

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบควบคุมเครนแบบหมุน

ROTATIONAL CRANE CONTROL SYSTEM



นายมนต์ชัย ธรรมทวิโชค
นายวาทีน สุริยะ
นายอภิเชษฐ์ มงคลพรอุดม
นายเอกฉัตร ชูเซ่ง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 103028
วัน,เดือน,ปี..... 24 ส.ค. 2552



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบควบคุมเครนแบบหมุน
ROTATIONAL CRANE CONTROL SYSTEM

ผู้จัดทำ	นายมนต์ชัย	ธรรมทวีโชค	48010700
	นายวาทีน	สุริยะ	48010813
	นายอภิเชษฐ์	มงคลพรอุดม	48011061
	นายเอกลักษณ์	ชูเซ่ง	48011149


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ถาวร เบนญนราสุทธิ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมเครนแบบหมุน

โดย

นายมนต์ชัย	ธรรมทวิโชค	48010700
นายวาทีน	สุริยะ	48010813
นายอภิเชษฐ์	มงคลพรอุดม	48011061
นายเอกลักษณ์	ชูเซ่ง	48011149

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ถาวร เบญจนาสุทธี

ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการควบคุมเครนแบบหมุนอาศัยมนุษย์เป็นผู้ควบคุม โดยผู้ควบคุมจะต้องมีความชำนาญเพื่อสามารถควบคุมเครนให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการอย่างแม่นยำและปลอดภัย ในปฏิญานิพนธ์นี้จึงเสนอการนำระบบควบคุมมาใช้ในการควบคุมตำแหน่งของเครนให้ไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสร้างแบบจำลองเครนแบบหมุนและตัวควบคุมสำหรับระบบเครนแบบหมุน เพื่อควบคุมตำแหน่งของเครน ทั้งในส่วนเป็นหมุน กลองเลื่อน และส่วนยกวัตถุ ในการทดลองจะอาศัยตัวควบคุมแบบเปิดปิด และตัวควบคุมแบบพีไอดี เพื่อควบคุมตำแหน่งของเครนทั้งสามส่วนนี้ให้ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งตัวควบคุมของทั้งสามส่วนถูกออกแบบแยกอิสระจากกันและกัน จากการเปรียบเทียบผลตอบสนองพบว่าผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบพีไอดี สามารถออกแบบให้มีค่าพุงเกินที่น้อยและมีความเร็วได้ตามต้องการ

ROTATIONAL CRANE CONTROL SYSTEM

By

Mr. Monchai Thamtawechock

Mr. Watin Suriya

Mr. Apichet Mongkolpornudom

Mr. Eakkaluk Chooseang

Advisor

Asst. Prof. Dr. Taworn Benjanarasuth

Academic Year 2008

ABSTRACT

In present, the position control of the rotational crane has been controlled by an operator. For accuracy and safety in the operation, it is therefore required an experienced and skillful operator. Hence, this thesis presents the control system for controlling the crane to the desired position with high performance. The rotational crane model and controllers are implemented. In the experiments on-off controller and PID controller are applied to control the positions of turntable, sliding-box and hoist. The controllers for each part are independently designed and the experimental results show that the PID controllers can be designed to yield the sufficiently fast responses without overshoot.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร. ถาวร เบญจนาสุทธี เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้ปรึกษาแนวทางในการแก้ปัญหา ความคิดริเริ่ม ตลอดจนการฝึกฝนให้คณะผู้จัดทำมีความสามารถในการทำวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงให้ความเอาใจใส่ดูแลสอบถามถึงความก้าวหน้าอย่างสม่ำเสมอ ทำให้คณะผู้จัดทำทำงานอย่างเป็นระบบและใช้เวลาอย่างมีประสิทธิภาพ

ขอขอบพระคุณ รศ. ดร. จงกต งามวิวิทย์ ที่คอยถามถึงความคืบหน้า คัดเตือน และกระตุ้นให้คณะผู้จัดทำตั้งใจทำงานอยู่เสมอมา

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัย จนผู้จัดทำสามารถทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้น

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ สนับสนุนอุปกรณ์ที่ขาดเหลือ กระตุ้นเตือน รวมทั้งคอยถามไถ่ความคืบหน้าของโครงการอยู่เสมอ จนสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจที่ดี ตลอดจนมา ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงการนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงได้

คณะผู้จัดทำ

นายมนต์ชัย

ธรรมทวีโชค

นายวาทิน

สุริยะ

นายอภิเชษฐ์

มงคลพรอุดม

นายเอกลักษณ์

ชูเซ่ง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 ตัวควบคุม	3
2.1.1 ระบบควบคุมแบบพี	3
2.1.2 ระบบควบคุมแบบไอ	6
2.1.3 ระบบควบคุมแบบดี	7
2.1.4 ระบบควบคุมแบบพีไอ	9
2.1.5 ระบบควบคุมแบบพีดี	11
2.1.6 ระบบควบคุมแบบพีไอดี	12
2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและการควบคุม	13
2.2.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	14
2.2.1.1 สเตเตอร์	14
2.2.1.2 โรเตอร์	14
2.2.2 หลักการทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	15
2.2.3 การควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	17
2.2.4 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขั้นพื้นฐาน	17
2.2.4.1 การควบคุมด้วยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้	17
2.2.4.2 การควบคุมด้วยวิธีเปลี่ยนค่าแรงดัน	18
2.2.4.3 การควบคุมด้วยสัญญาณพัลส์วidthมอดูเลชัน	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2.5 การควบคุมทิศทางมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้วงจร H-Bridge	20
2.3 เอ็นโค้ดเดอร์	21
2.4 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม	22
2.4.1 การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส	22
2.4.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	23
2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์	25
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	27
3.1 การออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบของครนแบบหมุน	27
3.1.1 โครงสร้างของฐาน	27
3.1.2 โครงสร้างของแขน	28
3.1.3 โครงสร้างของแป้นหมุน	28
3.1.4 โครงสร้างของกล่องเลื่อน	29
3.1.5 โครงสร้างของส่วนยกภาระ	30
3.2 การออกแบบระบบควบคุมการทำงานของครน	31
3.2.1 ส่วนส่งค่าเป้าหมายการควบคุม	31
3.2.2 ส่วนวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของครน	32
3.2.3 ส่วนรับค่าสัญญาณวัดจากเอ็นโค้ดเดอร์และส่งสัญญาณควบคุม	33
3.2.4 ส่วนขยายสัญญาณควบคุมเพื่อขับมอเตอร์	35
3.3 การออกแบบวงจรที่ใช้ในระบบควบคุม	35
3.3.1 วงจรขับมอเตอร์	35
3.3.3 วงจรควบคุมการทำงาน	36
บทที่ 4 การทดลอง	38
4.1 การทดลองค่าสัญญาณพัลส์วิทมอเตอร์เลชั่นเริ่มต้นที่ทำให้มอเตอร์เริ่มหมุน	38
4.2 การทดลองควบคุมตำแหน่งครนด้วยการควบคุมแบบเปิดปิด	38
4.2.1 การทดลองควบคุมตำแหน่งส่วนแป้นหมุน	38
4.2.2 การทดลองควบคุมตำแหน่งส่วนกล่องเลื่อน	39
4.2.3 การทดลองควบคุมตำแหน่งส่วนยกภาระ	40
4.3 การทดลองควบคุมตำแหน่งครนด้วยการควบคุมแบบพี	40
4.3.1 การทดลองเมื่อไม่ชดเชยสัญญาณควบคุม	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3.1.1 การทดลองควบคุมตำแหน่งส่วนเป็นหมุน	40
4.3.1.2 การทดลองควบคุมตำแหน่งส่วนกล่องเลื่อน	41
4.3.1.3 การทดลองควบคุมตำแหน่งส่วนยกภาระ	43
4.3.2 การทดลองเมื่อชดเชยสัญญาณควบคุม	44
4.3.2.1 การทดลองควบคุมตำแหน่งส่วนเป็นหมุน	44
4.3.2.2 การทดลองควบคุมตำแหน่งส่วนกล่องเลื่อน	46
4.3.2.3 การทดลองควบคุมตำแหน่งส่วนยกภาระ	47
4.4 การทดลองควบคุมตำแหน่งแครงด้วยการควบคุมแบบพีไอ	49
4.4.1 การทดลองควบคุมตำแหน่งส่วนเป็นหมุน	49
4.4.2 การทดลองควบคุมตำแหน่งส่วนกล่องเลื่อน	50
4.4.3 การทดลองควบคุมตำแหน่งส่วนยกภาระ	51
บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์	53
5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	53
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข	54
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา	54
ภาคผนวก ก โปรแกรมที่ใช้ในโครงการ	56
ก.1 โปรแกรมสั่งงานโดยผู้ใช้งานบนคอมพิวเตอร์	56
ก.2 โปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์	61
ภาคผนวก ข คู่มือการใช้งานอุปกรณ์ในโครงการ	73
ข.1 มอเตอร์และอุปกรณ์วัดตำแหน่ง	73
ข.1.1 มอเตอร์และอุปกรณ์วัดตำแหน่งส่วนเป็นหมุน	73
ข.1.2 มอเตอร์และอุปกรณ์วัดตำแหน่งส่วนกล่องเลื่อน	76
ข.1.3 มอเตอร์และอุปกรณ์วัดตำแหน่งส่วนชดชยกภาระ	78
ข.2 อุปกรณ์ในวงจร	83
ข.2.1 ไอซี dsPIC30F4012	83
ข.2.2 มอสเฟต Z44N	84
ข.2.3 มอสเฟต IRF9540	85
ข.2.4 ทรานซิสเตอร์ BC547	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ข.2.5 ไอซี 7408	87
ข.2.6 ไอซี MAX232	89
ภาคผนวก ค แบบโครงสร้างส่วนประกอบของเครน	90
เอกสารอ้างอิง	103



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 โครงสร้างเครนแบบหมุน	1
2.1 การกำหนดช่วงจำกัดของเอาท์พุท	4
2.2 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบพี	5
2.3 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพี	5
2.4 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบไอ	6
2.5 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบไอ	7
2.6 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบดี	8
2.7 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบดี	8
2.8 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพีไอ	9
2.9 การตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีไอ	10
2.10 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพีดี	12
2.11 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพีไอดี	12
2.12 สเตเตอร์ของมอเตอร์กระแสตรงแบบ 2 โพล และแบบ 4 โพล	14
2.13 โรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	15
2.14 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	16
2.15 ระบบควบคุมตำแหน่ง	17
2.16 วงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้ตัวต้านทานอนุกรม	18
2.17 กราฟคุณสมบัติการควบคุมความเร็วโดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้	18
2.18 การควบคุมความเร็วโดยเปลี่ยนค่าแรงดัน	19
2.19 สัญญาณพัลส์วิทมอดูละชั้นมีความกว้างพัลส์เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์	19
2.20 สัญญาณพัลส์วิทมอดูละชั้นมีความกว้างพัลส์เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์	19
2.21 สัญญาณพัลส์วิทมอดูละชั้นมีความกว้างพัลส์เท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์	20
2.22 วงจรสวิตช์แบบ H-Bridge	20
2.23 ลักษณะการทำงานเมื่อสับสวิตช์ในแต่ละคู่	21
2.24 ส่วนประกอบและสัญญาณที่ได้จากเอ็นโค้ดเดอร์	22
2.25 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส	23
2.26 การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	23
2.27 ไอซี MAX 232	25
3.1 โครงสร้างฐานของเครนแบบหมุน	27

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลใช้สำหรับการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3 โครงสร้างเป็นหมุนของเครนแบบหมุน	29
3.4 โครงสร้างกล่องเลื่อนของเครนแบบหมุน	29
3.5 มอเตอร์ส่วนยกภาระ	30
3.6 ส่วนยกภาระ	30
3.7 บล็อกโคอะแกรมการควบคุมตำแหน่งเครนแบบหมุน	31
3.8 แผนภาพการส่งค่าเป้าหมายการควบคุม	32
3.9 เอ็นโค้ดเดอร์ส่วนเป็นหมุน	32
3.10 เอ็นโค้ดเดอร์ส่วนกล่องเลื่อน	33
3.11 เอ็นโค้ดเดอร์ส่วนยกภาระ	33
3.12 แผนภาพการรับค่าสัญญาณวัดจากเอ็นโค้ดเดอร์และส่งสัญญาณควบคุม	34
3.13 ส่วนขยายสัญญาณควบคุมเพื่อขับมอเตอร์	35
3.14 วงจร H-Bridge โดยใช้มอสเฟต	35
3.15 วงจรควบคุมการทำงานของระบบควบคุมตำแหน่งเครน	36
3.16 แผงวงจรควบคุมการทำงานของระบบควบคุมตำแหน่งเครน	37
4.1 ผลตอบสนอง ณ ตำแหน่งมุม 90 องศา โดยควบคุมแบบเปิด-ปิด	39
4.2 ผลตอบสนอง ณ ตำแหน่ง 300 มิลลิเมตร โดยควบคุมแบบเปิด-ปิด	39
4.3 ผลตอบสนอง ณ ตำแหน่งยกขึ้น 300 มิลลิเมตร โดยควบคุมแบบเปิด-ปิด	40
4.4 ผลตอบสนอง ณ ตำแหน่งมุม 90 องศา โดยควบคุมแบบพีเอ็มเอ็มไม่ชดเชย	41
4.5 สัญญาณควบคุม ณ ตำแหน่งมุม 90 องศา โดยควบคุมแบบพีเอ็มเอ็มไม่ชดเชย	41
4.6 ผลตอบสนอง ณ ตำแหน่ง 300 มิลลิเมตร โดยควบคุมแบบพีเอ็มเอ็มไม่ชดเชย	42
4.7 สัญญาณควบคุมตำแหน่ง 300 มิลลิเมตร โดยควบคุมแบบพีเอ็มเอ็มไม่ชดเชย	43
4.8 ผลตอบสนอง ณ ตำแหน่งยกขึ้น 300 มิลลิเมตร โดยควบคุมแบบพีเอ็มเอ็มไม่ชดเชย	44
4.9 สัญญาณควบคุม ณ ตำแหน่งยกขึ้น 300 มิลลิเมตร โดยควบคุมแบบพีเอ็มเอ็มไม่ชดเชย	44
4.10 ผลตอบสนอง ณ ตำแหน่งมุม 90 องศา โดยควบคุมแบบพีเอ็มเอ็มชดเชย	45
4.11 สัญญาณควบคุม ณ ตำแหน่งมุม 90 องศา โดยควบคุมแบบพีเอ็มเอ็มชดเชย	46
4.12 ผลตอบสนอง ณ ตำแหน่ง 300 มิลลิเมตร โดยควบคุมแบบพีเอ็มเอ็มชดเชย	47
4.13 สัญญาณควบคุม ณ ตำแหน่ง 300 มิลลิเมตร โดยควบคุมแบบพีเอ็มเอ็มชดเชย	47
4.14 ผลตอบสนอง ณ ตำแหน่งการยกขึ้น 300 มิลลิเมตร โดยควบคุมแบบพีเอ็มเอ็มชดเชย	48
4.15 สัญญาณควบคุม ณ ตำแหน่งยกขึ้น 300 มิลลิเมตร โดยควบคุมแบบพีเอ็มเอ็มชดเชย	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 ผลตอบสนอง ณ ตำแหน่งมุม 90 องศา เมื่อใช้การควบคุมแบบพีไอ	50
4.17 สัญญาณควบคุม ณ ตำแหน่งมุม 90 องศา เมื่อใช้การควบคุมแบบพีไอ	50
4.18 ผลตอบสนอง ณ ตำแหน่ง 300 มิลลิเมตร เมื่อใช้การควบคุมแบบพีไอ	51
4.19 สัญญาณควบคุม ณ ตำแหน่ง 300 มิลลิเมตร เมื่อใช้การควบคุมแบบพีไอ	52
4.20 ผลตอบสนอง ณ ตำแหน่งการยกขึ้น 300 มิลลิเมตร เมื่อใช้การควบคุมแบบพีไอ	53
4.21 สัญญาณควบคุม ณ ตำแหน่งยกขึ้น 300 มิลลิเมตร เมื่อใช้การควบคุมแบบพีไอ	53
ก.1 หน้าต่างสั่งงานควบคุมตำแหน่งเครน	58
ก.2 ปุ่มสั่งงานบนหน้าต่างใช้งาน	59
ข.1 มอเตอร์และอุปกรณ์วัดตำแหน่งส่วนเป็นหมุน	75
ข.2 มอเตอร์และอุปกรณ์วัดตำแหน่งส่วนกลองเลื่อน	78
ข.3 อุปกรณ์วัดตำแหน่งของมอเตอร์ส่วนกลองเลื่อน	80
ข.4 มอเตอร์และอุปกรณ์วัดตำแหน่งส่วนชดชยกภาระ	80
ข.5 อุปกรณ์วัดตำแหน่งของมอเตอร์ส่วนชดชยกภาระ	84
ข.6 ไอซี dsPIC30F4012	85
ข.7 มอสเฟต Z44N	86
ข.8 มอสเฟต IRF9540	87
ข.9 ทรานซิสเตอร์ BC547	88
ข.10 ไอซี 7408	89
ข.11 ไอซี 7408	90
ข.12 ไอซี MAX232	91
ค.1 แบบโครงสร้างส่วนเป็นหมุนส่วนที่ 1	93
ค.2 แบบโครงสร้างส่วนเป็นหมุนส่วนที่ 2	94
ค.3 แบบโครงสร้างส่วนเป็นหมุนส่วนที่ 3	95
ค.4 แบบโครงสร้างส่วนเป็นหมุนส่วนที่ 4	96
ค.5 แบบโครงสร้างส่วนเป็นหมุนส่วนที่ 5	97
ค.6 แบบโครงสร้างส่วนเป็นหมุนส่วนที่ 6	98
ค.7 แบบโครงสร้างส่วนเป็นหมุนส่วนที่ 7	99
ค.8 แบบโครงสร้างส่วนเป็นหมุนส่วนที่ 8	100
ค.9 แบบโครงสร้างส่วนกลองเลื่อนส่วนที่ 1	101

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค.11 แบบ โครงสร้างส่วนกล่องเลื่อนส่วนที่ 3	103
ค.12 แบบ โครงสร้างส่วนปลายแขนของเครน	104



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

4.1 คิวตี้ไซเคิลเริ่มต้นที่ทำให้มอเตอร์เริ่มหมุน

38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันมนุษย์คิดค้นเทคโนโลยีใหม่ๆขึ้นมา เพื่ออำนวยความสะดวกสบายและตอบสนองความต้องการที่ไม่สิ้นสุดของตัวเอง ซึ่งหนึ่งในเทคโนโลยีที่พบเห็นกันอย่างแพร่หลายในงานด้านอุตสาหกรรม ก็คือเทคโนโลยีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ที่กลายมาเป็นตัวขับเคลื่อนที่สำคัญในระบบควบคุมเกือบทุกชนิดตลอดจนงานที่ต้องการเคลื่อนย้ายภาระที่มีขนาดใหญ่และความแม่นยำของตำแหน่งสูง จึงสร้างเครนขึ้นมาเพื่อใช้กับลักษณะงานดังกล่าว โดยอาศัยเทคโนโลยีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งการควบคุมเครนจำเป็นต้องใช้บุคคลที่มีความชำนาญสูง และต้องพิจารณาถึงความปลอดภัย ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงาน ด้วยเหตุนี้ทำให้เกิดความตั้งใจที่จะปรับปรุงการควบคุมเครนระบบเดิมให้กลายเป็นระบบอัตโนมัติ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว จึงเป็นที่มาของโครงการ เพื่อศึกษา ออกแบบ และสร้างระบบควบคุมเครนอัตโนมัติที่ทำให้เกิดสมรรถนะสูงสุด

โครงการนี้นำเสนอการควบคุมตำแหน่งของเครนแบบหมุนโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวขับเคลื่อน ซึ่งปัญหาที่พบจากการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงคือเมื่อหยุดจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไม่ได้หยุดหมุนทันที มอเตอร์ยังคงหมุนด้วยแรงเฉื่อยก่อนจะหยุดหมุน จากลักษณะการทำงานดังกล่าว พบว่าไม่สามารถควบคุมตำแหน่งตามต้องการได้ ดังนั้นโครงการนี้จึงเลือกใช้การควบคุมแบบวงปิด ในการควบคุมตำแหน่งเครนแบบหมุน โครงการนี้ยังออกแบบและสร้างเครนแบบหมุนเพื่อใช้ในการทดลอง ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 โครงสร้างเครนแบบหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพียงครั้งเดียว เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

สร้างแบบจำลองระบบควบคุมแบบหมุน ตัวควบคุม และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนพัฒนาโปรแกรมควบคุม เพื่อควบคุมตำแหน่งของเครนให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการอย่างอัตโนมัติ โดยอาศัยความรู้ทางทฤษฎีระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์วัด และไมโครคอนโทรลเลอร์

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษาโครงสร้างและการทำงานของระบบควบคุมแบบหมุน
2. ออกแบบและสร้างแบบจำลองระบบควบคุมเพื่อใช้ในการทดลอง
3. ศึกษาการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้วงจร H-Bridge
4. ศึกษาการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4012
5. ศึกษาการประยุกต์ใช้งานของเซ็นเซอร์
6. ศึกษาการประยุกต์ใช้ทฤษฎีระบบควบคุมเพื่อออกแบบตัวควบคุม
7. สร้างระบบควบคุมเพื่อใช้ควบคุมระบบแบบหมุน
8. ศึกษาการเขียนโปรแกรมวิซวลเบสิก และเขียนโปรแกรมเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการควบคุมระบบแบบหมุนผ่านคอมพิวเตอร์
9. ทำการทดลอง บันทึก และสรุปผล

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แบบจำลองและระบบควบคุมระบบแบบหมุน
2. ได้รับความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของระบบแบบหมุน
3. ได้รับความรู้เกี่ยวกับการใช้โปรแกรมเขียนแบบด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์ค
4. ได้รับความรู้เกี่ยวกับการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยวงจร H-Bridge
5. ได้รับความรู้เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4012
6. ได้รับความรู้เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้งานเซ็นเซอร์
7. ได้รับความรู้เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ทฤษฎีระบบควบคุม และสามารถออกแบบตัวควบคุมได้
8. ได้รับความรู้เกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมวิซวลเบสิก และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการของส่วนประกอบและอุปกรณ์ที่สำคัญสำหรับออกแบบเพื่อการควบคุมระบบแบบหมุน ดังนี้

- ตัวควบคุม
- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและการควบคุม
- เอ็นโค้ดเดอร์
- การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกโดยผ่านพอร์ตอนุกรม
- ไมโครคอนโทรลเลอร์

2.1 ตัวควบคุม

ตัวควบคุมแบบดั้งเดิม (Classical Controller) เป็นส่วนประกอบหนึ่งในระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control System) ในหัวข้อนี้กล่าวถึงลักษณะการควบคุมที่นิยมใช้ใน ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ ซึ่งมีกฎการควบคุม (Control Law) 3 รูปแบบหลักคือ

- การควบคุมแบบพี (P : Proportional Control)
- การควบคุมแบบไอ (I : Integral Control)
- การควบคุมแบบดี (D : Derivative Control)

2.1.1 ระบบควบคุมแบบพี

ในระบบควบคุมแบบพี เอาท์พุต $u(t)$ ของตัวควบคุม เป็นสัดส่วนกับอินพุต $e(t)$ ของตัวควบคุม และถ้ากำหนดสัญญาณอินพุตให้กับตัวควบคุมเป็นค่าความผิดพลาด $e(t)$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลาดังสมการที่ 2.1

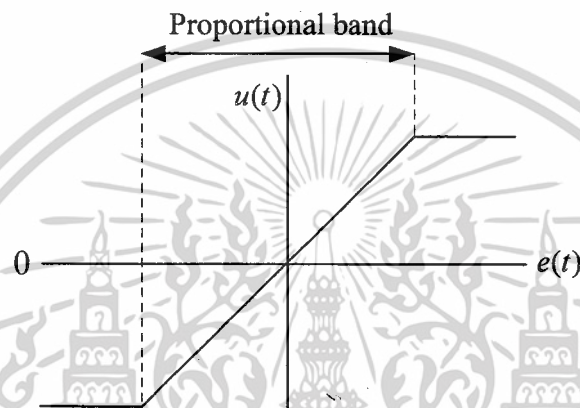
$$u(t) = K_p e(t) \quad (2.1)$$

เมื่อ K_p เป็นค่าคงที่เรียกว่า อัตราขยายแบบสัดส่วน (Proportional Gain) ซึ่งได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุม $G_c(s)$ มีค่าเป็น ดังสมการที่ 2.2

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น การควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพี จึงเป็นเพียงการขยายสัญญาณความผิดพลาดเท่านั้น การที่สัญญาณความผิดพลาดขนาดใหญ่ที่เวลาหนึ่ง ทำให้เกิดเอาต์พุตมีขนาดใหญ่ในเวลา นั้น อย่างไรก็ตามการให้อัตราขยายคงที่นั้น ในทางปฏิบัติอาจกำหนดไว้ในบางช่วงของสัญญาณความผิดพลาดเท่านั้น หรืออาจกำหนดให้ตัวควบคุมมีค่าเอาต์พุตไม่น้อยกว่าค่าๆหนึ่งและไม่มากเกินไปกว่าค่าๆหนึ่งก็ได้ ซึ่งการกำหนดช่วงจำกัดของเอาต์พุตมีลักษณะดังรูปที่ 2.1 ช่วงการกำหนดสัดส่วนแบบนี้ เรียกว่า Proportional Band

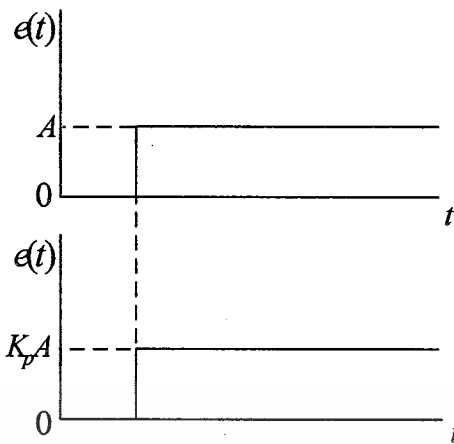


รูปที่ 2.1 การกำหนดช่วงจำกัดของเอาต์พุต

การกำหนด Proportional Band แบบนี้ช่วยให้สัญญาณเอาต์พุตมีค่าจำกัดไม่ไปสู่อันต์ทั้งทางด้านบวกและทางด้านลบ และเมื่อตัวควบคุมมีเอาต์พุตสูงที่เป็นไปได้ค่าหนึ่งก็นิยมกำหนดเอาต์พุตค่าใดๆ เป็นร้อยละของค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของค่าเอาต์พุต 100% หมายความว่า เอาต์พุตจะเปลี่ยนจากค่าต่ำสุดที่เป็นไปได้ ไปเป็นค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ แสดงได้ดังสมการ 2.3

$$K_p = \frac{100}{\text{Proportional Band}} \quad (2.3)$$

เนื่องจากเอาต์พุตของตัวควบคุมเป็นสัดส่วนกับอินพุต ดังนั้นหากอินพุตมีสัญญาณเป็นสัญญาณระดับ (Step Signal) เอาต์พุตที่ได้จะมีลักษณะเป็นสัญญาณระดับเช่นกัน โดยลักษณะของกราฟแสดงอินพุตและเอาต์พุตจะมีสัดส่วนที่แน่นอนค่าหนึ่งตามรูปที่ 2.2 โดยรูปนี้แสดงถึงการตอบสนองของตัวควบคุม เมื่ออินพุตอยู่ในช่วง Proportional Band

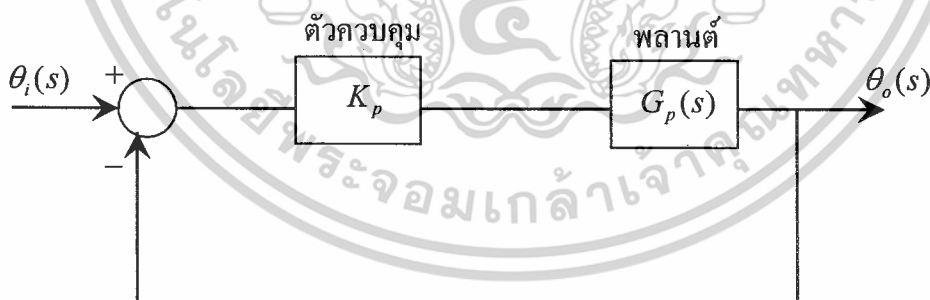


รูปที่ 2.2 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบพี

ในทางปฏิบัติตัวควบคุมแบบพีมีลักษณะเหมือนกับเครื่องขยายสัญญาณรูปแบบหนึ่ง ซึ่งอาจเป็นในลักษณะของอุปกรณ์ไฟฟ้า หรืออาจเป็นเครื่องขยายสัญญาณเชิงกล เช่น คันาน มีลักษณะของระบบที่มีตัวควบคุมแบบพี แสดงไว้ในรูปที่ 2.3 และมีฟังก์ชันถ่ายโอนวงเปิดดังสมการที่ 2.4

$$\frac{\theta_o(s)}{\theta_i(s)} = K_p G_p(s) \quad (2.4)$$

เมื่อ $G_p(s)$ เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนของพลานต์ (plant) หรือกระบวนการ (process)



รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพี

ข้อเสียของระบบที่มีตัวควบคุมแบบพี คือ ถ้ากระบวนการเป็นชนิด 0 (type 0) ตัวควบคุมจะไม่เปลี่ยนแปลงชนิด ทำให้เป็นระบบชนิด 0 เหมือนเดิม จะทำให้เกิดค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงตัว (Steady-State Error) ต่ออินพุตระดับ

ระบบควบคุมแบบป้อนกลับหนึ่งหน่วยมีฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบวงปิด ดังสมการที่ 2.5 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\theta_o(s)}{\theta_s(s)} = \frac{K_p G_p(s)}{1 + K_p G_p(s)} \quad (2.5)$$

มีสมการคุณลักษณะเป็น $1 + K_p G_p(s) = 0$ และมีรากเปลี่ยนไปตามค่าของ K_p เท่านั้น

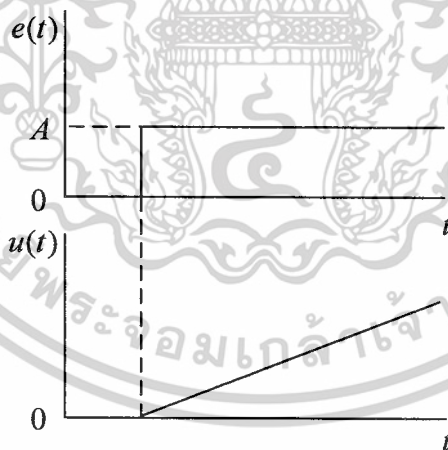
2.1.2 ระบบควบคุมแบบไอ

ในระบบควบคุมแบบไอ เอาท์พุทของตัวควบคุมแบบไอจะเป็นสัดส่วนกับการอินทิกรัลสัญญาณของค่าผิดพลาดเทียบกับเวลา แสดงได้ดังสมการที่ 2.6

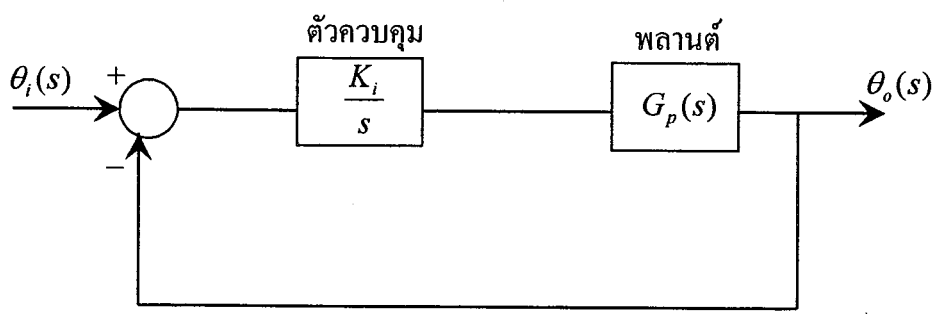
$$u(t) = K_i \int e(t) dt \quad (2.6)$$

เมื่อ K_i เป็นค่าคงที่ที่เรียกว่า อัตราขยายอินทิกรัล (Integral Gain) มีหน่วยเป็น วินาที⁻¹

การตอบสนองของตัวควบคุมแบบไอ เมื่อได้รับสัญญาณอินพุตแบบระดับขนาด A ณ เวลาใดๆ แสดงดังรูปที่ 2.4 ซึ่งเอาท์พุท $u(t)$ จะเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟของสัญญาณอินพุตคูณด้วยอัตราขยายอินทิกรัล ดังนั้นหากมีค่าอินพุตแบบระดับ เอาท์พุทที่ออกจากตัวควบคุมมีค่ามากขึ้นเรื่อยๆด้วยอัตราคงที่ ในลักษณะรูปสัญญาณลาดเอียง (Ramp Signal)



รูปที่ 2.4 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบไอ



รูปที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบโอ

จากสมการที่ (2.6) ได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบโอ ดังสมการที่ (2.7)

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

ทำให้ระบบควบคุมที่แสดงในรูปที่ 2.5 มีฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบวงเปิดดังสมการที่ (2.8)

$$\frac{\theta_o(s)}{\theta_i(s)} = \frac{K_i}{s} G_p(s) \tag{2.8}$$

และทำให้มีฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดดังสมการที่ 2.9

$$\frac{\theta_o(s)}{\theta_i(s)} = \frac{\frac{K_i}{s} G_p(s)}{1 + \frac{K_i}{s} G_p(s)} \tag{2.9}$$

จากฟังก์ชันถ่ายโอนวงเปิด หาก $G_p(s)$ เดิมเป็นชนิด 0 (type 0) จะพบว่าระบบควบคุมแบบโอทำให้ระบบวงเปิดซึ่งมีตัวควบคุมแล้ว $G_c(s)G_p(s)$ เป็นชนิด 1 (type 1) ซึ่งสามารถทำให้ระบบควบคุมวงปิดไม่มีความผิดพลาดที่สภาวะคงตัวต่อสัญญาณอินพุตอ้างอิงแบบระดับ

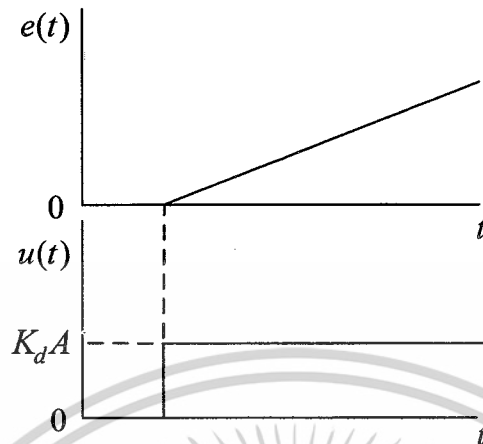
2.1.3 ระบบควบคุมแบบดี

ระบบควบคุมแบบดี เอาท์พุตเป็นส่วนกับอัตราการผลิตเปลี่ยนแปลงความผิดพลาดเทียบกับเวลา ดังสมการที่ (2.10)

$$u(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \tag{2.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ K_d คือ อัตราขยายอนุพันธ์ (Derivative Gain) มีหน่วยเป็น วินาที



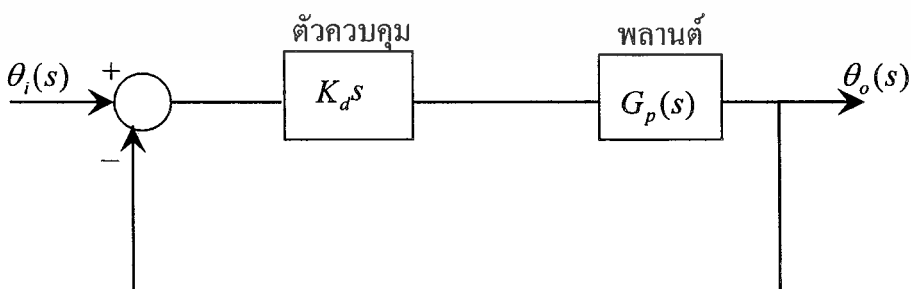
รูปที่ 2.6 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบดิ

การตอบสนองของตัวควบคุมแบบดิ เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณแบบลาดเอียงด้วยความชัน A แสดงดังรูปที่ 2.6 จากสมการที่ (2.10) พบว่าตัวควบคุมแบบดิจะให้สัญญาณออกมีค่ามากเมื่ออินพุตความผิดพลาดมีแนวโน้มในอัตราที่สูงขึ้นก่อนที่จะเกิดความผิดพลาดมากขึ้น ซึ่งฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบดิ แสดงดังสมการที่ (2.11)

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_d s \quad (2.11)$$

ดังนั้นระบบควบคุมแบบดิจึงมีฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบวงปิด ดังสมการที่ (2.12)

$$\frac{\theta_o(s)}{\theta_i(s)} = \frac{K_d s G_p(s)}{1 + K_d s G_p(s)} \quad (2.12)$$



รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบดิ

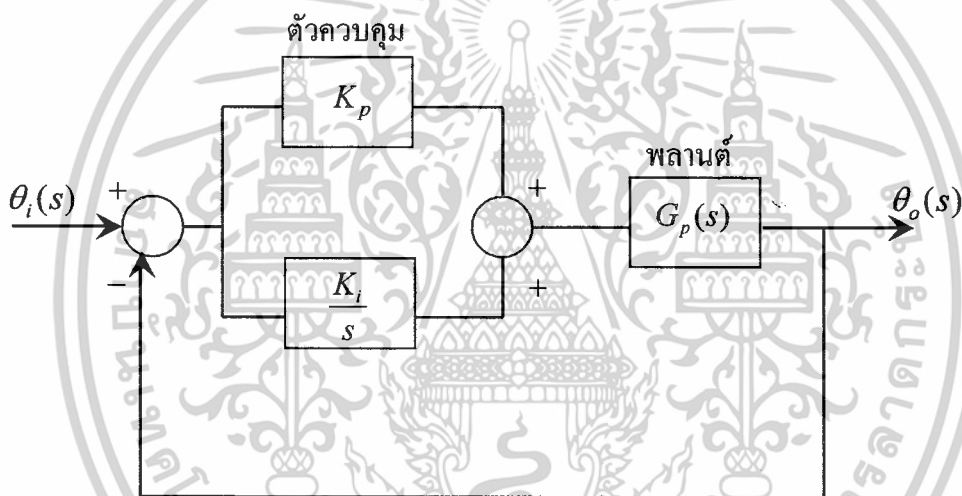
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบดี ในสมการที่ (2.11) จะเห็นว่าหากพลาเน็ตเป็นแบบชนิด 1 หรือสูงกว่า การควบคุมแบบดีจะไปลดชนิดของระบบลง 1 อย่างไม่ก็ตามตัวควบคุมแบบดี ทำให้เพิ่มความเร็วในการตอบสนองของระบบต่อความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

ในทางปฏิบัติการนำการควบคุมแบบดีไปใช้งานค่อนข้างลำบาก ดังนั้นในทางปฏิบัติโดยทั่วไปจะประมาณการควบคุมแบบดีโดยใช้ตัวชดเชยแบบมูมนำ (Lead Compensator)

2.1.4 ระบบควบคุมแบบพีไอ

การที่ระบบควบคุมมีเสถียรสัมพัทธ์ลดลง เมื่อใช้การควบคุมแบบไอ สามารถแก้ไขได้ในระดับหนึ่ง โดยใช้การควบคุมแบบพีร่วมกับไอ เรียกว่าการควบคุมแบบพีไอ (PI: Proportional plus Integral Control) ซึ่งลักษณะของระบบควบคุมเป็นดังรูปที่ 2.8

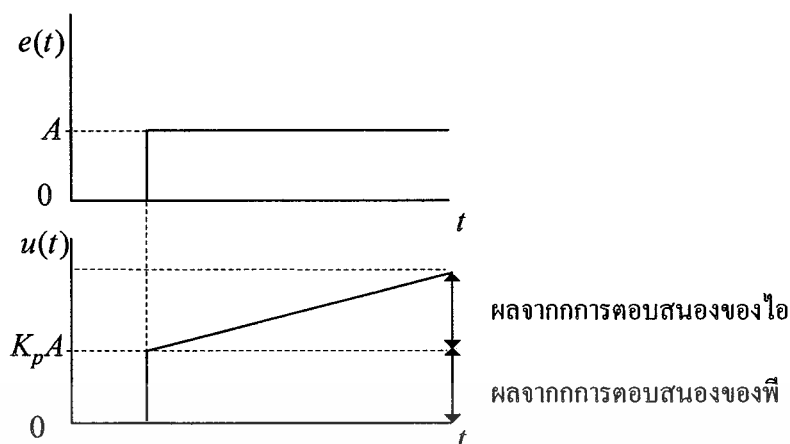


รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพีไอ

และมีเอาต์พุตของตัวควบคุมดังสมการที่ (2.13)

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) \quad (2.13)$$

โดยเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบพีไอเมื่อได้รับอินพุตแบบระดับขนาด A แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีไอ

จากสมการที่ (2.13) ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบพีไอดังสมการที่ (2.14)

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (2.14)$$

$$= \frac{K_p \left(s + \frac{K_i}{K_p} \right)}{s}$$

โดยหากนิยามค่าเวลาดังตัวอินทิกรัล (Integral Time Constant) $\tau_i = \frac{K_p}{K_i}$ จะสามารถจัดรูปฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบพีไอได้ใหม่ดังสมการที่ (2.15)

$$G_c(s) = \frac{K_p \left(s + \frac{1}{\tau_i} \right)}{s} \quad (2.15)$$

และได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบวงเปิดเป็นดังสมการที่ (2.16)

$$G(s) = G_c(s)G_p(s)$$

$$= \frac{K_p \left(s + \frac{1}{\tau_i} \right)}{s} G_p(s) \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าจะมีขั้วที่ $s = -1/\tau_i$ และโพลที่ $s = 0$ ดังนั้นจึงเพิ่มชนิดของระบบขึ้นไป 1 ทำให้ระบบควบคุมที่ไอน์ไม่มีความผิดพลาดที่สภาวะคงตัวต่ออินพุตแบบระดับ และได้ฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดดังสมการที่ (2.17)

$$\frac{\theta_o(s)}{\theta_i(s)} = \frac{K_p(s + \frac{1}{\tau_i})G_p(s)}{s + K_p(s + \frac{1}{\tau_i})G_p(s)} \quad (2.17)$$

2.1.5 ระบบควบคุมแบบพีดี

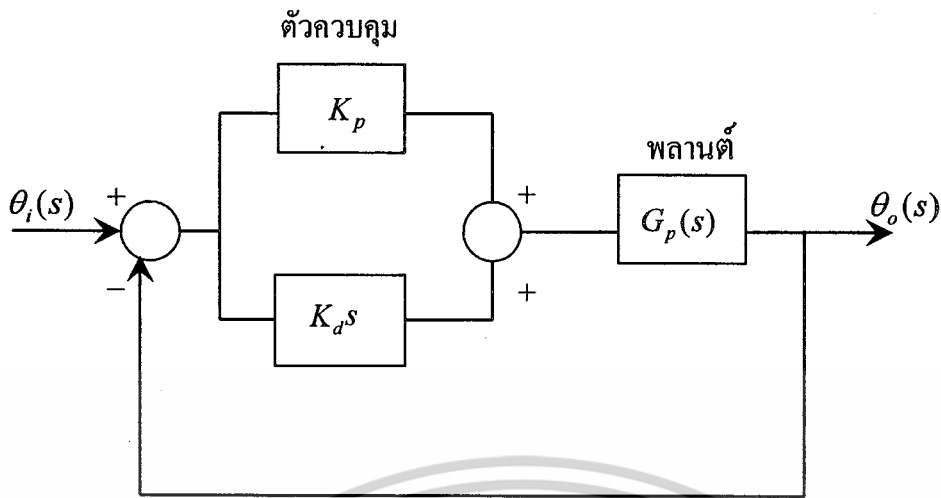
การควบคุมแบบพีดีรวมกับการควบคุมแบบพี หรือเรียกว่าการควบคุมแบบพีดี (PD: Proportional plus Derivative Control) มีลักษณะดังรูปที่ 2.10 จะมีฟังก์ชันถ่ายโอนระบบวงเปิดดังสมการที่ (2.18)

$$\begin{aligned} G(s) &= (K_p + K_d s)G_p(s) \\ &= K_p(1 + \tau_d s)G_p(s) \end{aligned} \quad (2.18)$$

และจะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดดังสมการที่ (2.19)

$$\frac{\theta_o(s)}{\theta_i(s)} = \frac{K_p[1 + (\tau_d s)G_p(s)]}{1 + K_p[1 + (\tau_d s)G_p(s)]} \quad (2.19)$$

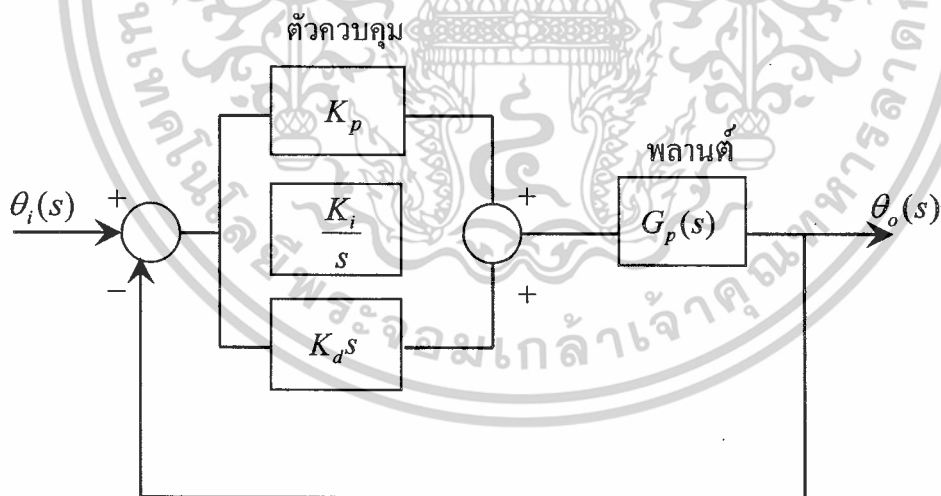
เมื่อ $\tau_d = \frac{K_p}{K_d}$ คือ ค่าคงตัวอนุพันธ์ (Derivative Time Constant) ซึ่งการควบคุมนี้ จะมีขั้วที่เพิ่มขึ้นที่ $s = -\tau_d$ และไม่มีการเปลี่ยนแปลงชนิดของระบบ ซึ่งทำให้ค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงตัวยังมีอยู่



รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพีดี

2.1.6 ระบบควบคุมแบบพีไอดี

การควบคุมแบบพีไอดี (PID: Proportional plus Integral plus Derivative Control) อาศัยตัวควบคุมแบบพีร่วมกับแบบไอร่วมกับแบบดี ซึ่งอาจเรียกว่าการควบคุมแบบ 3 เทอม (Three – Term Control) โดยระบบควบคุมมีลักษณะดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพีไอดี

จะได้เอาท์พุทของตัวควบคุมเมื่อรับอินพุทเป็นความผิดพลาด $e(t)$ ดังสมการที่ (2.20)

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้นฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมจะเป็นดังสมการที่ (2.21)

$$\begin{aligned} G_c(s) &= \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \\ &= K_p \left(1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s\right) \end{aligned} \quad (2.21)$$

และฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบวงเปิดของระบบควบคุมแบบพีไอดี คือ

$$\begin{aligned} G(s) &= G_c(s)G_p(s) \\ &= K_p \left(1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s\right) G_p(s) \\ &= \frac{K_p (\tau_i s + 1 + \tau_i \tau_d s^2) G_p(s)}{\tau_i s} \end{aligned} \quad (2.22)$$

ดังนั้นจะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดเป็นดังสมการที่ (2.23)

$$\frac{\theta_o(s)}{\theta_i(s)} = \frac{K_p (1 + \tau_i s + \tau_i \tau_d s^2) G_p(s)}{\tau_i s + K_p (1 + \tau_i s + \tau_i \tau_d s^2) G_p(s)} \quad (2.23)$$

เนื่องจากการควบคุมแบบพีไอดี จะเพิ่มจำนวนซีโรให้กับระบบเท่ากับ 2 ตัว และเพิ่มจำนวนโพล 1 ตัว และทำให้ชนิดของระบบเพิ่มขึ้น 1 ดังนั้นความผิดพลาดที่สถานะคงตัวจะมีค่าเท่ากับศูนย์

2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและการควบคุม

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นต้นกำลังขับเคลื่อนที่สำคัญอย่างหนึ่งในทางอุตสาหกรรม เพราะมีคุณสมบัติที่สามารถควบคุมความเร็ว และประยุกต์ใช้งานได้หลายด้าน จึงนิยมใช้มากในโรงงานอุตสาหกรรม ในการศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจึงควรรู้จักส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เข้าใจหลักการทำงานและหลักการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

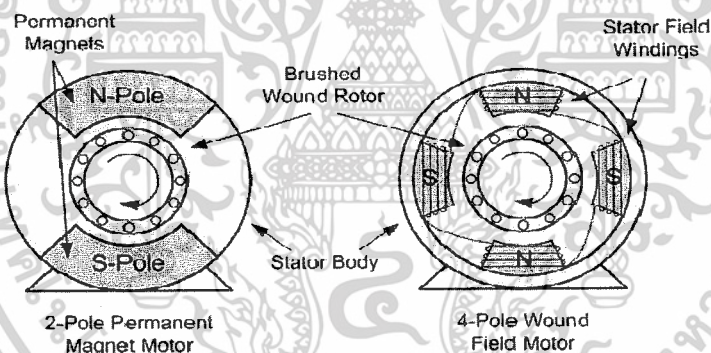
2.2.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน ได้แก่

- สเตเตอร์ (Stator)
- โรเตอร์ (Rotor)

2.2.1.1 สเตเตอร์

สเตเตอร์คือส่วนที่ยึดอยู่กับที่ ประกอบด้วย เฟรม (Frame) เป็นโครงภายนอก ทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเหนือไปขั้วใต้ดังรูปที่ 2.12 และยึดส่วนประกอบอื่นๆ ให้แข็งแรงทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นหนาเป็นรูปทรงกระบอก ขั้วแม่เหล็ก (Pole) ประกอบด้วย 2 ส่วนคือแกนขั้วแม่เหล็กและขดลวด โดยแกนขั้ว (Pole Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบาง กั้นด้วยฉนวนประกบกับแท่งยึดติดกับเฟรม และส่วนขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) พันอยู่รอบแกนของขั้วแม่เหล็ก ทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก และเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะหักล้างและเสริมกันกับสนามแม่เหล็กของอาร์เมเจอร์ (Armature) ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น

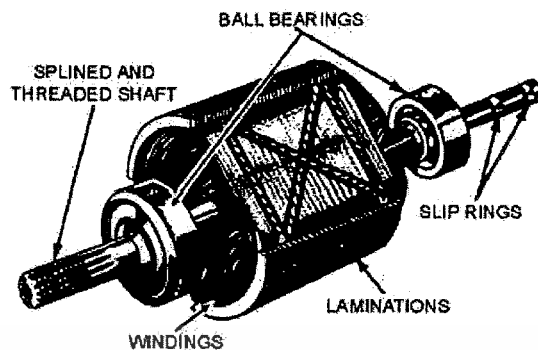


รูปที่ 2.12 สเตเตอร์ของมอเตอร์กระแสตรง แบบ 2 โพล และแบบ 4 โพล

2.2.1.2 โรเตอร์

โรเตอร์คือส่วนที่เคลื่อนที่ ซึ่งมีขดลวดอาร์เมเจอร์พันอยู่บนแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature Core) และมีคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ยึดติดอยู่ที่ส่วนปลายของขดลวดอาร์เมเจอร์ ดังรูปที่ 2.13 ในส่วนนี้คอมมิวเตเตอร์ทำหน้าที่สัมผัสกับแปรงถ่านคาร์บอน (Carbon Brushes) ที่อยู่ในมอเตอร์เพื่อให้มีกระแสไหลผ่านไปยังขดลวดอาร์เมเจอร์ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น จึงเกิดการหักล้างและการเสริมกันกับสนามแม่เหล็ก ที่เกิดจากขดลวดสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้มอเตอร์หมุนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 โรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ส่วนประกอบที่สำคัญของโรเตอร์มีดังนี้

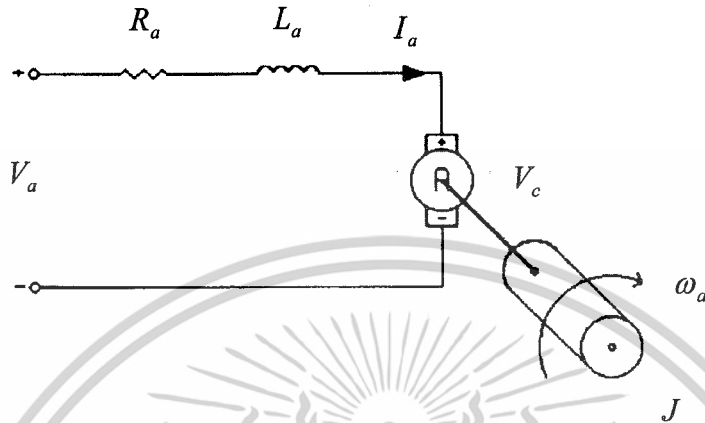
- แกนเพลลา (Shaft) ใช้สำหรับยึดตัวคอมมิวเตเตอร์และแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ ประกอบกันเป็นตัวโรเตอร์ แกนเพลลานี้วางอยู่บนแบริ่งเพื่อบังคับให้หมุนอยู่หนึ่งไม่มีการสั่นสะเทือน
- แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ ทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ อาบฉนวน (Laminated Sheet Steel) เป็นที่สำหรับใช้พันขดลวดอาร์เมเจอร์
- คอมมิวเตเตอร์ ทำด้วยทองแดงออกแบบเป็นซี่ แต่ละซี่มีฉนวนไมก้า (Mica) คั่นระหว่างซี่ของคอมมิวเตเตอร์ ส่วนหัวซี่ของคอมมิวเตเตอร์ จะมีร่องสำหรับใส่ปลายสายของขดลวดอาร์เมเจอร์ ตัวคอมมิวเตเตอร์นี้อัดแน่นติดกับแกนเพลลาเป็นรูปกลมทรงกระบอก มีหน้าที่สัมผัสกับแปรงถ่านเพื่อรองรับกระแสจากสายป้อนเข้าไปยังขดลวดอาร์เมเจอร์เพื่อสร้างแรงแม่เหล็กอีกส่วนหนึ่งให้เกิดการหักล้างและเสริมกันกับเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วนที่เกิดจากขดลวดขั้วแม่เหล็กดังกล่าวมาแล้ว
- ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) เป็นขดลวดที่พันอยู่ในร่องสลอท (Slot) ของแกนอาร์เมเจอร์ ขนาดของลวดจะเล็กหรือใหญ่และจำนวนรอบจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับกรออกแบบตัวโรเตอร์ชนิดนั้นๆ เพื่อให้เหมาะสมกับงานต่างๆ ที่ต้องการ

2.2.2 หลักการทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปในมอเตอร์ กระแสจะแบ่งออกไป 2 ทางคือ ส่วนที่หนึ่งจะผ่านเข้าไปที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นและอีกส่วนจะผ่านแปรงถ่านคาร์บอนและคอมมิวเตเตอร์ เข้าไปในขดลวดอาร์เมเจอร์ ทำให้เกิดอีกสนามแม่เหล็กขึ้นเพื่อให้เกิดการหักล้างและเสริมกันกับสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้มอเตอร์หมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นเช่นกัน ทั้งสองสนามจะเกิดขึ้นขณะเดียวกันตามคุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็กแล้วสนามแม่เหล็กจะไม่ตัดกัน มีแต่การหักล้างและการเสริมกัน ซึ่งทำให้เกิดแรงบิดในอาร์เมเจอร์ ทำให้อาร์เมเจอร์หมุน



รูปที่ 2.14 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เมื่อพิจารณาวงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรมดังรูปที่ 2.14 พบว่าแรงดันไฟฟ้าต้านกลับในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าดังสมการที่ (2.24)

$$V_c = V_a - I_a R_a - L \frac{dI_a}{dt} \quad (2.24)$$

และสำหรับสมการแรงบิดที่มอเตอร์สร้างขึ้นสามารถหา T_d ได้ดังสมการที่ (2.25)

$$T_d = K_a \phi I_a \quad (2.25)$$

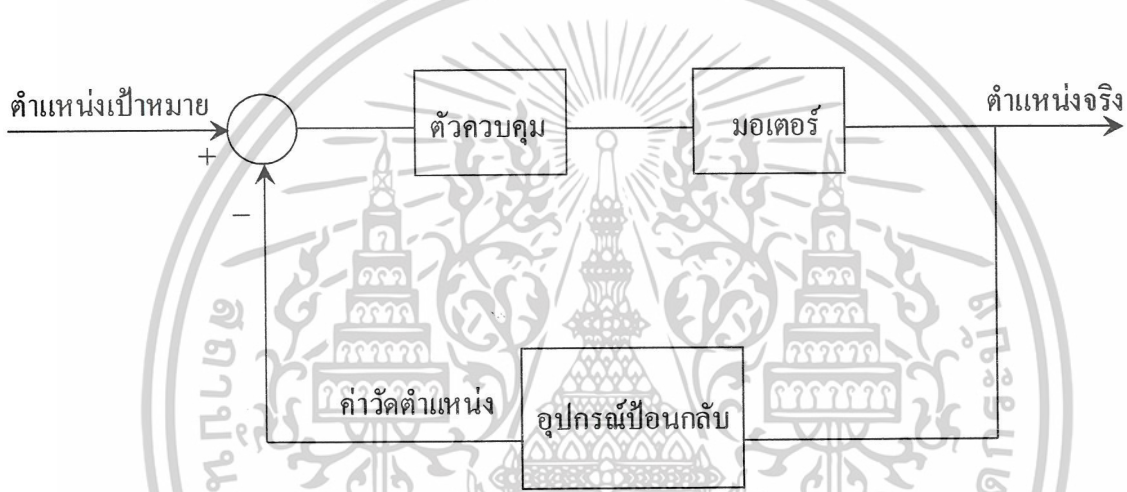
เมื่อ

- K_a คือ ค่าคงที่อาร์เมเจอร์
- ϕ คือ ฟลักซ์แม่เหล็ก
- V_a คือ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
- V_c คือ แรงดันไฟฟ้าต้านกลับที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์
- I_a คือ กระแสที่ไหลผ่านอาร์เมเจอร์
- R_a คือ ค่าความต้านทานของอาร์เมเจอร์
- L คือ ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 การควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การออกแบบระบบควบคุมตำแหน่ง จำเป็นต้องอาศัยสัญญาณอ้างอิงระบุตำแหน่งที่ต้องการและสัญญาณวัดตำแหน่งจริงที่ได้จากอุปกรณ์ป้อนกลับ สัญญาณผลต่างหรือสัญญาณคลาดเคลื่อนของสองสัญญาณที่ได้นี้ถูกป้อนเป็นสัญญาณขาเข้าของตัวควบคุม หลังจากนั้นตัวควบคุมจะประมวลผล เพื่อกำหนดสัญญาณควบคุมส่งไปขับมอเตอร์ให้หมุนไปในตำแหน่งที่ต้องการ พบว่าหากตำแหน่งที่ต้องการ มีค่าเท่ากับตำแหน่งที่วัดได้ จากการอ่านค่าตำแหน่งป้อนกลับ สัญญาณคลาดเคลื่อนจะมีค่าเป็นศูนย์ นั่นคือไม่มีสัญญาณควบคุมออกมาจากตัวควบคุม ทำให้มอเตอร์หยุดหมุนหรือมอเตอร์มีความเร็วเป็นศูนย์ โครงสร้างของระบบควบคุมตำแหน่งสามารถแสดงอย่างคร่าวๆ ได้ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ระบบควบคุมตำแหน่ง

2.2.4 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขั้นพื้นฐาน

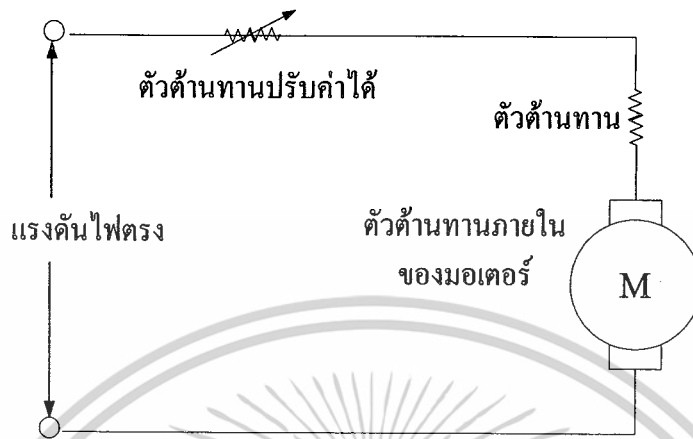
การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขั้นพื้นฐาน สามารถแบ่งได้ดังนี้

- การควบคุมด้วยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้
- การควบคุมด้วยวิธีเปลี่ยนค่าแรงดัน
- การควบคุมด้วยสัญญาณพัลส์ความถี่สูง

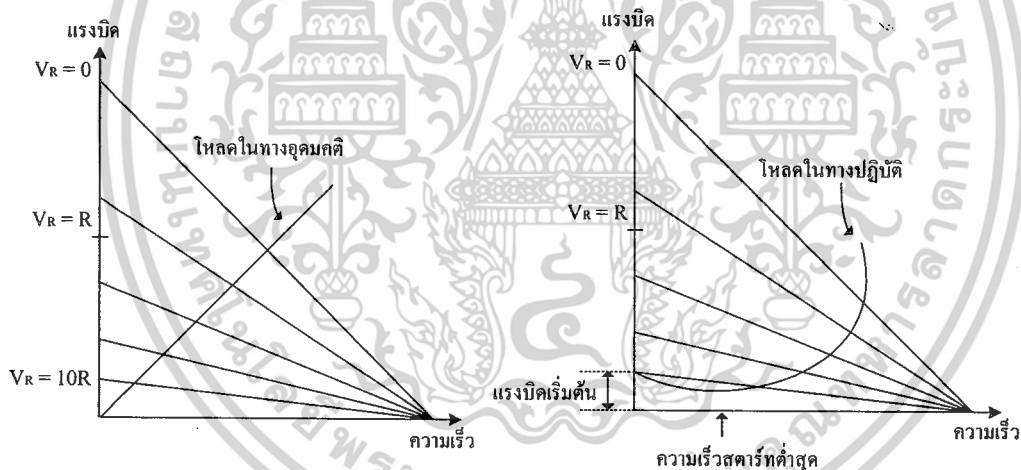
2.2.4.1 การควบคุมด้วยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้

การควบคุมด้วยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้เป็นรูปแบบพื้นฐานที่สุดของการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง คือใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้อนุกรมกับมอเตอร์ โดยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้เป็นตัวกำหนดความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ การบังคับแบบนี้ไม่มีประสิทธิภาพ เพราะกำลังไฟสูญเสียไปในตัวความต้านทาน มักนิยมใช้กับมอเตอร์ตัวเล็กๆ การบังคับแบบนี้ให้คุณสมบัติการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สตาร์ทติ (ให้แรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำ) แต่จะให้ความเร็วสูงมากเมื่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงอยู่ใน
 ภาวะที่มีโหลดน้อยๆ ดังนั้นการบังคับแบบนี้มีประโยชน์เฉพาะภาวะที่แรงต้านคงที่



รูปที่ 2.16 วงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้ตัวต้านทานอนุกรม

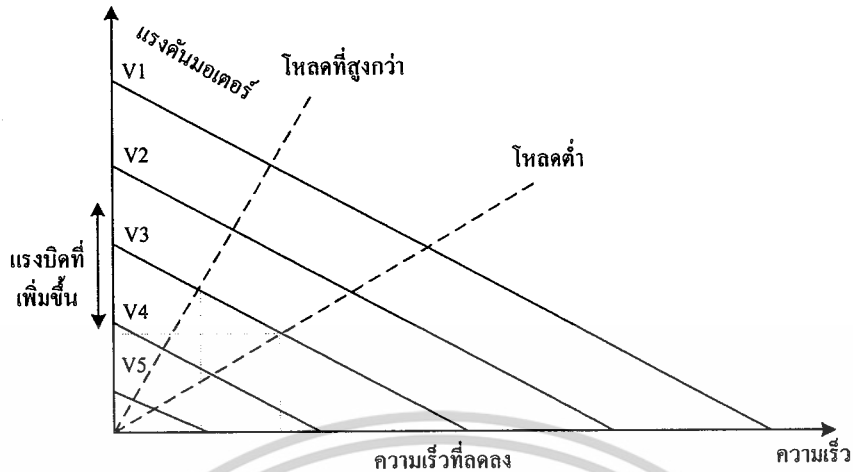


รูปที่ 2.17 กราฟคุณสมบัติการควบคุมความเร็วโดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้

2.2.4.2 การควบคุมด้วยวิธีเปลี่ยนค่าแรงดัน

วิธีการนี้ดีกว่าวิธีการแรกแต่จะซับซ้อนกว่า ต้องใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีอัตราขยายกำลัง
 สูงและมอเตอร์ถูกป้อนด้วยแรงดันที่เปลี่ยนแปลงค่าได้ จากแหล่งจ่ายที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำข้อดีของการ
 ควบคุมวิธีนี้คือ ถ้าความเร็วลดลงจากผลของแรงบิด แรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นเพื่อ
 รักษาระดับความเร็ว ส่วนข้อเสียจากการควบคุมวิธีนี้คือ เมื่อมอเตอร์มีความเร็วต่ำแรงดันที่ป้อน
 ให้กับมอเตอร์จะมีค่าต่ำเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 การควบคุมความเร็วโดยเปลี่ยนค่าแรงดัน

2.2.4.3 การควบคุมด้วยสัญญาณพัลส์วidthมอดูเลชั่น

สัญญาณพัลส์วidthมอดูเลชั่น (Pulse Width Modulation: PWM) คือ การปรับความกว้างของพัลส์ โดยการนำเอาสองสัญญาณมาเปรียบเทียบกัน คือสัญญาณสามเหลี่ยมกับสัญญาณที่ใช้ปรับความกว้างของพัลส์ โดยอาศัยวงจรเปรียบเทียบแรงดันของไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นตัวกำหนดสัญญาณพัลส์วidthมอดูเลชั่นในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ลักษณะของสัญญาณพัลส์วidthมอดูเลชั่นที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นสามารถแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 2.19 สัญญาณพัลส์วidthมอดูเลชั่นมีความกว้างพัลส์เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์

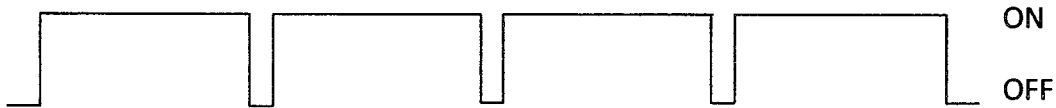
เช่น จากรูปที่ 2.19 พบว่าสัญญาณมี duty cycle เป็น 10 เปอร์เซ็นต์ ของคาบสัญญาณทั้งหมด คือการขับมอเตอร์ด้วยระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 10 เปอร์เซ็นต์ ของระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในวงจรขับ



รูปที่ 2.20 สัญญาณพัลส์วidthมอดูเลชั่นมีความกว้างพัลส์เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

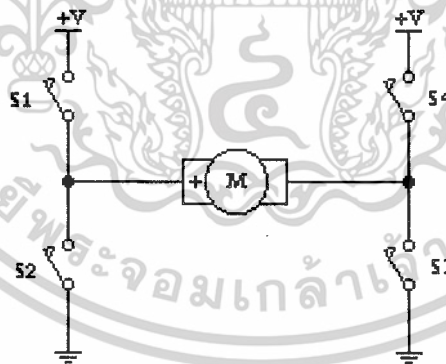
หรือ จากรูปที่ 2.20 พบว่าสัญญาณมีควิตีไซเคิลเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ ของคาบสัญญาณทั้งหมด คือ การขับมอเตอร์ด้วยระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 50 เปอร์เซ็นต์ ของระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในวงจรขับ



รูปที่ 2.21 สัญญาณพัลส์วิทมอเตอร์เลขน้มีความกว้างพัลส์เท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ หรือ จากรูปที่ 2.21 พบว่าสัญญาณมีควิตีไซเคิลเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ ของคาบสัญญาณทั้งหมด คือ การขับมอเตอร์ด้วยระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 90 เปอร์เซ็นต์ ของระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในวงจรขับ

2.2.5 การควบคุมทิศทางมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้วงจร H-Bridge

การควบคุมทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงทำได้ โดยการควบคุมทิศทางกระแสไฟที่ไหลผ่านขดลวดอาร์มาเจอร์ ซึ่งทำได้โดยการกลับขั้วไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขั้วของมอเตอร์โดยควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้านั้น ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่า H-Bridge เข้ากับมอเตอร์ ดังรูปที่ 2.22 มีหลักการทำงานพื้นฐานดังนี้



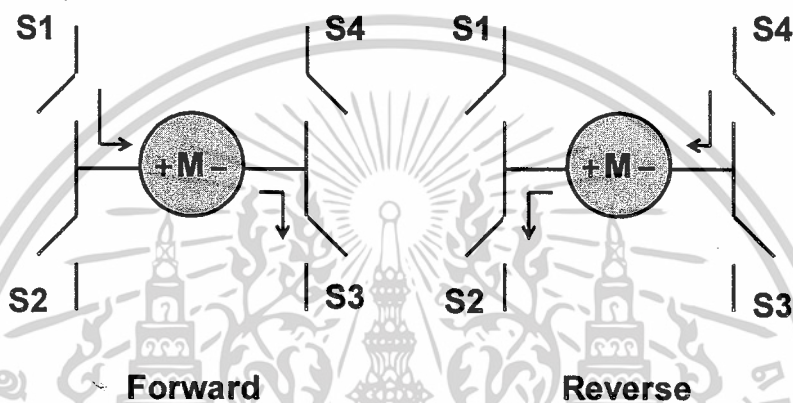
รูปที่ 2.22 วงจรสวิตช์แบบ H-Bridge

วงจรขับแบบ H-Bridge ประกอบด้วยสวิตช์ 4 ตัวคือ S1 S2 S3 และ S4 โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นภาระของวงจรในสถานะเริ่มต้นสวิตช์ทุกตัวเปิดวงจรซึ่งทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่มอเตอร์

เมื่อสวิตช์ S1 และ S3 ทำงานพร้อมกันวงจรจะเชื่อมกันทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมอเตอร์จากขั้วบวกของมอเตอร์ไปยังขั้วลบของมอเตอร์จึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุนได้ในทิศทางเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้ไปเผยแพร่บนอินเตอร์เน็ตโดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงและต้องอภัยถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกานั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการพันขดลวดภายในมอเตอร์ ในทางกลับกันหากสวิตช์ S2 และ S4 ทำงานพร้อมกันก็จะเป็นการเชื่อมวงจรและทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมอเตอร์จากขั้วลบของมอเตอร์ไปยังขั้วบวกของมอเตอร์ทำให้มอเตอร์สามารถหมุนได้ และเป็นการหมุนในทิศทางกลับกันกับทิศทางแรกดังแสดงในรูปที่ 2.23

โดยสรุป วงจรนี้จะใช้สวิตช์ 4 ตัวเพื่อบังคับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมอเตอร์ เพื่อขับให้มอเตอร์หมุนตามทิศทางที่ต้องการ โดยผลัดกันทำงานของสวิตช์ทีละ 2 ตัวพร้อมกัน



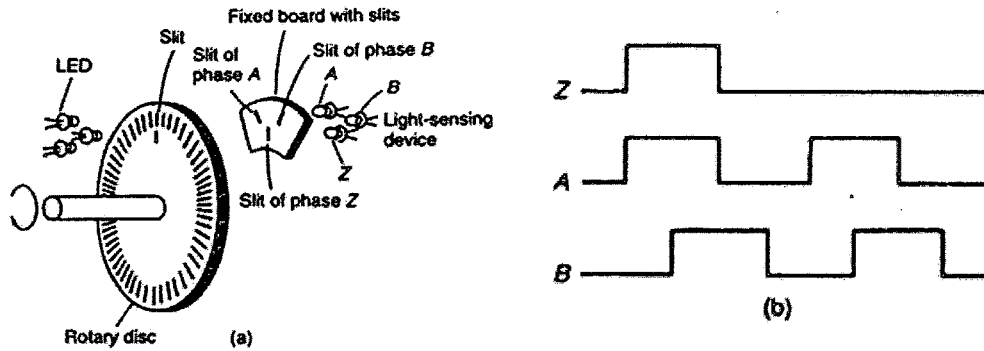
รูปที่ 2.23 ลักษณะการทำงานเมื่อสับสวิตช์ในแต่ละคู่

2.3 เอ็นโค้ดเดอร์

เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder) ทำหน้าที่ตรวจวัดตำแหน่ง ระยะทางและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แล้วส่งสัญญาณพัลส์กลับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผล และกำหนดสัญญาณควบคุมให้สัมพันธ์กับตำแหน่งของมอเตอร์

เอ็นโค้ดเดอร์สามารถแบ่งแยกประเภทตามหลักการใช้งาน 2 กลุ่มคือ ชนิดที่ทำงานโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำหรือเรียกว่า อนาล็อกเอ็นโค้ดเดอร์ และชนิดที่ทำงานโดยอาศัยหลักการออปติคัล หรือแบบดิจิตอลเรียกว่า ดิจิตอลเอ็นโค้ดเดอร์ ในโครงการนี้กล่าวถึงเฉพาะอินคริเมนต์ทอลเอ็นโค้ดเดอร์ (Incremental Encoder) ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญคือ ตัวกำเนิดแสง งานหมุน และเซ็นเซอร์ สัญญาณพัลส์ที่ได้จากเอ็นโค้ดเดอร์ชนิดนี้จะประกอบด้วย 3 เฟส คือ A, B และ Z เป็นเอ็นโค้ดเดอร์ที่ทำงานโดยอาศัยหลักการออปติคัลหรือแบบดิจิตอล สร้างสัญญาณพัลส์แปรผันตรงกับการหมุนของเพลา (ความถี่ของพัลส์เปลี่ยนแปลงตามความเร็ว) ในระบบการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ต้องใช้อินคริเมนต์ทอลเอ็นโค้ดเดอร์หรือเอ็นโค้ดเดอร์สำหรับการรักษาตำแหน่งและสร้างสัญญาณป้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 ส่วนประกอบและสัญญาณที่ได้จากเอ็นโค้ดเดอร์

