

การควบคุมความเร็วมอเตอร์สำหรับรถขนส่งอัตโนมัติ

และสถานีอัดประจุไฟฟ้าอัตโนมัติ

SPEED CONTROL MOTOR FOR AUTOMATED GUIDED VEHICLE (AGV)

AND AUTOMATIC CHARGING STATION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา ปีการศึกษา 2563 ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

SPEED CONTROL MOTOR FOR AUTOMATED GUIDED VEHICLE (AGV)  
AND AUTOMATIC CHARGING STATION



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE BECHELOR DEGREE IN ELECCTRICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาหรับการเขงานเพื่การศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตเห็นาไปเซประเยชนดานการค้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมเหตุดแบลงเนยดา และตองอยางองเงงเงาของเอกสารทุกทวงที่มีการนำไปใช้

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG 2020

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปีการศึกษา 2563

การควบคุมความเร็วมอเตอร์สำหรับรถขนส่งอัตโนมัติและสถานีอัดประจุไฟฟ้าอัตโนมัติ

SPEED CONTROL MOTOR FOR AUTOMATED GUIDED VEHICLE (AGV) AND  
AUTOMATIC CHARGING STATION



อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.ภูมิ คงห้วยรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมความเร็วมอเตอร์สำหรับรถขนส่งอัตโนมัติและสถานีอัดประจุไฟฟ้าอัตโนมัติ

ผู้จัดทำ

1. นางสาวกัญญารัตน์ กอบลาภเจริญ
2. นางสาวกุศลิน ชันผง
3. นายธนนท์พัทธ์ วิวัฒน์นิมิตดี
4. นายฐิติพงศ์ เทพลีทธิ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
(ดร.ภูมิ คงห้วยรอบ)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## การควบคุมความเร็วมอเตอร์สำหรับรถขนส่งอัตโนมัติ และสถานีอัดประจุไฟฟ้าอัตโนมัติ

นางสาว กัญญารัตน์	กอบลาภเจริญ
นางสาว กุศลีน	ชั้นผง
นาย ฐนนท์พัทธ์	วิวัฒน์นิมิตติ
นาย ฐิติพงศ์	เทพสิทธิ์
ดร. ภูมิ	คงห้วยรอบ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2563

### บทคัดย่อ

เนื่องจากสถานการณ์โควิด-19 ในปัจจุบัน ที่จำเป็นต้องลดการสัมผัสและการแพร่เชื้อของไวรัส เป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาระบบขนส่งให้มีประสิทธิภาพและช่วยชะลอการแพร่ระบาดในทั้งทางการแพทย์ และทางอุตสาหกรรม ดังนั้นปริญญาานิพนธ์นี้จึงได้ทำการพัฒนารถขนส่งจากต้นแบบรวมทั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ สำหรับพัฒนาขึ้นส่วนรถขนส่งอัตโนมัตินั้นใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Controllino Mega) เป็นระบบประมวลผลกลางในการควบคุมหุ่นยนต์ให้เดินตามเส้นแม่เหล็ก และการอ่านค่าตำแหน่งจาก RFID เพื่อระบุตำแหน่งจอด และควบคุมความเร็วล้อโดยส่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32F411RE – Nucleo64) เพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ ซึ่งผลการทดสอบผลตอบสนองของมอเตอร์สามารถควบคุมความเร็วได้ดีและมีค่าเวลาขาขึ้นน้อย นอกจากนี้ได้ทำการออกแบบม็อดจอร์ป้องกันมอเตอร์ทำหน้าที่ตัดการทำงานของมอเตอร์เมื่อเกิดการชนหรือเกิดความผิดปกติขณะที่รถทำงาน เมื่อแบตเตอรี่ถึงระดับที่กำหนด รถจะอ่าน RFID ที่ระบุการทำงานเพื่อให้รถเคลื่อนที่ไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้า โดยภายในสถานีอัดประจุถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Mega) ชุดที่ 2 ซึ่งมีอุปกรณ์วัดระดับแรงดันและลิมิตสวิตซ์ในการตรวจจับการเข้าจอดของรถ เมื่ออุปกรณ์ทั้งสองตรวจสอบได้ว่ามีระดับแรงดันและมีรถเข้าจอด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งให้รีเลย์ควบคุมการจ่ายแรงดันให้กับแบตเตอรี่อย่างอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

# SPEED CONTROL MOTOR FOR AUTOMATED GUIDED VEHICLE (AGV) AND AUTOMATIC CHARGING STATION

KANYARAT

KOBLAPCHAROEN

KUSSALIN

KHUNPHONG

THANONPAT

VIWATNIMITDEE

THITIPONG

THEPSIT

Dr. POOM

KONGHUAYROB Advisor

## ABSTRACT

Due to covid-19 situation, it is necessary to reduce exposure of viruses. Therefore, we have developed a prototype Automated Guided Vehicle (AGV) to be more efficient in both medical and industrial areas by making automatic transport vehicles and automatic charging stations. The AGV uses a Controllino Mega as center processing of this mobile robot to drive along with magnetic tape and identify work with RFID card. Then, the value is sent to the STM32F411RE – Nucleo64 to control the speed of motor using the PI controller. The response of motor can control the speed and rise time is low. The interlock circuit will eliminate the risk when an abnormal situation occurs while AGV is operating. The AGV will move to a charging station when the battery is lower than limitation. The automatic charging station is controlled by an Arduino Mega. If the controller detect voltage from AGV and the limit switches are detected, the charger is working.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

II

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยจากหลายท่านโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ต้องขอขอบคุณ ดร.ภูมิ คงห้วยรอบ อาจารย์ที่ปรึกษา รวมไปถึงคุณปณณวีร์ นายศิริและคุณสุภารัตน์ พุ่มย้อยที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการงานด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไข ปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ คุณณัฐภาสน์ คุ่มกลางและคุณปริญญา ไสยโยธา ที่ให้คำแนะนำการแก้ไขปัญหาด้วยดีตลอดมา

นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ คุณนครศักดิ์ แสงศรี เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้เบิกใช้เครื่องมือ ตลอดจนคุณกมลวรรณ ถาวร เจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จของโครงการ

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวที่ให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจอีกทั้งเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดหาอุปกรณ์ในการทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	3
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ทฤษฎีรถขนส่งอัตโนมัติ	5
2.2 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	7
2.3 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	8
2.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร	9
2.5 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแม่เหล็กถาวร	9
2.6 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแม่เหล็กถาวร	10
2.7 แรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแม่เหล็กถาวร	11
2.8 บล็อกไดอะแกรมและฟังก์ชันถ่ายโอนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแม่เหล็กถาวร	12
2.9 ระบบควบคุมอันดับสอง (SECOND ORDER SYSTEM)	13
2.10 การควบคุมระบบ	15
2.11 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิด H-BRIDGE SWITCHING	19
2.12 การขับเคลื่อนแบบดิฟเฟอเรนเชียลไดรฟ์ (DIFFERENTIAL DRIVE) ในรถขนส่งอัตโนมัติ	21
2.13 จลนศาสตร์ผกผันการขับเคลื่อนแบบดิฟเฟอเรนเชียล	22
2.14 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MICROCONTROLLER)	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อใช้ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.15 เซนเซอร์ (SENSOR)	30
<b>บทที่ 3 การออกแบบและสร้างระบบการทำงาน</b>	<b>34</b>
3.1 ลักษณะโครงสร้างของรถขนส่งอัตโนมัติ	34
3.2 ระบบการทำงานของรถขนส่งอัตโนมัติ	35
3.3 ชุดวงจรของรถขนส่งอัตโนมัติ	36
3.4 ระบบควบคุมรถขนส่งอัตโนมัติ	38
3.5 ผังการทำงานของรถขนส่งอัตโนมัติ	40
3.6 ลักษณะโครงสร้างและวัสดุของสถานีอัดประจุไฟฟ้า	54
3.7 ขั้นตอนการสร้างสถานีอัดประจุไฟฟ้า	55
3.8 ระบบการทำงานของสถานีอัดประจุไฟฟ้า	57
3.9 ชุดวงจรของสถานีอัดประจุไฟฟ้า	58
3.10 ผังการทำงานของสถานีอัดประจุไฟฟ้า	59
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง</b>	<b>60</b>
4.1 ผลการทดลองจากการอ่านค่าที่ได้รับจาก MAGNETIC GUIDE SENSOR MGS-H01	60
4.2 ผลการทดลองจากการอ่านค่าผลที่ได้รับจาก RFID READER	63
4.3 ผลการทดลองการหยุดรถขนส่งอัตโนมัติ	69
4.4 ผลการทดลองการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับรถขนส่งอัตโนมัติ	70
4.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของรถขนส่งอัตโนมัติ	81
4.6 ผลการทดลองการสร้างวงจรป้องกันมอเตอร์	84
4.7 ผลการทดลองการสร้างสถานีอัดประจุไฟฟ้า	84
4.8 ผลการทดลองเกี่ยวกับสถานีอัดประจุไฟฟ้า	86
4.9 ผลการทดลองเมื่อรถขนส่งอัตโนมัติทำการอัดประจุ	88
4.10 ผลการทดลองการอัดประจุของแบตเตอรี่	90
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง</b>	<b>92</b>
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>96</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>98</b>
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า	
ภาคผนวก ก	99
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้	
ภาคผนวก ข	104

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ค	109
ภาคผนวก ง	113
ประวัติผู้เขียน	116



