

แผนกคดีข้อร้องเรียน

Robot Arms for “GONG WONG YAI”



เลขที่.....  
เลขหมายใบ.....  
วันเดือนปี 22 ส.ค. 2549

b.....  
.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

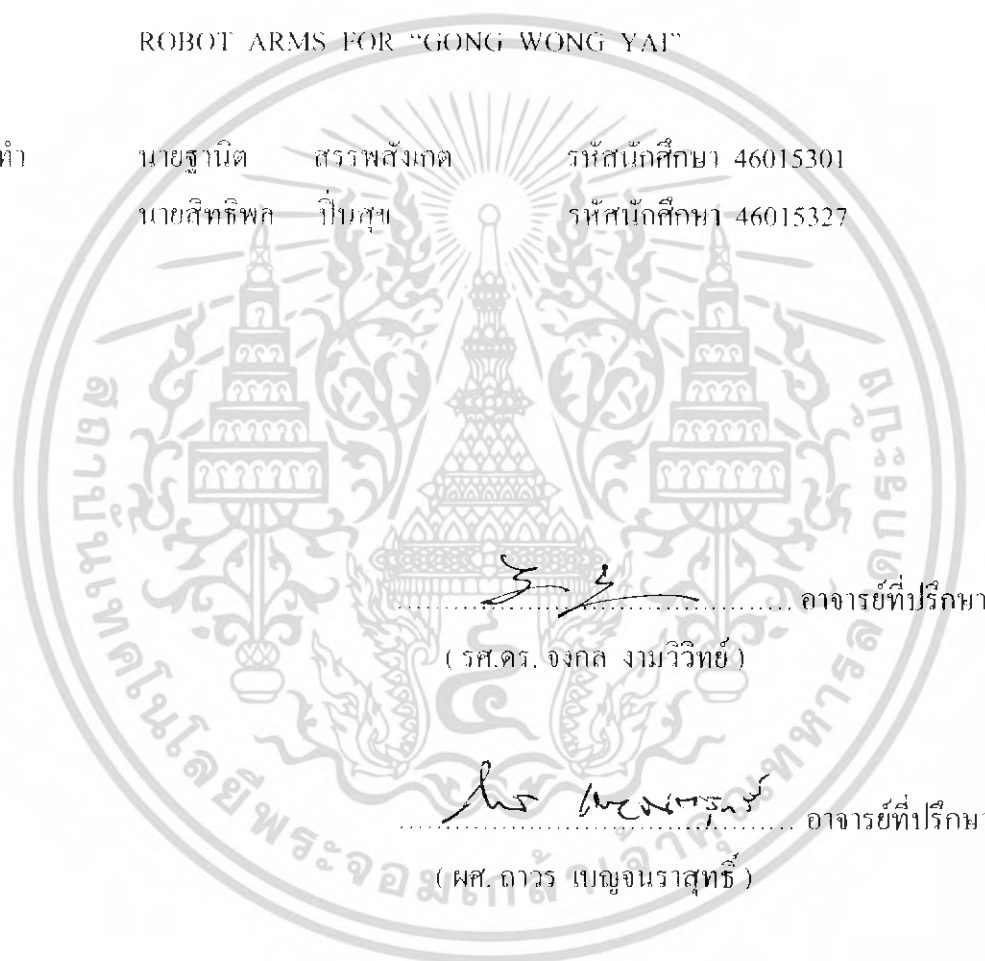
ปริญญาานิพนธ์การศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง แขนกลคีมืองวงใหญ่  
ROBOT ARMS FOR "GONG WONG YAI"

ผู้จัดทำ นายชานิต สรรพสังเกต รหัสนักศึกษา 46015301  
นายสิทธิพล ปิยะสุข รหัสนักศึกษา 46015327



  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รศ.ดร. จงกล จมวิทย์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผศ. ดาวร เบนญอนราสุทธิ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# แผนกลติฆ้องวงใหญ่

## ROBOT ARMS FOR 'GONG WONG YAI'

โดย

นายฐานิต สรรพสังเกตุ

นายสิทธิพล ปิ่นสุข

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. จงกล งามวิวิทย์

ผศ. ทาวร เบญจนราษฎร์

ปีการศึกษา 2548

### บทคัดย่อ

ปริญญาบัตรฉบับนี้นำเสนอการออกแบบระบบควบคุมแขนกลสำหรับตีฆ้องวงใหญ่แบบอัตโนมัติ โดยอาศัยทฤษฎีการควบคุมตำแหน่ง เพื่อให้แขนกลที่สร้างขึ้นมานั้นสามารถตีลูกฆ้องตามโน้ตเพลงที่กำหนดไว้ได้อย่างถูกต้อง การที่แขนกลจะตีลูกฆ้องได้อย่างถูกต้องนั้นจะต้องอาศัยสัญญาณป้อนกลับเพื่อตรวจสอบองศาการหมุนของแขนกลและการเปลี่ยนแปลงความยาวของแขนกล ในโครงการนี้สัญญาณป้อนกลับเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากตัวเซ็นเซอร์ คือตัวความต้านทานปรอทค่าได้ที่จ่ายไฟเลี้ยงเป็นแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงค่าไปตามองศาการหมุนและความยาวของแขนกล ในการขับเคลื่อนแขนกลทั้งการหมุนและการปรับระยะยึดหดอาศัยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวขับเคลื่อน ในส่วนการควบคุมได้ประยุกต์การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเขียนโปรแกรมการควบคุมและการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้

ในส่วนการทดลอง ได้ทำการควบคุมการเคลื่อนที่ทั้งในส่วนการหมุนแขนและการยึดหดแขนกล เพื่อทดสอบเสถียรภาพและประสิทธิภาพ ซึ่งพบว่า การควบคุมที่เหมาะสมในส่วนยึดหดแขนกล คือการควบคุมแบบเปิด-ปิด และในส่วนหมุนแขนกล คือการควบคุมแบบพีไอซึ่งอาศัยแอนติไวคัลธ แขนกลที่สร้างขึ้นมานั้นสามารถตีตำแหน่งลูกฆ้องได้อย่างถูกต้อง สามารถนำไปตีลูกฆ้องตามโน้ตเพลงในจังหวะต่างๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ROBOT ARMS FOR “GONG WONG YAI”

Thanit Suppasungkat

Sitthipon Pinsuk

Advisor

Assoc. Prof. Dr. Jongkol Ngamwiwit

Asst. Prof. Taworn Benjanarasuth

Academic Year 2005

## ABSTRACT

This thesis presents the control system design of robot arms for playing “GONG WONG YAI”. The objective is to control the angle and the length of the arms to hit the “GONG” according to the defined music note. For hitting the “GONG” at the right position, each robot arm will use the feedback signals which are the angle and the length of the robot arms. These signals are measured by adjustable resistive sensors of which their electrical voltage signals will be changed according to the angle and the length of the robot arms. These robot arms use DC motors as their actuators. Microcontrollers are employed as the controller and interfacing unit to computer.

Then, the experiments in controlling the robot arms are conducted using different types of controllers. It is found that the suitable controller to control the angle of the robot arm is ON-OFF control and to controller the length of the robot arm is PI controller with antiwindup. As a result, the robot arms can hit the “GONG” at the right position according to the defined music note at sufficiently slow rhythm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก รศ.ดร.จงกล งามวิวิทย์ และ ผศ.ถาวร เหมญจนราษฎร์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำที่ดีมาโดยตลอดตั้งแต่ต้น รวมทั้งเลื้อเพื่ออุปกรณ์ที่จำเป็น และความช่วยเหลืออื่นๆที่เป็นประโยชน์คือโครงการ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.เกียรติศักดิ์ กมวัชระ ที่ให้คำปรึกษาในส่วนของการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ รศ.ดร.ชรินทร์ บุญลักขนานานุสรณ์ ที่เลื้อเพื่อเครื่องมือทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และอ.เจเรย์ วัชชัย กำเสรี ที่ให้ความช่วยเหลือเพื่ออุปกรณ์ในการโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่เอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการและเครื่องมือกลต่างๆ รวมถึงพี่โจ และพี่เป่า ที่ให้คำแนะนำวิธีการส่งชิ้นงานต่างๆ

อีกทั้งต้องขอขอบคุณพี่ทศ ที่ให้คำอธิบายการทำงานของวงจรต่างๆ พี่น้อย และพี่เพชร ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ น้องนุ่น ที่คอยช่วยเหลือทุกๆ อย่างมาตั้งแต่ต้น รวมไปถึงเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ กระตุ้นเตือน สนับสนุนอุปกรณ์ที่ขาดเหลือ แลกเปลี่ยนความคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ รวมทั้งคอยถามไถ่ความคืบหน้าของโครงการอยู่ตลอดเวลา

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา รวมถึงการสนับสนุนในเรื่องของงบประมาณที่ขาดเหลือ ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงการนี้สำเร็จลงได้

ผู้จัดทำ

นายฐานิต สรรพสังเกตุ

นายสิทธิพล ปิ่นสุข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VIII
สารบัญตาราง	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 โครงสร้างของแกนกึ่งตัวนำวงใหญ่	2
1.1.1 โครงสร้างส่วนแกนกล	2
1.1.2 วงจรอิเล็กทรอนิกส์	2
1.1.3 ส่วนการควบคุมโดยคอมพิวเตอร์	3
1.2 เนื้อหาของปริญาานิพนธ์	3
บทที่ 2 โครงสร้างทางกล	4
2.1 หลักการออกแบบ	4
2.1.1 โครงสร้างส่วนฐาน	5
2.1.2 โครงสร้างส่วนการหมุนแกน	5
2.1.3 โครงสร้างส่วนการยึดและหัดแกน	6
2.1.4 โครงสร้างส่วนไม้ซ่อง	7
2.2 การคำนวณคุณลักษณะของอุปกรณ์	7
2.2.1 ส่วนการหมุนของแกน	7
2.2.2 ส่วนการยึดและหัดแกน	9
2.2.3 ส่วนของไม้ซ่อง	9
บทที่ 3 โครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์	10
3.1 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	11
3.2 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	13
3.3 วงจรขับเคลื่อนโซลินอยด์	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5	วงจรปรับแรงดัน	18
3.5.1	วงจรปรับแรงดัน +/- 26 โวลต์	18
3.5.2	วงจรปรับแรงดัน -24 โวลต์	20
3.5.3	วงจรปรับแรงดัน +/-15 โวลต์	20
3.5.4	วงจรปรับแรงดัน +5 โวลต์	21
<b>บทที่ 4</b>	<b>การออกแบบส่วนควบคุม</b>	<b>22</b>
4.1	โครงสร้างระบบควบคุม	22
4.2	หลักการทำงานของเซนเซอร์ที่ขั้ววงใหญ่	23
4.3	ไมโครคอนโทรลเลอร์	26
4.4	การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกโดยผ่านพอร์ตอนุกรม	28
4.4.1	การสื่อสารข้อมูลแบบซีโรเน็ต	28
4.4.2	การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	29
4.4.3	คอนเน็คเตอร์สำหรับพอร์ต RS232 และการเชื่อมต่อ	30
4.4.4	หน้าที่การทำงานแบบคัสคาของพอร์ตอนุกรม RS232	32
4.5	วงจรแปลงสัญญาณ	33
4.5.1	วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	33
4.5.2	วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก	34
4.6	อุปกรณ์วัด	36
4.6.1	อุปกรณ์วัดระยะการเคลื่อนที่ในส่วนการยึดและหดแขน	36
4.6.2	อุปกรณ์วัดมุมการเคลื่อนที่ในส่วนการหมุนแขน	38
<b>บทที่ 5</b>	<b>ทฤษฎีตัวควบคุม</b>	<b>41</b>
5.1	ระบบควบคุมแบบเปิด-ปิด	41
5.2	ระบบควบคุมแบบพี	42
5.3	ระบบควบคุมแบบไอ	44
5.4	ระบบควบคุมแบบดี	46
5.5	ระบบควบคุมแบบพีไอ	47
5.6	ระบบควบคุมแบบพีดี	49
5.7	ระบบควบคุมแบบพีไอดี	50
5.8	ระบบควบคุมแบบพีไอ คาส์ย แอนต์ไวด์ลัฟ	51
5.9	ตัวควบคุมแบบดิจิทัล	52
<b>บทที่ 6</b>	<b>ผลการทดลอง</b>	<b>54</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ทูลเกล้าฯ ถวายกรมตึกพิมพ์ โดยไม่สงวนลิขสิทธิ์และให้นำไปใช้ประโยชน์ได้ตามสมควร  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.1 การทดสอบความคุมตำแหน่งในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด	54
6.1.2 การทดสอบความคุมตำแหน่งในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบพี	58
6.1.3 การทดสอบความคุมตำแหน่งในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ	61
6.1.4 การทดสอบความคุมตำแหน่งในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี	64
6.2 การทดสอบความคุมตำแหน่งในส่วนหมุนแขนแบบวงเปิด	65
6.2.1 การทดสอบความคุมตำแหน่งในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด	66
6.2.2 การทดสอบความคุมตำแหน่งในส่วนหมุนแขนด้วยตัวควบคุมแบบพี	67
6.2.3 การทดสอบความคุมตำแหน่งในส่วนหมุนแขนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ	69
6.2.4 การทดสอบความคุมตำแหน่งในส่วนหมุนแขนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี	72
6.2.5 การทดสอบความคุมตำแหน่งในส่วนหมุนแขนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ ดีเอสซี แอนตี้ไวบรเคชัน	73
<b>บทที่ 7 สรุปและวิจารณ์</b>	77
7.1 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางการแก้ไข	77
7.2 ข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนาต่อไปในอนาคต	78
<b>ภาคผนวก</b>	79
<b>ภาคผนวก ก. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง</b>	80
ก.1 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	80
ก.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร	81
ก.3 หลักการควบคุมตำแหน่งเชิงมุมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	84
<b>ภาคผนวก ข. โปรแกรมที่ใช้ในโครงงาน</b>	85
ข.1 โปรแกรมที่ติดต่อกับผู้ควบคุม	85
ข.2 โปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์	92
ข.2.1 ฟังก์ชันสำหรับส่งข้อมูลขนาด 10 บิต	92
ข.2.2 ฟังก์ชันสำหรับรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์	93
ข.2.3 ฟังก์ชันสำหรับส่งสัญญาณควบคุมแบบกลศาสตร์ถึงวงใหญ่	94
ข.2.4 โปรแกรมตัวก ควบคุมแบบเปิด-ปิด	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการวิจัยในเล่มนี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใด ๆ ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2.5	โปรแกรมตัวควบคุมแบบพี	95
ข.2.6	โปรแกรมตัวควบคุมแบบพีโอ	96
ข.2.7	โปรแกรมตัวควบคุมแบบพีไอดี	97
ข.2.8	โปรแกรมตัวควบคุมแบบพีโอ อาศัย แอนตี้ไวรัลอีพี	98
<b>ภาคผนวก ค. คู่มือประกอบการใช้งานอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในโครงการนี้</b>		99
ค.1	อุปกรณ์ในส่วนวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	99
ค.1.1	ทรานซิสเตอร์ TIP31C	99
ค.1.2	ทรานซิสเตอร์ TIP32C	99
ค.1.3	ทรานซิสเตอร์ MJ15015	99
ค.1.4	ทรานซิสเตอร์ MJ15016	99
ค.2	อุปกรณ์ขับเคลื่อนโซลินอยด์	102
ค.3	อุปกรณ์ขยายสัญญาณ	103
ค.4	อุปกรณ์ในส่วนของวงจรปรับปรุงแรงดันที่ระดับแรงดันต่างๆ	104
ค.4.1	ไอซี LM317	104
ค.4.2	ไอซี LM337	104
ค.4.3	ไอซี LM78XX	104
ค.4.4	ไอซี LM79XX	104
ค.5	อุปกรณ์ตัวควบคุม	109
ค.6	อุปกรณ์แปลงสัญญาณเชิงกลเป็นสัญญาณอนาล็อก	110
<b>เอกสารอ้างอิง</b>		111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 ม็อดวงใหญ่	1
2.1 โครงสร้างของแขนกลดีม็อดวงใหญ่	4
2.2 โครงสร้างฐานของแขนกล	5
2.3 โครงสร้างส่วนการหมุนแขน	6
2.4 โครงสร้างส่วนการยึดและทดแขน	6
2.5 โครงสร้างส่วนไม้ม็อด	7
3.1 แผนผังของระบบอิเล็กทรอนิกส์	10
3.2 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	12
3.3 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้งานได้จริง	13
3.4 กระบวนการส่งระดับแรงดันควบคุมมอเตอร์กระแสตรง	13
3.5 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	14
3.6 กราฟผลการทดลองวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	16
3.7 วงจรขับเคลื่อนโซลินอยด์	17
3.8 วงจรขยายสัญญาณ	17
3.9 วงจรปรับปรุงแรงดัน +/- 26 โวลต์	19
3.10 วงจรปรับปรุงแรงดัน +24 โวลต์	20
3.11 วงจรปรับปรุงแรงดัน +/- 15 โวลต์	21
3.12 วงจรปรับปรุงแรงดัน +/- 5 โวลต์	21
4.1 โครงสร้างระบบควบคุมแขนกลดีม็อดวงใหญ่	22
4.2 แผนผังการทำงานของคอมพิวเตอร์	23
4.3 แผนผังการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC1 และ PIC2	24
4.4 แผนผังการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC3	25
4.5 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส	28
4.6 การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	29
4.7 ไอซี MAX232	30
4.8 การจัดการของคอนเน็คเตอร์พอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS232 แบบ DB-9 และ DB-25	30
4.9 การต่ออุปกรณ์ภายนอกกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10	วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก	34
4.11	ลักษณะของตัวอุปกรณ์วัดและการติดตั้ง ในส่วนการยึดและหัดแขน	36
4.12	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้ากับระยะเวลาเคลื่อนที่	38
4.13	ลักษณะของตัวอุปกรณ์วัดและการติดตั้ง ในส่วนการหมุนแขน	38
4.14	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้ากับมุมการเคลื่อนที่	40
5.1	การกำหนดช่วงจำกัดของเกาท์พุด	43
5.2	ผลการตอบสนองของตัวควบคุมแบบพี	43
5.3	บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพี	44
5.4	ผลการตอบสนองของตัวควบคุมแบบไอ	45
5.5	บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบไอ	45
5.6	ผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบดี	46
5.7	บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบดี	47
5.8	บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพีไอ	48
5.9	การตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีไอ	48
5.10	บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพีดี	50
5.11	บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพีไอดี	51
5.12	บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพีไอ ลาซึย แอนตี้ไวค้อพ	52
6.1	ผลตอบสนองของระบบในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด	55
6.2	สัญญาณควบคุมในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด	55
6.3	ผลตอบสนองของระบบในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด ที่Offset = 2.635 mm	56
6.4	สัญญาณควบคุมในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด ที่Offset = 2.635 mm	56
6.5	ผลตอบสนองของระบบในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด ที่Offset = 1.054 mm	57
6.6	สัญญาณควบคุมในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด ที่Offset = 1.054 mm	57
6.7	ผลตอบสนองของระบบในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบพี	58
6.8	สัญญาณควบคุมในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบพี	59
6.9	ผลตอบสนองของระบบในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบพี	60
6.10	สัญญาณควบคุมในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบพี	60
6.11	ผลตอบสนองของระบบในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ โดยแปรค่า Ki	61
6.12	สัญญาณควบคุมในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ โดยแปรค่า Ki	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.13	ผลตอบสนองของระบบควบคุมในส่วนยึดและหดรัดด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ โดยแปรค่า $K_p$	63
6.14	สัญญาณควบคุมในส่วนยึดและหดรัดด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ โดยแปรค่า $K_p$	63
6.15	ผลตอบสนองของระบบในส่วนยึดและหดรัดด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี	64
6.16	สัญญาณควบคุมในส่วนยึดและหดรัดด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี	65
6.17	ผลตอบสนองของระบบในส่วนยึดและหดรัดด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ-อี	66
6.18	สัญญาณควบคุมในส่วนยึดและหดรัดด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ-อี	67
6.19	ผลตอบสนองของระบบในส่วนหมุนแกนด้วยตัวควบคุมแบบพี	68
6.20	สัญญาณควบคุมในส่วนหมุนแกนด้วยตัวควบคุมแบบพี	68
6.21	ผลตอบสนองของระบบในส่วนหมุนแกนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ โดยแปรค่า $K_i$	69
6.22	สัญญาณควบคุมในส่วนหมุนแกนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ โดยแปรค่า $K_i$	70
6.23	ผลตอบสนองของระบบในส่วนหมุนแกนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ โดยแปรค่า $K_p$	71
6.24	สัญญาณควบคุมในส่วนหมุนแกนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ โดยแปรค่า $K_p$	71
6.25	ผลตอบสนองของระบบในส่วนหมุนแกนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี	72
6.26	สัญญาณควบคุมในส่วนหมุนแกนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี	73
6.27	ผลตอบสนองของระบบในส่วนหมุนแกนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ	74
6.28	สัญญาณควบคุมตำแหน่งในส่วนหมุนแกนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ	74
6.29	ผลตอบสนองของระบบในส่วนหมุนแกนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ อาศัย แอนต์ไวต์อัฟ	75
6.30	สัญญาณควบคุมในส่วนหมุนแกนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ อาศัย แอนต์ไวต์อัฟ	75
ก.1	วงจรเทียบเคียงทางไฟฟ้า	82
ก.2	บล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	84
ก.3	บล็อกไดอะแกรมที่ใส่โพเทนซีโอมิเตอร์	84
ข.1	หน้าต่างหลักของโปรแกรมที่ติดต่อกับผู้ควบคุม	85
ข.2	หน้าต่างรองของโปรแกรมแสดงตำแหน่งของแกนกลดีมี้องวงใหญ่	86
ค.1	ทรานซิสเตอร์ TIP31C และ TIP32C	100
ค.2	ทรานซิสเตอร์ MJ15015 และ MJ15016	101
ค.3	ทรานซิสเตอร์ IRF540	102
ค.4	ไอซี LM741	103
ค.5	ไอซี LM317	105
ค.6	ไอซี LM337	106
ค.7	ไอซี LM78XX	107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.8 ไอซี LM79XX	108
ก.9 ไอซี 16F877	109
ก.10 ไอซี DAC0832	110



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ผลการทดลองมอเตอร์ส่วนการหมุนแขนเมื่อยังไม่เชื่อมต่อกับแขน (ขณะไม่มีโหลด)	8
2.2 ผลการทดลองมอเตอร์ส่วนการหมุนแขนเมื่อมีการเชื่อมต่อกับแขน (ขณะมีโหลด)	8
2.3 ผลการทดลองมอเตอร์ส่วนยึดและหดแขน	9
2.4 การทดลองมอเตอร์ส่วนยึดและหดแขน	10
2.5 การทดลองสัญญาณป้อนกลับส่วนยึดและหดแขน	10
3.1 ข้อมูลภาระทางไฟฟ้า	11
3.2 ข้อมูลภาระทางไฟฟ้าของส่วนประกอบต่างๆ	11
3.3 ผลการทดลองวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	15
4.1 ตำแหน่งขาของคอนเน็คเตอร์พอร์ตอนุกรมมาตรฐาน RS232 แบบ DB-9 และ DB-25	31
4.2 ผลการทดลองอ่านค่าสัญญาณป้อนกลับของไมโครคอนโทรลเลอร์	33
4.3 ผลการทดลองแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณต่อเนื่อง	35
4.4 ผลการทดลองวัดระยะเวลาการเคลื่อนที่ในส่วนการยึดและหดแขน	37
4.5 ผลการทดลองวัดมุมการเคลื่อนที่ในส่วนการหมุนแขน	39

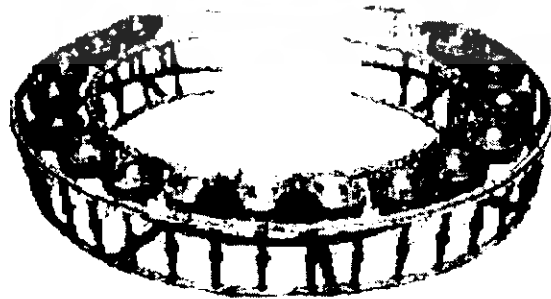
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

การใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติได้แพร่หลายมากขึ้นเรื่อยๆ นับตั้งแต่ยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม นับจากการประยุกต์ใช้ในเครื่องจักรไอน้ำ การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ การประยุกต์ใช้ในยุทโธปกรณ์ การประยุกต์ใช้ในทางวิศวกรรมอากาศยาน ตลอดจนการประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์อำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวัน เป็นต้น โดยเฉพาะระบบควบคุมอัตโนมัติในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้น เป็นที่นิยมในทางอุตสาหกรรมหลายประเภท อาทิเช่น การควบคุมมอเตอร์ที่ขับสายพานในกระบวนการต่างๆ การควบคุมมอเตอร์ในการยกและขนถ่ายสินค้า การควบคุมแขนกล การควบคุมมอเตอร์ของรถไฟฟ้าชนิดต่างๆ ดังนั้นในปริิณยานิพนธ์ฉบับนี้จึงสนใจในการใช้งานการควบคุมอัตโนมัติของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยได้ทำการศึกษาและจำลองการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง บนพื้นฐานของทฤษฎีการควบคุมตำแหน่ง (Position Control) ทั้งในเชิงเส้นและเชิงมุม โดยนำมาประยุกต์ใช้งานกับการควบคุมแขนกลดีม็องวงใหญ่ เพื่อเป็นตัวอย่างของระบบในการศึกษา ส่วนประกอบสำคัญในระบบควบคุมอัตโนมัติสิ่งหนึ่งคือการป้อนกลับซึ่งต้องอาศัยอุปกรณ์วัด (Sensor) ในกรณีนี้อาศัยแรงดันไฟฟ้าจากความต้านทานปรับค่าได้ ซึ่งทำหน้าที่เป็นโพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer) เป็นสัญญาณป้อนกลับเพื่อตรวจสอบมุมและระยะที่ต้องการควบคุม

ม็องวงใหญ่มีลูกช็องอยู่ 16 ลูก เวียงตัวเป็นวงรี จึงทำให้ต้องมีการเคลื่อนที่ของแขนกลในเชิงมุมเพื่อสามารถไปยังมุมที่สอดคล้องกับลูกช็องในแต่ละลูก และยังจำเป็นต้องมีการเคลื่อนที่ในเชิงเส้นเพื่อปรับระยะความยาวของแขนกลให้ตรงกับจุดศูนย์กลางของลูกช็อง ดังนั้นด้วยเหตุที่การควบคุมแขนกลดีม็องนี้ต้องอาศัยการเคลื่อนที่ทั้งเชิงมุมและเชิงเส้น จึงเหมาะสมในการนำมาจำลองเป็นระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้ทฤษฎีการควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 1.1 ม็องวงใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.1 โครงสร้างของแขนกลตีฆ้องวงใหญ่

โครงสร้างของแขนกลตีฆ้องวงใหญ่ซึ่งสร้างขึ้นในโครงการนี้ ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

### 1.1.1 โครงสร้างส่วนแขนกล

โครงสร้างส่วนแขนกล ประกอบด้วย

- ฐาน มีไว้สำหรับยึดอุปกรณ์ทางกลทั้งหมด ดังนั้นจำเป็นต้องมีน้ำหนักมากเพื่อลดการเหวี่ยงของแขนกล
- ส่วนหมุนแขน ประกอบด้วย มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์ 2 ตัว และชุดทดรอบ ซึ่งในที่นี่ใช้สายพานเป็นตัวส่งผ่านกำลัง และมีความต้านทานปรับค่าได้แบบหมุนต่อไว้กับส่วนที่ทำหน้าที่หมุน เพื่อตรวจสอบมุมการเคลื่อนที่ของแขนกล แล้วส่งค่าแรงดันไฟฟ้ากลับไปยังส่วนประมวลผล
- ส่วนยึดและหอดแขน ประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์ 2 ตัว และชุดทดรอบ ซึ่งในที่นี่ใช้หลักการขึงเฟืองตัวหนอนเป็นตัวส่งผ่านกำลัง เพื่อเปลี่ยนการเคลื่อนที่เชิงมุมให้เป็นเชิงเส้น และมีความต้านทานปรับค่าได้แบบเลื่อนต่อไว้กับส่วนที่ทำหน้าที่ยึดและหอดเพื่อตรวจสอบระยะการเคลื่อนที่ของแขนกล แล้วส่งค่าแรงดันไฟฟ้ากลับไปยังส่วนประมวลผลเช่นกัน
- ส่วนไม้ฆ้อง มีหน้าที่ตีสองตามจังหวะที่กำหนด ประกอบด้วยโซลินอยด์ 24 โวลต์ 2 ตัว และส่วนปลายของไม้ฆ้องจริงติดกับสปริงเพื่อลดแรงกระแทก

### 1.1.2 วงจรอิเล็กทรอนิกส์

วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วย

- วงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply Circuits) เป็นวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) เพื่อลดระดับแรงดันไฟฟ้าแล้วใช้ไดโอดบริดจ์ชนิดเต็มคลื่น (Full Wave Diode Bridges) และตัวเก็บประจุ (Capacitor) เพื่อทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าคงที่มากขึ้น และมีวงจรปรับแรงดัน (Voltage Regulator) เมื่อมีการใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าต่างออกไป
- วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Drive Motor Circuits) เป็นวงจรที่ทำหน้าที่รับระดับแรงดันไฟฟ้าจากสัญญาณกระแสไฟฟ้าต่ำ แล้วส่งค่าระดับแรงดันไฟฟ้านั้นไปยังมอเตอร์เพื่อขยายกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจรขับเคลื่อนโซลินอยด์ (DC Drive Solenoid Circuits) เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เหมือนสวิตช์ ก็จะยอมให้แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจ่ายให้กับโซลินอยด์ เมื่อได้รับสัญญาณควบคุมซึ่งสัญญาณนี้อยู่ในระดับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ต่ำได้
- วงจรขยายสัญญาณ (Signal Amplifier Circuit) เนื่องจากส่วนประมวลผลนั้นไม่สามารถจ่ายระดับแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการได้ จึงต้องทำการเพิ่มค่าระดับแรงดันให้อยู่ในระดับที่ต้องการก่อนที่จะส่งเข้าไปยังวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

### 1.1.3 ส่วนการควบคุมโดยคอมพิวเตอร์

ส่วนการควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วย

- ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ (User Interface) เนื่องจากต้องการให้การควบคุมเป็นไปโดยง่าย จึงใช้โปรแกรมภาษาซี
- ส่วนติดต่ออุปกรณ์ภายนอก โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC16F877 ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก และเป็นตัวประมวลผลแล้วส่งสัญญาณดิจิทัล ผ่านตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก (Digital to Analog Converter : D/A Converter) เพื่อไปควบคุมมอเตอร์ และมีการรับสัญญาณป้อนกลับ (Feedback) ผ่านตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital Converter : A/D Converter) เพื่อส่งให้ตัวประมวลผล
- ส่วนประมวลผล จะรับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงจากความต้านทานที่รับค่าได้ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง (Reference Value) แล้วทำการคำนวณ จากนั้นจึงส่งสัญญาณออกไปเพื่อควบคุมให้แขนกลเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ

## 1.2 เนื้อหาของปริญญาานิพนธ์

ในปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาเป็นส่วนต่างๆ ไว้ในแต่ละบท โดยบทที่ 2 ได้กล่าวถึงโครงสร้างทางกล ทั้งหลักการในการออกแบบ และการคำนวณคุณลักษณะของอุปกรณ์ บทที่ 3 กล่าวถึงโครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งประกอบไปด้วยวงจรต่างๆ ที่โครงสร้างทางกลใช้สำหรับในการออกแบบส่วนควบคุม และหลักการทำงานของแขนกลดีมีองวงใหญ่ รวมไปถึงการเลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆ ในส่วนควบคุมจะกล่าวไว้ในบทที่ 4 ซึ่งในการควบคุมได้อาศัยทฤษฎีของตัวควบคุมจากบทที่ 5 โดยผลการทดลองการควบคุม จะระบุด้วยตัวควบคุมแบบต่างๆ แสดงในบทที่ 6 และท้ายที่สุดแล้วในบทที่ 7 เป็นส่วนสรุป วิจัย และนำเสนอข้อเสนอนั้นเพื่อการพัฒนาต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

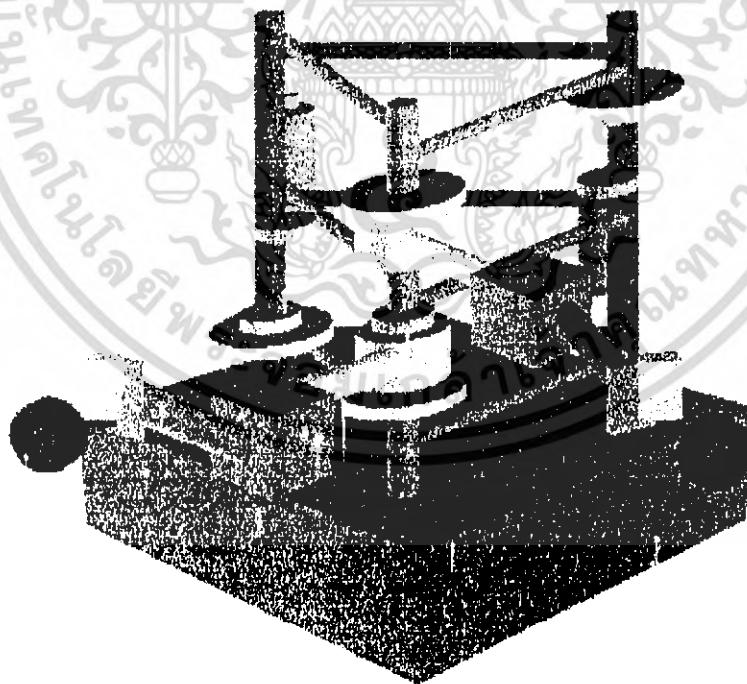
### โครงสร้างทางกล

โครงสร้างทางกล เป็นส่วนประกอบหนึ่งที่สำคัญเนื่องจากเป็นส่วนดำเนินการหลักของระบบนี้ ดังนั้นในการออกแบบจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งก่อนที่จะนำมาสร้างเป็นชิ้นงานจริง

#### 2.1 หลักการออกแบบ

เนื่องจากการสร้างชิ้นงานต้องอ้างอิงลักษณะของตัวอย่างใหญ่ ดังนั้นจึงได้ออกแบบชิ้นงานให้มีลักษณะดังรูปที่ 2.1 โดยโครงสร้างทางกลประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- โครงสร้างส่วนฐาน
- โครงสร้างส่วนการหมุนแกน
- โครงสร้างส่วนการยึดและหดแขน
- โครงสร้างส่วนไม้ซั่ง



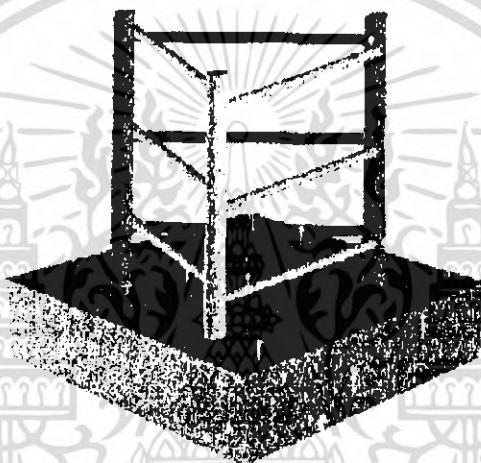
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแกนกลตีตัวอย่างใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.1 โครงสร้างส่วนฐาน

ฐานหรือส่วนล่างมีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม เนื่องจากต้องการเพิ่มความมั่นคง และต้องมีน้ำหนักมากเพื่อลดการเหวี่ยงเมื่อมีการหมุนของแกนกล

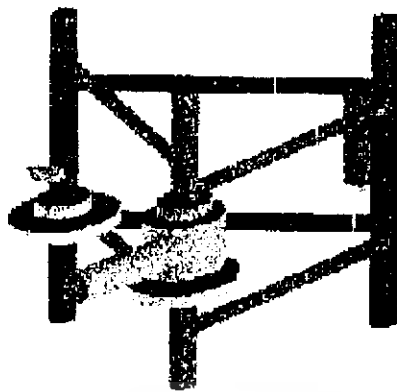
ส่วนบนมีลักษณะเป็นเสาตั้งอยู่ในรูปของปริซึมฐานสามเหลี่ยม โดยเสาที่หนึ่งไว้สำหรับยึดแกนเพื่อให้มีศูนย์กลางการหมุนเดียวกัน ทำให้แกนกลสามารถหมุนได้ในระยะ 300 องศา ซึ่งเป็นค่าที่มากกว่ามุมจากจุดศูนย์กลางไปยังลูกหม้อลูกแรกและลูกสุดท้าย ส่วนเสาที่สองและสามไว้สำหรับติดตั้งชุดทดรอบ และความต้านทานปรับค่าได้ ซึ่งระหว่างเสาทั้งสามมีแกนที่เป็นสลัก มีไว้เพื่อยึดเสาทั้งสามเสาให้มีความมั่นคงยิ่งขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างฐานของแกนกล

### 2.1.2 โครงสร้างส่วนการหมุนแกน

ส่วนหมุนแกน ประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เชื่อมต่อกับชุดทดรอบซึ่งใช้สายพานในการส่งผ่านกำลังเพื่อลดความเร็ว และเพิ่มแรงบิด (Torque) โดยมีที่รองรับ (Bearing) ไว้สำหรับลดแรงเสียดทานระหว่างชุดทดรอบกับเสายึดจากนั้นจึงส่งผ่านกำลังมายังแกนหมุนซึ่งที่แกนหมุนนี้ได้ทำการเชื่อมต่อกับความต้านทานปรับค่าได้แบบหมุน โดยใช้สายพานเป็นตัวขับเคลื่อนในการหมุน เพื่อตรวจสอบมุมการหมุนของแกนกลโดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 2.3

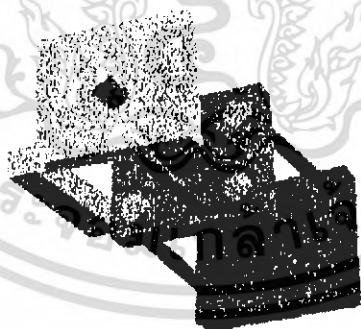


รูปที่ 2.3 โครงสร้างส่วนการหมุนแกน

### 2.1.3 โครงสร้างส่วนการยึดและหดแกน

ส่วนการยึดและหดแกนประกอบด้วย โครงสร้างส่วนคกที่จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่เชื่อมต่อกับเกลิยว และยึดติดกับแป้นเป็นชิ้นที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ แต่มีรู 3 รู ซึ่งติดตัวนำการเลื่อน (Sliding Guide) ไว้ให้สลักเกลียว (Bolt) ซึ่งมีไว้รับน้ำหนักของส่วนหน้าที่เลื่อนเข้าและออกได้เมื่อมีการเคลื่อนที่ของส่วนหน้าเกิดขึ้น และได้เชื่อมต่อกับความต้านทานปรับค่าได้แบบเลื่อนไว้กับแป้นเป็นชิ้นที่เคลื่อนที่ได้และส่วนที่คกที่ เพื่อตรวจสอบระยะเวลาเคลื่อนที่ของแกนกล

ส่วนหน้ามีรูตรงกลาง ซึ่งเป็นเกลิยวภายใน และสามารถเคลื่อนที่ได้เมื่อมีการหมุนของมอเตอร์ โดยมีสลักเกลียว 3 ตัว ไว้รับน้ำหนัก ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างส่วนการยึดและหดแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม้ซ่องและจังหวะการตีลงนั้น ได้อาศัยโซ่ตีนอยด์เป็นตัวขับเคลื่อน เนื่องจากต้องการความเร็วสูง และไม่จำเป็นต้องมีการป้อนกลับของระยะการตี ส่วนปลายใช้ไม้ซ่องจริงต่อเข้ากับสปริงเพื่อลดแรงในการตี เนื่องจากขบวนการนี้ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงระดับของแรงในการตีได้ ดังนั้นจึงให้สปริงเป็นตัวป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายต่อลูกซ่อง ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างส่วนไม้ซ่อง

## 2.2 การคำนวณคุณลักษณะของอุปกรณ์

### 2.2.1 ส่วนการหมุนของแขน

ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 24 โวลท์ 4 แอมแปร์ มีความเร็ว 5000 รอบ/นาที ซึ่งได้สร้างชุดทดรอบที่มีอัตราทดเป็น 1:12.5 ทำให้ความเร็วในการหมุนแขนเป็น 400 รอบ/นาที แต่เนื่องจากภาระของมอเตอร์ไม่ส่งผลต่อแรงบิด ดังนั้นจึงมีเพียงแรงเสียดทานเท่านั้นที่ทำให้ความเร็วของมอเตอร์ลดลง ซึ่งในความเป็นจริงเราต้องการความเร็วรอบเพียง 240 รอบ/นาที ดังนั้นแรงเสียดทานในการหมุนจึงไม่ส่งผลกระทบต่อระบบ

ในที่นี้ได้ทำการทดลองมอเตอร์ส่วนการหมุนแขนเมื่อยังไม่เชื่อมต่อกับแขน และเชื่อมต่อกับแขน เพื่อดูความเร็วรอบของมอเตอร์ และระดับกระแสที่มอเตอร์ใช้ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 ผลการทดลองมอเตอร์ส่วนการหมุนแขนเมื่อยังไม่เชื่อมต่อกับแขน (ขณะไม่มีโหลด)

ค่าระดับแรงดัน (V)	ค่าระดับกระแส (A)	ความเร็วรอบของมอเตอร์ (RPM)	ความเร็วรอบเมื่อผ่านชุด ทดรอบ (RPM)
1	0.1	หมุนช้ามาก	หมุนช้ามาก
2	0.1	1000	80
6	0.1	1280	102.4
10	0.1	1400	112
14	0.2	3200	256
18	0.2	4200	336
24	0.2	4850	388

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่า เมื่อมอเตอร์มีการทดรอบ จะทำให้ความเร็วของมอเตอร์ลดลงมาก

ตารางที่ 2.2 ผลการทดลองมอเตอร์ส่วนการหมุนแขนเมื่อมีการเชื่อมต่อกับแขน (ขณะมีโหลด)

ค่าระดับแรงดัน (V)	ค่าระดับกระแส(A)	การหมุนของแขน
1	0.25	ไม่หมุน
2	0.53	ไม่หมุน
4	1.16	ไม่หมุน
6	2.04	เริ่มหมุน
10	3.02	หมุนช้า
14	3.23	หมุนเร็ว
18	3.31	หมุนเร็ว
24	3.46	หมุนเร็ว

จากตารางที่ 2.2 จะเห็นได้ว่า แขนจะหมุนก็ต่อเมื่อค่าระดับแรงดันไฟฟ้ามากกว่า 6 โวลต์ และวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์นี้ต้องมีค่าความสามารถในการจ่ายกระแสได้มากกว่า 3.5 แอมแปร์เป็นอย่างน้อย ซึ่งผลการทดลองต่างๆ นี้จะไว้ในส่วนหนึ่งในการนำไปพิจารณาหาขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า ดังจะกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.2 ส่วนการยึดและหัดแขน

ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 24 โวลต์ 3 แอมแปร์ มีความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ซึ่งได้สร้างชุดทดรอบแบบเฟืองตัวหนอนที่มีอัตราทดเป็น 2 มิลลิเมตร/รอบ ทำให้ความเร็วรอบในการยึดหัดเป็น 100 เซนติเมตร/นาที แต่เนื่องจากภาระทางมอเตอร์ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อแรงบิดเช่นกัน ดังนั้นจึงมีเพียงแรงเสียดทานในการหมุนเท่านั้นที่ทำให้ความเร็วของมอเตอร์ลดลง ซึ่งในความเป็นจริงเราต้องการความเร็วในการยึดและหัดแขนเป็น 90 เซนติเมตร/นาที ดังนั้นแรงเสียดทานในการหมุนจึงส่งผลกระทบต่อระบบเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ในที่นี้ได้ทำการทดลองมอเตอร์ส่วนการยึดและหัดแขนแขนเมื่อได้เชื่อมต่อกับแขน เพื่อดูความเร็วรอบของมอเตอร์ และระดับกระแสที่มอเตอร์ใช้ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ผลการทดลองมอเตอร์ส่วนยึดและหัดแขน

