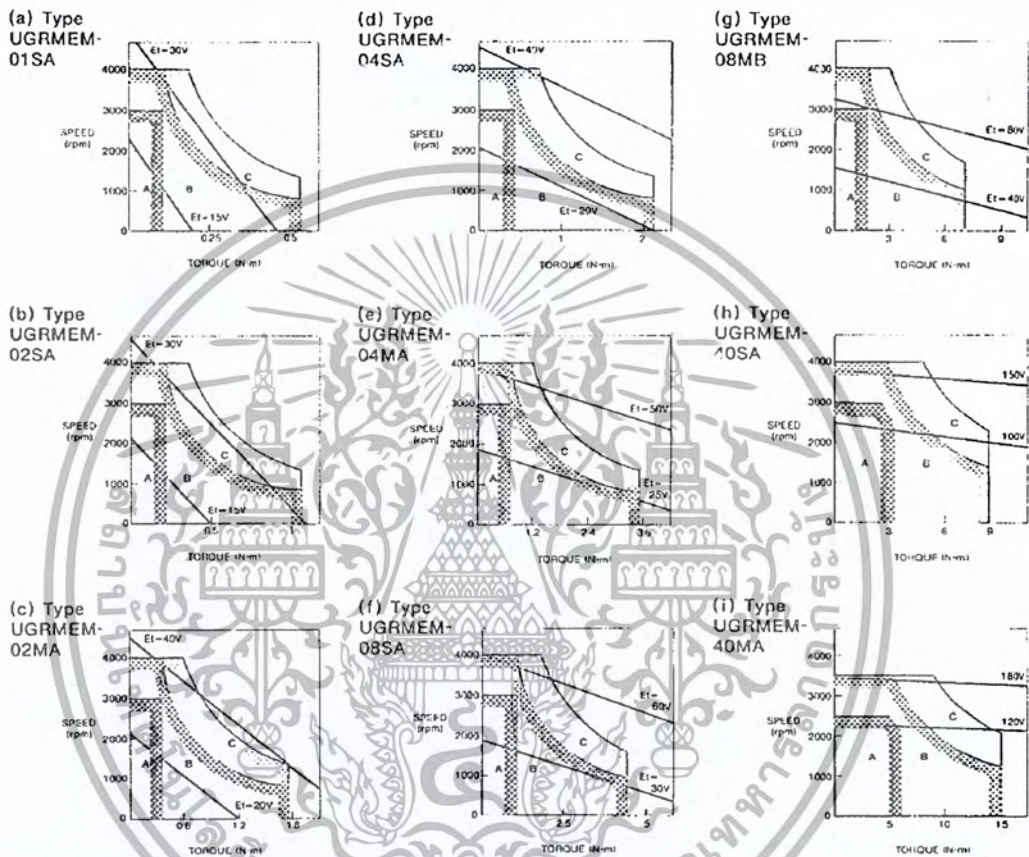


Fig. 1 Speed-Torque Characteristics

TYPE DESIGNATION

UGRM EM 02S A 2 O E

Minertia Motor RM Series TOTALLY-ENCLOSED SELF-COOLED FRAME SIZE		DESIGN ORDER	OPTIONAL DETECTORS (MODULAR SERIES)
01S	30W	CONFIGURATION OF FLANGE SHAFT	- Motor alone
02S	60W		E Optical encoder
02M	100W	2 D face (Square flange) Straight shaft	7 DC tachometer generator Type G7SVC
04M	200W	K C face (Round flange) Straight shaft	F Feedback unit (Encoder & TGI)
06S	300W		B Brake
08M	500W		W Brake, DC tachometer generator
40S	800W		D Brake, Optical encoder
40M	1300W		Z Brake, Feedback unit

O Without Oil Seal
 S With Oil Seal
 X Special

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STARTING AND OVERLOAD CHARACTERISTICS

Fig. 2 shows the allowable conduction time of armature current at starting and during overload operation.

At cold condition (A) - Curves are obtained at

starting operation when armature temperature is equal to ambient temperature.

At hot condition (B) - Curves obtained when armature temperature is at optimum at the rated operation.

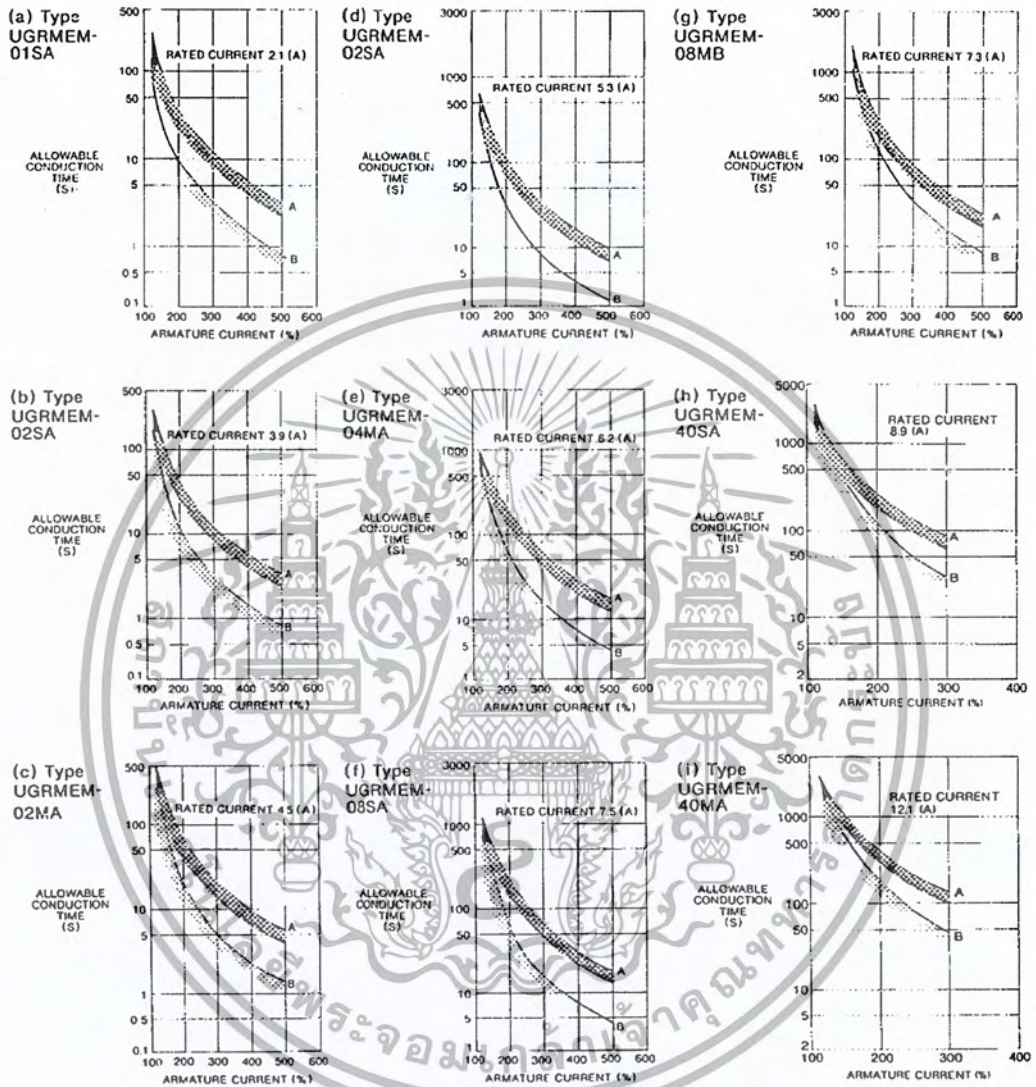


Fig. 2 Starting and Overload Characteristics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MODULAR MINERTIA MOTORS RM SERIES

Modular Minertia Motors consist of any combination of Minertia Motor RM series with DC tachometer generator, optical encoder, or magnetic brake.

Table 6 List of Options Combined with Minertia Motors RM Series

○: Standard ◯: Available on order ×: Not manufactured

Type Options	TG	E	B	FBU	W	D
	TG	OP	BR	FBU	TG	OP
01SAKO	○	○	×	×	×	×
02SA2O	○	○	○	△	△	△
02MA2O	○	○	○	○	△	△
04SA2O	○	○	○	○	△	△
04MA2O	○	○	○	○	△	△
08SA2O	○	○	○	○	△	△
08MB2O	○	○	○	○	△	△
40SA2O	○	○	○	○	△	△
40MA2O	○	○	○	○	△	△

Note: For options indicated by △, contact your Yaskawa representative.
 TG: DC tachometer generator OP: Optical encoder
 BR: Magnetic brake FBU: Feedback unit

With Optical Encoder

Optical encoders are available as position and speed feedback signals. (For speed feedback signals, F/V converter should be used.) Specifications are listed in Table 7.

Table 7 Specifications of Optical Encoders

Optical Encoder Type	UTOPI-020,030,040,050,060,100,150,200,250	UTOPI-020,030,040,050,060,100,150,200,250
Input Supply Voltage	+12VDC ±5%	+5VDC ±5%
Current Consumption	150mA Max	
No. of Output Pulses	Type UTOPI-020..... 200 pulses/rev Type UTOPI-030..... 300 pulses/rev Type UTOPI-040..... 400 pulses/rev Type UTOPI-050..... 500 pulses/rev Type UTOPI-060..... 600 pulses/rev Type UTOPI-100..... 1000 pulses/rev Type UTOPI-150..... 1500 pulses/rev Type UTOPI-200..... 2000 pulses/rev Type UTOPI-250..... 2500 pulses/rev	
Output Wave Form	Square Wave	
Output Signal Level	V _{OH} : 10V Max V _{OL} : 1.5V Max	V _{OH} : 4V Min V _{OL} : 0.4V Max
Rise Time	1μs Max	
Fall Time	0.5μs Max	
Output Circuit		
Phase Offset	± 25 ± 10%	
Flutter	2%p-p Max	
Pulse Duty Cycle	50 ± 10%	
Channel Z Pulse Width	50 ± 10%	
Response Frequency	75kHz	
Illumination Source	LED	
Sensor	Photo diode	
Max Allowable Speed	12,000rpm	
Moment of Inertia	7g·cm ²	
Ambient Temperature	0 to +60°C (in operation), -20 to +80°C (at standby)	
Humidity	20 to 80% RH	
Vibration (in operation)	2.5G Max	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

With DC Tachometer Generator

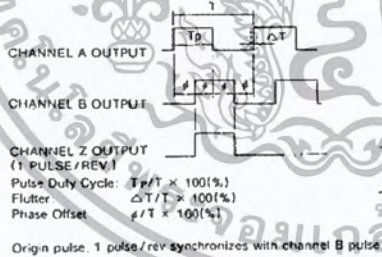
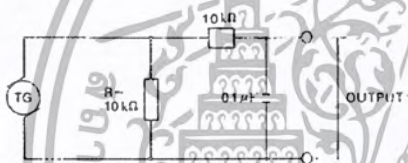
DC tachometer generators are available as speed feedback units. Specifications of DC tachometer generators are shown in table below.