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	8
2.2 โครงสร้างพื้นฐานเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง	8
2.3 เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร	9
2.4 วงจรสมมูลของมอเตอร์กระแสตรง	9
2.5 สัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำทั้งหมดที่เกิดขึ้นที่แปรงถ่าน	10
2.6 บล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	12
2.7 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมอันดับสอง	13
2.8 ผลตอบสนองต่อสัญญาณ Unit Step ที่ค่าอัตราการหมุนของระบบ	14
2.9 คุณลักษณะการตอบสนองชั่วขณะของระบบอันดับสอง	15
2.10 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุม	15
2.11 ผลตอบสนองของตัวควบคุมในแบบต่างๆ	18
2.12 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิด H-Bridge Switching	20
2.13 การขับเคลื่อนแบบดิฟเฟอเรนเชียลไดรฟ์ในรถขนส่งอัตโนมัติ	21
2.14 ระบบพิกัดของหุ่นยนต์เคลื่อนที่	22
2.15 ตัวแปรของหุ่นยนต์ขับเคลื่อน 2 ล้อ	23
2.16 บอร์ด STM32F411RE – Nucleo64	26
2.17 บอร์ด Controllino Mega	28
2.18 บอร์ด Arduino Mega	29
2.19 Magnetic Guide Sensor MGS-H01	30
2.20 Branch Selection ในโหมด Straight	30
2.21 RFID reader WG26 Dual Frequency	32
2.22 Timing Diagram ของ Wiegand Protocol	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.23 รูปแบบ Wiegand26bits	33
3.1 โครงสร้างของรถขนส่งอัตโนมัติ	34
3.2 Block Diagram ของรถขนส่งอัตโนมัติ	35
3.3 Schematic ของรถขนส่งอัตโนมัติ	37
3.4 ระบบควบคุมการตรวจจับเส้นแถบแม่เหล็กแบบลูปิด	38
3.5 โครงสร้างของสถานีอัดประจุไฟฟ้า	54
3.6 ด้านหน้าของสถานีอัดประจุไฟฟ้าในโปรแกรม Inventor	55
3.7 ด้านหลังของสถานีอัดประจุไฟฟ้าในโปรแกรม Inventor	56
3.8 ข้างซ้ายและขวาของสถานีอัดประจุไฟฟ้าในโปรแกรม Inventor	56
3.9 Block Diagram ของสถานีอัดประจุไฟฟ้า	57
3.10 Schematic ของวงจรชุดวงจรของสถานีอัดประจุไฟฟ้า	58
4.1 แรงดันที่ MGH-H01 ตรวจจับเมื่อรถเคลื่อนที่อยู่กึ่งกลางของแถบแม่เหล็ก	61
4.2 แรงดันที่ MGH-H01 ตรวจจับเมื่อรถเคลื่อนที่อยู่ข้างซ้ายของแถบแม่เหล็ก	61
4.3 แรงดันที่ MGH-H01 ตรวจจับเมื่อรถเคลื่อนที่อยู่ข้างขวาของแถบแม่เหล็ก	62
4.4 แรงดันที่ MGH-H01 อ่านได้เมื่อรถเคลื่อนที่ไม่เจอแถบแม่เหล็ก	62
4.5 แรงดันที่ MGH-H01 ตรวจจับเมื่อรถเคลื่อนที่บนแถบแม่เหล็ก	63
4.6 ค่าที่อ่านได้จาก RFID reader เมื่อรถขนส่งอัตโนมัติเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 10 rpm	64
4.7 ค่าที่อ่านได้จาก RFID reader เมื่อรถขนส่งอัตโนมัติเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 20 rpm	65
4.8 ค่าที่อ่านได้จาก RFID reader เมื่อรถขนส่งอัตโนมัติเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 30 rpm	66
4.9 ค่าที่อ่านได้จาก RFID reader เมื่อรถขนส่งขับเคลื่อนอัตโนมัติไปที่สถานีอัดประจุไฟฟ้า	67
4.10 ค่าที่อ่านได้จาก RFID reader เมื่อรถขนส่งขับเคลื่อนอัตโนมัติหยุดเคลื่อนที่	68
4.11 ระยะเวลาหยุดของรถขนส่งอัตโนมัติเมื่ออ่านแท็ก	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 ผลตอบสนองการควบคุมมอเตอร์แบบวงรอบปิดของมอเตอร์ล้อย้ายที่ความเร็ว 10 rpm	70
4.13 ค่าเวลาขาขึ้นของมอเตอร์ล้อย้ายที่ความเร็ว 10 rpm	71
4.14 ผลตอบสนองการควบคุมมอเตอร์แบบวงรอบปิดของมอเตอร์ล้อยาวที่ความเร็ว 10 rpm	72
4.15 ค่าเวลาขาขึ้นของมอเตอร์ล้อยาวที่ความเร็ว 10 rpm	72
4.16 ผลตอบสนองการควบคุมมอเตอร์แบบวงรอบปิดของมอเตอร์ล้อย้ายที่ความเร็ว 20 rpm	73
4.17 ค่าเวลาขาขึ้นของมอเตอร์ล้อย้ายที่ความเร็ว 20 rpm	74
4.18 ผลตอบสนองการควบคุมมอเตอร์แบบวงรอบปิดของมอเตอร์ล้อยาวที่ความเร็ว 20 rpm	75
4.19 ค่าเวลาขาขึ้นของมอเตอร์ล้อยาวที่ความเร็ว 20 rpm	75
4.20 ผลตอบสนองการควบคุมมอเตอร์แบบวงรอบปิดของมอเตอร์ล้อย้ายที่ความเร็ว 30 rpm	76
4.21 ค่าเวลาขาขึ้นของมอเตอร์ล้อย้ายที่ความเร็ว 30 rpm	77
4.22 ผลตอบสนองการควบคุมมอเตอร์แบบวงรอบปิดของมอเตอร์ล้อยาวที่ความเร็ว 30 rpm	78
4.23 ค่าเวลาขาขึ้นของมอเตอร์ล้อยาวที่ความเร็ว 30 rpm	78
4.24 ผลตอบสนองการควบคุมมอเตอร์แบบวงรอบปิดของมอเตอร์ล้อย้ายที่ความเร็ว 40 rpm	79
4.25 ผลตอบสนองการควบคุมมอเตอร์แบบวงรอบปิดของมอเตอร์ล้อยาวที่ความเร็ว 40 rpm	80
4.26 ขณะที่รถขนส่งอัตโนมัติเริ่มเคลื่อนที่เข้าเส้น	82
4.27 ขณะที่รถขนส่งอัตโนมัติเคลื่อนที่ทางตรง	83
4.28 ขณะที่รถขนส่งอัตโนมัติเคลื่อนที่ทางโค้ง	83
4.29 ด้านหน้าของสถานีอัดประจุไฟฟ้า	85
4.30 ด้านข้างของสถานีอัดประจุไฟฟ้า	85
4.31 ภายในสถานีอัดประจุไฟฟ้า	86
4.32 เมื่อสถานีอัดประจุไฟฟ้าอัตโนมัติกำลังจ่ายไฟ	87
4.33 มุมระหว่างรถและสถานีอัดประจุ	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.34 มุมระหว่างรถและสถานีในการอัดประจุ	89
4.35 การทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่	90
4.36 ค่าแรงดันขณะอัดประจุให้แบตเตอรี่	91
ข.1 Arduino-Compatible Headers ของ STM32F411RE – Nucleo64	105
ข.2 Morpho Headers ของ STM32F411RE – Nucleo64	106
ข.3 Pinout ของ Controllino Mega	107
ข.4 Pinout ของ Arduino Mega	108



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

X

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินโครงการ	3
2.1 Specifications of STM32F411RE – NUCLEO64	27
2.2 Specifications of Controllino Mega	28
2.3 Specifications of Arduino Mega	29
2.4 Specifications of Magnetic Guide Sensor MGS-H01	31
2.5 specifications of RFID reader WG26 Dual Frequency	33
3.1 คุณลักษณะเฉพาะของสถานีอัดประจุไฟฟ้า	55
4.1 การทดสอบการหยุดรถขนส่งอัตโนมัติ	69
4.2 ค่าผลตอบสนองของมอเตอร์ล้อซ้ายที่ความเร็ว 10 rpm	71
4.3 ค่าผลตอบสนองของมอเตอร์ล้อขวาที่ความเร็ว 10 rpm	73
4.4 ค่าผลตอบสนองของมอเตอร์ล้อซ้ายที่ความเร็ว 20 rpm	74
4.5 ค่าผลตอบสนองของมอเตอร์ล้อขวาที่ความเร็ว 20 rpm	76
4.6 ค่าผลตอบสนองของมอเตอร์ล้อซ้ายที่ความเร็ว 30 rpm	77
4.7 ค่าผลตอบสนองของมอเตอร์ล้อขวาที่ความเร็ว 30 rpm	79
4.8 ค่าผลตอบสนองของมอเตอร์ล้อซ้ายที่ความเร็ว 40 rpm	80
4.9 ค่าผลตอบสนองของมอเตอร์ล้อขวาที่ความเร็ว 40 rpm	81
4.10 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของรถขนส่งอัตโนมัติ	81
4.11 สถานะทำงานของอุปกรณ์ในวงจรป้องกันมอเตอร์	84
4.12 การทำงานของแท่นอัดประจุอัตโนมัติ	86
4.13 การทดสอบหามุมที่ปลอดภัยระหว่างรถและสถานีในการอัดประจุ	88
4.14 การทดสอบการทำงานของสถานีอัดประจุไฟฟ้า	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันระบบอัตโนมัติมีความสำคัญต่อโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากผลของการแข่งขันด้านการตลาดที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมจึงต้องการนำเทคโนโลยีและระบบอัตโนมัติมาใช้ในการดำเนินธุรกิจ เนื่องจากเทคโนโลยีสามารถทำให้อุตสาหกรรมเกิดการพัฒนาดังกล่าวถึงขีดสุด ทั้งด้านแรงงาน ประสิทธิภาพและผลประกอบการนอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่คาดคิดหลายประการ เช่น 2 ปีภายในระบบเศรษฐกิจมีความผันผวนยากต่อการคาดเดา เนื่องจากสถานการณ์โควิด-19 ที่ส่งผลกระทบต่อวิถีชีวิต ระบบเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหลายสิ่งหลายอย่างให้มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ทั้งทางด้านความสะอาดของผลิตภัณฑ์ ความปลอดภัย ระบบคัดกรองเชื้อโรค จากภายนอกเข้าสู่ภายในโรงงาน ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ยากจึงทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบการผลิตและพนักงาน ผลเสียที่ตามมาคือกระบวนการผลิตเกิดความล่าช้า ไม่สามารถส่งมอบชิ้นงานได้ตามเวลาที่กำหนด ทำให้ส่งผลกระทบต่อผลกำไรและความน่าเชื่อถือ

ดังนั้นรถขนส่งอัตโนมัติจึงมีความสำคัญในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากทำหน้าที่ได้เสมือนคน สามารถเพิ่มผลผลิต ลดระยะเวลาที่สูญเสียในระบบ ลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นระหว่างการทำงาน มีความปลอดภัยและสามารถตรวจสอบความถูกต้องได้ เพราะการขนส่งสามารถควบคุมความเร็วของตัวรถและกำหนดเส้นทางในการเคลื่อนที่ให้เป็นไปตามที่ต้องการได้ ทำให้ผลผลิตที่ได้มีผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจทั้งด้านคุณภาพและระยะเวลา ในขณะที่รถขนส่งอัตโนมัติสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ในสถานการณ์โควิด-19 เพื่อชะลอการแพร่ระบาดของเชื้อ เช่น การนำรถขนส่งอัตโนมัติขนส่งยาไปแจกจ่ายให้แก่ผู้ป่วยในแต่ละห้อง ซึ่งเป็นการลดการสัมผัสระหว่างบุคลากรทางการแพทย์กับคนไข้ เป็นต้น