ค่าระดับแรงดัน (V)	ค่าระดับกระแส (A)	ความเร็วรอบในการหมุน
1	0.23	ไม่หมุน
2	0.47	ไม่หมุน
4	0.49	เริ่มหมุน
6	0.52	หมุนช้ามาก
10	0.74	หมุนเร็ว
14	0.87	หมุนเร็ว
18	1.0	หมุนเร็ว
24	1.1	หมุนเร็ว

จากตารางที่ 2.3 จะเห็นได้ว่า แขนกลจะเคลื่อนที่ที่ต่อเมื่อค่าระดับแรงดันไฟฟ้ามากกว่า 4 โวลต์ และจะเคลื่อนที่ได้ดีเมื่อค่าระดับแรงดันไฟฟ้ามากกว่า 6 โวลต์ วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์นี้ต้องมีความสามารถในการจ่ายกระแสได้มากกว่า 1.5 แอมแปร์เป็นอย่างน้อย ซึ่งผลการทดลองต่างๆ นี้จะเป็นส่วนหนึ่งในการนำไปพิจารณาหาขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า ดังจะกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.1

### 2.2.3 ส่วนของไม้ฉ่อง

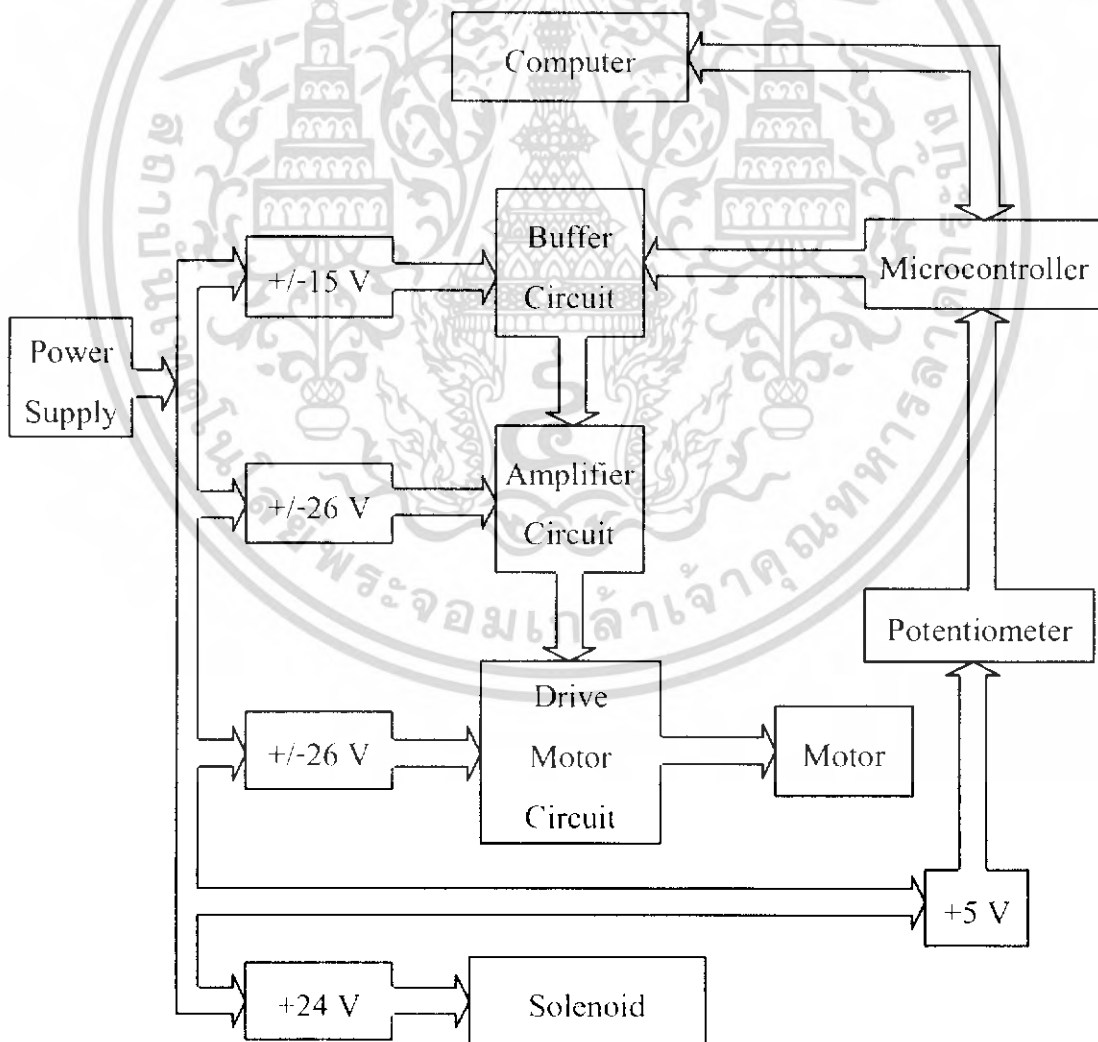
การขับเคลื่อนต้องการระยะเพียง 1 ถึง 2 เซนติเมตรเท่านั้น จึงสามารถใช้โซลินอยด์ในการขับเคลื่อนได้ ซึ่งโซลินอยด์ที่ใช้มีขนาด 24 โวลต์ 1 แอมแปร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## โครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์

จากบทที่ 2 จะเห็นได้ว่า มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งเป็นอุปกรณ์ทางกลส่วนหนึ่งทั้งในส่วนการหมุนแกนและส่วนการยึดและหคแกนนั้น เมื่อนำไปเชื่อมต่อกับแกน ทั้งสองส่วนจะใช้กระแสสูง ซึ่งอยู่ในระดับแอมแปร์ แต่ในการควบคุมระบบโดยคอมพิวเตอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นการควบคุมโดยสัญญาณกระแสต่ำ ซึ่งอยู่ในระดับมิลลิแอมแปร์เท่านั้น จึงไม่สามารถนำไปจ่ายให้กับอุปกรณ์ทางกลต่างๆ ที่ต้องการกระแสสูงได้โดยตรง ดังนั้นจึงต้องอาศัยวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวส่งผ่านแรงดัน และจ่ายกระแสให้เพียงพอกับความต้องการของอุปกรณ์ทางกล โดยมีแผนผังของระบบอิเล็กทรอนิกส์ ดังรูปที่ 3.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.1 ใช้แผนผังของระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

จากการทดสอบโครงสร้างทางกลในบทที่ 2 ทำให้เราสามารถกำหนดได้ว่าต้องการใช้กระแสไฟฟ้าและแรงดันในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าและโซลีนอยด์เท่าไร รวมถึงระดับแรงดันไฟเลี้ยงของวงจรต่างๆ ซึ่งมีข้อมูลต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลภาระทางไฟฟ้า

ชนิดของอุปกรณ์	ระดับแรงดัน (V)	กระแสไฟฟ้าสูงสุด (A)
มอเตอร์(หมุนแขน)	+/-24	3.5
มอเตอร์(ยึดและหดแขน)	+/-24	1.5
โซลีนอยด์	124	1.0

จากตารางพบว่าเมื่อใช้อุปกรณ์ข้างต้นพร้อมกันทั้งหมดจำนวน 2 ชุด จะต้องจ่ายกระแสให้กับภาระทางไฟฟ้าทั้งหมดเป็น 12 แอมแปร์

#### หลักการคำนวณพิกัดกระแสของหม้อแปลง

$$\text{กระแสไฟฟ้าสูงสุดของภาระทางไฟฟ้า} \times \text{ค่าชดเชยความผิดพลาด} = \text{พิกัดกระแสของหม้อแปลง}$$

$$12 \times 1.5 = 18 \text{ A}$$

จากการคำนวณไม่สามารถหาหม้อแปลงที่มีขนาด 18 แอมแปร์ได้ จึงจำเป็นต้องทำการแยกภาระไฟฟ้าออกเป็นส่วนๆ ดังนี้

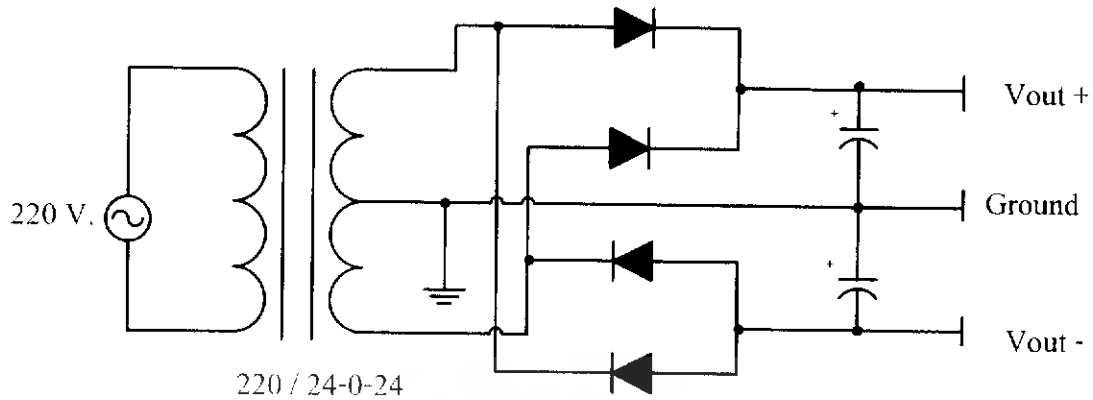
ตารางที่ 3.2 ข้อมูลภาระทางไฟฟ้าของส่วนประกอบต่างๆ

ชนิดของอุปกรณ์	กระแสไฟฟ้าสูงสุด (A)	พิกัดกระแส (A)	ขนาดที่ใช้จริง (A)
มอเตอร์(หมุนแขน)	3.5	5.25	5.0 *
มอเตอร์(ยึดและหดแขน)และโซลีนอยด์	2.5	3.75	4.0

\* ในกรณีนี้ใช้หม้อแปลงซึ่งมีพิกัดต่ำกว่าพิกัดกระแสที่ต้องการเพียงเล็กน้อย เนื่องจากเป็นหม้อแปลงที่มีอยู่แล้ว

เมื่อทราบพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้าแล้ว การทำให้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงได้นั้น จะอาศัยวงจรดังรูปที่ 3.2 ซึ่งยังต้องอาศัยอุปกรณ์อื่นๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

1. ไดโอดบริดจ์ชนิดเต็มคลื่น (Full Wave Bridge) ต้องมีความสามารถในการทนกระแสได้อย่างน้อยสองเท่าของกระแสที่ไหลผ่านไดโอด และมีค่าแรงดันพังทลาย (Break Down Voltage) มากกว่า  $4\sqrt{2}$  เท่าของแรงดันไฟฟ้าสูงสุด

2. ตัวเก็บประจุ ทำหน้าที่ให้ระดับแรงดันไฟฟ้ามีความเรียบมากขึ้น ซึ่งมีการคำนวณดังนี้

เมื่อ

$$C \geq I_{\max} / (F_r \times \Delta V)$$

$I_{\max}$  คือ กระแสสูงสุดที่ภาระไฟฟ้าต้องการ

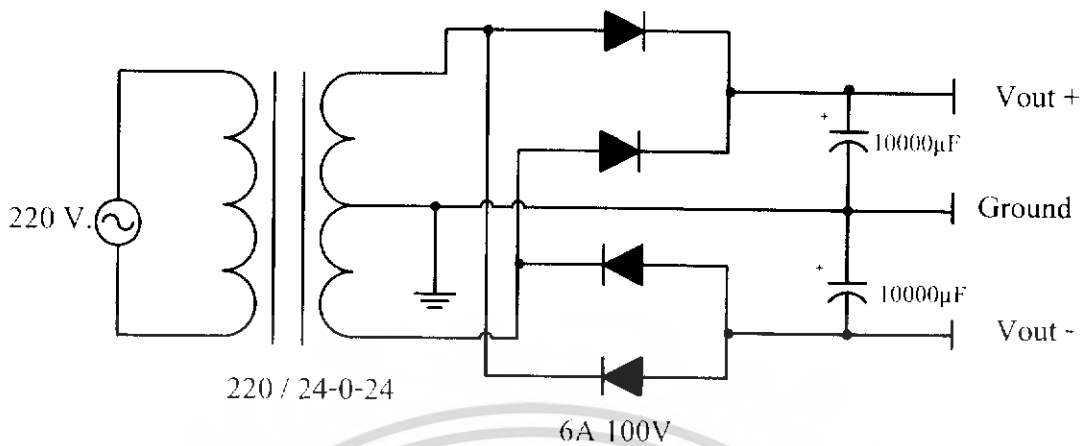
$F_r$  คือ ความถี่ของแรงดันที่ออกจกไดโอดบริดจ์

$\Delta V$  คือ ขนาดของแรงดันกระแสเพิ่มที่เราต้องการ

ขนาดของตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรมีการคำนวณ ดังนี้

$$3.5 / (100 \times 3.5) = 10000 \mu F$$

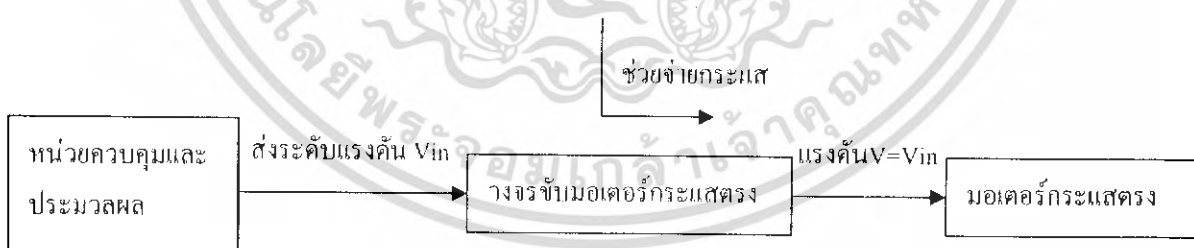
ซึ่งจากค่าต่างๆ ที่ได้จากการคำนวณ ทำให้สามารถออกแบบวงจรที่ใช้งานจริง ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้งานจริง

### 3.2 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

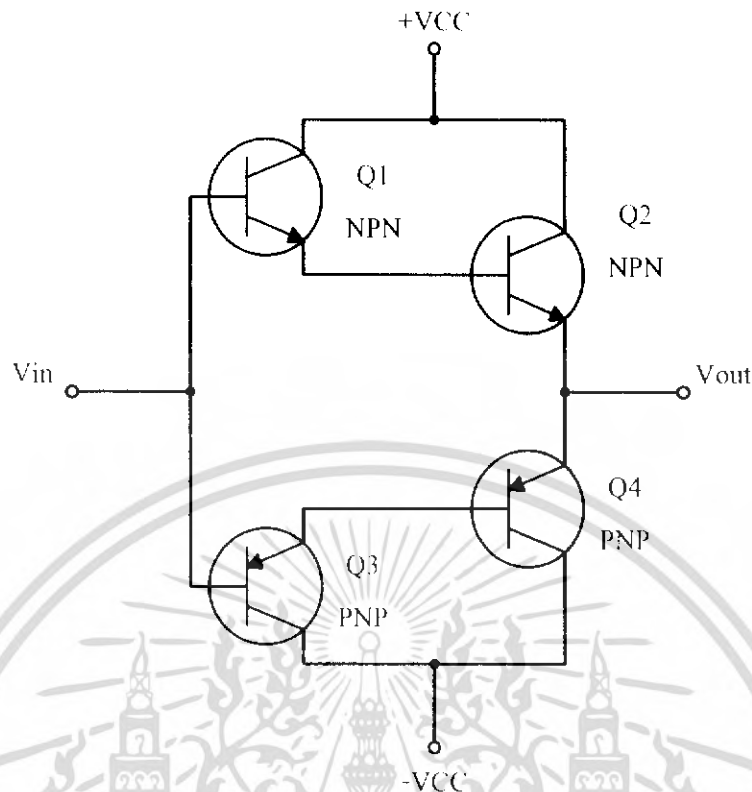
จากลำดับขั้นตอนการสั่งงานเพื่อควบคุมมอเตอร์นั้น เมื่อโปรแกรมที่เขียนเพื่อกำหนดระดับแรงดันควบคุมมอเตอร์ได้คำนวณและส่งระดับแรงดันออกมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกแล้ว ยังจำเป็นต้องมีวงจรที่ช่วยจ่ายกระแสและคงระดับแรงดันควบคุม ก่อนที่จะส่งไปจ่ายให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เพราะกระแสที่จ่ายออกมาจากวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกนั้นอยู่ในระดับมิลลิแอมป์เท่านั้น ซึ่งไม่เพียงพอที่มอเตอร์ต้องการ (มอเตอร์ต้องการกระแสเฉลี่ย 3 แอมป์ ขณะที่แกนกลหมุน)



รูปที่ 3.4 กระบวนการส่งระดับแรงดันควบคุมมอเตอร์กระแสตรง

วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่เลือกใช้ในโครงการนี้ แสดงดังรูปที่ 3.5 ซึ่งมีพื้นฐานมาจากวงจรดาร์ลิ่งตัน (Darlington) คือการนำทรานซิสเตอร์ (Transistor) ทั้งชนิด PNP และ NPN มาต่อร่วมกันเพื่อช่วยกันทำงานในกรณีที่สัญญาณขาเข้า มีทั้งซิกบวมและซิกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

โดย

- Q1 ใช้ทรานซิสเตอร์ ชนิด NPN เบอร์ TIP31C
- Q2 ใช้ทรานซิสเตอร์ ชนิด NPN เบอร์ MJ15015
- Q3 ใช้ทรานซิสเตอร์ ชนิด PNP เบอร์ TIP32C
- Q4 ใช้ทรานซิสเตอร์ ชนิด PNP เบอร์ MJ15016

การทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้ ดังนี้

- ถ้าอินพุตเป็นบวก ทรานซิสเตอร์ Q1 จะทำงาน ขา BE ถูกกระตุ้น แบบ forward bias ทำให้มีกระแสไหลจากขา C ไปขา E ส่งผลให้ขา BE ของทรานซิสเตอร์ Q2 ถูกกระตุ้นด้วย ทำให้อาท์พุต ได้รับแรงดันเป็นบวกมีขนาดเท่ากับแรงดันอินพุต ส่วนกระแสจะได้จากแหล่งจ่ายไฟบวก (+Vcc) ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ Q2 ซึ่งจะเป็นตัวช่วยจ่ายกระแสให้กับโหลดแทนกระแสจากอินพุตที่มีค่าน้อยมากไม่พอที่จะจ่ายให้กับโหลด ส่วนทรานซิสเตอร์ Q3 และ Q4 ไม่ทำงาน เพราะ ขา BE ได้รับแบบ reward bias

- ถ้าอินพุตเป็นลบ ทรานซิสเตอร์ Q3 จะทำงาน ขา BE ถูกกระตุ้นแบบ forward bias ทำให้ ทรานซิสเตอร์ Q4 ทำงานด้วย ซึ่งมีหลักการการทำงานเช่นเดียวกับเป็นอินพุตบวก ทำให้มีกระแสไหลจากแหล่งจ่ายไฟลบ (-Vcc) ดังนั้นแรงดันและกระแสที่ออกเอาท์พุตจะกลับทิศทางกับแบบแรก ซึ่งทรานซิสเตอร์ Q4 จะเป็นตัวช่วยจ่ายกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเพื่อวัตถุประสงค์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### คุณสมบัติของวงจร

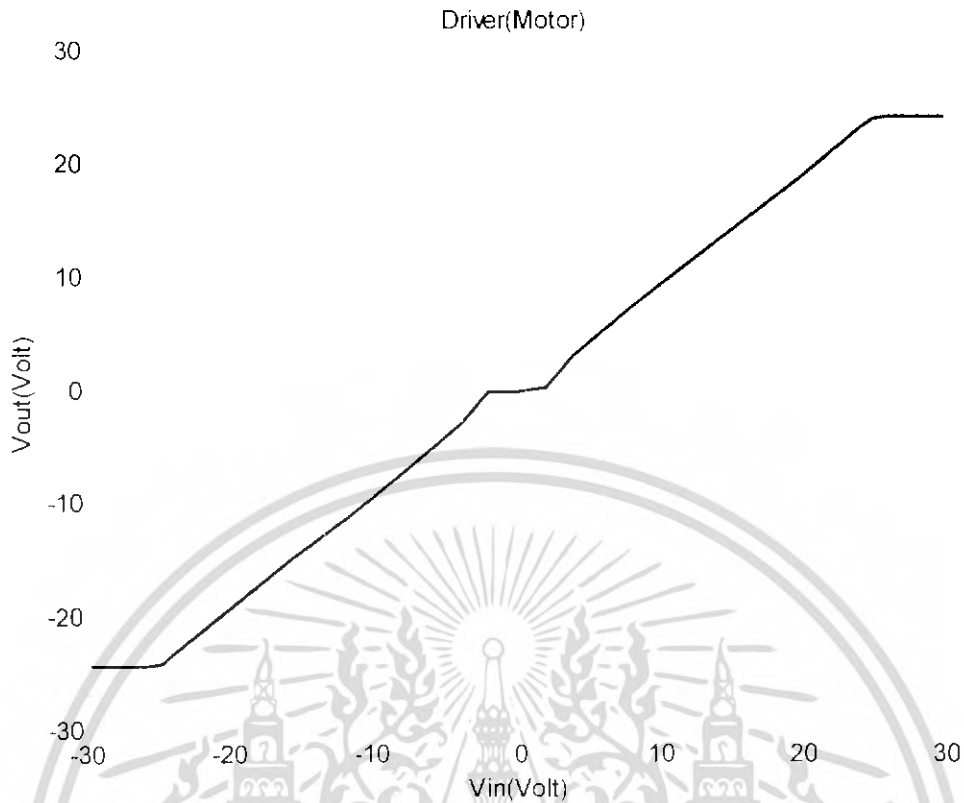
- ค่าความต้านทานอินพุตสูงมาก
- ค่าความต้านทานเอาต์พุตต่ำมาก
- ไม่ดึงกระแสทางด้านอินพุตและเอาต์พุต
- สามารถจ่ายกระแสได้สูง
- มีอัตราขยายแรงดัน  $\frac{V_{out}}{V_{in}} \cong 1$

จากวงจรดังรูปที่ 3.5 ได้นำมาทดลองในขณะที่ไม่มีโหลด ซึ่งมีผลการทดลองดังตารางที่ 3.3 และรูปที่ 3.6 โดยในการทดลองนั้นแรงดัน  $\pm V_{CC}$  มีค่าเท่ากับ  $\pm 26$  โวลต์ เป็นค่าที่ได้มาจากวงจรปรับแรงดันดังจะกล่าวในหัวข้อที่ 3.5.1

ตารางที่ 3.3 ผลการทดลองวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

แรงดันอินพุต (V)		แรงดันเอาต์พุต (V)	
อินพุตบวก	อินพุตลบ	เอาต์พุตซีกบวก	เอาต์พุตซีกลบ
0	0	0	0
2	2	0.225	0.175
4	4	3.152	2.925
8	8	7.223	7.056
12	12	11.123	11.098
16	16	15.012	14.825
20	20	18.902	18.878
24	24	23.223	22.965
25	25	24	23.956
26	26	24.123	24.2
27	27	24.2	24.256
28	28	24.156	24.26
29	29	24.178	24.27
30	30	24.178	24.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



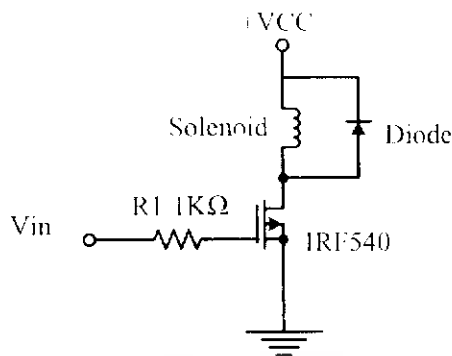
รูปที่ 3.6 กราฟผลการทดลองวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

จากผลการทดลองในตารางที่ 3.3 และรูปที่ 3.6 จะเห็นได้ว่าวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีย่านการทำงานที่แรงดันอินพุตอยู่ในช่วงประมาณ -25 โวลต์ ถึง 25 โวลต์ เนื่องจากถ้าจ่ายแรงดันอินพุตมากกว่าย่านการทำงานนี้แล้วแรงดันเอาต์พุตจะเกิดการอิ่มตัว จากผลการทดลองนี้ สามารถกำหนดการออกแบบของวงจรขยเขยสัญญาณได้ ซึ่งจะกล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 3.4

### 3.3 วงจรขับเคลื่อนโซลินอยด์

เป็นวงจรที่ใช้คุณสมบัติของ FET (Field Effect Transistor) ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ชนิดหนึ่งทำหน้าที่เหมือนสวิตช์เปิด-ปิดแหล่งจ่ายไฟฟ้า (VCC) ที่จ่ายให้กับโซลินอยด์ ดังมีรายละเอียดของวงจรในรูปที่ 3.7 โดยมีหลักการทํางาน คือ เมื่อมีสัญญาณแรงดันขาเข้า Vin เป็นบวกมากกระตุ้นให้ FET ทํางานที่ขา Gate จะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านจากขา Drain ไปยังขา Source ทำให้โซลินอยด์ทำงานและจะคงค้างสถานะการทำงานเดิมอยู่จนกว่าจะให้สัญญาณแรงดันขาเข้าเป็น 0 โวลต์ (Ground) ทำให้ FET ไม่ทำงาน และโซลินอยด์ก็จะไม่ทำงานด้วย

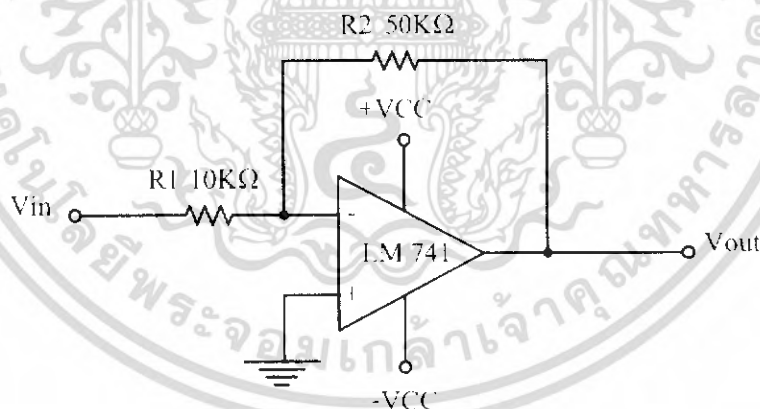
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 วงจรขับเคลื่อนโซลินอยด์

### 3.4 วงจรขยายสัญญาณ

เนื่องจากสัญญาณควบคุมที่ออกมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกนั้นเป็นสัญญาณที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าที่ไม่เพียงพอต่อการจ่ายให้กับภาระไฟฟ้า (ระดับแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณควบคุมอยู่ในช่วง -5 โวลต์ ถึง 5 โวลต์) ซึ่งจากผลการทดลองดังตารางที่ 3.3 และรูปที่ 3.6 นั้นแสดงให้เห็นว่าจำเป็นต้องออกแบบวงจรขยายสัญญาณให้มีเอาต์พุตอยู่ในย่านการทำงาน โดยระดับแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณควบคุมที่ต้องการอยู่ในช่วง -24 โวลต์ ถึง 24 โวลต์ วงจรขยายสัญญาณในกรณีนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 วงจรขยายสัญญาณ

วงจรมีใช้คุณสมบัติของออปแอมป์ (Operation Amplifier) มาทำเป็น Inverting Amplifier เนื่องจากต้องการขยายสัญญาณจาก  $\pm 5$  โวลต์เป็น  $\pm 24$  โวลต์ ดังนั้นจึงให้อัตราขยายของ Inverting Amplifier เป็น 4.8 เท่า จากสมการฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ของ Inverting Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ ฟังก์ชันถ่ายโอน  $\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}$  ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากไม่สามารถหาออปแอมป์ ที่จ่ายแรงดันขาออก  $V_{out}$  ได้ถึง  $\pm 24$  โวลต์ได้ (โดยดูจากคู่มือพิคคแรงดันที่ออปแอมป์เลี้ยงกรร) ดังนั้นจึงใช้ออปแอมป์เบอร์ LM741 ซึ่งมีพิคคที่เท่ากับ  $\pm 22$  โวลต์ ซึ่งให้แรงดันเอาต์พุตสูงสุด ประมาณ  $\pm 20$  โวลต์ ดังนั้นจะขยายสัญญาณจาก  $\pm 5$  โวลต์ แล้วให้แรงดันได้ไม่เกิน  $\pm 20$  โวลต์

อย่างไรก็ตามในวงจรที่ใช้งานจริง พบว่าสามารถจ่ายแรงดันได้ถึง  $\pm 26$  โวลต์ จากอัตราขยายของ Inverting Amplifier 4.8 เท่า ซึ่งเลือกใช้อัตราขยายที่ 5 เท่า ดังนั้นจึงให้  $R_1$  เท่ากับ 10 กิโลโอห์ม และ  $R_2$  เท่ากับ 50 กิโลโอห์ม ทำให้สามารถขยายสัญญาณจาก  $\pm 5$  โวลต์ เป็น  $\pm 24$  โวลต์ โดยประมาณ ซึ่งเพียงพอที่จะใช้ขับมอเตอร์ และเนื่องจากแกนกลของเรามีมอเตอร์อยู่ 4 ตัว จึงต้องมีสัญญาณควบคุม 4 สัญญาณ และต้องมีวงจรขยายสัญญาณ 4 ชุด

### 3.5 วงจรปรับปรุงแรงดัน

หลังจากที่ได้สร้างวงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้แก่ระบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์แล้ว แต่ในวงจรส่วนต่างๆ นั้นต้องการแรงดันที่ไม่เท่ากันจึงจำเป็นต้องสร้างวงจรปรับปรุงแรงดันเพื่อปรับปรุงแรงดันให้มีหลายๆ ระดับ ให้เพียงพอกับความต้องการของระบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มี

จากรูปที่ 3.1 ที่แสดงแผนผังของระบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด เราสรุปได้ว่าเราต้องมีวงจรปรับปรุงแรงดันที่ต่างกัน ดังนี้

- วงจรปรับปรุงแรงดัน  $\pm 26$  โวลต์ จ่ายให้กับวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรขยายสัญญาณที่จ่ายให้วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
- วงจรปรับปรุงแรงดัน  $+24$  โวลต์ จ่ายให้กับวงจรขับเคลื่อนโซลินอยด์
- วงจรปรับปรุงแรงดัน  $\pm 15$  โวลต์ จ่ายให้กับวงจรขยายสัญญาณที่อยู่ในส่วนของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก
- วงจรปรับปรุงแรงดัน  $+5$  โวลต์ จ่ายให้กับอุปกรณ์วัด จ่ายให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ และจ่ายเป็นแรงดันอ้างอิงให้กับวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก

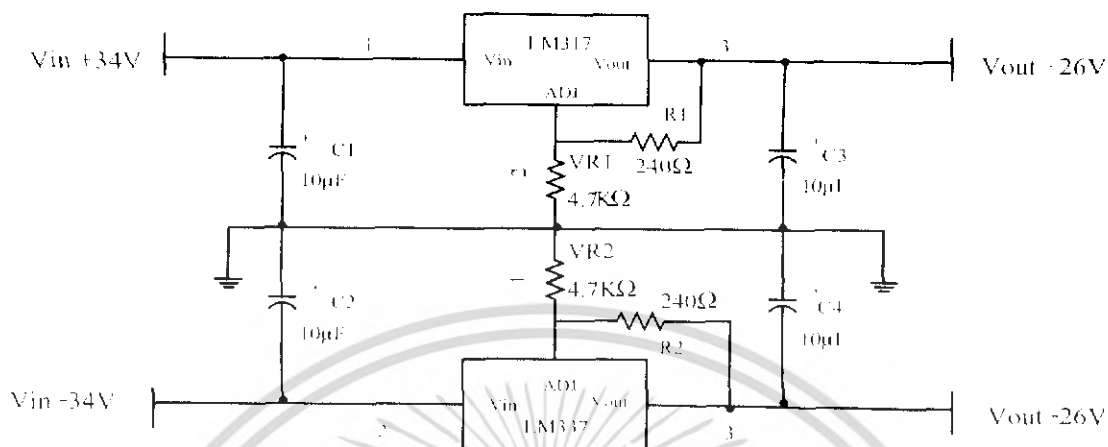
วงจรปรับปรุงแรงดันทั้ง 4 วงจรข้างต้นใช้วงจรจ่ายแรงดันคงที่ (Voltage Regulator) ในการสร้างระดับแรงดันทุกวงจร แต่รายละเอียดจะแตกต่างกันไปเล็กน้อยเนื่องจากระดับแรงดันที่ใช้ไม่เท่ากัน ดังนั้นจะจำแนกรายละเอียดที่ละวงจรจากแรงดันมากไปหาแรงดันน้อย ดังนี้

#### 3.5.1 วงจรปรับปรุงแรงดัน $\pm 26$ โวลต์

เป็นวงจรที่ใช้แรงดันอินพุต  $V_{in}$  จากแรงดันเอาต์พุตของวงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.1 เพราะเป็นวงจรที่ต้องการระดับแรงดันที่สูงที่สุด ได้ใช้ไอซี (IC: Integrated Circuit) วงจรจ่ายแรงดันคงที่เบอร์ LM317 ซึ่งเป็นวงจรจ่ายแรงดันคงที่ทางด้านบวกที่ปรับค่าได้

(Adjustable Positive Voltage Regulator) เบอร์ LM317 ซึ่งเป็นวงจรจ่ายแรงดันคงที่ด้านลบที่ปรับค่าได้ (Adjustable Negative Voltage Regulator) เบอร์ LM337 ซึ่งเป็นวงจรจ่ายแรงดันคงที่ด้านลบที่ปรับค่าได้ (Adjustable Negative Voltage Regulator) เบอร์ LM337 ทั้งนี้เป็นวงจรจ่ายแรงดันคงที่ที่ปรับค่าได้ไม่ต่ำกว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับค่าได้ (Adjustable Negative Voltage Regulator) และทั้งสองเบอร์นี้สามารถจ่ายกระแสสูงสุดได้ 1.5 แอมแปร์ โดยรายละเอียดวงจรแสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 วงจรปรับแรงดัน +/- 26 โวลต์

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร VR1 และ Vout คือ

$$V_{out} = 1.25 \times [1 + (VR1/R1)] + I_{adj} \times VR1$$

เมื่อ  $I_{adj}$  คือ กระแสที่ไหลผ่าน VR1 มีค่าประมาณ 50 ไมโครแอมแปร์ และความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร VR2 และ Vout ก็เป็นเช่นเดียวกับข้างต้น

เนื่องจากวงจรต้องการระดับแรงดัน +/- 26 โวลต์ และจ่ายกระแสได้ 3.5 แอมแปร์อย่างต่ำ ดังนั้นเมื่อกำหนดให้ R1 เป็น 240 โอห์ม จึงต้องใช้ VR1 และ VR2 เท่ากับ 4.7 กิโลโอห์ม จึงจะได้ระดับแรงดันเอาต์พุต Vout เป็น +/- 26 โวลต์

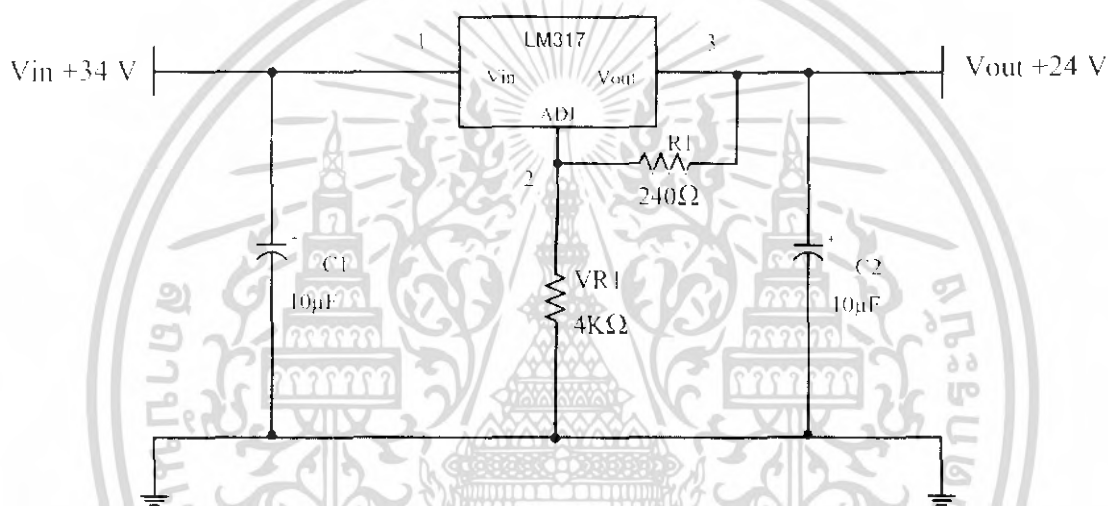
วงจรปรับแรงดัน +/- 26 โวลต์นี้ ต้องมีด้วยกัน 4 ชุด คือ 2 ชุดแรก ในแต่ละชุดต้องสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ 2.25 แอมแปร์เป็นอย่างต่ำ จึงนำ LM317 มาขนานกัน 2 ตัว และ LM337 มาขนานกัน 2 ตัว เพื่อเพิ่มกระแสเป็น 3 แอมแปร์ ทั้งด้านบวกและลบ เพื่อจ่ายให้กับวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรรขยายสัญญาณที่จ่ายให้วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในส่วนยึดและหัดแขน ส่วนอีก 2 ชุด ต้องสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ 5 แอมแปร์เป็นอย่างต่ำ จึงนำ LM317 และ LM337 อย่างละ 4 ตัว มาขนานในลักษณะเดียวกันกับข้างต้น เพื่อเพิ่มกระแสเป็น 6 แอมแปร์ เพื่อจ่ายให้กับวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรรขยายสัญญาณที่จ่ายให้วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในส่วนหมุนแขน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.2 วงจรปรับปรุ้แรงดัน +24 โวลต์

วงจรขับเคลื่อนโซลีนอยด์นั้นต้องการระดับแรงดัน 24 โวลต์ จะเห็นได้ว่าใช้ระดับแรงดันเพียงด้านเดียว คือ ด้านบวก และต้องการกระแสไฟฟ้า 1.5 แอมแปร์ เราจึงใช้วงจรจ่ายแรงดันคงที่เบอร์ LM317 เพียงตัวเดียว ซึ่งเพียงพอทั้งระดับแรงดันและความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโซลีนอยด์ โดยมีสมการความสัมพันธ์ระหว่าง VR1 และ Vout เหมือนวงจรข้างต้น

เนื่องจากต้องการระดับแรงดัน 24 โวลต์ และจ่ายกระแสได้ 1.5 แอมแปร์ ดังนั้นเมื่อกำหนดให้ R1 เป็น 240 โอห์ม ดังนั้นจะต้องใช้ VR1 เท่ากับ 4 กิโลโอห์ม ซึ่งจึงจะได้ระดับแรงดันด้านขาออก เป็น 24 โวลต์ ตามที่ต้องการ โดยวงจรแสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 วงจรปรับปรุ้แรงดัน +24 โวลต์

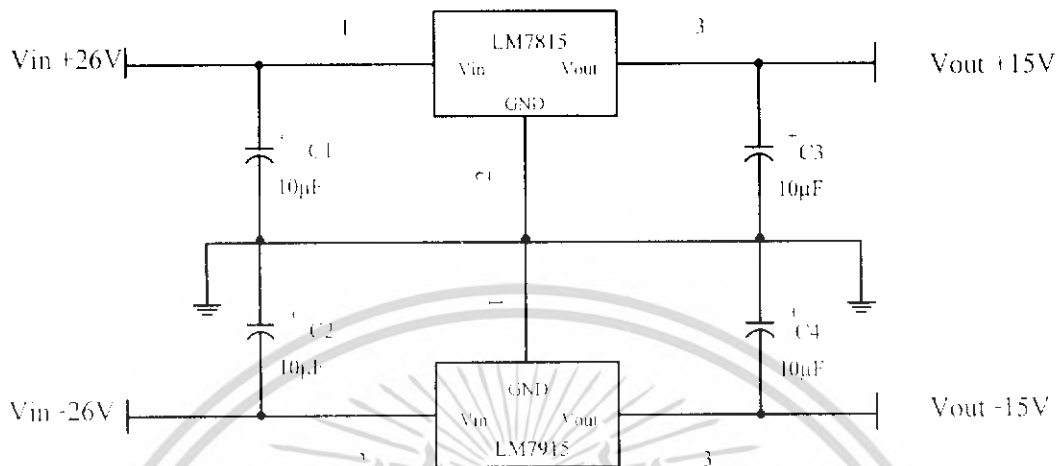
เนื่องจากวงจรโซลีนอยด์ต้องการกระแส 1.5 แอมแปร์ ดังนั้นจึงใช้ LM317 เพียงตัวเดียวก็เพียงพอ แต่วงจรโซลีนอยด์มี 2 ชุด จึงต้องมีวงจรปรับปรุ้แรงดัน 24 โวลต์ จ่ายให้กับวงจรขับเคลื่อนโซลีนอยด์ 2 ชุด ด้วยเช่นกัน

### 3.5.3 วงจรปรับปรุ้แรงดัน +/-15 โวลต์

เนื่องจากมีสัญญาณความถี่ 4 สัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัล จึงต้องมีวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกด้วยกัน 4 ชุด ซึ่งทั้ง 4 ชุดนั้น ต้องการกระแสรวมกันน้อยมาก อยู่ในระดับมิลลิแอมแปร์เท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถนำแรงดันเอาต์พุตของวงจรปรับปรุ้แรงดัน +/-26 โวลต์ ดังที่กล่าวในหัวข้อที่ 3.5.1 ง่ายเป็นแรงดันอินพุต Vin ของวงจรจ่ายแรงดันคงที่เบอร์ LM7815 และ LM7915 เพราะวงจรจ่ายแรงดันคงที่ เบอร์ LM7815 มีแรงดันเอาต์พุตเป็น 15 โวลต์ คงที่ และ เบอร์ LM7915 มีแรงดันเอาต์พุตเป็น -15 โวลต์ คงที่ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

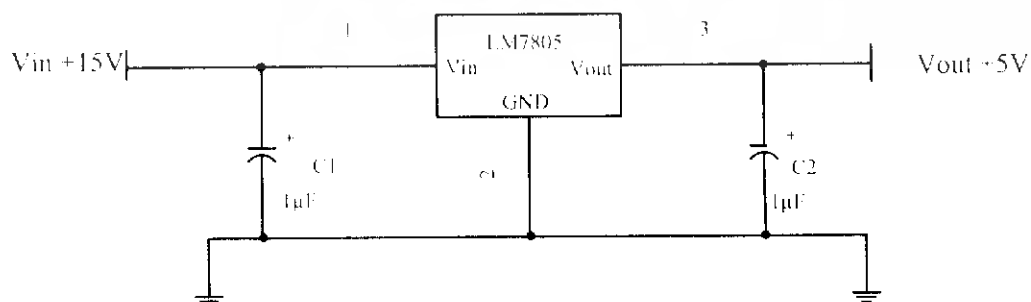
ทั้งสองเบอร์นี้สามารถจ่ายกระแสสูงสุดได้ 1 แอมแปร์ ดังนั้นจึงสามารถใช้วงจรปรับแรงดัน  $\pm 15$  โวลต์ เพียง 1 ชุดได้ โดยวงจรมีแสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 วงจรปรับแรงดัน  $\pm 15$  โวลต์