Table 8 Specifications of DC Tachometer Generator

Type	TG-7SVC
Output Voltage	(V/1000rpm) ± 10% 7
Ripple Amplitude	% r-p (at 1000 rpm) 1.5
Ripple Frequency	Cycles/rev 13
Linearity	% (at 200 - 4000 rpm) 1
Direction Deviation	% (at 200 - 4000 rpm) 1
Armature Inertia	$g \cdot cm^2 \cdot 10^{-4}$ 15
Armature Resistance	Ω (20°C) ± 10% 150
Temperature Coefficient	%/°C < 0.05
Speed Range	rpm 200-4000
Max Speed	rpm 6000
Min Load Resistance	Ω 5.1
Insulation Resistance	M Ω 10
Dielectric Strength	V/kV 500
Ripple Expectancy	h 5000

Note:

1. Output voltage is measured across the output terminals.
2. Ripple amplitude and linearity are obtained through filter circuit as shown below.



With Feedback Units

Feedback units are available as position and speed detection units. Feedback units for Minertia Motor RM series unitized DC tachometer generator and optical encoder. Specifications are listed in Table 10.

Table 9 Specifications of Feedback Unit

	TFUE-XXXXSA, TFUE-XXXXSU	
	TG-7SVC (DC tachometer generator)	UTOPI-XXXXSA, SU (Optical encoder)
Characteristics	See Table 8.	See Table 7.
Rotor Inertia J	25g·cm ² Max	
Friction Torque	14.7mNm Max	
Filter Circuit	See Table 8.	--

With Magnetic Brakes

Magnetic brakes listed below are not used for stopping, but for holding after coming to a full stop.

Table 10 Specifications of Magnetic Brakes

	Magnetic Brake Type			
	MS-90-04	MS-90-06	MS-90-08	FSB/90-10
Input Supply Voltage	90VDC ± 10%			
Braking Torque N.m	0.29	0.64	2.0	3.9
Applicable Motor Type UGRMEM-	02SA	04SA	08SA	40SA
	02MA	04MA	08MB	40MA
Type	Spring loaded fail-safe type			

Lead Identification of Encoders and DC Tachometer Generators

Function	Color	Voltage
Input	Red	+5VDC
	Black	0V
	Blue	Channel A output
Output	Black	Channel A common
	Yellow	Channel B output
	Black	Channel B common
DC Tachometer Generator	Green	Channel Z output
	Black	Channel Z common
	White	Plus
	Black	Minus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 อุปกรณ์ประกอบในวงจร

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดอุปกรณ์ไอซีและทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในวงจรต่างๆของโครงการดังต่อไปนี้

ก.2.1 ไอซี dsPIC30F4011



รูปที่ ก.2 ไอซี dsPIC30F4011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



dsPIC30F4011/4012

dsPIC30F4011/4012 Enhanced Flash 16-Bit Digital Signal Controller

Note: This data sheet summarizes features of this group of dsPIC30F devices and is not intended to be a complete reference source. For more information on the CPU, peripherals, register descriptions and general device functionality, refer to the "dsPIC30F Family Reference Manual" (DS70016). For more information on the device instruction set and programming, refer to the "dsPIC30F/30F Programmer's Reference Manual" (DS U1b/1).

High-Performance, Modified RISC CPU:

- Modified Harvard architecture
- C compiler optimized instruction set architecture with flexible addressing modes
- 83 base instructions
- 24-bit wide instructions, 16-bit wide data path
- 48 Kbytes on-chip Flash program space (16K Instruction words)
- 2 Kbytes of on-chip data RAM
- 1 Kbyte of nonvolatile data EEPROM
- Up to 30 MIPS operation:
 - DC to 40 MHz external clock input
 - 4 MHz-10 MHz oscillator input with PLL active (4x, 8x, 15x)
- 30 interrupt sources:
 - 3 external interrupt sources
 - 8 user-selectable priority levels for each interrupt source
 - 4 processor trap sources
- 16 x 16-bit working register array

DSP Engine Features:

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

Peripheral Features:

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

Motor Control PWM Module Features:

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

Quadrature Encoder Interface Module Features:

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dsPIC30F4011/4012

Analog Features:

- 10-Bit Analog-to-Digital Converter (A/D) with 4 S/H inputs:
 - 1 Msps conversion rate
 - 9 input channels
 - Conversion available during Sleep and Idle
- Programmable Brown-out Reset

Special Digital Signal Controller Features:

- Enhanced Flash program memory:
 - 10,000 erase/write cycle (min.) for industrial temperature range, 100K (typical)
- Data EEPROM memory:
 - 100,000 erase/write cycle (min.) for industrial temperature range, 1M (typical)
- Self-reprogrammable under software control
- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)

Special Digital Signal Controller Features (Cont.):

- Flexible Watchdog Timer (WDT) with on chip, low-power RC oscillator for reliable operation
- Fail-Safe Clock Monitor operation detects clock failure and switches to on-chip, low-power RC oscillator
- Programmable code protection
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™)
- Selectable Power Management modes:
 - Sleep, Idle and Alternate Clock modes

CMOS Technology:

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

dsPIC30F Motor Control and Power Conversion Family*

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2.2 ไอซี HD74LS04

RENESAS

HD74LS04 / HD74LS05

Hex Inverters / Hex Inverters (with Open Collector Outputs)

REJ03D0391-0300

Rev.3.00

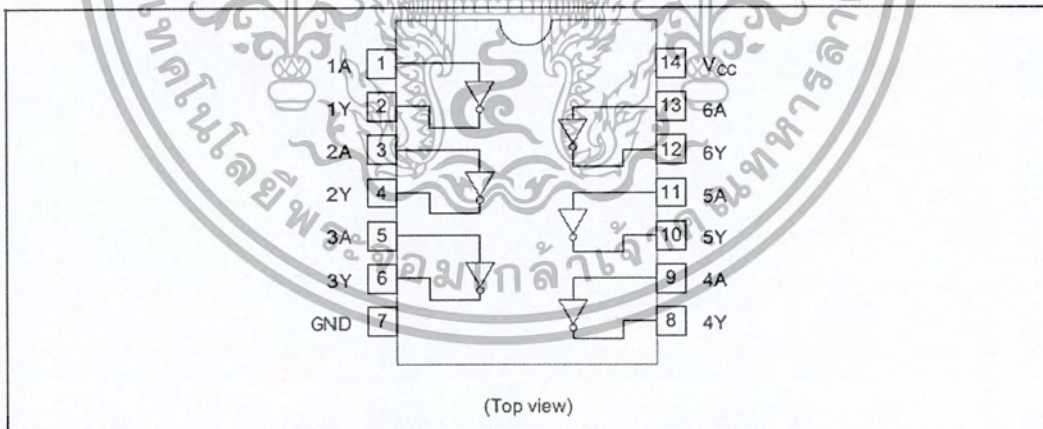
Jul.13.2005

Features

- Ordering Information
- HD74LS04

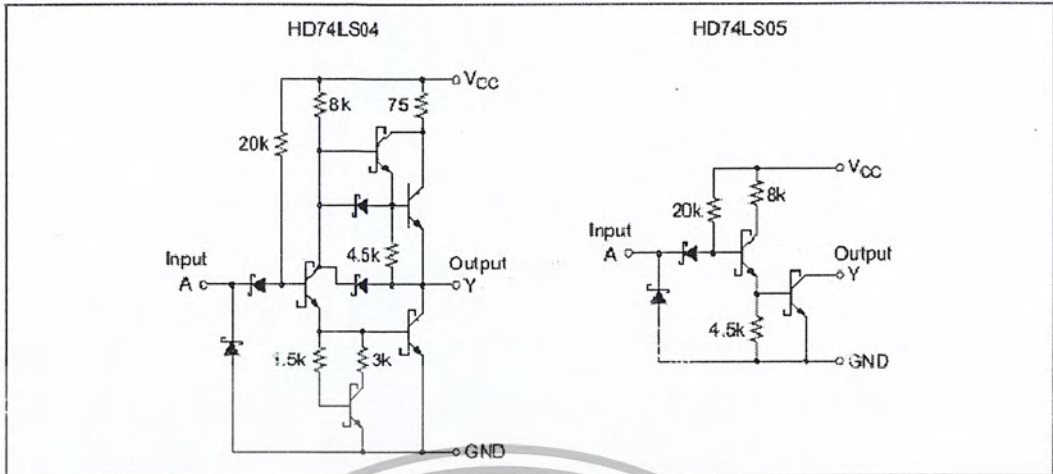
Part Name	Package Type	Package Code (Previous Code)	Package Abbreviation	Taping Abbreviation (Quantity)
HD74LS04P	DILP-14 pin	PRDP0014AB-B (DP-14AV)	P	—
HD74LS04FPEL	SOP-14 pin (JEITA)	PRSP0014DF-B (FP-14DAV)	FP	EL (2,000 pcs/reel)
HD74LS04RPEL	SOP-14 pin (JEDEC)	PRSP0014DE-A (FP-14DNV)	RP	EL (2,500 pcs/reel)

Pin Arrangement



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Circuit Schematic (1/6)



Absolute Maximum Ratings

Item	Symbol	Ratings	Unit
Supply voltage	V_{CC}^{Noise}	7	V
Input voltage	V_{IH}	7	V
Power dissipation	P_T	400	mW
Storage temperature	T_{stg}	-65 to +150	°C

Note: Voltage value, unless otherwise noted, are with respect to network ground terminal.