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น จึงได้ทำการศึกษาการควบคุมความเร็วมอเตอร์สำหรับรถขนส่งอัตโนมัติและสร้างต้นแบบสถานีอัดประจุไฟฟ้าอัตโนมัติ โดยเมื่อแบตเตอรี่มีระดับแรงดันต่ำกว่าที่กำหนดไว้รถขนส่งอัตโนมัติจะสามารถกลับเข้าไปอัดประจุที่แท่นอัดประจุก็จะเกิดการอัดประจุแบบอัตโนมัติ ทำให้มีความสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น ลดภาระของพนักงานและสามารถลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นภายในระบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างรถขนส่งอัตโนมัติ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานให้เกิดประโยชน์ได้หลายด้านเช่น นำไปใช้ในระบบอุตสาหกรรม ช่วยเหลือสังคมและองค์กรต่างๆ
2. เพื่อศึกษาการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงของรถขนส่งอัตโนมัติ
3. เพื่อศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ (Controllino Mega) ในการควบคุมเซนเซอร์และเครื่องอ่านแท็กในระบบวิทยุ (RFID Reader) ในรถขนส่งอัตโนมัติ โดยใช้ซอฟต์แวร์ ArduinoIDE ในการเขียนโปรแกรมควบคุม
4. เพื่อศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F411RE – Nucleo64 ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงของรถขนส่งอัตโนมัติ โดยใช้ซอฟต์แวร์ STM3CubeIDE ในการเขียนโปรแกรมควบคุม
5. เพื่อศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Mega) ในการรับค่า ส่งค่า และประมวลผลสำหรับการทำงานของสถานีอัดประจุไฟฟ้าอัตโนมัติ โดยใช้ซอฟต์แวร์ ArduinoIDE ในการเขียนโปรแกรมควบคุม
6. เพื่อศึกษาการออกแบบวงจรป้องกันมอเตอร์ (Interlock) สำหรับรถขนส่งอัตโนมัติ
7. เพื่อพัฒนาระบบของรถขนส่งอัตโนมัติให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
8. เพื่อพัฒนาสถานีอัดประจุไฟฟ้าอัตโนมัติสำหรับรถขนส่งอัตโนมัติให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

## 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1. ควบคุมมอเตอร์กระแสตรงขนาดแรงดัน 24 Vdc, 100 rpm ด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ
2. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ได้แก่ STM32F411RE – Nucleo64 , CONTROLLINO MEGA และ Arduino Mega ในการทำงาน
3. สร้างต้นแบบสถานีอัดประจุไฟฟ้าอัตโนมัติและระบบ Interlocking
4. ศึกษาการทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับแม่เหล็ก (Magnetic Guide Sensor) ในการนำทางรถขนส่งอัตโนมัติ
5. ศึกษาการทำงานของระบบอาร์เอฟไอดี (RFID) ในการระบุตำแหน่งของรถขนส่งอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า  
 วัตถุประสงค์  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

6. ศึกษาจลนศาสตร์ผกผัน (Inverse kinematics) ของรถขนส่งสองล้อในการเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติ

#### 1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1. ศึกษาปัญหาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของรถขนส่งอัตโนมัติโดยใช้เส้น
2. ศึกษาทฤษฎีการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง
3. ศึกษาการควบคุมเซนเซอร์และเครื่องอ่านแท็กในระบบวิทยุ (RFID Reader)
4. ศึกษาและพัฒนาการเขียนโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้แก่ Arduino IDE, STM32CubeIDE
5. สร้าง ทดสอบและปรับปรุงต้นแบบของรถขนส่งอัตโนมัติ
6. สร้าง ทดสอบและปรับปรุงต้นแบบของสถานีอัดประจุไฟฟ้าอัตโนมัติ
7. ออกแบบวงจรป้องกันมอเตอร์ (Interlock) สำหรับรถขนส่งอัตโนมัติ
8. สรุปผลจากการวิจัย ข้อเสนอแนะและจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

#### 1.5 แผนการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินโครงการ

ลำดับ	ขั้นตอนการดำเนินงาน	พ.ศ.2563					พ.ศ.2564				
		ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1	ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	←	→								
2	ศึกษาไมโครคอนโทรลเลอร์และการเขียนโปรแกรม		←	→							
3	สร้าง ทดสอบและปรับปรุงต้นแบบของรถขนส่งอัตโนมัติ			←						→	
4	ออกแบบวงจรป้องกันมอเตอร์ (Interlock)			←	→						
5	สร้าง ทดสอบและปรับปรุงต้นแบบของสถานีอัดประจุไฟฟ้าอัตโนมัติ									←	→
6	ทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์									←	→

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง หากมีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. สามารถพัฒนารถขนส่งอัตโนมัติให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานให้เกิดประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น นำไปใช้ในระบบอุตสาหกรรม ช่วยเหลือสังคมและองค์กรต่างๆ
2. เข้าใจการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงของรถขนส่งอัตโนมัติ
3. เข้าใจการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ (Controllino Mega) ในการควบคุมเซนเซอร์และเครื่องอ่านแท็กในระบบวิทยุ (RFID Reader) ในรถขนส่งอัตโนมัติ
4. เข้าใจการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32F411RE – Nucleo64) ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงของรถขนส่งอัตโนมัติ
5. เข้าใจการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Mega) ในการรับค่า ส่งค่าและประมวลผลสำหรับการทำงานของสถานีอัดประจุไฟฟ้าอัตโนมัติ
6. สามารถออกแบบวงจรป้องกันมอเตอร์ Interlock สำหรับรถขนส่งอัตโนมัติ
7. สามารถสร้างต้นแบบสถานีอัดประจุไฟฟ้าอัตโนมัติสำหรับรถขนส่งอัตโนมัติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทฤษฎีรถขนส่งอัตโนมัติ

รถขนส่งอัตโนมัติ (Automation Guide Vehicle : AGV) จัดเป็นหุ่นยนต์ประเภทเคลื่อนที่ (Mobile Robot) เป็นยานพาหนะที่ไม่ต้องใช้คนขับสามารถวิ่งไปตามเส้นทางที่กำหนดไว้ได้เองโดยอัตโนมัติ รถขนส่งอัตโนมัติถูกนำมาใช้ขนถ่ายสินค้าในโกดังเก็บสินค้าทำให้สามารถประหยัดในเรื่องของแรงงานคนและเวลา นอกจากนี้เอจิวียังสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างอื่นได้อาทิเช่น รถโฟล์คลิฟท์ (Fork-lift) รถบรรทุก (Truck) รถแทรกเตอร์ เป็นต้น หรืออาจใช้แทนสายพานลำเลียงหน้าที่ของเอจิวียก็คือขนส่งวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์สินค้าหรือชิ้นส่วนเล็ก ๆ น้อย ๆ ของสายการผลิตหนึ่งไปยังอีกสายการผลิตหนึ่ง เอจิวียังมีใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรมแบบอัตโนมัติ และมีการขยายการทำงานในโรงงานแบบกึ่งอัตโนมัติ

ระบบของรถขนส่งอัตโนมัติเป็นระบบขนถ่ายวัสดุที่ใช้รถทำงานได้โดยอิสระต่อกันขับเคลื่อนด้วยตัวเอง ระบบเอจิวียังประกอบด้วยตัวรถกลไก, ระบบขับเคลื่อน, มอเตอร์, แบตเตอรี่, ชุดควบคุมการทำงานรถ และระบบนำร่องทางเดินรถ

โครงสร้างภายนอกของรถขนส่งอัตโนมัติ(AGV) ส่วนมากจะทำเป็นแท่นไว้วางภาชนะหรือที่ใส่วัสดุต่าง ๆ อาทิเช่น ถาด (Fraggs) ชั้นวางของ(Racks) กล่อง(Boxes) มีล้อใช้ในการเคลื่อนที่มีส่วนที่สามารถติดต่อกับผู้ใช้งาน เช่น คีย์บอร์ด, ไฟขอทาง, เสียงไซเรน นอกจากนี้เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับเอจิวียังมีเอจิวียางตัวอาจติดตั้งตัวชน (Bumper) ทางด้านหน้าและด้านหลังของเอจิวียอีกด้วย เอจิวียังส่วนมากจะใช้ระบบขับเคลื่อนที่มีเสียงเงียบหรือไม่มีเสียงเลย จึงได้มีการนำมอเตอร์ไฟฟ้ามาใช้เป็นส่วนขับเคลื่อน ข้อดีคือไม่ทำให้เกิดมลภาวะแต่ข้อเสียคือสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

โดยทั่วไปส่วนของตัวรถ และกลไกของรถนั้นถูกออกแบบมาให้เหมาะกับการประยุกต์ในการใช้งานในอุตสาหกรรมแต่ละประเภท แล้วตัวขับเคลื่อนให้รถเคลื่อนที่นั้นจะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าที่ถูกควบคุมด้วยวงจรรีเลย์ทรานซิสต์ ซึ่งพลังงานในการหมุนมอเตอร์ จะได้จากแบตเตอรี่ซึ่งจะมีแรงดันอยู่ระหว่าง 12 ถึง 48 โวลต์ ส่วนชุดควบคุมการทำงานของรถจะมีอยู่ด้วยกันหลายลักษณะเช่น พีแอลซี (Programmable Logic Control : PLC) ไมโครโพรเซสเซอร์บอร์ด ซิงเกิลบอร์ดคอมพิวเตอร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าผู้ผลิตรายใดจะออกแบบระบบไว้อย่างไร โดยระบบนำร่องทางเดินของรถขนส่งอัตโนมัติจะแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 1. ระบบนำร่องทางเดินแบบกำหนดเส้นทางเดินแน่นอน เช่น

1.1 การใช้แถบโลหะ (Metal Tape) ตีเป็นแถบแบบเดียวกับแถบสี วิธีการนี้จะต้องเปลี่ยนตัวตรวจจับสีเป็นสวิทช์แบบไม่สัมผัสกับวัตถุ (Proximity Sensor) แทน พรอคซิมีตี้เซนเซอร์จะให้เอาต์พุตออกมาในกรณีที่ตรวจพบแถบโลหะเท่านั้น เอาต์พุตมีให้เลือกทั้งแบบที่เป็นอนาล็อกและดิจิทัล ข้อดีของการใช้วิธีนี้คือความแม่นยำคงที่ แม้มิฝุ่นละอองมาเกาะติดยังทำงานได้ดี ข้อเสียของวิธีการนี้คือ ราคาแพง การซ่อมบำรุงได้ยาก

1.2 การใช้แถบแม่เหล็ก (Magnetic Tape) ฝังลงในพื้นที่มีลักษณะเป็นตารางทั่ว ๆ ไปบนพื้นรถขนส่งอัตโนมัติ จะทำการตรวจจับแถบแม่เหล็กด้วยแมกเนติกเซนเซอร์ (Magnetic Sensor) โดยเอจิวี่จะเคลื่อนที่ไปตามแนวของตารางจุดตัดของเส้นตารางจะเป็นตัวนับตำแหน่งในการเคลื่อนที่การทำงานของวิธีนี้ ลักษณะของแมกเนติกเซนเซอร์ประกอบด้วย ขดลวดกระตุ้น 1 ชุด (Exciting Coil) ชุดตรวจจับ 2 ชุด (Detecting Coil) การทำงานเริ่มจากขดลวดกระตุ้นผลิตสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยมีชุดตรวจจับคอยตรวจจับ