### 3.5.4 วงจรปรับแรงดัน +5 โวลต์

เนื่องจากอุปกรณ์วัด ไมโครคอนโทรลเลอร์ และแรงดันอ้างอิงของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก ต้องการแรงดัน +5 โวลต์ โดยการใช้งานดังกล่าวจะใช้กระแสรวมกันแล้วไม่มาก ซึ่งอยู่ในระดับมิลลิแอมแปร์เท่านั้น ดังนั้นจึงนำแรงดันเอาต์พุตของวงจรปรับแรงดัน -15 โวลต์ ดังที่กล่าวไปหัวข้อที่ 3.5.3 ง่ายเป็นแรงดันอินพุต  $V_{in}$  ของวงจรจ่ายแรงดันคงที่ เบอร์ LM7805 เพราะวงจรจ่ายแรงดันคงที่เบอร์ LM7805 มีแรงดันเอาต์พุตเป็น 5 โวลต์ คงที่ ซึ่ง LM7805 นี้สามารถจ่ายกระแสสูงสุดได้ 1 แอมแปร์ ดังนั้นจึงสามารถใช้วงจรปรับแรงดัน +5 โวลต์ เพียง 1 ชุดได้ โดยวงจรมีรายละเอียดดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 วงจรปรับแรงดัน +5 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

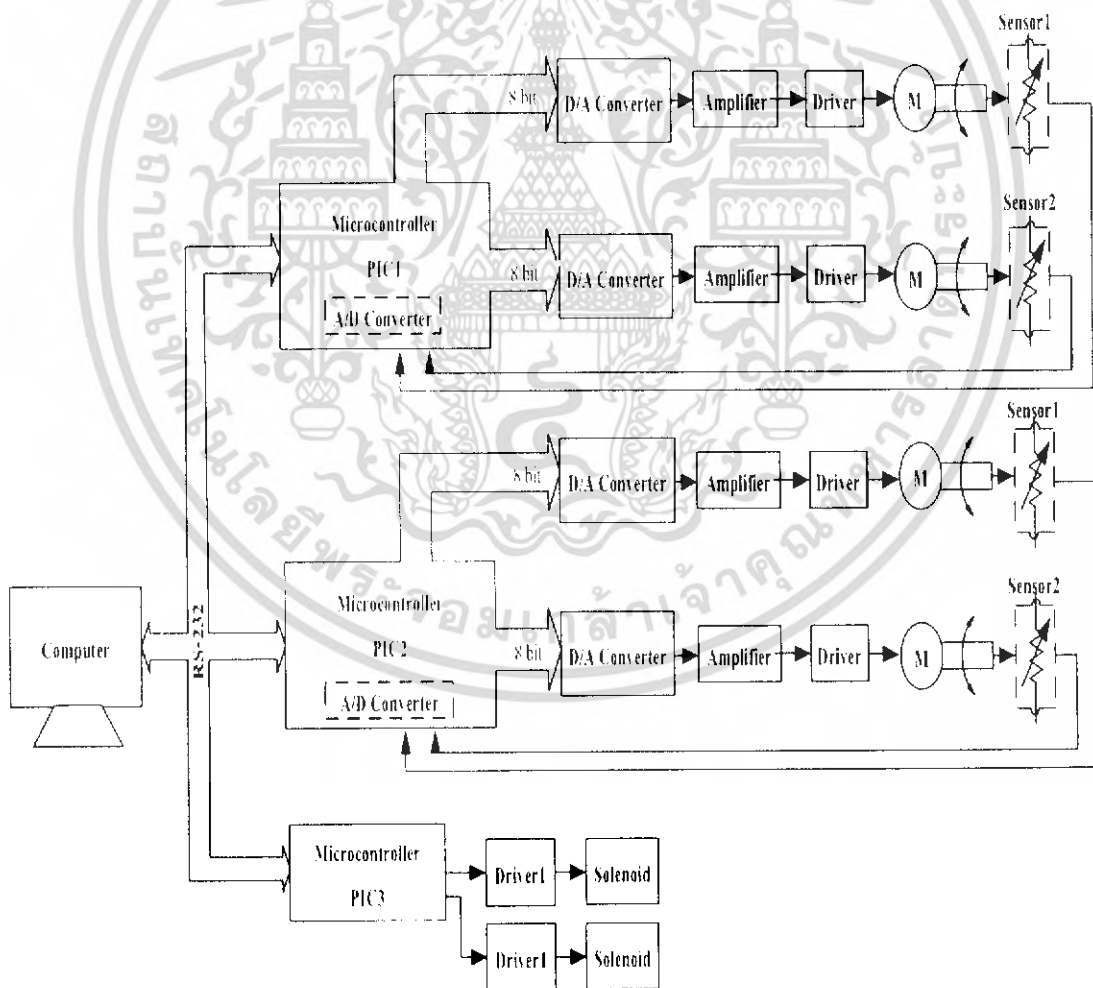
## บทที่ 4

### การออกแบบส่วนควบคุม

ส่วนนี้เป็นการออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้ในโครงงานนี้ พร้อมทั้งอธิบายการทำงานของระบบ และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการควบคุม

#### 4.1 โครงสร้างระบบควบคุม

ในการออกแบบระบบควบคุมต้องเลือกอุปกรณ์ที่การทำงานมีประสิทธิภาพและความเร็วสูง แต่ควรอยู่ในขอบเขตงบประมาณของโครงงาน ซึ่งในปัจจุบันมีโรงงานมากมายที่ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ออกมาในรูปแบบของอุปกรณ์ไอซี ที่มีขนาดเล็กลง สามารถหาซื้อได้ง่าย และการใช้มันก็ง่ายขึ้น ในโครงงานนี้อาศัยแนวคิดโครงสร้างระบบควบคุมดังรูปที่ 4.1

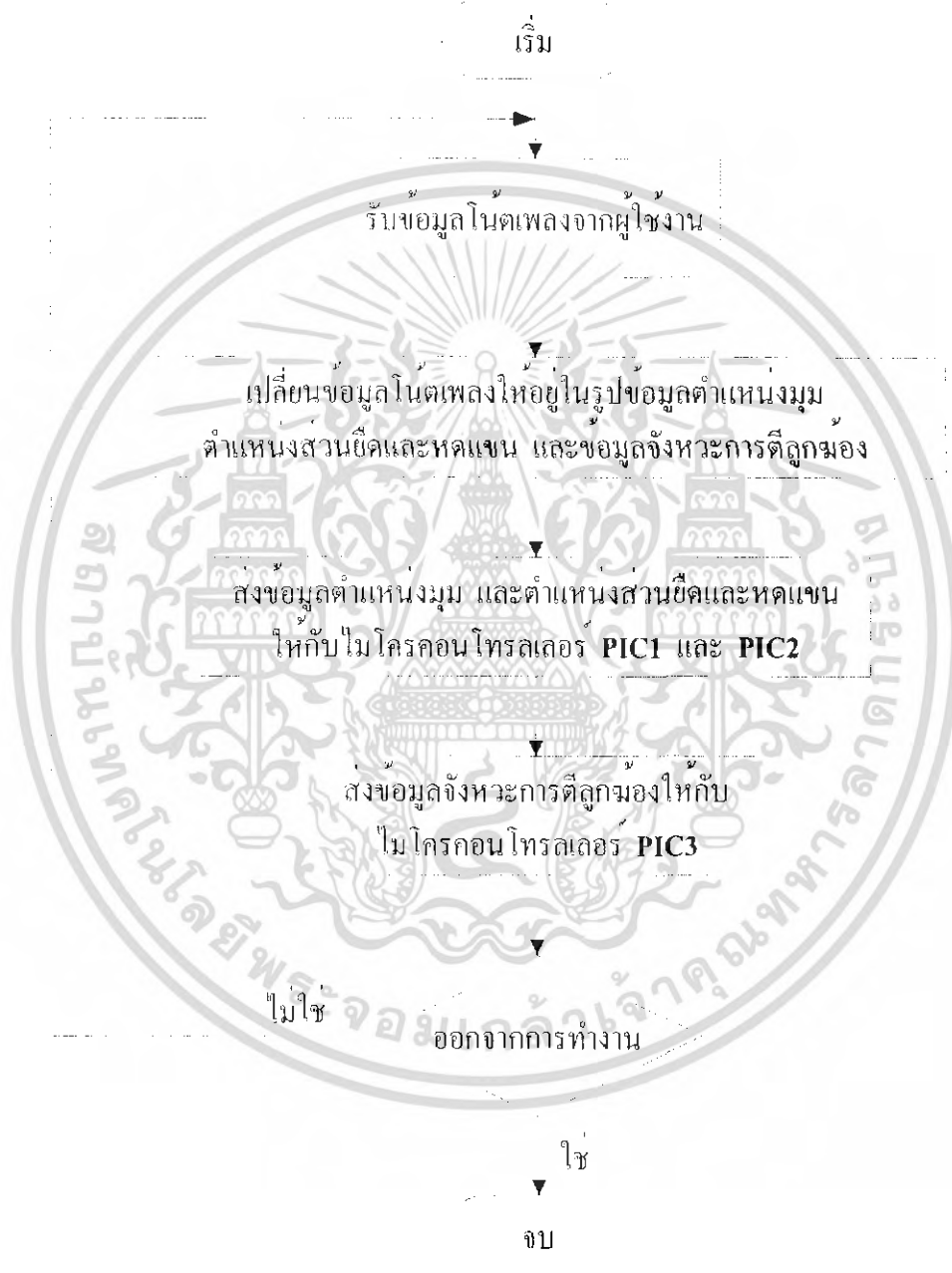


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 4.1 การใช้งานระบบควบคุมบนขนาดที่มีวงจรมากเกินไป ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 หลักการทำงานของแขนกลตีฆ้องวงใหญ่

จากรูปที่ 4.1 จะกล่าวถึงหลักการทำงานของส่วนต่างๆ ดังนี้

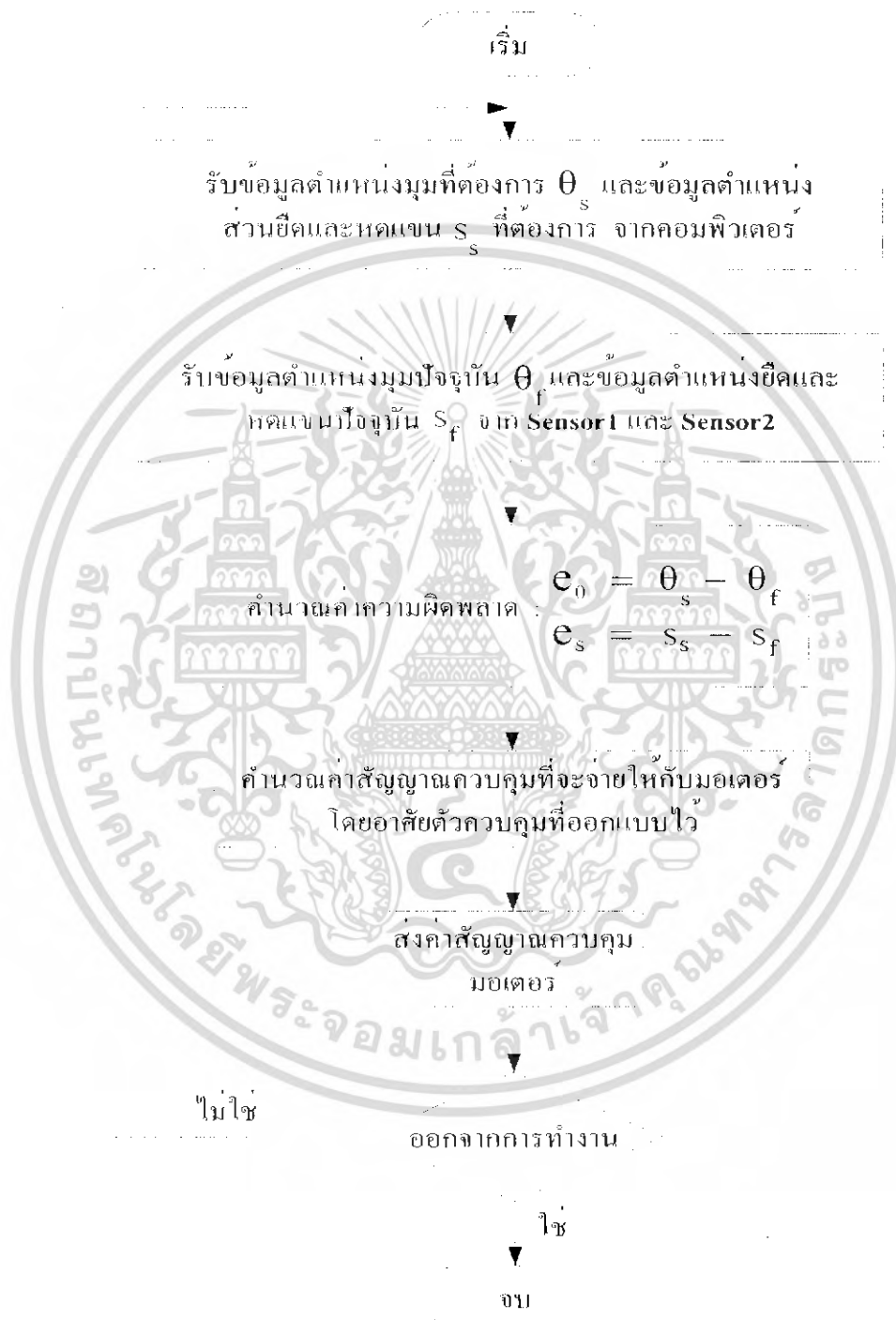
**Computer** : คอมพิวเตอร์ มีการทำงานตามขั้นตอนดังอธิบายในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แผนผังการทำงานของคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Microcontroller PIC1 และ PIC2** : ไมโครคอนโทรลเลอร์ มีรายละเอียดและข้อมูลต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังจะกล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 4.3 ซึ่งมีการทำงานตามขั้นตอนดังอธิบายในรูปที่ 4.3



**รูปที่ 4.3** แผนผังการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC1 และ PIC2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Microcontroller PIC3** : ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นชนิดเดียวกับกับ **Microcontroller PIC1** และ **PIC2** ซึ่งมีรายละเอียดและข้อมูลเช่นเดียวกัน มีการทำงานตามขั้นตอนดังอธิบายในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แผนผังการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**D/A Converter** : วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกขนาด 8 บิต จะรับสัญญาณดิจิทัลจากพอร์ตเอาต์พุตขนาด 8 บิต ของไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วแปลงเป็นสัญญาณอนาล็อกส่งให้กับวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งรายละเอียดของวงจรและผลการทดลองต่างๆของ **D/A Converter** จะกล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 4.5.2

**Amplifier** : วงจรขยายสัญญาณ จะรับสัญญาณอนาล็อกจากเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกมาขยายสัญญาณตามอัตราขยายของวงจร เพื่อจ่ายเป็นสัญญาณขับมอเตอร์ให้กับ **Driver**

**Driver** : วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง การออกแบบและหลักการทำงานได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 3.2

**M** : มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จะรับแรงดันจากวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเป็นส่วนในการเคลื่อนที่ของแกนกล รายละเอียดและข้อมูลต่างๆ ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 3.1

**Sensor1** : อุปกรณ์วัด จะวัดระยะทางเคลื่อนที่ในส่วนการยึดและหยดแกน ซึ่งจ่ายเอาต์พุตออกมาเป็นค่าของแรงดันไฟฟ้า รายละเอียดของอุปกรณ์และผลการทดลองต่างๆจะกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.5.1

**Sensor2** : อุปกรณ์วัด จะวัดระยะทางของการหมุนแกน จ่ายเอาต์พุตออกมาเป็นค่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง รายละเอียดของอุปกรณ์และผลการทดลองต่างๆจะกล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 4.5.2

**Driver1** : วงจรขับเคลื่อนโซลินอยด์ หลักการทำงานและรายละเอียดของวงจรได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.3

**Solenoid** : โซลินอยด์ เป็นอุปกรณ์ในส่วนของไม้มือ รายละเอียดข้อมูลของโซลินอยด์และส่วนของไม้มือได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.1.4 และ 2.2.3

### 4.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ไอซี ที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้ซับซ้อนสามารถรับข้อมูลในรูปสัญญาณดิจิทัลเข้าไปทำการประมวลผลแล้วส่งผลลัพธ์ข้อมูลดิจิทัลออกมาเพื่อนำไปใช้งานตามที่ต้องการได้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ภายในชิปจะมีหน่วยประมวลผล หน่วยความจำและพอร์ต (Port) อยู่ในชิปเพียงตัวเดียวซึ่งอาจเรียกด่วนเป็นคอมพิวเตอร์ชิปเดี่ยว ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ชนิดหนึ่ง เช่นเดียวกับหน่วยประมวลผลกลาง (CPU : Central Processing Unit) ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ แต่ได้รับการพัฒนาแยกออกมาภายหลังเพื่อนำไปใช้ในวงจรทางด้าน

งานควบคุม ล้อมถนนที่ในการใช้วงจะส่งลัด วงจรภายนอกส่งเพิ่มเติมเช่นเดียวกับที่เราใช้งานเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครโปรเซสเซอร์ ก็จะทำการรวมวงจรที่จำเป็น เช่น หน่วยความจำ ส่วนอินพุต/เอาต์พุต บางส่วนเข้าไปในตัวไอซีเดียวกัน และเพิ่มวงจรบางอย่างเข้าไปด้วยเพื่อให้มีความสามารถเหมาะสมกับการใช้ในงานควบคุม เช่น วงจรตั้งเวลา วงจรการสื่อสารอนุกรม วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล เป็นต้น สรุปคือ

Microcontroller = Microprocessor + Memory + I/O

ไมโครคอนโทรลเลอร์มีการนำไปประยุกต์ใช้งานกันอย่างกว้างขวาง โดยมักจะเป็นการนำไปฝัง (Embedded) ในระบบของอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อควบคุมการทำงานบางอย่าง อาทิ ในรถยนต์ เตารีด ไมโครเวฟ เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้าอัตโนมัติ นาฬิกาดิจิทัล เป็นต้น เพราะว่าไมโครคอนโทรลเลอร์มีข้อดีเหมาะสมต่อการใช้งานควบคุมหลายประการ

- ชีพไอซีและระบบที่ได้มีขนาดเล็ก
- ระบบที่ได้มีราคาถูกกว่าการใช้ชิพไมโครโปรเซสเซอร์
- วงจรที่ได้จะมีความซับซ้อนน้อย ช่วยลดข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในการต่อวงจร
- มีคุณสมบัติเพิ่มเติมสำหรับงานควบคุมโดยเฉพาะ ซึ่งใช้งานได้ง่าย
- ช่วยลดระยะเวลาในการพัฒนาระบบได้

ไมโครคอนโทรลเลอร์มีหลายยี่ห้อ หลายตระกูล และหลายเบอร์ด้วยกัน ซึ่งแต่ละเบอร์ก็จะมีโครงสร้างภายในและความสามารถในการทำงานที่แตกต่างกันทำให้เลือกใช้ก็งานได้อย่างเหมาะสม

ในโครงการนี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล PIC (Peripheral Interface Controller) เบอร์ PIC16F877 เพราะมีคุณสมบัติที่ต้องการในโครงการนี้ และง่ายต่อการโปรแกรมควบคุม

#### คุณสมบัติทั่วไปของ PIC16F877

- 35 Instruction คำสั่ง
- ปฏิบัติคำสั่งทั่วไปใน Cycle เดียว และ 2 Cycle ในคำสั่งการกระโดด
- ทำงานที่ความถี่สูงสุด 20 MHz (16F877-20/P)
- หน่วยความจำโปรแกรม 8 กิโลไบต์ (โดยข้อมูล 1 ไบต์ มี 14 บิต)
- หน่วยความจำข้อมูล (RAM) 368 ไบต์
- EPROM 256 ไบต์
- สามารถตอบสนองอินเทอร์รัพท์ 14 แห่ง
- STACK 8 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

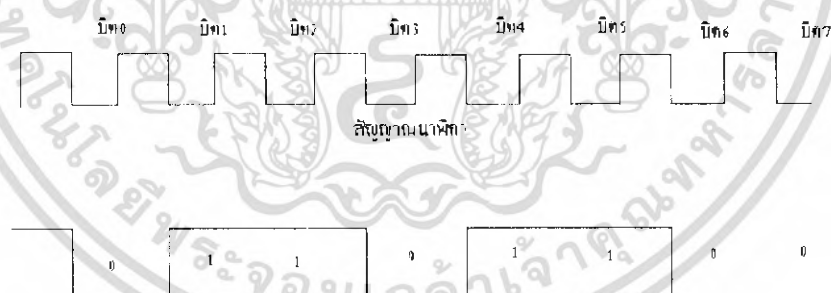
- กระแสหึ่งซิงก์ และซอร์สของพอร์ต คือ 25 mA
- Timer/Counter 3 ตัว Timer0 Timer1 และ Timer2
- โมดูล Capture/Compare/PWM จำนวน 2 ชุด
- เจนรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 10 บิต 8 ช่องรับสัญญาณ
- พอร์ต I/O จำนวน 5 พอร์ต คือ พอร์ต A B C D และ E รวมทั้งสิ้น 33 บิต

#### 4.4 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกโดยผ่านพอร์ตอนุกรม

การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมนั้นแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือการสื่อสารแบบซิงโครนัส และการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส

##### 4.4.1 การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัสจะมีสัญญาณนาฬิกา ร่วมอยู่กับการรับและส่งสัญญาณด้วยการติดต่อกันแบบนี้จะต้องใช้สายในการเชื่อมต่ออย่างน้อยที่สุด 3 เส้นคือ สัญญาณนาฬิกา ข้อมูล และ กราวด์ ข้อดีของการสื่อสารแบบนี้ ก็คือสามารถควบคุมให้เครื่องส่งและเครื่องรับทำงานได้พร้อมกันอย่างถูกต้อง ซึ่งทางเครื่องรับสามารถแปลรหัสข่าวสาร ได้ถูกต้องตรงตามข้อมูลที่ส่งจากเครื่องส่ง การส่งสัญญาณแบบนี้มีใช้ทั่วไปในเครื่องรับและส่งที่มีความเร็วสูง แสดงดังรูปที่ 4.5

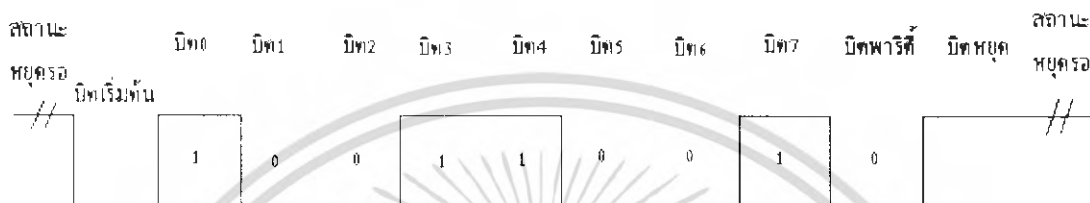


รูปที่ 4.5 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.4.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส คือการรับส่งข้อมูลไปในสายโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกาพร้อม แต่จะใช้การกำหนดเลขของสัญญาณนาฬิกาทั้งในการรับและการส่งข้อมูล ให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกสัญญาณนาฬิกานี้ว่า อัตราการถ่ายข้อมูล หรือ บอดเรต (Baud Rate) มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที (bit per second : bps) แสดงดังรูปที่ 4.6



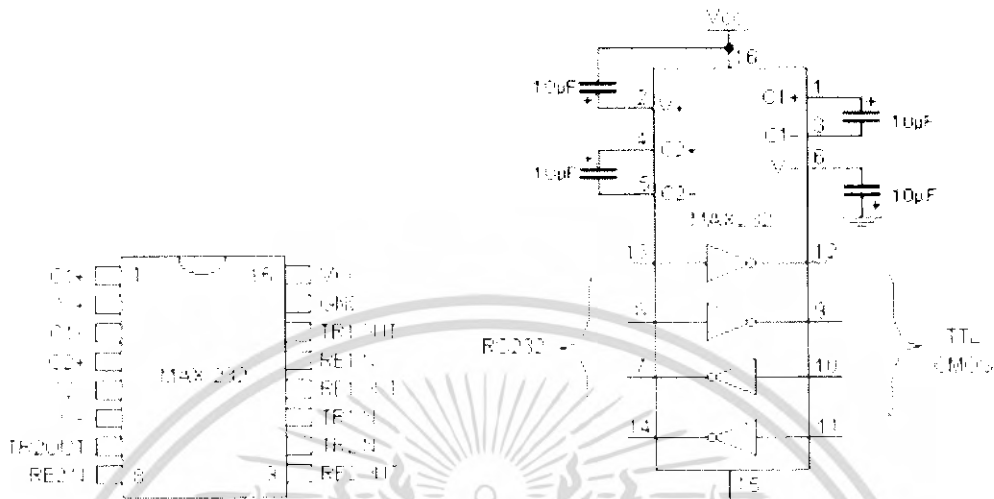
รูปที่ 4.6 การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

มาตรฐานพอร์ตอนุกรม RS232 ในโรงงานนี้จะต้องติดต่อกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยผ่านพอร์ตอนุกรม ในที่นี้จึงขอกำหนดถึงการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส ซึ่งเป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลอนุกรมอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยได้กำหนดรูปแบบของอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment : DTE) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminating : DCE) ไว้ว่า อุปกรณ์ DTE ต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัว ส่วนอุปกรณ์ DCE จะทำหน้าที่รับส่งข้อมูลที่ได้รับมาจาก DTE เท่านั้น

ขาสัญญาณเอาต์พุตของพอร์ตอนุกรม ได้แก่ ขา DTR RTS และ TxD โดยรีจิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ควบคุมขาเหล่านี้คือรีจิสเตอร์ควบคุมโมเด็ม (MCR) โดยมีแอดเดรสอยู่ถัดจากรีจิสเตอร์หลักของพอร์ตอนุกรม 4 ตำแหน่ง รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของขา DTR อยู่ที่ตำแหน่งบิต 0 ขา RTS อยู่ที่ตำแหน่งบิต 1 และขา TxD เป็นขาปกติในการส่งข้อมูล ดังนั้นจึงมีแอดเดรส อยู่ที่แอดเดรสรีจิสเตอร์หลัก

ระดับแรงดันที่ใช้งานสำหรับพอร์ตอนุกรม RS232 ได้ระบุช่วงระดับแรงดัน สำหรับการ ทำงานของพอร์ตอนุกรมไว้ว่า ที่ลอจิก "0" จะมีระดับสัญญาณ -3 โวลต์ ถึง +15 โวลต์ ส่วน ลอจิก "1" จะมีระดับสัญญาณ -3 โวลต์ ถึง -15 โวลต์ ระดับสัญญาณนี้ไม่สามารถที่จะนำไปต่อ เข้ากับลอจิกเกตใดใช้งานได้โดยตรง จะต้องผ่านวงจรเพื่อเปลี่ยนระดับแรงดันเสียก่อน โดยปกติจะใช้ ไอซีจำพวก RS232 ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงระดับแรงดันของ RS232 ให้อยู่ในระดับที่ที่เกต โดย ลอจิก "0" ซึ่งเดิมมีระดับสัญญาณ -3 โวลต์ ถึง +15 โวลต์ จะถูกแปลงเป็น 0 โวลต์ ส่วนลอจิก "1" ซึ่งมีระดับสัญญาณ -3 โวลต์ ถึง -15 โวลต์ จะถูกแปลงเป็น 5 โวลต์ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

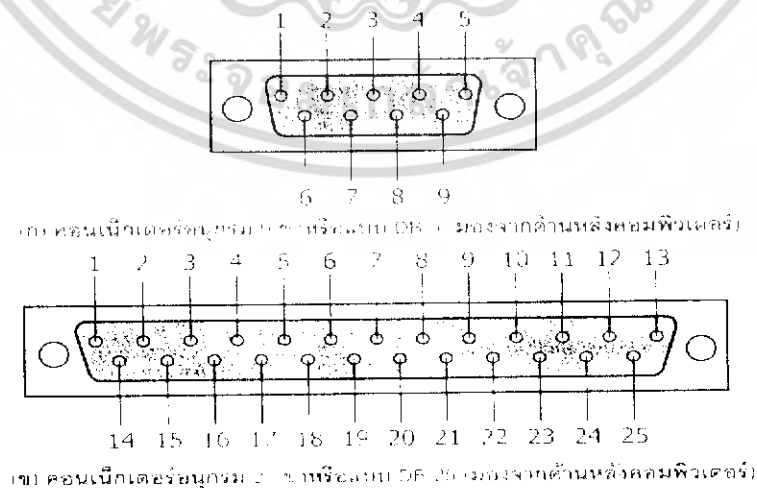
เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ดิจิทัลอื่นที่ใช้ระดับแรงดันที่ที่แอลได้จึงจำเป็นต้องใช้ IC MAX232 ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ไอซี MAX232

**4.4.3 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS232 และการเชื่อมต่อ**

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS232 จะใช้คอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 ตัวผู้ หรือ DB-9 ตัวผู้ ซึ่งคอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 จะมีขั้วต่อใช้งานเพียง 9 เส้น เช่นเดียวกับคอนเน็กเตอร์แบบ DB-9 เนื่องจากขาอื่นๆ ที่เคยใช้งานในอดีต ปัจจุบันมีการใช้งานไม่มากนัก จึงถูกยกเลิกไป โดยแสดงรูปร่างและตำแหน่งขาในรูปที่ 4.8 และรายละเอียดดังตารางที่ 4.1

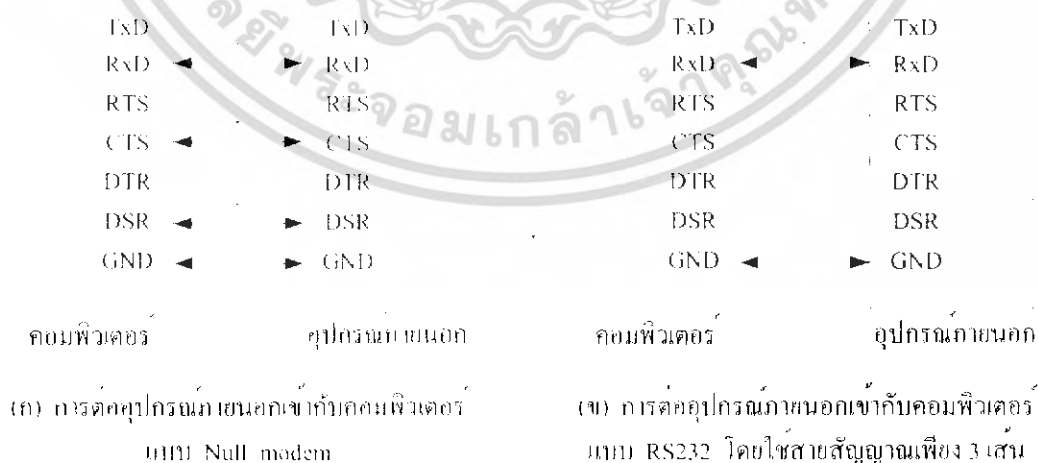


เอกสารรูปที่ 4.8 สกรีนจากหนังสือของศูนย์บริการข้อมูลเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อย่างไรก็ตามขอแจ้งให้ทราบว่ากรณียุค ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตำแหน่งขาของคอนเน็กเตอร์พอร์ตมาตรฐาน RS232 แบบ DB-9 และ DB-25

คอนเน็กเตอร์ DB-9	คอนเน็กเตอร์ DB-25	ชื่อของสายสัญญาณ	ชนิดของ สายสัญญาณ
1	8	Data Carrier Detect : DCD	อินพุต
2	3	Received Data :RxD	อินพุต
3	2	Transmitted Data : TxD	เอาต์พุต
4	20	Data Terminal Ready : DTR	เอาต์พุต
5	7	Signal Ground : GND	-
6	6	Data Set Ready : DSR	อินพุต
7	4	Request To Send : RTS	เอาต์พุต
8	5	Clear To Send : CTS	อินพุต
9	22	Ring Indicator : RI	อินพุต

สำหรับการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกแสดงดังรูปที่ 4.9 ลูกศรในรูปแสดงถึงทิศทางของข้อมูล ในรูปที่ 4.9(a) เป็นการเชื่อมต่อแบบ Null modem หรือการเชื่อมต่อโดยตรงโดยไม่ต้องผ่านโมเด็ม โดยมีการตรวจสอบหรือเส้นเช็คเต็มรูปแบบ ส่วนในรูปที่ 4.9(ข) เป็นการเชื่อมต่อแบบ RS232 ในลักษณะที่ใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้น โดยเส้นหนึ่งสำหรับส่งข้อมูล อีกเส้นหนึ่งสำหรับรับข้อมูล และเส้นสุดท้ายเป็นกราวด์



รูปที่ 4.9 การต่ออุปกรณ์ภายนอกกับพอร์ตมาตรฐานของคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.4 หน้าที่การทำงานแต่ละขาของพอร์ตอนุกรม RS232

จากตารางที่ 4.1 ตำแหน่งขาของคอนเน็คเตอร์พอร์ตอนุกรมมาตรฐาน RS232 ทั้งแบบ DB-9 และ DB-25 ในแต่ละขาเห็น มีหน้าที่การทำงานที่แตกต่างกัน โดยการทำงานในแต่ละขาสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

- Data Carrier Detect : DCD หรืออาจเรียกว่า Carrier Detect : CD ขานี้จะแอกทีฟเมื่อมีการส่งสัญญาณพาห์จากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล เช่น โมเด็ม สำหรับการใช้งานปกติขานี้จะไม่ได้ถูกใช้งานมากนัก
- Received Data : RD หรือ RxD ขานี้ใช้เพื่อรับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่อ่านได้เก็บไว้ในเรจิสเตอร์บัฟเฟอร์
- Transmitted Data : TD หรือ TxD ขานี้ใช้เพื่อส่งข้อมูลออกจากคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล
- Data Terminal Ready : DTR เป็นขาสัญญาณที่ส่งออกจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่า ต้องการติดต่อด้วย โดยขา DTR นี้จะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของอุปกรณ์ปลายทาง และขา DTR ของอุปกรณ์ปลายทางจะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของคอมพิวเตอร์ ถ้าใช้การเชื่อมต่อแบบ Null Modem ซึ่งใช้สายในการเชื่อมต่อเพียง 3 เส้น จะต้องต่อขา DTR และ DSR ของตัวมันเองเข้าด้วยกัน และต้องต่อกับขา DCD ด้วย ในกรณีที่โปรแกรมสื่อสารที่ใช้มีการตรวจจ้งสัญญาณพาห์
- Signal Ground : GND ขากราวด์ของระบบ
- Data Set Ready : DSR ขานี้จะใช้คู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DSR นี้จะเป็นขาสำหรับรับข้อมูลจากภายนอกซึ่งถูกส่งมาจากขา DTR
- Request To Send : RTS เป็นขาสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้ทางอุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมายังคอมพิวเตอร์ โดยขาที่รับสัญญาณ RST ก็คือ ขา CTS ในกรณีที่ใช้การเชื่อมต่อแบบ Null modem 3 สาย จะต้องเชื่อมต่อกับขา RTS และ CTS ของตัวมันเองเข้าด้วยกัน เพื่อให้การรับและส่งข้อมูลสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา
- Clear To Send : CTS ขานี้จะคอยรับสัญญาณจากขา RTS เมื่อรับสัญญาณได้ข้อมูลที่ขา TxD จะถูกส่งออกไป ดังนั้นขานี้จึงถูกใช้เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่
- Ring Indicator : RI ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ ปกติในการสื่อสารโดยทั่วไปสายนี้จะไม่ถูกใช้งาน จะใช้งานก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมต่อกับ โมเด็มและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เป็นกรรมสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.5 วงจรแปลงสัญญาณ

ในการออกแบบระบบควบคุมที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมแกนกล ซึ่งรับสัญญาณป้อนกลับเป็นสัญญาณอนาล็อก และส่งสัญญาณควบคุมเป็นดิจิทัล จึงจำเป็นต้องมีวงจรแปลงสัญญาณด้วยกันสองส่วนคือ

### 4.5.1 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

จากสัญญาณป้อนกลับที่เป็นสัญญาณอนาล็อก โดยระดับแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณป้อนกลับอยู่ในช่วง 0 โวลต์ ถึง +5 โวลต์ จึงจำเป็นต้องมีวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลได้ ซึ่งโครงการนี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ที่ได้ผนวกโมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลไว้ด้วยภายใน มีความละเอียด 10 บิต 8 ช่องรับสัญญาณ ในการนำไปใช้งานจริงได้ใช้แรงดันอ้างอิงเท่ากับ 5 โวลต์ ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งคิดเป็นค่าความละเอียดของแรงดันได้เท่ากับ  $5/1023$  หรือประมาณ 0.004888 โวลต์

ในที่นี้ได้ทำการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการอ่านค่าสัญญาณป้อนกลับ ดังมีผลการทดลองในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองอ่านค่าสัญญาณป้อนกลับของไมโครคอนโทรลเลอร์

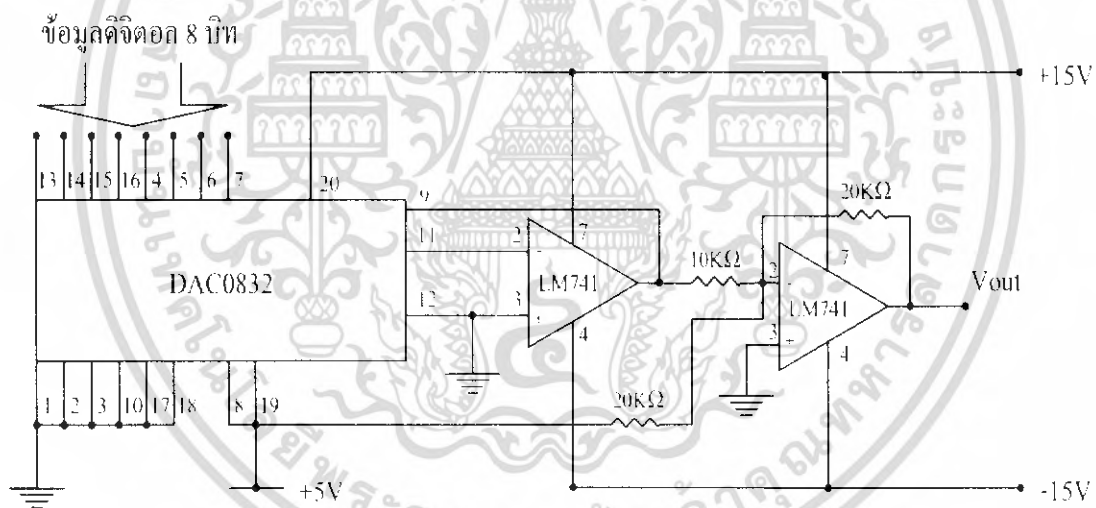
สัญญาณป้อนกลับ (V)	ค่าที่อ่านได้ของไมโครคอนโทรลเลอร์ (เลขฐานสิบ )				ค่าความแตกต่าง
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	
5	1023	1022	1021	1023	2
4.5	920	921	920	919	2
4	818	816	819	817	3
3.5	716	715	716	717	2
3	613	611	610	613	3
2.5	511	510	509	511	2
2	409	407	408	409	2
1.5	306	306	305	306	2
1	204	203	204	204	1
0.5	102	101	100	102	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าค่าความแตกต่างมีค่าสูงสุดเท่ากับ 3 ซึ่งสามารถคำนวณค่าความผิดพลาดสูงสุดได้เท่ากับ  $\frac{5}{1023} \times 3 = 0.014663$  โวลต์ ซึ่งยังเป็นค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ เมื่อเทียบกับขนาดของลูกชั่ง

**4.5.2 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก**

เนื่องจากสัญญาณความคุมที่จ่ายให้กับวงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) ดังรูปที่ 4.1 ต้องเป็นสัญญาณต่อเนื่อง แต่ไมโครคอนโทรลเลอร์จ่ายสัญญาณควบคุมเป็นสัญญาณดิจิทัลจึงจำเป็นต้องมีวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก ซึ่งในโครงการนี้ได้ใช้อุปกรณ์ไอซี เบอร์ DAC0832 เป็นตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกขนาด 8 บิต เพื่อให้ได้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการ (ระดับแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง 5 โวลต์ ถึง -5 โวลต์) ภายในวงจรต้องเพิ่มออปแอมป์ ซึ่งเลือกใช้เบอร์ LM741 และตัวต้านทาน (ชนิดค่าความผิดพลาด 1 เปอร์เซ็นต์) เพื่อความแม่นยำของแรงดันเอาต์พุต (Vout) ดังเป็นวงจร ดังรูปที่ 4.10



**รูปที่ 4.10** วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก

แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต Vout สามารถคำนวณ ดังสมการนี้

$$V_{out} = 5 \times \frac{Digital - 128}{128}$$

โดย Digital คือ ค่าข้อมูลดิจิทัล ขนาด 8 บิต เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้เฉพาะการศึกษานั่น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้ได้ทำการทดลองวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก ให้รับค่าข้อมูลดิจิทัลขนาด 8 บิต จากไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วทำการวัดแรงดันเอาต์พุต  $V_{out}$  ซึ่งได้ผลการทดลองดังในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณต่อเนื่อง

ข้อมูลดิจิทัล (เลขฐานสิบ)	การทดลอง $V_{out}$ (V)	การคำนวณ $V_{out}$ (V)	ค่าความแตกต่าง
0	-5.076	-5.07	0.006
15	-4.482	-4.476	0.006
30	3.887	-3.882	0.005
45	3.294	-3.288	0.006
60	-2.74	-2.693	0.047
75	-2.103	-2.1	0.003
90	-1.51	-1.505	0.005
105	-0.915	-0.911	0.004
120	-0.319	-0.317	0.002
135	0.278	0.277	0.001
150	0.873	0.871	0.002
165	1.468	1.461	0.007
180	2.063	2.06	0.003
195	2.657	2.654	0.003
210	3.252	3.248	0.004
225	3.847	3.842	0.005
240	4.442	4.436	0.006
255	5.036	5.03	0.006

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต  $V_{out}$  ที่ได้จากการทดลองนั้น มีค่าความผิดพลาดน้อยมาก ดังนั้นจึงสามารถนำไปจ่ายให้กับวงจรขยายสัญญาณได้เลย

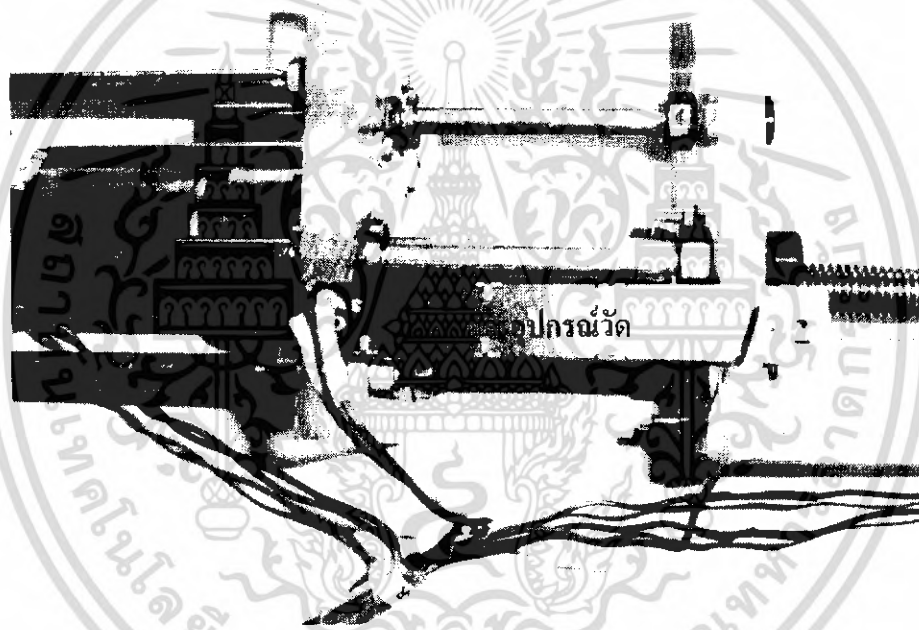
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.6 อุปกรณ์วัด