พัลส์ที่เกิดจากเฟส A และ B มีเฟสต่างกัน 90 องศา เพื่อส่งค่าความเร็วและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ดังนี้

กรณีพัลส์เฟส A เกิดขึ้นก่อนเฟส B แสดงว่ามอเตอร์กำลังหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา แต่ถ้าหากพัลส์เฟส B เกิดขึ้นก่อนเฟส A แสดงว่ามอเตอร์กำลังหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ส่วนเฟส Z หรือพัลส์อ้างอิง จะเกิดขึ้น 1 พัลส์ในการหมุน 1 รอบทำหน้าที่ใช้อ้างอิงตำแหน่งของโรเตอร์ ความละเอียดของเอ็นโค้ดเดอร์คือ จำนวนคาบเวลาของสัญญาณเอาต์พุตต่อการหมุนของเฟลา 1 รอบ ซึ่งบอกเป็นจำนวนพัลส์ต่อรอบหรือจำนวนไซเคิลต่อ 360 องศา มุมทางเชิงกลหรือไซเคิลต่อองศาโดยเอ็นโค้ดเดอร์ที่ใช้กันทั่วไปมีค่าความละเอียดตั้งแต่ 15 ถึง 10,000 พัลส์ต่อรอบ

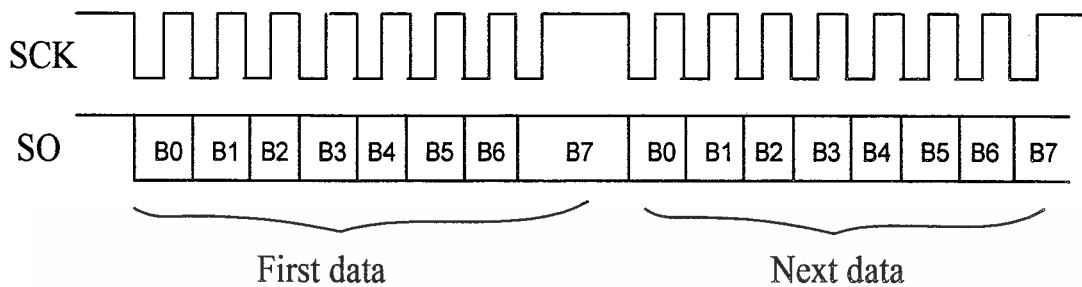
2.4 การเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม

การสื่อสารแบบอนุกรมแบ่งเป็น 2 แบบ คือการสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัสและการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส

2.4.1 การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัสมีสัญญาณนาฬิกา ร่วมกับการรับและส่งสัญญาณ การติดต่อแบบนี้ต้องใช้สายเชื่อมต่ออย่างน้อย 3 เส้นคือ สายสัญญาณนาฬิกา สายข้อมูลและสายกราวด์ ข้อดีของการส่งข้อมูลแบบนี้คือ สามารถควบคุมเครื่องส่งและเครื่องรับให้ทำงานได้พร้อมกันอย่างถูกต้อง การส่งบิต 0 และ 1 ที่ต่อเนื่องกันไป ผู้รับจะแยกบิตเหล่านี้เองออกมาเป็นไบต์ หรือเป็นตัวอักษร จากรูปที่ 2.25 แสดงการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส ส่งบิตติดต่อกันยาวๆ ถ้าต้องการแบ่งช่วงกลุ่มข้อมูลก็ส่งกลุ่มบิตให้เป็นไบต์ที่มี 8 บิต การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสมีประสิทธิภาพมากกว่าการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสมาก และทำให้ใช้ความสามารถของสายสื่อสารได้เกือบทั้งหมด ข้อดีของการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส คือมีการส่งข้อมูลเร็วกว่า เพราะไม่มีบิตพิเศษหรือ

ช่องว่างที่ไม่ได้ใช้งานเมื่อถึงผู้รับ ด้วยเหตุนี้จึงนำไปใช้ในงานที่ต้องการความเร็วสูง เช่น การส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์

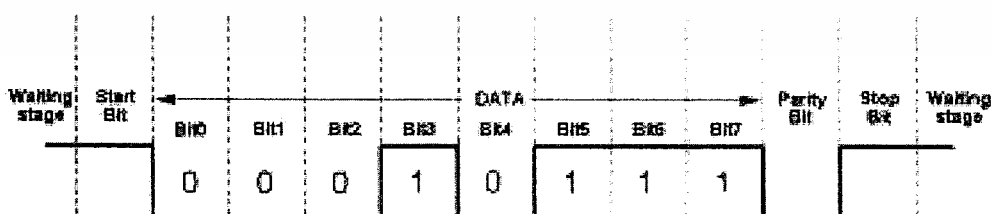


รูปที่ 2.25 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส

2.4.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส คือ การรับส่งข้อมูลในสายโดยไม่จำเป็นต้องมีสายสัญญาณนาฬิกาไปด้วย ซึ่งแตกต่างกับการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัสที่ต้องใช้สายสัญญาณนาฬิกาในการรับและส่งสัญญาณเพิ่มอีกหนึ่งเส้น สำหรับการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส จะกำหนดค่าสัญญาณนาฬิกาทั้งภาครับและภาคส่งให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในภาครับและภาคส่งนี้ว่า อัตราการถ่ายถอดข้อมูล หรือ บอดเรต (Baudrate) มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (Bit per Second : bps) จากรูปที่ 2.26 เป็นรูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัส ซึ่งมีส่วนประกอบด้วยกัน 4 ส่วนคือ

- บิตเริ่มต้น (Start Bit) จะมีขนาด 1 บิต
- บิตข้อมูลแบบอนุกรมจะมีขนาด 5,6,7 หรือ 8 บิต
- บิตตรวจสอบพาริตี (Parity Bit) จะมีขนาด 1 บิตหรือไม่ก็ได้
- บิตปิดท้าย (Stop Bit) จะมีขนาด 1,2 หรือ 2 บิต



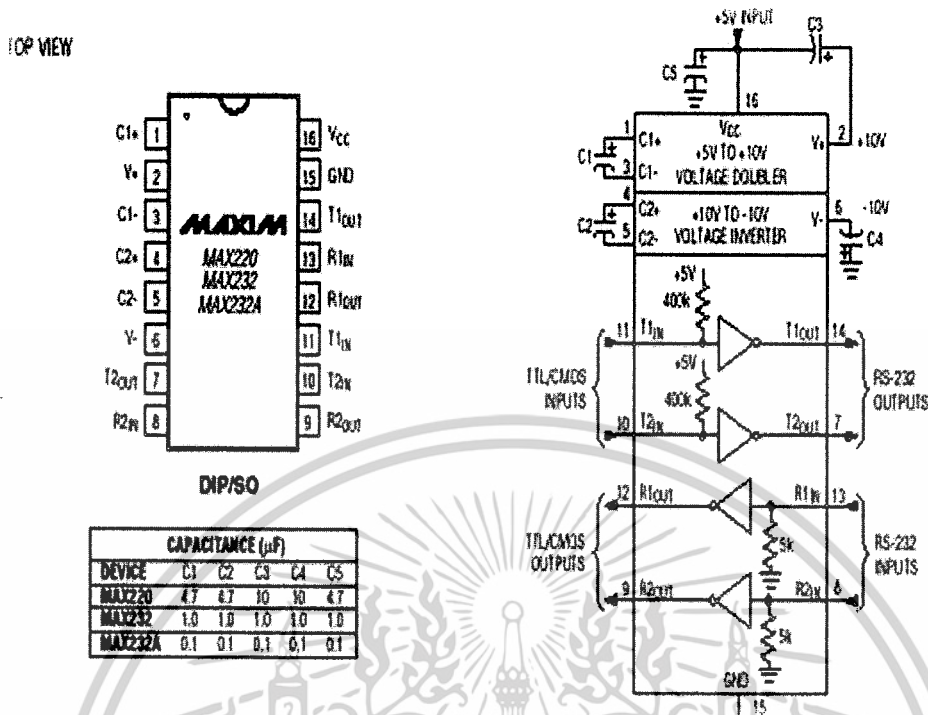
Data = "00010111" = 17h

รูปที่ 2.26 การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการการทำงานของไดอะแกรมในรูปที่ 2.26 สามารถอธิบายได้ว่าขณะที่ไม่มีข้อมูลส่งมาหา Data จะมีลอจิก “1” (High) เรียกสถานะนี้ว่าสถานะหยุดรอ (Waiting Stage) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากให้หา Data มีลอจิก “0” (Low) ด้วยช่วงขนาด 1 บิต เรียกบิตนี้ว่าบิตเริ่มต้น จากนั้นจะส่งบิตข้อมูลออกไป โดยเริ่มส่งจากบิต LSB ก่อนจนถึงบิต MSB และตามด้วยบิตพาริตี ใช้เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่ส่งจะทำให้หา Data มีสถานะลอจิก “1” อีกครั้ง ทำให้ยืนยันสถานะหยุดรอด้วยขนาด 1 บิต แสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลมาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS232 เป็นมาตรฐานที่ออกแบบมาเพื่อใช้ส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยนำเอา RS232 ไปประยุกต์ใช้ส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ กับ โมเด็มมาตรฐาน RS232 ได้กำหนดรูปแบบของอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment: DTE) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminating: DCT) ได้ว่าอุปกรณ์ DTE ต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัวเช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถสร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE ทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น โดยการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองผ่านมาตรฐาน RS232 ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเน็กเตอร์ที่โมเด็มจะเป็นแบบ DCT

ในโครงการนี้ใช้การติดต่อผ่านพอร์ตอนุกรมแบบ RS232 ขาสัญญาณเอาต์พุตของพอร์ตอนุกรมได้แก่ขา DTR, RTS และ TxD โดยใช้รีจิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ควบคุมขาเหล่านี้คือ รีจิสเตอร์ควบคุมโมเด็ม (MCR) โดยมีแอดเดรสอยู่ที่รีจิสเตอร์หลักของพอร์ตอนุกรม 4 ตำแหน่ง รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของขา DTR จะอยู่ที่ตำแหน่งบิต 0 ส่วนขา RTS จะอยู่ที่ตำแหน่งบิต 1 ส่วนขา TxD เป็นขาปกติในการส่งข้อมูล จึงมีแอดเดรสอยู่ที่แอดเดรสรีจิสเตอร์หลัก ระดับแรงดันที่ใช้งานสำหรับพอร์ตอนุกรมคือ ที่ลอจิก “0” จะมีระดับสัญญาณ +3 V ถึง +15 V ส่วนลอจิก “1” จะมีระดับสัญญาณ -3 V ถึง -15 V ซึ่งไม่สามารถนำเอาท์พุตใดๆ ต่อเข้ากับลอจิกเกตใช้งานได้โดยตรง ต้องผ่านวงจรเพื่อเปลี่ยนระดับแรงดันก่อน โดยปกติใช้ไอซีจำพวก RS232 เพื่อแปลงระดับแรงดันให้อยู่ในระดับที่ที่แอล โดยลอจิก “0” ซึ่งเดิมมีระดับสัญญาณ +3 V ถึง +15 V จะถูกแปลงเป็น 0 V ส่วนลอจิก “1” ซึ่งเดิมมีระดับสัญญาณ -3 V ถึง -15 V จะถูกแปลงเป็น 5 V ทั้งนี้เพื่อให้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ดิจิทัลอื่นที่ใช้ระดับแรงดันที่ที่แอลได้แสดงดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 ไอซี MAX232

2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ไอซี (IC: Integrated Circuit) ที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้ซับซ้อน สามารถรับข้อมูลในรูปสัญญาณดิจิทัลเข้าไปทำการประมวลผลแล้วส่งผลลัพธ์ข้อมูลดิจิทัลออกมาเพื่อนำไปใช้งานตามที่ต้องการได้

ภายในชิพไมโครคอนโทรลเลอร์มีหน่วยประมวลผล หน่วยความจำพอร์ท อยู่ในชิพเพียงตัวเดียว อาจเรียกได้ว่าเป็นคอมพิวเตอร์ชิพเดี่ยว ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไมโครโปรเซสเซอร์แบบเดียวกับหน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit) ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ แต่ได้รับการพัฒนาแยกเพื่อนำไปใช้ในวงจรด้านงานควบคุม โดยไม่ต้องต่อวงจรภายนอกเพิ่มเติม เช่นเดียวกับไมโครโปรเซสเซอร์ แต่รวมวงจรที่จำเป็น เช่น หน่วยความจำ ส่วนอินพุต เอาท์พุต บางส่วนเข้าไปในตัวไอซี และเพิ่มวงจรบางอย่างเข้าไปเพื่อให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานควบคุม เช่น วงจรตั้งเวลา วงจรการสื่อสารอนุกรม วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล เป็นต้น

ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง โดยนำไปใช้ฝังในระบบของอุปกรณ์อื่น เพื่อใช้ควบคุมการทำงานบางอย่าง เช่น ใช้ในรถยนต์ เตอบ ไมโครเวฟ เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้าอัตโนมัติ เป็นต้น เพราะไมโครคอนโทรลเลอร์มีข้อดีเหมาะสมกับการใช้งานควบคุมหลายประการ เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชิพไอซีและระบบที่ได้มีขนาดเล็ก
- ระบบควบคุมที่ได้มีราคาถูกกว่าการใช้ชิพไมโครโปรเซสเซอร์
- วงจรที่ได้จะมีความซับซ้อนน้อย ช่วยลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้ในการต่อวงจร
- มีคุณสมบัติเพิ่มเติมสำหรับงานควบคุมโดยเฉพาะซึ่งใช้งานได้ง่าย
- ช่วยลดระยะเวลาในการพัฒนาระบบได้

ไมโครคอนโทรลเลอร์มีหลายตระกูลและหลายรุ่นด้วยกัน แต่ละรุ่นมีโครงสร้างภายในและความสามารถในการทำงานที่แตกต่างกัน ในโครงการนี้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4012 ซึ่งมีคุณสมบัติทั่วไปดังนี้

- มี 84 คำสั่งภาษาแอสเซมบลีมาตรฐาน รองรับรูปแบบการอ้างแอดเดรสได้อย่างอิสระ
- ความเร็วในการทำงานสูงถึง 30 ล้านคำสั่งต่อวินาที
- ชุดคำสั่งมีขนาด 24 บิต สามารถประมวลผลข้อมูลได้ 16 บิต
- มีหน่วยความจำข้อมูลอีพรอมที่ลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 1,000,000 ครั้ง
- มีอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์จำนวนมาก จึงรองรับการตอบสนองสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้ดี
- มีวงจรตรวจจับแรงดันไฟเลี้ยงต่ำกว่ากำหนดแบบโปรแกรมได้
- มีวงจรตรวจสอบการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา
- ทำการคูณเลข 16 บิตได้ภายในสัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ไซเคิล
- มีวงจรแฟลชข้อมูลคู่ จึงทำให้สามารถประมวลผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว
- สามารถจ่ายกระแสออกทางขาพอร์ตได้ 25mA ทั้งแบบกระแสซิงก์และซอร์ส
- มีโมดูลตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณดิจิตอล
- มีวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล 10 บิต 9 ช่อง อินพุต
- มีโมดูลสร้างสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมมอเตอร์ 6 ช่อง เอาท์พุต
- มีโมดูลเชื่อมต่อตัวเข้ารหัสแบบควอดรามาเจอร์

จากคุณสมบัติข้างต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์(dsPIC30F4012) มีความเหมาะสมและเพียงพอต่อการใช้งาน

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

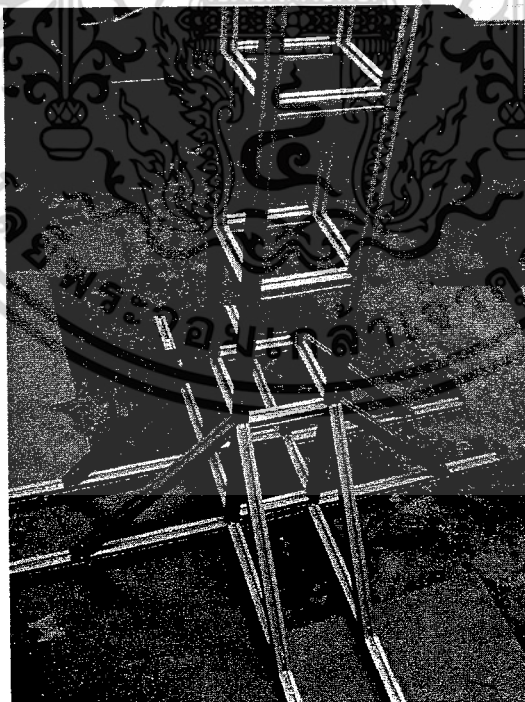
ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบ โครงสร้างของตัวเครน และหลักการทำงานของวงจรต่างๆที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งเครนแบบหมุน ซึ่งแบ่งได้ดังนี้

- การออกแบบโครงสร้างส่วนประกอบต่างๆ ของเครนแบบหมุน
- การออกแบบระบบควบคุมการทำงานของเครน
- การออกแบบวงจรที่ใช้ในระบบควบคุม

3.1 การออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบของเครนแบบหมุน

3.1.1 โครงสร้างของฐาน

โครงสร้างของฐานทำจากอลูมิเนียมโปรไฟล์ (Aluminium Profile) นำมาประกอบกันเป็นเสาทั้งหมด 4 ต้น โดยมีระยะเสาห่างกัน 17.50 เซนติเมตร และความสูง 1.50 เมตร ซึ่งถูกออกแบบให้สามารถรองรับน้ำหนักของส่วนแขน เป็นหมุน และน้ำหนักที่จะยกได้ โดยจะยึดตัวมอเตอร์ไว้ที่ส่วนบนเพื่อใช้ในการหมุน โครงสร้างส่วนบน ดังรูปที่ 3.1

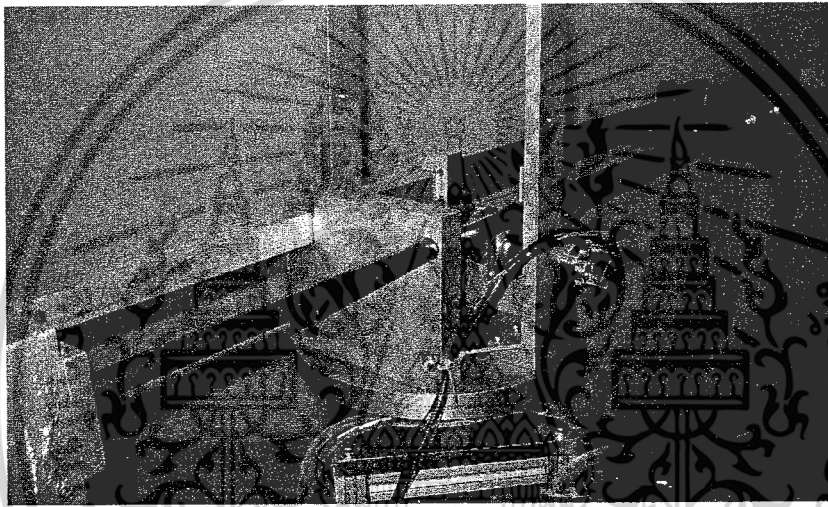


รูปที่ 3.1 โครงสร้างฐานของเครนแบบหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 โครงสร้างของแขน

โครงสร้างส่วนแขนทำจากอลูมิเนียมและเหล็กกลมต่อยื่นออกมาจากส่วนบนของตัวเสาขนานกัน โดยแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแขนที่ยาว 1.20 เมตร เป็นส่วนที่มีการเคลื่อนที่ของกล่องเลื่อนตามแนวรัศมีจากตัวเสาถึงจุดปลายแขน และส่วนแขนที่ยาว 30 เซนติเมตรเป็นส่วนที่มีการถ่วงน้ำหนักเอาไว้ให้ครนมีสมดุลและไม่ล้มไปในด้านที่มีการยกภาระ ซึ่งในส่วนของแขนที่เป็นอลูมิเนียมจะยึดติดกับสายพาน เมื่อมอเตอร์หมุน ก็จะทำให้กล่องเลื่อนเคลื่อนที่ไปได้ตามแนวของแขน ในขณะที่แขนที่เป็นเหล็กกลม จะเป็นส่วนรองรับและบังคับการเคลื่อนที่ของกล่องเลื่อนให้เคลื่อนที่ไปกลับในแนวเส้นตรง ดังรูปที่ 3.2



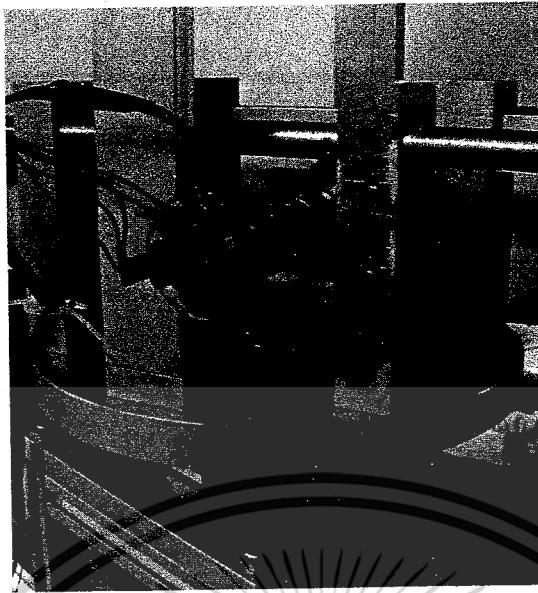
รูปที่ 3.2 โครงสร้างแขนของครนแบบหมุน

3.1.3 โครงสร้างของแป้นหมุน

แป้นหมุนเป็นส่วนที่ต่อเชื่อมระหว่างตัวเสาและส่วนแขนของครน โดยถูกต่อยึดกับปลายมอเตอร์ เพื่อทำหน้าที่หมุนแขนของครนให้ไปยังตำแหน่งที่ต้องการจะจับยกภาระตามแนวรัศมีรอบๆ ส่วนฐาน โดยมีลักษณะเป็นแผ่นวงกลมและแผ่นสี่เหลี่ยมทำจากอลูมิเนียมหนา โดยแผ่นวงกลมต่อยึดติดกับส่วนแขนและปลายของมอเตอร์ และมีอีกเป็นแผ่นอลูมิเนียมจัตุรัสถูกต่อยึดติดกับส่วนฐาน มีแบริ่งยึดติดเพื่อช่วยในการหมุนของแขนไม่ให้ฝืด ดังรูปที่ 3.3

แป้นหมุนทำจากอลูมิเนียมหนา มีความแข็งแรงในการต่อยึดระหว่างส่วนแขนและส่วนฐานของครน เพื่อทำหน้าที่หมุนแขนของครนให้ไปยังตำแหน่งที่ต้องการตามแนวรัศมีรอบๆ ส่วนฐาน โดยมีอลูมิเนียมสี่เหลี่ยม 2 แผ่น ยึดระหว่างแขนของครนกับอลูมิเนียมวงกลม โดยมีลูกปืน 4 ตัวยึดติดกับส่วนฐาน เพื่อช่วยไม่ให้ฝืดในขณะที่ส่วนแขนเกิดการหมุน ดังรูปที่ 3.3

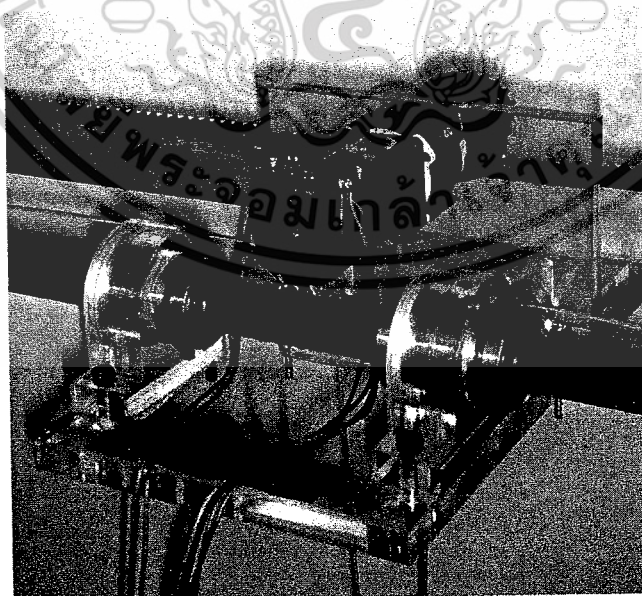
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 โครงสร้างเป็นหมุนของเครนแบบหมุน

3.1.4 โครงสร้างของกล่องเลื่อน

กล่องเลื่อนทำจากแผ่นอะคริลิกหนา เป็นส่วนที่เคลื่อนที่ไปตามแนวแกนของเครนเพื่อไปยังตำแหน่งที่ต้องการจับยกภาระตามแนวรัศมีจากตัวฐานถึงปลายแขน โดยจะมีมอเตอร์ยี่สิบติดอยู่กับตัวกล่องเลื่อนและที่ปลายแกนมอเตอร์จะมีเฟืองติดไว้ทำหน้าที่เหมือนล้อเพื่อให้กล่องเลื่อนเคลื่อนที่ไปได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 โครงสร้างกล่องเลื่อนของเครนแบบหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 โครงสร้างของส่วนยกภาระ

ส่วนที่ใช้ยกภาระ จะประกอบด้วยมอเตอร์ที่ยึดติดกับแผ่นอลูมิเนียมสี่เหลี่ยมที่ใช้ยึดระหว่างแกนกับเป็นหมุนดังรูปที่ 3.5 ซึ่งในส่วนปลายแกนมอเตอร์จะมีตัวเก็บสายที่ใช้ยกภาระติดอยู่ โดยส่วนปลายของสายคล้องจะมีรอกติดตะขอคล้องอยู่เพื่อเกี่ยวยกภาระดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 มอเตอร์ส่วนยกภาระ



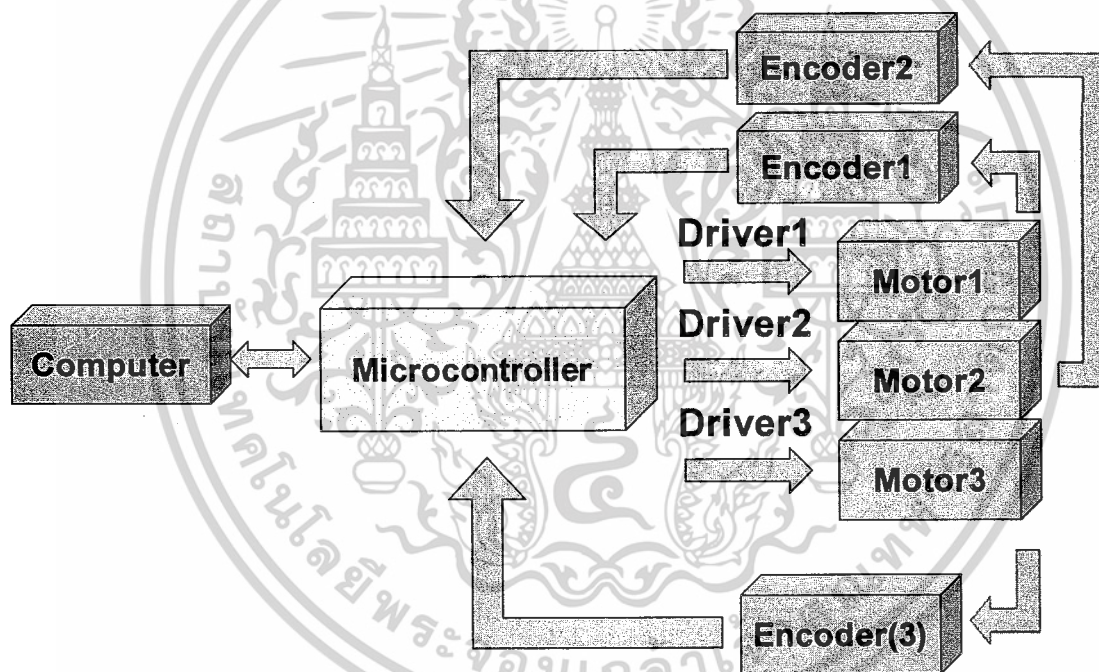
รูปที่ 3.6 ส่วนยกภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบระบบควบคุมการทำงานของเครน

แนวคิดระบบควบคุมเครนแบบหมุนในโครงการนี้แสดงได้ดังรูปที่ 3.7 โดยอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4012 ทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณวัดที่ได้จากเอ็นโค้ดเดอร์ของมอเตอร์ทั้งสามตัวและเทียบกับค่าเป้าหมายการควบคุมที่ส่งผ่านทางคอมพิวเตอร์ แล้วทำการส่งสัญญาณควบคุมไปยังวงจรขับมอเตอร์เพื่อควบคุมตำแหน่งเครนให้ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ดังนั้นการออกแบบการควบคุมการทำงานของเครนแบบหมุนสามารถแบ่งเป็นส่วนสำคัญได้ดังนี้

- ส่วนของการส่งค่าเป้าหมายการควบคุม
- ส่วนของการวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของเครน
- ส่วนของการรับค่าสัญญาณวัดจากเอ็นโค้ดเดอร์และส่งสัญญาณควบคุม
- ส่วนของการขยายสัญญาณควบคุมเพื่อใช้ขับมอเตอร์

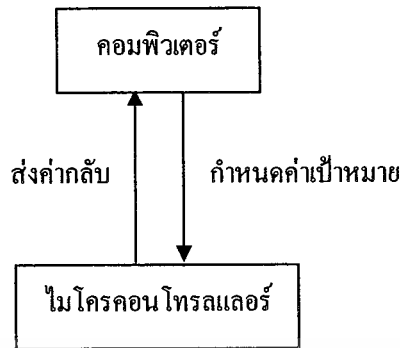


รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมตำแหน่งเครนแบบหมุน

3.2.1 ส่วนส่งค่าเป้าหมายการควบคุม

ส่วนส่งค่าเป้าหมายการควบคุมจะใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวส่งงาน โดยเลือกใช้โปรแกรมวิซวลเบสิกในออกแบบหน้าต่างเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน (GUI: Graphical User Interface) เพื่อใช้ในการรับคำสั่งจากผู้ใช้งาน และติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้พอร์ตอนุกรม RS232 ในการติดต่อ ซึ่งสามารถแสดงได้ตามแผนภาพดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แผนภาพการส่งค่าเป้าหมายการควบคุม

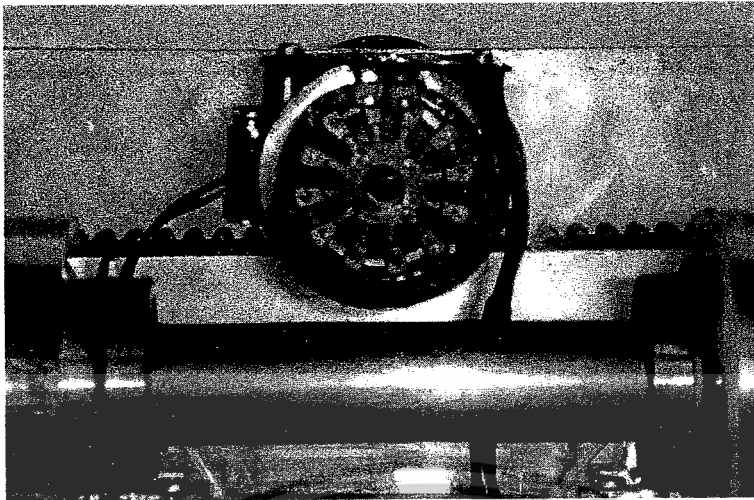
3.2.2 ส่วนวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของเครน

ส่วนวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของเครนใช้เอ็นโค้ดเดอร์เป็นอุปกรณ์วัด โดยเอ็นโค้ดเดอร์เป็นส่วนที่สร้างสัญญาณพัลส์ออกมาโดยแปรผันตามการหมุนของมอเตอร์ ดังนั้นในส่วนของเครนก็ตามที่ประกอบด้วยมอเตอร์และต้องการควบคุมการหมุนของมอเตอร์เพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ต้องการ ก็จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีเอ็นโค้ดเดอร์ติดตั้งไว้ด้วยเสมอ เพื่อส่งค่าสัญญาณพัลส์ที่ได้เข้าไปในส่วนของตัวควบคุมเพื่อประมวลผลและส่งสัญญาณควบคุมที่เป็นพัลส์ออกไปควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้ได้ตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งในที่นี้มีการติดตั้งเอ็นโค้ดเดอร์ไว้ที่มอเตอร์ที่ใช้ควบคุมการหมุนของแป้นหมุนดังรูปที่ 3.9 มอเตอร์ที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของกล่องเลื่อนดังรูปที่ 3.10 และที่มอเตอร์สำหรับควบคุมการยกภาระขึ้นลงในแนวคังดังรูปที่ 3.11

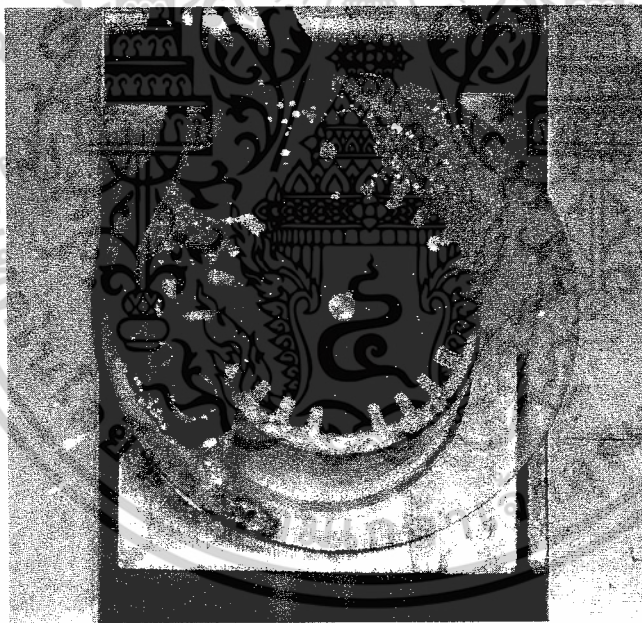


รูปที่ 3.9 เอ็นโค้ดเดอร์ส่วนแป้นหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