1.3 การใช้แถบสีหรือเทปสะท้อนแสงติดบนพื้น วิธีการนี้จะทำได้โดยการติดแถบสีที่มีความแตกต่างกับสีของพื้น เมื่อรถขนส่งอัตโนมัติตรวจพบแถบสีนั้นจะนำเอาข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ต่อไป ข้อดีของวิธีนี้คือระบบการนำร่องไม่ซับซ้อน การเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ง่าย การซ่อมบำรุงกระทำได้ในระยะเวลาสั้น ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการติดตั้งถูก สำหรับเทคนิคในการตรวจจับเทปสีมี 2 วิธีได้แก่

(ก) การใช้ตัวเซนเซอร์ตรวจจับแถบสีโดยเฉพาะ วิธีการนี้มีความเชื่อถือได้สูงสุดโดยตัวตรวจจับแถบสีนี้จะรับเอาความถี่แสงที่กำหนดไว้ไปใช้เท่านั้นความถี่แสงอื่นจะถูกปฏิเสธออกไป ข้อเสียของวิธีนี้คือราคาสูง

(ข) การใช้โฟโตเซนเซอร์ (Photo Sensor) ตัวตรวจจับความเข้มของแสงที่สะท้อนกลับออกมา วิธีการนี้จะต้องทำงานในที่บริเวณที่สะอาดมาก ๆ การใช้โฟโตเซนเซอร์จึงเหมาะสำหรับห้องควบคุมความสะอาดของโรงงานผลิตไอซี ข้อดีของการใช้โฟโตเซนเซอร์คือเป็นอุปกรณ์ที่หาง่ายง่ายต่อการสร้าง ราคาถูก

## 2. แบบเส้นทางเดินอิสระซึ่งจะมีการใช้เซนเซอร์หลายชนิดหลายแบบมารวมกัน เช่น

2.1 การนำร่องแบบไร้สาย (Wireless Guide) เป็นการนำร่องที่ไม่ต้องติดตั้งทางเดินนำร่องตามพื้น วิธีการนี้รถขนส่งอัตโนมัติสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระและมีความยืดหยุ่นในการดำเนินการสูงมาก ในปัจจุบันมีการวิจัยและพัฒนาวิธีการนี้มาก สิ่งที่สำคัญที่สุดของการนำร่องแบบไร้สายคือ เทคนิคการนำทาง ซึ่งมีได้หลายวิธี

2.2 การประมวลผลภาพ (Image Processing) เป็นวิธีการหาตำแหน่งของรถขนส่งไม่ว่ากรณีใดจุดทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเวลาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัติโนมัติ โดยใช้กล้องติดบนเพดาน หรือบริเวณมุมห้อง หรือพื้นที่ปฏิบัติงาน โดยกล้องที่ใช้ปัจจุบันมี

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หลายแบบ สามารถส่งข้อมูลทางดิจิทัลให้กับคอมพิวเตอร์นำไปประมวลผลได้ เช่น ซีซีดี เมื่อคอมพิวเตอร์รับข้อมูลจากกล้องแล้วจะเป็นผู้ออกคำสั่งให้เอจีวีทำงานได้โดยอาจจะใช้วิธีการสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุหรืออาศัยรีโมทคอนโทรลสั่งงานได้ ความถูกต้องของวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับความละเอียดของกล้องที่ใช้ ปัจจุบันมีความละเอียดให้เลือกมากมาย ข้อเสียของวิธีการนี้คือ จะต้องใช้กล้องหลายตัว เนื่องจากกล้องแต่ละตัวจะมีพิกัดของโฟกัส และรัศมีไม่มากนัก [1]

## 2.2 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีดังนี้

### 2.2.1 สเตเตอร์ (Stator)

สเตเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นส่วนที่อยู่กับที่ ทำด้วยเฟอร์โรแมกเนติก เป็นโครงสร้างภายนอกทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กหนึ่งผ่านช่องอากาศไปยังโรเตอร์และผ่านช่องอากาศไปยังอีกขั้วแม่เหล็กหนึ่งโดยครบวงจรปิด

### 2.2.2 ขั้วแม่เหล็ก (Field poles)

ขั้วแม่เหล็กทำด้วยเฟอร์โรแมกเนติก เป็นส่วนสร้างสนามแม่เหล็กที่ได้มาจากการกระตุ้นของขดลวดสนาม (Field Winding) ที่พันอยู่บนขั้วแม่เหล็ก ลักษณะการเกิดขั้วแม่เหล็กเป็นขั้ว N และขั้ว S สามารถกำหนดได้จากทิศของกระแสที่จ่ายให้กับขดลวดสนาม ขั้วแม่เหล็กจึงต้องมีจำนวนเป็นเลขคู่

### 2.2.3 โรเตอร์ (Rotor)

โรเตอร์หรือที่เรียกว่าอาร์เมเจอร์เป็นส่วนที่เคลื่อนที่ด้วยการหมุนทำด้วยสารเฟอร์โรแมกเนติก มีลักษณะเป็นทรงกระบอก โรเตอร์จะมีขดลวดหลายๆคู่ เรียกว่าขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature Winding) เป็นขดลวดที่พันอยู่ในร่องสลิตของแกนอาร์มาเจอร์ เมื่อโรเตอร์หมุนไปขดลวดอาร์มาเจอร์จะมีลักษณะวางตั้งฉากกับแนวสนามแม่เหล็กเสมอ ที่ตัวของโรเตอร์จะมีส่วนที่ยื่นออกมาเรียกว่าเพลา (Shaft) ส่วนนี้มีไว้เพื่อรับหรือจ่ายพลังงานทางกล

### 2.2.4 ซีคอมมิวเตเตอร์ (Commutators)

ซีคอมมิวเตเตอร์หรือวงแหวนแยก จะติดอยู่กับตัวเพลามีลักษณะเป็นชิ้นส่วนเล็ก ๆ วางอยู่รอบโรเตอร์ ใช้เป็นจุดเชื่อมต่อกับปลายของขดลวดอาร์มาเจอร์ โดยวงแหวนแยกจะสัมผัสกับแปรงถ่านตลอดเวลา ทำหน้าที่รับหรือจ่ายพลังงานไฟฟ้า

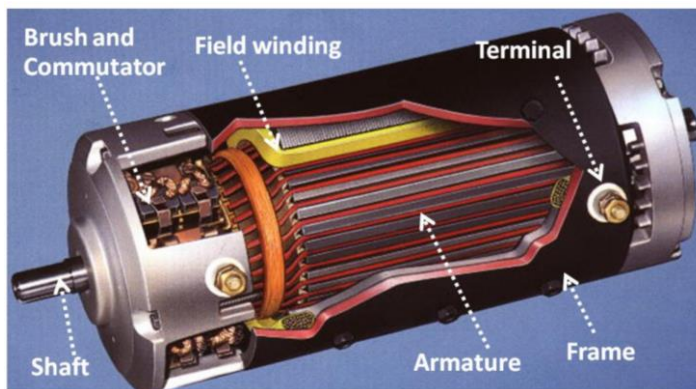
### 2.2.5 แปรงถ่าน (Brushes)

แปรงถ่านทำมาจากคาร์บอนมีรูปร่างเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าติดอยู่กับซีคอมมิวเตเตอร์ ทำหน้าที่จัดเรียงกระแสที่ไหลเข้าขดลวดอาร์มาเจอร์ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

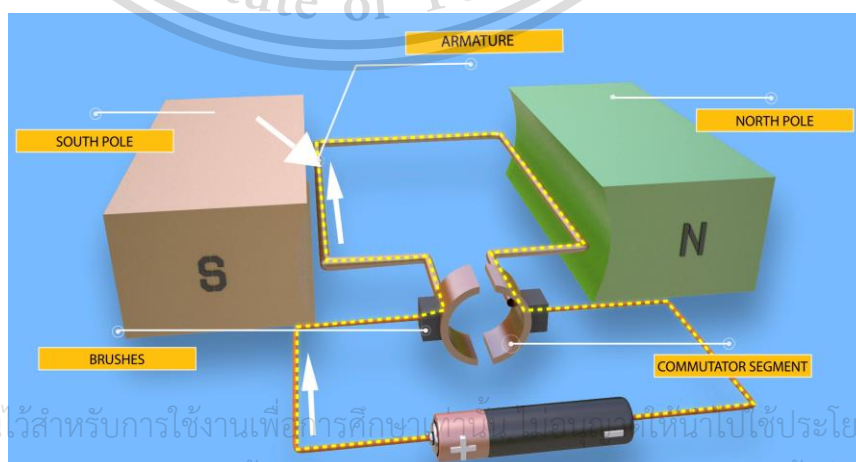
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง[3]

### 2.3 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

โดยหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบด้วยสนามแม่เหล็ก ที่ได้มาจากการกระตุ้นขดลวดสนาม (Field Winding) ที่พันอยู่ที่ขั้วแม่เหล็กหรือมาจากแม่เหล็กถาวร (Permanent magnet) แล้วเกิดเป็นขั้วแม่เหล็กทั้งสองขั้ว (ขั้วเหนือ N และขั้วใต้ S) และขดลวดตัวนำที่ดัดเป็นรูปทรงความยาว ( $l$ ) จำนวน 2 ตัววางอยู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็กทั้งสองขั้ว ดังที่แสดงในรูปที่ 2.2 เมื่อให้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงภายนอกจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ไหลในขดลวดตัวนำที่ดัดหรือขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature Winding) ผ่านซี่คอมมิวเตเตอร์กับแปรงถ่านที่ทำหน้าที่จัดเรียงกระแสที่ไหลเข้าขดลวดอาร์มาเจอร์ จะสังเกตได้ว่าขดลวดที่อยู่ภายใต้ขั้ว N มีทิศทางตรงกันข้ามกับขดลวดที่อยู่ภายใต้ขั้ว S ส่งผลให้เกิดแรงกระทำที่มีทิศตรงข้ามกัน ทำให้ขดไปโนทิศตามเข็มนาฬิกาเมื่อลวดตัวนำเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็กทำให้เกิดค่าแรงดันเหนี่ยวนำ ( $e$ ) โดยเมื่อลวดเหนี่ยวนำเคลื่อนที่หมุนไป ณ ตำแหน่งมุม  $\theta$  ต่าง ๆ ทำให้ค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นมีค่าและทิศเปลี่ยนแปลง [2]



รูปที่ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง[4]

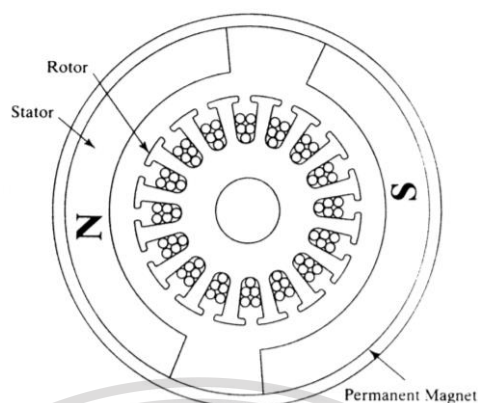
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขดัดแปลงเนื้อหา และตั้งอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