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดสัญญาณป้อนกลับ ซึ่งในโครงงานนี้ได้ใช้อุปกรณ์วัดด้วยกันสองส่วน คือ

### 4.6.1 อุปกรณ์วัดระยะการเคลื่อนที่ในส่วนการยึดและหดแขน

ใช้ตัวต้านทานปรอทได้แก่เปลี่ยนขนาด 10 กิโลโอห์ม เป็นอุปกรณ์วัดที่ใช้ในการวัดสัญญาณป้อนกลับ ที่เป็นระยะการเคลื่อนที่ในส่วนการยึดและหดแขน ซึ่งมีเกาท์พุดเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า โดยมีลักษณะของตัวอุปกรณ์วัด และการติดตั้ง ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ลักษณะของตัวอุปกรณ์วัดและการติดตั้ง ในส่วนการยึดและหดแขน

ในที่นี้ได้ทำการทดลอง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า ซึ่งเป็นเอาท์พุทของอุปกรณ์วัด กับระยะการเคลื่อนที่ในส่วนการยึดและหดแขน

เมื่อทำการทดลองหาความสัมพันธ์ดังกล่าว จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4 และนำค่าเฉลี่ยที่ได้จากตารางนี้ ไปคำนวณหาสมการความสัมพันธ์

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองวัดระยะการเคลื่อนที่ในส่วนการยืดและหดแขน

ระยะการเคลื่อนที่ (cm)	ค่าระดับแรงดัน (V) ครั้งที่ 1	ค่าระดับแรงดัน (V) ครั้งที่ 2	ค่าระดับแรงดัน (V) ครั้งที่ 3	ค่าระดับแรงดันเฉลี่ย (V)
0	0.513	0.511	0.510	0.511
0.5	0.990	0.989	0.987	0.989
1	1.466	1.463	1.464	1.464
1.5	1.942	1.943	1.940	1.942
2	2.418	2.419	2.417	2.418
2.5	2.895	2.892	2.896	2.894
3	3.371	3.372	3.373	3.372
3.5	3.847	3.849	3.845	3.847
4	4.324	4.323	4.325	4.324
4.5	4.8	4.802	4.798	4.8

จากตารางที่ 4.4 แสดงว่าระดับแรงดันไฟฟ้าจากความต้านทานปรับค่าได้แบบเลื่อนสามารถบอกถึงระยะการเคลื่อนที่ของแขนกล โดยมีค่าความผิดพลาดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อเทียบกับขนาดของลูกช้อน ดังนั้นจึงสามารถนำมาเป็นอุปกรณ์วัดเพื่อส่งสัญญาณป้อนกลับไปยังส่วนประมวลผลได้ และค่าเฉลี่ยในตารางนี้ สามารถนำมาคำนวณหาสมการเส้นตรง ได้ดังนี้

$$y = 0.953x - 0.512$$

โดย  $y$  คือแรงดันไฟฟ้า (V)

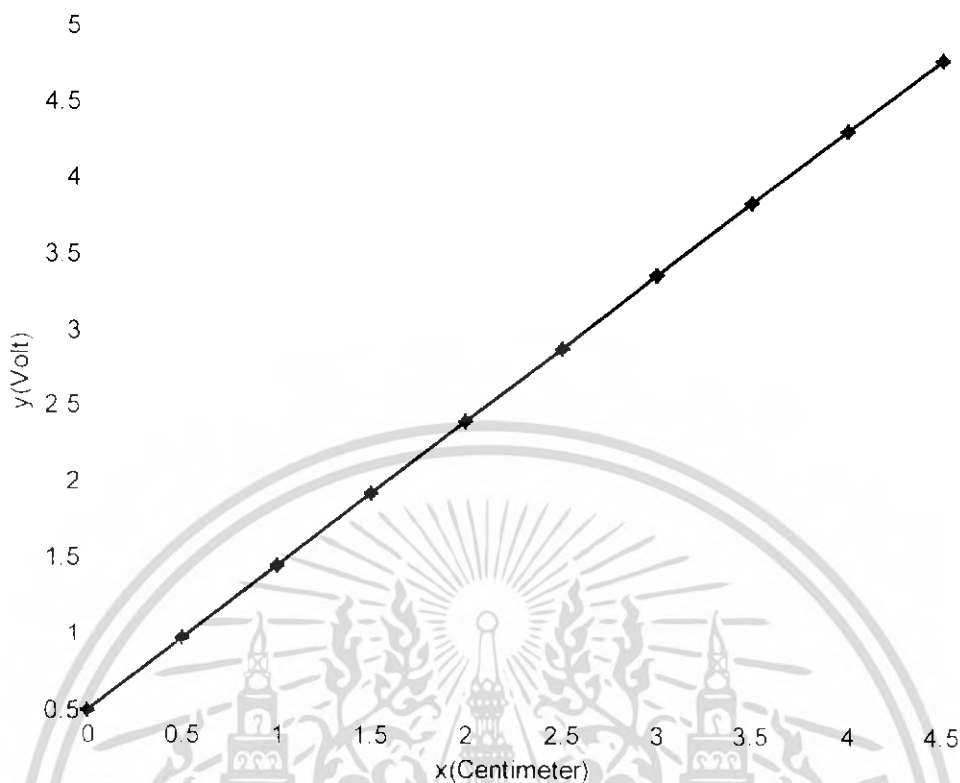
$x$  คือระยะการเคลื่อนที่ (cm)

ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 4.12

หรือในทางกลับกัน เมื่อได้อำนาจของแรงดันไฟฟ้า  $y$  ก็สามารถย้อนกลับเพื่อคำนวณหา ระยะทางการเคลื่อนที่  $x$  ที่สอดคล้องกันได้เป็น

$$x = 1.049y + 0.537$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้ากับระยะการเคลื่อนที่

#### 4.6.2 อุปกรณ์วัดมุมการเคลื่อนที่ใน ส่วนการหมุนแขน

ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบหมุนขนาด 10 กิโลโอห์ม เป็นอุปกรณ์วัดที่ใช้ในการวัดสัญญาณป้อนกลับ ที่เป็นมุมการเคลื่อนที่ใน ส่วนการหมุนแขน ซึ่งมีเอาต์พุตเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า โดยมีลักษณะของตัวอุปกรณ์วัด และการติดตั้ง ดังรูปที่ 4.13



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้ลักษณะการตั้งรูปเพื่ออธิบายของที่ตั้งไป ในส่วนการหมุนแขน  
รูปที่ 4.13 ลักษณะการตั้งตัวอุปกรณ์วัดและการติดตั้ง ในส่วนการหมุนแขน  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบที่นี้ได้ทำการทดลอง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า (เอาท์พุทของอุปกรณ์วัด) กับมุมการเคลื่อนที่ ใบส่วนการหมุนแขน

เมื่อนำการทดลองหาความสัมพันธ์ดังกล่าว จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.5 และนำค่าเฉลี่ยที่ได้จากตารางนี้ ไปคำนวณหาสมการความสัมพันธ์

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองวัดมุมการเคลื่อนที่ในส่วนการหมุนแขน

มุมการเคลื่อนที่ (องศา)	ค่าระดับแรงดัน	ค่าระดับแรงดัน	ค่าระดับแรงดัน	ค่าระดับแรงดัน
	(V) ครั้งที่ 1	(V) ครั้งที่ 2	(V) ครั้งที่ 3	เฉลี่ย (V)
0	0.093	0.090	0.093	0.092
45	0.787	0.785	0.788	0.787
90	1.481	1.481	1.483	1.482
135	2.175	2.177	2.174	2.175
180	2.868	2.865	2.867	2.867
225	3.562	3.560	3.560	3.561
270	4.256	4.254	4.253	4.254
315	4.950	4.951	4.952	4.951

จากตารางที่ 4.5 แสดงว่าระดับแรงดันไฟฟ้าจากความต้านทานรับค่าได้แก่มุม สามารถบอกถึงมุมการเคลื่อนที่ของแกนกล โดยมีความผิดพลาดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อเทียบกับขนาดของลูกม้วน ดังนั้นจึงสามารถนำมาเป็นอุปกรณ์วัดเพื่อส่งสัญญาณป้อนกลับไปยังส่วนประมวลผลได้ และค่าเฉลี่ยในตารางนี้ สามารถนำมาคำนวณหาสมการเส้นตรง ได้ดังนี้

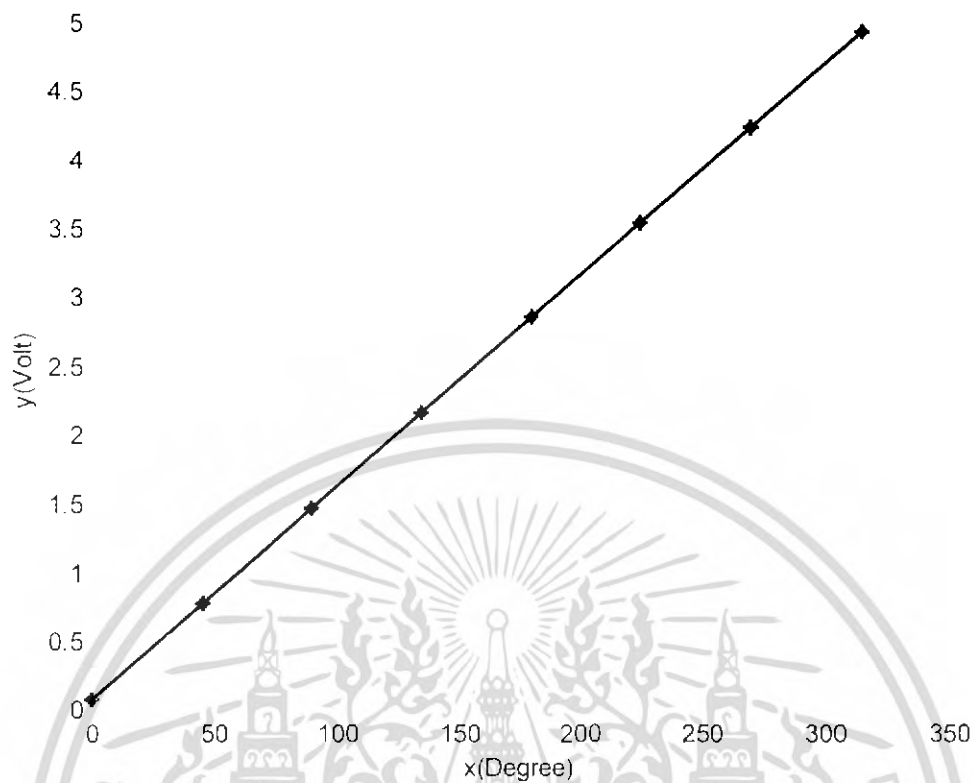
$$y = 0.0154x + 0.093$$

โดย  $y$  คือแรงดันไฟฟ้า (V)

$x$  คือมุมการเคลื่อนที่ (องศา)

ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้ากับมุมการเคลื่อนที่

หรือในทางกลับกัน เมื่อได้ค่าวัดของแรงดันไฟฟ้า  $y$  ก็สามารถย้อนกลับเพื่อคำนวณหามุมการเคลื่อนที่  $x$  ที่สอดคล้องกันได้เป็น

$$x = 64.935y - 6.039$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### ทฤษฎีตัวควบคุม

ตัวควบคุม เป็นส่วนประกอบหนึ่งในระบบควบคุมแบบป้อนกลับ ซึ่งมีสัญญาณความผิดพลาดเป็นอินพุตและมีเอาต์พุตเป็นอินพุตของอุปกรณ์ขับสำหรับพลานท์ (Plant) ที่ต้องการควบคุม ส่วนนี้จะกล่าวถึงวิธีการเลือกใช้ตัวควบคุมที่เหมาะสมกับระบบควบคุมแบบป้อนกลับและวิธีการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุม โดยที่ ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของตัวควบคุม นิยมเรียก กฎการควบคุม (Control Law) โดยในโครงการนี้มี 5 รูปแบบด้วยกัน คือ

1. ระบบควบคุมแบบเปิด-ปิด
2. ระบบควบคุมแบบพี
3. ระบบควบคุมแบบพีไอ
4. ระบบควบคุมแบบพีไอดี
5. ระบบควบคุมแบบพีไอ-ลาซึย-แอนด์-ไวต์-อ็อป

อย่างไรก็ตามในการปรับปรุงสมรรถนะของระบบควบคุมยังสามารถทำได้โดยการใช้ตัวควบคุมแบบอื่นหรือส่วนประกอบอื่นเพิ่มเติมเข้าไปในระบบควบคุม

#### 5.1 ระบบควบคุมแบบเปิด-ปิด

ในระบบควบคุมแบบเปิด-ปิด เอาต์พุตของตัวควบคุม  $u(t)$  จะขึ้นอยู่กับอินพุตของตัวควบคุม และถ้ากำหนดสัญญาณอินพุตให้กับตัวควบคุมเป็น ค่าความผิดพลาด  $e(t)$  ซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลา จะได้

$$u(t) = \begin{cases} u_{\max} & : e(t) > 0 \\ 0 & : e(t) = 0 \\ u_{\min} & : e(t) < 0 \end{cases} \quad (5.1)$$

โดยที่

$u_{\max}$  คือ ค่าอิมิตัวตรงด้านบนของ  $u(t)$

$u_{\min}$  คือ ค่าอิมิตัวตรงด้านล่างของ  $u(t)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบางกรณีอาจกำหนดให้ยอมรับค่าความผิดพลาด เพื่อป้องกันการแกว่งของสัญญาณในระบบ โดยหากค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เป็น  $\varepsilon$  จะได้เอาต์พุตของตัวควบคุมเป็น

$$u(t) = \begin{cases} u_{\max} & ; e(t) > 0 \\ 0 & ; -\varepsilon < e(t) < \varepsilon \\ u_{\min} & ; e(t) < -\varepsilon \end{cases} \quad (5.2)$$

## 5.2 ระบบควบคุมแบบพี (P: Proportional Control)

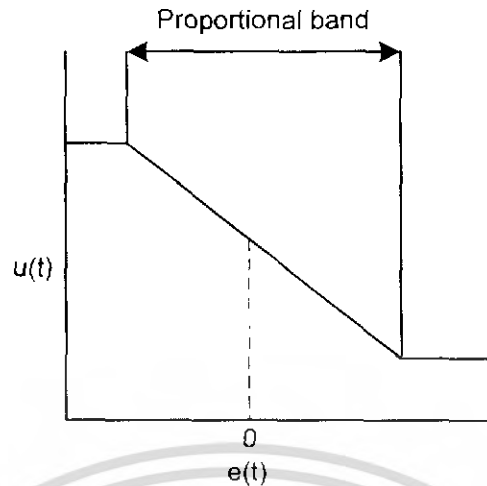
ในระบบควบคุมแบบพี เอาต์พุตของตัวควบคุมจะเป็นสัดส่วนกับอินพุตของตัวควบคุม และถ้ากำหนดสัญญาณอินพุตให้กับตัวควบคุมเป็นค่าความผิดพลาด ซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลา จะได้

$$u(t) = K_p e(t) \quad (5.3)$$

เมื่อ  $K_p$  เป็นค่าคงที่ เรียกว่า อัตราขยายแบบสัดส่วน (Proportional Gain) จะพบว่าเอาต์พุตที่ออกจากตัวควบคุมแบบพี เป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของความผิดพลาดในขณะที่กำลังพิจารณา ทำให้ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุม  $G_c(s)$  มีค่าเป็น

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad (5.4)$$

ดังนั้นการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบนี้จะเป็นเพียงการขยายสัญญาณความผิดพลาดเท่านั้น การที่ได้สัญญาณความผิดพลาดขนาดใหญ่ที่เวลาหนึ่ง ก็จะทำให้เกิดเอาต์พุตที่มีขนาดใหญ่จากตัวควบคุมในเวลานั้น อย่างไรก็ตามการให้อัตราขยายคงที่นั้นในทางปฏิบัติอาจกำหนดไว้ในบางช่วงของสัญญาณความผิดพลาดเท่านั้น หรืออาจกำหนดให้ตัวควบคุมมีค่าเอาต์พุตไม่น้อยกว่าค่าค่าหนึ่งและไม่มากเกินกว่าค่าค่าหนึ่งก็ได้ ซึ่งการกำหนดช่วงจำกัดของเอาต์พุตจะมีลักษณะดังรูปที่ 5.1 และการกำหนดเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบพี ช่วงที่มีการกำหนดสัดส่วนนี้ จะเรียกว่า Proportional Band

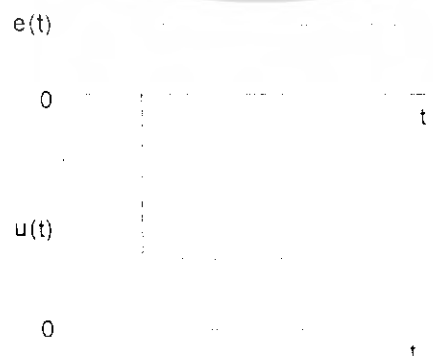


รูปที่ 5.1 การกำหนดช่วงจำกัดของเอาต์พุต

การกำหนด Proportional Band นี้ จะช่วยให้สัญญาณเอาต์พุตมีค่าจำกัดไม่ไปสู่อันต์ ทั้งทางด้านบวกและทางด้านลบ และเมื่อตัวควบคุมมีเอาต์พุตสูงที่สุดที่เป็นไปได้ค่าหนึ่ง ก็นิยมที่จะ กำหนดเอาต์พุตค่าใด ๆ เป็นร้อยละของค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าเอาต์พุตของ ตัวควบคุม 100% ก็หมายถึงว่าเอาต์พุตจะเปลี่ยนจากค่าต่ำสุดที่เป็นไปได้ ไปเป็นค่าสูงสุดที่เป็นไป ได้ ซึ่งจะได้ว่า

$$K_p = \frac{100}{\text{proportional band}} \quad (5.5)$$

เนื่องจากเอาต์พุตของตัวควบคุมจะเป็นสัดส่วนกับอินพุต ดังนั้น ถ้าหากอินพุตมีลักษณะ เป็นสัญญาณระดับ (Step) เอาต์พุตที่ได้ก็จะมีลักษณะเป็นสัญญาณระดับเช่นกัน โดยลักษณะของ กราฟแสดงอินพุตและเอาต์พุตจะมีสัดส่วนที่แน่นอนค่าหนึ่ง ดังรูปที่ 5.2 โดยรูปนี้แสดงถึงการ ตอบสนองของตัวควบคุม เมื่ออินพุตอยู่ในช่วง Proportional Band



รูปที่ 5.2 ผลการตอบสนองของตัวควบคุมแบบพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติตัวควบคุมแบบพีนี้มีลักษณะเหมือนกับเครื่องขยายสัญญาณรูปแบบหนึ่ง ซึ่งอาจจะเป็นใบลักษณะของอุปกรณ์ไฟฟ้า หรืออาจจะเป็นเครื่องขยายสัญญาณเชิงกล เช่น กาน ก็จะได้ลักษณะของระบบที่มีตัวควบคุมแบบพี ดังบล็อกไดอะแกรม (Block Diagram) ที่จะแสดงในรูปที่ 5.3 ซึ่งได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบวงปิดเป็น

$$G_o(s) = K_p G_p(s) \tag{5.6}$$

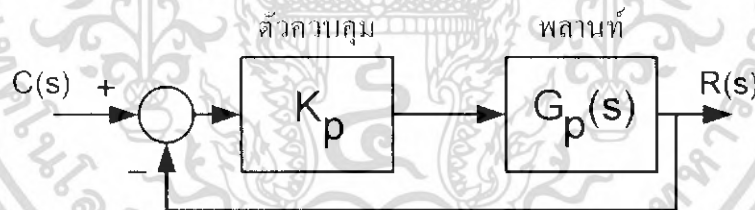
เมื่อ  $G_p(s)$  เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนของพลานท์ที่ต้องการควบคุม

ข้อเสียของระบบที่มีตัวควบคุมแบบพี คือไม่มีภาวะเพิ่มอินทิเกรตหรือ  $1/s$  ในส่วน Forward Path ซึ่งหมายความว่า ถ้าพลานท์เป็นชนิด (Type) 0 ระบบควบคุมแบบพีก็ยังคงเป็นชนิด 0 เหมือนเดิม ซึ่งจะทำให้เกิดความผิดพลาดที่สภาวะคงตัว (Steady State Error)

จากรูปที่ 5.3 เป็นระบบควบคุมแบบพี ซึ่งมีการป้อนกลับหนึ่งหน่วย จะมีฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบเป็น

$$G(s) = \frac{K_p G_p(s)}{1 + K_p G_p(s)} \tag{5.7}$$

มีสมการคุณลักษณะเป็น  $(1 + K_p G_p(s))$  และมีรากเปลี่ยนไปตามค่าของ  $K_p$



รูปที่ 5.3 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพี

### 5.3 ระบบควบคุมแบบไอ (I: Integral Control)

ในระบบควบคุมแบบไอเอาต์พุตของตัวควบคุมจะเป็นสัดส่วนกับการอินทิเกรตสัญญาณของค่าความผิดพลาดเทียบกับเวลา คือ

$$u(t) = K_i \int e(t) dt \tag{5.8}$$

เมื่อ  $K_i$  เป็นค่าที่เรียกว่า อัตราขยายแบบอินทิเกรต (Integral Gain) ซึ่งจะมีหน่วยเป็น  $sec^{-1}$  รูปเอกสารที่ 5.4 แสดงลักษณะการทำงานของเครื่องขยายสัญญาณอินทิเกรตที่ภายใต้สัญญาณอินพุตแบบระดับ ค่าไม่ต่ำกว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$u(t)$  ณ เวลา  $t$  โดยๆหมายถึงพื้นที่ใต้กราฟของสัญญาณอินพุตจากเวลา 0 ถึง  $t$  คูณด้วยอัตราขยายอินทิเกรต ดังนั้นเมื่อวงจกรับการมีสัญญาณอินพุตแบบระดับ เอาท์พุตที่ออกจากตัวควบคุมจึงมีค่ามากขึ้นเรื่อยๆ ด้วยอัตราที่คงที่ ในลักษณะรูปสัญญาณความชัน (Ramp) จากสมการที่ (5.8) จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบไอเป็น

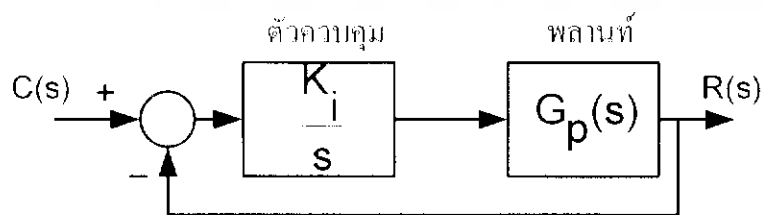
$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \tag{5.9}$$

ทำให้ระบบควบคุมแบบไอสามารถแสดงในรูปที่ 5.5 โดยมีฟังก์ชันถ่ายโอน Forward-Path เป็น  $\frac{K_i}{s} G_p(s)$  และมีฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบวงปิดเป็น

$$G(s) = \frac{\frac{K_i}{s} G_p(s)}{1 + \frac{K_i}{s} G_p(s)} \tag{5.10}$$



รูปที่ 5.4 ผลการตอบสนองของตัวควบคุมแบบไอ



รูปที่ 5.5 บล็อกไคของระบบควบคุมแบบไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น แม้อินุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นสามารถพิจารณาถึงข้อได้เปรียบของการควบคุมแบบโอได้จากฟังก์ชันถ่ายโอน Forward-Path เห็นได้ว่าระบบควบคุมแบบโอ จะเพิ่มชนิดของระบบขึ้นมา 1 ระดับ เช่น ถ้าพลานท์เป็นชนิด 0 ระบบควบคุมแบบโอจะเป็นชนิด 1 ซึ่งทำให้ระบบมีค่าความผิดพลาดที่สภาพคงตัวเป็นศูนย์เทียบกับสัญญาณอินพุตแบบระดับ อย่างไรก็ตามการเพิ่มโพลที่  $s = 0$  ในระบบวงเปิดและไม่มีการเพิ่มซีโรให้กับระบบควบคุม ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างจำนวนโพล ( $n$ ) และจำนวนซีโร ( $m$ ) เพิ่มขึ้นอีก 1 ซึ่งมีผลให้มุมของเส้นอะซิมโทต (Asymptote Angles) ของเส้นทางรากลดลงและจุดตัดของเส้นอะซิมโทตบนแกนจริง (Centroid) เคลื่อนไปทางครึ่งขวาของระนาบ  $s$  ( $s$ -Plane) มากขึ้น มีผลทำให้ความเสถียรสัมพัทธ์ของระบบลดลง

**5.4 ระบบควบคุมแบบดี (D: Derivative Control)**

ระบบควบคุมแบบดีนี้ เอาท์พุทของตัวควบคุมจะเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าอินพุตความผิดพลาดเทียบกับเวลา นั่นคือ

$$u(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \tag{5.11}$$

เมื่อ  $K_d$  คือ อัตราขยายอนุพันธ์ (Derivative Gain) และมีหน่วยเป็นวินาที



**รูปที่ 5.6** ผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบดี

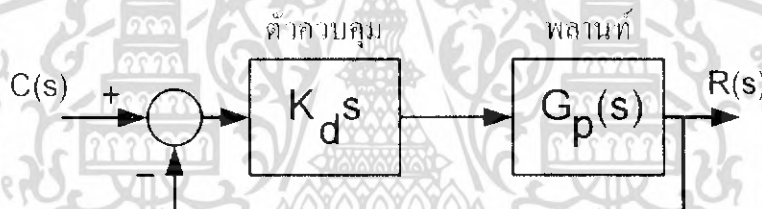
รูปที่ 5.6 แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบดี เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณแบบความชัน จากสมการที่ (5.11) จะเห็นได้ว่าตัวควบคุมแบบดีจะให้สัญญาณที่ส่งออกจากตัวควบคุมมีค่ามาก เมื่อค่าอินพุตความผิดพลาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูง ก่อนที่จะเกิดความผิดพลาดขึ้นแบบแท้จริง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามหากค่าความผิดพลาดมีค่าคงที่ก็จะไม่มีการสะสมค่าความผิดพลาดแม้ว่าค่าความผิดพลาดจะมีมากก็ตาม ทำให้การควบคุมแบบคินี้ ไม่เปลี่ยนแปลงต่อค่าความผิดพลาดที่คงที่หรือเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ดังนั้นการควบคุมแบบนี้จึงไม่นิยมใช้เพียงลำพัง แต่มักจะใช้ควบคู่ร่วมกับการควบคุมแบบอื่น ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบคิ จะเป็น

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_d s \tag{5.12}$$

ดังนั้น สำหรับระบบควบคุมแบบคิซึ่งมีการป้อนกลับหนึ่งหน่วย ดังแสดงในรูปที่ 5.7 จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบวงเปิดเป็น

$$G(s) = \frac{K_d s G_p(s)}{1 + K_d s G_p(s)} \tag{5.13}$$



รูปที่ 5.7 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบคิ

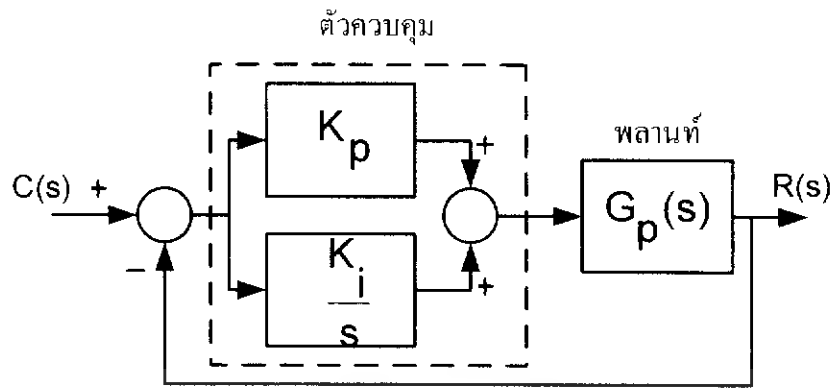
จะเห็นได้ว่าถ้าพลานท์เป็นชนิด 1 หรือสูงกว่า การควบคุมแบบคิจะลดเทอม s ในพหุนามส่วนของฟังก์ชันถ่ายโอนของ Forward-Path ลง ซึ่งจะปลดชนิดของระบบลง 1 อย่างไรก็ตามดังที่ได้กล่าวก่อนหน้านี้อันแล้วว่า การควบคุมแบบคินี้จะไม่ใช้เพียงลำพังแต่จะใช้ร่วมกับการควบคุมแบบอื่น เพราะจะทำให้เพิ่มความเร็วในการตอบสนองของระบบต่อความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

ในทางปฏิบัติการนำตัวควบคุมแบบคิไปใช้นั้นค่อนข้างจะลำบาก ดังนั้นในทางปฏิบัติโดยทั่วไปจะเป็นการประมาณการควบคุมแบบคิโดยใช้ตัวชดเชยแบบมูมนำ (Lead Compensator)

### 5.5 ระบบควบคุมแบบพีไอ (PI: Proportional plus Integral Control)

การที่ระบบควบคุมมีความเสถียรสัมพัทธ์ลดลง เมื่อใช้การควบคุมแบบไอ จะสามารถที่จะแก้ไขได้ในระดับหนึ่งโดยการใส่การควบคุมแบบพีร่วมกับแบบไอ ซึ่งลักษณะของระบบควบคุมเป็นตามรูปที่ 5.8

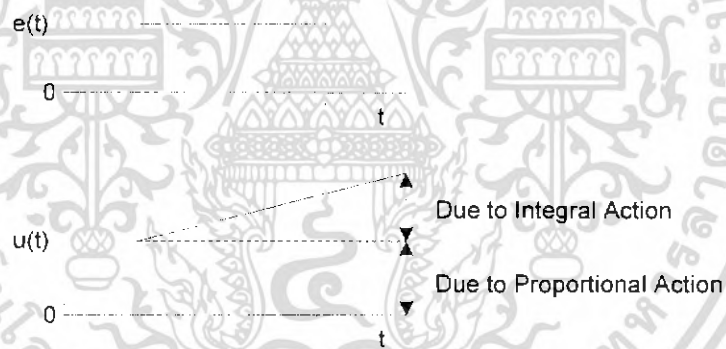
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพีไอ

สำหรับระบบดังกล่าวจะมีเอาต์พุตของตัวควบคุมเป็น

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt \quad (5.14)$$



รูปที่ 5.9 การตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีไอ

จากรูปที่ 5.9 แสดงเอาต์พุตของตัวควบคุมที่ได้รับเมื่อมีอินพุตเป็นแบบระดับ จากสมการที่ (5.14) จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบพีไอ เป็น

$$\begin{aligned} G_c(s) &= \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} \\ &= \frac{sK_p + K_i}{s} \\ &= K_p \frac{(s + K_i/K_p)}{s} \end{aligned} \quad (5.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามค่าเวลาคงตัวอินทิกรัล (Integral Time Constant) เป็น

$$\tau_i = \frac{K_p}{K_i} \quad (5.16)$$

ดังนั้นจะได้

$$G_c(s) = \frac{K_p [s + (1/\tau_i)]}{s} \quad (5.17)$$

และจะทำให้ได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบวงเปิดเป็น

$$G_o(s) = G_c(s)G_p(s) = \frac{K_p [s + (1/\tau_i)]G_p(s)}{s} \quad (5.18)$$

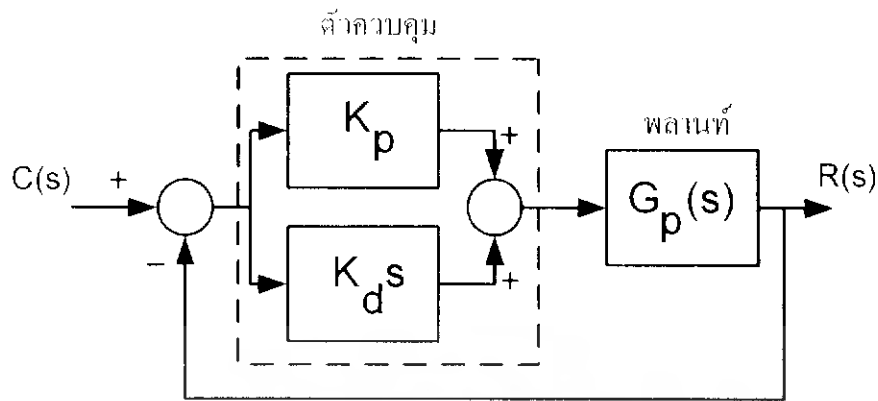
จะเห็นว่ามีซีโรที่  $s = -1/\tau_i$  และโพลที่  $s = 0$  เพิ่มให้กับฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบเมื่อใช้การควบคุมแบบพีไอ การที่เพิ่มตัวประกอบ  $s$  เข้ากับพหุนามส่วนของฟังก์ชันถ่ายโอนวงเปิดเป็นการเพิ่มชนิดของระบบขึ้นไป 1 จึงทำให้ระบบควบคุมแบบพีไอนี้ไม่มีค่าความผิดพลาดที่สภาพคงตัวสำหรับอินพุตแบบระดับ นอกจากนั้นการที่เพิ่มซีโรให้กับระบบไปพร้อมๆกัน ก็จะทำให้ความแตกต่างระหว่างจำนวน โพล ( $n$ ) และจำนวนซีโร ( $m$ ) มีค่าคงที่ ดังนั้นมุมของเส้นอะซิมโทตสำหรับเส้นทางรากมีค่าคงเดิม แต่จุดตัดของเส้นอะซิมโทตบนแกนจริง จะเคลื่อนที่เข้าหาจุดกำเนิดมากขึ้น เนื่องจาก

$$\text{จุดตัดของเส้นอะซิมโทตบนแกนจริง} = (\text{ผลรวมของโพล} - \text{ผลรวมของซีโร})/(n-m)$$

ดังนั้นจุดตัดของเส้นอะซิมโทตจะเปลี่ยนไปเท่ากับ  $-(1/\tau_i)/(n-m)$  ส่งผลให้ความเสถียรภาพของระบบลดลง อย่างไรก็ตามการลดลงของความเสถียรสัมพัทธ์นี้จะน้อยกว่าการที่ใช้การควบคุมแบบไอเพียงอย่างเดียว

## 5.6 ระบบควบคุมแบบพีดี (PD: Proportional plus Derivative Control)

ถ้าการควบคุมแบบดีใช้ร่วมกับการควบคุมแบบพี ดังที่แสดงในรูปที่ 5.10 ได้ฟังก์ชันถ่ายโอนระบบวงเปิดเป็น



รูปที่ 5.10 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพีดี

$$G_u(s) = (K_p + K_d s)G_p(s) \quad (5.19)$$

$$G_u(s) = K_p(1 + \tau_d s)G_p(s)$$

เมื่อ  $\tau_d = \frac{K_d}{K_p}$  คือ ค่าเวลาดังตัวอนุพันธ์ (Derivative Time Constant) ซึ่งในการควบคุมแบบนี้ จะมีซีโรเพิ่มขึ้นที่  $s = -\tau_d$  และจะเห็นได้ว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงชนิดของระบบเกิดขึ้น ทำให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาดที่สภาพคงตัว

### 5.7 ระบบควบคุมแบบพีไอดี (PID: Proportional plus Integral plus Derivative Control)

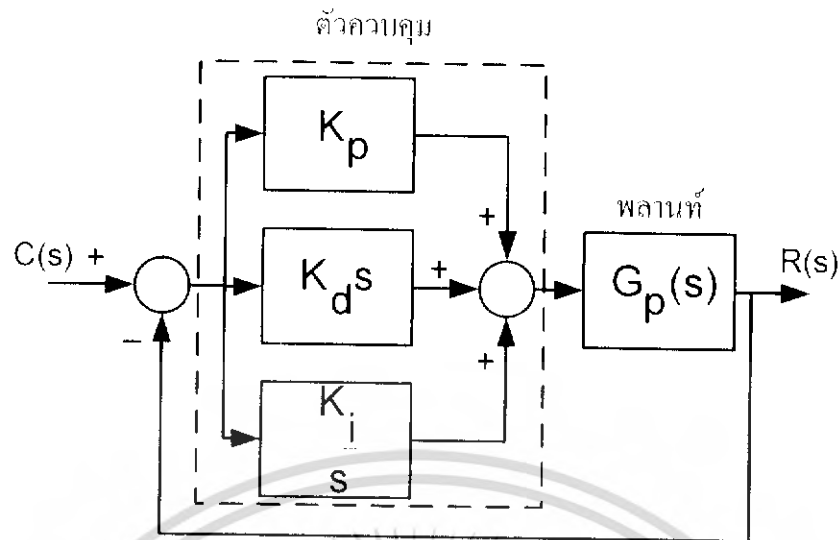
ระบบควบคุมแบบพีไอดีนี้เป็นการควบคุมโดยใช้แบบพีรวมกับแบบไอและรวมกับแบบดี หรือ ที่เรียก การควบคุมแบบ 3 เทอม (Three-term Control) ระบบจะมีลักษณะตามรูปที่ 5.11 ทำให้เอาที่พูดของตัวควบคุมเมื่อรับอินพุตเป็นความผิดพลาด ดังนี้

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (5.20)$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุม จะเป็น

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (5.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 บล็อกไปดะแกรมของระบบควบคุมแบบพีไอดี

ซึ่งสามารถจัดรูปได้เป็น

$$G_c(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \right) \quad (5.22)$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบวงปิดด้วยระบบควบคุมแบบพีไอดี ที่แสดงในรูปที่ 5.11 จะเป็น

$$G_o(s) = G_c(s)G_p(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \right) G_p(s) \quad (5.23)$$

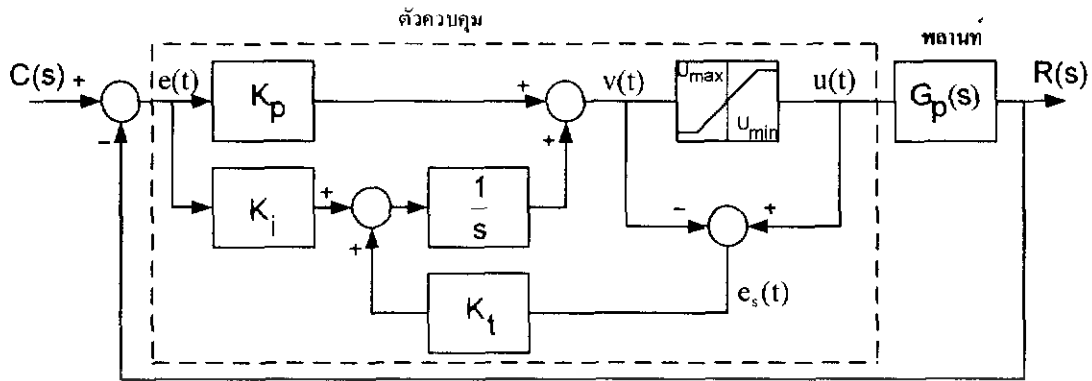
$$G_o(s) = \frac{K_p (\tau_i \tau_d s^2 + \tau_d s + 1)}{\tau_i s} G_p(s)$$

ดังนั้น การควบคุมแบบพีไอดี จะเพิ่มจำนวนขั้วโขให้กับระบบเท่ากับ 2 ขั้วและเพิ่มจำนวนโพล 1 ขั้ว และทำให้ชนิดระบบเพิ่มขึ้น 1

## 5.8 ระบบควบคุมแบบพีไอ อาศัย แอนตี้ไวด์ธัพ

ระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ อาศัย แอนตี้ไวด์ธัพ สามารถที่จะแก้ปัญหาคำถามที่สัญญาณควบคุมของตัวควบคุมแบบพีไอ เกิดการอิมพัลส์เป็นเวลานานเกินไป เนื่องจากการสะสมค่าความผิดพลาดในส่วนอินทิเกรต ซึ่งลักษณะของระบบควบคุมเป็นดังรูปที่ 5.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพีไอ อาศัยแอนติไวคัลอิฟ

สำหรับระบบดังกล่าวจะมีเอาต์พุตของตัวควบคุมเป็น

$$u(t) = K_p e(t) + \int_0^t (K_i e(t) + K_t e_s(t)) dt + e_s(t) \tag{5.24}$$

ทำการแปลงลาปลาซ สมการ (5.24) จะได้

$$U(s) = \left( \frac{K_p s + K_i}{s} \right) E(s) + \left( \frac{s + K_t}{s} \right) E_s(s) \tag{5.25}$$

เมื่อ  $K_t$  เป็นค่าคงที่ เรียกว่า อัตราขยายแบบติดตาม (Tracking Gain)

### 5.9 ตัวควบคุมแบบดิจิทัล

ในการใช้งานจริง เนื่องจากระบบของเราเป็นระบบเวลาไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นตัวควบคุมที่ใช้จึงต้องเป็นแบบดิจิทัล (Digital Control) แสดงได้ดังสมการดังต่อไปนี้

ตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด

$$U[n] = \begin{cases} U_{\max} & ; e[n] > 0 \\ 0 & ; e[n] = 0 \\ U_{\min} & ; e[n] < 0 \end{cases} \tag{5.26}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวควบคุมแบบพี

$$U_p[n] = K_p e[n] \quad (5.27)$$

ตัวควบคุมแบบไอ

$$U_i[n] = U_i[n-1] + K_i \frac{T_s}{2} (e[n] + e[n-1]) \quad (5.28)$$

ตัวควบคุมแบบดี

$$U_d[n] = K_d \frac{e[n] - e[n-1]}{T_s} \quad (5.29)$$

ตัวควบคุมแบบพีดี

$$U_{pd}[n] = U_p[n] + U_d[n] \quad (5.30)$$

ตัวควบคุมแบบพีไอ

$$U_{pi}[n] = U_p[n] + U_i[n] \quad (5.31)$$

ตัวควบคุมแบบพีไอดี

$$U_{pid}[n] = U_p[n] + U_i[n] + U_d[n] \quad (5.32)$$

ตัวควบคุมแบบพีไอ-ออสซีแอนต์-แอดแอดิฟ

$$U_{piao}[n] = U_p[n-1] + \frac{T_s}{2} [K_i (e[n] + e[n-1]) + K_d (e_s[n] + e_s[n-1])] \quad (5.33)$$

$$U_{piao}[n] = U_p[n] + U_{i_o}[n]$$

เมื่อ  $T_s$  คือช่วงเวลาการสุ่มสัญญาณ (Sampling Time)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองการทำงานของแขนกลดีพ้องวงใหญ่ ให้เคลื่อนที่ไปตามตำแหน่งเป้าหมาย โดยอาศัยตัวควบคุมที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งได้ทำการทดลองควบคุมตำแหน่งแบบวงปิดในส่วนยึดและหัดแขน และส่วนหมุนแขน โดยแยกเป็นแต่ละส่วนในการทดลอง ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

#### 6.1 การทดลองควบคุมตำแหน่งในส่วนยึดและหัดแขนแบบวงปิด

การทดลองนี้เป็นการทดสอบเพื่อสังเกตการเคลื่อนที่ของแขนกลดีพ้องวงใหญ่ในส่วนยึดและหัดแขน โดยใช้วิธีการลองผิดลองถูกในการปรับอัตราขยายที่แตกต่างกันของตัวควบคุมแบบต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบและหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมแขนกลดีพ้องวงใหญ่ ซึ่งได้เลือกใช้ตัวควบคุมที่ออกแบบไว้ดังนี้