Recommended Operating Conditions

• HD74LS04

Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Supply voltage	V_{CC}	4.75	5.00	5.25	V
Output current	I_{OH}	—	—	-400	μA
	I_{OL}	—	—	8	mA
Operating temperature	T_{opr}	-20	25	75	°C

Electrical Characteristics

• HD74LS04

($T_a = -20$ to $+75$ °C)

Item	Symbol	min.	typ.*	max.	Unit	Condition
Input voltage	V_{IH}	2.0	—	—	V	
	V_{IL}	—	—	0.8	V	
Output voltage	V_{OH}	2.7	—	—	V	$V_{CC} = 4.75$ V, $V_{IL} = 0.8$ V, $I_{OH} = -400$ μA
	V_{OL}	—	—	0.5	V	
—		—	0.4	$I_{OL} = 4$ mA		$V_{CC} = 4.75$ V, $V_{IH} = 2$ V
Input current	I_{IH}	—	—	20	μA	$V_{CC} = 5.25$ V, $V_I = 2.7$ V
	I_{IL}	—	—	-0.4	mA	$V_{CC} = 5.25$ V, $V_I = 0.4$ V
	I_I	—	—	0.1	mA	$V_{CC} = 5.25$ V, $V_I = 7$ V
Short-circuit output current	I_{OS}	-20	—	-100	mA	$V_{CC} = 5.25$ V
Supply current	I_{CCH}	—	1.2	2.4	mA	$V_{CC} = 5.25$ V
	I_{CCL}	—	3.6	6.6	mA	$V_{CC} = 5.25$ V
Input clamp voltage	V_{IK}	—	—	-1.5	V	$V_{CC} = 4.75$ V, $I_{IK} = -18$ mA

Note: * $V_{CC} = 5$ V, $T_a = 25$ °C

รูปที่ ก.3 รายละเอียดไอซี HD74LS04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2.3 ไอซี HD74LS125A

RENESAS**HD74LS125A**

Quadruple Bus Buffer Gates (with three-state outputs)

REJ03D0430-0200
Rev.2.00
Feb.18.2005**Features**

- Ordering Information

Part Name	Package Type	Package Code (Previous Code)	Package Abbreviation	Taping Abbreviation (Quantity)
HD74LS125AP	DILP-14 pin	PRDP0014AB-B (DP-14AV)	P	—
HD74LS125AFPEL	SOP-14 pin (JEITA)	PRSP0014DF-B (FP-14DAV)	FP	EL (2,000 pcs/reel)
HD74LS125ARPEL	SOP-14 pin (JEDEC)	PRSP0014DE-A (FP-14DNV)	RP	EL (2,500 pcs/reel)

Note: Please consult the sales office for the above package availability.

Pin Arrangement**Function Table**

Inputs		Outputs
C	A	Y
H	X	Z
L	L	L
L	H	H

Note: H ; high level,
L ; low level,
X ; irrelevant,
Z ; off (high-impedance) state of a 3-state output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

Item	Symbol	Ratings	Unit
Supply voltage	V_{CC}	7	V
Input voltage	V_{IH}	7	V
Power dissipation	P_T	400	mW
Storage temperature	T_{stg}	-65 to +150	°C

Note: Voltage value, unless otherwise noted, are with respect to network ground terminal.

Recommended Operating Conditions

Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Supply voltage	V_{CC}	4.75	5.00	5.25	V
High level output current	I_{OH}			2.6	mA
Low level output current	I_{OL}	—	—	24	mA
Operating temperature	T_{opr}	-20	25	75	°C

Electrical Characteristics

($T_a = -20$ to $+75$ °C)

Item	Symbol	min.	typ.*	max.	Unit	Condition	
Input voltage	V_{IH}	2.0	—	—	V		
	V_{IL}	—	—	0.8	V		
Output voltage	V_{OH}	2.4	—	—	V	$V_{CC} = 4.75$ V, $V_{IH} = 2$ V, $V_{IL} = 0.8$ V, $I_{OH} = -2.6$ mA	
	V_{OL}	—	—	0.5	V		$I_{OL} = 24$ mA $I_{OL} = 12$ mA
		—	—	0.4	V		
	I_{OZ}	—	—	20	μA	$V_O = 2.4$ V $V_O = 0.4$ V	
		—	—	-20	μA		$V_{CC} = 5.25$ V, $V_{IH} = 2$ V, $V_{IL} = 0.8$ V
Input current	I_{IH}	—	—	20	μA	$V_{CC} = 5.25$ V, $V_I = 2.7$ V	
	I_{IL}	—	—	-0.4	mA	$V_{CC} = 5.25$ V, $V_I = 0.4$ V	
	I_I	—	—	0.1	mA	$V_{CC} = 5.25$ V, $V_I = 7$ V	
Short circuit output current	I_{OS}	-40	—	-225	mA	$V_{CC} = 5.25$ V	
Supply current	I_{CC}	—	11	20	mA	$V_{CC} = 5.25$ V	
Input clamp voltage	V_{IK}	—	—	-1.5	V	$V_{CC} = 4.75$ V, $I_{IK} = -18$ mA	

Note: * $V_{CC} = 5$ V, $T_a = 25$ °C

Switching Characteristics

($V_{CC} = 5$ V, $T_a = 25$ °C)

Item	Symbol	min.	typ.	max.	Unit	Condition
Propagation delay time	t_{PLH}	—	9	15	ns	$C_L = 45$ pF, $R_L = 667$ Ω
	t_{PHL}	—	7	18		
Output enable time	t_{ZH}	—	12	20	ns	
	t_{ZL}	—	15	25		
Output disable time	t_{HZ}	—	—	20	ns	$C_L = 5$ pF, $R_L = 667$ Ω
	t_{LZ}	—	—	20		

Note: Refer to Test Circuit and Waveform of the Common Item "TTL Common Matter (Document No. REJ27D0005-0100)".

รูปที่ ก.4 รายละเอียดไอซี HD74LS125A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

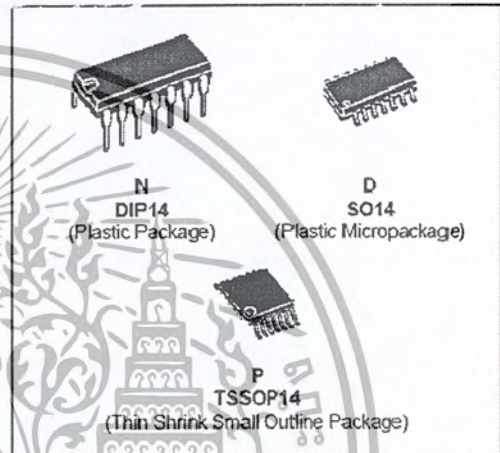
ก.2.4 ไอซี LM324



LM124
LM224 - LM324

LOW POWER QUAD OPERATIONAL AMPLIFIERS

- WIDE GAIN BANDWIDTH : 1.3MHz
- INPUT COMMON-MODE VOLTAGE RANGE INCLUDES GROUND
- LARGE VOLTAGE GAIN : 100dB
- VERY LOW SUPPLY CURRENT/AMPLI : 375µA
- LOW INPUT BIAS CURRENT : 20nA
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE : 5mV max.
(for more accurate applications, use the equivalent parts LM124A-LM224A-LM324A which feature 3mV max)
- LOW INPUT OFFSET CURRENT : 2nA
- WIDE POWER SUPPLY RANGE :
SINGLE SUPPLY : +3V TO +30V
DUAL SUPPLIES : ±1.5V TO ±15V



DESCRIPTION

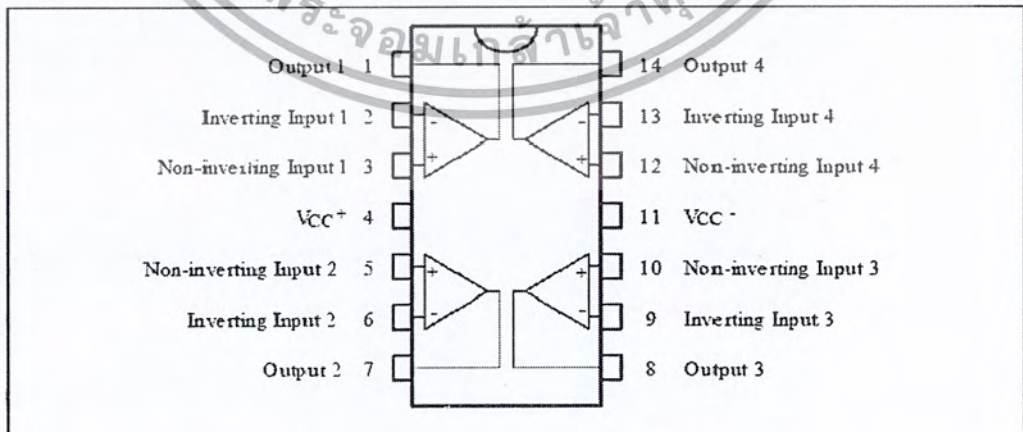
These circuits consist of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers. They operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

ORDER CODES

Part Number	Temperature Range	Package		
		N	D	P
LM124	-55°C, +125°C	•	•	•
LM224	-40°C, +105°C	•	•	•
LM324	0°C, +70°C	•	•	•

Example : LM224N

PIN CONNECTIONS (top view)



รูปที่ ก.5 รายละเอียด ไอซี LM324

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JX-dsPIC40

40-pin dsPIC microcontroller Project board

Features

- Use a 40-pin DIP dsPIC30F device, *dsPIC30F4011* on-board Clock rate of 4MHz
- Debugging and programming via LCD Jack with ICDX-30 or ICD2 (optional)
- Select PROG and RUN mode with a switch.
- Prepare 5-ports as : RB0-RB8, RC13-RC14, RD0-RD3, RE0-RE5, RE8 and RF0-RF6
- +5V 800mA regulated DC supply on-board
- RESET switch
- LCD modul connection : D4-D7 with RD0-RD3, RS with RF0 and E with RF1 port pin.
- 2 of RS-232 serial port Interface
 - UART1 connect with RC13 and RC14, selected by jumper
 - UART2 connect with RF4 and RF5, selected by jumper
- Free experimental device as :
 - 4-LED monitor active logic "high"
 - Piezo speaker
 - 4-Push button switches with pull-up resistors
 - 4-points Terminal block for connect with QEI (Quadrature Encoder Input)
 - 0-5V reference source for A/D testing
- Proto area 3x2.5 Inches with 170 solder pads. This area support medium size breadboard (KH-102 from K&H)
- Required +9Vdc 500mA supply (up to +12Vdc)

Packing list

- Experiment board
- Documentation

Optional :

- +12V 500mA DC adapter
- ICDX-30 Debugger/Programmer for PIC/dsPIC with DC adapter
- RS-232 serial port cable

2 • JX-dsPIC40 project board technical info

1. JX-dsPIC40 schematic diagram

Figure 1 is complete schematic diagram of JX-dsPIC40 project board. The dsPIC chip on-board is dsPIC30F4011. It has 29 input/output port pins.