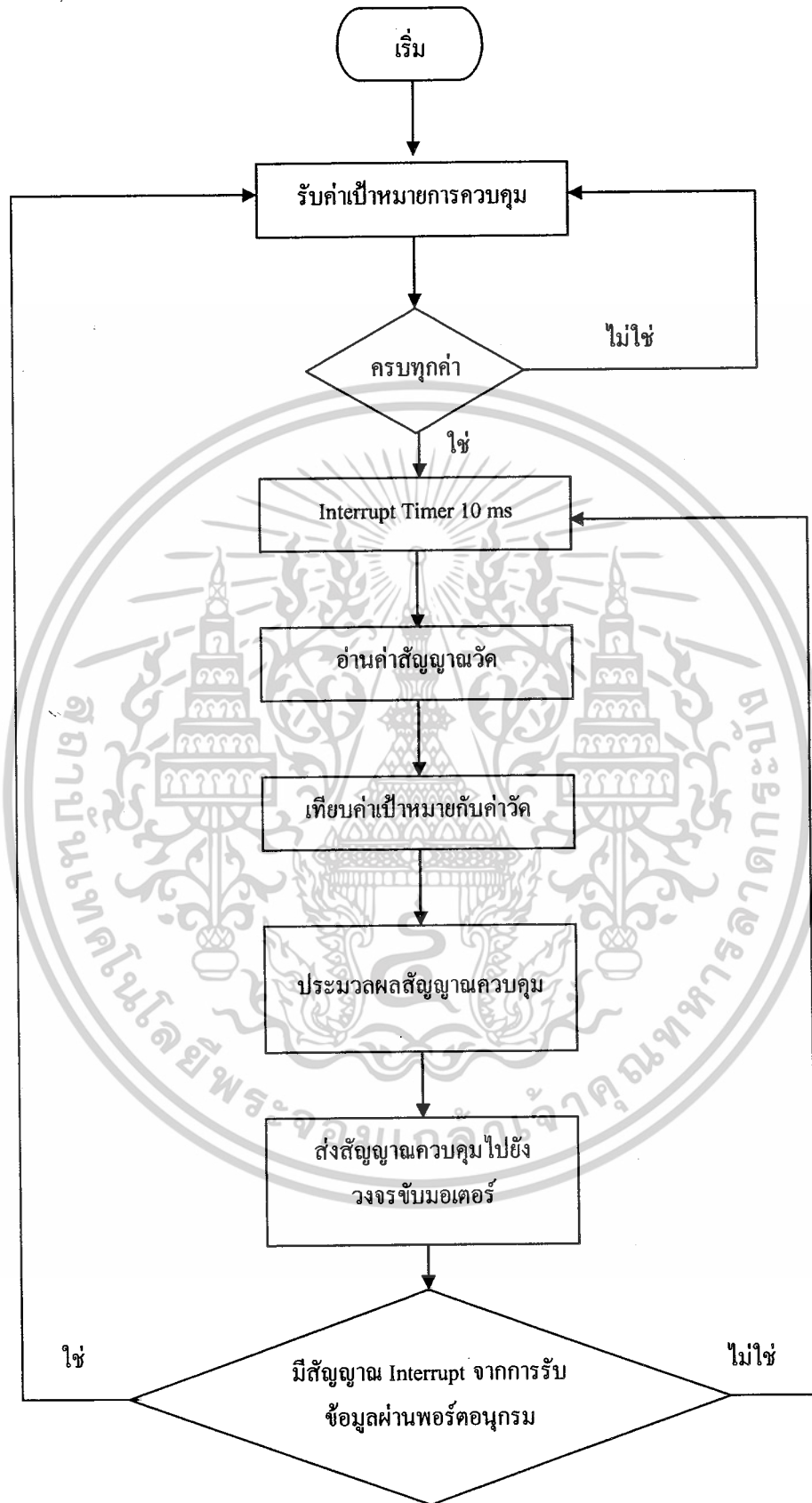
รูปที่ 3.10 เอ็นโค้ดเดอร์ส่วนกลองเลื่อน



รูปที่ 3.11 เอ็นโค้ดเดอร์ส่วนยกภาระ

3.2.3 ส่วนรับค่าสัญญาณวัดจากเอ็นโค้ดเดอร์และส่งสัญญาณควบคุม

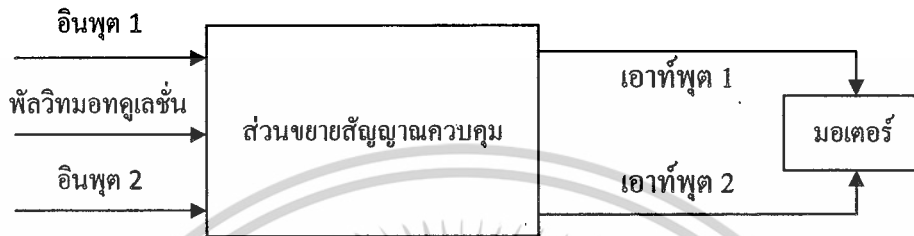
ส่วนรับค่าสัญญาณวัดจากเอ็นโค้ดเดอร์และส่งสัญญาณควบคุม ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นอุปกรณ์ใช้งาน โดยจะรับค่าสัญญาณวัดจากเอ็นโค้ดเดอร์ที่ติดกับมอเตอร์แต่ละตัว และส่งสัญญาณเพื่อควบคุมมอเตอร์ทั้งสามตัว ซึ่งแสดงขั้นตอนการทำงานได้ตามแผนภาพดังรูปที่ 3.12 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 3.12 แผนภาพการรับค่าสัญญาณวัดจากเซ็นเซอร์และส่งสัญญาณควบคุมไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ส่วนขยายสัญญาณควบคุมเพื่อขับมอเตอร์

ส่วนของการขยายสัญญาณควบคุมเป็นส่วนที่ใช้ขยายสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อนำไปใช้ขับมอเตอร์ โดยจะมีอินพุตสองช่องสำหรับรับสัญญาณควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์และอีกหนึ่งช่องสำหรับรับสัญญาณควบคุมความเร็วหรือสัญญาณพัลส์วidthมอเตอร์เลขัน ซึ่งสามารถแสดงได้ตามแผนภาพผังรูปที่ 3.13

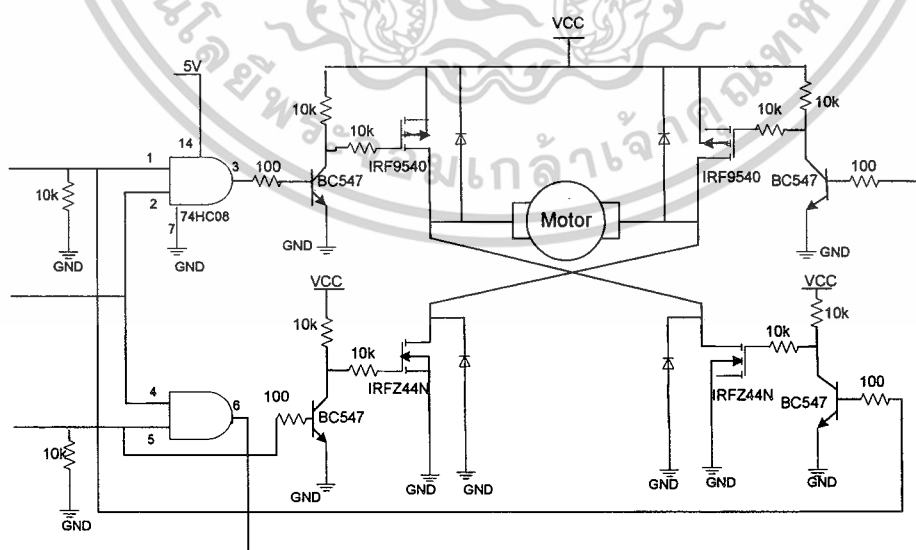


รูปที่ 3.13 ส่วนขยายสัญญาณควบคุมเพื่อขับมอเตอร์

3.3 การออกแบบวงจรที่ใช้ในระบบควบคุม

3.3.1 วงจรขับมอเตอร์

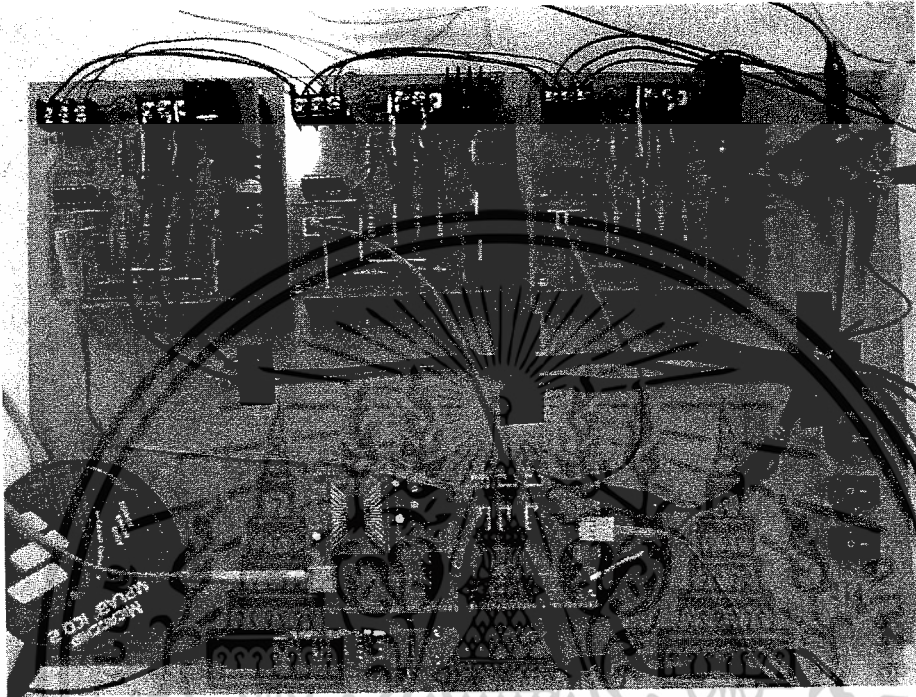
การออกแบบวงจรขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถควบคุมความเร็วและทิศทางของมอเตอร์ สามารถออกแบบได้โดยใช้หลักการของวงจร H-Bridge โดยการออกแบบวงจรนี้ประกอบไปด้วยไอซี 7408 (AND Gate) ทรานซิสเตอร์ BC547 ชนิด NPN มอสเฟต IRF9540 ชนิด N-Channel และมอสเฟต IRFZ44N ชนิด P-Channel นำมาต่อกันเป็นวงจรขับแบบ H-Bridge ดังรูปที่ 3.14 และวงจรนี้สามารถทนกระแสได้สูงสุดถึง 19A และทนแรงดันได้ 50V



รูปที่ 3.14 วงจร H-Bridge โดยใช้มอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรควบคุมการทำงานของระบบที่ได้ออกแบบดังรูปที่ 3.15 สามารถสร้างแผงวงจรควบคุมการทำงานเพื่อใช้งานดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แผงวงจรควบคุมการทำงานของระบบควบคุมตำแหน่งเครน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองควบคุมตำแหน่งแครงด้วยการควบคุมแบบเปิด-ปิด การควบคุมแบบพี และการควบคุมแบบพีไอกับมอเตอร์ในแต่ละส่วน โดยในส่วนเป็นหมุนและส่วนกลองเลื่อนใช้แหล่งจ่ายไฟ 12 โวลต์ ส่วนยกภาระใช้แหล่งจ่ายไฟ 19 โวลต์ และในการทดลองอาศัยการชักตัวอย่างด้วยคาบเวลา 10 มิลลิวินาที

4.1 การทดลองค่าสัญญาณพัลส์วิทมอดูเลชันเริ่มต้นที่ทำให้มอเตอร์เริ่มหมุน

เนื่องจากมอเตอร์แต่ละส่วนมีค่าแรงต้านแรงบิดไม่เท่ากัน จึงต้องทดลองป้อนสัญญาณพัลส์วิทมอดูเลชันให้กับมอเตอร์ เพื่อนำค่าสัญญาณเริ่มต้นที่ทำให้มอเตอร์ในแต่ละส่วนเริ่มหมุนไปชดเชยแรงบิดให้มอเตอร์ในการทดลองควบคุม โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีให้สามารถตอบสนองต่อค่าเป้าหมายทุกค่าอัตราขยาย ซึ่งพบว่าแครงใช้ค่าคิวดัไซเคิลเริ่มต้นที่ทำให้มอเตอร์ในแต่ละส่วนเริ่มหมุนได้แตกต่างกันดังนี้

คิวดัไซเคิลเริ่มต้นที่ทำให้มอเตอร์เริ่มหมุน					
มอเตอร์ส่วนเป็นหมุน		มอเตอร์ส่วนกลองเลื่อน		มอเตอร์ส่วนยกภาระ	
ทวนเข็ม	ตามเข็ม	ไป	กลับ	ขึ้น	ลง
65%	65%	25%	25%	75%	25%

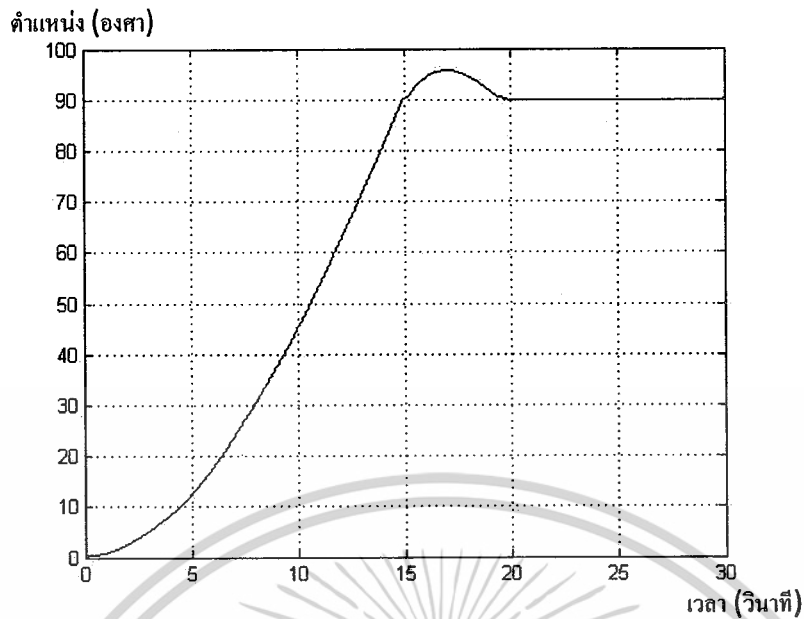
ตารางที่ 4.1 คิวดัไซเคิลเริ่มต้นที่ทำให้มอเตอร์เริ่มหมุน

4.2 การทดลองควบคุมตำแหน่งแครงด้วยการควบคุมแบบเปิด-ปิด

4.2.1 การทดลองควบคุมตำแหน่งส่วนเป็นหมุน

การทดลองควบคุมตำแหน่งแครงโดยใช้การควบคุมแบบเปิด-ปิดสำหรับเป็นหมุน ได้กำหนดระยะเวลาในการเคลื่อนที่ 90 องศา โดยมีสัญญาณป้อนกลับเป็นจำนวนค่าพัลส์ที่อ่านได้จากเอ็นโค้ดเดอร์ของมอเตอร์แต่ละส่วนเพื่อใช้ประมวลผลสัญญาณควบคุมจากคอมพิวเตอร์ การทดลองเปิด-ปิดในการปรับค่าคิวดัไซเคิลหรือระดับสัญญาณควบคุม จะป้อนสัญญาณคิวดัไซเคิลให้มอเตอร์ 100 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองพบว่า สามารถควบคุมให้มอเตอร์หมุนไปยังตำแหน่งเป้าหมายได้ที่เวลาประมาณ 15 วินาที แต่เกิดค่าพุ่งเกินสูงสุด 6.67 เปอร์เซ็นต์ ก่อนเข้าสู่สภาวะคงตัวที่เวลาประมาณ 20 วินาที ดังรูปที่ 4.1

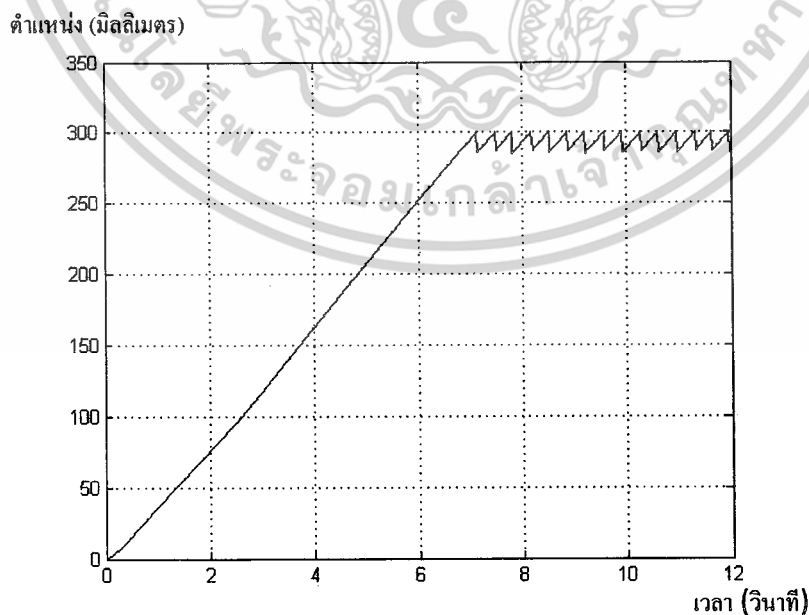
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ผลตอบสนอง ณ ตำแหน่งมุม 90 องศา โดยควบคุมแบบเปิด-ปิด

4.2.2 การทดลองควบคุมตำแหน่งส่วนกลิ้งเลื่อน

การทดลองควบคุมตำแหน่งเจอนโดยใช้การควบคุมแบบเปิด-ปิดสำหรับกลิ้งเลื่อน ได้กำหนดระยะในการเคลื่อนที่ 300 มิลลิเมตร ในการปรับค่าตัวดีไซเกิลหรือระดับสัญญาณควบคุมจะป้อนสัญญาณตัวดีไซเกิลให้มอเตอร์ 100 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองพบว่ากลิ้งเลื่อนสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเป้าหมายได้ที่เวลาประมาณ 7 วินาที แต่เกิดการแกว่งในช่วง 285-300 มิลลิเมตร ณ สภาวะคงตัว ดังรูปที่ 4.2

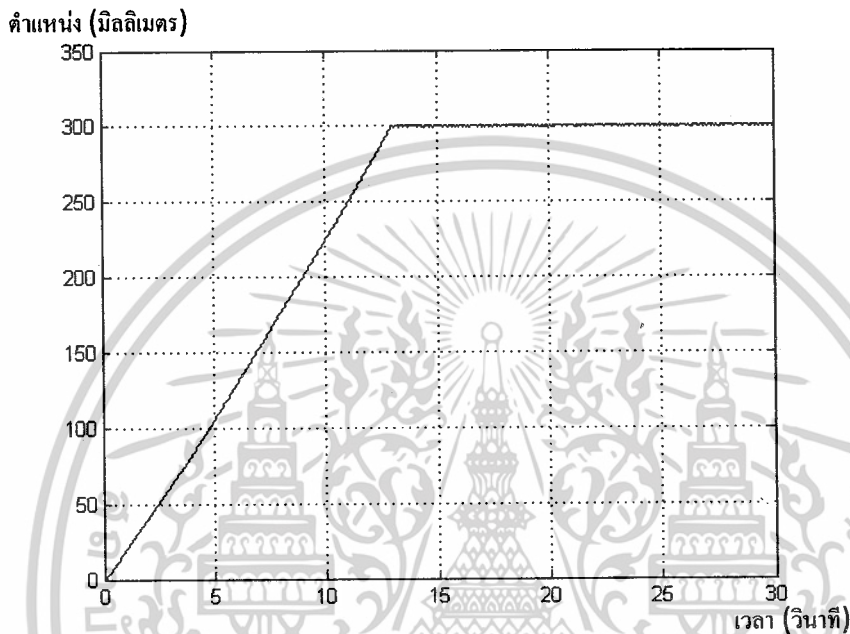


รูปที่ 4.2 ผลตอบสนอง ณ ตำแหน่ง 300 มิลลิเมตร โดยควบคุมแบบเปิด-ปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การทดลองควบคุมตำแหน่งส่วนยกภาระ

การทดลองควบคุมตำแหน่งเครนโดยใช้การควบคุมแบบเปิด-ปิดสำหรับสำหรับส่วนยกภาระ ได้กำหนดระยะในการยกขึ้น 300 มิลลิเมตร ในการปรับค่าตัวชี้ไขเคลหรือระดับสัญญาณควบคุม จะป้อนสัญญาณตัวชี้ไขเคลให้มอเตอร์ 100 เปอร์เซ็นต์ จากผลตอบสนองพบว่าสามารถยกวัตถุให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเป้าหมายได้ที่เวลาประมาณ 13 วินาที ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ผลตอบสนอง ณ ตำแหน่งยกขึ้น 300 มิลลิเมตร โดยควบคุมแบบเปิด-ปิด

4.3 การทดลองควบคุมตำแหน่งเครนด้วยการควบคุมแบบพี

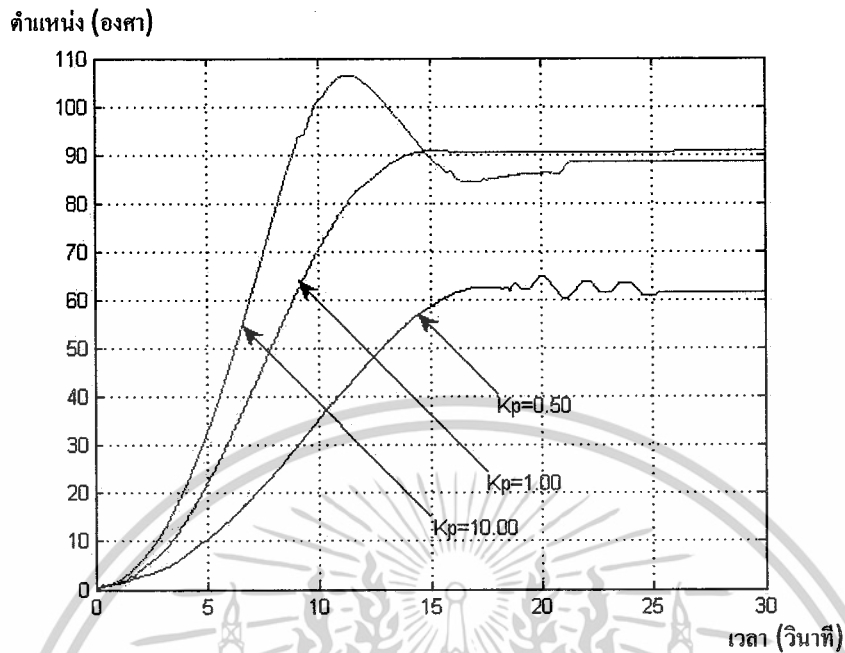
4.3.1 การทดลองเมื่อไม่ชดเชยสัญญาณควบคุม

เนื่องจากการควบคุมแบบพีไม่สามารถทำให้ระบบตอบสนองต่อค่าเป้าหมายได้ในทุกค่าอัตราขยายที่ปรับเปลี่ยน ในการทดลองควบคุมตำแหน่งเครนโดยใช้การควบคุมแบบพีจึงใช้การทดลองเปรียบเทียบกัน 2 กรณีคือ ไม่มีการชดเชยสัญญาณควบคุม และมีการชดเชยสัญญาณควบคุม ให้กับมอเตอร์ในแต่ละส่วน

4.3.1.1 การทดลองควบคุมตำแหน่งส่วนเป็นหมุน

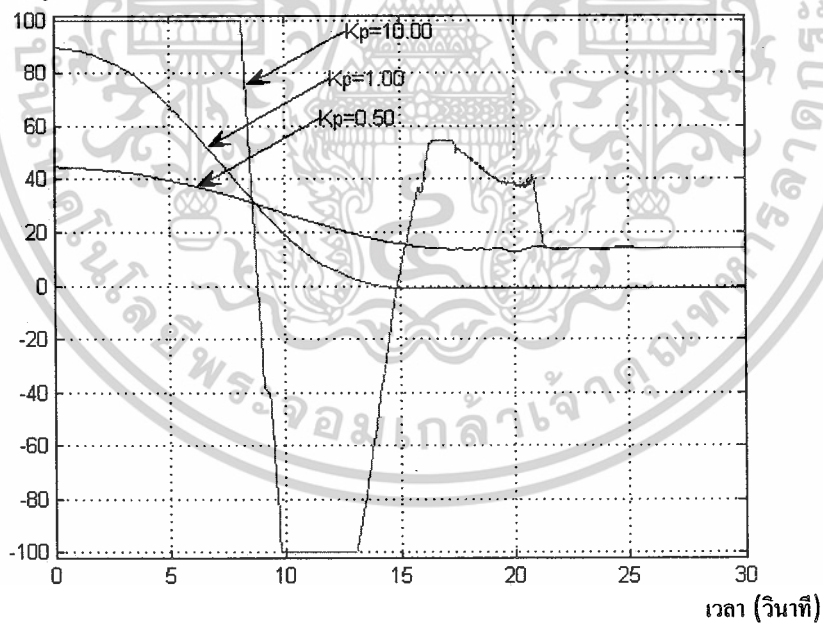
การทดลองควบคุมตำแหน่งเครนโดยใช้การควบคุมแบบพีสำหรับเป็นหมุน ได้กำหนดระยะในการเคลื่อนที่ 90 องศา จากผลการทดลองพบว่าอัตราขยายเท่ากับ 0.50 ไม่สามารถทำให้เป็นหมุนหมุนไปยังตำแหน่งเป้าหมายได้เนื่องจากสัญญาณควบคุมมีกำลังไม่เพียงพอที่จะขับมอเตอร์ให้หมุนต่อไปได้ ที่อัตราขยายเท่ากับ 1.00 สามารถทำให้เป็นหมุนไปยังตำแหน่งเป้าหมายได้ที่เวลาประมาณ 15 วินาที และที่อัตราขยายเท่ากับ 10.00 สามารถทำให้เป็นหมุนไปยังตำแหน่งเป้าหมายได้เช่นกัน แต่มีค่าพุ่งเกินสูงสุดถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5

เอเนบรอสเซอร์ที่ติดตั้งบนเครื่องจักรกลไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในการทดลองนี้ เมื่อผู้ใช้งานเข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ผลตอบสนอง ณ ตำแหน่งมุม 90 องศา โดยควบคุมแบบพีเมื่อไม่ชดเชย

พัลส์วาทมอตุเลขัน (เปอร์เซ็นต์)

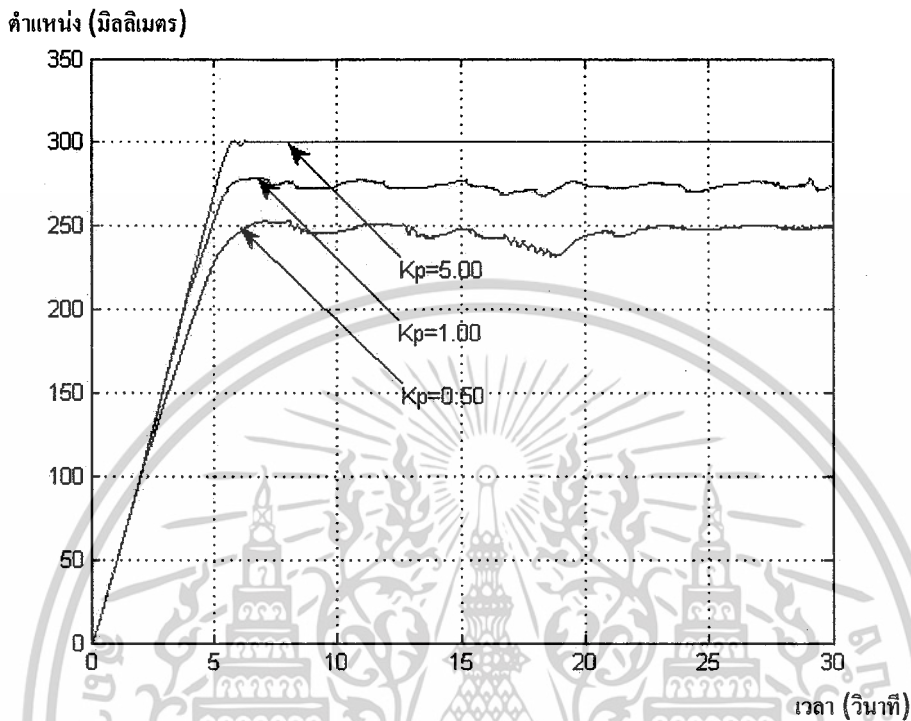


รูปที่ 4.5 สัญญาณควบคุม ณ ตำแหน่งมุม 90 องศา โดยควบคุมแบบพีเมื่อไม่ชดเชย

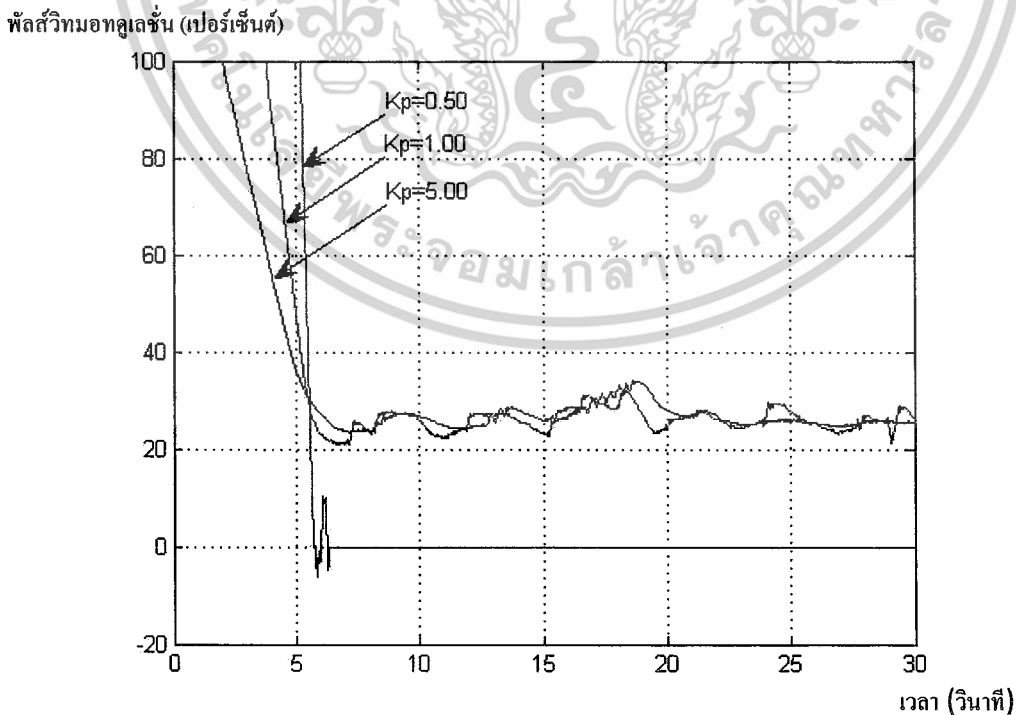
4.3.1.2 การทดลองควบคุมตำแหน่งส่วนกล่องเลื่อน

การทดลองควบคุมตำแหน่งแครงนโดยใช้การควบคุมแบบพีสำหรับกล่องเลื่อน ได้กำหนดระยะในการเคลื่อนที่ 300 มิลลิเมตร จากผลการทดลองพบว่าที่อัตราขยายเท่ากับ 0.50 และ 1.00 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่สามารถตอบสนองต่อตำแหน่งเป้าหมายได้ เนื่องจากสัญญาณควบคุมมีกำลังไม่เพียงพอที่จะขับมอเตอร์ให้หมุนต่อไปได้ แต่ที่อัตราขยายเท่ากับ 5.00 สัญญาณควบคุมจะสูงพอที่ทำให้กล่องเลื่อนตอบสนองต่อตำแหน่งเป้าหมายได้ที่เวลาประมาณ 6 วินาที ดังรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 ผลตอบสนอง ณ ตำแหน่ง 300 มิลลิเมตร โดยควบคุมแบบพีเมื่อไม่ชดเชย

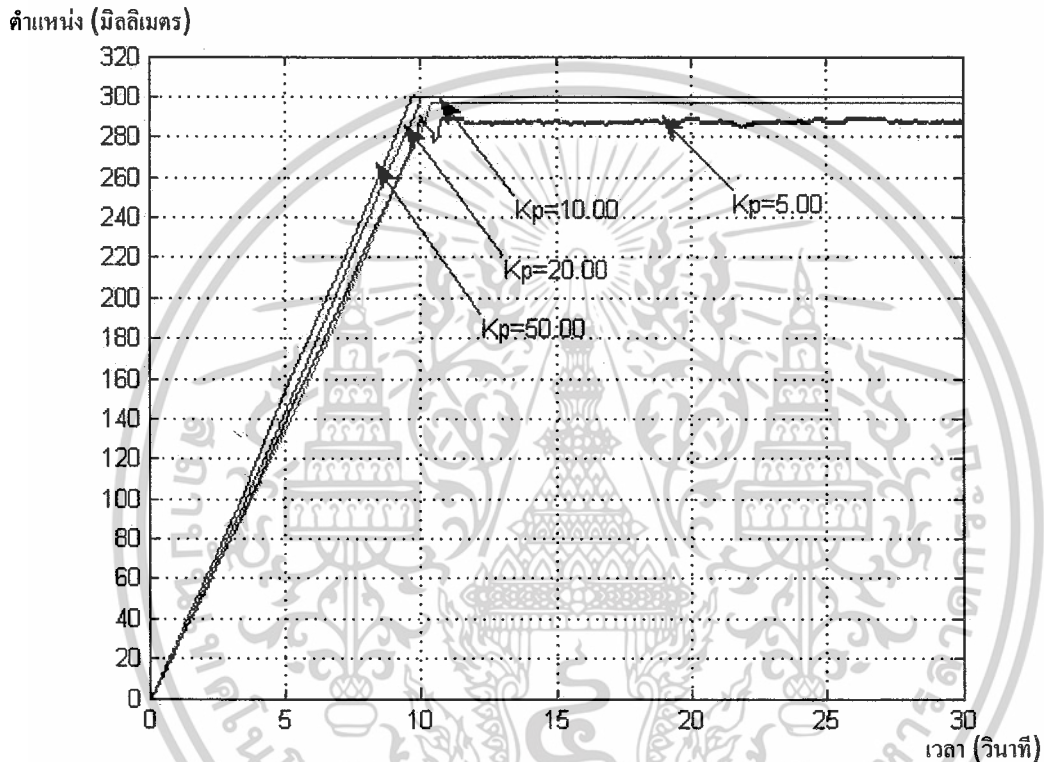


รูปที่ 4.7 สัญญาณควบคุม ณ ตำแหน่ง 300 มิลลิเมตร โดยควบคุมแบบพีเมื่อไม่ชดเชย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

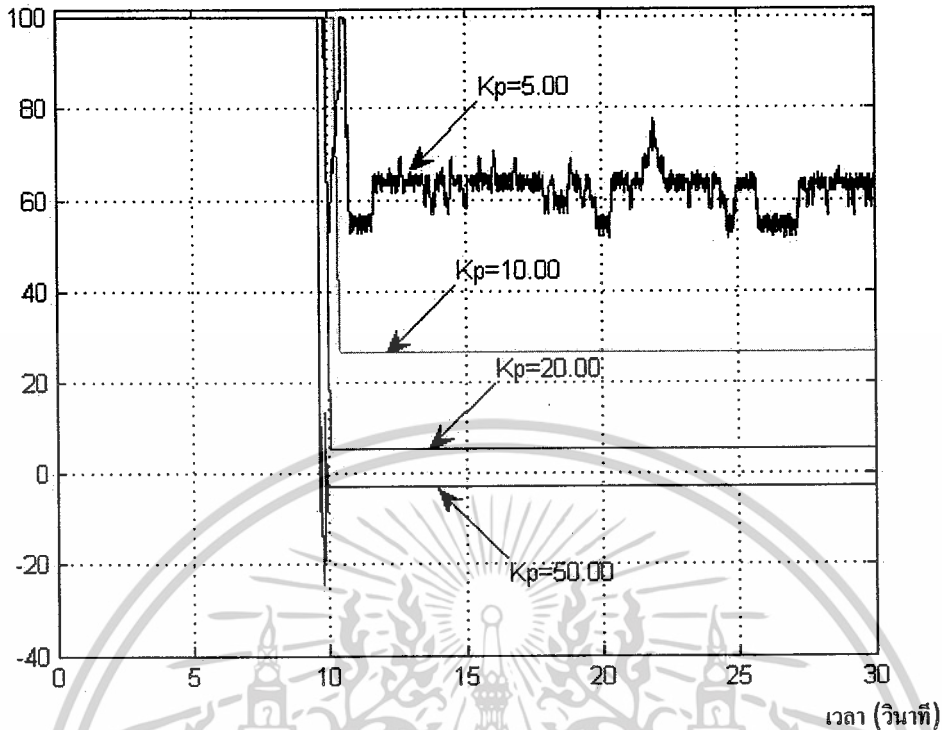
4.3.1.3 การทดลองควบคุมตำแหน่งส่วนยกภาระ

การทดลองควบคุมตำแหน่งเครนโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีสำหรับส่วนที่ไต่ยกภาระ ได้กำหนดระยะในการยกขึ้น 300 มิลลิเมตร จากการทดลองพบว่าสัญญาณควบคุมมีกำลังขับไม่สูงพอที่จะทำให้ได้มอเตอร์ตอบสนองต่อตำแหน่งเป้าหมายได้เมื่อใช้อัตราขยายเท่ากับ 5.00 และ 10.00 แต่ที่อัตราขยายเท่ากับ 20.00 และ 50.00 สามารถทำให้ระบบตอบสนองต่อตำแหน่งเป้าหมายได้ที่เวลาประมาณ 10 วินาทีและ 9.5 วินาที ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.8 ผลตอบสนอง ณ ตำแหน่งยกขึ้น 300 มิลลิเมตร โดยควบคุมแบบพีเมื่อไม่ชดเชย

พัลส์วิทอมทูลเลชั่น (เปอร์เซ็นต์)



รูปที่ 4.9 สัญญาณควบคุม ณ ตำแหน่งยกขึ้น 300 มิลลิเมตร โดยควบคุมแบบพีเมื่อไม่ชดเชย

4.3.2 การทดลองเมื่อชดเชยสัญญาณควบคุม

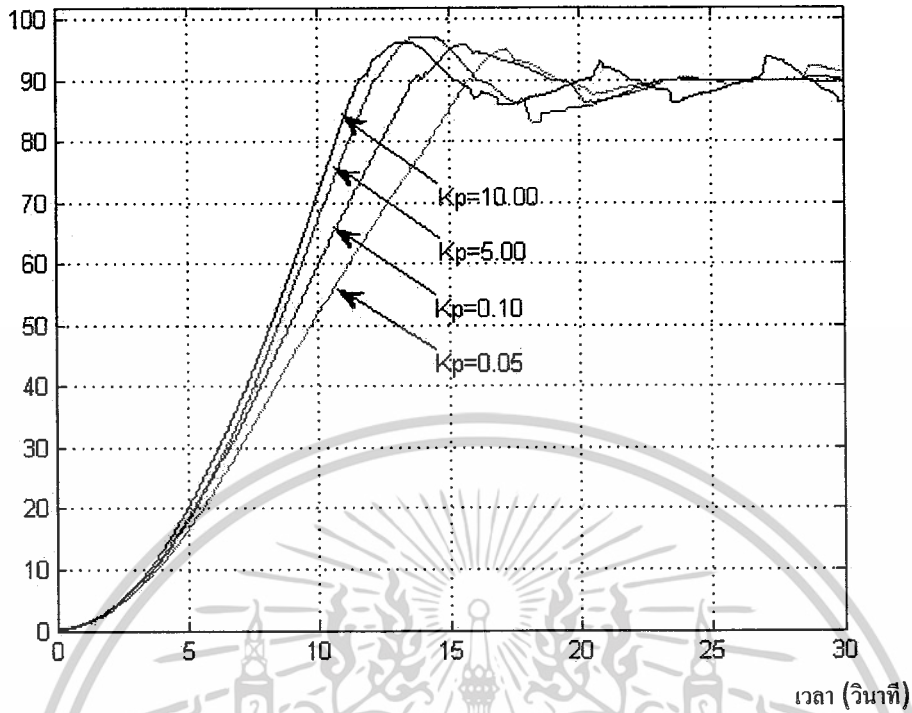
ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าการทดลองควบคุมตำแหน่งแครงในแต่ละส่วนโดยใช้การควบคุมแบบพีไม่สามารถทำให้ระบบตอบสนองต่อค่าเป้าหมายได้ในบางค่าอัตราขยาย ในกรณีนี้จึงทดลองชดเชยสัญญาณควบคุมเริ่มต้นให้แก่มอเตอร์ในแต่ละส่วน