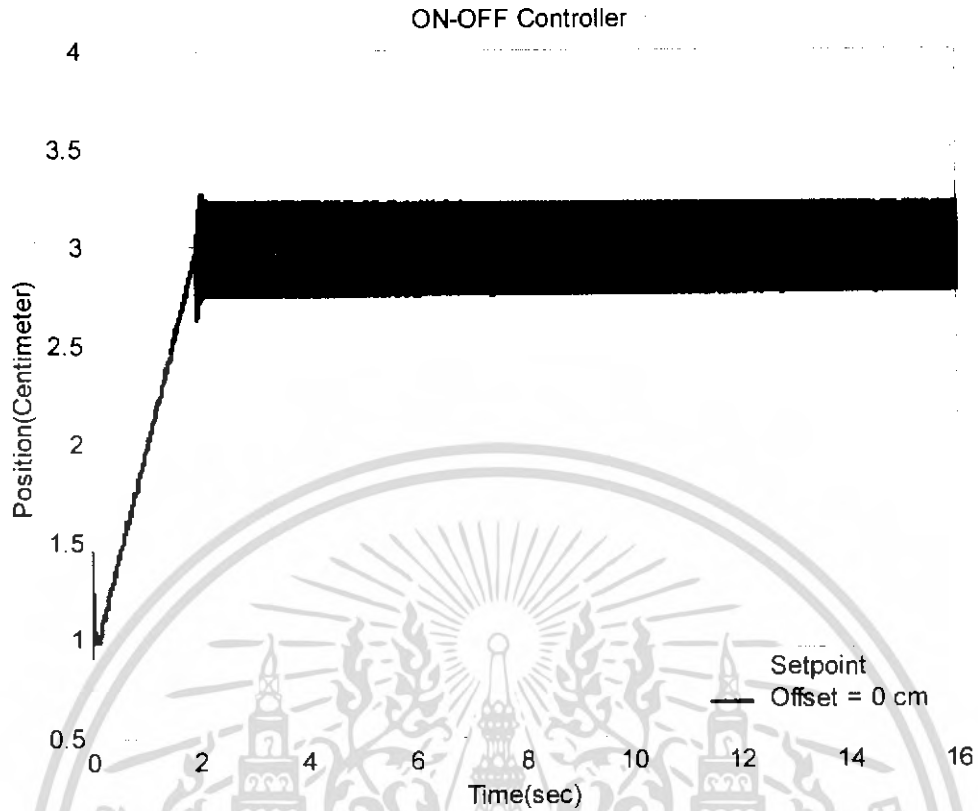
- ตัวควบคุมแบบเปิด - ปิด
- ตัวควบคุมแบบพี
- ตัวควบคุมแบบพีไอ
- ตัวควบคุมแบบพีไอดี
- ตัวควบคุมแบบพีไอ อาศัย แอนต์ไวต์อัฟ

##### 6.1.1 การทดลองควบคุมตำแหน่งในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด

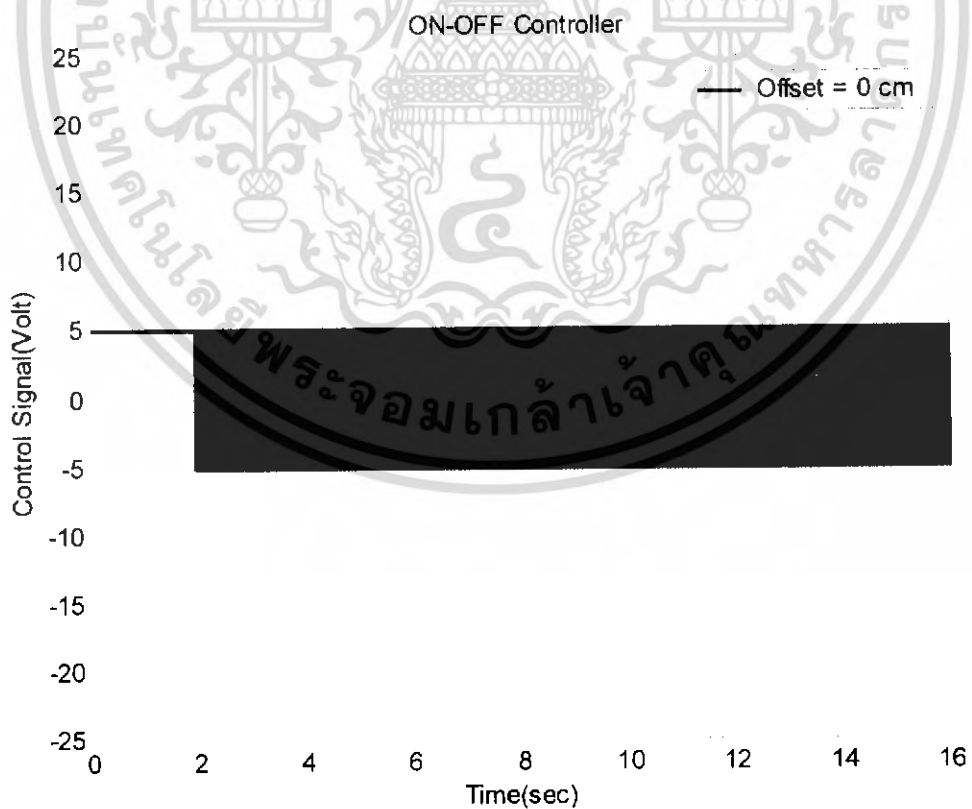
ในการทดลองนี้ ได้ใช้ตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด เพื่อควบคุมตำแหน่งของแขนกลดีพ้องวงใหญ่ ในส่วนยึดและหัดแขน ให้เคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ 0.912 cm ไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ 3 cm ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 6.1 และรูปที่ 6.2 จะเห็นได้ว่า ผลตอบสนองของระบบในรูปที่ 6.1 มีเวลาไต่ขั้นที่เร็ว และมีการแกว่งเกิดขึ้นในช่วงเวลาเดียวกันกับสัญญาณควบคุมในรูปที่ 6.2 เริ่มเกิดการแกว่ง

ในบางกรณีที่ใช้ตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด นั้น สามารถที่จะกำหนดให้มีค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (Offset) ในการควบคุม ซึ่งในโครงการนี้ก็เช่นเดียวกันสามารถที่จะกำหนดให้มีค่าความผิดพลาดในการควบคุมได้ เมื่อได้เทียบกับขนาดของลูกช้อนแล้ว สามารถที่จะกำหนดให้มี Offset ได้ไม่เกิน  $\pm 5$  mm จึงจะทำให้ไม้ช้อนดีได้ใกล้ตำแหน่งศูนย์กลางของลูกช้อนเพียงพอ ในที่นี้ได้ทำการทดลองเพื่อหาค่า Offset ที่น้อยที่สุดภายใต้ค่าที่ยอมรับได้นี้ ดังผลการทดลองในรูปที่ 6.3 และรูปที่ 6.4 ในกรณียึดออก และ รูปที่ 6.5 และรูปที่ 6.6 ในกรณีหัดเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

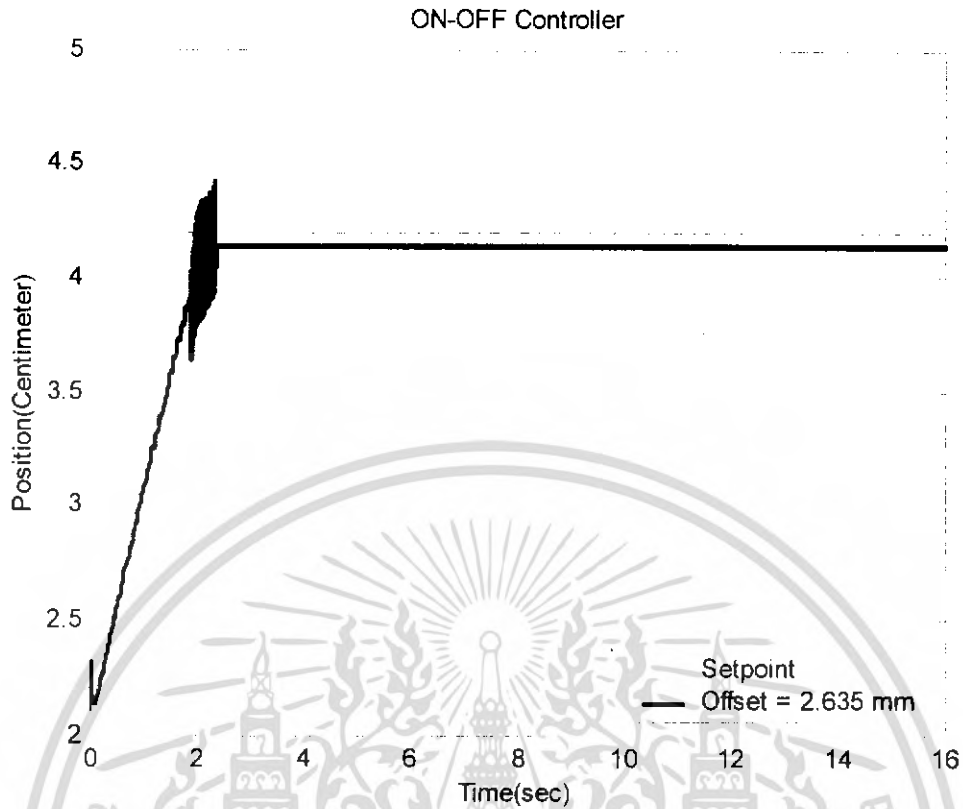


รูปที่ 6.1 ผลตอบสนองของระบบในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด



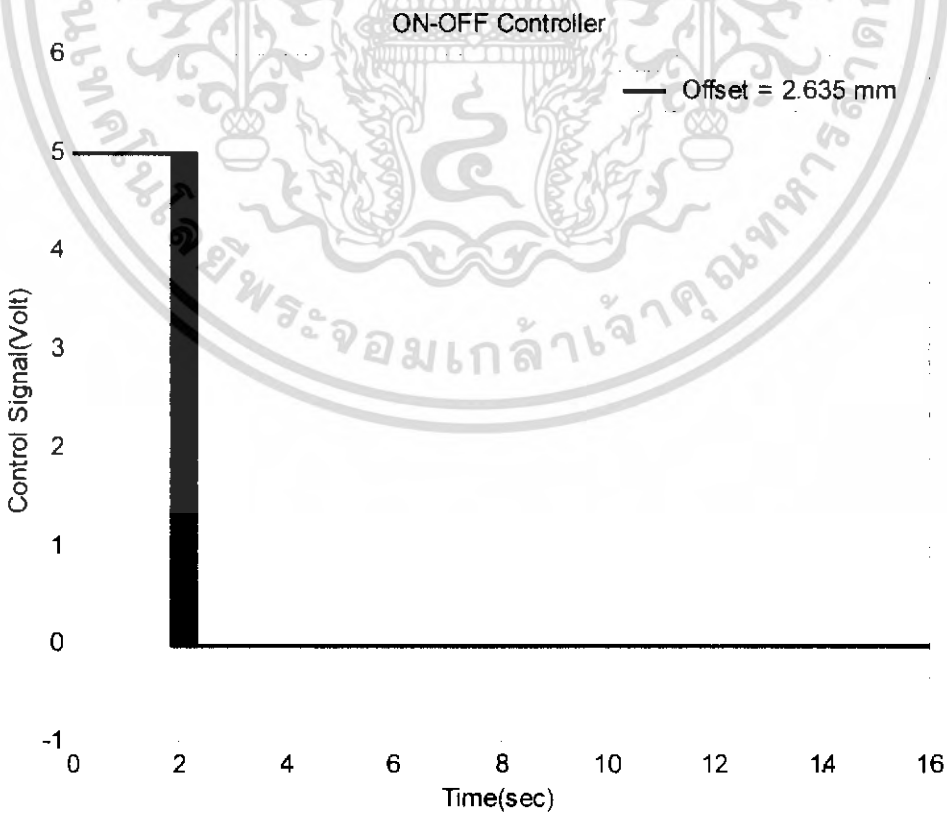
รูปที่ 6.2 สัญญาณควบคุมในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

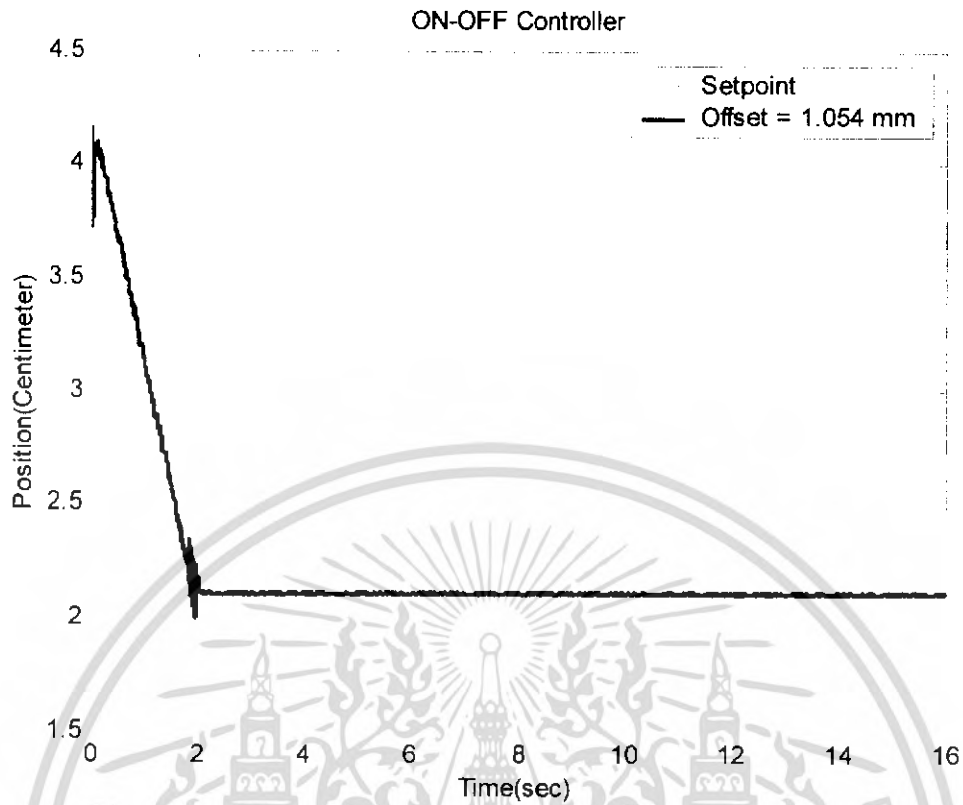


รูปที่ 6.3 ผลตอบสนองของระบบในส่วนขึ้นและหัดแชนด้วยตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด

ที่Offset = 2.635 mm

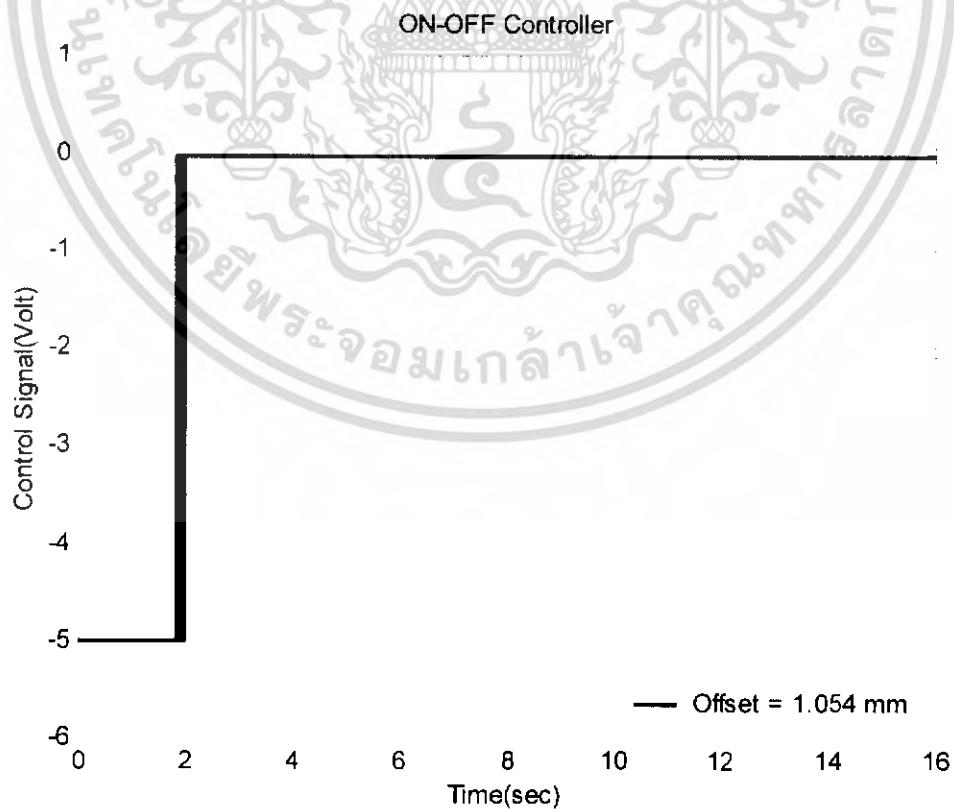


เอกสารรูปที่ 6.4 สัญญาณควบคุมในส่วนขึ้นและหัดแชนด้วยตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด ที่Offset = 2.635 mm ค่า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 ผลตอบสนองของระบบในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด

ที่ Offset = 1.054 mm



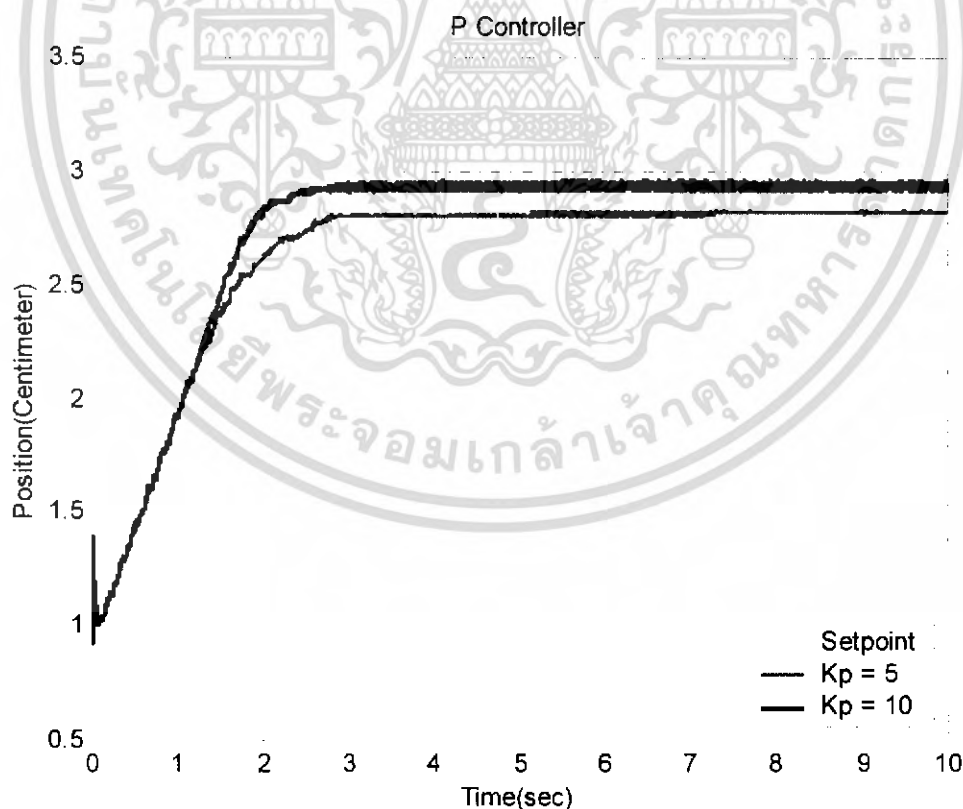
รูปที่ 6.6 สัญญาณควบคุมในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด ที่ Offset = 1.054 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การเขียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้เห็น ใช้หรือเผยแพร่ในทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.3 และรูปที่ 6.4 เป็นผลการทดลองควบคุมตำแหน่งของแขนกลชนิดขี้นองวงใหญ่ ในส่วนยึดและหัดแขน ให้เคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ 0.912 cm ไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ 3 cm ซึ่งเป็นการขี้นองออกของแขนกล โดยกำหนด Offset ที่ 2.635 mm ในส่วนรูปที่ 6.5 และรูปที่ 6.6 เป็นการเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ 3 cm มายังตำแหน่งเป้าหมายที่ 0.912 cm ซึ่งเป็นการหัดเข้าของแขนกล โดยกำหนด Offset ที่ 1.054 mm จะเห็นได้ว่า ผลตอบสนองของระบบ มีเวลาได้ขี้นที่เร็ว และมีค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง Offset ที่กำหนดไว้ ซึ่งไม่มีการแกว่งเกิดขี้นทั้งผลตอบสนองของระบบ และสัญญาณควบคุม แต่ในรูปที่ 6.5 และรูปที่ 6.6 เป็นการควบคุมโดยกำหนด Offset = 2.635 ซึ่งมากกว่า เนื่องจากโครงสร้างทางกลในส่วนยึดและหัดแขนไม่สมดุลกัน คือ มอเตอร์จะใช้แรงบิดในการขี้นออกน้อยกว่าการหัดเข้าของแขนกล ซึ่งในกรณีนี้ ถ้ากำหนด Offset = 1.054 ในการควบคุม จะทำให้ผลตอบสนองของระบบ และสัญญาณควบคุมเกิดการแกว่งขี้น

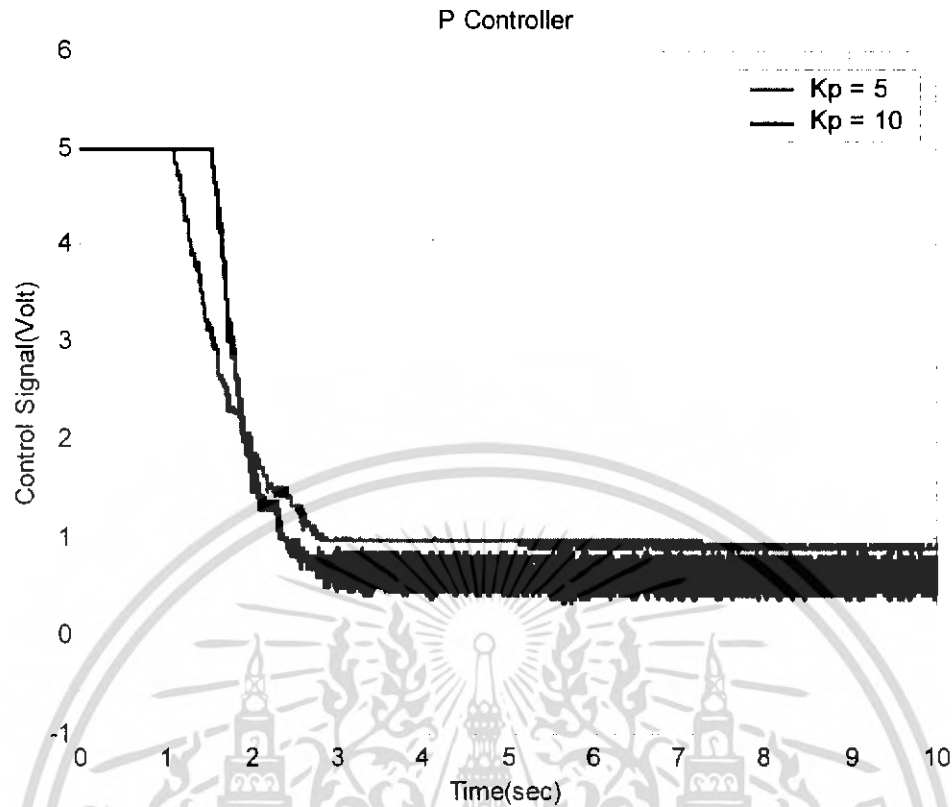
### 6.1.2 การทดลองควบคุมตำแหน่งในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบพี

ในการทดลองนี้ ได้ใช้ตัวควบคุมแบบพี โดยวิธีการลองผิดลองถูกในการปรับอัตราขยาย  $K_p$  ที่แตกต่างกัน ได้ผลการทดลองต่อไปนี้



### รูปที่ 6.7 ผลตอบสนองของระบบในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบพี

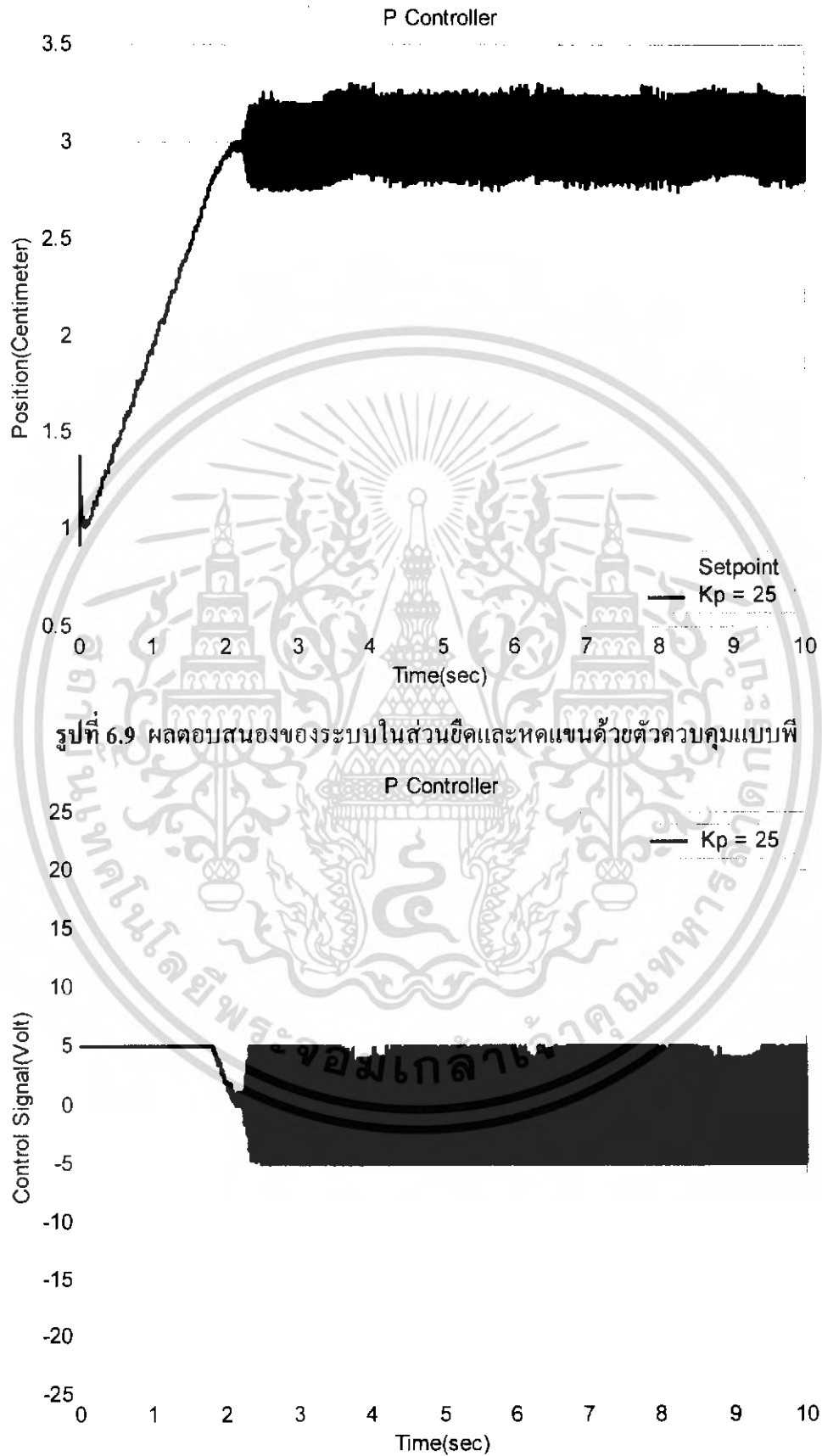
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.8 สัญญาณควบคุมในส่วนขึ้นและหดรันด้วยตัวควบคุมแบบพี

จากรูปที่ 6.7 และรูปที่ 6.8 เป็นผลการทดลองควบคุมตำแหน่งของแขนกลคีมองวงใหญ่ในส่วนขึ้นและหดรัน ให้เคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ 0.912 cm ไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ 3 cm โดยการปรับอัตราขยายที่  $K_p = 5$  และ  $K_p = 10$  ซึ่งผลตอบของระบบในรูปที่ 6.7 จะเห็นได้ว่าที่  $K_p = 10$  มีผลตอบสนองของระบบควบคุมดีกว่า ที่  $K_p = 5$  คือ มีค่าความผิดพลาดสุดท้ายน้อยกว่า และมีเวลาไต่ขึ้นที่เร็วกว่า ส่วนสัญญาณควบคุมในรูปที่ 6.8 ที่  $K_p = 10$  จะเกิดการอิมพัลส์เป็นเวลานานกว่าที่  $K_p = 5$

จากผลการทดลอง สังเกตได้ว่าเมื่อปรับอัตราขยายเพิ่มขึ้นจะทำให้มีค่าความคลาดเคลื่อนสุดท้ายลดลง และมีเวลาไต่ขึ้นที่เร็ว ซึ่งเป็นผลทำให้สามารถควบคุมไปยังตำแหน่งเป้าหมายได้เร็วขึ้น และมีค่าความผิดพลาดสุดท้ายที่น้อยลง จึงได้ทำการทดลองปรับอัตราขยายเพิ่มขึ้นเป็น  $K_p = 25$  ดังมีผลการทดลองในรูปที่ 6.9 และรูปที่ 6.10



รูปที่ 6.9 ผลตอบสนองของระบบในสภาวะช็อคและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 6.10 สัญญาณควบคุมในสภาวะช็อคและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบพี โยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.9 และรูปที่ 6.10 เป็นผลการทดลองที่  $K_p = 25$  จะเห็นได้ว่าผลตอบสนองของระบบในรูปที่ 6.9 มีเวลาได้ขึ้นน้อยกว่าผลตอบสนองของระบบในรูปที่ 6.7 แต่จะมีการแกว่งเกิดขึ้น ซึ่งเริ่มแกว่งเมื่อผลตอบสนองของระบบเข้าสู่ตำแหน่งเป้าหมาย ส่วนสัญญาณควบคุมในรูปที่ 6.10 สังเกตเห็นได้ว่า มีการอ้อมตัวเป็นเวลานานกว่าสัญญาณควบคุมในรูปที่ 6.8 และมีการแกว่งเกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลกระทบที่ทำให้ผลตอบสนองของระบบควบคุมในรูปที่ 6.9 เกิดการแกว่งในช่วงเวลาเดียวกัน

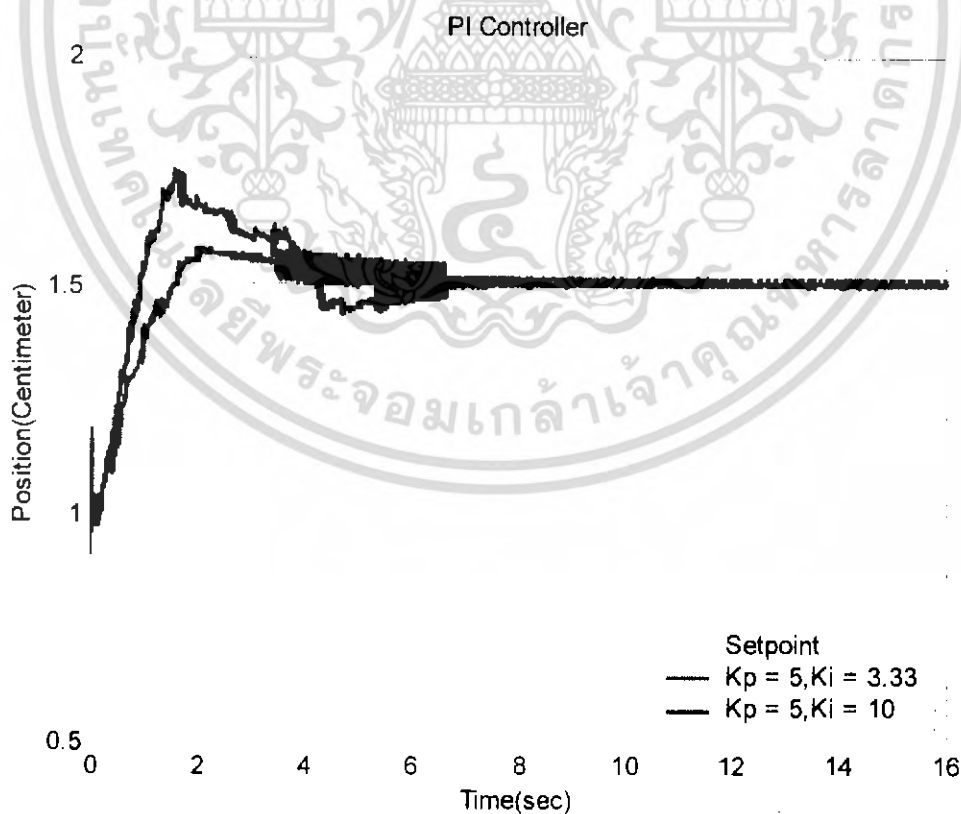
### 6.1.3 การทดลองควบคุมตำแหน่งในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ

ในการทดลองนี้ ได้ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ โดยวิธีการลองผิดลองถูกในการปรับอัตราขยาย  $K_p$  และ  $K_i$  ที่แตกต่างกัน ซึ่งมีลักษณะในการปรับอัตราขยาย 2 แบบด้วยกัน คือ

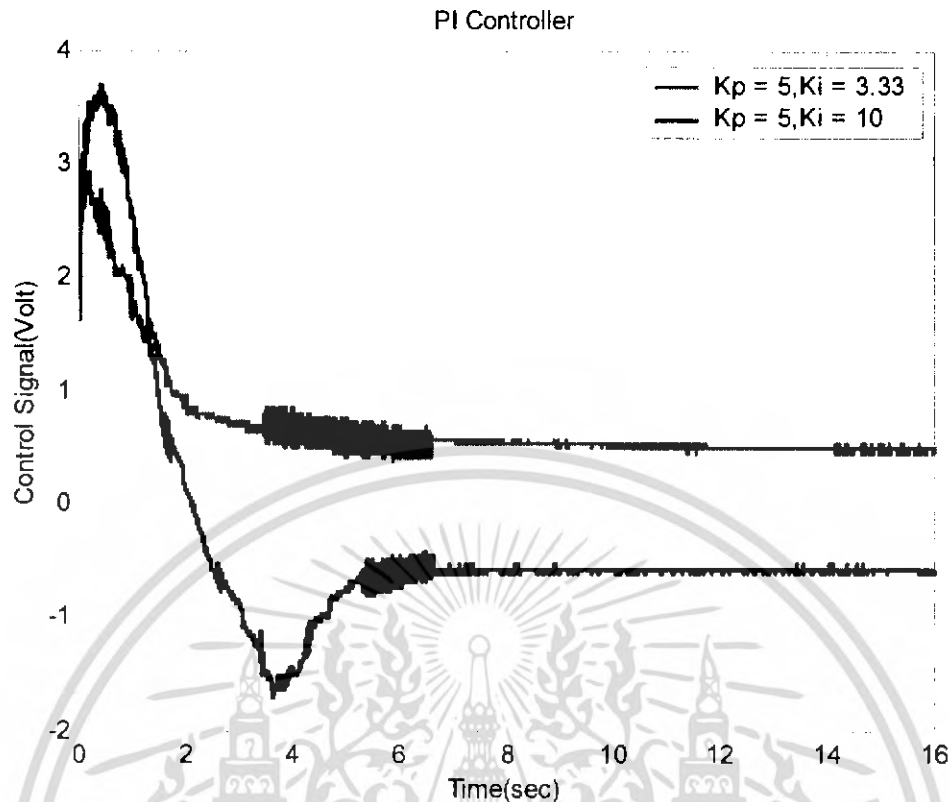
แบบที่ 1 แปรค่า  $K_i$  โดยที่  $K_p$  คงที่

แบบที่ 2 แปรค่า  $K_p$  โดยที่  $K_i$  คงที่

ซึ่งเป็นการทดลองควบคุมตำแหน่งของแขนกลดีพ้องวงใหญ่ในส่วนยึดและหัดแขนให้เคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ 0.912 cm ไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ 1.508 cm ดังผลการทดลองต่อไปนี้



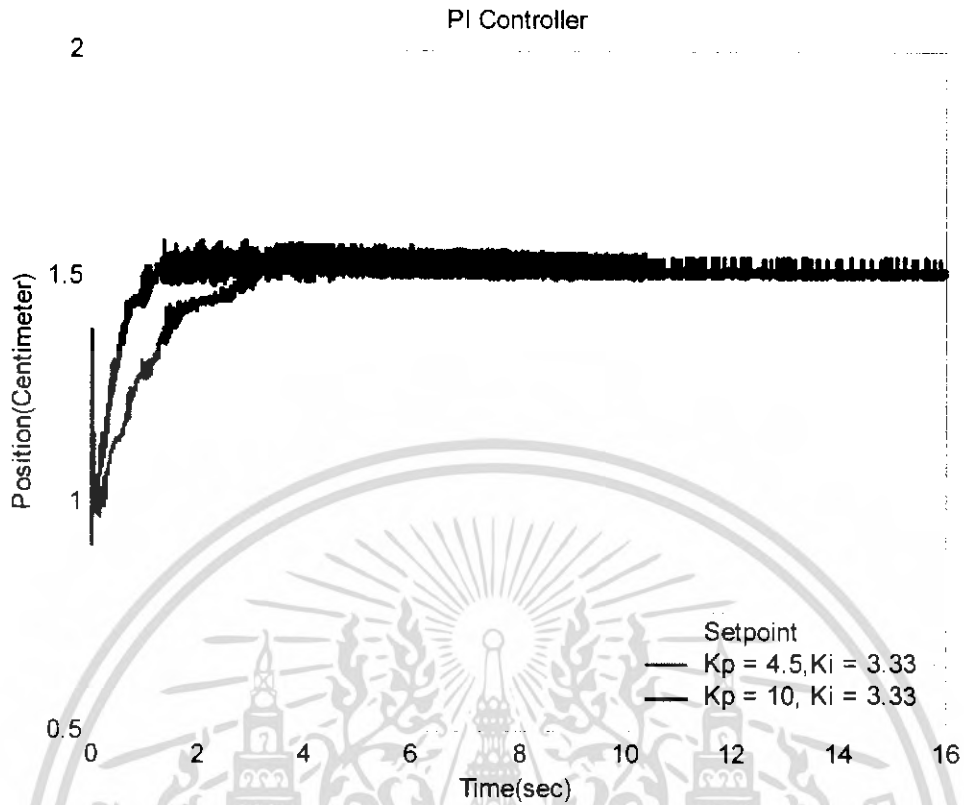
**รูปที่ 6.11** ผลตอบสนองของระบบในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ โดยแปรค่า  $K_i$  เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



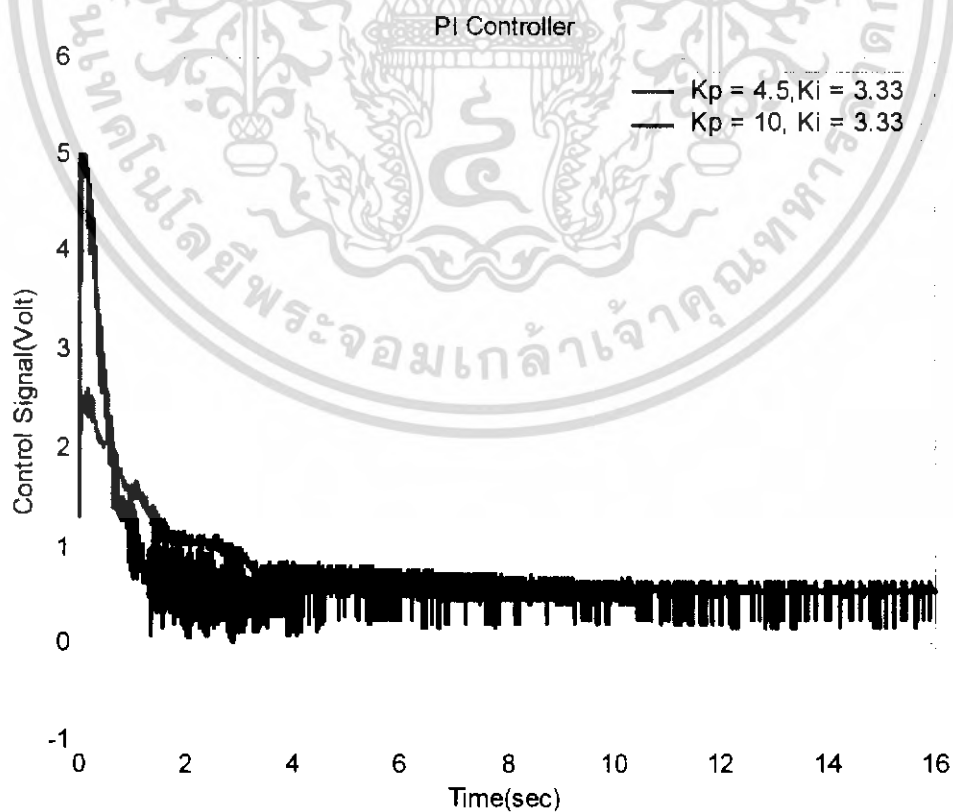
รูปที่ 6.12 สัญญาณควบคุมในส่วนขีดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ โดยแปรค่า  $K_i$

จากรูปที่ 6.11 และรูปที่ 6.12 เป็นผลการทดลอง โดยการปรับอัตราขยายตามแบบที่ 1 คือแปรค่า  $K_i = 3.33$  และ  $K_i = 10$  โดยที่  $K_p$  คงที่ เท่ากับ 5 จะเห็นได้ว่าผลตอบสนองของระบบในรูปที่ 6.11 ที่  $K_i = 10$  นั้น มีเวลาไต่ขึ้นที่เร็วกว่า มีค่าพุ่งเกินมากกว่า และใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวนานกว่าที่  $K_i = 5$  ซึ่งผลตอบสนองของระบบทั้ง  $K_i = 3.33$  และ  $K_i = 10$  นั้น ไม่มีค่าความคลาดเคลื่อนสุดท้ายเกิดขึ้น และในส่วนของสัญญาณควบคุมในรูปที่ 6.12 จะเห็นได้ว่าที่  $K_i = 10$  มีค่าระดับสัญญาณควบคุมในช่วงเริ่มต้นมากกว่าที่  $K_i = 3.33$  และสัญญาณควบคุมไม่มีการอิมพัลส์เกิดขึ้น

ในส่วนการทดลองแบบที่ 2 มีผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 6.13 และ รูปที่ 6.14 ซึ่งเป็นผลการทดลองโดยการปรับอัตราขยายโดยแปรค่า  $K_p = 4.5$  และ  $K_p = 10$  จะเห็นได้ว่าผลตอบสนองในรูปที่ 6.13 ที่  $K_p = 10$  มีเวลาไต่ขึ้นที่เร็วกว่า และใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวน้อยกว่าที่  $K_p = 4.5$  ซึ่งทั้ง  $K_p = 10$  และ  $K_p = 4.5$  ไม่มีค่าความผิดพลาดสุดท้ายเกิดขึ้น และมีการพุ่งเกินเพียงเล็กน้อย ส่วนสัญญาณควบคุมในรูปที่ 6.14 จะเห็นได้ว่าที่  $K_p = 10$  จะมีค่าระดับสัญญาณควบคุมในช่วงเริ่มต้นมากกว่าที่  $K_p = 4.5$  และเกิดการอิมพัลส์เพียงเล็กน้อย