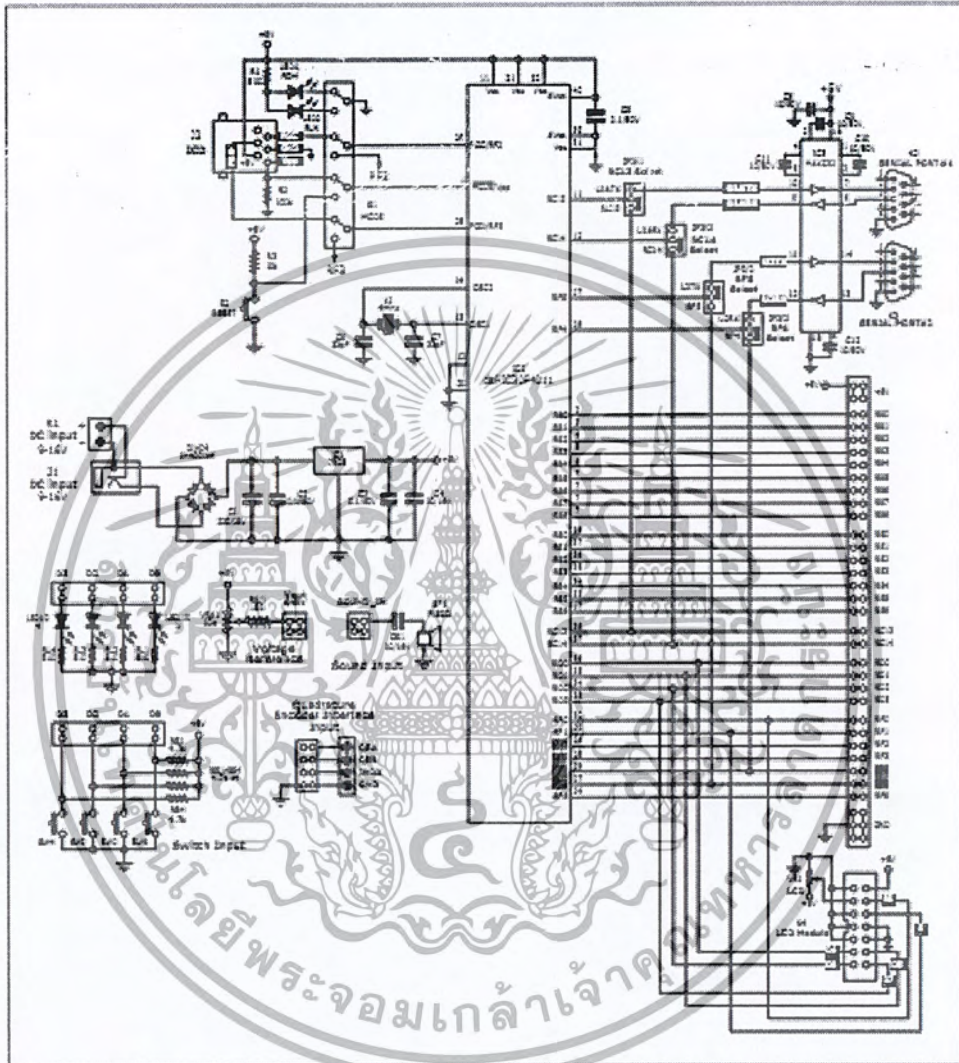


Figure 1 JX-dsPIC40 Project board schematic diagram

รูปที่ ก.6 รายละเอียดบอร์ดทดลอง JX-dsPIC40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2.6 ไอซี ADXL330



Small, Low Power, 3-Axis $\pm 3g$ /MEMS[®] Accelerometer

ADXL330

FEATURES

- 3-axis sensing
- Small, low-profile package
4 mm × 4 mm × 1.45 mm LFCSP
- Low power
200 μ A at $V_s = 2.0$ V (typical)
- Single-supply operation
2.0 V to 3.6 V
- 10,000 g shock survival
- Excellent temperature stability
- BW adjustment with a single capacitor per axis
- RoHS/WEEE lead-free compliant

APPLICATIONS

- Cost-sensitive, low power, motion- and tilt-sensing applications
- Mobile devices
- Gaming systems
- Disk drive protection
- Image stabilization
- Sports and health devices

GENERAL DESCRIPTION

The ADXL330 is a small, thin, low power, complete three axis accelerometer with signal conditioned voltage outputs, all on a single monolithic IC. The product measures acceleration with a minimum full-scale range of $\pm 3g$. It can measure the static acceleration of gravity in tilt-sensing applications, as well as dynamic acceleration resulting from motion, shock, or vibration.

The user selects the bandwidth of the accelerometer using the C_x , C_y , and C_z capacitors at the X_{OUT} , Y_{OUT} , and Z_{OUT} pins. Bandwidths can be selected to suit the application, with a range of 0.5 Hz to 1,600 Hz for X and Y axes, and a range of 0.5 Hz to 550 Hz for the Z axis.

The ADXL330 is available in a small, low-profile, 4 mm × 4 mm × 1.45 mm, 16-lead, plastic lead frame chip scale package (LFCSP_LQ).

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

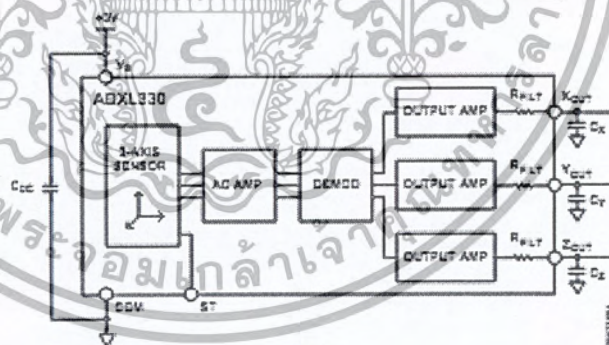


Figure 1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPECIFICATIONS

$T_v = 25^\circ\text{C}$, $V_{cc} = 3\text{ V}$, $C_1 = C_2 = C_3 = 0.1\ \mu\text{F}$; acceleration = $1g$, unless otherwise noted. All minimum and maximum specifications are guaranteed. Typical specifications are not guaranteed.

Table 1.

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
SENSOR INPUT					
Measurement Range	Each axis	± 3	± 3.5		g
Nonlinearity	% of full scale		± 0.3		%
Package Alignment Error			± 1		Degrees
Intra-Axis Alignment Error			± 0.1		Degrees
Cross-Axis Sensitivity ¹			± 1		%
SENSITIVITY (RATIOMETRIC)					
Sensitivity at X_{out} , Y_{out} , Z_{out}	Each axis $V_{cc} = 3\text{ V}$	370	300	330	mV/g
Sensitivity Change Due to Temperature ²	$V_{cc} = 3\text{ V}$		± 0.015		%/°C
ZERO g BIAS LEVEL (RATIOMETRIC)					
0 g Voltage at X_{out} , Y_{out} , Z_{out}	Each axis $V_{cc} = 3\text{ V}$	1.5	1.5	1.5	V
0 g Offset vs. Temperature			± 1		mg/°C
NOISE PERFORMANCE					
Noise Density X_{out} , Y_{out}			350		$\mu\text{p}/\text{Hz rms}$
Noise Density Z_{out}			350		$\mu\text{p}/\text{Hz rms}$
FREQUENCY RESPONSE³					
Bandwidth X_{out} , Y_{out} ⁴	No external filter		6500		Hz
Bandwidth Z_{out} ⁴	No external filter		550		Hz
R_{FL} Tolerance			$37\% - 15\%$		k Ω
Sensor Resonant Frequency			2.5		kHz
SELF-TEST⁵					
Logic Input Low			-0.6		V
Logic Input High			+2.4		V
ST Activation Current			+6.0		μA
Output Change at X_{out}	Self-test DTC 1		-150		mV
Output Change at Y_{out}	Self-test DTC 1		-150		mV
Output Change at Z_{out}	Self-test DTC 1		-60		mV
OUTPUT AMPLIFIERS					
Output Swing Low	No load		0.1		V
Output Swing High	No load		3.8		V
POWER SUPPLY					
Operating Voltage Range		2.5		3.8	V
Supply Current	$V_{cc} = 3\text{ V}$		330		μA
Turn-On Time ⁶	No external filter		1		ms
TEMPERATURE					
Operating Temperature Range		-35		+70	°C

¹ Defined as coupling between any two axes.

² Sensitivity is essentially independent of V_{cc} .

³ Defined as the output change from $1g$ to $0g$ for maximum temperature or minimum temperature.

⁴ Actual frequency response controlled by 100 nF or 10 nF external filter capacitors (C_1, C_2, C_3).

⁵ Bandwidth with external capacitors = $1/\sqrt{2}$ at the -3 dB corner frequency. For $C_1 = 0.1\ \mu\text{F}$, bandwidth = 650 Hz. For $C_1, C_2, C_3 = 10\ \mu\text{F}$, bandwidth = 2.5 Hz.

⁶ Self-test response changes cubically with V_{cc} .

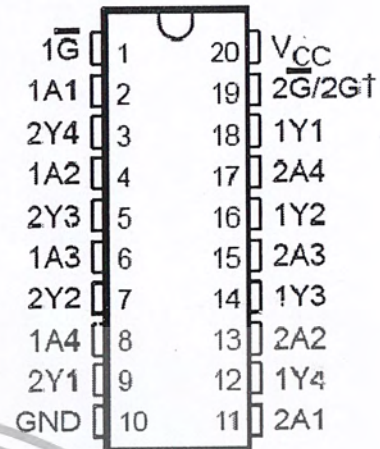
⁷ Turn-on time is dependent on C_1, C_2, C_3 and is approximately $180 \times C_1 C_2 C_3 - 0.1\ \text{ms}$, where C_1, C_2, C_3 are in μF .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2.7 ไอซี SN74LS244N

description

These octal buffers and line drivers are designed specifically to improve both the performance and density of three-state memory address drivers, clock drivers, and bus-oriented receivers and transmitters. The designer has a choice of selected combinations of inverting and noninverting outputs, symmetrical, active-low output-control (\bar{G}) inputs, and complementary output-control (\bar{G} and $\bar{G}\dagger$) inputs. These devices feature high fan-out, improved fan-in, and 400-mV noise margin. The SN74LS' and SN74S' devices can be used to drive terminated lines down to 133 Ω .



recommended operating conditions

		SN54LS'			SN74LS'			UNIT
		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
V _{CC}	Supply voltage (see Note 1)	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
V _{IH}	High-level input voltage	2			2			V
V _{IL}	Low-level input voltage			0.7			0.8	V
I _{OH}	High-level output current			-12			-15	mA
I _{OL}	Low-level output current			12			24	mA
T _A	Operating free-air temperature	55		125	0		70	°C

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

รูปที่ ก.8 รายละเอียด ไอซี SN74LS244N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

โปรแกรมการจำลองและการทดลอง

รายละเอียดในบทนี้นำเสนอส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในโครงการนี้ ประกอบด้วยโปรแกรม สำหรับการออกแบบตัวควบคุมแบบพี โปรแกรมสำหรับการควบคุมระบบครน 2 มิติ ด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ และโปรแกรมสำหรับเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับ คอมพิวเตอร์

ข.1 โปรแกรมสำหรับการออกแบบ

การออกแบบตัวควบคุมเซอร์โวป้อนกลับสถานะอาศัยโปรแกรม Matlab/ Simulink ซึ่ง ประกอบด้วยโปรแกรมและบล็อกไดอะแกรมในแต่ละแนวแกน ดังนี้