4.3.2.1 การทดลองควบคุมตำแหน่งส่วนเป็นหมุน

การทดลองการควบคุมตำแหน่งแครงโดยใช้การควบคุมแบบพีสำหรับเป็นหมุน ได้กำหนดระยะในการเคลื่อนที่ 90 องศา จากการทดลองพบว่าสัญญาณควบคุมสามารถทำให้ระบบตอบสนองต่อค่าเป้าหมายได้ที่อัตราขยายเท่ากับ 0.05, 0.10, 5.00 และ 10.00 จะเห็นว่าระบบตอบสนองต่อค่าเป้าหมายที่เวลาประมาณ 16 วินาที เมื่ออัตราขยายเท่ากับ 0.05 และจะตอบสนองได้เร็วขึ้นเมื่ออัตราขยายสูงขึ้น โดยระบบจะตอบสนองเร็วที่สุดที่เวลาประมาณ 12 วินาที เมื่ออัตราขยายเท่ากับ 10.00 แต่ผลตอบสนองจะมีการแกว่งที่ทุกอัตราขยายที่ทดลอง ดังรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11

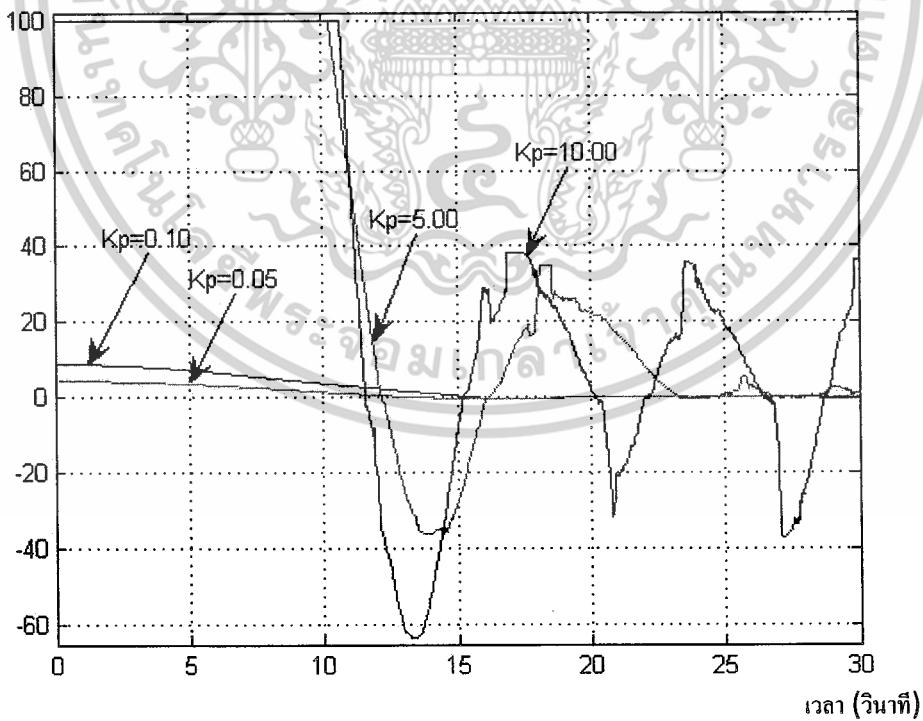
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่ง (องศา)



รูปที่ 4.10 ผลตอบสนอง ณ ตำแหน่งมุม 90 องศา โดยควบคุมแบบพีเมื่อซดเซย

พัลส์วาทมออกดูเลชั่น (เปอร์เซ็นต์)

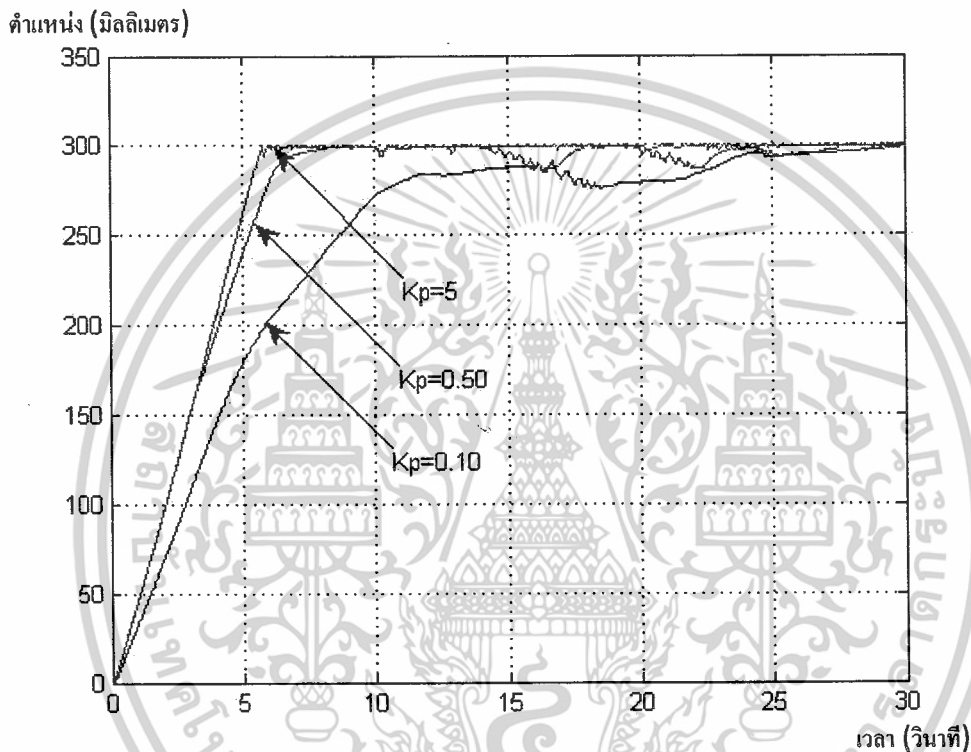


รูปที่ 4.11 สัญญาณควบคุม ณ ตำแหน่งมุม 90 องศา โดยควบคุมแบบพีเมื่อซดเซย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

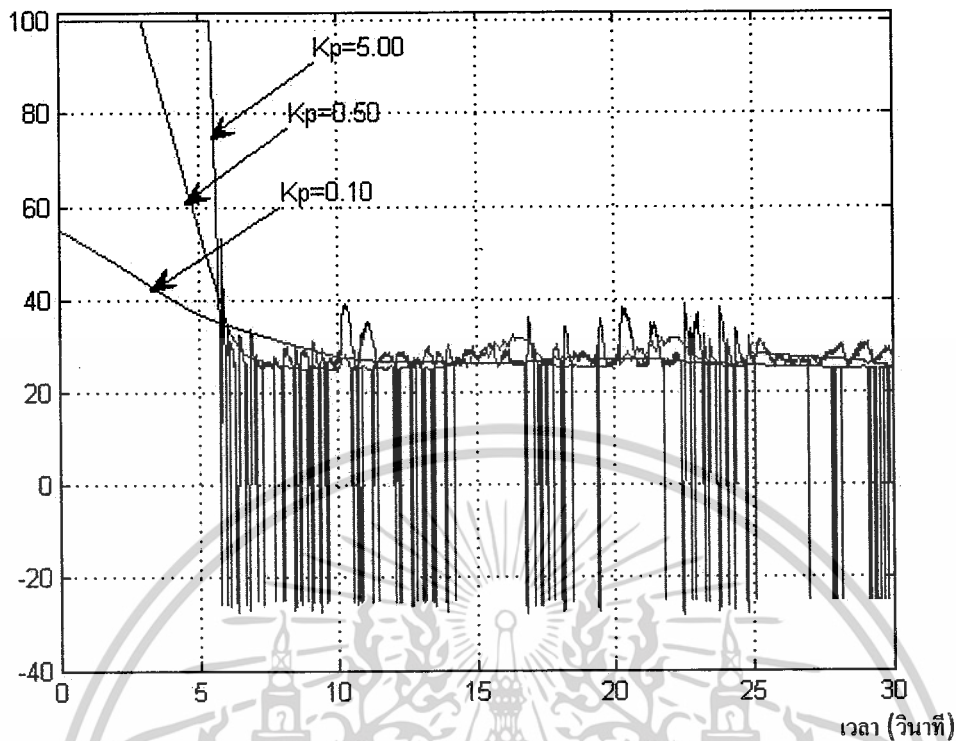
4.3.2.2 การทดลองควบคุมตำแหน่งส่วนกลองเลื่อน

การทดลองการควบคุมตำแหน่งเครน โดยใช้การควบคุมแบบพีสำหรับกลองเลื่อน ได้กำหนดระยะในการเคลื่อนที่ 300 มิลลิเมตร จากการทดลองพบว่าที่อัตราขยายเท่ากับ 0.10, 0.50 และ 5.00 จะมีสัญญาณควบคุมที่สามารถทำให้กลองเลื่อนตอบสนองต่อตำแหน่งเป้าหมายได้ โดยที่อัตราขยายเท่ากับ 5.00 ระบบจะเข้าสู่ตำแหน่งเป้าหมายเร็วที่สุดที่เวลาประมาณ 6 วินาที และช้าลงเมื่ออัตราขยายลดลง ดังรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.12 ผลตอบสนอง ณ ตำแหน่ง 300 มิลลิเมตร โดยควบคุมแบบพีเมื่อชดเชย

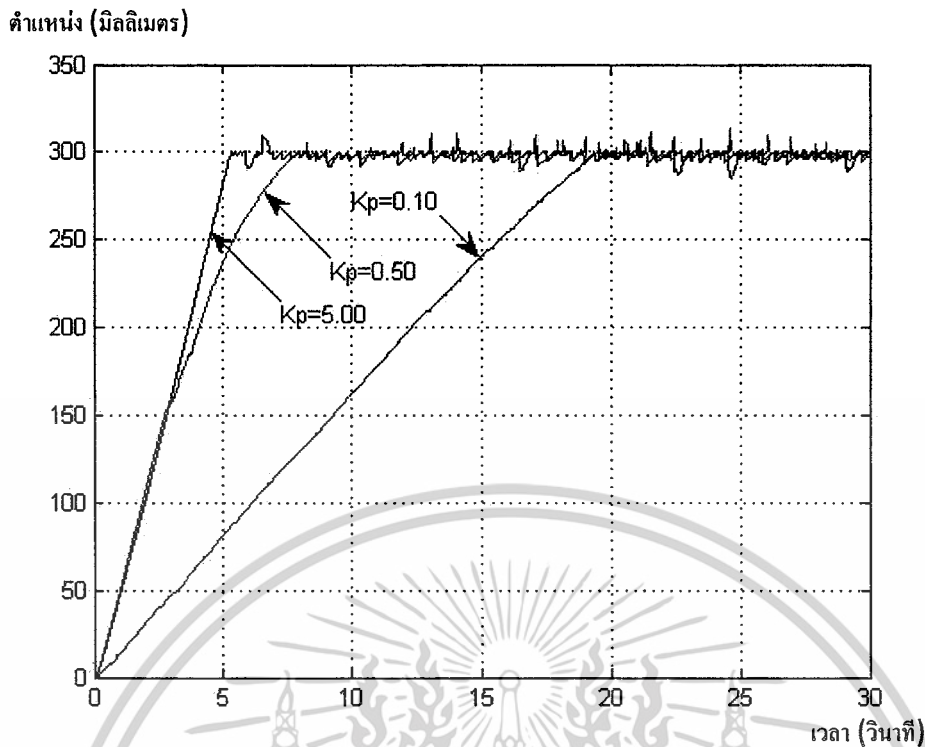
พัลส์วิหามอตุเลชั่น (เปอร์เซ็นต์)



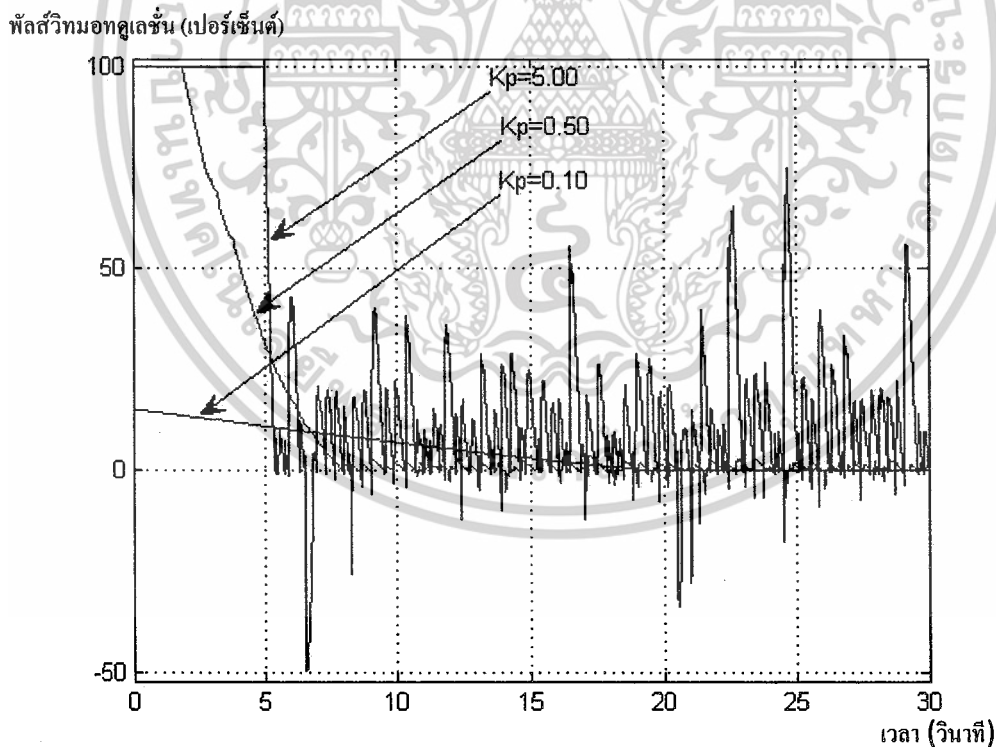
รูปที่ 4.13 สัญญาณควบคุม ณ ตำแหน่ง 300 มิลลิเมตร โดยควบคุมแบบพีเมื่อชดเชย

4.3.2.3 การทดลองควบคุมตำแหน่งส่วนยกภาระ

การทดลองการควบคุมตำแหน่งครนโดยใช้การควบคุมแบบพีสำหรับส่วนที่ใช้ยกภาระ ได้กำหนดระยะในการยกขึ้น 300 มิลลิเมตร จากการทดลองพบว่าที่อัตราขยายเท่ากับ 0.10, 0.50 และ 5.00 สามารถทำให้กล่องเลื่อนตอบสนองต่อตำแหน่งเป้าหมายได้ โดยที่อัตราขยายเท่ากับ 5.00 ระบบจะเข้าสู่ตำแหน่งเป้าหมายเร็วที่สุดที่เวลาประมาณ 6 วินาที และช้าลงเมื่ออัตราขยายลดลง ดังรูปที่ 4.14 และมีสัญญาณควบคุมที่สอดคล้องดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.14 ผลตอบสนอง ณ ตำแหน่งการยกขึ้น 300 มิลลิเมตร โดยควบคุมแบบพีเมื่อชดเชย



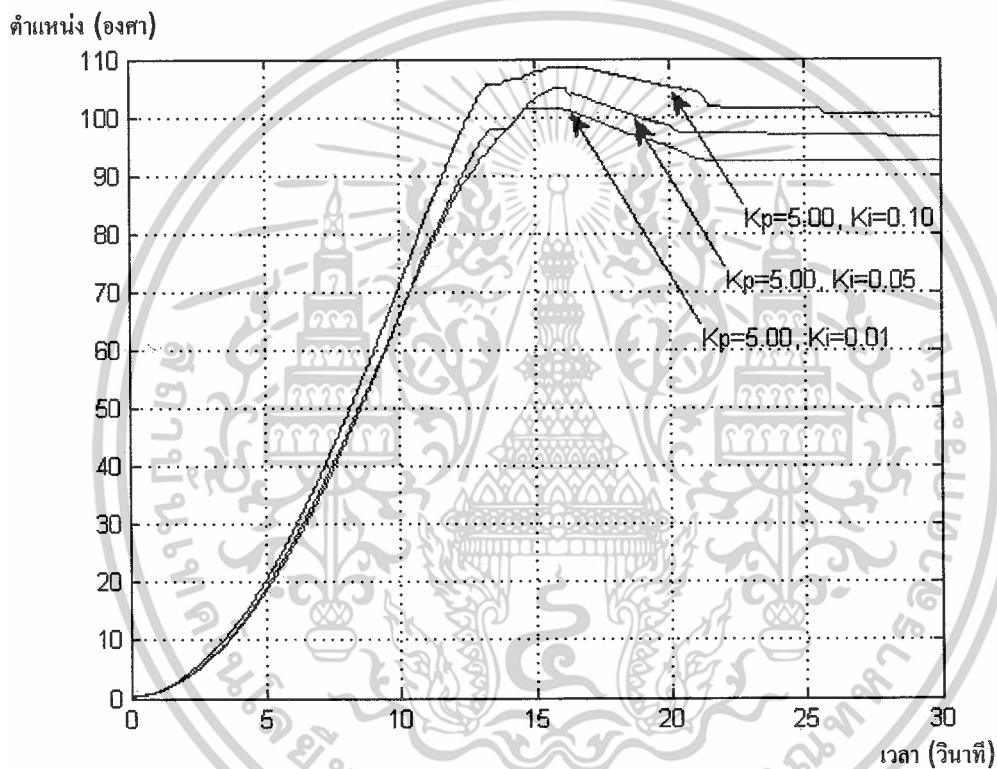
รูปที่ 4.15 สัญญาณควบคุม ณ ตำแหน่งยกขึ้น 300 มิลลิเมตร โดยควบคุมแบบพีเมื่อชดเชย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองควบคุมตำแหน่งเครนด้วยการควบคุมแบบพีไอ

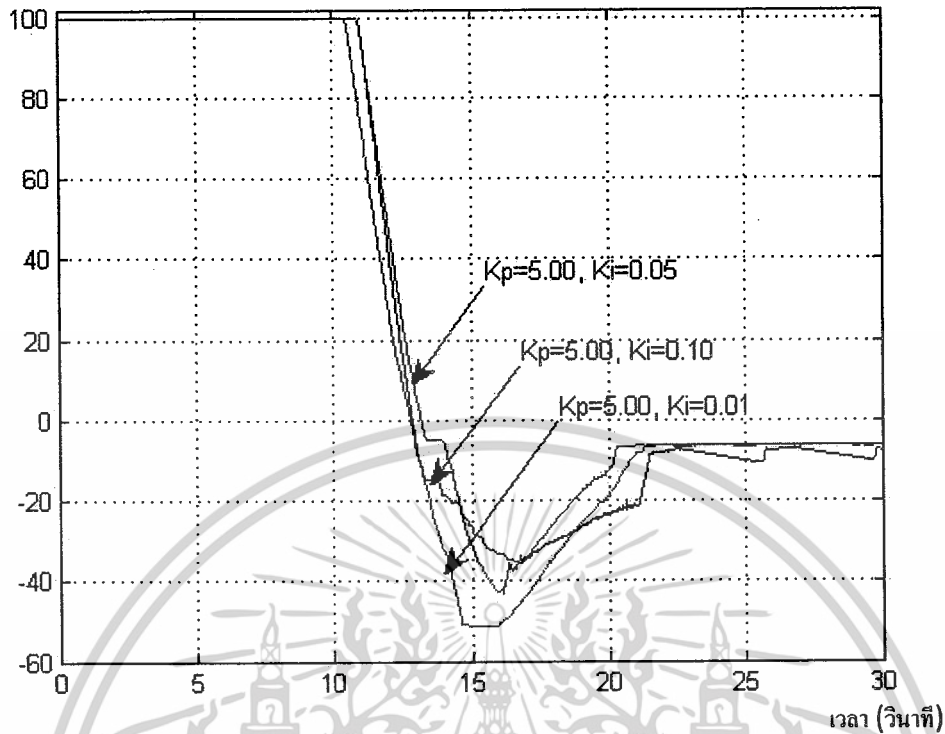
4.4.1 การทดลองควบคุมตำแหน่งส่วนเป็นหมุน

การทดลองควบคุมตำแหน่งเครนโดยใช้การควบคุมแบบพีไอสำหรับเป็นหมุน ได้กำหนดระยะการเคลื่อนที่ 90 องศา ในการทดลองใช้ค่าอัตราขยายของตัวควบคุมแบบพีไอที่ Proportional Gain เท่ากับ 5.00 และ Integral Gain เท่ากับ 0.01, 0.05 และ 0.10 พบว่าที่ Integral Gain เท่ากับ 0.01 ทำให้ระบบตอบสนองต่อตำแหน่งเป้าหมายได้ใกล้เคียงที่สุด และมีค่าพุงเกินน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับ Integral Gain ที่สูงกว่า ดังรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.16 ผลตอบสนอง ณ ตำแหน่งมุม 90 องศา โดยควบคุมแบบพีไอ

พล็อตวิหัตพลุเลชัน (เปอร์เซ็นต์)

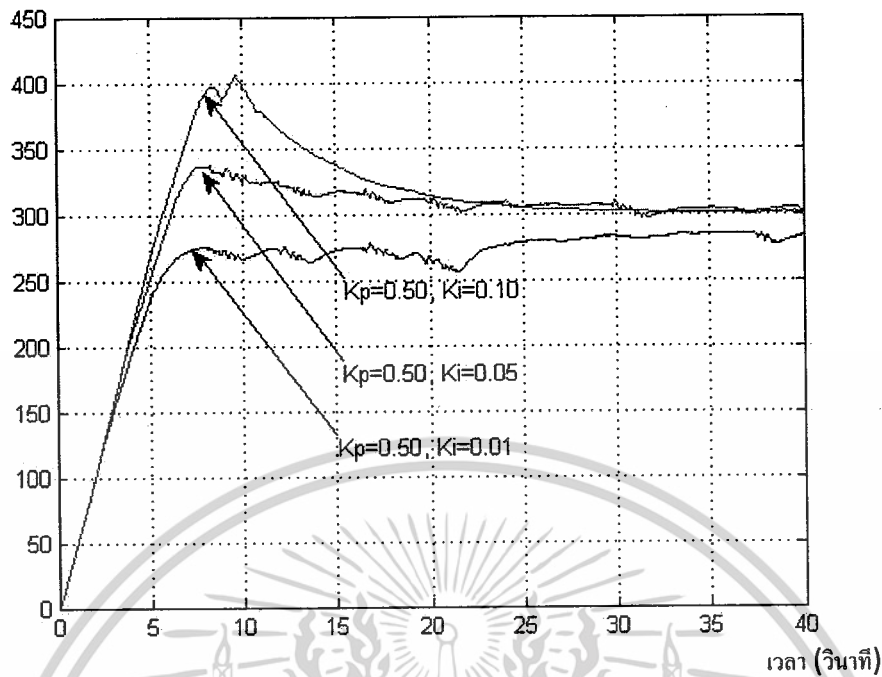


รูปที่ 4.17 สัญญาณควบคุม ณ ตำแหน่งมุม 90 องศา โดยควบคุมแบบพีไอ

4.4.2 การทดลองควบคุมตำแหน่งส่วนกลองเลื่อน

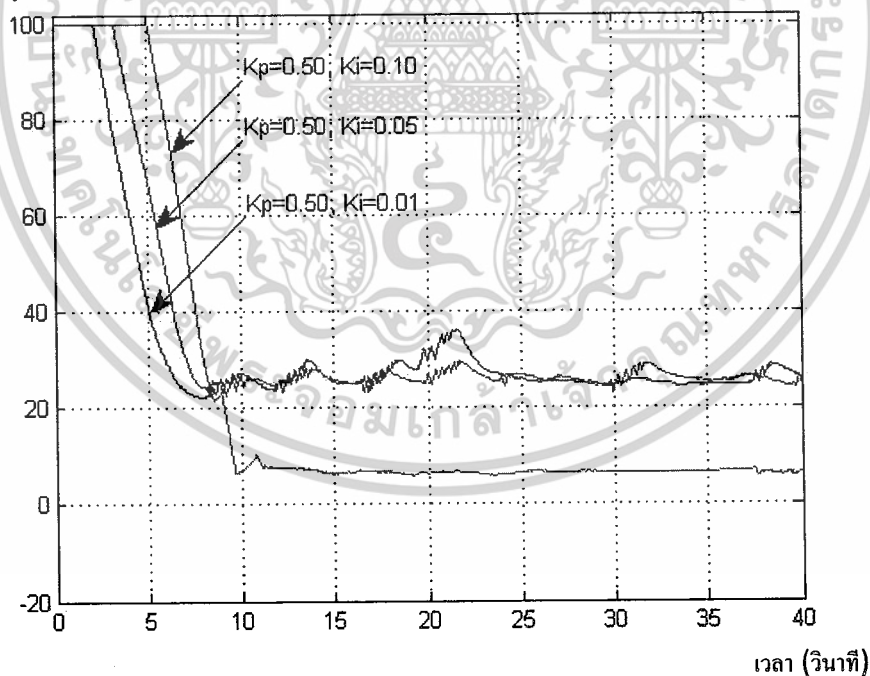
การทดลองการควบคุมตำแหน่งแครงน โดยใช้การควบคุมแบบพีไอสำหรับกลองเลื่อน ได้กำหนดระยะในการเคลื่อนที่ 300 มิลลิเมตร จากการทดลองพบว่าที่ Proportional Gain เท่ากับ 0.50 และ Integral Gain เท่ากับ 0.01 ระบบจะตอบสนองต่อตำแหน่งเป้าหมายได้ช้าที่สุด ที่ Integral Gain เท่ากับ 0.05 ระบบจะตอบสนองต่อตำแหน่งเป้าหมายได้เร็วกว่า และผลตอบสนองของระบบจะเร็วที่สุดที่เวลาประมาณ 6 วินาที เมื่อ Integral Gain เท่ากับ 0.10 แต่มีค่าพุ่งเกินสูงสุดถึง 33.33 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4.18 และสัญญาณควบคุมที่สอดคล้องดังรูปที่ 4.19

ตำแหน่ง (มิลลิเมตร)



รูปที่ 4.18 ผลตอบสนอง ณ ตำแหน่ง 300 มิลลิเมตร โดยควบคุมแบบพีไอ

พัลส์วิธอมทูลเดชั่น (เปอร์เซ็นต์)



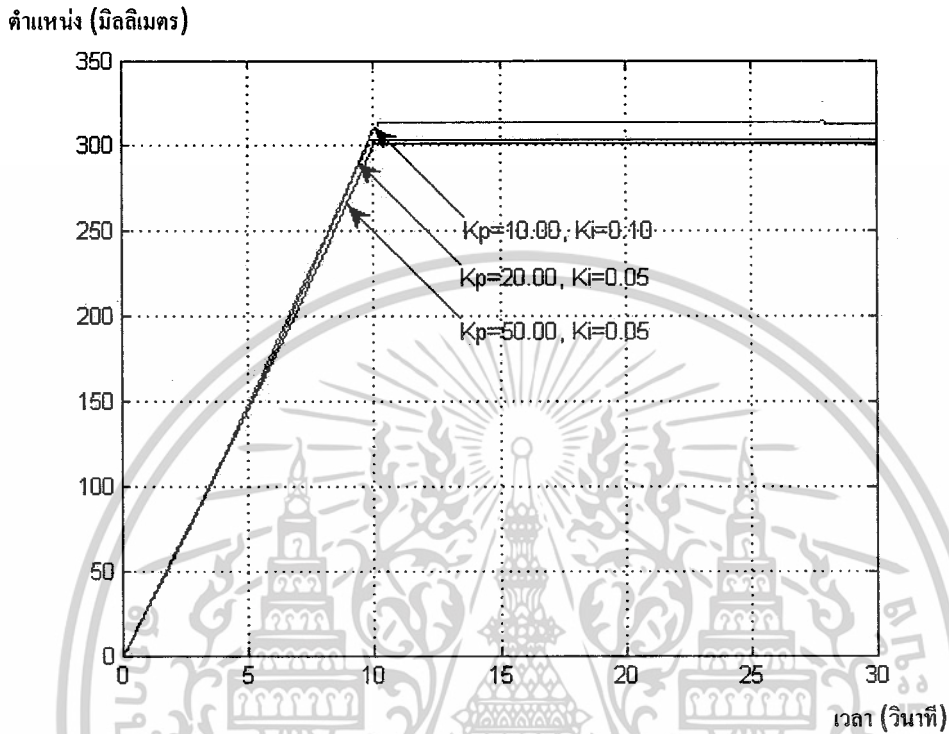
รูปที่ 4.19 สัญญาณควบคุม ณ ตำแหน่ง 300 มิลลิเมตร โดยควบคุมแบบพีไอ

4.4.3 การทดลองควบคุมตำแหน่งส่วนยกภาระ

การทดลองการควบคุมตำแหน่งครนโดยใช้การควบคุมแบบพีไอสำหรับส่วนที่ใช้ยกภาระ

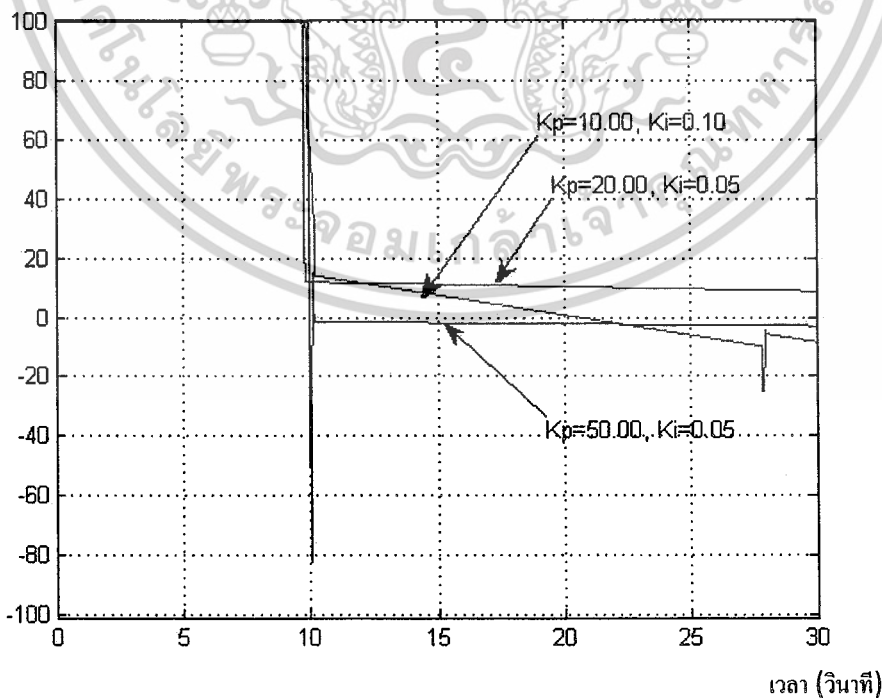
ได้กำหนดระยะในการยกขึ้น 300 มิลลิเมตร จากการทดลองพบว่าระบบสามารถเข้าสู่ตำแหน่ง
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป้าหมายได้เมื่อใช้ Integral Gain เท่ากับ 0.05 และ Proportional Gain เท่ากับ 20.00 และ 0.05 แต่เมื่อใช้ Integral Gain เท่ากับ 0.10 และ Proportional Gain เท่ากับ 10.00 ระบบจะไม่สามารถตอบสนองต่อค่าเป้าหมายได้ ดังรูปที่ 4.20 และสัญญาณควบคุมที่สอดคล้องดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.20 ผลตอบสนอง ณ ตำแหน่งการยกขึ้น 300 มิลลิเมตร โดยควบคุมแบบพีไอ

พัลส์วិทยอมทูลเริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์)



รูปที่ 4.21 สัญญาณควบคุม ณ ตำแหน่งยกขึ้น 300 มิลลิเมตร โดยควบคุมแบบพีไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและวิจารณ์

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าระบบควบคุมที่ได้จำลองขึ้นมานั้นเริ่มทำงานได้โดยป้อนสัญญาณควบคุมไปที่มอเตอร์ของแต่ละส่วน โดยมอเตอร์ในส่วนของเป็นหมุนเริ่มทำงานได้ที่ควิตซ์ไชเคิล 65 เปอร์เซ็นต์ ของแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ที่ป้อนให้กับมอเตอร์ ที่ควิตซ์ไชเคิล 25 เปอร์เซ็นต์ ของแรงดัน 12 โวลต์ สำหรับมอเตอร์ในส่วนของกล่องเลื่อน และที่ควิตซ์ไชเคิล 75 เปอร์เซ็นต์ ของแรงดัน 19 โวลต์ สำหรับมอเตอร์ในส่วนที่ใช้ยกภาระเมื่อยกภาระขึ้น และที่ควิตซ์ไชเคิล 25 เปอร์เซ็นต์ ของแรงดัน 19 โวลต์ สำหรับการปล่อยภาระลงของมอเตอร์ในส่วนที่ใช้ยกภาระ ความเร็วมอเตอร์จะแปรผันตามค่าควิตซ์ไชเคิลของสัญญาณควบคุมที่ป้อนให้มอเตอร์

จากการทดลองในส่วนเป็นหมุนพบว่า การควบคุมแบบเปิด-ปิดสามารถทำให้ระบบตอบสนองต่อตำแหน่งเป้าหมายได้เร็ว แต่มอเตอร์จะวิ่งเกินค่าเป้าหมายเนื่องจากแรงเฉื่อยของมอเตอร์ การควบคุมแบบพีทำให้ระบบตอบสนองต่อตำแหน่งเป้าหมายได้เร็วเมื่อใช้อัตราขยายที่สูง แต่จะส่งผลให้เกิดค่าพุ่งเกินที่สูงกว่าการใช้อัตราขยายที่ต่ำ ส่วนการควบคุมแบบพีไอรระบบจะตอบสนองต่อตำแหน่งเป้าหมายได้ดีเมื่อใช้ Integral Gain ที่ต่ำแต่ผลตอบสนองจะช้ากว่าการใช้ Integral Gain ที่สูง ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นว่า การควบคุมแบบพีไอที่ Proportional Gain เท่ากับ 5.00 และ Integral Gain เท่ากับ 0.01 จะให้ผลตอบสนองดีกว่าการควบคุมแบบอื่นเนื่องจากมีค่าพุ่งเกินที่ต่ำ และการแกว่งน้อยที่สภาวะคงตัว

จากการทดลองในส่วนกล่องเลื่อนพบว่า การควบคุมแบบเปิด-ปิดทำให้ระบบตอบสนองต่อตำแหน่งเป้าหมายได้เร็ว แต่จะมีการแกว่ง ณ สภาวะคงตัว การควบคุมแบบพีทำให้ระบบตอบสนองต่อตำแหน่งเป้าหมายได้เร็วและแม่นยำเมื่อใช้อัตราขยายที่สูง โดยไม่จำเป็นต้องชดเชยสัญญาณควบคุม ส่วนการควบคุมแบบพีไอรระบบจะตอบสนองต่อตำแหน่งเป้าหมายได้ดีเมื่อใช้ Proportional Gain เท่า 0.50 และ Integral Gain เท่ากับ 0.05 แต่การใช้ Integral Gain ที่สูงจะส่งผลให้เกิดค่าพุ่งเกินที่สูงขึ้น ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นว่า การควบคุมแบบพีไอที่ Proportional Gain เท่ากับ 5.00 ให้ผลตอบสนองดีกว่าการควบคุมแบบอื่นเนื่องจากให้ผลตอบสนองที่เร็ว และมีค่าพุ่งเกินที่น้อยมาก

จากการทดลองในส่วนชดชยกภาระพบว่า การควบคุมแบบเปิด-ปิดทำให้ระบบตอบสนองต่อตำแหน่งเป้าหมายได้ดี แต่จะมีการแกว่งเล็กน้อย ณ สภาวะคงตัว การควบคุมแบบพีทำให้ระบบตอบสนองต่อตำแหน่งเป้าหมายได้เร็วขึ้นและแม่นยำเมื่อใช้ Proportional Gain เท่ากับ 20.00 และ 50.00 โดยไม่จำเป็นต้องชดเชยสัญญาณควบคุม ส่วนการควบคุมแบบพีไอรระบบจะตอบสนองต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งเป้าหมายได้ดีเมื่อใช้ Proportional Gain เท่า 50.00 และ Integral Gain เท่ากับ 0.05 แต่การใช้ Integral Gain ที่สูงจะส่งผลให้เกิดค่าพุ่งเกินที่สูงขึ้น ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นว่า การควบคุมแบบพีให้ผลตอบสนองดีกว่าการควบคุมแบบอื่นเนื่องจากให้ผลตอบสนองที่เร็ว และมีค่าพุ่งเกินที่น้อยมาก