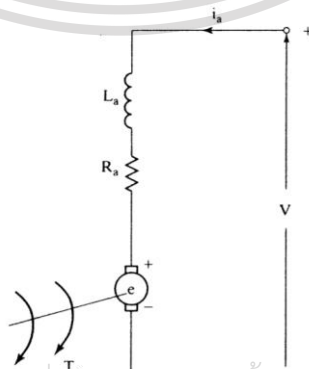


รูปที่ 2.3 เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร[2]

จากรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์จะมีแม่เหล็กถาวรเป็นแหล่งกำเนิดแรงเคลื่อนทางแม่เหล็ก (mmf) เพื่อใช้ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว ( $\phi_p$ ) ทำให้ไม่จำเป็นต้องมีวงจรของขดลวดกระตุ้นสนามแม่เหล็ก ทำให้ไม่มีการสูญเสียจากขดลวดของขดลวดกระตุ้นสนามและเนื่องจากไม่มีขดลวดกระตุ้นสนามจึงทำให้มอเตอร์มีขนาดเล็กกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดกระตุ้นสนามแม่เหล็ก แต่มอเตอร์ชนิดนี้จะไม่สามารถควบคุมสนามแม่เหล็ก และมีการเสียมและลดลงของสนามแม่เหล็ก และการสร้างมอเตอร์ให้มีขนาดใหญ่สามารถทำได้ยาก [5]

## 2.5 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแม่เหล็กถาวร

วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแสดงดังรูปที่ 2.4 เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไปที่ขั้วของมอเตอร์ ( $V_a$ ) จะมีการแสอาร์มาเจอร์ ( $I_a$ ) ไหลเข้าที่ขั้วบวกของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ขดลวดอาร์มาเจอร์ ( $E_a$ ) ผ่านแปลงถ่าน [5]



รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลของมอเตอร์กระแสตรง[5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
จะได้ความสัมพันธ์ที่ขั้วของมอเตอร์ดังสมการ (2.1)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$V_t = E_a + R_a I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} \quad (2.1)$$

เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State) กระแสอาร์มาเจอร์จะมีค่าคงที่ ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสอาร์มาเจอร์เป็นศูนย์ ดังสมการ (2.2)

$$V_t = E_a + R_a I_a \quad (2.2)$$

- เมื่อ  $V_t$  คือแรงดันที่ขั้วมอเตอร์  
 $I_a$  คือกระแสอาร์มาเจอร์  
 $R_a$  คือความต้านทานขดลวดอาร์มาเจอร์  
 $L_a$  คือความเหนี่ยวนำขดลวดอาร์มาเจอร์

## 2.6 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแม่เหล็กถาวร

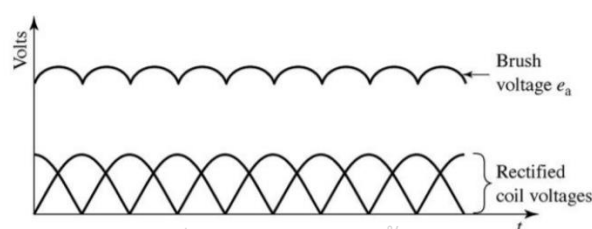
การที่แท่งตัวนำเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็กสามารถหาค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้จากสมการของการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า

$$\vec{e} = \vec{ul} \otimes \vec{B} \quad (2.3)$$

ถ้าแท่งตัวนำที่อาร์มาเจอร์ที่ทั้งหมดเท่ากับ  $Z$  และมีวงจรรขานที่อาร์มาเจอร์เท่ากับ  $a$  เมื่อแท่งตัวนำทั้งหมดหมุนครบ 1 รอบ จะตัดฟลักซ์แม่เหล็กทั้งหมดเท่ากับ  $\phi P$  และถ้าแท่งตัวนำหมุนด้วยความเร็ว  $n$  รอบต่ออนาที (rpm) จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ขดลวดอาร์มาเจอร์ ( $E_a$ ) ของมอเตอร์กระแสตรงที่ออกจากขั้วแปรงถ่าน [4] สามารถเขียนได้ดังสมการ (2.4)

$$E_a = K_a \phi \omega_m \quad (2.4)$$

- เมื่อ  $K_a = \frac{PZ}{2\pi a}$  คือค่าคงที่ของการออกแบบอาร์มาเจอร์  
 $P$  คือจำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์  
 $\phi$  คือค่าฟลักซ์แม่เหล็กต่อขั้ว  
 $\omega_m$  คือความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**รูปที่ 2.5** สัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำทั้งหมดที่เกิดขึ้นที่แปรงถ่าน[5]  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.7 แรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแม่เหล็กถาวร

ขดลวดที่พันอยู่บนโรเตอร์มีกระแสไหลอยู่ภายใต้สนามแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สามารถหาแรงที่เกิดจากสนามแม่เหล็กจาก

$$\vec{F} = \vec{I} \otimes \vec{B} \quad (2.5)$$

ทิศทางของกระแสขนานกับแนวแกนซึ่งตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กที่อยู่ในแนวรัศมีของทรงกระบอกจะได้ทิศทางของแรงที่เกิดจากสนามแม่เหล็กจะอยู่ในแนวเส้นสัมผัส และทิศทางของแรงที่เกิดจากสนามแม่เหล็กตั้งฉากกับรัศมีของอาร์มาเจอร์ จะสามารถหาแรงบิดที่เกิดที่แท่งตัวนำแต่แบ่งได้จากสมการ 2.6

$$T_e = f_d r \quad (2.6)$$

เมื่อ  $T_e$  คือแรงบิดทางแม่เหล็กไฟฟ้า

$r$  คือระยะทางตั้งฉากระหว่างแรงกระทำกับจุดหมุน

ค่ากำลังที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก (Electromagnetic power) สามารถหาได้จากค่ากำลังทางไฟฟ้าที่ได้จากแรงดันเหนี่ยวนำ  $E_a I_a$  หรือจากค่ากำลังทางกลที่ได้จากแรงบิดทางแม่เหล็กไฟฟ้า  $T_e \omega_m$  [4] ดังที่แสดงในสมการ 2.7

$$E_a I_a = T_e \omega_m \quad (2.7)$$

จากสมการ 2.7 จะได้สมการแรงบิดทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic torque) ที่อาร์มาเจอร์ดังสมการ 2.8

$$T_e = K_b I_a \quad (2.8)$$

เมื่อนำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไปขับโหลดการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถแสดงได้ ดังสมการ (2.9)

$$J \frac{d\omega_m}{dt} + B_l \omega_m = T_e - T_l \quad (2.9)$$

เมื่อ  $T_l$  คือแรงบิดของโหลด

$B_l$  คือสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (viscous friction coefficient)

$J$  คือโมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of Inertia)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.8 บล็อกไดอะแกรมและฟังก์ชันถ่ายโอนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแม่เหล็กถาวร

บล็อกไดอะแกรมและฟังก์ชันถ่ายโอนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ Armature – Controlled Motor เป็นมอเตอร์ที่กำหนดให้กระแสไฟฟ้าที่ให้กับขดลวดสนาม (Field Winding) มีค่าคงที่ และความเร็วรอบของมอเตอร์จะเปลี่ยนแปลงเมื่อปรับค่าแรงดันที่ขั้วมอเตอร์ ( $V_t$ ) เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ให้กับขดลวดสนามมีค่าคงที่ ส่งผลให้ความเข้มสนามแม่เหล็กมีค่าคงที่ จึงให้  $K_a\phi$  เท่ากับ  $K_b$  จะได้ว่า

$$E_a = K_b \omega_m \quad (2.10)$$

ทำการแปลงลาปลาซสมการ (2.1), (2.8), (2.9), (2.10) และเขียนให้อยู่ในรูปของ s-domain ได้ดังนี้

$$E_a(s) = K_b \omega_m(s) \quad (2.11)$$

$$I_a(s) = \frac{V(s) - E(s)}{sL_a + R_a} \quad (2.12)$$

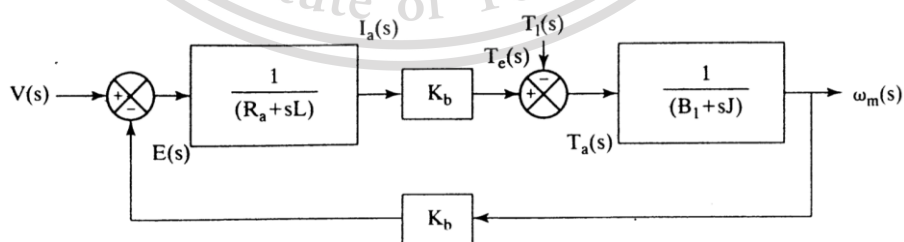
$$T_e = K_b I_a(s) \quad (2.13)$$

$$(Js + B_l)\omega_m(s) = T_e(s) - T_l(s) \quad (2.14)$$

จากสมการ s-domain สามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรม [3] ได้ดังรูปที่ 2.6 และฟังก์ชันถ่ายโอน  $\frac{\omega_m(s)}{V(s)}$  และ  $\frac{\omega_m(s)}{T_l(s)}$  ได้ดังสมการ (2.15) และ (2.16)

$$\frac{\omega_m(s)}{V(s)} = \frac{K_b}{s^2(JL_a) + s(B_l L_a + JR_a) + (B_l R_a + K_b^2)} \quad (2.15)$$

$$\frac{\omega_m(s)}{T_l(s)} = \frac{-(R_a + sL_a)}{s^2(JL_a) + s(B_l L_a + JR_a) + (B_l R_a + K_b^2)} \quad (2.16)$$



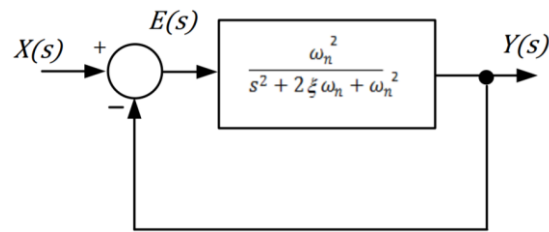
รูปที่ 2.6 บล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง[5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.9 ระบบควบคุมอันดับสอง (Second Order System)



รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมอันดับสอง[7]

ระบบควบคุมอันดับสองคือ ระบบที่มีค่าตัวแปรต่างๆ อยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์กำลังสอง โดยมีรูปแบบสมการฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n + \omega_n^2} \quad (2.17)$$