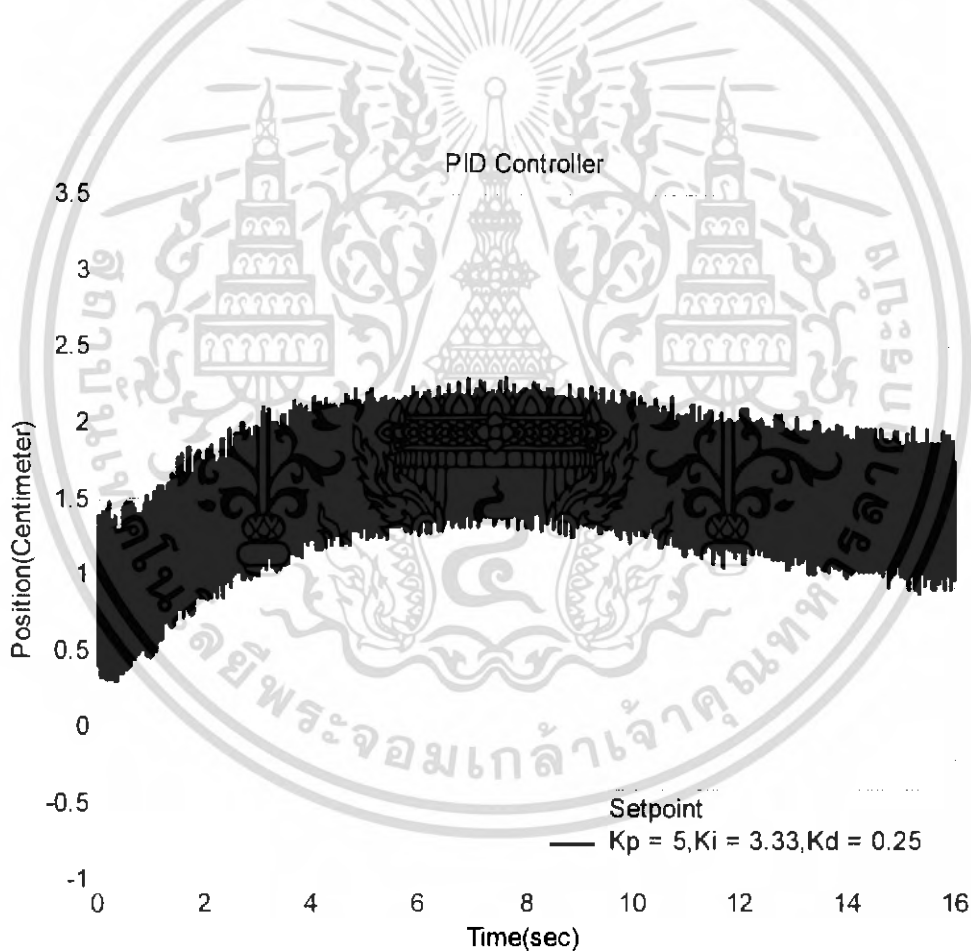
รูปที่ 6.13 ผลตอบสนองของระบบควบคุมในส่วนขึ้นและหดรันด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ โดยแปรค่า  $K_p$



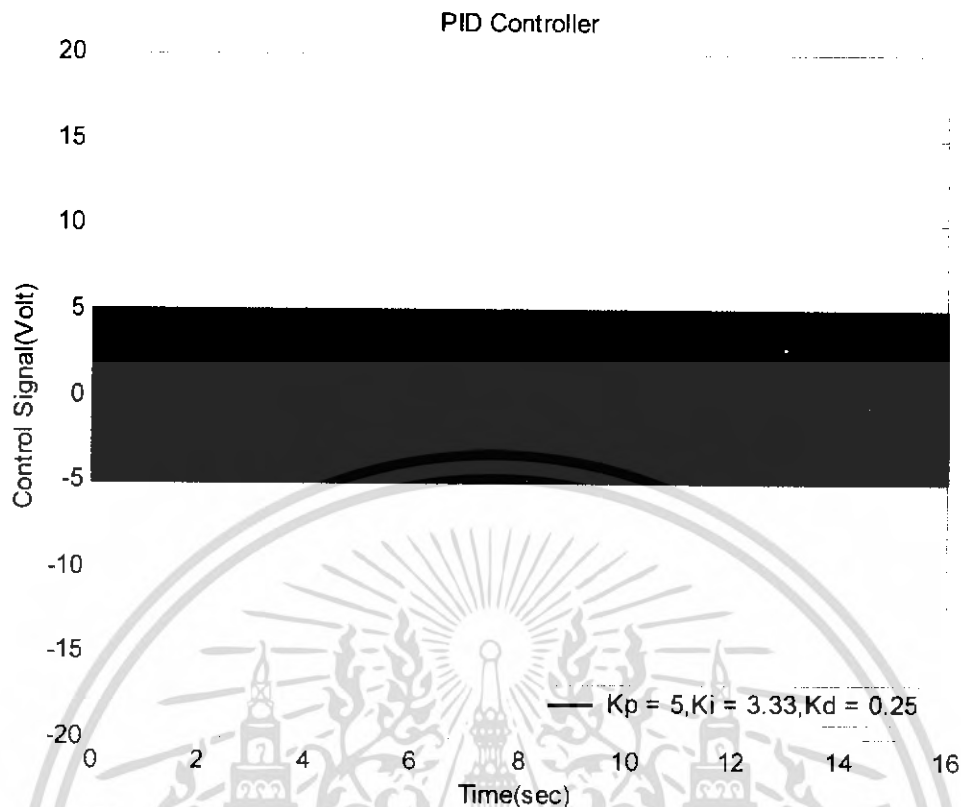
เอกสารนี้รูปที่ 6.14 สัญญาณควบคุมในส่วนขึ้นและหดรันด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ โดยแปรค่า  $K_p$  การตั้งค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 6.1.4 การทดลองควบคุมตำแหน่งในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี

ในการทดลองได้ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี ด้วยอัตราขยายที่  $K_p = 5$   $K_i = 3.33$  และ  $K_d = 0.25$  ดังจะแสดงผลการทดลองในรูปที่ 6.15 และ รูปที่ 6.16 ซึ่งเป็นผลการทดลองควบคุมตำแหน่งของแขนกลตีฆ้องวงใหญ่ในส่วนยึดและหัดแขนให้เคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ 0.912 cm ไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ 1.508 cm (เป็นการควบคุมในตำแหน่งเดียวกันกับการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ) ด้วยอัตราขยายข้างต้น จะเห็นได้ว่าผลตอบสนองในรูปที่ 6.15 มีการแกว่งในทิศทางที่ไม่แน่นอนเกิดขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะเดียวกันกับสัญญาณควบคุมในรูปที่ 6.16 เป็นเพราะว่ามีสัญญาณรบกวนจากภายนอกเข้ามารบกวนภายในระบบควบคุม จากตัวควบคุมแบบพีไอดีนั้นเป็นการรวมตัวควบคุมแบบดีเข้าไปด้วย ซึ่งตัวควบคุมแบบดีนี้จะไปขยายค่าความชันของสัญญาณรบกวนข้างต้น ซึ่งมีค่าที่ไม่แน่นอน ทำให้มีผลการทดลองดังกล่าว



รูปที่ 6.15 ผลตอบสนองของระบบในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี



รูปที่ 6.16 สัญญาณควบคุมในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี

### สรุปผลการทดลองควบคุมตำแหน่งในส่วนยึดและหัดแขนแบบวงปิด

จากผลการทดลองโดยการใช้ตัวควบคุมที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่าการใช้ตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด เหมาะสมที่สุด คือ สามารถควบคุมในทุกๆตำแหน่งเป้าหมายได้ โดยผลตอบสนองของระบบ มีเวลาในการไต่ขึ้นเร็ว ใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวน้อย มีค่าความผิดพลาดสุดท้ายที่ยอมรับได้ และไม่มีการพุ่งเกินเกิดขึ้น

### 6.2 การทดลองควบคุมตำแหน่งในส่วนหมุนแขนแบบวงปิด

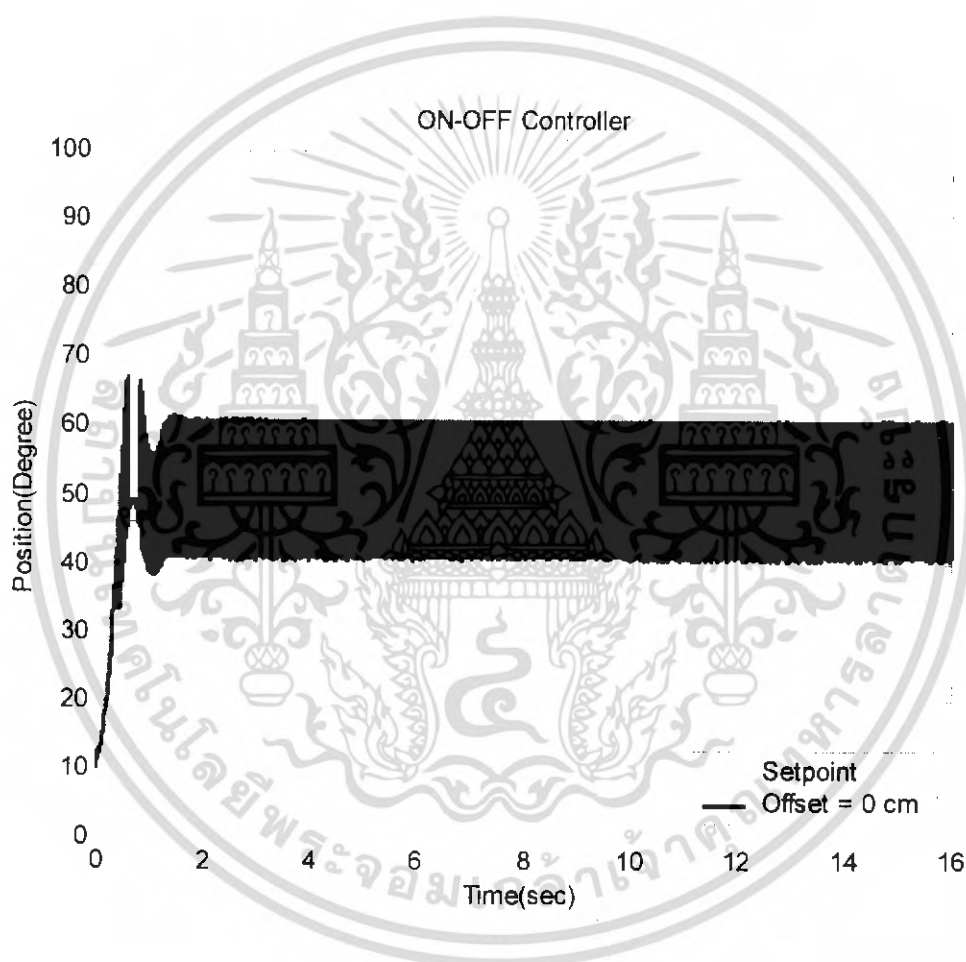
การทดลองนี้เป็นการทดสอบ เพื่อสังเกตการเคลื่อนที่ของแขนกลคีมองวงใหญ่ในส่วนหมุนแขน โดยใช้วิธีการลองผิดลองถูกในการปรับอัตราขยายที่แตกต่างกันของตัวควบคุมแบบต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบและหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมแขนกลคีมองวงใหญ่ ซึ่งได้เลือกใช้ตัวควบคุมที่ออกแบบไว้ดังนี้

- ตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด
- ตัวควบคุมแบบพี
- ตัวควบคุมแบบพีไอ
- ตัวควบคุมแบบพีไอดี

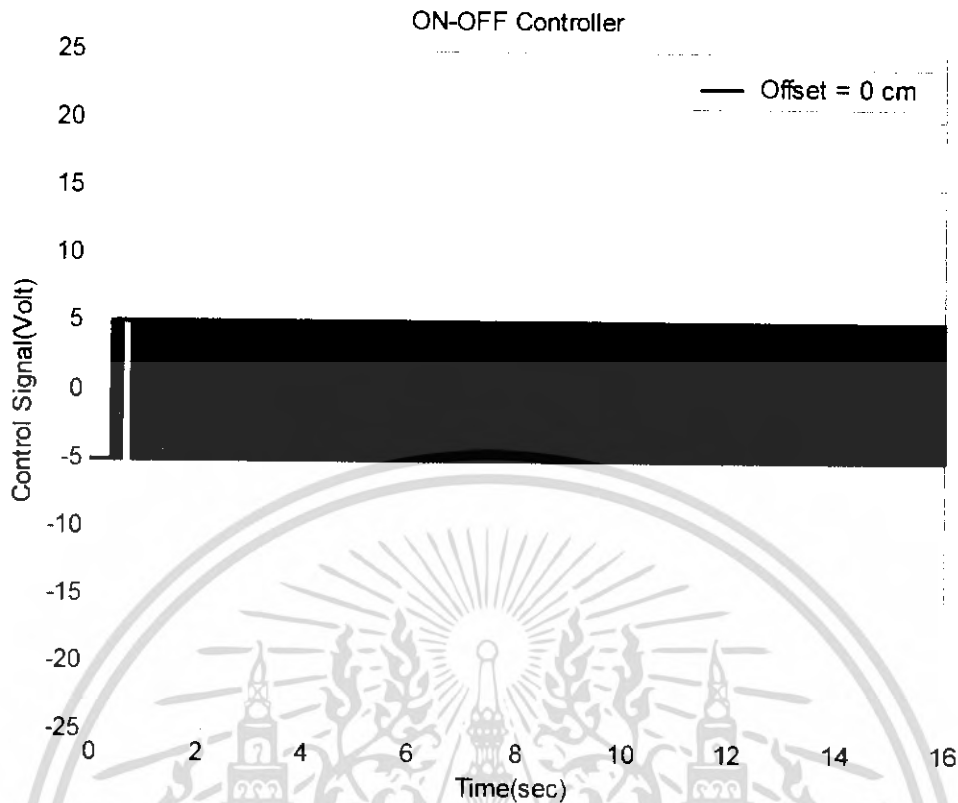
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.2.1 การทดลองควบคุมตำแหน่งในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด

ในการทดลองนี้ ได้ใช้ตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด เพื่อทดลองควบคุมตำแหน่งของแขนกลตีฆ้องวงใหญ่ในส่วนการหมุนแขน ให้เคลื่อนที่จากตำแหน่ง 9.504 องศา ไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ 45.954 องศา ซึ่งได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 6.17 และรูปที่ 6.18 จะเห็นได้ว่า ผลตอบสนองของระบบในรูปที่ 6.17 มีเวลาได้ขึ้นที่เร็ว และมีการแกว่งเกิดขึ้น ในส่วนของสัญญาณควบคุมในรูปที่ 6.18 จะมีการอิมพัลส์เกิดขึ้นในช่วงเวลาเริ่มต้น และจะเกิดการแกว่งขึ้น ซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกันกับที่ผลตอบสนองของระบบในรูปที่ 6.17 เริ่มเกิดการแกว่ง



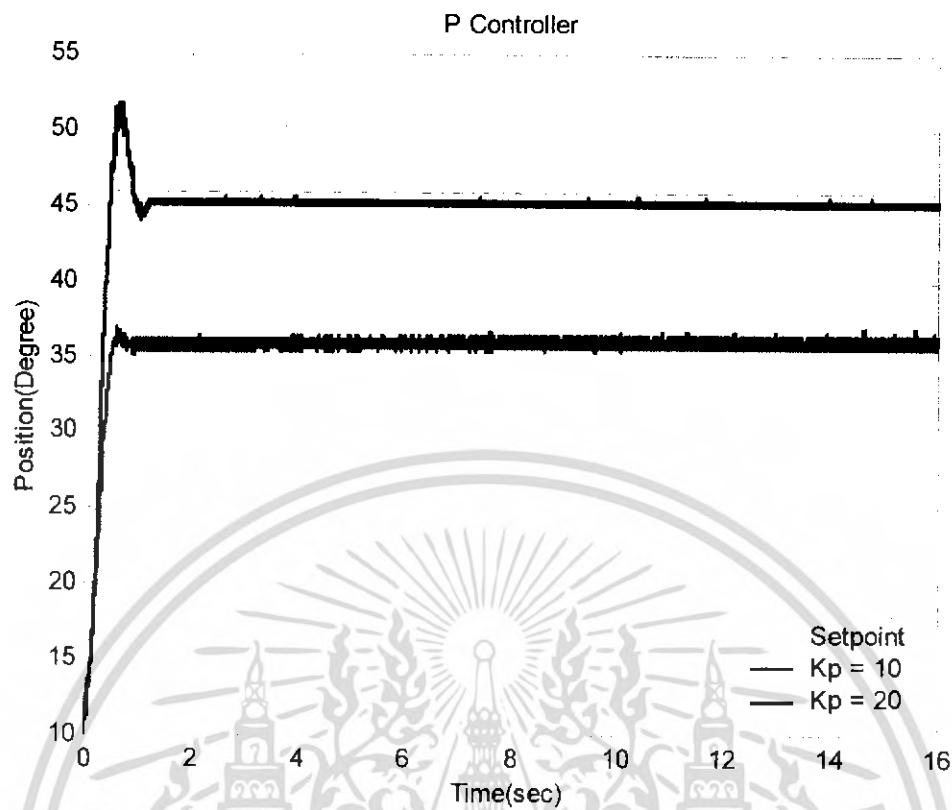
รูปที่ 6.17 ผลตอบสนองของระบบในส่วนยึดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด



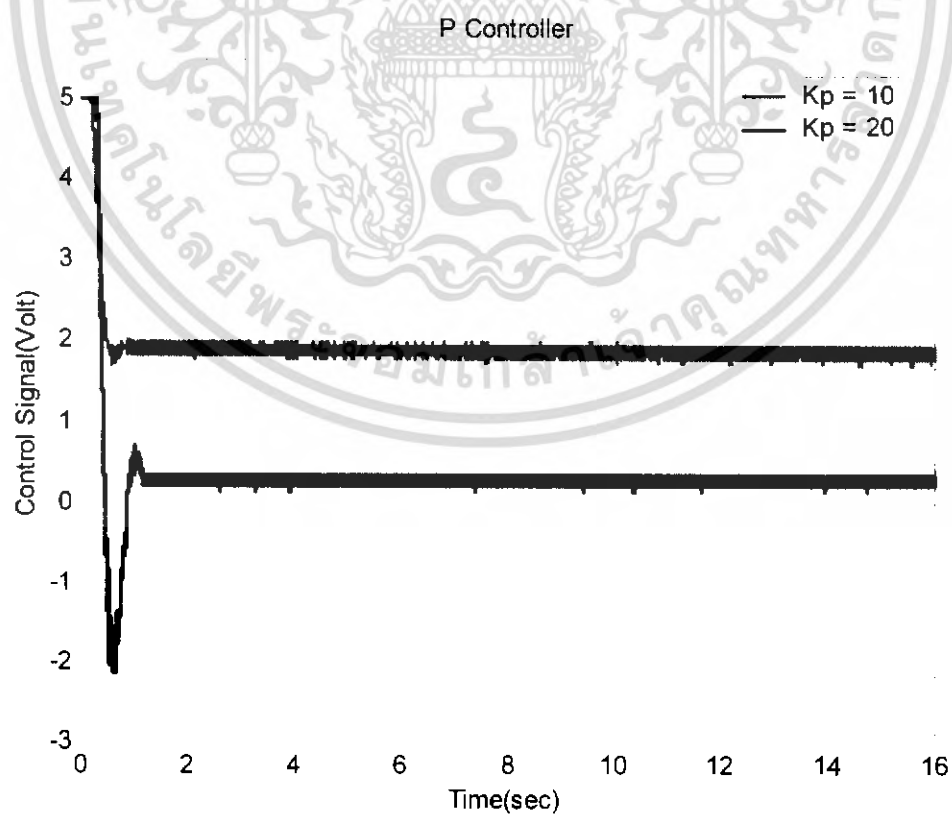
รูปที่ 6.18 สัญญาณควบคุมในส่วนขีดและหัดแขนด้วยตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด

### 6.2.2 การทดลองควบคุมตำแหน่งในส่วนหมุนแขนด้วยตัวควบคุมแบบพี

ในการทดลองนี้ ได้ใช้ตัวควบคุมแบบพี โดยการลองผิดลองถูกในการปรับอัตราขยายที่  $K_p$  แตกต่างกัน ดังจะแสดงผลการทดลองในรูปที่ 6.19 และรูปที่ 6.20 ซึ่งเป็นผลการทดลองควบคุมตำแหน่งของแขนกลดีซีของวงใหญ่ในส่วนการหมุนแขน ให้เคลื่อนที่จากตำแหน่ง 9.504 องศา ไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ 45.954 องศา (เป็นการควบคุมในตำแหน่งเดียวกันกับการใช้ตัวควบคุมแบบเปิดปิด) โดยการปรับอัตราขยายที่  $K_p = 10$  และ  $K_p = 20$  จะเห็นได้ว่าผลตอบสนองในรูปที่ 6.19 ที่  $K_p = 20$  นั้น มีค่าความผิดพลาดสุดท้ายน้อยกว่า และมีเวลาในการไต่ขึ้นที่เร็วกว่าที่  $K_p = 10$  และมีการพุ่งเกินเกิดขึ้น โดยสัญญาณในการควบคุมในรูปที่ 6.20 ที่  $K_p = 20$  จะเกิดการอิมพัลส์เป็นเวลานานกว่าที่  $K_p = 10$  เพียงเล็กน้อย



รูปที่ 6.19 ผลตอบสนองของระบบในส่วนหมุนแกนด้วยตัวควบคุมแบบพี



รูปที่ 6.20 สัญญาณควบคุมในส่วนหมุนแกนด้วยตัวควบคุมแบบพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยผู้จัดทำขึ้นเพื่อประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

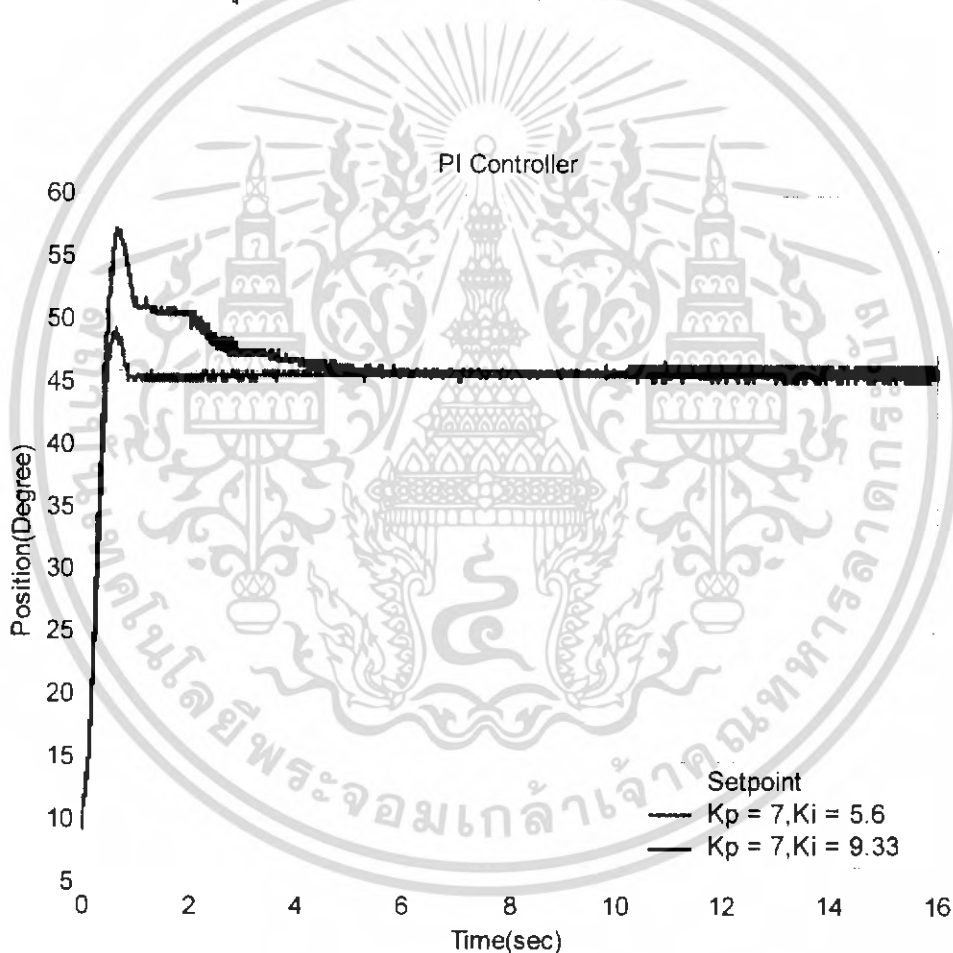
### 6.2.3 การทดลองควบคุมตำแหน่งในส่วนหมุนแขนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ

ในการทดลองนี้ ได้ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ โดยใช้วิธีลองผิดลองถูกในการปรับอัตราขยายที่  $K_p$  และ  $K_i$  แตกต่างกัน ซึ่งมีลักษณะในการปรับอัตราขยาย 2 แบบด้วยกันคือ

แบบที่ 1 แปรค่า  $K_i$  โดยที่  $K_p$  คงที่

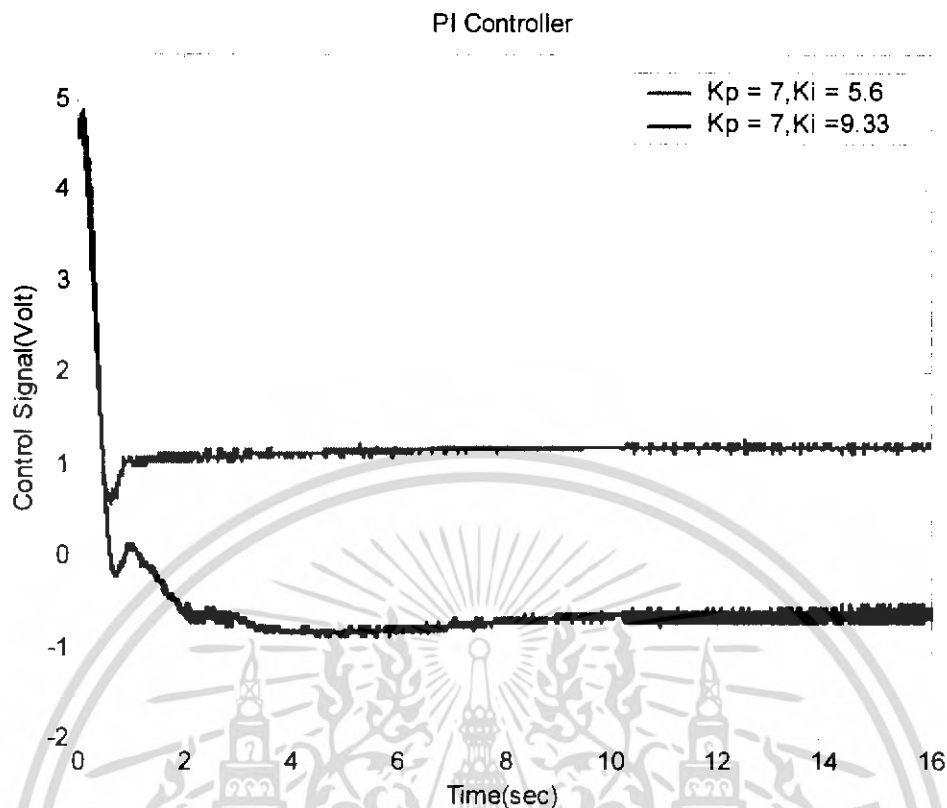
แบบที่ 2 แปรค่า  $K_p$  โดยที่  $K_i$  คงที่

ซึ่งเป็นการทดลองควบคุมตำแหน่งของแขนกลตีฆ้องวงใหญ่ในส่วนการหมุนแขน ให้เคลื่อนที่จากตำแหน่ง 9.504 องศา ไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ 45.954 องศา (เป็นการควบคุมในตำแหน่งเดียวกันกับการใช้ตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด และแบบพี) ดังผลการทดลองต่อไปนี้



รูปที่ 6.21 ผลตอบสนองของระบบในส่วนหมุนแขนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ โดยแปรค่า  $K_i$

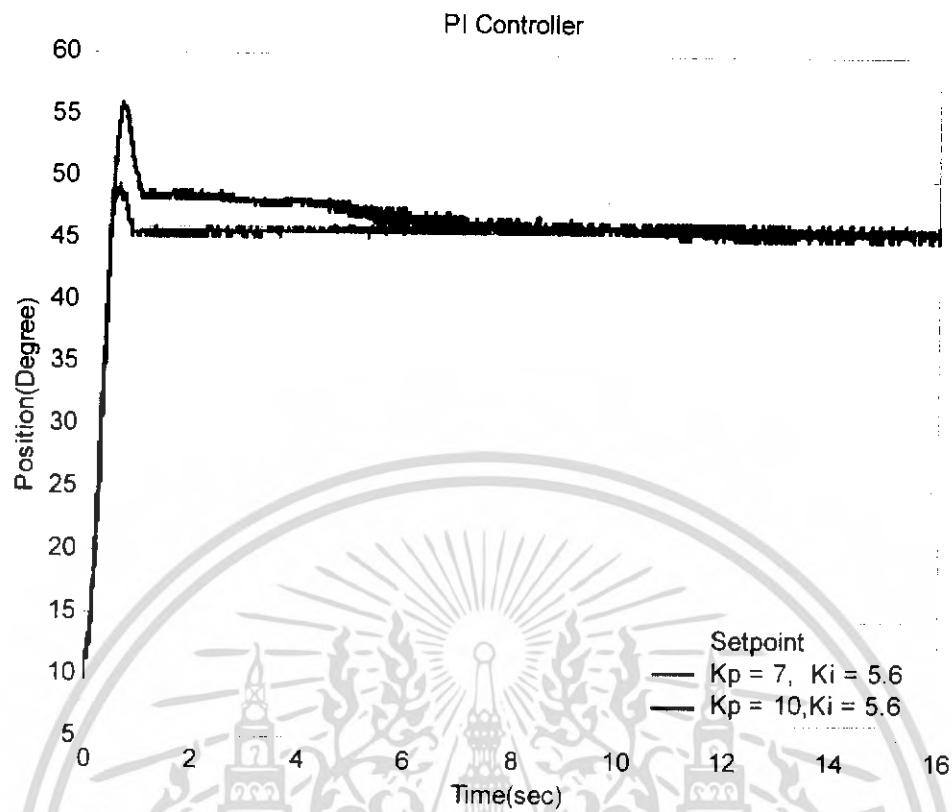
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



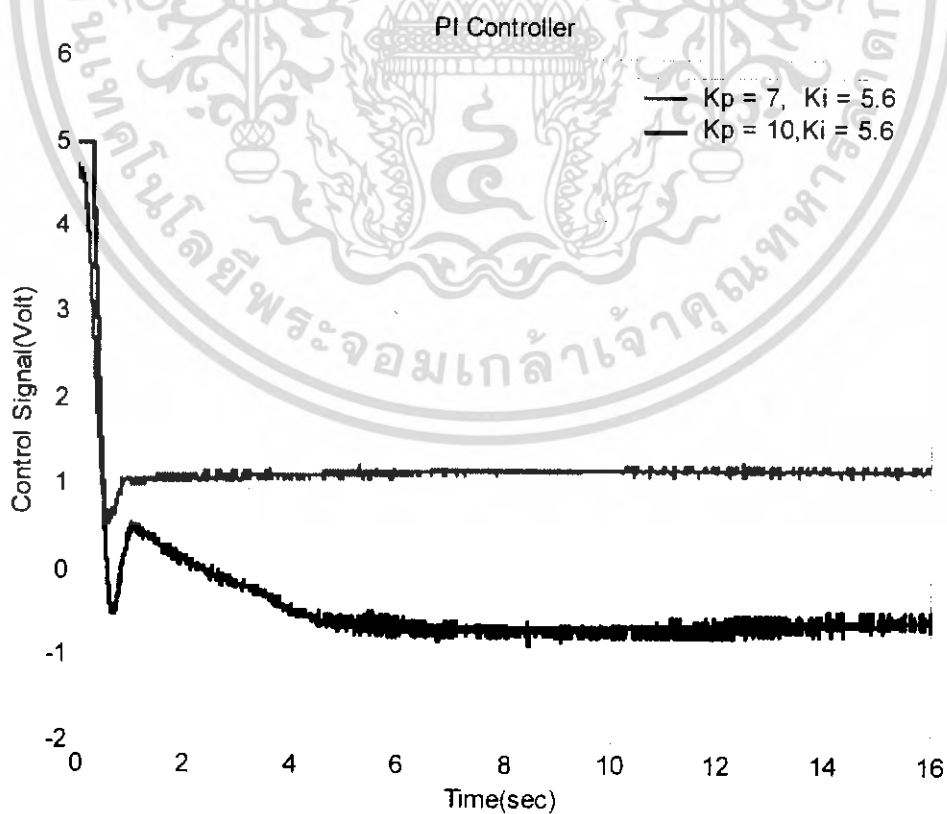
รูปที่ 6.22 สัญญาณควบคุมในส่วนหมุนแกนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ โดยแปรค่า  $K_i$

จากรูปที่ 6.21 และรูปที่ 6.22 เป็นผลการทดลอง โดยการปรับอัตราขยายตามแบบที่ 1 คือแปรค่า  $K_i = 5.6$  และ  $K_i = 9.33$  โดยที่  $K_p$  คงที่ เท่ากับ 7 จะเห็นได้ว่าผลตอบสนองในรูปที่ 6.21 มีเวลาได้ขึ้นและใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัว ที่เท่ากัน และไม่มีค่าความผิดพลาดสุดท้ายเหมือนกัน แต่ที่  $K_i = 9.33$  มีการพุ่งเกินมากกว่า ที่  $K_i = 5.6$  โดยสัญญาณควบคุมในรูปที่ 6.22 ที่  $K_i = 9.33$  มีค่าระดับสัญญาณควบคุมในช่วงเวลาเริ่มต้นมากกว่าที่  $K_i = 5.6$  เพียงเล็กน้อย

ในกรณีการทดลองแบบที่ 2 ได้ผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 6.23 และ รูปที่ 6.24 ซึ่งทำการทดลองโดยการปรับอัตราขยายที่  $K_p = 7$  และ  $K_p = 10$  โดย  $K_i$  คงที่ เท่ากับ 5.6 จะเห็นได้ว่าผลตอบสนองในรูปที่ 6.23 มีเวลาได้ขึ้นที่เท่ากัน และไม่มีค่าความผิดพลาดสุดท้ายเหมือนกัน แต่ที่  $K_p = 10$  นั้น มีการพุ่งเกินมากกว่า และใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวนานกว่าที่  $K_p = 7$  ซึ่งสัญญาณในการควบคุมในรูปที่ 6.24 ที่  $K_p = 10$  มีค่าระดับสัญญาณควบคุมในช่วงเวลาเริ่มต้นมากกว่าที่  $K_p = 7$  และเกิดการอิมพัลส์เพียงเล็กน้อย



รูปที่ 6.23 ผลตอบสนองของระบบในส่วนหมุนแขนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ โดยแปรค่า  $K_p$

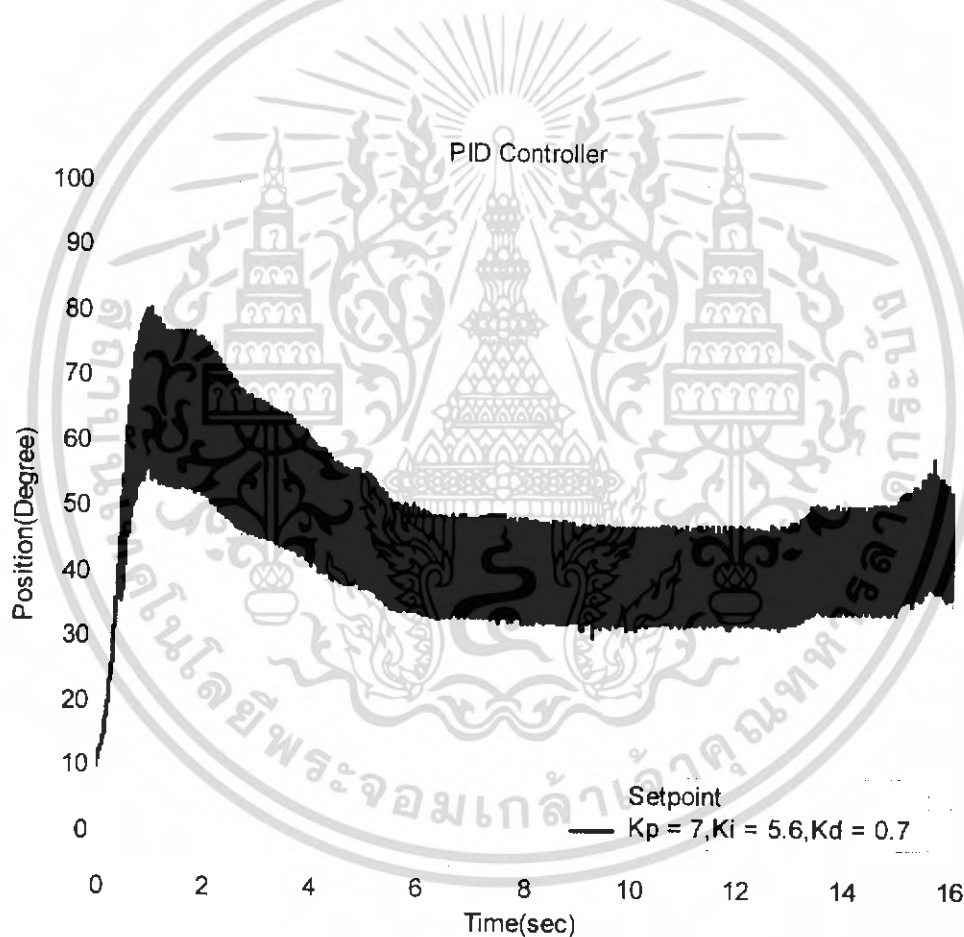


รูปที่ 6.24 สัญญาณควบคุมในส่วนหมุนแขนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ โดยแปรค่า  $K_p$

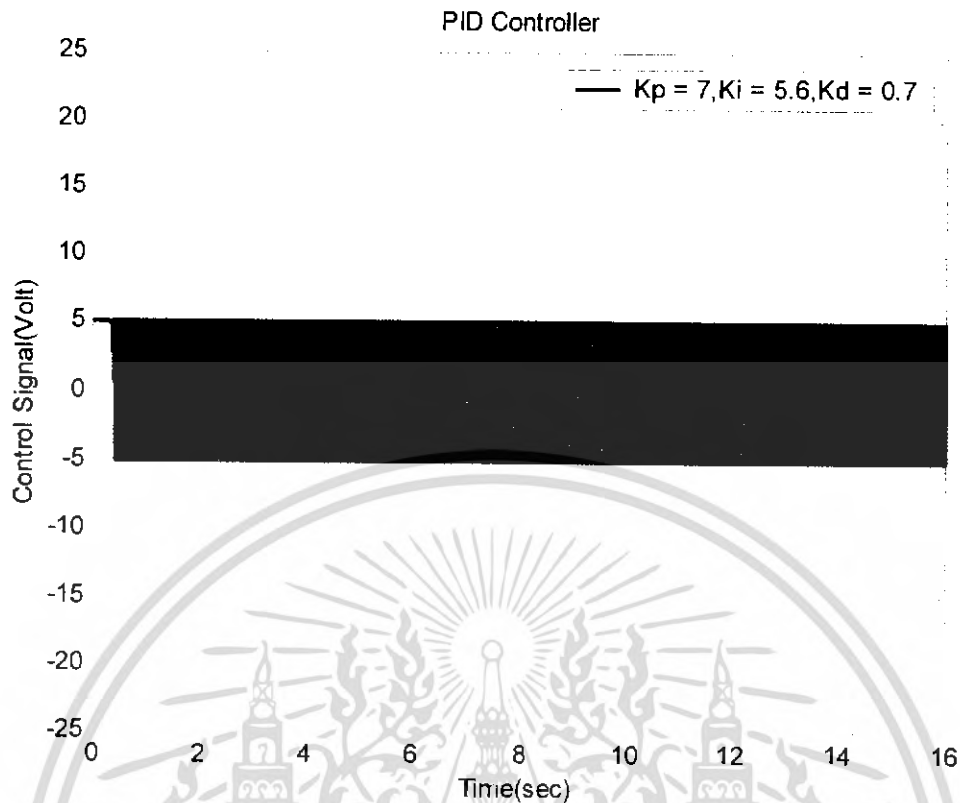
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 6.2.4 การทดลองควบคุมตำแหน่งในส่วนหมุนแขนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี

ในการทดลองนี้ ได้ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี ด้วยอัตราขยายที่  $K_p = 7$   $K_i = 5.6$  และ  $K_d = 0.7$  ซึ่งเป็นการทดลองควบคุมตำแหน่งของแขนกลคีม็องวงใหญ่ในส่วนการหมุนแขน ให้เคลื่อนที่จากตำแหน่ง 9.504 องศา ไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ 45.954 องศา (เป็นการควบคุมในตำแหน่งเดียวกันกับการใช้ตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด แบบพี และแบบพีไอ) ดังจะแสดงผลการทดลองในรูปที่ 6.25 และรูปที่ 6.26 ซึ่งจะเห็นได้ว่า มีการแกว่งในทิศทางที่ไม่แน่นอนเกิดขึ้น เนื่องจากมีสัญญาณรบกวนจากภายนอกเข้ามารบกวน โดยสัญญาณควบคุมในรูปที่ 6.26 จะมีการอิมพัลส์เกิดขึ้นในช่วงเวลาเริ่มต้น และจะเกิดการแกว่งขึ้น ซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกันกับที่ผลตอบสนองของระบบในรูปที่ 6.25 เริ่มเกิดการแกว่ง



รูปที่ 6.25 ผลตอบสนองของระบบในส่วนหมุนแขนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี

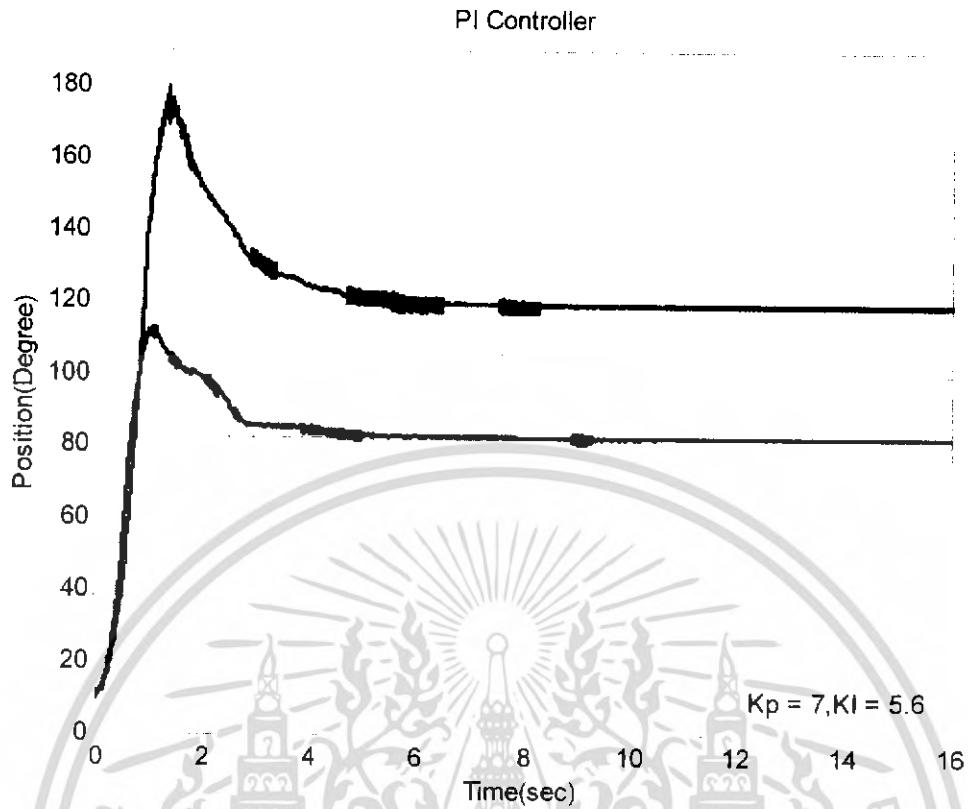


รูปที่ 6.26 สัญญาณควบคุมในส่วนหมุนแขนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี

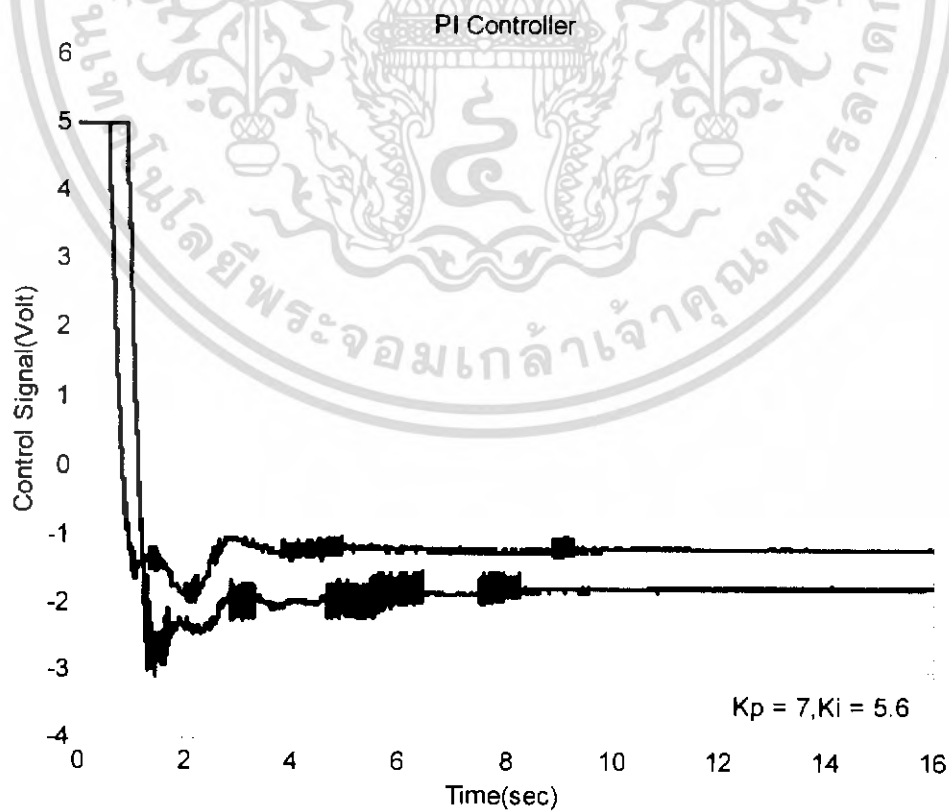
#### 6.2.5 การทดลองควบคุมตำแหน่งในส่วนหมุนแขนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ อาศัย แอนต์ไวด์ธัพ

จากผลการทดลองควบคุมตำแหน่งในส่วนหมุนแขนแบบวงปิด จะเห็นได้ว่าผลตอบสนองของระบบในรูปที่ 6.23 ซึ่งเป็นการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ ด้วยอัตราขยายที่  $K_p = 7$  และ  $K_i = 5.6$  เหมาะสมที่สุด แต่เมื่อได้ทำการทดลองควบคุมในตำแหน่งเป้าหมายอื่นๆ ที่มีค่าความแตกต่างของมุมมากขึ้น ก็มีปัญหาเกิดขึ้น ดังจะแสดงผลการทดลองในรูปที่ 6.27 และรูปที่ 6.28 ซึ่งเป็นการทดลองให้แขนกลเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ 82.458 องศา และ 118.962 องศา ด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ ที่อัตราขยายเหมาะสมที่สุด ดังข้างต้น จะเห็นได้ว่าผลตอบสนองของระบบในรูปที่ 6.27 นั้น ทั้งสองตำแหน่งเป้าหมายมีการพุ่งเกินที่มากขึ้น และใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวนานมากขึ้นด้วย เนื่องจากสัญญาณควบคุมในรูปที่ 6.28 เกิดการอิมพัลส์เป็นเวลานานมากขึ้น

ดังนั้นในการทดลองนี้ ได้ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ อาศัย แอนต์ไวด์ธัพ ด้วยอัตราขยาย  $K_p = 7$   $K_i = 5.6$  เซ่นเดิม และ  $K_t = 2.5$  ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง โดยผลการทดลอง แสดงได้ดังรูปที่ 6.29 และรูปที่ 6.30

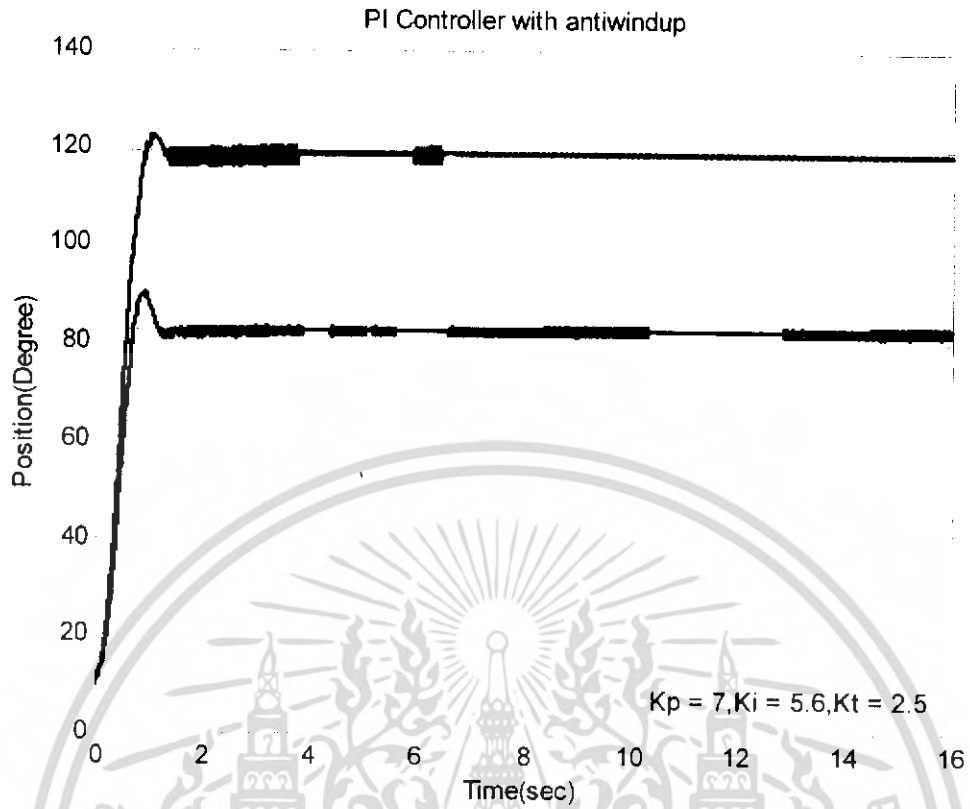


รูปที่ 6.27 ผลตอบสนองของระบบในส่วนหมุนแกนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ

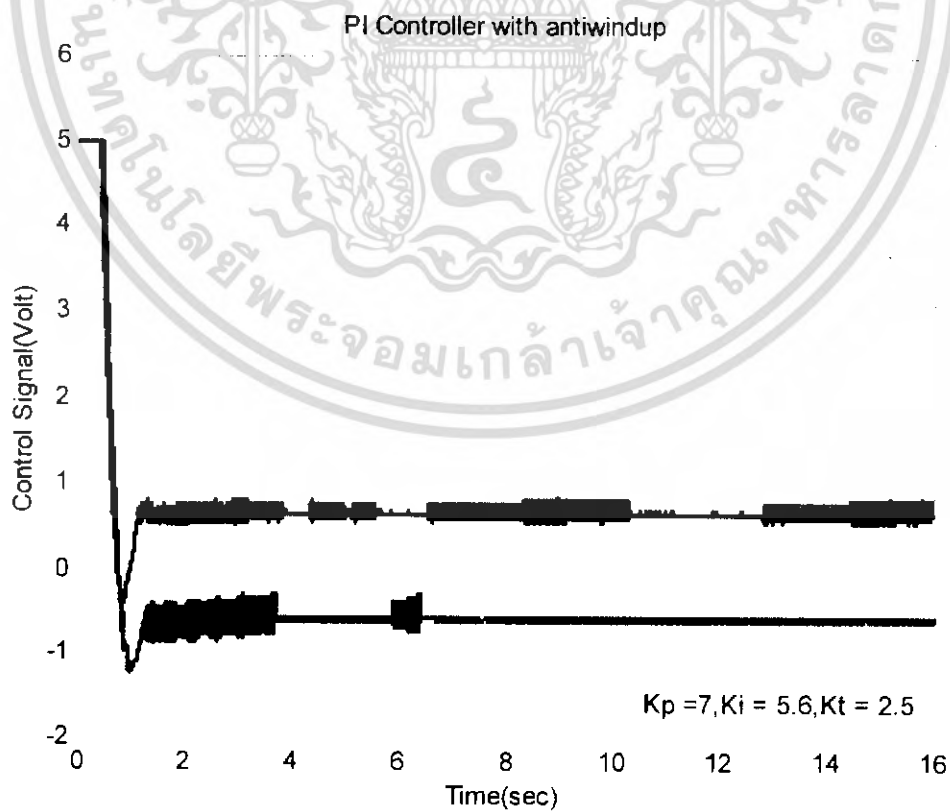


รูปที่ 6.28 สัญญาณควบคุมตำแหน่งในส่วนหมุนแกนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.29 ผลตอบสนองของระบบในส่วนหมุนแขนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ  
อัสซึ แอนตี้ไวด์อัฟ



รูปที่ 6.30 สัญญาณควบคุมในส่วนหมุนแขนด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ อัสซึ แอนตี้ไวด์อัฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ภายใต้ลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

จากผลการทดลองในรูปที่ 6.29 และรูปที่ 6.30 จะเห็นได้ว่าผลตอบสนองของระบบในรูปที่ 6.29 มีการพุ่งเกินที่ลดลง และใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวลดลงด้วย โดยสัญญาณควบคุมในรูปที่ 6.30 มีการอิมพัลส์เป็นเวลาที่ลดลงด้วยเช่นกัน

#### สรุปผลการทดลองควบคุมตำแหน่งในส่วนหมุนแขนแบบวงปิด

จากผลการทดลองโดยการใช้ตัวควบคุมที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่าการใช้ตัวควบคุมแบบพีไออาศัย แอนติไวคิอ์พ ด้วยอัตราขยายที่  $K_p = 7$   $K_i = 5.6$  และ  $K_t = 2.5$  เหมาะสมที่สุด คือสามารถควบคุมในทุกๆตำแหน่งเป้าหมายได้ โดยผลตอบสนองของระบบมีเวลาในการไต่ขึ้นเร็ว ใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวน้อย มีการพุ่งเกินที่ยอมรับได้ และไม่มีค่าความผิดพลาดสุดท้ายเกิดขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

### สรุปและวิจารณ์

แผนกติดตั้งวงใหญ่ในโรงงานนี้ ได้ประกอบขึ้นด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ โครงสร้างทางกล เป็นส่วนดำเนินการหลักของระบบ โครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์ เป็นส่วนในการส่งผ่านแรงดัน และจ่ายกระแสให้เพียงพอกับความถี่ความต้องการของอุปกรณ์ทางกล และส่วนการควบคุม เป็นส่วนในการควบคุมตำแหน่งของแกนกลติดตั้งวงใหญ่ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ โดยในแต่ละส่วนนั้นได้มีขั้นตอนในการออกแบบ จัดหาอุปกรณ์ที่เหมาะสม นำมาประกอบ ทดลองและสังเกตการณ์ และนำไปใช้งานจริง

ในส่วนการทดสอบควบคุมแกนกลติดตั้งวงใหญ่ สามารถควบคุมแกนกลซึ่งแยกกันในแต่ละส่วนให้เป็นไปตามเป้าหมายที่ต้องการได้ โดยควบคุมให้แกนกลเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งมุมการหมุน ด้วยตัวควบคุมแบบเฟื่อ ลาสเซอร์ แอนตี้ ไวลด์พ ควบคุมให้แกนกลเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งขีดและหยุด ด้วยตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด และสามารถควบคุมให้ไม่ฉีกตามจังหวะการควบคุมได้

อย่างไรก็ตามในการทำโรงงานได้พบปัญหาในแต่ละขั้นตอนที่แตกต่างกันออกไป ดังมีรายละเอียดของปัญหาที่เกิดขึ้น แนวทางในการแก้ไข และข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนาต่อไปในอนาคต ต่อไปนี้

#### 7.1 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข

- โครงสร้างทางกลมีความไม่เที่ยงตรง เนื่องจากความไม่ชำนาญในการออกแบบชิ้นส่วนทางกลต่างๆ และการใช้เครื่องมือกล เช่น สว่าน เครื่องกลึง เครื่องตัด เป็นต้น แนวทางแก้ไข การฝึกฝนให้เกิดความชำนาญเท่านั้น

- ไม่สามารถทราบข้อมูลที่แม่นยำของมอเตอร์ไฟฟ้า และข้อมูลของโครงสร้างทางกลในส่วนที่จะนำมาหาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบ ทำให้ยากต่อการหาอัตราขยายต่างๆที่เหมาะสมของตัวควบคุม เพื่อที่จะนำไปควบคุมแกนกล ซึ่งมีผลทำให้ต้องใช้วิธีการลองผิดลองถูก ในการหาอัตราขยายที่เหมาะสม ซึ่งใช้เวลานานมาก จึงควรใช้มอเตอร์ไฟฟ้าที่ทราบข้อมูลที่ต้องการ และควรรหาข้อมูลของโครงสร้างทางกลด้วย

- ใช้หม้อแปลงในวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ที่มีพิกัดกระแสต่ำกว่าพิกัดกระแสที่ต้องการ เมื่อมีการควบคุมให้แกนกลเคลื่อนที่ แรงดันเอาต์พุต  $V_{out}$  ของวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะลดลง เป็นผลทำให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแกนกลลดลง จึงควรรหาหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีพิศกักระแสดตามที่ต้องการมาเปลี่ยน หรือออกแบบโครงสร้างทางกลให้มอเตอร์ในส่วนหมุน แขนมีภาระทางไฟฟ้าน้อยกว่าเดิม

- ความไม่เข้าใจในวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ทำให้เกิดความเสียหายใน ส่วนของวงจรนี้ขณะที่ทำการทดลองให้แขนกลเคลื่อนที่ ซึ่งทำให้เสียเวลาในการทำความเข้าใจ และแก้ไขปรับปรุงวงจร จึงควรศึกษาทุกส่วนของวงจรให้เกิดความเข้าใจก่อนที่จะทำการทดลอง เพื่อนำไปใช้งานจริง

- มีสัญญาณรบกวนเข้ามาในระบบควบคุม ทำให้ไม่สามารถใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีที่ ออกแบบไว้ได้ ในการควบคุมแขนกลทั้งในส่วนหมุนแขน และส่วนยึดและหดแขน แนวทางใน การแก้ไข ได้ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ อาศัย แอนต์ไวด์ธัพ ควบคุมแขนกลในส่วนหมุนแขน และ ได้ใช้ตัวควบคุมแบบเปิด - ปิด ควบคุมแขนกลในส่วนยึดและหดแขน ซึ่งตัวควบคุมทั้งสองส่วน เหมาะสมที่สุด

- มีพื้นฐานความเข้าใจในการเขียนโปรแกรมทั้งในส่วนของคอมพิวเตอร์ และ ไมโครคอนโทรลเลอร์น้อยมาก ทำให้เสียเวลาลองผิดลองถูกในการเขียนโปรแกรม จึงควรศึกษา พื้นฐานของภาษาที่จะนำมาเขียนเป็นโปรแกรมให้มากกว่านี้

- สู้ดท้ายเป็นปัญหา การขาดความรอบคอบ ในส่วนของการต่อวงจร ทำให้อุปกรณ์ต่างๆ ในวงจรเกิดความเสียหาย และการเลือกใช้อุปกรณ์มาใช้แต่ไม่เหมาะสม ทำให้สิ้นเปลือง งบประมาณ จึงต้องมีความรอบคอบทุกครั้งในการต่อวงจร และก่อนที่จะใช้อุปกรณ์ต่างๆ ต้อง ศึกษาถึงรายละเอียดที่จำเป็นของอุปกรณ์นั้น

## 7.2 ข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนาต่อไปในอนาคต

แขนกลดีมีองวงใหญ่ในโครงการนี้ ได้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ในระดับหนึ่ง คือ สามารถควบคุมแขนกลโดยแยกกันในแต่ละส่วนให้เป็นที่ไปตามเป้าหมายที่ต้องการได้ โดยสามารถ ควบคุมให้แขนกลเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งมุมการหมุน และตำแหน่งยึดและหดของแขนกล แต่ยังมี ข้อจำกัดในความเร็วของการเคลื่อนที่แขนกลที่ยังช้า เนื่องจากปัญหาที่กล่าวมาในข้อที่ 7.1 และ สามารถควบคุมให้ไม่ฆ้องติตามจังหวะการควบคุมได้ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในจังหวะการตีหนัก ดีเบา ซึ่งยังไม่มีมีการควบคุม เนื่องจากไม่มีการป้อนกลับของระยะการตี ซึ่งสามารถที่จะพัฒนาต่อไปให้ เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้สูงสุด โดยการแก้ปัญหาดังกล่าวมาในข้อที่ 7.1 เพิ่ม อุปกรณ์วัดระยะการตีลูกฆ้องเพื่อส่งเป็นสัญญาณป้อนกลับให้กลับไมโครคอนโทรลเลอร์ ประมวลผล และเขียนโปรแกรมที่ควบคุมการทำงานของแขนกลดีมีองวงใหญ่ให้เล่นตาม โน้ตเพลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

### มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การจะทำให้แขนกลตีฆ้องวงใหญ่ในโรงงานนี้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเป้าหมายได้นั้น จำเป็นต้องมีตัวขับเคลื่อน ซึ่งส่วนมากจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าโดยเฉพาะมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เพราะสามารถควบคุมการทำงานได้ง่าย ดังนั้นจึงควรรู้คุณลักษณะ และหลักการทำงาน รวมถึงหลักการควบคุมตำแหน่งเชิงมุมของมอเตอร์ชนิดนี้ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### ก.1 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นอุปกรณ์แปลงสัญญาณทางไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ซึ่งมีการออกแบบให้มีคุณลักษณะพิเศษ คือ แรงบิดของเพลามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดอาร์เมเจอร์ แรงบิดของเพลามอเตอร์จะได้จากผลคูณระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กกับกระแสไฟฟ้า หลักการในขั้นนี้ คือ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำซึ่งอยู่ในสนามแม่เหล็กนั้น จะทำให้เกิดแรงขึ้นในตัวนำ ที่ตั้งฉากกับเส้นแรงแม่เหล็กและกระแสที่ไหลผ่านในตัวนำนั้นๆ และจะเกิดการทำให้เกิดการกระทำกับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ ทำให้เกิดแรงผลักขึ้นบนตัวนำ จึงทำให้อาร์เมเจอร์หมุนไปได้ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของเพลากับกระแสเท่ากับ

$$T_u = K\Phi I \quad (ก.1)$$

เมื่อ  $T_u$  คือ แรงบิดของเพล (นิวตัน-เมตร)

$\Phi$  คือ เส้นแรงแม่เหล็ก (เวเบอร์)

$I$  คือ กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

$K$  คือ ค่าคงที่

ดังนั้นแรงบิดของเพลจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลคูณของเส้นแรงแม่เหล็ก และกระแสไฟฟ้าเมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กก็จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวมันเอง เรียกว่า แรงดันไฟฟ้าย้อนกลับ (Back emf) ซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของเพลามอเตอร์ และต้านการไหลของกระแสไฟฟ้า โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับกับความเร็วของมอเตอร์ เป็น

$$E_b = K\Phi\omega \quad (ก.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ  $E_b$  คือ แรงดันไฟฟ้าย้อนกลับ (โวลต์)  
 $\Phi$  คือ เส้นแรงแม่เหล็ก (เวเบอร์)  
 $\omega$  คือ ความเร็วของมอเตอร์ (เรเดียน/วินาที)

มอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนแกนกลติ่งวงใหญ่ในโครงงานนี้ เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

## ก.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร มีคุณลักษณะความสัมพันธ์ของค่าต่างๆ เป็นแบบเชิงเส้น จึงทำให้ง่ายต่อการควบคุมตำแหน่ง และสามารถหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังต่อไปนี้

### แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ความสัมพันธ์ของค่าต่างๆ ทางเชิงกล อธิบายได้ดังนี้

$$\text{จาก } \Sigma \text{Torque} = J \frac{d\omega(t)}{dt} \quad (\text{ก.3})$$

- เมื่อ
- $J(t)$  : โมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of Inertia) (กิโลกรัม/ตารางเมตร)
  - $T_f(t)$  : แรงบิดเสียดทานในที่นี้คิดเฉพาะวิสคอสฟริกชัน (Viscous Friction) (นิวตัน-เมตร)
  - $T_d(t)$  : แรงบิดจากมอเตอร์ (นิวตัน-เมตร)
  - $T_L(t)$  : แรงบิดจากผลของภาระมอเตอร์ (นิวตัน-เมตร)
  - $\omega(t)$  : ความเร็วเชิงมุม (เรเดียน/วินาที)
  - $N$  : อัตราทดรอบเฟือง
  - $\theta(t)$  : ตำแหน่งเชิงมุม (เรเดียน)
  - $B$  : สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในที่นี้คิดเฉพาะวิสคอสฟริกชัน (นิวตัน-เมตร-วินาที/เรเดียน)

$$\Sigma \text{Torque} = T_d(t) - T_f(t) - T_L(t)$$

$$\Sigma \text{Torque} = T_d(t) - B\omega(t) - T_L(t) \quad (\text{ก.4})$$

แทนค่า (ก.4) ใน (ก.3)  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 T_d(t) - B\omega(t) - T_L(t) &= J \frac{d\omega(t)}{dt} \\
 T_d(t) - T_L(t) &= J \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t) \\
 \text{ให้ } T_d(t) - T_L(t) &= T(t) \\
 T(t) &= J \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t) \tag{ก.5}
 \end{aligned}$$

ทำการแปลงลาปลาซ สมการ (ก.5) โดยกำหนดให้มีสถานะเริ่มต้นที่  $\omega(s) = 0$  เพื่อหาฟังก์ชันถ่ายโอน

$$\begin{aligned}
 T(s) &= Js\omega(s) + B\omega(s) \\
 \frac{\omega(s)}{T(s)} &= \frac{1}{(Js + B)} \tag{ก.6}
 \end{aligned}$$

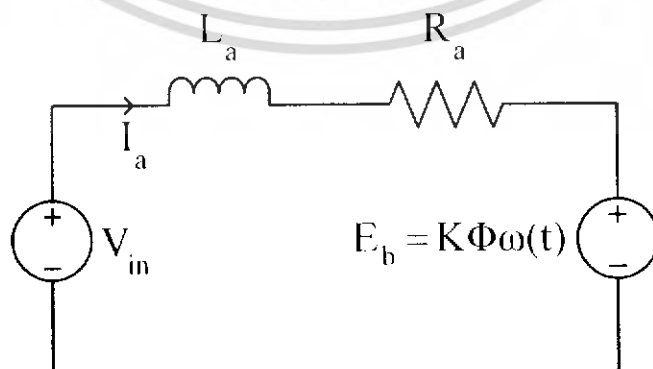
เนื่องจาก

$$\theta(t) = \int \omega(t) dt \tag{ก.7}$$

ทำการแปลงลาปลาซ สมการ (ก.7) โดยกำหนดให้มีสถานะเริ่มต้นที่  $\omega(0) = 0$  เพื่อหาฟังก์ชันถ่ายโอน

$$\begin{aligned}
 \theta(s) &= \frac{1}{Ns} \omega(s) \\
 \frac{\theta(s)}{\omega(s)} &= \frac{1}{Ns} \tag{ก.8}
 \end{aligned}$$

ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 วงจรเทียบเคียงทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกฎศักดาของเคอร์ชอฟ (Kirchhoff's Voltage Law : KVL)

$$V_m(t) - L_a \frac{di_a(t)}{dt} - R_a i_a(t) - E_b(t) = 0 \quad (ก.9)$$

โดย  $E_b$  : แรงดันไฟฟ้าย้อนกลับ (โวลท์)  
 $R_a$  : ความต้านทานของขดลวดอาเมเจอร์ (โอห์ม)  
 $L_a$  : ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดอาเมเจอร์ (เฮนรี)  
 $V_m$  : แรงดันอินพุต (โวลท์)  
 $i_a$  : กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทานของขดลวดอาเมเจอร์ (แอมแปร์)

$$\text{ให้ } V_m(t) - E_b(t) = L_a \frac{di_a(t)}{dt} + R_a i_a(t) \quad (ก.10)$$

$$\begin{aligned} V_m(t) - E_b(t) &= V(t) \\ V(t) &= L_a \frac{di_a(t)}{dt} + R_a i_a(t) \end{aligned} \quad (ก.11)$$

ทำการแปลงลาปลาซ สมการ (ก.11) โดยกำหนดให้มีสถานะเริ่มต้นที่  $i_a(0) = 0$  เพื่อหาฟังก์ชันถ่ายโอน

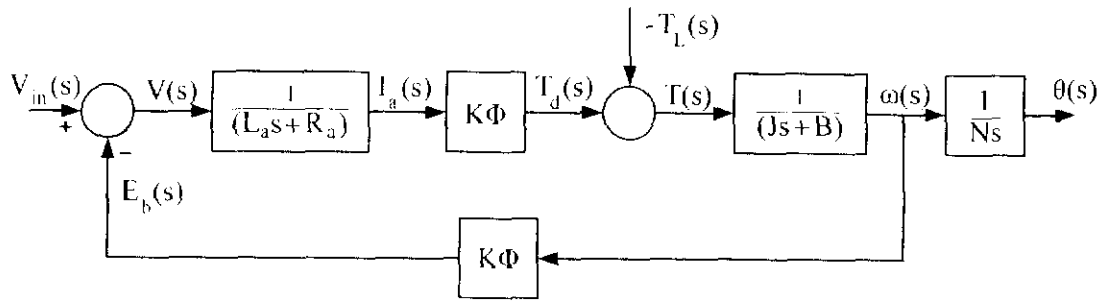
$$\begin{aligned} V(s) &= (L_a s + R_a) i_a(s) \\ \frac{i_a(s)}{V(s)} &= \frac{1}{(L_a s + R_a)} \end{aligned} \quad (ก.12)$$

นำระบบทางเชิงกลและทางไฟฟ้ามาเชื่อมต่อกัน โดยให้ระบบรวมมี  $V(s)$  เป็นอินพุต และ  $\theta(s)$  เป็นเอาต์พุต ดังแสดงในรูปที่ ก.2 ซึ่งมีความสัมพันธ์ที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างระบบทั้งสองเป็นดังนี้

$$T_d(t) = K\Phi i_a(t) \quad (ก.13)$$

$$E_b(t) = K\Phi\omega(t) \quad (ก.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



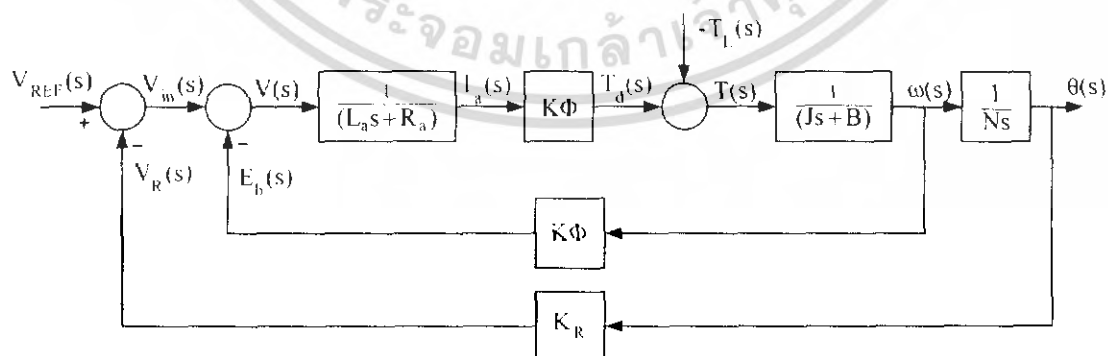
รูปที่ ก.2 บล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูปที่ ก.2 เป็นบล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ยังไม่มีการป้อนกลับ (Feedback Path) ซึ่งในการควบคุมตำแหน่งเชิงมุมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ได้อาศัยส่วนการป้อนกลับนี้ในการตรวจสอบตำแหน่งเชิงมุม ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

### ก.3 หลักการควบคุมตำแหน่งเชิงมุมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ระบบควบคุมป้อนกลับ (Feedback Control System) สามารถควบคุมตำแหน่งเชิงมุมของมอเตอร์ได้ โดยใช้โพเทนชิโอมิเตอร์เป็นอุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่งเชิงมุมจริง  $\theta$  เปรียบเทียบกับตำแหน่งเชิงมุมอ้างอิง  $\theta_r$  ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ผลต่างระหว่างตำแหน่งอ้างอิงกับตำแหน่งเชิงมุมจริง ( $\theta_r - \theta$ ) จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าลัพท์ ( $V_r - V$ ) ทำให้ออเตอร์กระแสตรงหมุนเพื่อลดผลต่างแรงดันไฟฟ้า ( $\theta_r - \theta$ ) หรือผลต่างระหว่างตำแหน่งเชิงมุมอ้างอิง  $\theta_r$  กับตำแหน่งเชิงมุมจริง  $\theta$  ให้เหลือน้อยที่สุด

ดังนั้นจากบล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์กระแสตรงในรูปที่ ก.2 ได้ทำการเพิ่มอุปกรณ์ตรวจวัดซึ่งก็คือโพเทนชิโอมิเตอร์ในส่วนการป้อนกลับ ดังรูปที่ ก.3



รูปที่ ก.3 บล็อกไดอะแกรมที่ใช้โพเทนชิโอมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และใช้เพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

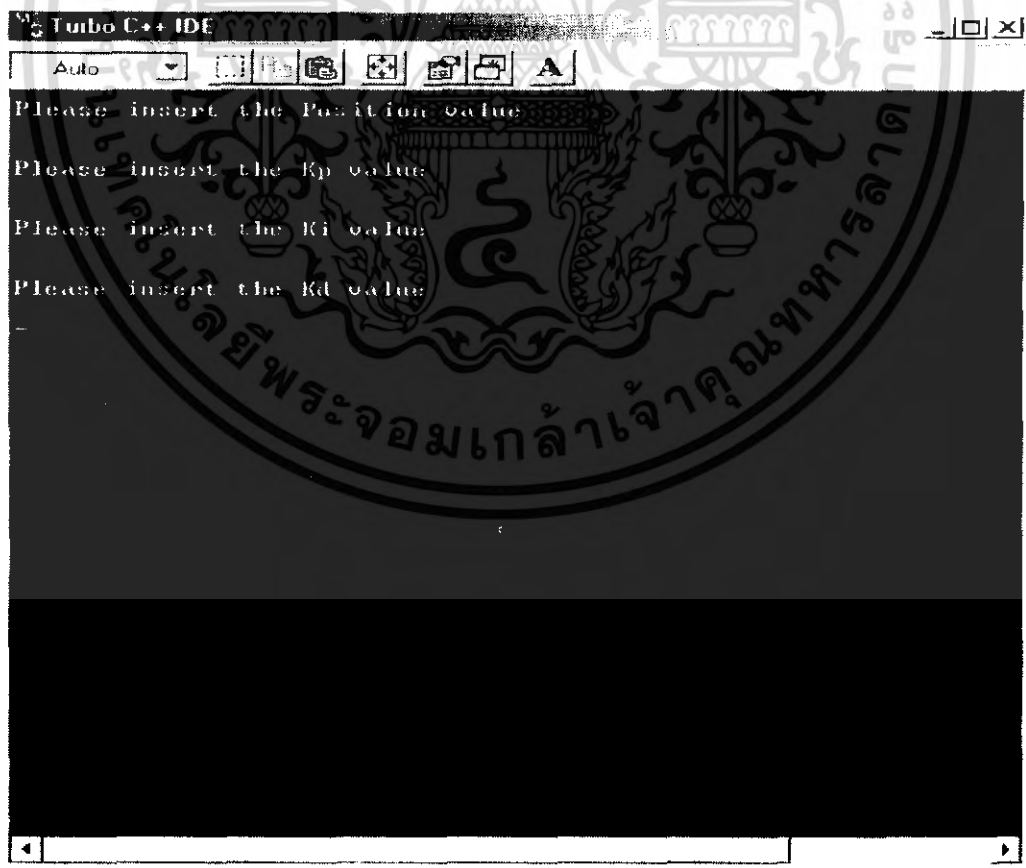
## ภาคผนวก ข.

### โปรแกรมที่ใช้ในโครงการ

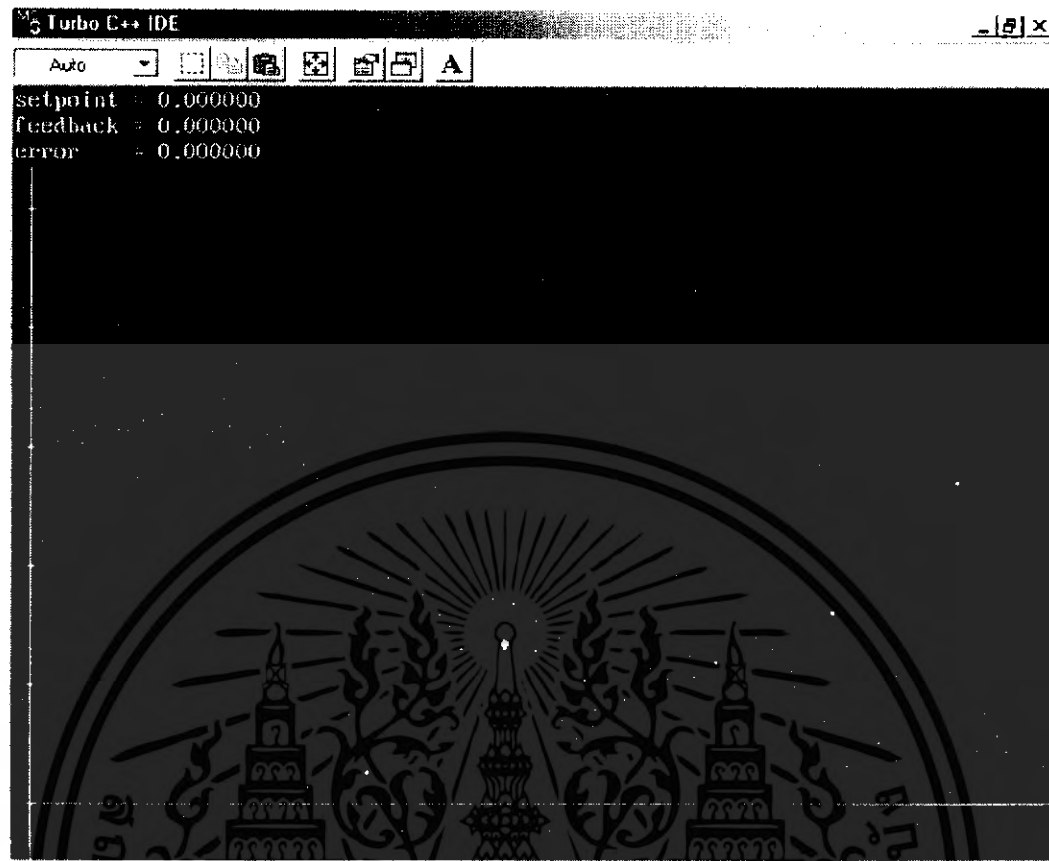
ในภาคผนวกนี้จะอธิบายถึงส่วนของโปรแกรมต่างๆ ที่ใช้ในโครงการนี้ ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วน โปรแกรมที่ติดต่อกับผู้ควบคุมบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และส่วน โปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ควบคุมแขนกลตีฆ้องวงใหญ่

#### ข.1 โปรแกรมที่ติดต่อกับผู้ควบคุม

โปรแกรมที่ติดต่อกับผู้ควบคุมบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ในโครงการนี้เขียนขึ้นด้วยภาษาซี โดยใช้ Turbo C Version 3.0 เป็นตัวแปลภาษา ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนหน้าต่างโปรแกรมที่ใช้เชื่อมต่อกับผู้ควบคุม และในส่วนของโค้ด (Code) โปรแกรม โดยในส่วนหน้าต่างโปรแกรม จะมีด้วยกัน 2 หน้าต่าง คือ หน้าต่างหลัก ใช้สำหรับให้ผู้ควบคุมป้อนข้อมูลตำแหน่งเป้าหมาย ข้อมูลอัตราขยายต่างๆ ของตัวควบคุม รวมไปถึงข้อมูลจังหวะการตีลูกฆ้อง และอีกหน้าต่างเป็นหน้าต่างรอง ใช้สำหรับแสดงตำแหน่งของแขนกลตีฆ้องวงใหญ่ในรูปแบบของกราฟ ซึ่งแสดงส่วนหน้าต่างทั้งสอง ดังรูปที่ ข.1 และ ข.2 ตามลำดับ



รูปที่ ข.1 หน้าต่างหลักของโปรแกรมที่ติดต่อกับผู้ควบคุม  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.2 หน้าต่างรองของโปรแกรมแสดงตำแหน่งของแกนกลติ่ม้องวงใหญ่

ในส่วนโค้ดของโปรแกรม มีรายละเอียด ดังนี้

```
#include <bios.h>
#include <conio.h>
#include <graphics.h>
#include <stdio.h>

#define LTP1    0x378
#define COM1    1

#define DATA_READY 0x100

#define scale    1

#define SETTINGS ( 0xE0 | 0x00 | 0x00 | 0x03) //อัตราการรับส่งข้อมูลแบบRS232

void graph(void);

float out_ADC(void);

void send_data_to_PIC(void);

void receive_data_from_PIC(void);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

int drv = VGA;
int md = VGAHI;
float plot_y0,plot_y,plot_y_commandU,plot_y_commandU0,plot_setpoint,fb,sp,er;
int plot_x0,key;
int main()
{
bioscom(0, SETTINGS, COM1);      /*initialize the port*/
do{
printf("please insert the setpoint value to plot grahp ");
scanf("%f",&sp);
printf("please insert the commandU value ");
scanf("%f",&plot_y_commandU);
plot_setpoint = (-370/5)*sp+400;
printf("Please insert the setpoint value ");send_data_to_PIC();
printf("Data recive from PIC are ");recive_data_from_PIC();
printf("\n\nPlease insert the Kc value ");send_data_to_PIC();
printf("Data recive from PIC are ");recive_data_from_PIC();
printf("\n\nPlease insert the Ti value ");send_data_to_PIC();
printf("Data recive from PIC are ");recive_data_from_PIC();
printf("\n\nPlease insert the Tt value ");send_data_to_PIC();
printf("Data recive from PIC are ");recive_data_from_PIC();
bioscom(1,'s',COM1);/*send a data to recive feedback value
initgraph(&drv,&md,"C:\TC\BGI");
graph();
plot_x0 = 10;
fb = out_ADC();
plot_y0 = (-370/5)*fb+400;
plot_y_commandU0 = (-370/5)*fb-400;
do{
fb = out_ADC();
gotoxy(1,1);printf("setpoint = %f",sp);
gotoxy(1,2);printf("feedback = %f",fb);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ไม่ควรกรณิใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

gotoxy(1,3);printf("error   = %f",er);
plot_y = (-370/5)*fb+400;
plot_y_commandU = (-370/5)*2+400;
setcolor(GREEN);
line(plot_x0 ,plot_y0,plot_x0+1,plot_y0);
line(plot_x0+1,plot_y0,plot_x0+1,plot_y);
plot_x0 = plot_x0+scale;
plot_y0 = plot_y;
setcolor(RED);
line(plot_x0 ,plot_y_commandU0,plot_x0+1,plot_y_commandU0);
line(plot_x0+1,plot_y_commandU0,plot_x0+1,plot_y_commandU);
plot_x0 = plot_x0-scale;
plot_y0 = plot_y;
plot_y_commandU0 = plot_y_commandU;
if (plot_x0>=639)
{
plot_x0 = 10;
clearviewport();
graph();
}
}while(!kbhit());
getch();
key = getch();
bioscom(1,'g',COM1);          /*send a data*/
closegraph();
}while(key!=-27);
closegraph();
return 0;
}
/*y=(-370/5)*fb+400;
setlinestyle(1,1,1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

line(10,y,639,y);
putpixel(x,y,RED);
x=x-1;
}while(fb!=13);
getch();
closegraph();
}*/
/****ฟังก์ชันสำหรับแสดงผล แกน x และ แกน y ทางหน้าจอ*****/
void graph(void)
{
int x;
float y;
setviewport(0,45,639,479,1);
setlinestyle(SOLID,LINE,1,1);
setcolor(15);
line(10,0,10,434);
line(10,400,639,400);
line(10,plot_setpoint,639,plot_setpoint);
for (x=0;x<=5;x++)
{
y=(370./5.)*x+30;
line(8,y,12,y);
}
}
/****ฟังก์ชันสำหรับรับข้อมูลสัญญาณป้อนกลับจากไมโครคอนโทรลเลอร์ *****/
float out_ADC(void)
{
int out0,out1,out2,out3,out4,out5,status;
float ADC;
do{
status = bioscom(3, 0, COM1); /*wait until get a data*/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
do{
out0 = bioscom(2, 0, COM1);
}while(out0!='s');

out1 = bioscom(2, 0, COM1);
out2 = bioscom(2, 0, COM1);
out3 = bioscom(2, 0, COM1);
out4 = bioscom(2, 0, COM1);
out5 = bioscom(2, 0, COM1);
}

{while(('s'+t') != (out0+out5));
ADC = ((out1-0x30)*1000)+((out2-0x30)*100)+((out3-0x30)*10)--(out4-0x30);
return ( (5.0/1023.0)*ADC );
}

/****ฟังก์ชันสำหรับส่งข้อมูลให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น ข้อมูลตำแหน่งการ
เคลื่อนที่ หรือข้อมูลอัตราขยายต่างๆ เป็นต้น*****/
void send_data_to_PIC(void) /* send a data(float) to Microcontroller(PIC16F877)*/
{
int a,b,count;
char data[20],*ptr_data;
do{
gets(data);
a = -1;
b = 0;
ptr_data = data;
for (ptr_data=data;*ptr_data!=NULL;ptr_data++)
{
a = a+1;
if(*ptr_data == '.')
b = b+1;
if( !( (*ptr_data>='0') && (*ptr_data<='9') || (*ptr_data=='.')) )

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
if ( ((b ==0||b==1)) && (a!=-1) )
{
if ( (data[a] != '.') && (b==0) )
{
data[a+1] = '.';
data[a+2] = '0';
data[a+3] = NULL;
a=a-2;
}
else if ( (data[a]=='.') && (b==1) )
{
data[a-1] = '0';
data[a+2] = NULL;
a=a+1;
}
}while( ((a==1)||b>1) );
for (count=a;count>=0;count--)
bioscom(1,data[count],COM1); /*send a data*/
bioscom(1,'f',COM1); /*send a data*/
}
/*****ฟังก์ชันสำหรับรับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของ
ข้อมูลที่ส่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์*****/
void receive_data_from_PIC(void)/* receive a data(float) from
Microcontroller(PIC16F877)*/
{
int status,out;
do{
status = bioscom(3, 0, COM1);
if (status & DATA_READY)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

do{
out = bioscom(2, 0, COM1);
}while(out!='s');

do{
out = bioscom(2, 0, COM1);
if (out!='t')
putch(out);
}while(out!='t');
}
}

```

## ข.2 โปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ ในโครงงานนี้จะใช้โปรแกรมภาษาซีเป็นตัวโปรแกรมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งรายละเอียดของโปรแกรมจะขอก้าวในส่วนที่สำคัญๆ ดังนี้