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข

ปัญหาที่พบในโครงการในส่วนของโครงสร้างพบว่า น้ำหนักของแกนเครนทั้งสองด้านยังไม่สมดุลเท่าที่ควร ทำให้การควบคุมการหมุนของแป้นหมุนไม่แม่นยำเท่าที่ควร แนวทางแก้ไขคือคำนวณโมเมนต์ของแกนเครนให้ละเอียดมากขึ้นเพื่อที่จะได้น้ำหนักถ่วงที่เหมาะสม

ปัญหาที่พบในส่วนของวงจรขับเคลื่อนพบว่า วงจรขับเคลื่อนแบบ H-Bridge โดยใช้มอเตอร์ที่ออกแบบไว้ อาจมีส่วนประกอบบางตัวของวงจร มีค่าไม่เหมาะสม ทำให้สัญญาณเอาต์พุตจากวงจรขับเคลื่อนไม่ถูกต้องเท่าที่ควรและวงจรเกิดความเสียหายได้ง่าย ดังนั้นจึงควรออกแบบวงจรให้เหมาะสมกับการใช้งานมากยิ่งขึ้น

ปัญหาที่พบในส่วนของวงจรควบคุมพบว่าจากคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4012 สามารถใช้งานโมดูลจับสัญญาณได้ 4 ช่อง แต่จากการทดลองสามารถใช้ได้เพียง 2 ช่องทำให้ยังไม่สามารถวัดตำแหน่งของมอเตอร์ได้พร้อมกันทั้ง 3 ตัว

ปัญหาที่พบในการนับสัญญาณพัลส์จากเซ็นโค้ดเดอร์พบว่าการนับผิดพลาดเมื่อมอเตอร์หมุนกลับทิศ ทำให้ระยะทางที่วัดได้เกิดความผิดพลาด

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

1. ดัดอุปกรณ์วัดการแกว่งให้กับระบบควบคุมตำแหน่งเครน 2 มิติ เพื่อตรวจวัดและควบคุมการแกว่งของโหลดหรือภาระที่เคลื่อนย้าย เพื่อป้องกันอันตรายหรือความเสียหายที่เกิดจากการแกว่งมากเกินไปของภาระในขณะที่เครนทำงาน
2. ติดสัญญาณเตือนในขณะที่เครนกำลังทำงาน เพื่อให้เกิดความปลอดภัย
3. ปรับปรุงโครงสร้างให้มีความสมดุลมากยิ่งขึ้น
4. ปรับปรุงวงจรขับเคลื่อนให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

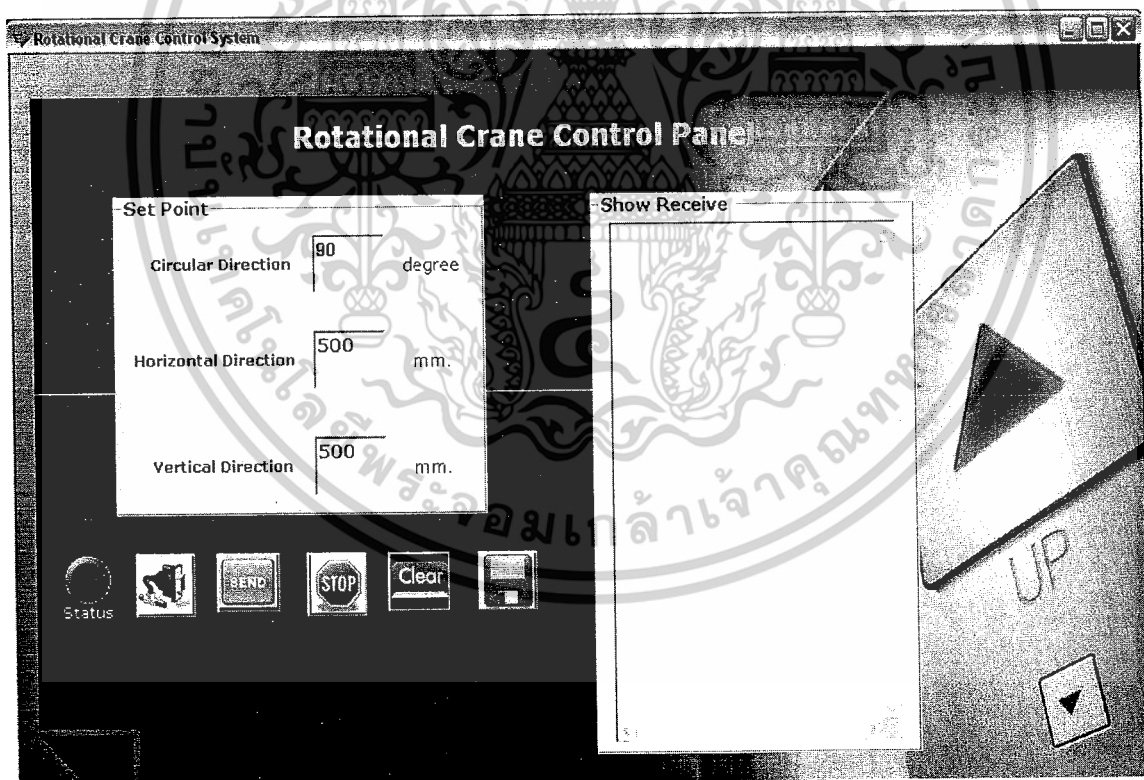
ภาคผนวก ก

โปรแกรมที่ใช้ในโรงงาน

ในบทนี้จะอธิบายถึงส่วนของโปรแกรมต่างๆที่ใช้ในโรงงาน ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนโปรแกรมสั่งงานที่ใช้ติดต่อกับผู้ใช้งานบนคอมพิวเตอร์และส่วนโปรแกรมประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมตำแหน่งของเครนแบบหมุน

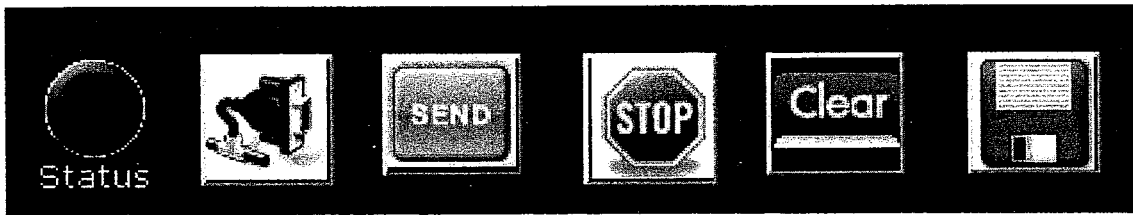
ก.1 โปรแกรมสั่งงานโดยผู้ใช้งานบนคอมพิวเตอร์

โปรแกรมสั่งงานที่ใช้ติดต่อกับผู้ใช้งานบนคอมพิวเตอร์ในโรงงานนี้ได้เลือกใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 ในการพัฒนาโปรแกรมเพื่อรับค่าเป้าหมายการควบคุมจากผู้ใช้งาน และส่งค่าเป้าหมายไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลและส่งสัญญาณควบคุมไปยังวงจรถับมอเตอร์เพื่อควบคุมตำแหน่งของเครนต่อไป



รูปที่ ก.1 หน้าต่างสั่งงานควบคุมตำแหน่งเครน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.2 ปุ่มสั่งงานบนหน้าต่างใช้งาน

รายละเอียดของการใช้งานปุ่มต่างๆสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ปุ่มรูป Serial Port เป็นปุ่มสำหรับเปิดพอร์ตอนุกรมเพื่อติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจะมีไฟบอกสถานะทางด้านซ้ายมือเป็นตัวบอกว่าขณะนี้พอร์ตได้ถูกเปิดอยู่หรือไม่ ถ้าเปิดอยู่ไฟจะเป็นสีเขียว แต่ถ้าปิดอยู่ไฟจะเป็นสีแดง
2. ปุ่ม SEND เป็นปุ่มสำหรับส่งค่าเป้าหมายการควบคุมไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์
3. ปุ่ม STOP เป็นปุ่มสำหรับปิดพอร์ตอนุกรมเพื่อหยุดการติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์
4. ปุ่ม CLEAR เป็นปุ่มสำหรับลบค่าที่หน้าจอแสดงผล เพื่อรอรับข้อมูลชุดใหม่
5. ปุ่มรูปแผ่นดิสก์ เป็นปุ่มสำหรับเก็บค่าที่ถูกส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อนำค่าไปพล็อตกราฟผลตอบสนองของระบบ โดยจะเก็บข้อมูลเป็นชนิด Text File

การใช้งานโปรแกรมเพื่อควบคุมตำแหน่งของเครนสามารถทำได้โดยเปิดโปรแกรมที่ออกแบบไว้ขึ้นมา ก็จะพบกับหน้าต่างดังรูปที่ ก.1 ให้กดปุ่มรูปพอร์ตอนุกรมเพื่อติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์และกำหนดค่าเป้าหมายในการเคลื่อนที่ของเครนในทิศทางต่างๆดังนี้

1. ทิศทางการเคลื่อนที่ในแนววงกลม มีหน่วยเป็นองศา ซึ่งเราสามารถกำหนดองศาของการหมุนได้ในช่วง 0 องศา ถึง 360 องศา
2. ทิศทางการเคลื่อนที่ในแนวนอน มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร ซึ่งเราสามารถกำหนดระยะทางการเคลื่อนที่ได้ไม่เกิน 900 มิลลิเมตร
3. ทิศทางการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร ซึ่งเราสามารถกำหนดระยะทางการเคลื่อนที่ได้ไม่เกิน 1200 มิลลิเมตร

เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายเรียบร้อยแล้วให้กดปุ่ม SEND เพื่อส่งค่าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ระบบก็จะเริ่มทำงานและควบคุมการเคลื่อนที่ของเครนไปยังตำแหน่งที่ต้องการ

ในส่วนของโปรแกรมวิซวลเบสิก 6.0 ที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้สั่งงานในการควบคุมตำแหน่งของเกรนสามารถแสดงได้ดังนี้

```
Private Sub Form_Load()
```

```
    Frame4.Visible = False
```

```
    MSCom.Settings = "38400,N,8,1"
```

```
End Sub
```

```
Private Sub ComdSend_Click()
```

```
    If MSCom.PortOpen = False Then
```

```
        MsgBox " The device isn't open", vbOKOnly, " Caution"
```

```
    End If
```

```
    If MSCom.PortOpen Then
```

```
        ' Check Length txtSend1
```

```
        If Len(txtSend1.Text) = 3 Then
```

```
            MSCom.Output = txtSend1.Text
```

```
        ElseIf Len(txtSend1.Text) = 0 Then
```

```
            MSCom.Output = 0 & 0 & 0
```

```
        End If
```

```
        If Len(txtSend1.Text) < 3 Then
```

```
            If Len(txtSend1.Text) = 1 Then
```

```
                MSCom.Output = 0 & 0 & txtSend1.Text
```

```
            ElseIf Len(txtSend1.Text) = 2 Then
```

```
                MSCom.Output = 0 & txtSend1.Text
```

```
            End If
```

```
        End If
```

```
        ' Check Length txtSend2
```

```
        If Len(txtSend2.Text) = 3 Then
```

```
            MSCom.Output = txtSend2.Text
```

```
        ElseIf Len(txtSend2.Text) = 0 Then
```

```
            MSCom.Output = 0 & 0 & 0
```

```
        End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

If Len(txtSend2.Text) < 3 Then
    If Len(txtSend2.Text) = 1 Then
        MCom.Output = 0 & 0 & txtSend2.Text
    ElseIf Len(txtSend2.Text) = 2 Then
        MCom.Output = 0 & txtSend2.Text
    End If
End If

' Check Length txtSend3
If Len(txtSend3.Text) = 4 Then
    MCom.Output = txtSend3.Text
ElseIf Len(txtSend3.Text) = 0 Then
    MCom.Output = 0 & 0 & 0 & 0
End If

If Len(txtSend3.Text) < 4 Then
    If Len(txtSend3.Text) = 1 Then
        MCom.Output = 0 & 0 & 0 & txtSend3.Text
    ElseIf Len(txtSend3.Text) = 2 Then
        MCom.Output = 0 & 0 & txtSend3.Text
    ElseIf Len(txtSend3.Text) = 3 Then
        MCom.Output = 0 & txtSend3.Text
    End If
End If

txtSend1.Text = ""
txtSend2.Text = ""
txtSend3.Text = ""
txtReceive.Refresh
txtSend1.SetFocus
txtSend2.SetFocus
txtSend3.SetFocus
End If

```

End Sub.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Comdport_Click()
```

```
    MSCom.PortOpen = True
```

```
    Frame4.Visible = True
```

```
    Frame3.Visible = False
```

```
    MsgBox "Port is already open", vbOKOnly, "No error"
```

```
End Sub
```

```
Private Sub MSCom_OnComm()
```

```
    Dim buffer As Variant
```

```
    Dim msg As Integer
```

```
    If MSCom.CommEvent = comEvReceive Then
```

```
        buffer = MSCom.Input
```

```
        txtReceive.Text = txtReceive.Text & buffer
```

```
        txtReceive.Refresh
```

```
    End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub ComdSave_Click()
```

```
    Dim filelocation As String
```

```
    CommonDialog1.ShowSave
```

```
    filelocation = CommonDialog1.FileName
```

```
    Open filelocation For Append As #1
```

```
    Print #1, txtReceive.Text
```

```
    Close #1
```

```
End Sub
```

```
Private Sub ComdStop_Click()
```

```
    MSCom.PortOpen = False
```

```
    Frame3.Visible = True
```

```
    Frame4.Visible = False
```

```
End Sub
```

```
Private Sub ComdClear_Click()
```

```
    txtReceive.Text = ""
```

```
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 โปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์

ในโครงการนี้ นำไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4012 มาใช้เป็นตัวควบคุม โดยมีโปรแกรมการทำงาน 3 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนของการรับค่าเป้าหมายการควบคุมจากโปรแกรมวิซวลเบสิก 6.0
2. ส่วนของการคำนวณป้อนกลับระยะทางในการเคลื่อนที่จากเอ็นโค้ดเดอร์
3. ส่วนของการประมวลผลและส่งสัญญาณควบคุม

โดยโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนาเพื่อใช้ประมวลผลการควบคุมตำแหน่งของเครื่องสามารถแสดงได้ดังนี้

```
//-----Include various library-----//
#include<p30f4012.h>
#include<stdio.h>
#include<uart.h>
#include<incap.h>
#include<pwm.h>
#include<timer.h>
// -----Define various parameter-----//
#define PERIOD 0x7332 // Define period (frequency 1 kHz @ osc 7.37287 * 16)
#define Ts 0.01 // Define Sampling Time Constant for using in Numerical Method
#define Kp1 1.1 // Define Propotional Gain for Motor1
#define Kp2 0.33 // Define Propotional Gain for Motor2
#define Kp3 0.5 // Define Propotional Gain for Motor3
#define Ti1 20 // Define Integral Time Constant for Motor1
#define Ti2 20 // Define Integral Time Constant for Motor2
#define Ti3 20 // Define Integral Time Constant for Motor3
#define Td1 0.1 // Define Derivative Time Constant for Motor1
#define Td2 0.1 // Define Derivative Time Constant for Motor2
#define Td3 0.1 // Define Derivative Time Constant for Motor3

//----- Configuration bits -----//
_FOSC(CSW_FSCM_OFF & XT_PLL16);
_FWDT(WDT_OFF);
_FBORPOR(PBOR_OFF & BORV_27 & PWRT_16 & MCLR_EN);
_FGSC(CODE_PROT_OFF);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//-----Define various variables-----//
int n1;
long pulse_1, pulse_2, pulse_3;
float distance1, distance2, distance3, error1, error2, error3, MV1, MV2, MV3, pulse1, pulse2, pulse3;
float P1,P2,P3,I1,I2,I3,Ki1,Ki2,Ki3,Eo1,Eo2,Eo3,MV1r,MV2r,MV3r,Kd1,Kd2,Kd3,D1,D2,D3,SP1,SP2,SP3,n;
char c[12],i=0,j=0,SW=0,dat[12];

//-----Initial Function of Input Capture-----//
void init_incap()
{
//-----Config InputCapture 1-----//
ConfigIntCapture1(IC_INT_PRIOR_2 & IC_INT_ON); // Enable IC1 interrupt

OpenCapture1(IC_IDLE_STOP & // Capture disable in idle mode
             IC_TIMER3_SRC & // Timer 3 count for IC1
             IC_INT_1CAPTURE & // Capture per 1 count for interrupt
             IC_EVERY_RISE_EDGE); // Capture every falling edge only

//-----Config InputCapture 2-----//
ConfigIntCapture2(IC_INT_PRIOR_2 & IC_INT_ON); // Enable IC2 interrupt

OpenCapture2(IC_IDLE_STOP & // Capture disable in idle mode
             IC_TIMER3_SRC & // Timer 3 count for IC2
             IC_INT_1CAPTURE & // Capture per 1 count for interrupt
             IC_EVERY_RISE_EDGE); // Capture every falling edge only

//-----Config InputCapture 7-----//
ConfigIntCapture7(IC_INT_PRIOR_2 & IC_INT_ON); // Enable IC7 interrupt

OpenCapture7(IC_IDLE_STOP & // Capture disable in idle mode
             IC_TIMER3_SRC & // Timer 3 count for IC7
             IC_INT_1CAPTURE & // Capture per 1 count for interrupt
             IC_EVERY_RISE_EDGE); // Capture every falling edge only

TRISEbits.TRISE8 = 1; // Input for Phase B of Motor1
TRISEbits.TRISE2 = 1; // Input for Phase B of Motor2
TRISBbits.TRISB5 = 1; // Input for Phase B of Motor3
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//-----Interrupt service routine Capture every Falling edge -----//

// Input Capture 1
void_ISR_IC1Interrupt(void)
{
    IFS0bits.IC1IF = 0;           // Clear IC1 interrupt flag

    if(PORTEbits.RE8)
        pulse_1--;               // Phase B lead
    else
        pulse_1++;               // Phase A lead
}

// Input Capture 2
void_ISR_IC2Interrupt(void)
{
    IFS0bits.IC2IF = 0;           // Clear IC2 interrupt flag

    if(PORTEbits.RE2)
        pulse_2--;
    else
        pulse_2++;
}

// Input Capture 7
void_ISR_IC7Interrupt(void)
{
    IFS1bits.IC7IF = 0;           // Clear IC7 interrupt flag

    if(PORTBbits.RB5)
        pulse_3++;
    else
        pulse_3--;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//----- Interrupt service routine for timer1-----//
void _ISR_T1Interrupt(void)
{
    IFSObits.T1IF = 0; // Clear Timer interrupt flag

    pulse1 = pulse_1; // Convert the integer to float
    pulse2 = pulse_2;
    pulse3 = pulse_3;
    distance1 = (pulse1/25000)*360; // For the motor which move in circle direction
    distance2 = (pulse2/768)*2*3.1412*15; // Horizontal direction (15 is a radius of motor shaft in mm.)
    distance3 = (pulse3/1452)*2*3.1412*25; // Vertical direction (25 is a radius of motor shaft in mm.)
    error1 = SP1-distance1;
    error2 = SP2-distance2;
    error3 = SP3-distance3;

//-----PID-Controller of Motor1-----//
    P1 = Kp1*error1;
    Ki1 = 0; //Kp1/Ti1;
    I1 = I1 + (0.5*Ki1*Ts*(error1+Eo1));
    Kd1 = 0; //Kp1*Td1;
    D1 = (Kd1/Ts)*(error1-Eo1);
    MV1 = P1 + I1 + D1;

//-----PID-Controller of Motor2-----//
    P2 = Kp2*error2;
    Ki2 = 0; //Kp2/Ti2;
    I2 = I2 + (0.5*Ki2*Ts*(error2+Eo2));
    Kd2 = 0; //Kp2*Td2;
    D2 = (Kd2/Ts)*(error2-Eo2);
    MV2 = P2 + I2 + D2;

//-----PID-Controller of Motor3-----//
    P3 = Kp3*error3;
    Ki3 = Kp3/Ti3;
    I3 = I3 + (0.5*Ki3*Ts*(error3+Eo3));
    Kd3 = 0; //Kp3*Td3;
    D3 = (Kd3*Ts)*(error3-Eo3);
    MV3 = P3 + I3 + D3;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//-----Conditions of Motor1 Control Signal-----//
```

```
if(MV1>100)
{
    MV1 = 100;
}
else if(MV1<-100)
{
    MV1 = -100;
}
```

```
if(MV1>0)
{
    MV1r = MV1;
    forward1(MV1r);
}
else if(MV1<0)
{
    MV1r = MV1*(-1);
    backward1(MV1r);
}
Eo1 = error1;
```

```
//-----Conditions of Motor2 Control Signal-----//
```

```
if(MV2>100)
{
    MV2 = 100;
}
else if(MV2<-100)
{
    MV2 = -100;
}
if(MV2>0)
{
    MV2r = MV2;
    forward2(MV2r);
}
else if(MV2<0)
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        MV2r = MV2*(-1);
        backward2(MV2r);
    }
    Eo2 = error2;
//-----Conditions of Motor3 Control Signal-----//
    if(MV3>100)
    {
        MV3 = 100;
    }
    else if(MV3<-100)
    {
        MV3 = -100;
    }
    if(MV3>0)
    {
        MV3r = MV3;
        forward3(MV3r);
    }
    else if(MV3<0)
    {
        MV3r = MV3*(-1);
        backward3(MV3r);
    }
    Eo3 = error3;
    sprintf(c,"%0.2f %0.2f\r\n",distance1,MV1); // Send to Visual Basic Program
    uart1_puts(c);
}

//----- Function for Timer1 Configuration -----//
void timer1_init(void)
{
    unsigned long match_value;
    ConfigIntTimer1(T1_INT_PRIOR_1 & // Timer1 interrupt priority 2
                   T1_INT_ON);      // Enable interrupt for timer1
    WriteTimer1(0);                  // Clear count value at TMR1 register
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

match_value = 294912; // Load value Interval 10 ms (SAMPLING TIME)

OpenTimer1(T1_ON & // Start timer1
           T1_GATE_OFF & // Disable gate pin for timer1
           T1_IDLE_STOP & // Stop timer in idle mode
           T1_PS_1_1 & // Prescaler 1:1
           T1_SYNC_EXT_OFF & // Disable sync external source
           T1_SOURCE_INT, match_value); // Wait till the timer matches with the period value
}

//----- Function Configuration for UART-----//
void uart1_init()
{
    unsigned int baudvalue;
    unsigned int U1MODEvalue;
    unsigned int U1STAvalue;
    CloseUART1();
    ConfigIntUART1(UART_RX_INT_EN &
                  UART_RX_INT_PR3 &
                  UART_TX_INT_DIS);
    baudvalue = 47; // Baudrate 38400 @PLL16
    U1MODEvalue = UART_EN &
                  UART_IDLE_CON &
                  UART_ALTRX_ALTX &
                  UART_DIS_WAKE &
                  UART_DIS_LOOPBACK &
                  UART_DIS_ABAUD &
                  UART_NO_PAR_8BIT &
                  UART_1STOPBIT;

    U1STAvalue = UART_INT_TX_BUF_EMPTY &
                  UART_TX_PIN_NORMAL &
                  UART_TX_ENABLE &
                  UART_INT_RX_3_4_FUL &
                  UART_ADR_DETECT_DIS &
                  UART_RX_OVERRUN_CLEAR;

    OpenUART1(U1MODEvalue, U1STAvalue, baudvalue);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//-----Function Send UART-----//
void uart1_puts(char string[])
{
    putsUART1 ((unsigned int *)string);
    while (BusyUART1());
}

//-----Interrupt Service Routine for UART1-----//
void _ISR_U1RXInterrupt(void)
{
    IFS0bits.U1RXIF = 0;
    SW = 0;
    ConfigIntTimer1(T1_INT_PRIOR_1 & T1_INT_OFF); // Disable Timer1 interrupt
}

//-----Function initial PWM-----//
void pwm_init()
{
    unsigned int sptime; // Holds the value to be loaded into special event compare register
    unsigned int config1; // Holds PWM configuration value
    unsigned int config2; // Holds the value be loaded into PWMCON1 register
    unsigned int config3; // Holds the value to configure the special event trigger postscale and dutycycle

    TRISBbits.TRISB0 = 0; // Configuration for bit control DC motor1 direction
    TRISBbits.TRISB1 = 0; // Configuration for bit control DC motor1 direction
    TRISBbits.TRISB2 = 0; // Configuration for bit control DC motor2 direction
    TRISBbits.TRISB3 = 0; // Configuration for bit control DC motor2 direction
    TRISEbits.TRISE0 = 0; // Configuration for bit control DC motor3 direction
    TRISEbits.TRISE4 = 0; // Configuration for bit control DC motor3 direction

    sptime = 0x0;

    config1 = (PWM_EN & // Enable PWM module
              PWM_OP_SCALE1 & // Output post scaler select 1:1
              PWM_IPCLK_SCALE1 & // Input prescaler select 1:1
              PWM_MOD_FREE); // PWM free running mode

    config2 = (PWM_MOD1_IND & // Independent mode in PWM module 1
              PWM_MOD2_IND & // Independent mode in PWM module 2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        PWM_MOD3_IND &                // Independent mode in PWM module 3
        PWM_PEN1H &                    // H of channel 1 works as PWM
        PWM_PEN2H &                    // H of channel 2 works as PWM
        PWM_PEN3H &                    // H of channel 3 works as PWM
        PWM_PDIS1L &                   // L of channel 1 works as I/O
        PWM_PDIS2L &                   // L of channel 2 works as I/O
        PWM_PDIS3L);                   // L of channel 3 works as I/O

    config3 = (PWM_SEVOPS1 &          // Special event post scaler 1:1
        PWM_OSYNC_PWM &              // Override synchronized with PWM clock
        PWM_UEN);                     // Update of PDCs and PTPER enabled

    OpenMCPWM(PERIOD,sptime,config1,config2,config3); // Setup parameter for PWM module
}

//-----Function drive DC motor forward-----//
void forward1(float pow)              // Motor1 forward
{
    float dutycycle,updatedisable;
    dutycycle = pow*(PERIOD/50);
    updatedisable = 0;                //Disable update
    LATBbits.LATB0 = 1;
    LATBbits.LATB1 = 0;

    SetDCMCPWM(1,dutycycle,updatedisable);
}

void forward2(float pow)              // Motor2 forward
{
    float dutycycle,updatedisable;
    dutycycle = pow*(PERIOD/50);
    updatedisable = 0;                //Disable update
    LATBbits.LATB2 = 1;
    LATBbits.LATB3 = 0;

    SetDCMCPWM(2,dutycycle,updatedisable);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void forward3(float pow)                // Motor3 forward
{
    float dutycycle,updatedisable;
    dutycycle = pow*(PERIOD/50);
    updatedisable = 0;                  //Disable update
    LATEbits.LATE0 = 0;
    LATEbits.LATE4 = 1;
    SetDCMCPWM(3,dutycycle,updatedisable);
}

//-----Function drive DC motor backward-----//

void backward1(float pow)                // Motor1 backward
{
    float dutycycle,updatedisable;
    dutycycle = pow*(PERIOD/50);
    updatedisable = 0;                  //Disable update
    LATBbits.LATB0 = 0;
    LATBbits.LATB1 = 1;
    SetDCMCPWM(1,dutycycle,updatedisable);
}

void backward2(float pow)                // Motor2 backward
{
    float dutycycle,updatedisable;
    dutycycle = pow*(PERIOD/50);
    updatedisable = 0;                  //Disable update
    LATBbits.LATB2 = 0;
    LATBbits.LATB3 = 1;

    SetDCMCPWM(2,dutycycle,updatedisable);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void backward3(float pow)                // Motor3 backward
{
    float dutycycle,updatedisable;
    dutycycle = pow*(PERIOD/50);
    updatedisable = 0;                    //Disable update
    LATEbits.LATE0 = 1;
    LATEbits.LATE4 = 0;

    SetDCMCPWM(3,dutycycle,updatedisable);
}

//-----Main Function-----//

main()
{
    uart1_init();
    init_incap();
    pwm_init();

//-----Recieve the setpoint-----//

    while(1)
    {
        while(i<=9)                       // Waiting for the setpoint ( 10 character )
        {
            if(DataRdyUART1())
            {
                dat[i] = ReadUART1();
                j=1; i++;
            }
        }

        if(j==1)
        {
            j=0; i=0;
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// -----Convert the character to the number value-----//
SP1 = (dat[0]-48)*100 + (dat[1]-48)*10 + (dat[2]-48);
SP2 = (dat[3]-48)*100 + (dat[4]-48)*10 + (dat[5]-48);
SP3 = (dat[6]-48)*1000 + (dat[7]-48)*100 + (dat[8]-48)*10 + (dat[9]-48);

// ----- Condition for the setpoint of motor1 -----//
n1 = SP1/360;
n = n1;
SP1 = SP1-(n*360);
if(SP1>180) // For rotate in range +- 180 degree
{
    SP1 = SP1-360;
}
else if(SP1<-180)
{
    SP1 = SP1+360;
}
// ----- Condition for the setpoint of motor2 -----//
if(SP2>900)
{
    SP2 = 900;
}
// ----- Condition for the setpoint of motor3 -----//
if(SP3>1200)
{
    SP3 = 1200;
}

SW=1; // Switch on for Starting Motor
timer1_init();// Start the Sampling Time of Operation when it has received the Setpoint
while(SW) // We will change the setpoint from UART1 Interrupt
{
    if(DataRdyUART1())
        ReadUART1;
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

คู่มือการใช้งานอุปกรณ์ในโครงการงาน

ในส่วนของภาคผนวก ข. จะอธิบายในรายละเอียดสำคัญของอุปกรณ์วัดตำแหน่ง และ อุปกรณ์ประกอบอยู่ภายในส่วนต่างๆ ของวงจรที่ได้สร้างขึ้นเพื่อควบคุมแหล่งกรรณ 3 มิติ

ข.1 มอเตอร์และอุปกรณ์วัดตำแหน่ง

มอเตอร์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญสำหรับโครงการงานนี้ เลือกใช้มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร ทั้งหมด 3 ตัว ซึ่งมอเตอร์ทั้งหมดนั้น ได้ถูกติดตั้งในส่วนเป็นหมุนของเกรน กล่องเลื่อน และชุดยกภาระ

ข.1.1 มอเตอร์และอุปกรณ์วัดตำแหน่งส่วนเป็นหมุน

ได้ทำการเลือกใช้มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรของ Tamagawa TRE series รุ่น 1893N103E5 และอุปกรณ์วัดตำแหน่ง หรือเอ็นโค้ดเดอร์ เป็นชนิดอินกรีเมนต์เอ็นโค้ดเดอร์ ประกอบติดมากับมอเตอร์



รูปที่ ข.1 มอเตอร์และอุปกรณ์วัดตำแหน่งส่วนเป็นหมุน

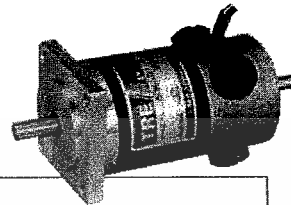
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งานมอเตอร์

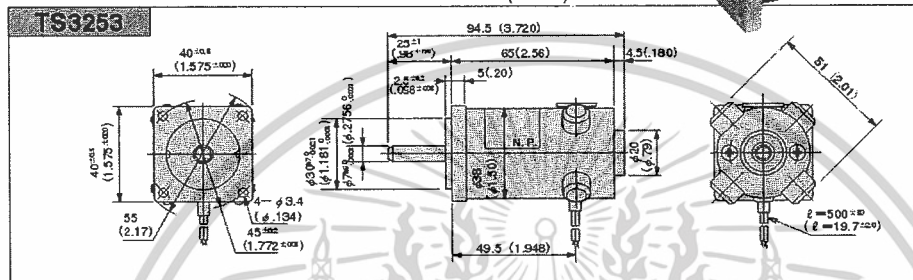
เป็นคู่มือการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง Tamagawa TRE Series รุ่น 1983N103E5 มี

ข้อมูลดังนี้

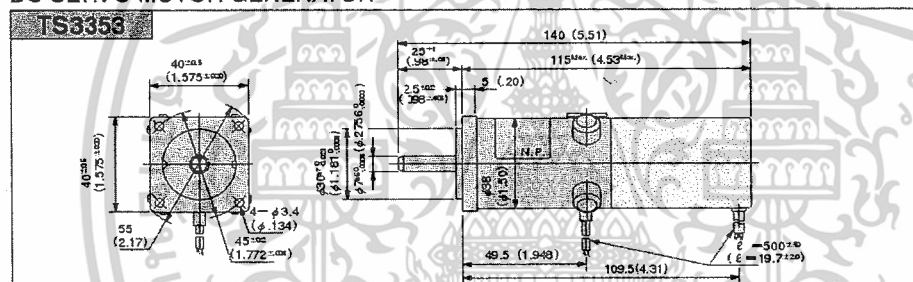
TRE Series 30W



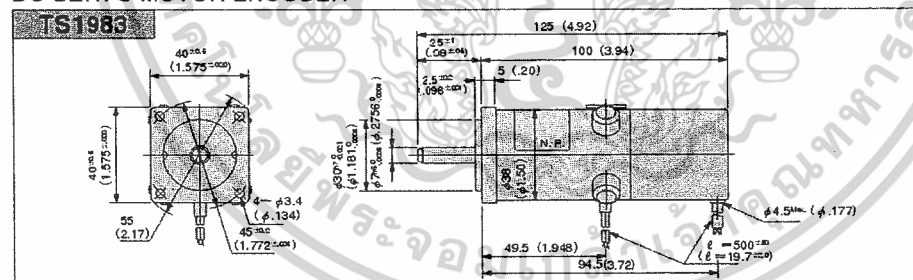
DC SERVO MOTOR



DC SERVO MOTOR GENERATOR



DC SERVO MOTOR ENCODER



DESIGNATING FORM FOR TYPES

形式指定方法

[エンコーダ付の場合]

TS1983N **E**

- Encoder Specifications
エンコーダ仕様
- 100C/T
 - 200C/T
 - 300C/T
 - 500C/T
 - 1,000C/T

- Encoder Specifications
エンコーダ仕様
- 3CH Open Collector Power Source 5V

- Winding Specifications
for Servo motor
サーボモータ巻線仕様
- 5

[タコゼネレータ付の場合]

TS3353N-E

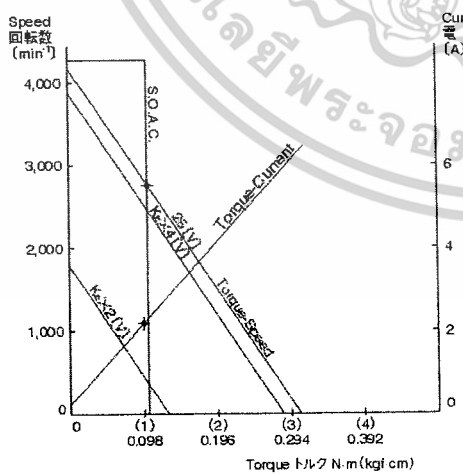
- Winding Specifications
for Servo motor
サーボモータ巻線仕様
- 5

- Winding Specifications
for Tachogenerators
タコゼネレータ巻線仕様
- 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPECIFICATIONS 仕様

		巻線仕様	E5
サーボモータ	Winding No.	トルク定数	$5.3 \times 10^{-2} \text{ N}\cdot\text{m/A}$ (0.545kgf·cm/A)
	Torque Constant (Kt)	誘起電圧定数	$5.6 \times 10^{-3} \text{ V}/(\text{min}^{-1})$
	Voltage Constant (Ke)	電機子抵抗	2.7Ω
	Armature Resistance (Ra)	電機子インダクタンス	14mH
	Armature Inductance (La)	瞬時最大電流	10A
	Instantaneous Max. Current (Ip)	(定格点) 電圧	25V
	Rated Voltage (Vo)	(定格点) 電流	2.1A
	Rated Current (Io)	(定格点) 回転数	3,000min ⁻¹
	Rated Speed (No)	(定格点) トルク	$9.8 \times 10^{-2} \text{ N}\cdot\text{m/A}$ (1.0kgf·cm/A)
	Rated Torque (To)	(定格点) 出力	30W
	Rated Output Power	瞬時最大トルク	0.53N·m (5.4kgf·cm)
	Instantaneous Peak Torque (Tp)	最大回転速度	4,500min ⁻¹
	Max. Speed (N)	(GD ² /4) ロータイナーシャ	$0.049 \times 10^{-4} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ (0.05gf·cm ²)
	Moment of Inertia (Jx)	機械的時定数	4.6msec
	Mechanical Time Constant (Tm)	電気的時定数	0.62msec
	Electrical Time Constant (Te)	熱抵抗	1) 3.5°C/W
Thermal Resistance (Rth)	最大電機子温度	130°C	
Allowable Max. Armature Temp.	熱時定数	1)	
Thermal Time Constant (Jth)	静摩擦トルク	$7.8 \times 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{m}$ (0.08kgf·cm)	
Friction Torque (Tf)	質量	0.36kg	
Mass	巻線仕様	E3	
タコジェネレータ	Winding No.	出力電圧	$3\text{V} \pm 10\% / 1,000\text{min}^{-1}$
	Output Voltage (Kv)	電機子抵抗	42Ω
	Armature Winding Resistance (Rao)	直線性	1%Max
	Linearity	リップル	1%RMS
	Ripple	出力電圧の方向性偏差	0.5%
	Bi-directional error	出力電圧の温度係数	-0.01%/°C
	Temperature Coefficient	(GD ² /4) ロータイナーシャ	$0.008 \times 10^{-4} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ (0.082gf·cm ²)
	Rotor Inertia	速度範囲	4,500min ⁻¹ Max
	Speed Range	質量	0.25kg
	Mass	極性	Red lead is (+) at CW Rotation Viewing from motor shaft end
	Polarity	励磁方式	Permanent Magnet 永久磁石
Excitation	電源	$\pm 5\text{V} \pm 5\%$ 200mA Max	
エンコーダ	Power Source	最大応答周波数	最大分解能 Hz
	Max. Response Frequency	出力信号	Open Collector output
	Output Signal	最大許容出力電圧	40V
	Max. allowable Output Voltage	最大許容出力電流	100mA
	Max. allowable Output Current	動作温度範囲	0 ~ +60°C (32 to 140°F)
	Operating Temp. range	(GD ² /4) イナーシャ	$0.002 \times 10^{-4} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ (0.002gf·cm ²)
Inertia	質量	0.24kg	
Mass			

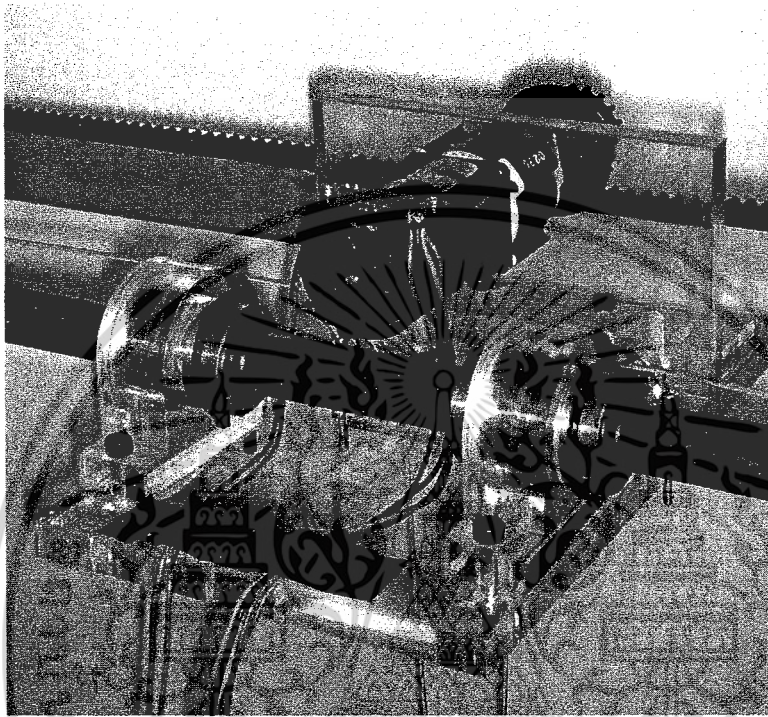


- 1) Heat sink 150×150×16 (mm) のアルミ板にモータを取り付けた場合で周囲温度40°Cにおける値。
その他の値は周囲温度25°Cにおける値。
 - 2) ブラシ接触抵抗は含みません。
(Brush contact resistance 0.2~0.5Ω)
- ◆ 定格点
S.O.A.C.は周囲温度40°Cにて電機子温度100°Cの時

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.1.2 มอเตอร์และอุปกรณ์วัดตำแหน่งส่วนกล่องเลื่อน

เป็นมอเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ตามแนวแกนของเกรน ซึ่งในโครงการนี้ได้เลือกใช้มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรของ FAULHABER Series 2342 ส่วนอุปกรณ์วัดตำแหน่งหรือเอ็นโค้ดเดอร์ เป็นชนิดอินคริเมนทเอ็นโค้ดเดอร์ ซึ่งประกอบด้วยตัวมอเตอร์ภายหลัง



รูปที่ ข.2 มอเตอร์และอุปกรณ์บอกตำแหน่งในส่วนกล่องเลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งานมอเตอร์

เป็นคู่มือการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง FAULHABER Series 2342 มีข้อมูลดังนี้



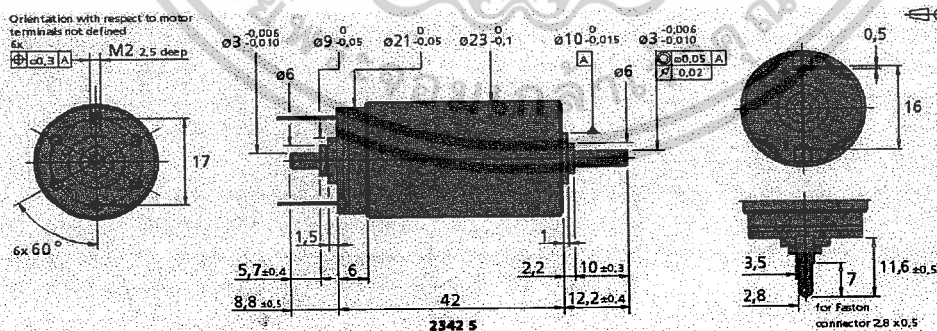
DC-Micromotors Graphite Commutation

16 mNm

For combination with (overview on page 14-15)
Gearheads:
23/1, 26A, 26/1, 30/1, 38/3
Encoders:
IE2 - 16 ... 512, 5500, 5540

Series 2342 ... CR

	2342 S	006 CR	012 CR	018 CR	024 CR	036 CR	048 CR	
1 Nominal voltage	U _n	6	12	18	24	36	48	Volt
2 Terminal resistance	R	0,40	1,90	4,10	7,10	15,9	31,20	Ω
3 Output power	P _{2 max}	20,50	17,00	16,10	19,00	19,40	17,70	W
4 Efficiency	η _{max}	81	80	81	81	81	81	%
5 No-load speed	n ₀	9 000	8 100	8 000	8 500	8 100	8 000	rpm
6 No-load current (with shaft ø 3,0 mm)	I ₀	0,170	0,075	0,048	0,038	0,024	0,017	A
7 Stall torque	M _{st}	87,2	80,0	86,5	85,4	91,4	84,4	mNm
8 Friction torque	M _{fr}	0,98	1,00	0,99	0,99	0,99	0,95	mNm
9 Speed constant	k _n	1 650	713	462	366	231	170	rpm/V
10 Back-EMF constant	k _e	0,604	1,400	2,160	2,730	4,340	5,870	mV/rpm
11 Torque constant	k _t	5,77	13,40	20,70	26,10	41,40	56,10	mNm/A
12 Current constant	k _i	0,173	0,075	0,048	0,038	0,024	0,018	A/mNm
13 Slope of n-M curve	Δn/ΔM	103	101	92,5	99,5	88,6	94,8	rpm/mNm
14 Rotor inductance	L	13,5	65	150	265	590	1 050	μH
15 Mechanical time constant	T _m	6	6	6	6	6	6	ms
16 Rotor inertia	J	5,6	5,7	6,2	5,8	6,5	6,0	gcm ²