เมื่อ  $\omega_n$  คือความเร็วเชิงมุมในการแกว่งตามธรรมชาติ

$\xi$  คืออัตราหน่วงของระบบ

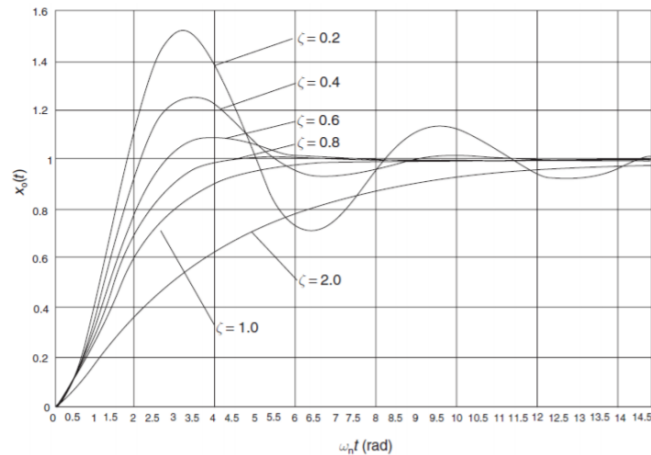
การวิเคราะห์คุณสมบัติของระบบอันดับสอง จะพิจารณาในเทอมของตัวแปรสองตัวคือ  $\omega_n$  และ  $\xi$  โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 4 กรณีคือ

1. กรณี Undamped ( $\xi = 0$ ) เอาต์พุตของระบบจะเกิดการแกว่ง (Oscillate) อย่างต่อเนื่อง
2. กรณี Under Damped ( $0 < \xi < 1$ ) กรณีนี้ผลตอบสนองชั่วคราวของระบบเกิดการแกว่งภายใต้การหน่วง
3. กรณี Critical Damped ( $\xi = 1$ ) กรณีนี้ผลตอบสนองต่อเวลาของระบบจะเหมือนหรือคล้ายกับผลตอบสนองของระบบอันดับหนึ่งและไม่มีการแกว่ง
4. กรณี Over Damped ( $\xi > 1$ ) กรณีนี้ผลตอบสนองต่อเวลาของระบบจะเหมือนหรือคล้ายกับผลตอบสนองของระบบอันดับหนึ่งและไม่มีการแกว่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.8 ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นบันได (Unit step) ที่ค่าอัตราการหน่วงของระบบ [8]

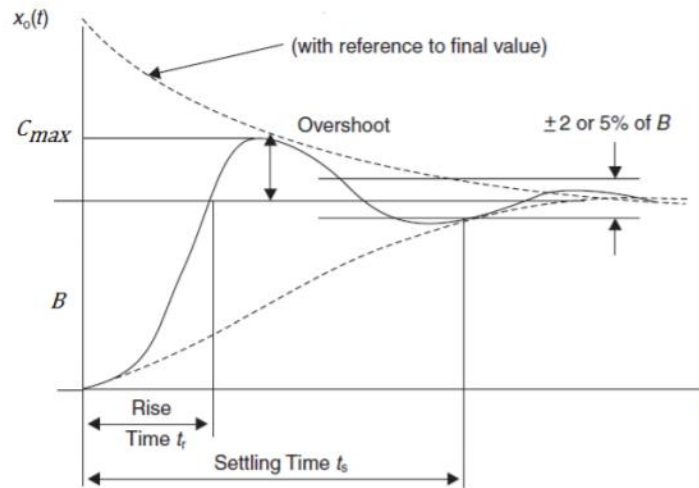
การวิเคราะห์ผลการตอบสนองโดยทั่วไปของระบบอันดับสอง (Second Order) เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตมาตรฐานที่เป็นสัญญาณระดับ (Unit Step Function) โดยสามารถตรวจสอบคุณสมบัติบางประการของระบบควบคุมได้โดยการวิเคราะห์จากค่าต่าง ๆ ดังนี้

1. เวลาขาขึ้น (Rise Time) หรือ  $T_r$  คือเวลาที่วัดจากผลตอบสนองที่มีขนาดเพิ่มขึ้นจาก 10% ถึง 90% ของค่าสุดท้าย (Final) สำหรับระบบควบคุมอันดับสอง ที่อยู่ในสภาวะความหน่วงน้อย (Underdamped) ปกติจะใช้ 0% ถึง 100% สำหรับระบบในสภาวะความหน่วงมาก (Overdamped) ปกติจะใช้ 100% ถึง 90%
2. เวลาสูงสุด (Peak Time) หรือ  $T_p$  คือเวลาที่ระบบควบคุมมีการตอบสนองสูงสุด
3. ผลตอบสนองสูงสุด (Maximum Overshoot) หรือ  $C_{max}$  คือตัวบ่งบอกความคลาดเคลื่อนสูงสุดระหว่างสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่สภาวะชั่วคราว (Transient State) และเป็นสิ่งที่ใช้ประเมินผลเสถียรภาพของระบบควบคุม
4. เวลาสู่จุดสมดุล (Settling Time) เป็นเวลาที่ผลตอบสนองมีขนาดลดลงจนอยู่ใกล้กับค่าเป้าหมาย (Set Point) วัดได้จากความคลาดเคลื่อนจากค่าสุดท้าย 2% หรือ 5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

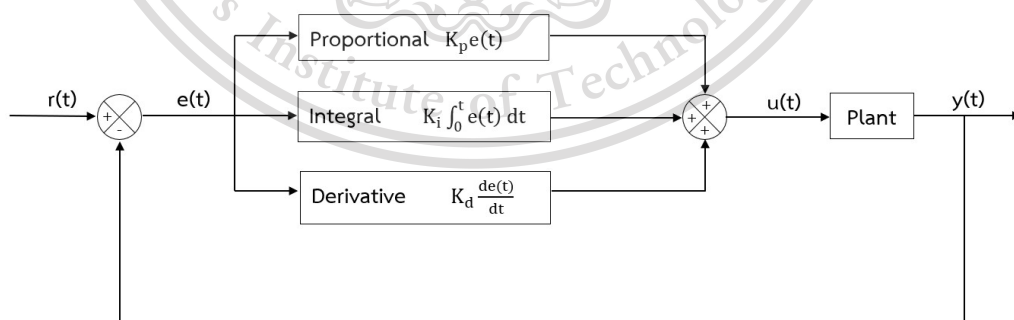
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.9 คุณลักษณะการตอบสนองชั่วขณะของระบบอันดับสอง[7]

### 2.10 การควบคุมระบบ

ถ้าพิจารณาให้ระบบควบคุมประกอบด้วยระบบ (Plant) แบบง่ายๆที่ใช้หลักการควบคุมแบบป้อนกลับในรูปที่ 2.28 ตัวควบคุม (Controller) จะได้รับค่าความผิดพลาด  $e(t)$  ที่เกิดจากการเปรียบเทียบกันระหว่างสัญญาณอ้างอิงที่รับมาจากอินพุตและสัญญาณเอาต์พุตจากนั้นตัวควบคุมจะทำการสร้างสัญญาณควบคุม  $u(t)$  ด้วยการขยายสัญญาณความผิดพลาดดังกล่าวด้วยอัตราขยายของตัวควบคุม เพื่อให้เกิดการแก้ไขความผิดพลาดของระบบ โดยตัวควบคุมพื้นฐานจะมีอยู่ 3 แบบด้วยกันคือ การควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control) การควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral Control) และการควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Control)



รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.11.1 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (P-Controller)

ตัวควบคุมนี้เมื่อนำไปใช้งานคือการปรับค่าอัตราขยายให้สูงขึ้นจะมีผลทำให้ระบบมีผลตอบสนองที่เร็วขึ้น แต่ข้อเสียคือไม่สามารถลดค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัว (Steady state error) ได้ แต่ก็ทำให้ค่าความผิดพลาดมีค่าน้อยลงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุม  $u(t)$  แบบสัดส่วนและสัญญาณความผิดพลาดของระบบ  $e(t)$  สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการ (2.18)

$$u(t) = K_p e(t) \quad (2.18)$$

เมื่อ  $K_p$  คืออัตราขยายเชิงสัดส่วนและฟังก์ชันถ่ายโอนของการควบคุมแบบสัดส่วนสามารถแสดงได้ดังสมการ (2.19)

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad (2.19)$$

### 2.11.2 ตัวควบคุมแบบปริพันธ์ (I-Control)

เมื่อนำตัวควบคุมนี้ไปใช้งานจะสามารถกำจัดค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัวได้ แต่มีข้อเสียคือตัวควบคุมแบบนี้จะไม่สามารถลดความผิดพลาดของการพุ่งเกิน (Overshoot) ได้และการปรับค่าอัตราขยายที่สูงเกินไปจะทำให้ผลตอบสนองของระบบมีการแกว่งได้ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุม  $u(t)$  แบบปริพันธ์และสัญญาณความผิดพลาดของระบบ  $e(t)$  สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการ (2.20)

$$u(t) = K_I \int_0^t e(t) dt \quad (2.20)$$

เมื่อ  $K_I$  คืออัตราขยายเชิงปริพันธ์และฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบปริพันธ์สามารถแสดงได้ดังสมการ (2.21)

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_I}{s} \quad (2.21)$$

### 2.11.3 ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ (D-Control)

ตัวควบคุมนี้ใช้สำหรับลดผลการพุ่งเกินของผลตอบสนองได้ลดผลตอบสนองที่มีการเปลี่ยนแปลงได้แต่ต้องปรับค่าอัตราขยายให้เหมาะสมด้วย ข้อเสียคือตัวควบคุมแบบนี้จะไม่สามารถขจัดค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัวได้และอาจทำให้ผลตอบสนองของระบบช้าลงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุม  $u(t)$  แบบอนุพันธ์และสัญญาณความผิดพลาดของระบบ  $e(t)$  สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการ (2.22)

$$u(t) = K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 เมื่อ  $K_D$  คืออัตราการขยายเชิงอนุพันธ์และฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบอนุพันธ์สามารถแสดงได้ดังสมการ (2.23)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_D s \quad (2.23)$$

#### 2.11.4 ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์ (PI-Control)

การทำงานของตัวควบคุมแบบพีไอคือการทำงานร่วมกันระหว่างตัวควบคุมแบบสัดส่วนและตัวควบคุมแบบปริพันธ์ ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุม  $u(t)$  แบบสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์และ สัญญาณความผิดพลาดของระบบ  $e(t)$  สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ (2.24)

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt \quad (2.24)$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบพีไอ (PI-Control) สามารถแสดงได้ดังสมการ (2.25)

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_p}{T_i s} \quad (2.25)$$

โดยที่  $T_i$  คือเวลาปริพันธ์ซึ่งมีค่า  $T_i = \frac{K_p}{K_i}$

#### 2.11.5 ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอนุพันธ์ (PD-Control)

โดยทั่วไปเรียกกันว่าการควบคุมแบบพีดี ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุม  $u(t)$  แบบสัดส่วนร่วมกับอนุพันธ์และสัญญาณความผิดพลาดของระบบ  $e(t)$  สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ (2.26)

$$u(t) = K_p e(t) + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.26)$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนของการควบคุมแบบพีดีมีความสัมพันธ์ดังสมการ (2.27)

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + K_D s = K_p (1 + T_D s) \quad (2.27)$$