### ข.2.1 ฟังก์ชันสำหรับส่งข้อมูลขนาด 10 บิต

เป็นฟังก์ชันสำหรับส่งข้อมูลขนาด 10 บิต ซึ่งเป็นข้อมูลตำแหน่งของแกนกลติ่งของวงใหญ่ที่ส่งให้กับคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงผลออกทางหน้าจอในรูปของกราฟ

```

void send_data_to_computer(int16 feedback)
{
if (feedback <= 9)
{
printf("s");
printf("000");
printf("%ld", feedback);
printf("\t");
}
else if (feedback > 9 && feedback <= 99)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

printf("s");
printf("00");
printf("%ld", feedback);
printf("t");
}
else if (feedback > 99 && feedback <= 999 )
{
printf("s");
printf("0");
printf("%ld", feedback);
printf("t");
}
else if (feedback > 999 )
{
printf("s");
printf("%ld", feedback);
printf("t");
}
}
}

```

### ข.2.2 ฟังก์ชันสำหรับรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์

เป็นฟังก์ชันสำหรับรับข้อมูลต่างๆ จากคอมพิวเตอร์ เช่น ข้อมูลตำแหน่งมุมการเคลื่อนที่ ข้อมูลตำแหน่งระยะการเคลื่อนที่ หรือข้อมูลอัตราขยายต่างๆ เป็นต้น

```

float recive_data_from_com(void)
{
char data[20];
int count1=0;
int32 b=0;
int32 c=0;
float e;
int32 a;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

do{
a = getch();
if( ( (a!='\t' || a!='\n') || (a>='0' && a<='9') ) )
{
if(a!='\t')
{
data[count1] = a-0x30;
count1=count1+1;
}
}
}while(a!='\t');
a=1;
for (count2=0;count2<count1;count2++)
{
if (data[count2]!='\n'-0x30)
{
b = b+(data[count2]*a);
a = a*10;
}
else if (data[count2]=='\n'-0x30)
{
c = a;
}
}
c = b;
c = c/c;
return c;
}

```

### ข.2.3 ฟังก์ชันสำหรับส่งสัญญาณควบคุมแขนกลตีฆ้องวงใหญ่

เป็นฟังก์ชันสำหรับส่งสัญญาณควบคุมขนาด 8 บิต ผ่านวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็น

สัญญาณอนาล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void output_b_to_plan(float output)
{
int y;
output = (255.0/10.0)*(output-5.0)+255.0;
y = output;
output_b(y); /*ส่งข้อมูลสัญญาณควบคุมแขนกล */
}

```

#### ข.2.4 โปรแกรมตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด

```

/*****receive feedback value from plan*****/
/*****feedback value from 0 to 5volts*****/
/*รับข้อมูลสัญญาณป้อนกลับจากเอาต์พุตของอุปกรณ์และนำมาเปรียบเทียบกับตำแหน่งเป้าหมาย*/
set_adc_channel(0);
delay_us(10);
ADC = Read_ADC();
fb = (5.0/1023.0)*ADC;
er = sp - fb;
/*****
/***** ON-OFF CONTROLLER *****/
/*****ตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด *****/
if (er < 0)
output_b_to_plan(255); /*ส่งข้อมูลสัญญาณควบคุมแขนกล */
else if (er > 0)
output_b_to_plan(0); /*ส่งข้อมูลสัญญาณควบคุมแขนกล */
else if (er == 0)
output_b_to_plan(0); /*ส่งข้อมูลสัญญาณควบคุมแขนกล */
/*****

```

#### ข.2.5 โปรแกรมตัวควบคุมแบบพี

```

/*****receive feedback value from plan*****/
/*****feedback value from 0 to 5volts*****/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*รับข้อมูลสัญญาณป้อนกลับจากเอาต์พุตของอุปกรณ์และนำมาเปรียบเทียบกับตำแหน่ง
เป้าหมาย*/
set_adc_channel(0);
delay_us(10);
ADC = Read_ADC();
fb = (5.0/1023.0)*ADC;
er = sp - fb;
/*****
/***** P CONTROLLER *****/
/***** ตัวควบคุมแบบพี *****/
P = Ke*er;
if(P > 5.0)
P = 5.0;
else if(P < -5.0)
P = -5.0;
er_0 = er;
output b to_plan(P); /*ส่งข้อมูลสัญญาณควบคุมแขนกล */
/*****

```

## ข.2.6 โปรแกรมตัวควบคุมแบบพีไอ

```

/*****receive feedback value from plan*****/
/*****feedback value from 0 to 5volts*****/
/*รับข้อมูลสัญญาณป้อนกลับจากเอาต์พุตของอุปกรณ์และนำมาเปรียบเทียบกับตำแหน่ง
เป้าหมาย*/
set_adc_channel(0);
delay_us(10);
ADC = Read_ADC();
fb = (5.0/1023.0)*ADC;
er = sp - fb;
/*****
/***** PI CONTROLLER *****/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น เมื่อผู้เช่าเห็นค่าใช้จ่ายประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

P = Kc*er;
I = (Kc/Ti) * ( I + (Ts/2)*(er - er_0) );
PI = P+I;
if (PI > 5.0)
PI = 5.0;
else if (PI < -5.0 )
PI = -5.0;
er_0 = er;
output_b_to_plan(PI); /*ส่งข้อมูลสัญญาณควบคุมแขนกล */
/*****

```

### ข.2.7 โปรแกรมตัวควบคุมแบบพีไอดี

```

/*****receive feedback value from plan*****/
/*****feedback value from 0 to 5volts*****/
/*รับข้อมูลสัญญาณป้อนกลับจากเอาต์พุตของอุปกรณ์และนำมาเปรียบเทียบกับตำแหน่งเป้าหมาย*/
set_adc_channe(0);
delay_us(10);
ADC = Read_ADC();
fb = (5.0/1023.0)*ADC;
er = sp - fb;
/*****
/***** PID CONTROLLER *****/
/***** ตัวควบคุมแบบพีไอ *****/
P = Kc*er;
I = (Kc/Ti) * ( I + (Ts/2)*(er - er_0) );
D = (Kc*Td) * ( (er - er_0)/Ts );
PID = P+I+D;
if (PID > 5.0)
PID = 5.0;
else if (PID < -5.0 )

```

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

er_0 = er;
output_b_to_plan(PID): /*ส่งข้อมูลสัญญาณควบคุมแขนกล */
/*****/

```

## ข.2.8 โปรแกรมตัวควบคุมแบบพีไอ อาศัย แอนติไวคัลอ็อป

```

/*****recive feedback value from plan*****/
/*****feedback value from 0 to 5volts*****/
/*รับข้อมูลสัญญาณป้อนกลับจากเอาต์พุตของอุปกรณ์และนำมาเปรียบเทียบกับตำแหน่งเป้าหมาย*/
set_adc_channe(0);
delay_us(10);
ADC = Read_ADC();
fb = (5.0/1023.0)*ADC;
er = sp - fb;
/*****/
/*****PI CONTROLLER WITH ANTIWINDUP *****/
/***** ตัวควบคุมแบบพีไอ อาศัย แอนติไวคัลอ็อป *****/
P = Kc*er;
I = I + Ts/2*( (Kc/Ti)*(er - er_1) - (1/Ti)*(es + es_1) );
V = P+I;
if (V > 5.0)
U = 5;
else if (V < -5.0 )
U = -5.0;
else if ( -5 <= U && U >= 5)
U = V;
er_1 = er;
es_1 = es;
es = V - U;
output_b_to_plan(U): /*ส่งข้อมูลสัญญาณควบคุมแขนกล */
/*****/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค.

# คู่มือประกอบการใช้งานอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในโครงการนี้

ในส่วนของภาคผนวก ค. จะอธิบายในรายละเอียด และข้อมูลที่สำคัญของอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งเป็นส่วนประกอบในวงจรต่างๆ ที่ใช้ในโครงการนี้

### ค.1 อุปกรณ์ในส่วนวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เป็นอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ ทั้งทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นให้กับทรานซิสเตอร์อีกตัวหนึ่ง ซึ่งเป็นตัวที่ช่วยจ่ายกระแสให้กับมอเตอร์ ทรานซิสเตอร์มีด้วยกัน 4 ตัว คือ TIP31C TIP32C MJ15015 และ MJ15016 ประกอบกันเป็นวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.5 รายละเอียด และข้อมูลต่างๆ ของทรานซิสเตอร์ดังกล่าว มีดังต่อไปนี้

#### ค.1.1 ทรานซิสเตอร์ TIP31C

ทรานซิสเตอร์ TIP31C เป็นชนิด NPN สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 5 แอมแปร์ จะเป็นตัวกระตุ้นให้กับทรานซิสเตอร์ MJ15015 ทำงาน โดยมีรายละเอียด และข้อมูลต่างๆ ของทรานซิสเตอร์นี้ ดังในรูปที่ ค.1

#### ค.1.2 ทรานซิสเตอร์ TIP32C

ทรานซิสเตอร์ TIP32C เป็นชนิด PNP สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 5 แอมแปร์ จะเป็นตัวกระตุ้นให้กับทรานซิสเตอร์ MJ15016 ทำงาน โดยมีรายละเอียด และข้อมูลต่างๆ ของทรานซิสเตอร์นี้ ดังในรูปที่ ค.1

#### ค.1.3 ทรานซิสเตอร์ MJ15015

ทรานซิสเตอร์ MJ15015 เป็นชนิด NPN สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 15 แอมแปร์ จะเป็นตัวช่วยจ่ายกระแสให้กับมอเตอร์ โดยมีรายละเอียด และข้อมูลต่างๆ ของทรานซิสเตอร์นี้ ดังในรูปที่ ค.2

#### ค.1.4 ทรานซิสเตอร์ MJ15016

ทรานซิสเตอร์ MJ15016 เป็นชนิด PNP สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 15 แอมแปร์ จะเป็นตัวช่วยจ่ายกระแสให้กับมอเตอร์ โดยมีรายละเอียด และข้อมูลต่างๆ ของทรานซิสเตอร์นี้ ดังในรูปที่ ค.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# TIP31A/31C TIP32A/32B/32C

## COMPLEMENTARY SILICON POWER TRANSISTORS

### APPLICATION

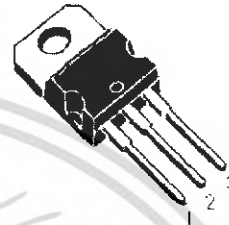
- LINEAR AND SWITCHING INDUSTRIAL EQUIPMENT

### DESCRIPTION

The TIP31A and TIP31C are silicon Epitaxial-Base NPN transistors mounted in Jedec TO-220 plastic package. They are intended for use in medium power linear and switching applications.

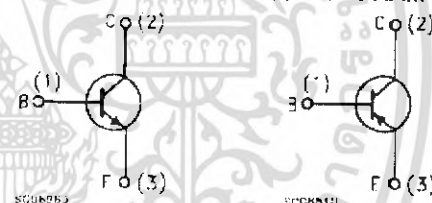
The complementary PNP types are TIP32A and TIP32C respectively.

Also TIP32B is a PNP type.



TO-220

### INTERNAL SCHEMATIC DIAGRAM



### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value				Unit
		NPN	TIP31A		TIP31C	
		PNP	TIP32A	TIP32B	TIP32C	
$V_{CB0}$	Collector-Base Voltage ( $I_C = I_B = 0$ )		60	80	100	V
$V_{CE0}$	Collector-Emitter Voltage ( $I_B = 0$ )		80	80	100	V
$V_{EB0}$	Emitter-Base Voltage ( $I_C = I_B = 0$ )			5		V
$I_C$	Collector Current			3		A
$I_{CM}$	Collector Peak Current			5		A
$I_B$	Base Current			1		A
$P_{tot}$	Total Dissipation at $T_{case} = 25^\circ\text{C}$ $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$			40		W
$T_{stg}$	Storage Temperature			-65 to 150		$^\circ\text{C}$
$T_J$	Max. Operating Junction Temperature			150		$^\circ\text{C}$

For PNP types voltage and current values are negative.

รูปที่ ค.1 ทรานซิสเตอร์ TIP31C และ TIP32C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MOTOROLA**  
**SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA**

 Order this document  
 by 2N3055A/D

## Complementary Silicon High-Power Transistors

PowerBase complementary transistors designed for high power audio, stepping motor and other linear applications. These devices can also be used in power switching circuits such as relay or solenoid drivers, dc-to-dc converters, inverters, or for inductive loads requiring higher safe operating area than the 2N3055 and MJ2955.

- Current-Gain — Bandwidth-Product @  $I_C = 1.0$  A dc  
 $f_T = 9.8$  MHz (Min) — NPN  
 $= 2.2$  MHz (Min) — PNP
- Safe Operating Area — Rated to 60 V and 120 V, Respectively

**MAXIMUM RATINGS**

Rating	Symbol	2N3055A MJ2955A	MJ15015 MJ15016	Unit
Collector-Emitter Voltage	$V_{CE}$	60	120	Vdc
Collector-Base Voltage	$V_{CB}$	100	200	Vdc
Collector-Emitter Voltage Base Reversed Biased	$V_{CE}$	100	200	Vdc
Emitter-Base Voltage	$V_{EB}$	7.0		Vdc
Collector Current — continuous	$I_C$	18	18	A dc
Base Current	$I_B$	7.0		A dc
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	115 135	140 160	Watts W/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	-55 to +200		°C

**THERMAL CHARACTERISTICS**

Characteristic	Symbol	Max	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.52	0.98	°C/W

\* Indicates JEDEC Registered Data (2N3055A)

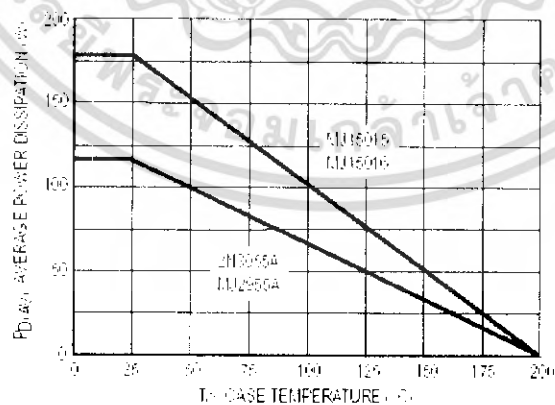


Figure 1. Power Derating

**NPN**  
**2N3055A**  
**MJ15015\***  
**MJ2955A**  
**PNP**  
**MJ15016\***

Motorola Preferred Device

**15 AMPERE**  
**COMPLEMENTARY**  
**SILICON**  
**POWER TRANSISTORS**  
**60, 120 VOLTS**  
**115, 180 WATTS**



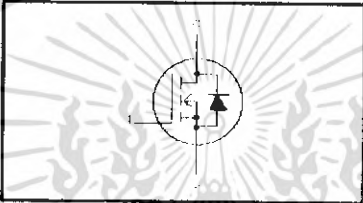
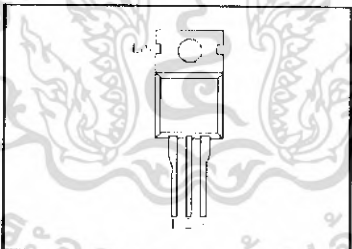
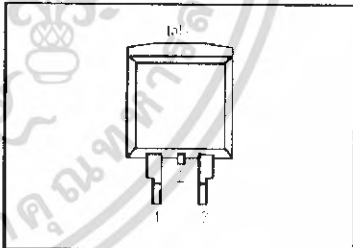
**CASE 1-07**  
**TO-204AA**  
**(TO-3)**

### รูปที่ ๑.2 ทรานซิสเตอร์ MJ15015 และ MJ15016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ค.2 อุปกรณ์ขับเคลื่อนโซลินอยด์

ได้ใช้ FET เบอร์ IRF540 ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ชนิดหนึ่ง ทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิด-ปิดแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า ที่จ่ายให้กับโซลินอยด์ เป็นส่วนประกอบในวงจรขับเคลื่อนโซลินอยด์ ดังได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.7 ซึ่งรายละเอียดของไอซีได้แสดงดังรูปที่ ค.3

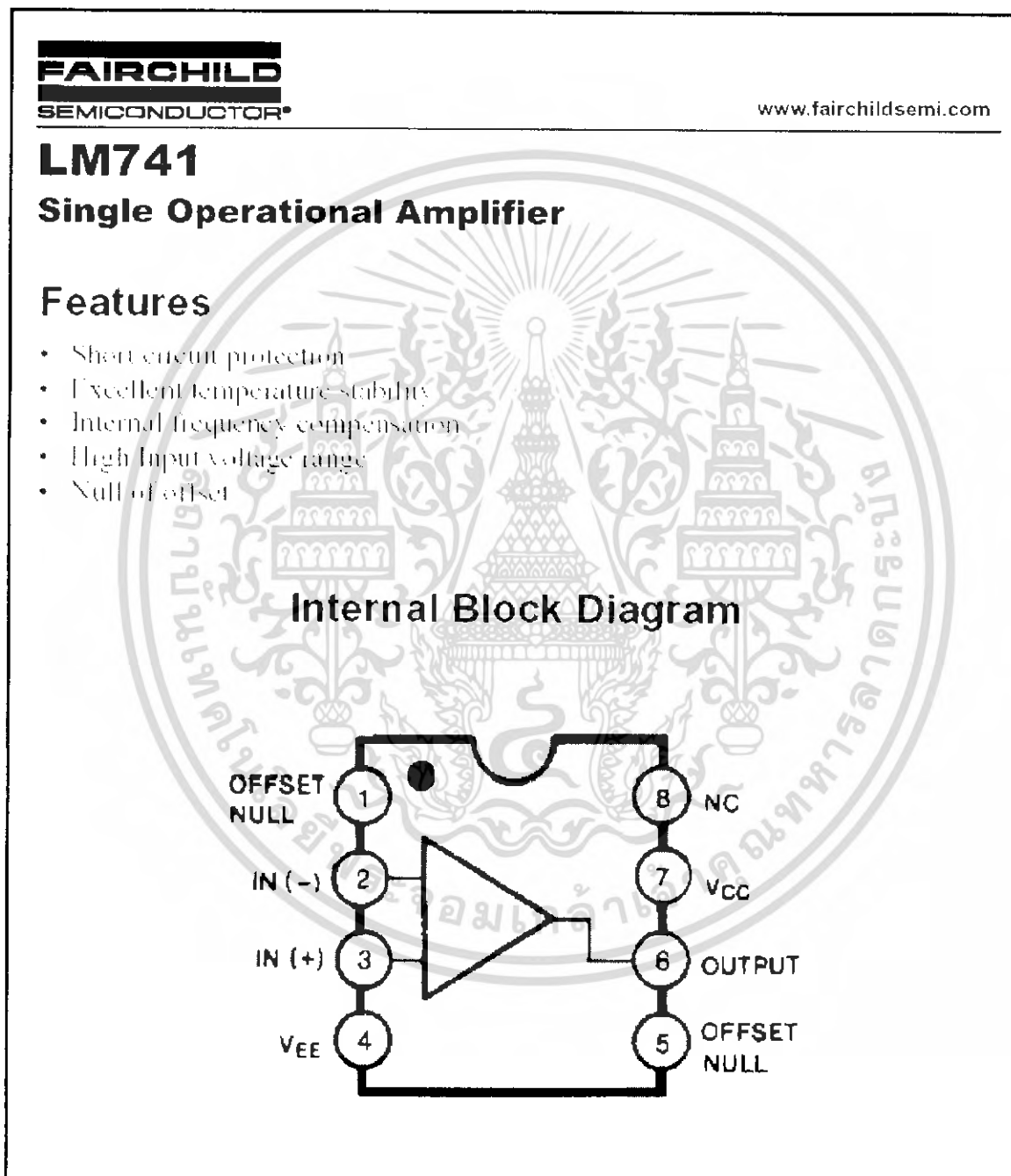
Philips Semiconductors		Product specification										
<b>N-channel TrenchMOS™ transistor</b>		<b>IRF540, IRF540S</b>										
<b>FEATURES</b>	<b>SYMBOL</b>	<b>QUICK REFERENCE DATA</b>										
<ul style="list-style-type: none"> <li>• "Trench" technology</li> <li>• Low on-state resistance</li> <li>• Fast switching</li> <li>• Low thermal resistance</li> </ul>		$V_{DSS} = 100 \text{ V}$ $I_D = 23 \text{ A}$ $R_{DS(on)} \leq 77 \text{ m}\Omega$										
<b>GENERAL DESCRIPTION</b>												
N-channel enhancement mode field-effect power transistor in a plastic envelope using trench technology												
<b>Applications:-</b>												
<ul style="list-style-type: none"> <li>• d.c. to d.c. converters</li> <li>• switched mode power supplies</li> <li>• T.V. and computer monitor power supplies</li> </ul>												
The IRF540 is supplied in the SOT78 (TO220AB) conventional leaded package. The IRF540S is supplied in the SOT404 (D <sup>2</sup> PAK) surface mounting package.												
<b>PINNING</b>		<b>SOT78 (TO220AB)</b>	<b>SOT404 (D<sup>2</sup>PAK)</b>									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>PIN</th> <th>DESCRIPTION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>gate</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>drain</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>source</td> </tr> <tr> <td>tab</td> <td>drain</td> </tr> </tbody> </table>	PIN	DESCRIPTION	1	gate	2	drain	3	source	tab	drain		
PIN	DESCRIPTION											
1	gate											
2	drain											
3	source											
tab	drain											
<b>LIMITING VALUES</b>												
Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134)												
<b>SYMBOL</b>	<b>PARAMETER</b>	<b>CONDITIONS</b>	<b>MIN.</b>	<b>MAX.</b>	<b>UNIT</b>							
$V_{DS}$	Drain-source voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$ to $175^\circ\text{C}$	-	100	V							
$V_{DG}$	Drain-gate voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$ to $175^\circ\text{C}$ , $R_{th} = 20 \text{ k}\Omega$	-	100	V							
$V_{GS}$	Gate-source voltage		-	$\pm 20$	V							
$I_D$	Continuous drain current	$T_{mb} = 25^\circ\text{C}$ , $V_{GS} = 10 \text{ V}$	-	23	A							
$I_{DM}$	Pulsed drain current	$T_{mb} = 100^\circ\text{C}$ , $V_{GS} = 10 \text{ V}$	-	16	A							
$P_D$	Total power dissipation	$T_{mb} = 25^\circ\text{C}$	-	92	W							
$T_J, T_{stg}$	Operating junction and storage temperature		-55	175	°C							

รูปที่ ค.3 ทรานซิสเตอร์ IRF540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ก.3 อุปกรณ์ขยายสัญญาณ

อุปกรณ์ขยายสัญญาณในโครงงานนี้ได้ใช้ไอซี LM741 ทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้ได้ระดับที่ต้องการ ซึ่งประกอบอยู่ในวงจรขยายสัญญาณ และวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก ดังวงจรที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.8 และรูปที่ 4.10 ตามลำดับ ซึ่งรายละเอียดของไอซีนี้ได้แสดงดังรูปที่ ก.4



รูปที่ ก.4 ไอซี LM741

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### ก.4 อุปกรณ์ในส่วนของวงจรปรับปรุงแรงดันที่ระดับแรงดันต่างๆ

เป็นอุปกรณ์ประเภทไอซี ทำหน้าที่ลดระดับแรงดันจากแรงดันอินพุตที่สูงกว่าทั้งทางซิกบวกและซิกลบ และจ่ายแรงดันเอาท์พุตคงที่ ซึ่งประกอบอยู่ในวงจรปรับปรุงแรงดันที่มีระดับแรงดันต่างๆกัน ดังจะมีรายละเอียด และข้อมูลของไอซี ดังต่อไปนี้

##### ก.4.1 ไอซี LM317

ไอซี LM317 เป็นไอซีจ่ายแรงดันคงที่ทางด้านซิกบวก ซึ่งสามารถปรับแรงดันได้ตั้งแต่ 1.2 โวลต์ และสามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 1.5 แอมแปร์ มีการใช้ไอซีเบอร์นี้ในวงจรปรับปรุงแรงดัน  $\pm 26$  โวลต์ และวงจรปรับปรุงแรงดัน  $\pm 24$  โวลต์ ดังวงจรที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.9 และรูปที่ 3.10 ตามลำดับ ซึ่งมีรายละเอียดของไอซีนี้ได้แสดงดังรูปที่ ก.5

##### ก.4.2 ไอซี LM337

ไอซี LM337 เป็นไอซีวงจรจ่ายแรงดันคงที่ทางด้านซิกลบ ซึ่งสามารถปรับแรงดันได้ตั้งแต่ -1.2 โวลต์ ถึง -37 โวลต์ และสามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 1.5 แอมแปร์ มีการใช้ไอซีเบอร์นี้ในวงจรปรับปรุงแรงดัน  $\pm 26$  โวลต์ และวงจรปรับปรุงแรงดัน  $\pm 24$  โวลต์ ดังวงจรที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.9 และรูปที่ 3.10 ตามลำดับ ซึ่งมีรายละเอียดของไอซีนี้ได้แสดงดังรูปที่ ก.6

##### ก.4.3 ไอซี LM78XX

ไอซี LM78XX เป็นไอซีวงจรจ่ายแรงดันคงที่ทางด้านซิกบวก สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 1 แอมแปร์ มีการใช้ไอซีดังกล่าวเบอร์ LM7815 เป็นส่วนประกอบในวงจรปรับปรุงแรงดัน  $\pm 15$  โวลต์ และเบอร์ LM7805 เป็นส่วนประกอบในวงจรปรับปรุงแรงดัน  $\pm 5$  โวลต์ ดังวงจรที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.11 และรูปที่ 3.12 ตามลำดับ ซึ่งรายละเอียดของไอซีนี้ได้แสดงดังรูปที่ ก.7

##### ก.4.4 ไอซี LM79XX

ไอซี LM79XX เป็นไอซีวงจรจ่ายแรงดันคงที่ทางด้านซิกลบ สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 1 แอมแปร์ มีการใช้ไอซีดังกล่าวเบอร์ LM7915 เป็นส่วนประกอบในวงจรปรับปรุงแรงดัน  $\pm 15$  โวลต์ ดังวงจรที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.11 ซึ่งรายละเอียดของไอซีนี้ได้แสดงดังรูปที่ ก.8



# LM117/217 LM317

## 1.2V TO 37V VOLTAGE REGULATOR

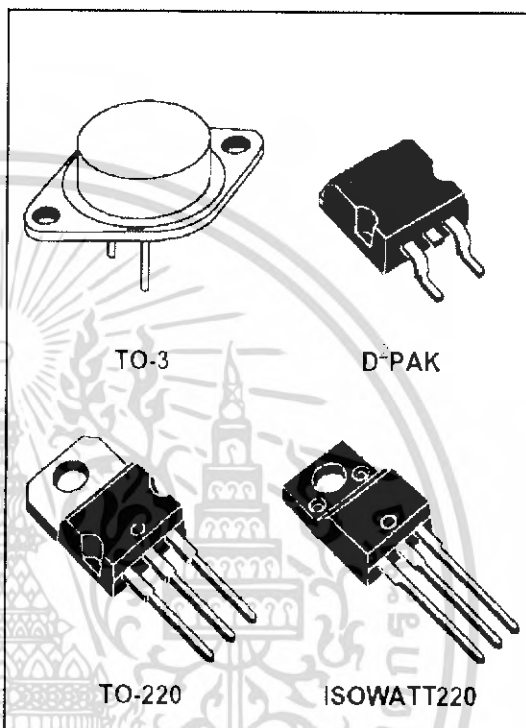
- OUTPUT VOLTAGE RANGE : 1.2 TO 37V
- OUTPUT CURRENT IN EXCESS OF 1.5A
- 0.1% LINE AND LOAD REGULATION
- FLOATING OPERATION FOR HIGH VOLTAGES
- COMPLETE SERIES OF PROTECTIONS : CURRENT LIMITING, THERMAL SHUTDOWN AND SOA CONTROL

### DESCRIPTION

The LM117/LM217/LM317 are monolithic integrated circuit in TO-220, ISOWATT220, TO-3 and D<sup>PAK</sup> packages intended for use as positive adjustable voltage regulators.

They are designed to supply more than 1.5A of load current with an output voltage adjustable over a 1.2 to 37V range.

The nominal output voltage is selected by means of only a resistive divider, making the device exceptionally easy to use and eliminating the stocking of many fixed regulators.



### ABSOLUTE MAXIMUM RATING

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_{IO}$	Input-output Differential Voltage	40	V
$I_o$	Output Current	Internally Limited	
$T_j$	Operating Junction Temperature for LM117 LM217 LM317	-65 to 150 -25 to 150 0 to 125	$^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{C}$
$P_{tot}$	Power Dissipation	Internally Limited	
$T_{stg}$	Storage Temperature	- 65 to 150	$^{\circ}\text{C}$

### THERMAL DATA

Symbol	Parameter		TO-3	TO-220	ISOWATT220	D-PAK	Unit
$R_{\theta(j-c)}$	Thermal Resistance Junction-case	Max	4	3	4	3	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
$R_{\theta(j-a)}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max	35	50	60	62.5	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$

### รูปที่ ๓.5 ไอซี LM317

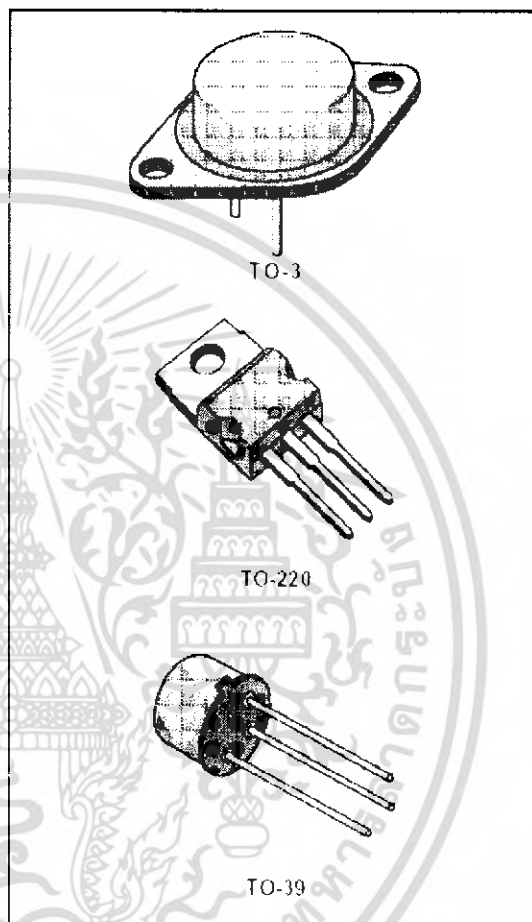
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**THREE-TERMINAL ADJUSTABLE  
NEGATIVE VOLTAGE REGULATORS**

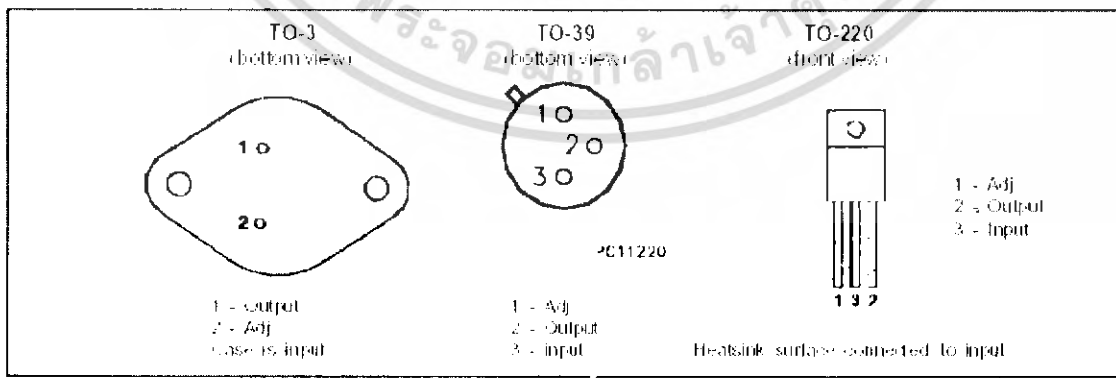
- OUTPUT VOLTAGE ADJUSTABLE DOWN TO  $V_{ref}$
- 1.5A GUARANTEED OUTPUT CURRENT
- 0.3%V TYPICAL LOAD REGULATION
- 0.01%V TYPICAL LINE REGULATION
- CURRENT LIMIT CONSTANT WITH TEMPERATURE
- RIPPLE REJECTION: 77dB
- STANDARD 3-LEAD TRANSISTOR PACKAGES
- EXCELLENT THERMAL REGULATION 0.002%/°C
- 50ppm/°C TEMPERATURE COEFFICIENT

**DESCRIPTION**

The LM137 series are adjustable 3-terminal negative voltage regulators, capable of supplying in excess of 1.5A over a -1.2 to -37V output voltage range. They are exceptionally easy to use and require only two external resistors to set the output voltage. Further, both line and load regulation are better than standard fixed regulators. Also, LM137 regulators are supplied in standard transistor packages, which are easily mounted and handled. In addition to higher performance than fixed regulators, the LM137 series offer full overload protection available only in integrated circuits. Included on the chip are current limit, thermal overload protection and safe area protection. All overload protection circuitry remains fully functional even if the adjustment terminal is disconnected.



**PIN CONNECTIONS**



รูปที่ ค.6 ไอซี LM337

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LM78XX Series Voltage Regulators

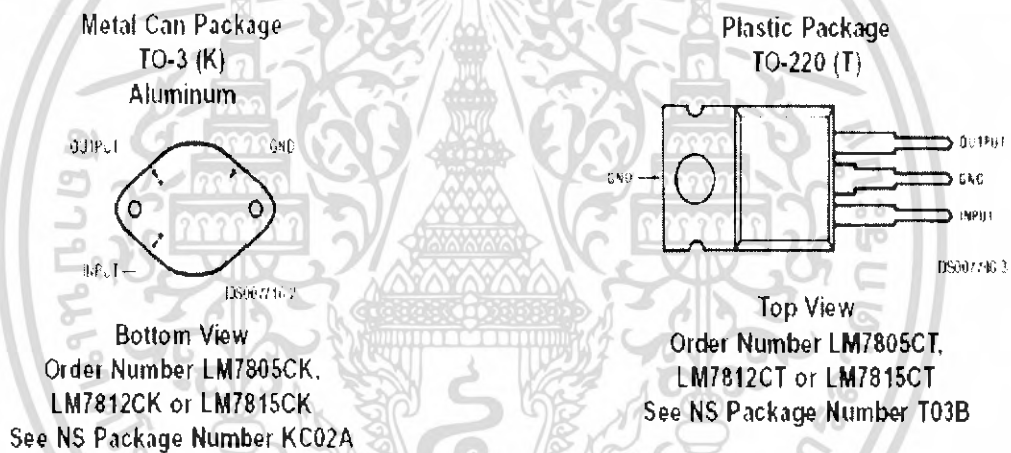
### Features

- Output current in excess of 1A
- Internal thermal overload protection
- No external components required
- Output transistor safe area protection
- Internal short-circuit current limit
- Available in the aluminum TO-3 package

### Voltage Range

LM7805C	5V
LM7812C	12V
LM7815C	15V

### Connection Diagrams



รูปที่ ค.7 ไอซี LM78XX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LM79XX Series

### 3-Terminal Negative Regulators

#### General Description

The LM79XX series of 3-terminal regulators is available with fixed output voltages of  $-5V$ ,  $-12V$ , and  $-15V$ . These devices need only one external component—a compensation capacitor at the output. The LM79XX series is packaged in the TO-220 power package and is capable of supplying 1.5A of output current.

These regulators employ internal current limiting, safe area protection and thermal shutdown for protection against virtually all overload conditions.

Low ground pin current of the LM79XX series allows output voltage to be easily boosted above the preset value with a

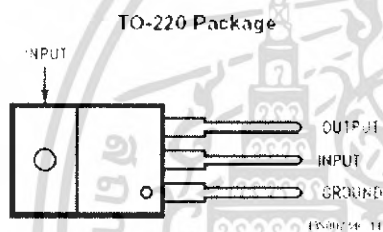
resistor divider. The low quiescent current drain of these devices with a specified maximum change with line and load ensures good regulation in the voltage boosted mode.

For applications requiring other voltages, see LM137 datasheet.

#### Features

- Thermal, short circuit and safe area protection
- High ripple rejection
- 1.5A output current
- 4% tolerance on preset output voltage

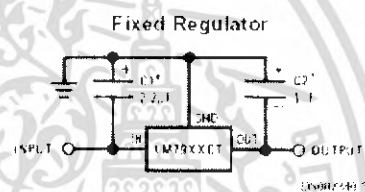
#### Connection Diagrams



Front View

Order Number LM7905CT, LM7912CT or LM7915CT  
See NS Package Number TO3B

#### Typical Applications



Required if regulator is separated from filter capacitor by more than 3". For value given, capacitor must be solid tantalum; 25µF aluminum electrolytic may be substituted.

Required for stability. For value given, capacitor must be solid tantalum; 25µF aluminum electrolytic may be substituted. Values given may be increased without limit.


For output capacitance in excess of 100µF, a high current diode from input to output (1N4001, etc.) will protect the regulator from momentary input shunts.

รูปที่ ๓.8 ไอซี LM79XX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.5 อุปกรณ์ตัวควบคุม

ได้ใช้อิซี PIC16F877 เป็นตัวควบคุมแกนกลติ้ง้องวงใหญ่ในโครงการนี้ ซึ่งรายละเอียดของไอซีนี้ได้แสดงดังรูปที่ ก.9



# PIC16F87X

---

28/40-pin 8-Bit CMOS EEPROM/Flash Microcontrollers

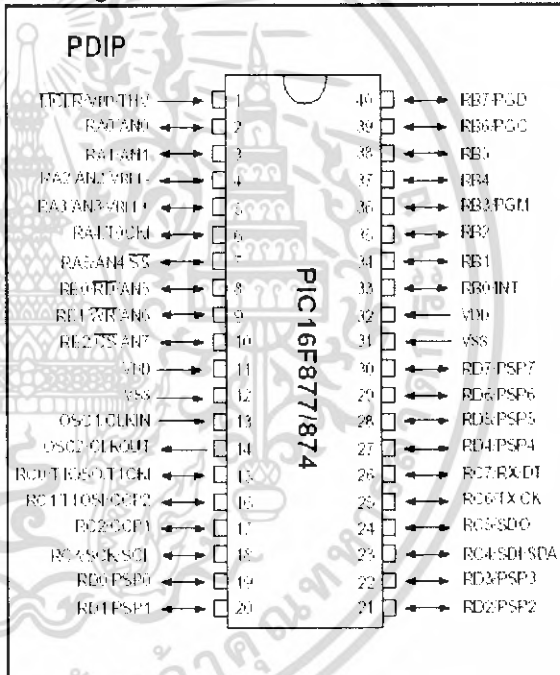
---

**Peripheral Features:**

- Timer0: 8-bit timer counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer counter with prescaler, can be incremented during sleep via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
- Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns. Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns. PWM max. resolution is 10-bit
- ★ 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- ★ Synchronous Serial Port (SSP) with SPI (Master Mode) and I<sup>2</sup>C (Master/Slave)
- ★ Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

Pin Diagram

PDIP



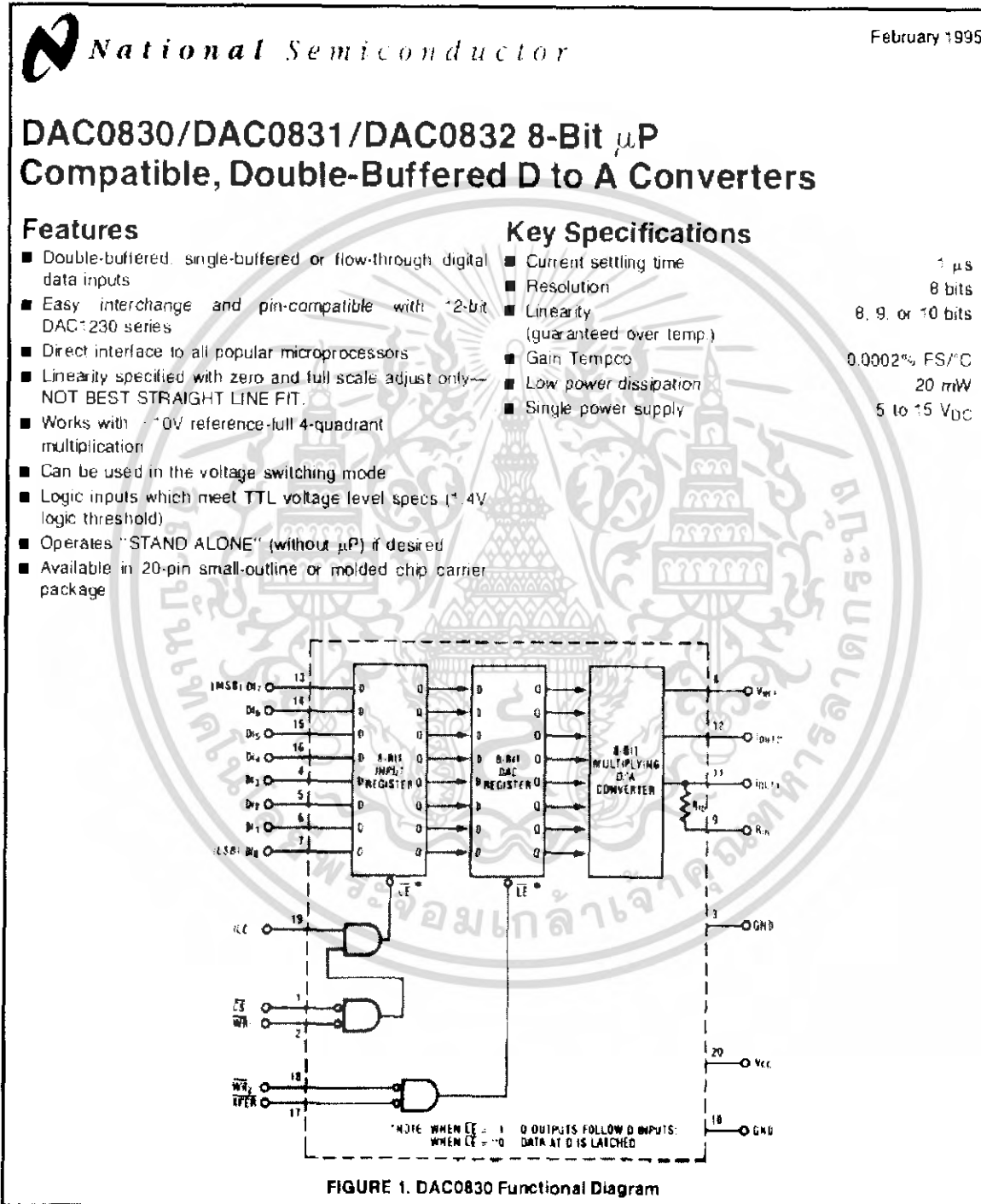
Pin	Function	Pin	Function
1	REFVDDTH2	40	RB7PSP0
2	RA0AN0	39	RB6PSP0
3	RA1AN1	38	RB5
4	RA2AN2/VRL1	37	RB4
5	RA3AN3/VRL1	36	RB3/PGM1
6	RA4T0CN	35	RB2
7	RA5AN5S	34	RB1
8	RB0RTANS	33	RB0INT
9	RELWTRANK	32	VDD
10	RELESAH7	31	VSS
11	VDD	30	RD7PSP7
12	VSS	29	RD6PSP6
13	OSC1CLKIN	28	RD5PSP5
14	OSC2CLKOUT	27	RD4PSP4
15	RC0T1RST1CH1	26	RC7RXDT
16	RC1T1RST1CH2	25	RC6TXCK
17	RC2OCP1	24	RC5SD0
18	RC3CKSCI	23	RC4SD1 SDA
19	RC0PSP0	22	RC3PSP3
20	RC1PSP1	21	RC2PSP2

รูปที่ ก.9 ไอซี 16F877

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.6 อุปกรณ์แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก

ในโครงการนี้ใช้ไอซี DAC0832 ขนาด 8 บิต เป็นส่วนประกอบในวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก ดังได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.10 ซึ่งรายละเอียดของไอซีได้แสดงดังรูปที่ ค.10



รูปที่ ค.10 ไอซี DAC0832

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้