17 Angular acceleration	α _{max}	160	140	140	150	140	140	10 ³ rad/s ²
18 Thermal resistance	R _{th} / R _{th2}	3 / 15						K/W
19 Thermal time constant	T _{th} / T _{th2}	6,5 / 490						s
20 Operating temperature range:								°C
- motor								-30 ... +100
- rotor, max. permissible								+125
21 Shaft bearings:								ball bearings, preloaded
22 Shaft load max.:								
- with shaft diameter		3,0						mm
- radial at 3 000 rpm (3 mm from bearing)		20						N
- axial at 3 000 rpm		2						N
- axial at standstill		20						N
23 Shaft play:								
- radial	s	0,015						mm
- axial	z	0						mm
24 Housing material								steel, black coated
25 Weight								88
26 Direction of rotation								clockwise, viewed from the front face
Recommended values (mathematically independent of each other)								
27 Speed up to	n _{perm}	7 000	7 000	7 000	7 000	7 000	7 000	rpm
28 Torque up to	M _{perm}	16	16	16	16	16	16	mNm
29 Current up to (thermal limits)	I _{perm}	2,700	1,400	0,950	0,720	0,480	0,350	A



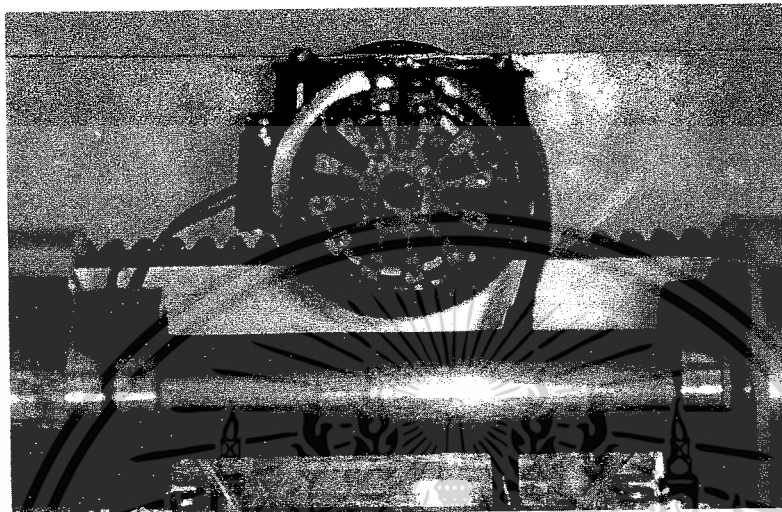
For details on technical information and lifetime performance refer to pages 28-34.
Edition 2006-2007

For options on DC-Micromotors refer to page 64. Specifications subject to change without notice.
www.faulhaber-group.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งานอุปกรณ์วัดตำแหน่ง

เป็นคุณสมบัติของอุปกรณ์วัดตำแหน่งหรือเอ็นโค้ดเดอร์ เป็นเอ็นโค้ดเดอร์จำนวน 2 ช่อง ซึ่งมีงานเอ็นโค้ดเดอร์จำนวน 12 ช่อง ซึ่งเกียร์ทดของมอเตอร์ มีขนาด 1:64 เอ็นโค้ดเดอร์มีจำนวนพัลส์ 768 พัลส์ต่อรอบ



รูปที่ ข.3 อุปกรณ์วัดตำแหน่งของมอเตอร์ส่วนกล่องเลื่อน

ข.1.3 มอเตอร์และอุปกรณ์วัดตำแหน่งส่วนชุดยกภาระ

เป็นมอเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของภาระในแนวดิ่ง ซึ่งในโครงการนี้ได้เลือกใช้มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรของ PITTMAN Series GM713E548 ส่วนอุปกรณ์วัดตำแหน่งหรือเอ็นโค้ดเดอร์ เป็นชนิดอินทิเกรตเอ็นโค้ดเดอร์ ซึ่งประกอบด้วยตัวมอเตอร์ภายหลัง



รูปที่ ข.4 มอเตอร์และอุปกรณ์วัดตำแหน่งส่วนชุดยกภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งานมอเตอร์

เป็นคู่มือการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง PITTMAN Series GM 713E548 มีข้อมูล

ดังนี้

SERIES GM8000

Gearmotor Data				Reduction Ratio										
Line No.	Parameter	Symbol	Units	6.3:1	9.9:1	19.8:1	30.9:1	60.8:1	98.9:1	187.7:1	297.8:1	595.6:1	922.3:1	1803.6:1
MECHANICAL SPECIFICATIONS														
1	Max Load Standard Gears ¹	T _L	oz-in (N·m)	100 (3.71)	100 (3.71)	100 (3.71)	100 (3.71)	100 (3.71)	100 (3.71)	100 (3.71)	100 (3.71)	100 (3.71)	100 (3.71)	100 (3.71)
2	Max Load Out Steel Gears ²	T _L	oz-in (N·m)	N/A	160 (1.13)	160 (1.13)	160 (1.13)	160 (1.13)	160 (1.13)	160 (1.13)	160 (1.13)	160 (1.13)	160 (1.13)	160 (1.13)
3	Max Load White Face Gears ¹	T _L	oz-in (N·m)	N/A	175 (1.24)	175 (1.24)	175 (1.24)	175 (1.24)	175 (1.24)	175 (1.24)	175 (1.24)	175 (1.24)	175 (1.24)	175 (1.24)
4	Gearbox Shaft Rotator ²	—	—	CW	CCW	CCW	CW	CW	CCW	CCW	CW	CW	CCW	CCW
5	Gearbox Efficiency	—	%	81	73	73	66	66	59	59	53	53	48	48
6	Gearbox Weight (Mass)	W _G	oz (g)	2.36 (66.6)	2.49 (70.6)	2.49 (70.6)	2.62 (74.3)	2.62 (74.3)	2.76 (78.2)	2.76 (78.2)	3.11 (88.2)	3.11 (88.2)	3.25 (92.1)	3.25 (92.1)
7	Gearbox Length	L ₂	In max (mm max)	2.977 (75.6)	2.977 (75.6)	2.977 (75.6)	2.977 (75.6)	2.977 (75.6)	2.977 (75.6)	2.977 (75.6)	3.173 (80.6)	3.173 (80.6)	3.173 (80.6)	3.173 (80.6)
8	Length, GM82X2	L ₂	In max (mm max)	2.977 (75.6)	2.977 (75.6)	2.977 (75.6)	2.977 (75.6)	2.977 (75.6)	2.977 (75.6)	2.977 (75.6)	3.173 (80.6)	3.173 (80.6)	3.173 (80.6)	3.173 (80.6)
9	Length, GM82X3	L ₂	In max (mm max)	3.102 (78.8)	3.102 (78.8)	3.102 (78.8)	3.102 (78.8)	3.102 (78.8)	3.102 (78.8)	3.102 (78.8)	3.298 (83.8)	3.298 (83.8)	3.298 (83.8)	3.298 (83.8)
10	Length, GM82X4	L ₂	In max (mm max)	3.352 (85.1)	3.352 (85.1)	3.352 (85.1)	3.352 (85.1)	3.352 (85.1)	3.352 (85.1)	3.352 (85.1)	3.548 (90.1)	3.548 (90.1)	3.548 (90.1)	3.548 (90.1)
11	Length, GM87X2	L ₂	In max (mm max)	2.61 (73.9)	2.61 (73.9)	2.61 (73.9)	2.61 (73.9)	2.61 (73.9)	2.61 (73.9)	2.61 (73.9)	3.106 (78.9)	3.106 (78.9)	3.106 (78.9)	3.106 (78.9)
12	Length, GM87X3	L ₂	In max (mm max)	3.035 (77.1)	3.035 (77.1)	3.035 (77.1)	3.035 (77.1)	3.035 (77.1)	3.035 (77.1)	3.035 (77.1)	3.231 (82.1)	3.231 (82.1)	3.231 (82.1)	3.231 (82.1)
13	Length, GM87X4	L ₂	In max (mm max)	3.285 (83.4)	3.285 (83.4)	3.285 (83.4)	3.285 (83.4)	3.285 (83.4)	3.285 (83.4)	3.285 (83.4)	3.481 (88.4)	3.481 (88.4)	3.481 (88.4)	3.481 (88.4)
NO-LOAD SPEED														
14	GM8X22	S _{NL}	rpm (rad/s)	1746 (190)	786 (82.3)	402 (42.1)	253 (26.5)	130 (13.6)	81.8 (8.57)	41.8 (4.38)	26.4 (2.76)	13.5 (1.41)	6.51 (6.90)	4.35 (4.56)
15	GM8X23	S _{NL}	rpm (rad/s)	1517 (136)	831 (87.0)	425 (44.5)	268 (28.1)	137 (14.3)	86.5 (9.06)	44.2 (4.63)	27.9 (2.92)	14.3 (1.50)	9.00 (9.42)	4.60 (4.82)
16	GM8X24	S _{NL}	rpm (rad/s)	1612 (159)	1017 (107)	520 (54.5)	328 (34.3)	168 (17.6)	106 (11.1)	54.1 (5.67)	34.1 (3.57)	17.5 (1.83)	11.0 (1.15)	5.63 (5.90)

¹Represents gearbox capability only. Continuous load torque capability will vary with gear ratio, rotor selection, and operating conditions.
²Shaft rotation is designated while loading at output shaft with motor operating in a clockwise direction. Gearmotor is polar reversible.

Motor Data

Line No.	Parameter	Symbol	Units	8X22	8X23	8X24
17	Continuous Torque (Max) ³	T _C	oz-in (N·m)	1.6 (11.2 X 10 ⁻³)	2.0 (14.1 X 10 ⁻³)	2.6 (18.9 X 10 ⁻³)
18	Peak Torque (Still)	T _{PK}	oz-in (N·m)	7.4 (52.0 X 10 ⁻³)	10.5 (74.2 X 10 ⁻³)	16.8 (118.6 X 10 ⁻³)
19	Motor Constant	K _M	oz-in/V (N·m/V)	1.12 (7.9 X 10 ⁻³)	1.30 (9.2 X 10 ⁻³)	1.49 (10.5 X 10 ⁻³)
20	No-load Speed	S ₀	rpm (rad/s)	7847 (822)	8298 (969)	10338 (1064)
21	Friction Torque	T _F	oz-in (N·m)	0.35 (2.5 X 10 ⁻³)	0.35 (2.5 X 10 ⁻³)	0.35 (2.5 X 10 ⁻³)
22	Rotor Inertia	J _M	oz-in-s ² (g·m ²)	1.4 X 10 ⁻⁵ (9.89 X 10 ⁻⁷)	1.7 X 10 ⁻⁵ (1.23 X 10 ⁻⁶)	2.3 X 10 ⁻⁵ (1.62 X 10 ⁻⁶)

³Continuous torque specified at 25°C ambient temperature and without additional heat sink.

© 1999 Pittman, a Penn Engineering company. LO-COG, ELCON, ELCON SL, and ELCON ST are brand names and trademarks for motors manufactured exclusively by Pittman.



LOCG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SERIES GM8000

Motor Data, continued

Line No.	Parameter	Symbol	Units	8X22	8X23	8X24
26	Electrical Time Constant	τ_E	ms	0.52	0.55	0.54
27	Mechanical Time Constant	τ_M	ms	15.6	14.1	14.7
28	Viscous Damping— Infinite Source Impedance	D	oz·ln/k·rpm (N·m/(rad/s))	0.0153 (1.03×10 ⁻⁶)	0.0176 (1.19×10 ⁻⁶)	0.0202 (1.36×10 ⁻⁶)
29	Viscous Damping— Zero Source Impedance	K_D	oz·ln/k·rpm (N·m/(rad/s))	0.92 (6.20×10 ⁻⁶)	1.25 (8.43×10 ⁻⁶)	1.63 (1.10×10 ⁻⁴)
30	Maximum Winding Temperature	T_{MAX}	°F (°C)	311 (155)	311 (155)	311 (155)
31	Thermal Impedance	F_{TH}	°F/watt °C/watt	75.9 (24.2)	72.9 (22.7)	70.5 (21.4)
32	Thermal Time Constant	τ_{TH}	min	7.75	9.00	10.70
33	Motor Weight (Mass)	W_M	oz (g)	4.69 (133.0)	5.05 (143.2)	5.81 (164.7)

Model GM8XX2 Winding Data (Other windings available upon request)

Line No.	Parameter	Symbol	Units	GM8X22			
34	Reference Voltage	E	V	12.0	19.1	24.0	30.3
35	Torque Constant	K_T	oz·in/A (N·m/A)	1.34 (13.7×10 ⁻³)	3.07 (21.7×10 ⁻³)	3.88 (27.4×10 ⁻³)	4.88 (34.5×10 ⁻³)
36	Back-EMF Constant	K_E	V/krpm (V/rad/s)	1.43 (13.7×10 ⁻³)	2.27 (21.7×10 ⁻³)	2.87 (27.4×10 ⁻³)	3.61 (34.5×10 ⁻³)
37	Resistance	R_T	Ω	3.10	7.61	12.1	19.1
38	Inductance	L	mH	1.57	3.93	6.27	9.92
39	No-Load Current	I_{NL}	A	0.25	0.5	0.12	0.10
40	Peak Current (Stal) ⁴	I_p	A	3.88	2.51	1.99	1.59

Model GM8XX3 Winding Data (Other windings available upon request)

Line No.	Parameter	Symbol	Units	GM8X23			
41	Reference Voltage	E	V	12.0	19.1	24.0	30.3
42	Torque Constant	K_T	oz·in/A (N·m/A)	1.88 (13.9×10 ⁻³)	2.94 (20.8×10 ⁻³)	3.73 (26.4×10 ⁻³)	4.71 (33.3×10 ⁻³)
43	Back-EMF Constant	K_E	V/krpm (V/rad/s)	1.39 (13.3×10 ⁻³)	2.18 (20.8×10 ⁻³)	2.76 (26.4×10 ⁻³)	3.48 (33.3×10 ⁻³)
44	Resistance	R_T	Ω	2.17	5.20	8.24	13.1
45	Inductance	L	mH	1.17	2.85	4.57	7.29
46	No-Load Current	I_{NL}	A	0.27	0.17	0.13	0.11
47	Peak Current (Stal) ⁴	I_p	A	5.54	3.67	2.91	2.32

Model GM8XX4 Winding Data (Other windings available upon request)

Line No.	Parameter	Symbol	Units	GM8X24			
48	Reference Voltage	E	V	12.0	19.1	24.0	30.3
49	Torque Constant	K_T	oz·in/A (N·m/A)	1.54 (10.9×10 ⁻³)	2.47 (17.5×10 ⁻³)	3.09 (21.9×10 ⁻³)	3.86 (27.3×10 ⁻³)
50	Back-EMF Constant	K_E	V/krpm (V/rad/s)	1.14 (10.9×10 ⁻³)	1.83 (17.5×10 ⁻³)	2.29 (21.9×10 ⁻³)	2.86 (27.3×10 ⁻³)
51	Resistance	R_T	Ω	1.17	2.79	4.33	6.75
52	Inductance	L	mH	0.58	1.50	2.34	3.65
53	No-Load Current	I_{NL}	A	0.36	0.23	0.18	0.15
54	Peak Current (Stal) ⁴	I_p	A	10.3	6.85	5.54	4.49

⁴Theoretical values supplied for reference only.

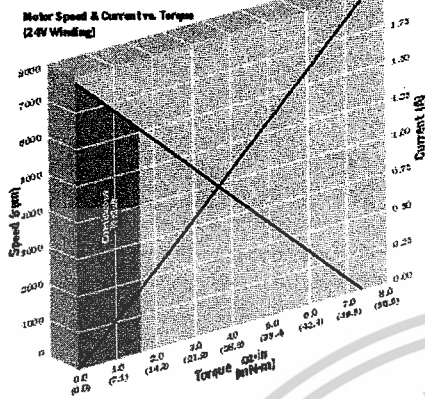
PITTMAN
CORPORATION

1063

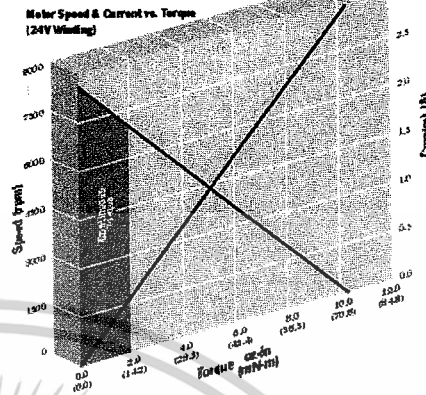
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SERIES GM8000

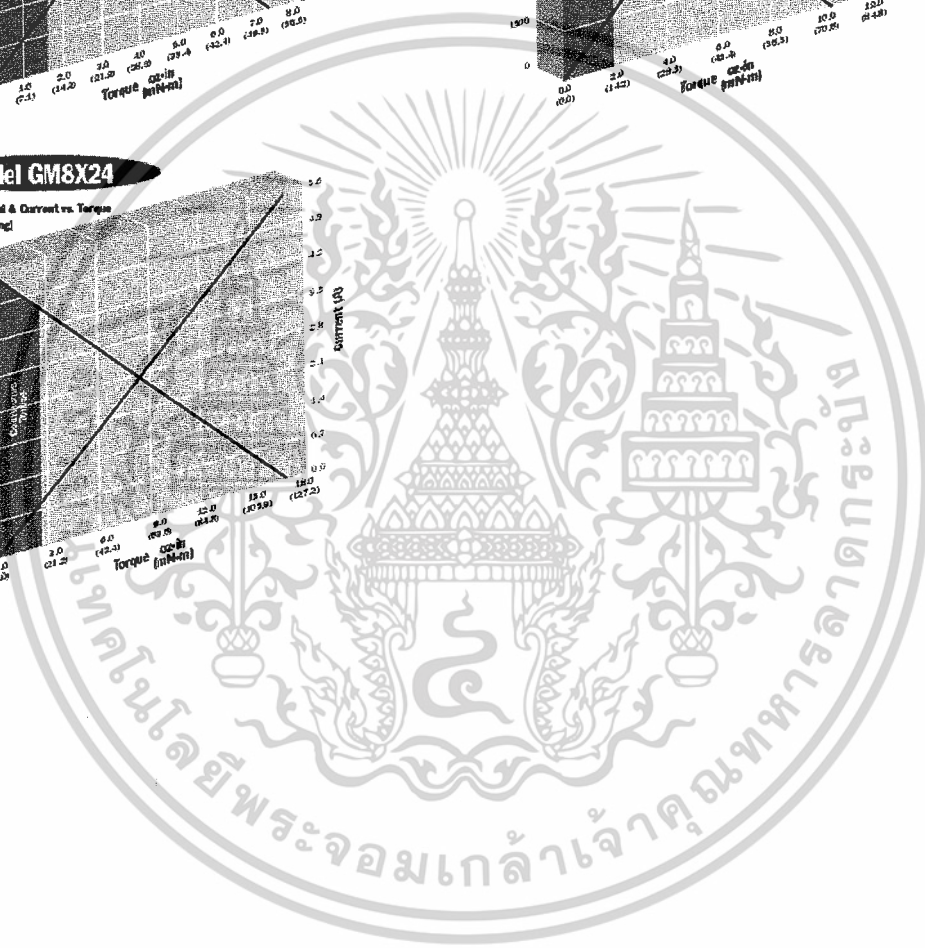
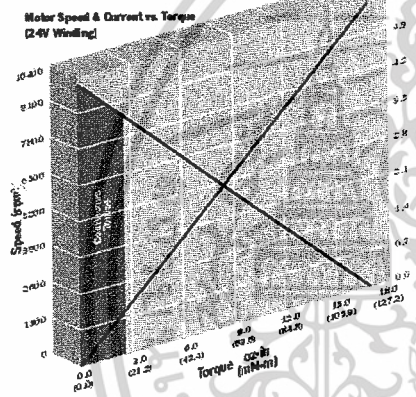
Model GM8X22



Model GM8X23



Model GM8X24

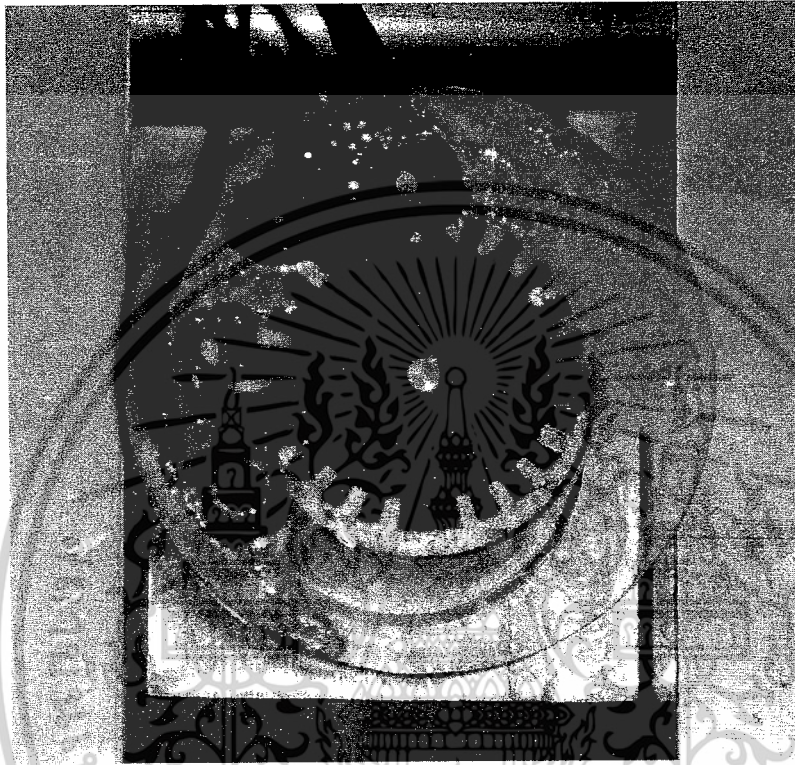


806-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งานอุปกรณ์วัดตำแหน่ง

เป็นคุณสมบัติของอุปกรณ์วัดตำแหน่งหรือเอ็นโค้ดเดอร์ เป็นเอ็นโค้ดเดอร์จำนวน 2 ช่อง ซึ่งมีงานเอ็นโค้ดเดอร์จำนวน 24 ช่อง ซึ่งเกียร์ทดของมอเตอร์มีขนาด 1:60.5 เอ็นโค้ดเดอร์มีจำนวนพัลส์ 1452 พัลส์ต่อรอบ



รูปที่ ข.5 อุปกรณ์วัดตำแหน่งของมอเตอร์ส่วนชุดยกภาระ

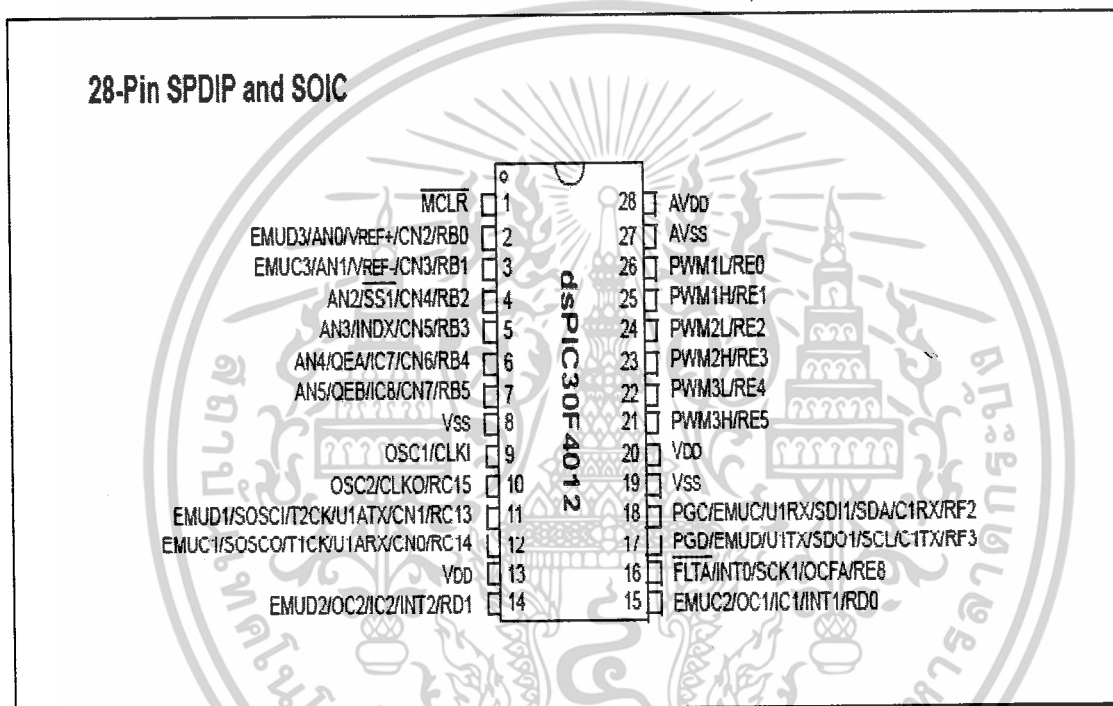
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2 อุปกรณ์ในวงจร

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ไอซีและทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในวงจรต่างๆของโครงการดังรายละเอียดต่อไปนี้

ข.2.1 ไอซี dsPIC30F4012

ไอซี dsPIC30F4012 นี้จะประกอบอยู่ในส่วนของวงจรต่างๆ ซึ่งใช้เป็นตัวควบคุมการทำงานในแต่ละส่วนของวงจร โดยขาต่างๆ ของ dsPIC30F4012 แสดงไว้ดังรูปที่ ข.6



รูปที่ ข.6 ไอซี dsPIC30F4012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2.2 มอสเฟส Z44N

เป็นมอสเฟสชนิด N-Channel ใช้ต่อในวงจรขับแบบ Full-Bridge ซึ่งส่วนประกอบของขาต่างๆ แสดงไว้ดังรูปที่ข.7

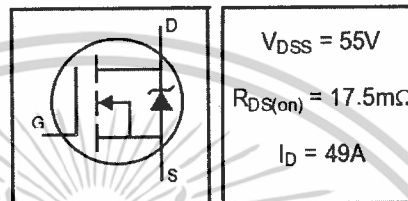
International
IR Rectifier

PD - 94053

IRFZ44N

HEXFET® Power MOSFET

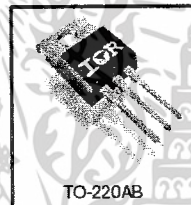
- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated



Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	49	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	35	
I_{DM}	160	W
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	94	
	0.63	W/°C
V_{GS}	± 20	V
I_{AR}	25	A
E_{AR}	9.4	mJ
dv/dt	5.0	V/ns
T_J	-55 to + 175	°C
T_{STG}		
	300 (1.6mm from case)	
	10 lbf·in (1.1N·m)	

Thermal Resistance

Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	—	1.5	°C/W
$R_{\theta CS}$	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	—	62	

www.irf.com

1
01/03/01

รูปที่ ข.7 มอสเฟส Z44N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2.3 มอสเฟต IRF9540

เป็นมอสเฟตชนิด P-Channel ใช้ต่อในวงจรขับแบบ Full-Bridge ซึ่งส่วนประกอบของขาต่างๆ แสดงไว้ดังรูปที่ ข.8

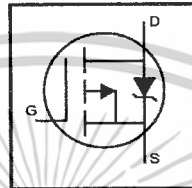
International
IR Rectifier

PD - 91437B

IRF9540N

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- P-Channel
- Fully Avalanche Rated



$$V_{DS} = -100V$$

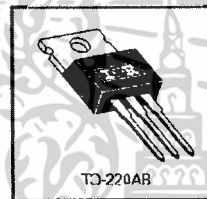
$$R_{DS(on)} = 0.117\Omega$$

$$I_D = -23A$$

Description

Fifth Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Max.	Units
I_D @ $T_c = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ -10V$	-23
I_D @ $T_c = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ -10V$	-16
I_{DM}	Pulsed Drain Current $\text{\textcircled{D}}$	-76
P_D @ $T_c = 25^\circ C$	Power Dissipation	140
	Linear Derating Factor	0.91
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy $\text{\textcircled{D}}$	430
I_{AR}	Avalanche Current $\text{\textcircled{D}}$	-11
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy $\text{\textcircled{D}}$	14
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt $\text{\textcircled{D}}$	-5.0
T_J	Operating Junction and	-55 to $^+ 175$
T_{STG}	Storage Temperature Range	
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf-in (1.1N-m)

Thermal Resistance

Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	1.1
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62

5/13/98

รูปที่ ข.8 มอสเฟต IRF9540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2.4 ทรานซิสเตอร์ BC547

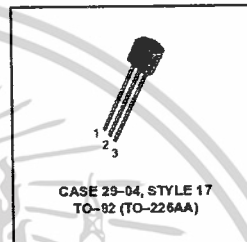
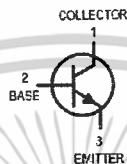
เป็นทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ใช้ต่อในวงจรขับแบบ Full-Bridge ซึ่งส่วนประกอบของขาต่างๆ แสดงไว้ดังรูปที่ ข.9

MOTOROLA SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Order this document
by BC548/D

Amplifier Transistors NPN Silicon

BC546, B
BC547, A, B, C
BC548, A, B, C



MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	BC 546	BC 547	BC 548	Unit
Collector-Emitter Voltage	V _{CEO}	65	45	30	V _{dc}
Collector-Base Voltage	V _{CBO}	80	50	30	V _{dc}
Emitter-Base Voltage	V _{EBO}	6.0			V _{dc}
Collector Current — Continuous	I _C	100			mA _{dc}
Total Device Dissipation @ T _A = 25°C Derate above 25°C	P _D	625 5.0			mW mW/°C
Total Device Dissipation @ T _C = 25°C Derate above 25°C	P _D	1.5 12			Watt mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T _J , T _{stg}	-55 to +150			°C

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	R _{θJA}	200	°C/W
Thermal Resistance, Junction to Case	R _{θJC}	63.3	°C/W

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	
OFF CHARACTERISTICS						
Collector-Emitter Breakdown Voltage (I _C = 1.0 mA, I _B = 0)	BC546	V _{(BR)CEO}	65	—	—	V
	BC547		45	—	—	
	BC548		30	—	—	
Collector-Base Breakdown Voltage (I _C = 100 μA _{dc})	BC546	V _{(BR)CBO}	80	—	—	V
	BC547		50	—	—	
	BC548		30	—	—	
Emitter-Base Breakdown Voltage (I _E = 10 μA, I _C = 0)	BC546	V _{(BR)EBO}	6.0	—	—	V
	BC547		6.0	—	—	
	BC548		6.0	—	—	
Collector Cutoff Current (V _{CE} = 70 V, V _{BE} = 0) (V _{CE} = 50 V, V _{BE} = 0) (V _{CE} = 35 V, V _{BE} = 0) (V _{CE} = 30 V, T _A = 125°C)	BC546	I _{CES}	—	0.2	15	nA
	BC547		—	0.2	15	
	BC548		—	0.2	15	
	BC546/547/548		—	—	4.0	μA

REV 1

© Motorola, Inc. 1996



รูปที่ ข.9 ทรานซิสเตอร์ BC547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2.5 ไอซี 7408

เป็นไอซี AND Gate ใช้ต่อในวงจรขับแบบ Full-Bridge ซึ่งส่วนประกอบของขาต่างๆ แสดงไว้ดังรูปที่ ข.10 และข้อมูลทางเทคนิคต่างๆแสดงไว้ดังรูปที่ ข.11

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR

March 1998

DM7408 Quad 2-Input AND Gates

General Description
This device contains four independent gates each of which performs the logic AND function.

Features

- Alternate Military/Aerospace device (5408) is available. Contact a Fairchild Semiconductor Sales Office/Distributor for specifications.

Connection Diagram

Dual-In-Line Package

Order Number 5408DMQB, 5408FMQB, DM5408J, DM5408W or DM7408N
See Package Number J14A, N14A or W14B

Function Table

$Y = AB$

Inputs		Output
A	B	Y
L	L	L
L	H	L
H	L	L
H	H	H

H = High Logic Level
L = Low Logic Level

© 1998 Fairchild Semiconductor Corporation D3006498

www.fairchildsemi.com

รูปที่ ข.10 ไอซี 7408

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 1)		DM54 and 54	DM74	-55°C to +125°C				
Supply Voltage		7V		0°C to +70°C				
Input Voltage		5.5V	Storage Temperature Range	-65°C to +150°C				
Operating Free Air Temperature Range								
Recommended Operating Conditions								
Symbol	Parameter	DM5408			DM7408		Units	
		Min	Nom	Max	Min	Max		
V _{CC}	Supply Voltage	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			0.8			0.8	V
I _{OH}	High Level Output Current			-0.8			-0.8	mA
I _{OL}	Low Level Output Current			16			16	mA
T _A	Free Air Operating Temperature	-55		125	0		70	°C
<p>Note 1: The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the "Electrical Characteristics" table are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.</p>								
Electrical Characteristics								
over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)								
Symbol	Parameter	Conditions		Min	Typ (Note 2)	Max	Units	
V _I	Input Clamp Voltage	V _{CC} = Min, I _I = -12 mA				-1.5	V	
V _{OH}	High Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OH} = Max V _{IL} = Max		2.4	3.4		V	
V _{OL}	Low Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OL} = Max V _{IH} = Min			0.2	0.4	V	
I _I	Input Current @ Max Input Voltage	V _{CC} = Max, V _I = 5.5V				1	mA	
I _{IH}	High Level Input Current	V _{CC} = Max, V _I = 2.4V				40	μA	
I _{IL}	Low Level Input Current	V _{CC} = Max, V _I = 0.4V				-1.6	mA	
I _{OS}	Short Circuit Output Current	V _{CC} = Max (Note 3)	DM54	-20		-55	mA	
			DM74	-18		-55	mA	
I _{OCH}	Supply Current with Outputs High	V _{CC} = Max			11	21	mA	
I _{OCL}	Supply Current with Outputs Low	V _{CC} = Max			20	33	mA	
Switching Characteristics								
at V _{CC} = 5V and T _A = 25°C (See Section 1 for Test Waveforms and Output Load)								
Symbol	Parameter	Conditions		Min	Max	Units		
I _{PLH}	Propagation Delay Time Low to High Level Output	C _L = 15 pF R _L = 400Ω			27	ns		
I _{PHL}	Propagation Delay Time High to Low Level Output				19	ns		
<p>Note 2: All typicals are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.</p> <p>Note 3: Not more than one output should be shorted at a time.</p>								

www.falchidsemi.com

2

รูปที่ ข.11 ไอซี 7408

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

แบบโครงสร้างส่วนประกอบของเกรน

ในส่วนของภาคผนวก ค. จะแสดงถึงภาพเขียนแบบ โครงสร้างส่วนต่างๆของเกรนที่ ออกแบบเพื่อนำมาสร้างแบบจำลองของเกรน ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

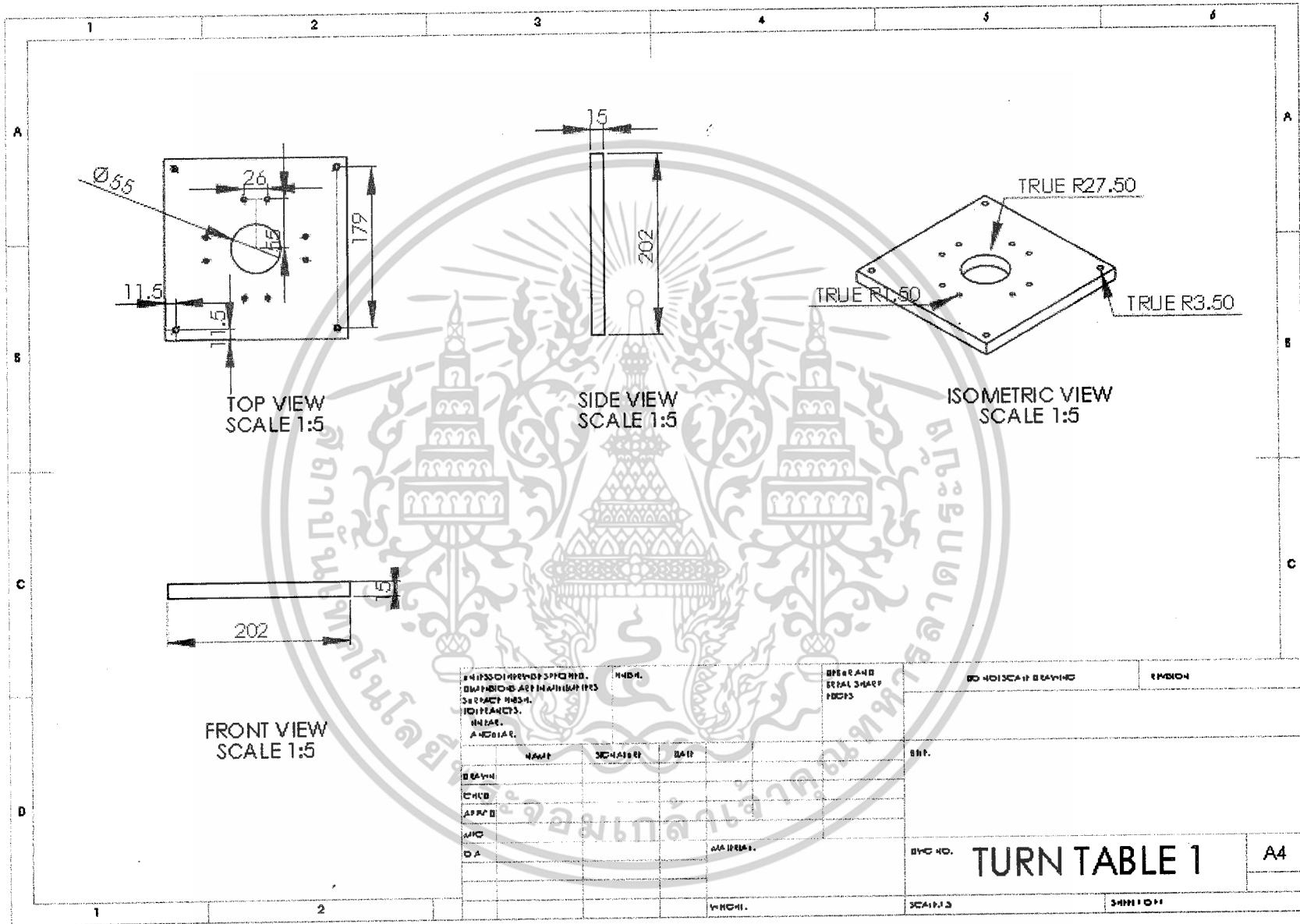
- ส่วนของแป้นหมุน
- ส่วนของกลองเลื่อน
- ส่วนของปลายแขนของเกรน

โดยใช้โปรแกรม ซิลิโคนเวิร์คเป็น โปรแกรมสำหรับเขียนแบบ

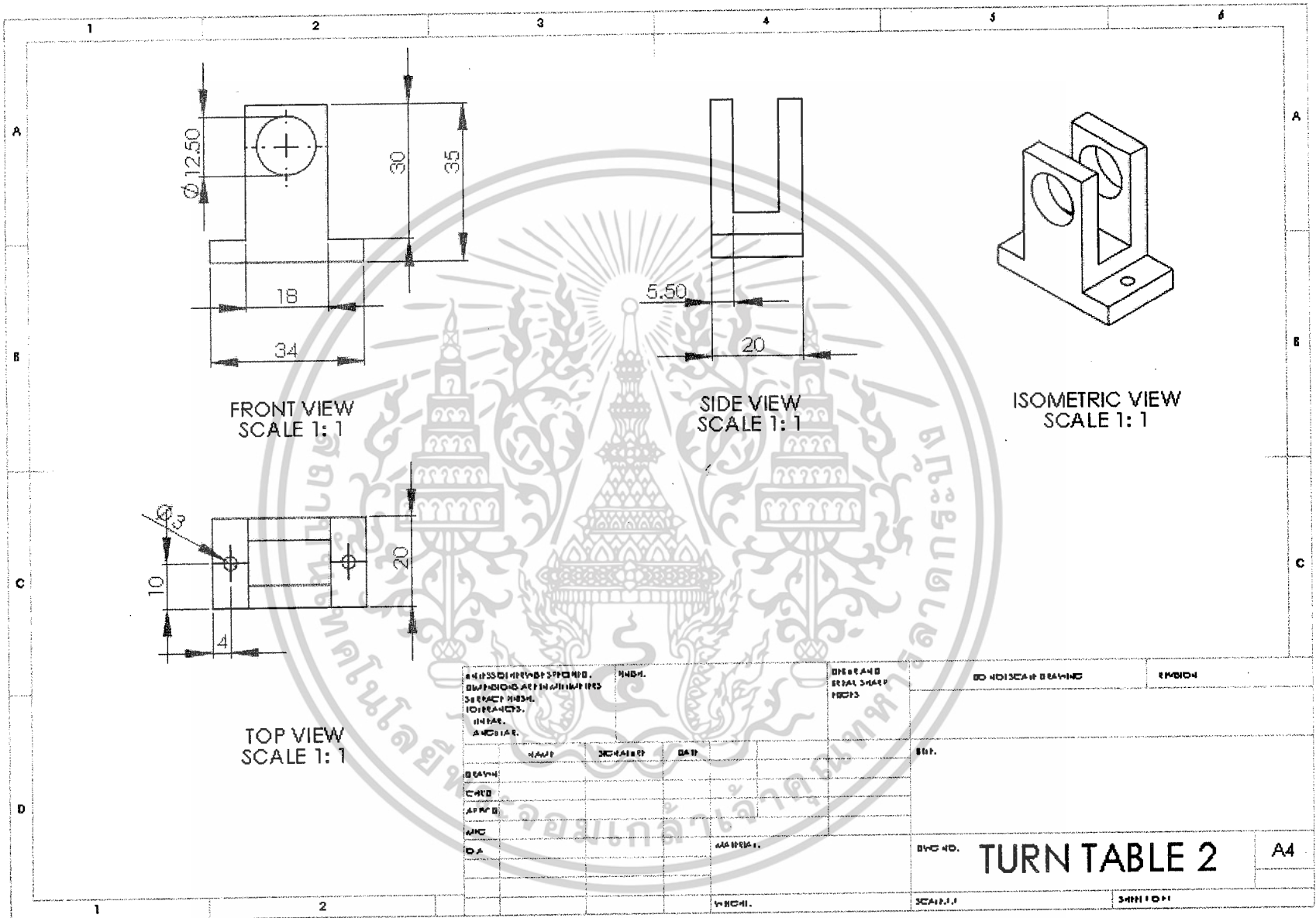


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

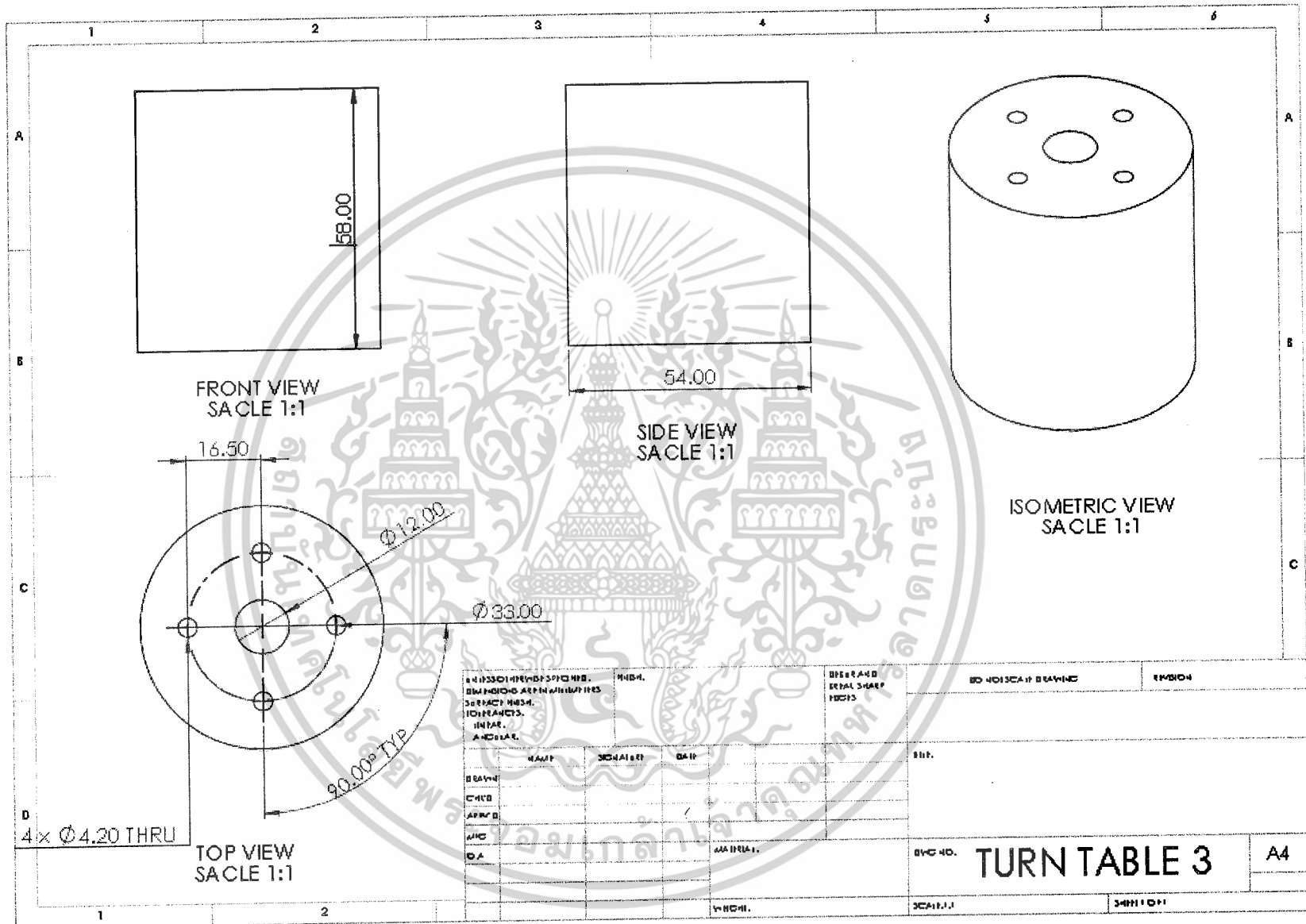
1. วัตถุประสงค์ของงานเขียนแบบวิศวกรรม

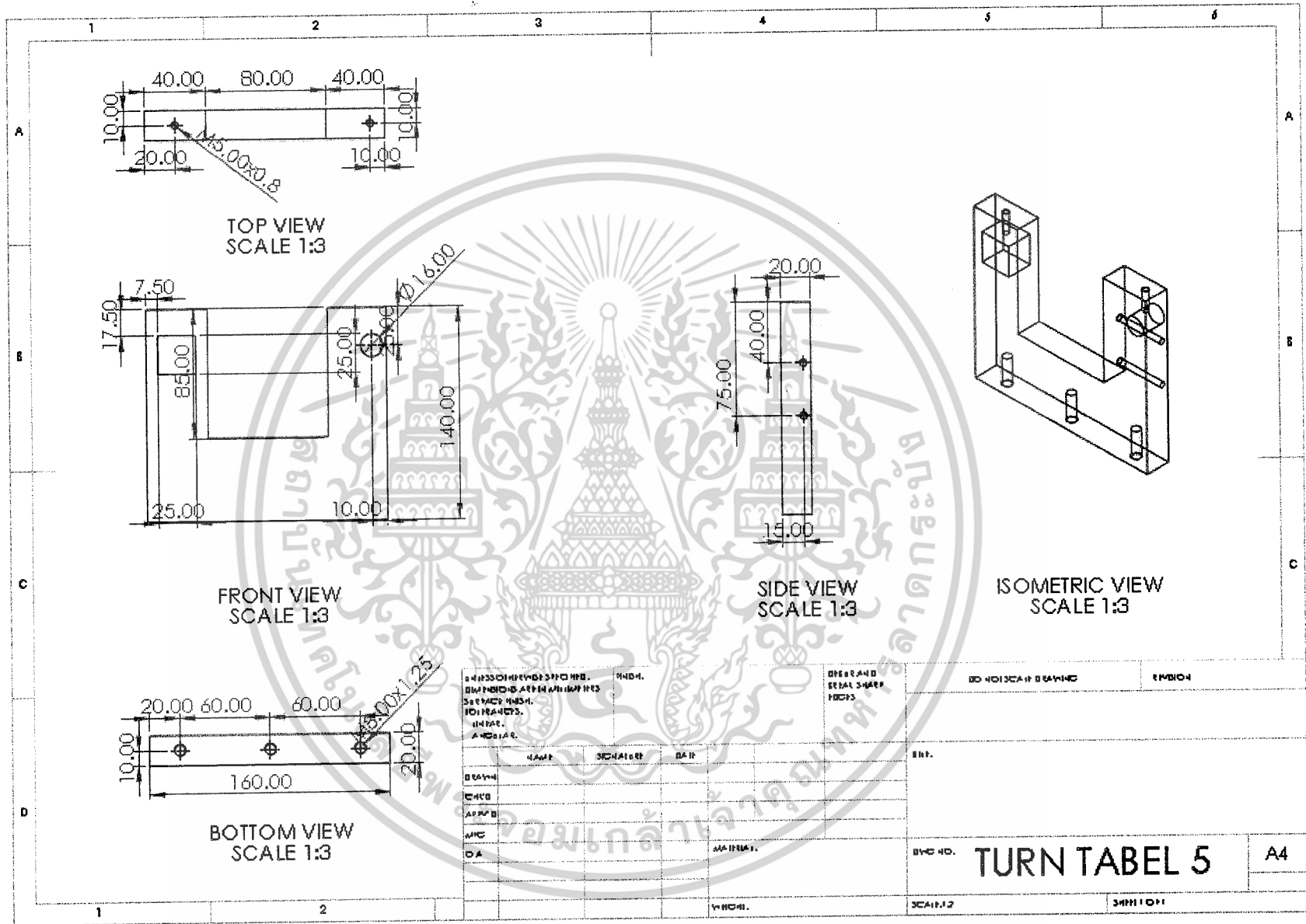


รูปที่ ก.2 แบบโครงสร้างส่วนเบ้าหมุนส่วนที่ 2

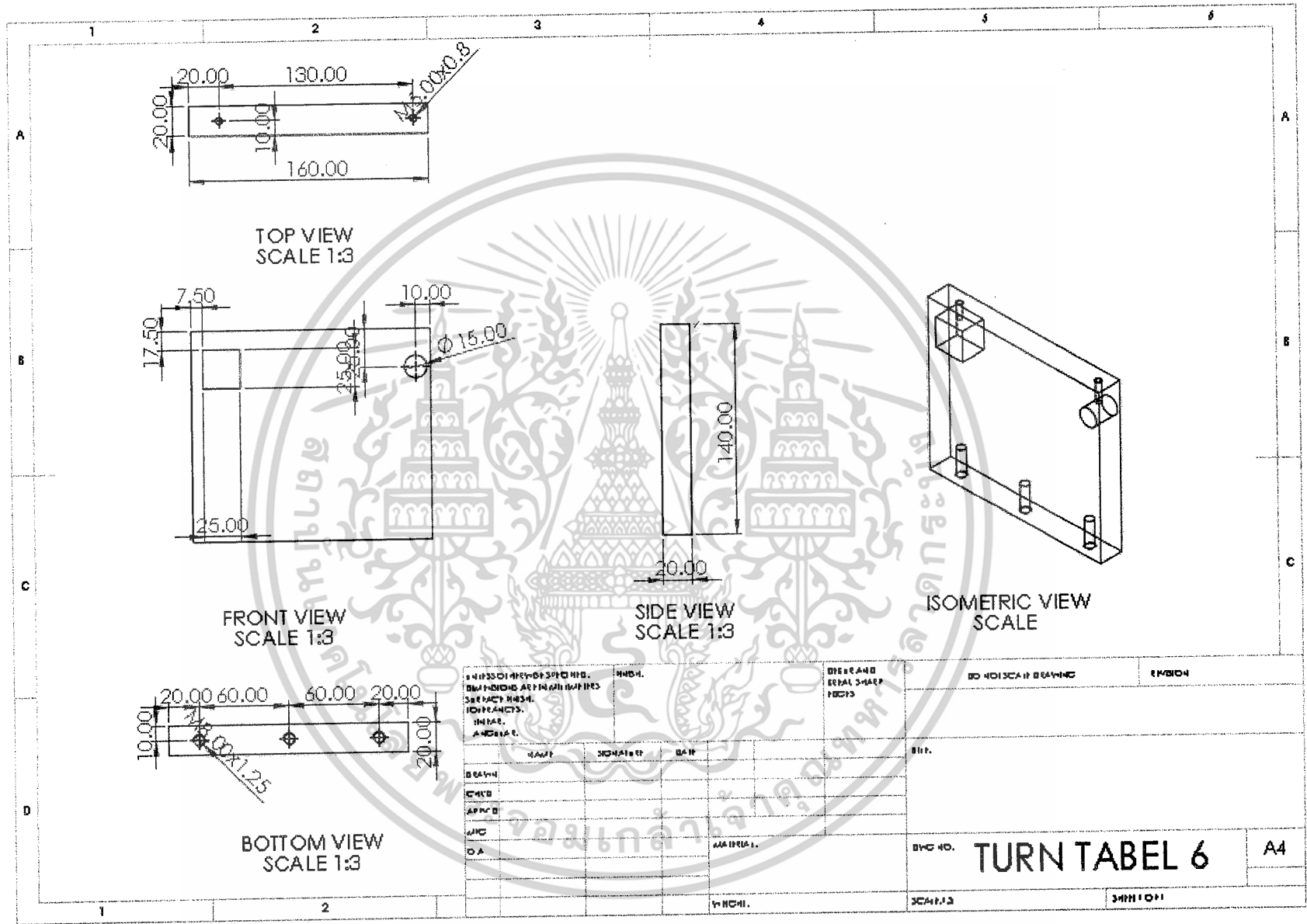


รูปที่ ค.3 แบบโครงสร้างส่วนหมุนตัวที่ 3

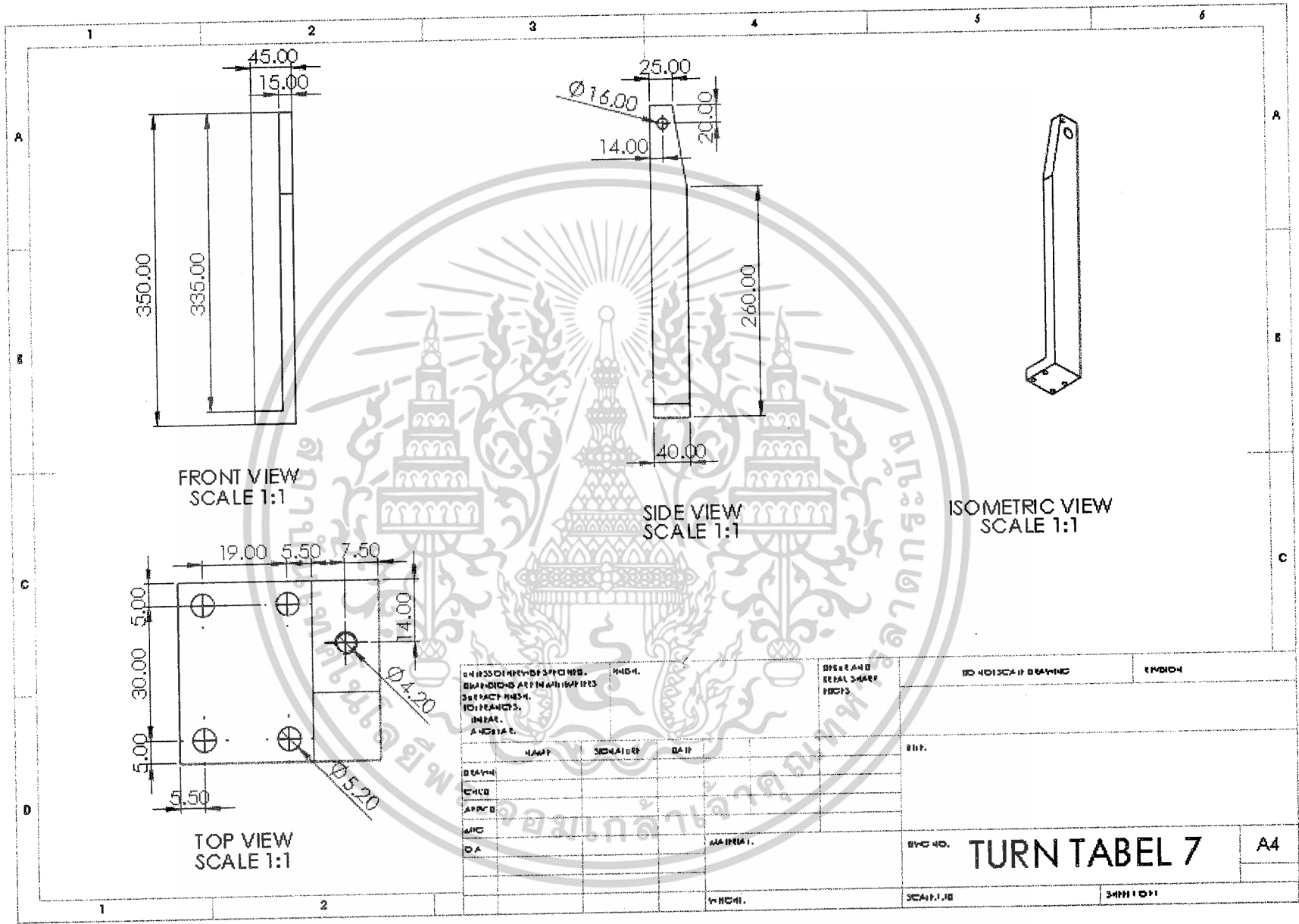




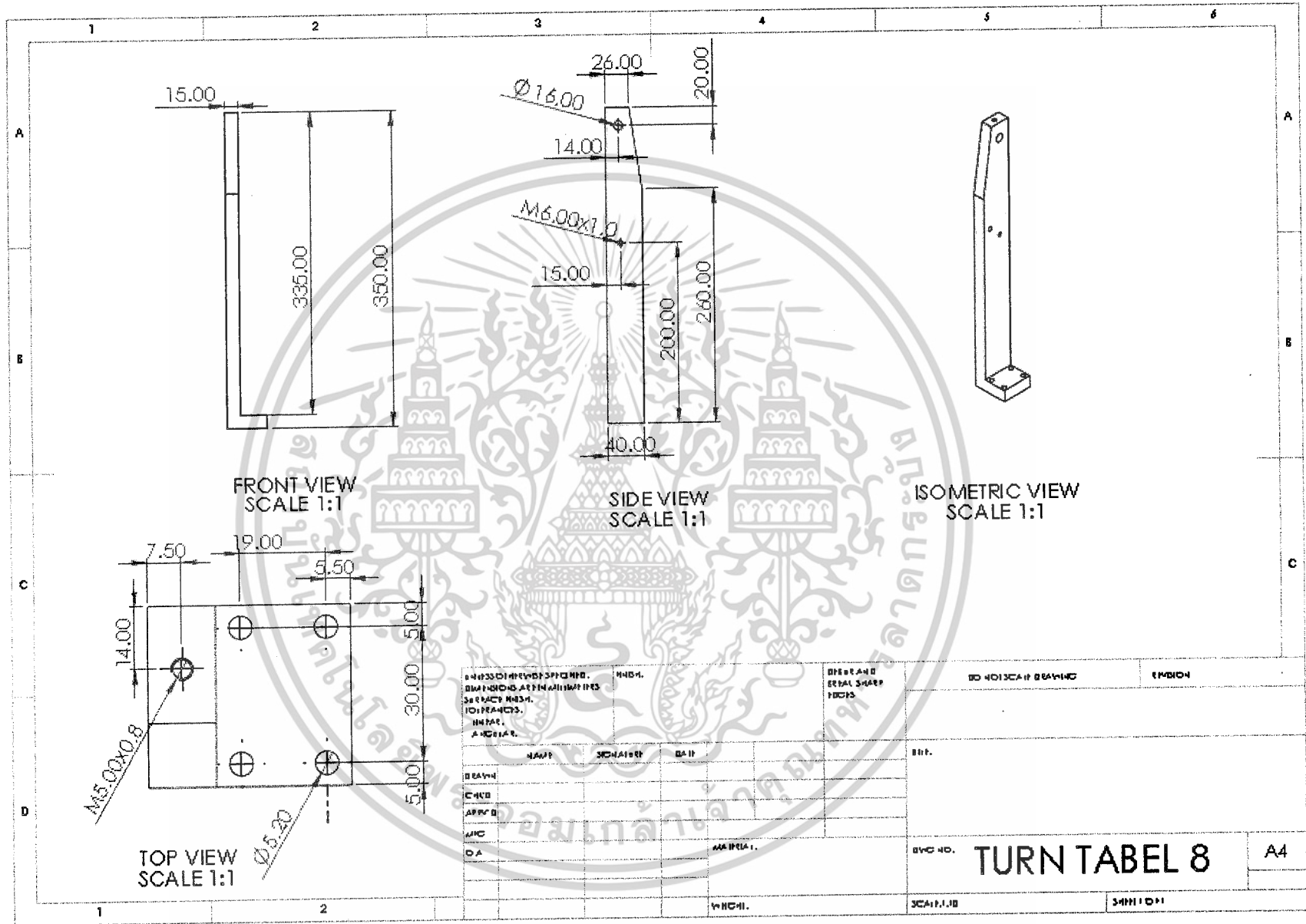
รูปที่ 9 ชิ้นประกอบที่ประกอบของเครื่องจักร ๑๖ ชิ้น



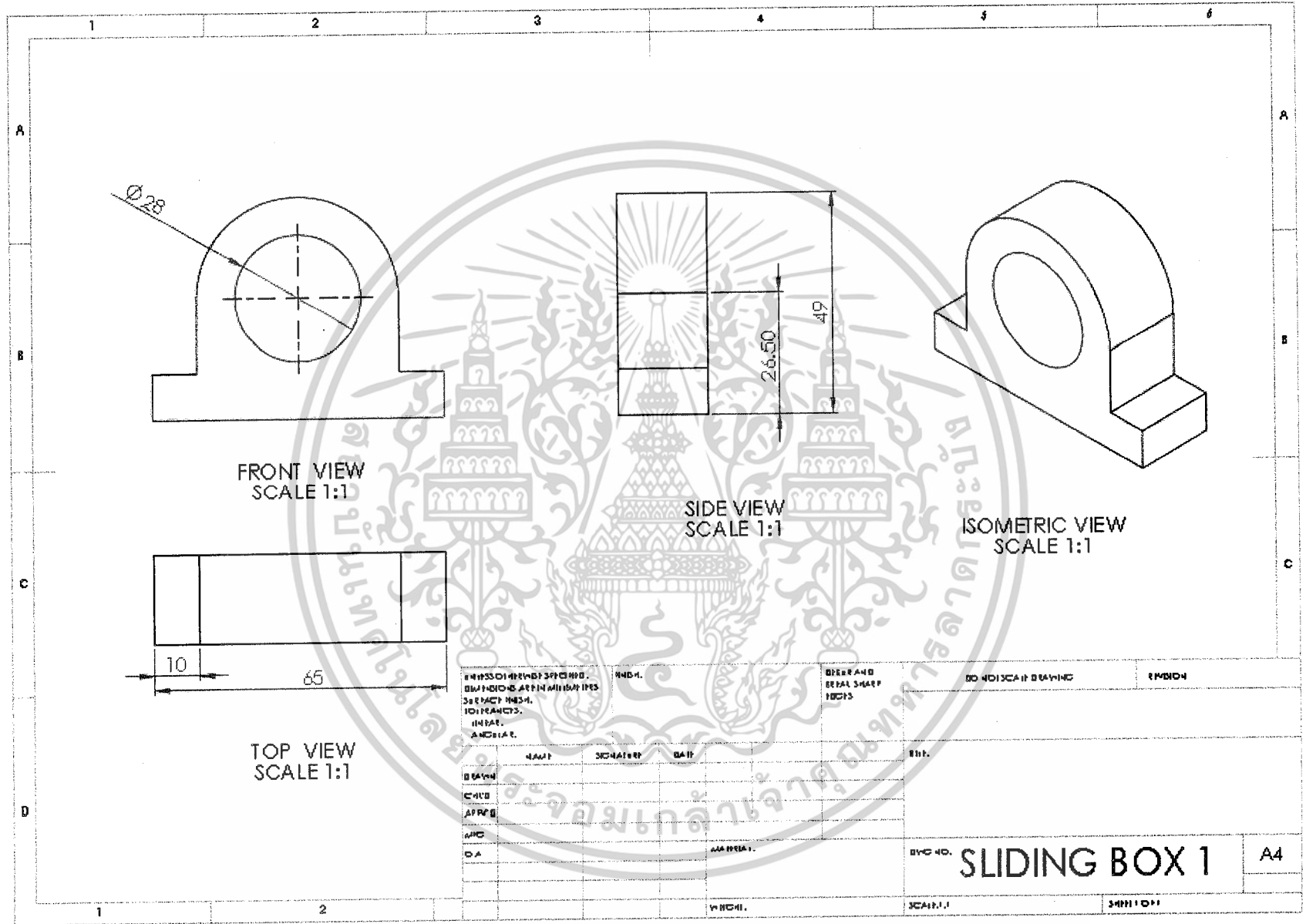
รูปที่ ๗ แบบโครงสร้างส่วนเป็นหมอนตัว ๗



รูปที่ 8.8 แบบโครงสร้างเครื่อง 8.ค.แป๊ะ



รูปที่ ๑ แบบโครงสร้างกล่องเลื่อนส่วนที่ 1



เอกสารอ้างอิง

- [1] ชโย เลหาเรณู, บุญญฤทธิ์ ขอมอบกลาง, สรุพงษ์ แจ่มวงศ์. “ระบบควบคุมตำแหน่งเครน 2 มิติ.”
 ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม
 คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2550.
- [2] นคร ภัคศิชาติ, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. คู่มือการทดลอง dsPIC Microcontroller เบื้องต้นด้วย
 โปรแกรมภาษา C กับ MPLAB C30. กรุงเทพมหานคร : อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์.
 2547.
- [3] เกียรติศักดิ์ จันทร์แดง. Solidworks การออกแบบและเขียนแบบทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1.
 กรุงเทพมหานคร : วิตดีกรุ๊ป. 2549.
- [4] ชัยวัฒน์ ทวีจันทร์. Advanced Visual Basic ควบคุมอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพ
 มหานคร : ซักเซส มีเดีย
- [5] Douglas W.Jones. “Current Limiting for Motors.” [Online]. Available :
<http://www.cs.uiowa.edu/~jones/stop/Current.html>.
- [6] ถนอม คณิตปัญญาเจริญ. “วิซวลเบสิก (Visual Basic) ระดับพื้นฐาน.” [Online]. Available :
<http://www.thaiall.com/vb/indexo.html>. 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้