เมื่อ  $T_D$  คือเวลาอนุพันธ์ซึ่งมีค่า  $T_D = \frac{K_D}{K_p}$

#### 2.11.6 ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์และอนุพันธ์ (PID-Control)

การควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์และอนุพันธ์หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่าการควบคุมแบบพีไอดี เป็นการรวมการควบคุมแบบสัดส่วนแบบปริพันธ์และแบบอนุพันธ์เข้าด้วยกันจะมีดี ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุม  $u(t)$  แบบพีไอดีและสัญญาณความผิดพลาดของระบบ  $e(t)$  สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ (2.28)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.28)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

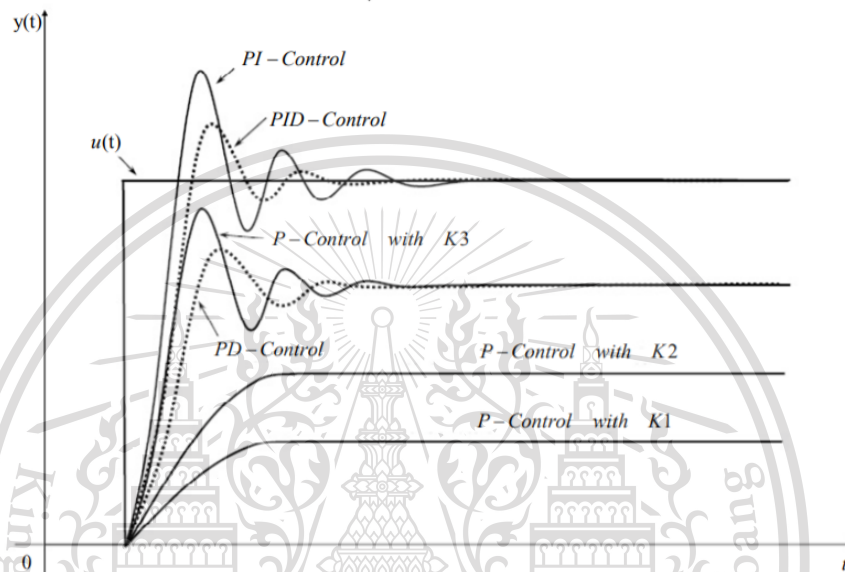
ฟังก์ชันถ่ายโอนของการควบคุมแบบพีไอดีมีความสัมพันธ์ดังสมการ (2.29)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s = K_p \left(1 + \frac{K_p}{T_I s} + T_D s\right) \quad (2.29)$$

ในการควบคุมระบบทั่วไปมักใช้งานตัวควบคุมร่วมกัน เช่น การควบคุมแบบพีไอ (PI-Controller) การควบคุมแบบพีดี (PD-Controller) และการควบคุมแบบพีไอดี (PID-Controller) และผลตอบสนองที่ได้จะแตกต่างกันสามารถพิจารณาได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.11 ผลตอบสนองของตัวควบคุมในแบบต่างๆ[8]

จากรูปที่ 2.12 จะเห็นว่าการใช้ตัวควบคุมแบบพี (P-Control) เพียงอย่างเดียว ผลตอบสนองที่ได้จะมีค่าความผิดพลาดในช่วงสภาวะคงตัว (Steady state error) ซึ่งสามารถลดผลกระทบได้ด้วยการเพิ่มค่าอัตราขยายของตัวควบคุมให้สูงขึ้นแต่หากเพิ่มค่าอัตราขยายของตัวควบคุมสูงมากเกินไปอาจส่งผลให้ผลตอบสนองมีค่าพุ่งเกิน (Overshoot) ที่สูงตามขึ้นด้วย ถ้าหากใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ (PI-Control) ตัวควบคุมแบบนี้จะสามารถขจัดค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัวได้แต่ผลตอบสนองที่ได้จะยังมีค่าพุ่งเกินเหมือนเดิม ถ้าใช้การควบคุมแบบพีดี (PD - Control) ผลตอบสนองที่ได้จะมีค่าพุ่งเกินที่ลดลงแต่จะไม่สามารถขจัดค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัวได้ส่วนการควบคุมแบบพีไอดี (PID-Control) จะทำให้ค่าพุ่งเกินสูงสุดลดลงและสามารถขจัดค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัวได้ [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.11 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิด H-Bridge Switching

หลักการของวงจรมอเตอร์นั้นจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์สวิตช์ 4 ตัว สำหรับควบคุมภาระของวงจรถ้าเป็นมอเตอร์กระแสตรง โดยอุปกรณ์สวิตช์จะใช้มอสเฟตทั้งหมด 4 ตัว ดังรูปที่ 2.8 ในการทำงานสามารถควบคุมมอเตอร์ได้ 4 โหมด คือ

2.11.1 โหมดหมุนอิสระ (Free Run Stop) คือ การสั่งให้มอสเฟตเปิดทั้ง 4 ตัว ดังรูปที่ 2.8 (ก) ทำให้มอเตอร์ไม่มีไฟเลี้ยง มอเตอร์หยุดหมุนด้วยแรงเฉื่อย

2.11.2 โหมดหมุนไปข้างหน้า (Forward Drive) คือ การสั่งให้มอสเฟต Q1 กับ Q4 ทำงาน 2 ตัว ดังรูปที่ 2.8 (ข) ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าขั้วมอเตอร์ทิศทางจาก A ไป B เป็นทิศทางสมมติให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา

2.11.3 โหมดหมุนย้อนกลับ (Reverse Drive) คือ การสั่งให้มอสเฟต Q2 กับ Q3 ทำงาน 2 ตัว ดังรูปที่ 2.8 (ค) ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าขั้วมอเตอร์ทิศทางจาก B ไป A เป็นทิศทางสมมติให้มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา

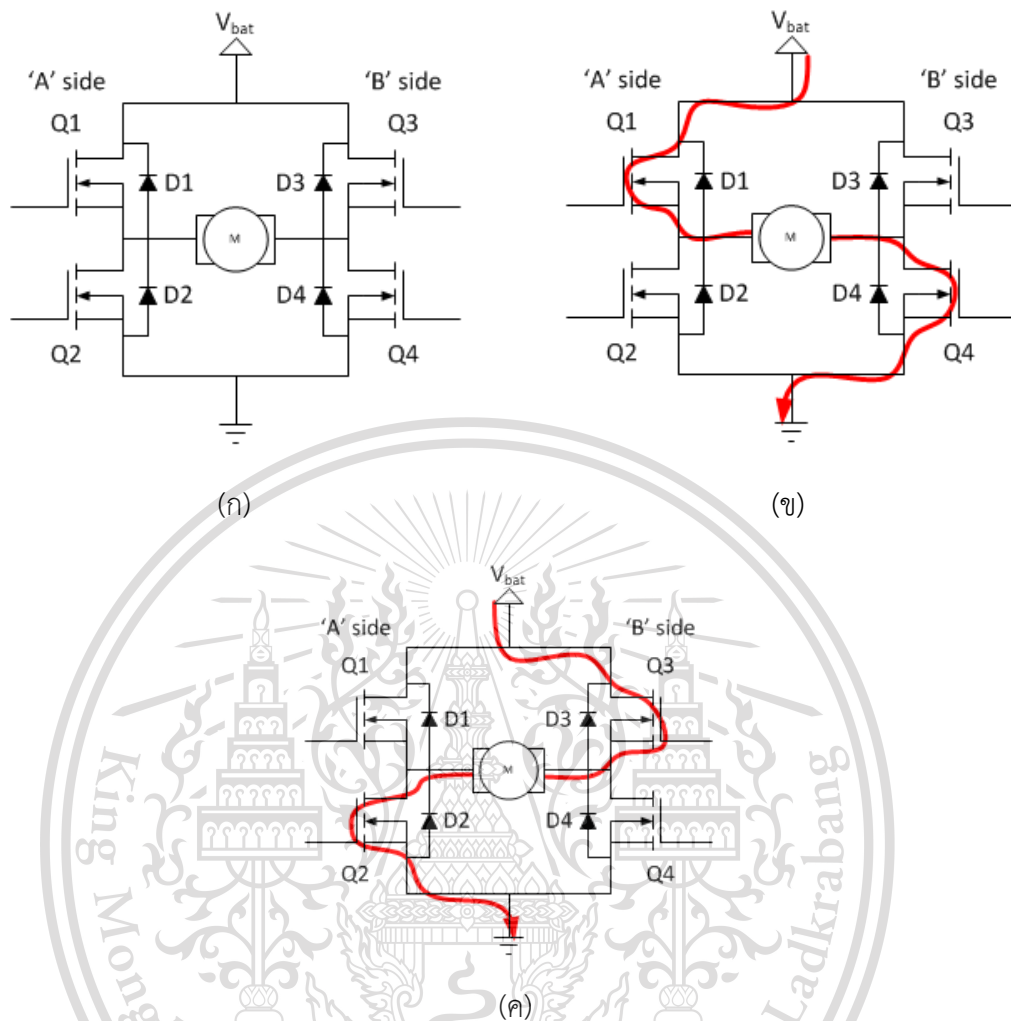
2.11.4 โหมดหยุดหมุน (Fast Stop หรือ Brake) คือ การสั่งให้มอสเฟต Q1 กับ Q3 หรือ Q2 กับ Q4 ทำงานคู่ใดคู่หนึ่ง ทำให้ขั้วมอเตอร์ลัดวงจรกันในขณะที่มอเตอร์กำลังหมุนด้วยแรงเฉื่อย ขดลวดอาร์เมเจอร์ที่ตัดสนามแม่เหล็กจะมีกระแสเหนี่ยวนำทำให้มีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นในทิศทางต้านกับการหมุนของขดลวดอาร์เมเจอร์ ทำให้แกนมอเตอร์หยุดหมุนอย่างรวดเร็ว

หากมอสเฟตทำงานนอกเหนือไปจากนี้จะมีผลเกิดขึ้น 2 อย่างคือมอเตอร์ไม่หมุนหรือไฟลัดวงจร ส่งผลให้อุปกรณ์สวิตช์เสียหาย ดังนั้นในการเขียนโปรแกรมควบคุมรีเลย์ทั้ง 4 ตัว จำเป็นต้องมีการป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการทำงานผิดพลาดและเนื่องจากการควบคุมดังกล่าวไม่สามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ได้ จึงใช้สัญญาณพัลส์แบบ PWM (Pulse Width Modulation) การปรับค่าอัตราขยาย (Gain) หรือความเร็วจะใช้การปรับค่า Duty cycle เพื่อควบคุมความเร็วให้มากหรือน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.12 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิด H-Bridge Switching [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