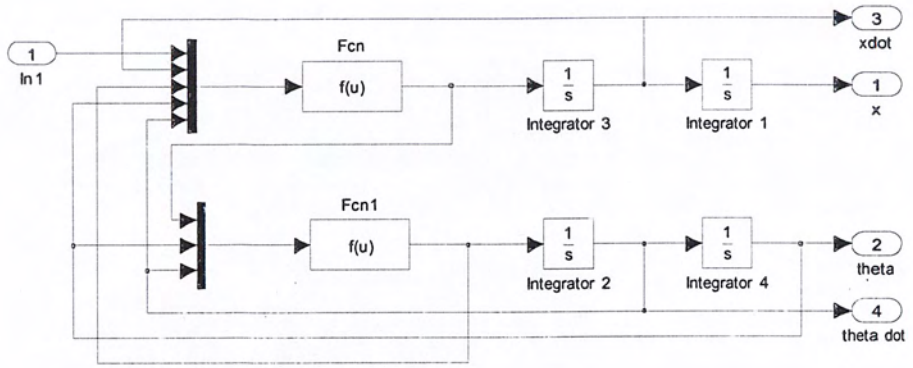
แกน Y

```
clc
clear all
M=3
m=5
l=0.8
g=9.8
b1=2
b2=0.0000001
```

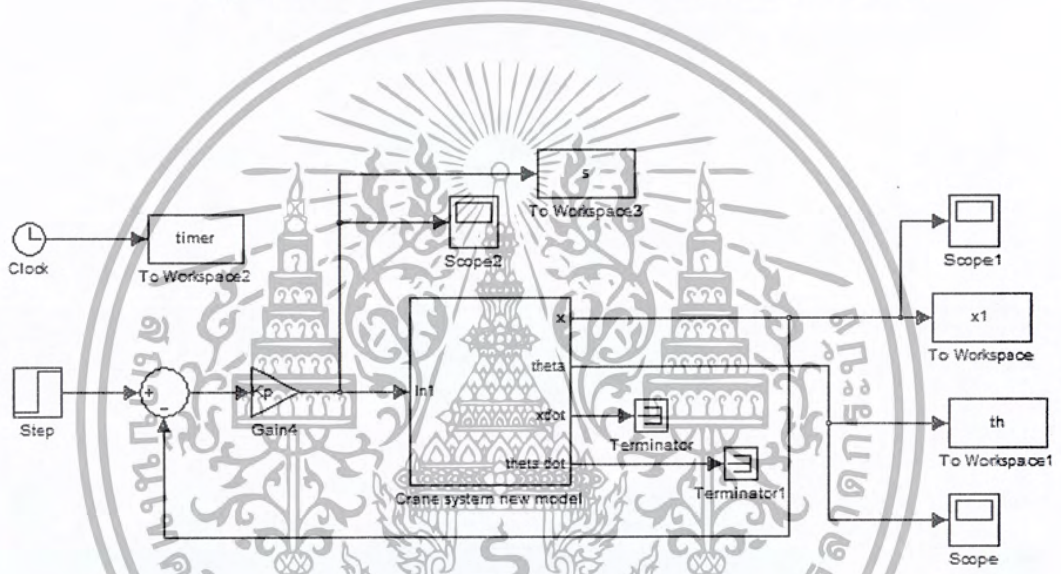
แกน X

```
clc
clear all
M=3
m=5
l=0.8
g=9.8
b1=7
b2=0.00001
```

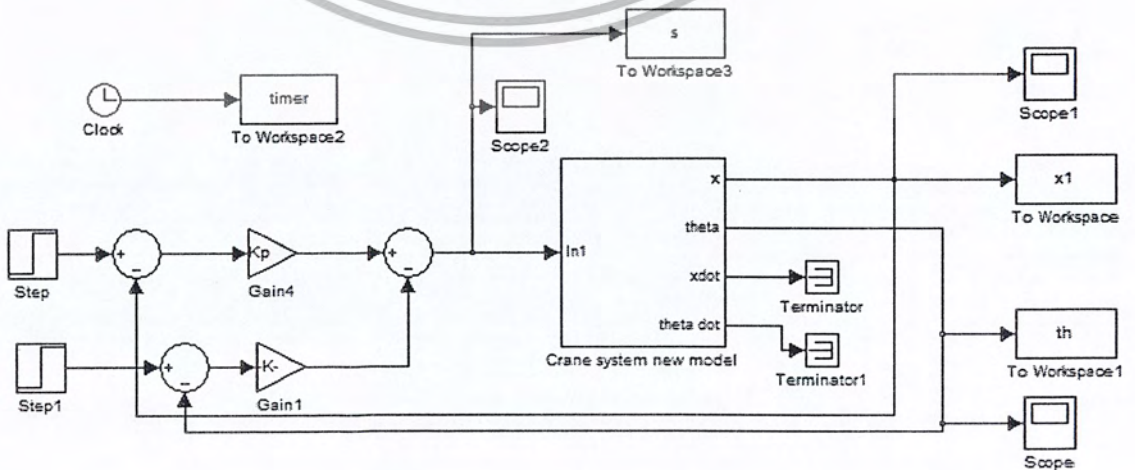
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 บล็อกไดอะแกรมระบบเครน 2 มิติ ในแต่ละแนวแกน



รูปที่ ข.2 แบบจำลองระบบควบคุมแบบพีโดยป้อนกลับค่าระยะทาง



รูปที่ ข.3 แบบจำลองระบบควบคุมแบบพี โดยป้อนกลับทั้งค่าระยะทางและมุมแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษามเท่านั้น ใช้จนขาดให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2 โปรแกรมสำหรับการควบคุม

การควบคุมระบบคอน 2 มิติ อาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์ dspic 30f4011 ซึ่งพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาซี เพื่อรับค่าจากอุปกรณ์วัด ประมวลผล และส่งค่าไปขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยอาศัยการควบคุมแบบพี และการควบคุมเซอร์โวป้อนกลับสถานะ ซึ่งมีรายละเอียดโปรแกรม ดังนี้

ข.2.1 โปรแกรมระบบควบคุมแบบพีโดยใช้การป้อนกลับระยะทาง

```
#include<p30f4011.h>

#include<uart.h>

#include<incap.h>

#include<timer.h>

#include<pwm.h>

#include<stdio.h>

#include<adc10.h>

#define PERIOD 144.0

#define UART_TX_PIN NORMAL          0xf7ff

//----- IC7 -> RB4, IC8 -> RB5

_FOSC(CSW_FSCM_ON & XT_PLL4)

_FWDT(WDT_OFF);

_FBORPOR(PBOR_ON & BORV_20 & PWRT_64 & MCLR_EN);

long totaly,totalx;

unsigned int ii=0,Ky=0,Kx=0,k1=0,k2=0,Kpx=0,Kpy=0;

unsigned int Kp1=0,Kp2=0,Kpt1=0,Kpt2=0,Kptx=0,Kpty=0;

unsigned int theta_x=0,theta_y=0;

float Errorx=0.0,Errory=0.0,Ry=0.0,Rx=0.0,Commandy=0.0;

float Commandx=0.0,Uy=0.0,Ux=0.0,Command_y_total=0.0,Command_x_total=0.0;

char buf[40],ch;

char ww=0;

unsigned int pos,value2;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

unsigned int pos_value1;

unsigned int proten_y[200],position_y[200];

unsigned int proten_x[200],position_x[200];

void _ISR_U1TXInterrupt(void)
{
    IFS0bits.U1TXIF = 0;           // Clear TX interrupt flag
}

void _ISR_U1RXInterrupt(void)
{
    IFS0bits.U1RXIF = 0;           // Clear RX interrupt flag
}

void uart1_init()
{
    int U1ModeValue;
    int U1StatusValue;
    unsigned BaudRateValue = 25;   // 9600 when PLL=4x, XTAL1=4MHz
    ConfigIntUART1(UART_RX_INT_DIS & UART_TX_INT_DIS);
    U1ModeValue =
        UART_EN                       &
        UART_IDLE_CON                 &
        UART_TX_ENABLE                 &
        UART_EN_WAKE                  &
        UART_DIS_LOOPBACK              &
        UART_DIS_ABAUD                 &
        UART_1STOPBIT                  &
        UART_NO_PAR_8BIT;

    U1StatusValue =
        UART_INT_TX_BUF_EMPTY

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น & ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        UART_TX_PIN_NORMAL        &
        UART_TX_ENABLE            &
        UART_INT_RX_CHAR          &
        UART_ADR_DETECT_DIS       &
        UART_RX_OVERRUN_CLEAR;

    OpenUART1( U1ModeValue, U1StatusValue, BaudRateValue );
}

void Uart1_PrintStr(unsigned char *str_uart)
{
    putsUART1((unsigned int *)str_uart);
    while(BusyUART10);
}

void ADC10_Init(void)
{
    unsigned int config1, config2, config3;
    unsigned int configport, configscan;
    unsigned int channel;
    CloseADC10(); // Turn off A/D

    // Configure ADCON1 register
    config1 = ADC_MODULE_OFF & // A/D Converter off
             ADC_IDLE_CONTINUE & // A/D Operate in Idle mode
             ADC_FORMAT_INTG & // A/D data format integer
             ADC_CLK_AUTO & // sampling/conversion (Auto convert)
             ADC_SAMPLE_SIMULTANEOUS & // Simultaneous sampling
             ADC_AUTO_SAMPLING_ON & // Auto sampling Select
             ADC_SAMP_ON; // sample/hold amplifiers are sampling

    // Configure ADCON2 register

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

config2 = ADC_VREF_AVDD_AVSS      &      // Vref+ is AVdd and Vref- is AVss
        ADC_SCAN_OFF              &      // Do notScan Input
        ADC_CONVERT_CH_0ABC       &      // A/D channels 0 and 1
        ADC_SAMPLES_PER_INT_1     &      // interrupt at 1th sample
        ADC_ALT_BUF_OFF           &      // Buffer 16-word buffer
        ADC_ALT_INPUT_OFF;        // use MUXA only

// Configure ADCON2 register
config3 = ADC_SAMPLE_TIME_1      &      // A/D Auto Sample Time 3 Tad
        ADC_CONV_CLK_SYSTEM      &      // Clock Source Clock derived from
                                   system clock
        ADC_CONV_CLK_3Tcy2;      // A/D Conversion Clock Select bits
// Configure ADCHS register
channel = ADC_CH0_POS_SAMPLEA_AN3 &      // A/D Chan 0 pos i/p sel for
        SAMPLE A is AN1
        ADC_CH0_NEG_SAMPLEA_NVREF &      // A/D Chan 0 neg i/p sel for
        SAMPLE A is -Vref
        ADC_CHX_POS_SAMPLEA_AN0AN1AN2 & // A/D Chan 1 pos i/p sel for
        SAMPLE A is AN0
        ADC_CHX_NEG_SAMPLEA_NVREF;      // A/D Chan 1 neg input is VREF-

// RB0 - RB3 = analog
configport = ENABLE_AN0_ANA      &
        ENABLE_AN1_ANA          &
        ENABLE_AN2_ANA          &
        ENABLE_AN3_ANA ;

// Configure ADCSSL register
configscan = SCAN_NONE;          // Skip AN0-AN15 for Input Scan

// configures the ADC
OpenADC10(config1, config2, config3, configport, configscan

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนลิขสิทธิ์ของงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SetChanADC10(channel);
}
void _ISR_T1Interrupt(void)
{
    ww=1;
    IFS0bits.T1IF = 0;
}
void timer1_init()
{
    ConfigIntTimer1(T1_INT_ON&T1_INT_PRIOR_1);
    WriteTimer1(0);
    IFS0bits.T1IF=0;
    OpenTimer1(T1_ON &
    T1_GATE_OFF &
    T1_IDLE_STOP &
    T1_PS_1_8 &
    T1_SYNC_EXT_OFF &
    T1_SOURCE_INT,15000);
}
void _ISR_PWMInterrupt(void)
{
    IFS2bits.PWMIF = 0.0;
}
void pwm_int(void)
{
    unsigned int config;
    unsigned int sptime;
    unsigned int config1;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

unsigned int config2;

unsigned int config3;

sptime = 0x0;

config1 = (PWM_EN                &
           PWM_OP_SCALE16        &
           PWM_IPCLK_SCALE16    &
           PWM_MOD_FREE);

config2 = (PWM_MOD1_IND          &
           PWM_MOD2_IND          &
           PWM_MOD3_IND          &
           PWM_PEN3H              & //Drive Y-axis
           PWM_PDIS3L            &
           PWM_PDIS2H            &
           PWM_PDIS2L            &
           PWM_PEN1H              & //Drive X-axis
           PWM_PDIS1L );

config3 = (PWM_SEVOPSI          &
           PWM_OSYNC_PWM        &
           PWM_UEN);

OpenMCPWM(PERIOD,sptime,config1,config2,config3);
}

void _ISR_IC7Interrupt(void)
{
    pos_value1=pos_value1+1;
    _IC7IF = 0; // Clear Interrupt flag
}

void _ISR_IC8Interrupt(void)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    pos_value2=pos_value2+1;

    _IC8IF = 0;                // Clear Interrupt flag
}

void IC7_IC8_Init(void)
{
    unsigned int config, period;

    CloseCapture7();          // CloseCapture 7
    CloseCapture8();          // CloseCapture 8

    // ConfigIntCapture7
    ConfigIntCapture7(IC_INT_ON); // Input Capture Enable
    ConfigIntCapture8(IC_INT_ON); // Input Capture Enable
    // OpenCapture7
    config = IC_IDLE_CON      & // IC operate in sleep mode
    // IC_TIMER2_SRC          & // Timer2 is the clock source for Capture
    IC_INT_1CAPTURE          & // Interrupt on first Capture
    IC_EVERY_16_RISE_EDGE;   // Every falling edge
    OpenCapture7(config);
    // OpenCapture8
    config = IC_IDLE_CON      & // IC operate in sleep mode
    // IC_TIMER2_SRC          & // Timer2 is the clock source for Capture
    IC_INT_1CAPTURE          & // Interrupt on first Capture
    IC_EVERY_4_RISE_EDGE;    // Every falling edge
    OpenCapture8(config);
}

int main (void)
{
    unsigned int dutycycle1,dutycycle2,updatedisable;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

TRISEbits.TRISE3 = 0.0;

_TRISF0 = 0;

_TRISF1 = 0;

_TRISF2 = 0;

_TRISF3 = 0;

//Set input

TRISBbits.TRISB4 = 1;

TRISBbits.TRISB5 = 1;

// Off analog input RE4, RE5

_PCFG4 = 1;

_PCFG5 = 1;

uart1_init();

pwm_init();

IC7_IC8_Init();

ADC10_Init(); // Initialize ADC 10bit

unsigned int ss = 0;

ww = 0;

while(1)

{

    while(DataRdyUART1())

    {

        ch = ReadUART1(); // Read buffer rx

//----- : receive value

        if(ch=='b')

        {

            Uart1_PrintStr("^");

            for(ii=0;ii<200;ii++)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        sprintf(buf,"%u,",position_y[ii]);
        Uart1_PrintStr(buf);
    }
    Uart1_PrintStr("&");
}
if(ch=='v')
{
    Uart1_PrintStr("*");
    for(ii=0;ii<200;ii++)
    {
        sprintf(buf,"%u,",position_x[ii]);
        Uart1_PrintStr(buf);
    }
    Uart1_PrintStr("+");
}
if(ch=='n')
{
    Uart1_PrintStr("@");
    for(ii=0;ii<200;ii++)
    {
        sprintf(buf,"%u,",proten_y[ii]);
        Uart1_PrintStr(buf);
    }
    Uart1_PrintStr("$");
}
if(ch=='m')
{
    Uart1_PrintStr("#");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for(ii=0;ii<200;ii++)
{
    sprintf(buf,"%u",proten_x[ii]);
    Uart1_PrintStr(buf);
}
Uart1_PrintStr("%");
}

//----- : setpoint X

if(ch=='1')
{
    k2 = 10;
    // Uart1_PrintStr("Set_Point: X=10cm\n\r");
}
if(ch=='2')
{
    k2 = 20;
    // Uart1_PrintStr("Set_Point: X=20cm\n\r");
}
if(ch=='3')
{
    k2 = 30;
    // Uart1_PrintStr("Set_Point: X=30cm\n\r");
}
if(ch=='4')
{
    k2 = 40;
    // Uart1_PrintStr("Set_Point: X=40cm\n\r");
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//----- : setpoint Y
```

```

if(ch == '5')
{
    k1 = 10;
    //   Uart1_PrintStr("Set_Point: y=10cm\n\r");
}

if(ch == '6')
{
    k1 = 20;
    //   Uart1_PrintStr("Set_Point: y=20cm\n\r");
}

if(ch == '7')
{
    k1 = 30;
    //   Uart1_PrintStr("Set_Point: y30cm\n\r");
}

if(ch == '8')
{
    k1 = 40;
    //   Uart1_PrintStr("Set_Point: y40cm\n\r");
}

```

```
//----- : kp value x
```

```

if(ch == 'W')
{
    Kp1=15;
}

if(ch == 'E')

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        Kp1=20;
    }
    if(ch == 'R')
    {
        Kp1=25;
    }
    if(ch == 'Q')
    {
        Kp1=27;
    }
//----- : kp value y
    if(ch == 'Y')
    {
        Kp2=3;
    }
    if(ch == 'U')
    {
        Kp2=5;
    }
    if(ch == 'I')
    {
        Kp2=10;
    }
    if(ch == 'T')
    {
        Kp2=15;
    }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(ch == 'O')
{
    Kpt1=10;
}
if(ch == 'P')
{
    Kpt1=15;
}
if(ch == 'A')
{
    Kpt1=25;
}
if(ch == 'S')
{
    Kpt1=40;
}
//-----: kpt value y
if(ch == 'D')
{
    Kpt2=10;
}
if(ch == 'F')
{
    Kpt2=15;
}
if(ch == 'G')
{
    Kpt2=25;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }

    if(ch == 'H')
    {
        Kpt2=40;
    }

//----- : start

    if(ch == '?')
    {
        _LATF0 = 1;
        Kx=k1;
        Ky=k2;
        Kpx=Kp1;
        Kpy=Kp2;
        Kptx=Kpt1;
        Kpty=Kpt2;
        ss=1;
        timer1_init();
    }
}

//----- : Loop Control

if((ss==1)&&(ww == 1))
{
    if(ii<200)
    {
        _LATF1 = 1;
        _ADON = 1;           // turn ADC ON
        _ADIF = 0;         // Clear interrupt
        while(! ADIF);     // Convert done? 0=busy
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในห้องเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        proten_y[ii] = ReadADC10(1); //AN0

        proten_x[ii] = ReadADC10(2); //AN1

        position_y[ii] = pos_value1;

        position_x[ii] = pos_value2;

        ww=0;

        ii=ii+1;

    }

}

//----- : Loop Control Y-Axis

theta_y = proten_y[ii];
theta_x = proten_x[ii];
Uy = Kpty*((theta_y-515)*(2/7));
if(Uy>0)
{
    Uy = 0;
}
Ux = Kptx*((theta_x-500)*(1/4));
if(Ux>0)
{
    Ux = 0;
}

totaly = pos_value1;

totalx = pos_value2;

Ry = totaly/100;

Rx = totalx/200;

Errory = (Ky-Ry);

Errorx = (Kx-Rx);

Commandy = Kpy*Errory;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ในการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Commandx = Kpx*Errorx;

//-----: Condition of Y-axis

if(Commandy>0.0)
{
    LATEbits.LATE3=1.0;           //หมุนทางบวก Dir logic 1
}

if(Commandy<0.0)
{
    Commandy = 0.0;
    Uy = 0.0;
    // LATEbits.LATE3=0.0;       //หมุนทางลบ Dir logic 0
    // Commandy = Commandy*(-1.0);
}

//-----: Condition of X-axis

if(Commandx>0.0)
{
    LATEbits.LATE2=1.0;           //หมุนทางบวก
}

if(Commandx<0.0)
{
    Commandx = 0.0;
    Ux = 0.0;
}

//-----: Control Motor

Command_y_total = Commandy+Uy;

Command_x_total = Commandx+Ux;

if(Command_y_total>100.0)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    Command_y_total=100.0;
}

if(Command_x_total>100.0)
{
    Command_x_total=100.0;
}

dutycycle1 = ((100.0-Command_y_total)*(PERIOD/50));
dutycycle2 = ((100.0-Command_x_total)*(PERIOD/50));
updatedisable = 0.0;
SetDCMCPWM(3,dutycycle1,updatedisable);
SetDCMCPWM(1,dutycycle2,updatedisable);
}
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2.2 โปรแกรมระบบควบคุมแบบพีซีโดยใช้การป้อนกลับระยะทางและมุมแกว่ง

```

#include<p30f4011.h>

#include<uart.h>

#include<incap.h>

#include<timer.h>

#include<pwm.h>

#include<stdio.h>

#include<adc10.h>

#define PERIOD 144.0

#define UART_TX_PIN_NORMAL 0xf7ff

//----- IC7 -> RB4, IC8 -> RB5

_FOSC(CSW_FSCM_ON & XT_PLL4)
_FWDT(WDT_OFF);
_FBORPOR(PBOR_ON & BORV_20 & PWRT_64 & MCLR_EN);

long totaly,totalx;

unsigned int ii=0,Ky=0,Kx=0,k1=0,k2=0,Kpx=0,Kpy=0;

unsigned int Kp1=0,Kp2=0,Kpt1=0,Kpt2=0,Kptx=0,Kpty=0;

unsigned int theta_x=0,theta_y=0;

float Errory=0.0,Errorx=0.0,Ry=0.0,Rx=0.0,Commandy=0.0;

float Commandx=0.0,Uy=0.0,Ux=0.0,Command_y_total=0.0,Command_x_total=0.0;

char buf[40],ch;

char ww=0;

unsigned int pos_value2;

unsigned int pos_value1;

unsigned int proten_y[200],position_y[200];

unsigned int proten_x[200],position_x[200];

void _ISR_U1TXInterrupt(void)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    IFS0bits.U1TXIF = 0;          // Clear TX interrupt flag
}

void _ISR_U1RXInterrupt(void)
{
    IFS0bits.U1RXIF = 0;        // Clear RX interrupt flag
}

void uart1_init()
{
    int U1ModeValue;
    int U1StatusValue;
    unsigned BaudRateValue = 25; // 9600 when PLL=4x, XTAL1=4MHZ
    ConfigIntUART1(UART_RX_INT_DIS & UART_TX_INT_DIS);
    U1ModeValue =
        UART_EN
        &
        UART_IDLE_CON
        &
        UART_TX_ENABLE
        &
        UART_EN_WAKE
        &
        UART_DIS_LOOPBACK
        &
        UART_DIS_ABAUD
        &
        UART_1STOPBIT
        &
        UART_NO_PAR_8BIT;

    U1StatusValue =
        UART_INT_TX_BUF_EMPTY
        &
        UART_TX_PIN_NORMAL
        &
        UART_TX_ENABLE
        &
        UART_INT_RX_CHAR
        &
        UART_ADR_DETECT_DIS
        &
        UART_RX_OVERRUN_CLEAR;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    OpenUART1( U1ModeValue, U1StatusValue, BaudRateValue );
}

void Uart1_PrintStr(unsigned char *str_uart)
{
    putsUART1((unsigned int *)str_uart);
    while(BusyUART1());
}

void ADC10_Init(void)
{
    unsigned int config1, config2, config3;
    unsigned int configport, configscan;
    unsigned int channel;
    CloseADC10(); // Turn off A/D

    // Configure ADCON1 register
    config1 = ADC_MODULE_OFF & // A/D Converter off
              ADC_IDLE_CONTINUE & // A/D Operate in Idle mode
              ADC_FORMAT_INTG & // A/D data format integer
              ADC_CLK_AUTO & // sampling/conversion (Auto convert)
              ADC_SAMPLE_SIMULTANEOUS & // Simultaneous sampling
              ADC_AUTO_SAMPLING_ON & // Auto sampling Select
              ADC_SAMP_ON; // sample/hold amplifiers are sampling

    // Configure ADCON2 register
    config2 = ADC_VREF_AVDD_AVSS & // Vref+ is AVdd and Vref- is AVss
              ADC_SCAN_OFF & // Do notScan Input
              ADC_CONVERT_CH_0ABC & // A/D channels 0 and 1
              ADC_SAMPLES_PER_INT_1 & // interrupt at 1th sample
              ADC_ALT_BUF_OFF & // Buffer 16-word buffer

```

```

        ADC_ALT_INPUT_OFF;                // use MUXA only

// Configure ADCON2 register
config3 = ADC_SAMPLE_TIME_1            & // A/D Auto Sample Time 3 Tad
        ADC_CONV_CLK_SYSTEM            & // Clock Source Clock derived from
                                        // system clock

        ADC_CONV_CLK_3Tcy2;           // A/D Conversion Clock Select bits

// Configure ADCHS register
channel = ADC_CH0_POS_SAMPLEA_AN3 & // A/D Chan 0 pos i/p sel for
                                        // SAMPLE A is AN1
        ADC_CH0_NEG_SAMPLEA_NVREF & // A/D Chan 0 neg i/p sel for
                                        // SAMPLE A is -Vref
        ADC_CHX_POS_SAMPLEA_AN0AN1AN2 & // A/D Chan 1 pos i/p sel for
                                        // SAMPLE A is AN0
        ADC_CHX_NEG_SAMPLEA_NVREF; // A/D Chan 1 neg input is VREF-

// RB0 - RB3 = analog
configport = ENABLE_AN0_ANA            &
        ENABLE_AN1_ANA                &
        ENABLE_AN2_ANA                &
        ENABLE_AN3_ANA ;

// Configure ADCSSL register
configscan = SCAN_NONE;                // Skip AN0-AN15 for Input Scan

// configures the ADC
OpenADC10(config1, config2, config3, configport, configscan)
SetChanADC10(channel);
}

void_ISR_T1Interrupt(void)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ww=1;

IFS0bits.T1IF = 0;
}

void timer1_init()
{
    ConfigIntTimer1(T1_INT_ON&T1_INT_PRIOR_1);
    WriteTimer1(0);
    IFS0bits.T1IF=0;
    OpenTimer1(T1_ON
                &
                T1_GATE_OFF &
                T1_IDLE_STCP &
                T1_PS_1_8 &
                T1_SYNC_EXT OFF &
                T1_SOURCE_INT, 15000);
}

void_ISR_PWMInterrupt(void)
{
    IFS2bits.PWMIF = 0.0;
}

void pwm_int(void)
{
    unsigned int config;
    unsigned int sptime;
    unsigned int config1;
    unsigned int config2;
    unsigned int config3;
    sptime = 0x0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

PWM_OP_SCALE16      &
PWM_IPCLK_SCALE16   &
PWM_MOD_FREE);
config2 = (PWM_MOD1_IND &
PWM_MOD2_IND        &
PWM_MOD3_IND        &
PWM_PEN3H           & //Drive Y-axis
PWM_PDIS3L          &
PWM_PDIS2H          &
PWM_PDIS2L          &
PWM_PEN1H           & //Drive X-axis
PWM_PDIS1L );
config3 = (PWM_SEVOPS1 &
PWM_OSYNC_PWM       &
PWM_UEN);
OpenMCPWM(PERIOD,sptime,config1,config2,config3);
}
void _ISR_IC7Interrupt(void)
{
    pos_value1=pos_value1+1;
    _IC7IF = 0; // Clear Interrupt flag
}
void _ISR_IC8Interrupt(void)
{
    pos_value2=pos_value2+1;
    _IC8IF = 0; // Clear Interrupt flag
}
void IC7_IC8_Init(void)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารในโครงการที่รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{

unsigned int config, period;

CloseCapture7(); // CloseCapture 7

CloseCapture8(); // CloseCapture 8

// ConfigIntCapture7

ConfigIntCapture7(IC_INT_ON); // Input Capture Enable

ConfigIntCapture8(IC_INT_ON); // Input Capture Enable

// OpenCapture7

config = IC_IDLE_CON & // IC operate in sleep mode
// IC_TIMER2_SRC & // Timer2 is the clock source for Capture
IC_INT_1CAPTURE & // Interrupt on first Capture
IC_EVERY_16_RISE_EDGE; // Every falling edge
OpenCapture7(config);
// OpenCapture8

config = IC_IDLE_CON & // IC operate in sleep mode
// IC_TIMER2_SRC & // Timer2 is the clock source for Capture
IC_INT_1CAPTURE & // Interrupt on first Capture
IC_EVERY_4_RISE_EDGE; // Every falling edge

OpenCapture8(config);
}

int main (void)

{

    unsigned int dutyCycle1,dutyCycle2,updatedisable;

    TRISEbits.TRISE2 = 0.0;

    TRISEbits.TRISE3 = 0.0;

    _TRISF0 = 0;

    _TRISF1 = 0;

    TRISEbits.TRISE2 = 0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    _TRISF3 = 0;

    //Set input

    TRISBbits.TRISB4 = 1;

    TRISBbits.TRISB5 = 1;

    // Off analog input RE4, RE5

    _PCFG4 = 1;

    _PCFG5 = 1;

    uart1_init();

    pwm_int();

    IC7_IC8_Init();

    ADC10_Init(); // Initialize ADC 10bit;

    unsigned int ss = 0;
    ww = 0;
    while(1)
    {
        while(DataRdyUART1())
        {
            ch = ReadUART1(); // Read buffer rx

            //----- : receive value

            if(ch=='b')
            {
                Uart1_PrintStr("^");

                for(ii=0;ii<200;ii++)
                {

                    sprintf(buf,"%u,",position_y[ii]);

                    Uart1_PrintStr(buf);

                }

                Uart1_PrintStr("&");
            }
        }
    }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

if(ch=='v')
{
    Uart1_PrintStr("*");

    for(ii=0;ii<200;ii++)
    {

        sprintf(buf,"%u,",position_x[ii]);

        Uart1_PrintStr(buf);

    }

    Uart1_PrintStr("+");
}

if(ch=='n')
{
    Uart1_PrintStr("@");

    for(ii=0;ii<200;ii++)
    {

        sprintf(buf,"%u,",proten_y[ii]);

        Uart1_PrintStr(buf);

    }

    Uart1_PrintStr("$");
}

}

if(ch=='m')
{

    Uart1_PrintStr("#");

    for(ii=0;ii<200;ii++)
    {

        sprintf(buf,"%u,",proten_x[ii]);

        Uart1_PrintStr(buf);
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }

    Uart1_PrintStr("%");
}

//----- : setpoint X

if(ch == '1')
{
    k2 = 10;

    // Uart1_PrintStr("Set_Point: X=10cm\n\r");
}

if(ch == '2')
{
    k2 = 20;
    // Uart1_PrintStr("Set_Point: X=20cm\n\r");
}

if(ch == '3')
{
    k2 = 30;
    // Uart1_PrintStr("Set_Point: X=30cm\n\r");
}

if(ch == '4')
{
    k2 = 40;

    // Uart1_PrintStr("Set_Point: X=40cm\n\r");
}

//----- : setpoint Y

if(ch == '5')
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//      Uart1_PrintStr("Set_Point: y=10cm\n\r");
}

if(ch == '6')
{
    k1 = 20;

//      Uart1_PrintStr("Set_Point: y=20cm\n\r");
}

if(ch == '7')
{
    k1 = 30;

//      Uart1_PrintStr("Set_Point: y30cm\n\r");
}

if(ch == '8')
{
    k1 = 40;

//      Uart1_PrintStr("Set_Point: y40cm\n\r");
}

//-----: kp value x

if(ch == 'W')
{
    Kp1=3;
}

if(ch == 'E')
{
    Kp1=5;
}

if(ch == 'R')

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        Kp1=10;
    }
    if(ch == 'Q')
    {
        Kp1=15;
    }
//----- : kp value y

    if(ch == 'Y')
    {
        Kp2=3;
    }
    if(ch == 'U')
    {
        Kp2=5;
    }
    if(ch == 'T')
    {
        Kp2=10;
    }
    if(ch == 'T')
    {
        Kp2=15;
    }
//----- : kpt value x

    if(ch == 'O')
    {
        Kpt1=10;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(ch == 'P')
{
    Kpt1=15;
}
if(ch == 'A')
{
    Kpt1=25;
}
if(ch == 'S')
{
    Kpt1=40;
}
//-----: kpt value y
if(ch == 'D')
{
    Kpt2=10;
}
if(ch == 'F')
{
    Kpt2=15;
}
if(ch == 'G')
{
    Kpt2=25;
}
if(ch == 'H')
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }

//----- : start

    if(ch == '?')
    {
        _LATF0 = 1;

        Kx=k1;

        Ky=k2;

        Kpx= Kp1;

        Kpy= Kp2;

        Kptx=0; //ไม่ป้อนกลับมุม
        Kpty=0; //ไม่ป้อนกลับมุม
        ss=1;
        timer1_init();
    }

//----- : Loop Control

    if((ss==1)&&(ww == 1))
    {
        if(ii<200)
        {
            _LATF1 = 1;

            _ADON = 1; // turn ADC ON

            _ADIF = 0; // Clear interrupt

            while (!_ADIF); // Convert done? 0=busy

            proten_y[ii] = ReadADC10(1); //AN0

            proten_x[ii] = ReadADC10(2); //AN1

            position_y[ii] = pos_value1;

            position_x[ii] = pos_value2;
        }
    }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ww=0;

ii=ii+1;

}

}

//----- : Loop Control Y-Axis

theta_y = proten_y[ii];

theta_x = proten_x[ii];

Uy = Kpty*((theta_y-515)*(2/7));

if(Uy>0)
{
    Uy = 0;
}

Ux = Kptx*((theta_x-500)*(1/4));

if(Ux>0)
{
    Ux = 0;
}

totaly = pos_value1;

totalx = pos_value2;

Ry = totaly/100;

Rx = totalx/200;

Errory = (Ky-Ry);

Errorx = (Kx-Rx);

Commandy = Kpy*Errory;

Commandx = Kpx*Errorx;

//----- : Condition of Y-Axis

if(Commandy>0.0)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        LATEbits.LATE3=1.0;           //หมุนทางบวก Dir logic 1
    }
    if(Commandy<0.0)
    {
        Commandy = 0.0;
        Uy = 0.0;
        // LATEbits.LATE3=0.0;       //หมุนทางลบ Dir logic 0
        // Commandy = Commandy*(-1.0);
    }
//----- : Condition of X-axis
    if(Commandx>0.0)
    {
        LATEbits.LATE2=1.0;         //หมุนทางบวก
    }
    if(Commandx<0.0)
    {
        Commandx = 0.0;
        Ux = 0.0;
    }
//----- : Control Motor

    Command_y_total = Commandy+Uy;
    Command_x_total = Commandx+Ux;

    if(Command_y_total>100.0)
    {
        Command_y_total=100.0;
    }

    if(Command_x_total>100.0)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        Command_x_total=100.0;
    }

    dutycycle1 = ((100.0-Command_y_total)*(PERIOD/50));
    dutycycle2 = ((100.0-Command_x_total)*(PERIOD/50));
    updatedisable = 0.0;
    SetDCMCPWM(3,dutycycle1,updatedisable);
    SetDCMCPWM(1,dutycycle2,updatedisable);
}
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.3 โปรแกรมสำหรับส่งและรับค่าจากไมโครคอนโทรลเลอร์

การควบคุมระบบเครน 2 มิติ อาศัยโปรแกรมวิซวลเบสิก เพื่อส่งและรับค่าจากไมโครคอนโทรลเลอร์ และแสดงผลหรือบันทึกค่าไว้ในไฟล์ มีรายละเอียดโปรแกรม ดังนี้

```

Dim sw As Integer
Sub getvalue()

If Left(Data, 1) = "S" Then
sw = 5
End If

If sw = 1 Then
Do
DoEvents

Data = Data + MSComm.Input
txt_posX.Text = Data

Loop Until Right(Data, 1) = "+"
TMR_getvalue.Enabled = False
End If

If sw = 2 Then
Do
DoEvents

Data = Data + MSComm.Input
txt_angle.Text = Data

Loop Until Right(Data, 1) = "%"
TMR_getvalue.Enabled = False
End If

If sw = 3 Then
Do
DoEvents

Data = Data + MSComm.Input
txt_posY.Text = Data

Loop Until Right(Data, 1) = "&"

TMR_getvalue.Enabled = False
End If

If sw = 4 Then
Do
DoEvents

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ Data = Data + MSComm.Input การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 txt_angleY.Text = Data
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Loop Until Right(Data, 1) = "$"

TMR_getvalue.Enabled = False
End If

End Sub

Private Sub cmd_10x_Click()
TMR_getvalue.Enabled = False
sent ("1")
txt_statX.Text = "Setpoint X = 10"
End Sub

Private Sub cmd_10y_Click()
TMR_getvalue.Enabled = False
sent ("5")
txt_statY.Text = "Setpoint Y = 10"
End Sub

Private Sub cmd_20x_Click()
TMR_getvalue.Enabled = False
sent ("2")
txt_statX.Text = "Setpoint X = 20"
End Sub

Private Sub cmd_20y_Click()
TMR_getvalue.Enabled = False
sent ("6")
txt_statY.Text = "Setpoint Y = 20"
End Sub

Private Sub cmd_30x_Click()
TMR_getvalue.Enabled = False
sent ("3")
txt_statX.Text = "Setpoint X = 30"
End Sub

Private Sub cmd_30y_Click()
TMR_getvalue.Enabled = False
sent ("7")
txt_statY.Text = "Setpoint Y = 30"
End Sub

Private Sub cmd_40x_Click()
TMR_getvalue.Enabled = False
sent ("4")
txt_statX.Text = "Setpoint X = 40"
End Sub

Private Sub cmd_40y_Click()
TMR_getvalue.Enabled = False
sent ("8")
txt_statY.Text = "Setpoint Y = 40"
End Sub

Private Sub cmd_GO_Click()
sent ("9")

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของศูนย์บริการวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

End Sub

Private Sub cmd_reciv1_Click()
sw = 1
TMR_getvalue.Enabled = True
sent ("v")
End Sub

Private Sub cmd_reciv2_Click()
sw = 2
TMR_getvalue.Enabled = True
sent ("m")
End Sub

Private Sub cmd_reciv3_Click()
sw = 3
TMR_getvalue.Enabled = True
sent ("b")
End Sub

Private Sub cmd_reciv4_Click()
sw = 4
TMR_getvalue.Enabled = True
sent ("n")
End Sub

Private Sub Command1_Click()
sent ("e")
End Sub

Private Sub Command2_Click()
sent ("k")
End Sub

Private Sub Form_Load()
MSComm.PortOpen = True
TMR_getvalue.Enabled = False
End Sub

Private Sub kp_10angle_x_Click()
TMR_getvalue.Enabled = False
sent ("O")
txt_kptX.Text = "Kp of angle X = 10"
End Sub

Private Sub kp_10angle_y_Click()
TMR_getvalue.Enabled = False
sent ("D")
txt_kptY.Text = "Kp of angle Y = 10"
End Sub

Private Sub kp_10position_x_Click()
TMR_getvalue.Enabled = False
sent ("R")
txt_kpX.Text = "Kp of position X = 25"
End Sub

Private Sub kp_10position_y_Click()
TMR_getvalue.Enabled = False
sent ("I")

```

```
txt_kpY.Text = "Kp of position Y = 10"
End Sub
```

```
Private Sub kp_15angle_x_Click()
TMR_getvalue.Enabled = False
sent ("P")
txt_kptX.Text = "Kp of angle X = 15"
End Sub
```

```
Private Sub kp_15angle_y_Click()
TMR_getvalue.Enabled = False
sent ("F")
txt_kptY.Text = "Kp of angle Y = 15"
End Sub
```

```
Private Sub kp_1position_x_Click()
TMR_getvalue.Enabled = False
sent ("Q")
txt_kpX.Text = "Kp of position X = 27"
End Sub
```

```
Private Sub kp_1position_y_Click()
TMR_getvalue.Enabled = False
sent ("T")
txt_kpY.Text = "Kp of position Y = 15"
End Sub
```

```
Private Sub kp_25angle_x_Click()
TMR_getvalue.Enabled = False
sent ("A")
txt_kptX.Text = "Kp of angle X = 25"
End Sub
```

```
Private Sub kp_25angle_y_Click()
TMR_getvalue.Enabled = False
sent ("G")
txt_kptY.Text = "Kp of angle Y = 25"
End Sub
```

```
Private Sub kp_3position_x_Click()
TMR_getvalue.Enabled = False
sent ("W")
txt_kpX.Text = "Kp of position X = 15"
End Sub
```

```
Private Sub kp_3position_y_Click()
TMR_getvalue.Enabled = False
sent ("Y")
txt_kpY.Text = "Kp of position Y = 3"
End Sub
```

```
Private Sub kp_40angle_x_Click()
TMR_getvalue.Enabled = False
sent ("S")
txt_kptX.Text = "Kp of angle X = 40"
End Sub
```

```
Private Sub kp_40angle_y_Click()
TMR_getvalue.Enabled = False
sent ("H")
```

```

txt_kptY.Text = "Kp of angle Y = 40"
End Sub

Private Sub kp_5position_x_Click()
TMR_getvalue.Enabled = False
sent ("E")
txt_kpX.Text = "Kp of position X = 20"
End Sub

Private Sub kp_5position_y_Click()
TMR_getvalue.Enabled = False
sent ("U")
txt_kpY.Text = "Kp of position Y = 5"
End Sub

Private Sub TMR_getvalue_Timer()
getvalue
End Sub

Sub sent(sen As String)
    MSComm.Output = sen + Chr(10) + Chr(13)
End Sub

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์. เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งานในระบบการวัดและการควบคุม. กรุงเทพมหานคร, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2548
- [2] อภิชาติ กุฬลับ. เริ่มต้นเขียนโปรแกรมการติดต่อ และควบคุมฮาร์ดแวร์ด้วย Visual Basic, นนทบุรี, อินโฟเพรส, 2546
- [3] ทรงลักษณ์ พิริยะไพโรจน์. เรียนลัด Data Structure ด้วย Visual Basic, กรุงเทพมหานคร, โปรวิชั่น. 2544
- [4] K. Ogata, **Modern Control Engineering**, 2nd Edition, Prentice-Hall international, Inc 1990.
- [5] วัลลภ ศรีดอกบวบ. “การควบคุมหลายตัวแปรของระบบครนเหนือศรียะโดยวิธีกำหนดอัตราส่วนคุณลักษณะ.”—วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [6] ชโย เลหาเรณู, บุญฤทธิ์ ขอมอบกลาง, สุรพงษ์ แจ่มวงศ์. “ระบบควบคุมตำแหน่งครน 2 มิติ.” ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิศวกรรมระบบควบคุมคณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2550.
- [7] นคร ภักดีชาติ, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. คู่มือการทดลอง dsPic Microcontroller เบื้องต้นด้วยโปรแกรมภาษา C กับ MPLAB C30. กรุงเทพฯ, อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้