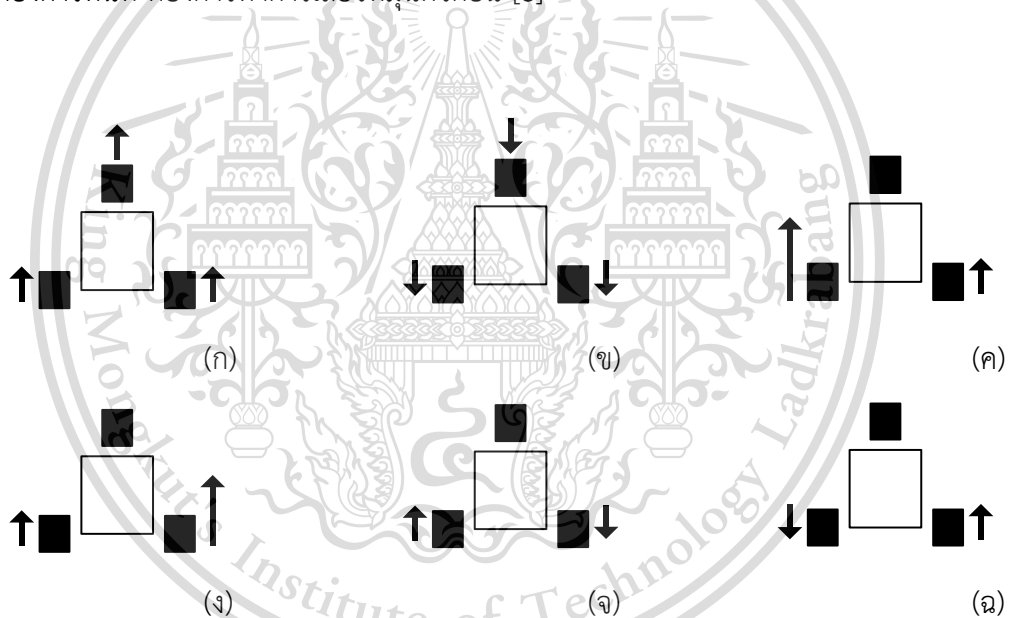
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.12 การขับเคลื่อนแบบดิฟเฟอเรนเชียลไดรฟ์ (Differential Drive) ในรถขนส่งอัตโนมัติ

### 2.12.1 Different Drive (แบบ 2 ล้อ)

การเลี้ยววิธีนี้เป็นรูปแบบเคลื่อนที่ที่นิยมและง่ายที่สุดในรถขนส่งอัตโนมัติ โดยการเคลื่อนที่รูปแบบนี้จะมอเตอร์คอยควบคุมที่ล้อซ้ายและล้อขวา การเคลื่อนที่ลักษณะนี้เป็นการป้องกันไม่ให้ล้อสั่นไถลจากการเลี้ยวโค้ง โดยจะมีล้ออิสระที่สามารถหมุนรอบทิศทางอยู่บริเวณด้านหน้าหรือด้านหลังของรถเพื่อป้องกันไม่ให้ตัวรถคว่ำไปข้างหน้าหรือข้างหลัง เมื่อล้อทั้งสองด้านหมุนด้วยความเร็วที่เท่ากันและเคลื่อนที่ไปในทิศเดียวกัน รถจะเคลื่อนที่แบบเส้นตรง ดังรูปที่ 2.13 (ก) เดินหน้า และ 2.13 (ง) ถอยหลัง ถ้าล้อใดล้อหนึ่งมีความเร็วในการเคลื่อนที่มากกว่าล้ออีกด้านหนึ่ง จะทำให้เกิดการเลี้ยวโค้ง ดังรูปที่ 2.13 (ค) เลี้ยวขวา และ 2.13 (จ) เลี้ยวซ้าย และถ้าล้อทั้งสองด้านหมุนด้วยความเร็วที่เท่ากันแต่เคลื่อนที่ไปในทิศตรงกันข้าม รถจะหมุน ดังรูปที่ 2.13 (ข) หมุนขวา และ 2.13 (ฉ) หมุนซ้าย แต่ข้อเสียของการเคลื่อนที่แบบนี้คือ ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปในทิศใดๆ ก็ได้ตามต้องการทันที ต้องการทำการเลี้ยวหมุนตัวก่อน [8]



รูปที่ 2.13 การขับเคลื่อนแบบดิฟเฟอเรนเชียลไดรฟ์ในรถขนส่งอัตโนมัติ [10]

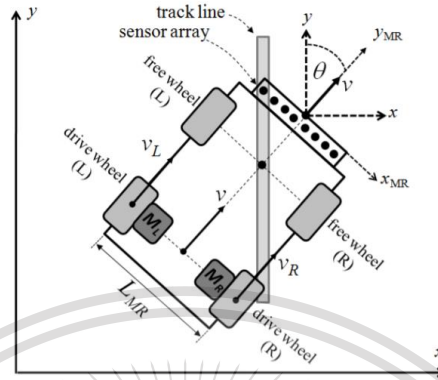
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.13 จลนศาสตร์ผกผันการขับเคลื่อนแบบดิฟเฟอเรนเชียล

### ก. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 2.14 ระบบพิกัดของหุ่นยนต์เคลื่อนที่[11]

แบบจำลองของการขับเคลื่อนหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบ Two-Wheeled Differential (TWD) [7] อ้างอิงถึงการออกแบบกลไกและการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ ระบบพิกัดของหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ไปตามเส้นจะแสดงดังรูปที่ 2.14. โดยความเร็วเชิงเส้น ( $v$ ) ของล้อหลังทั้งสอง  $v_R$  และ  $v_L$  สามารถคำนวณได้โดยการอ้างอิงถึงรัศมีของล้อ ( $R$ ) และความเร็วเชิงมุม ( $\omega$ ) ของแต่ละล้อ

$$v_R = \omega_R R \quad (2.30)$$

$$v_L = \omega_L R \quad (2.31)$$

ความเร็วเชิงเส้น ( $v$ ) ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่สามารถคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยของความเร็วเชิงมุมของล้อด้านขวาและด้านซ้าย โดยจะเรียกวิธีนี้ว่าแบบจำลองทางจลนศาสตร์ของความเร็วจเชิงเส้น Two-Wheeled Differential (TWD)

$$v = \frac{v_R + v_L}{2} \quad (2.32)$$

$$v = \frac{(\omega_R + \omega_L) R}{2} \quad (2.33)$$

องค์ประกอบของความเร็วเชิงเส้น  $\dot{x}$  และ  $\dot{y}$  สามารถหาได้จากระบบพิกัดที่ประกอบด้วยตำแหน่ง  $x$  และ  $y$

$$\dot{x} = v \sin \theta \quad (2.34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แทนสมการความเร็วเชิงเส้น (2.33) ลงในสมการส่วนประกอบความเร็ว (2.36) และ (2.37) เพื่อให้เป็นฟังก์ชันของความเร็วจึงมุม

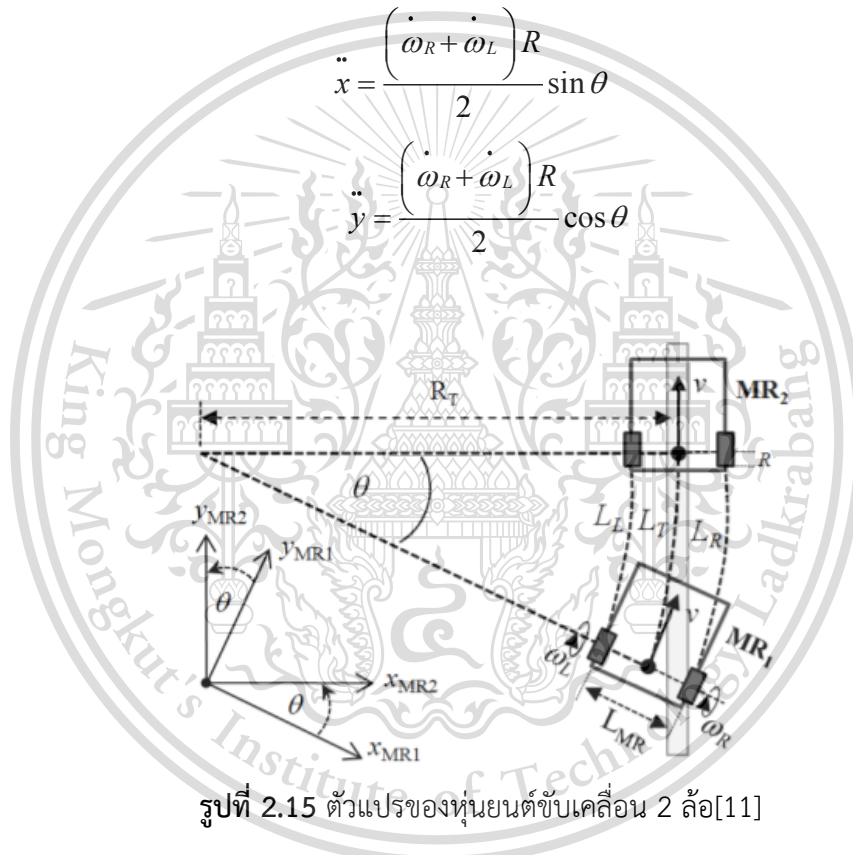
$$\dot{x} = \frac{(\dot{\omega}_R + \dot{\omega}_L)R}{2} \sin \theta \quad (2.36)$$

$$\dot{y} = \frac{(\dot{\omega}_R + \dot{\omega}_L)R}{2} \cos \theta \quad (2.37)$$

สมการ (2.37) และ (2.38) แสดงส่วนประกอบความเร่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่  $\ddot{x}$  และ  $\ddot{y}$  เพื่ออ้างอิงระบบพิกัด

$$\ddot{x} = \frac{(\ddot{\omega}_R + \ddot{\omega}_L)R}{2} \sin \theta \quad (2.38)$$

$$\ddot{y} = \frac{(\ddot{\omega}_R + \ddot{\omega}_L)R}{2} \cos \theta \quad (2.39)$$



รูปที่ 2.15 ตัวแปรของหุ่นยนต์ขับเคลื่อน 2 ล้อ[11]

ในรูปที่ 2.15 จะแสดงตำแหน่งต่างๆบนเส้นของหุ่นยนต์ ให้พิกัดตำแหน่งแรกของหุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็น  $[x_{MR1}, y_{MR1}]$  และให้พิกัดตำแหน่งที่สองของหุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็น  $[x_{MR2}, y_{MR2}]$  และให้การวางแนวของหุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นมุม  $\theta$  ที่แตกต่างกันระหว่าง  $y_{MR1}$  และ  $y_{MR2}$  โดยฟังก์ชันของความโค้งหรือความยาวของเส้นติดตามการเคลื่อนไหวยของหุ่นยนต์คือ  $L_T$  ให้  $L_L$  เป็นฟังก์ชันของส่วนโค้งซ้ายและ  $L_R$  เป็นฟังก์ชันของส่วนโค้งขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$L_T = \frac{L_L + L_R}{2} \quad (2.40)$$

ในขณะที่มุมของการวางแนว ( $\theta$ ) สามารถหาได้โดยเส้นตรง ( $L_T, L_R, L_L$ ) ทหารด้วยรัศมีการเคลื่อนที่ ( $R_T$ )

$$\theta = \frac{L_T}{R_T} \quad (2.41)$$

$$\theta = \frac{L_T}{R_T + \frac{L_{MR}}{2}} \quad (2.42)$$

$$\theta = \frac{L_T}{R_T - \frac{L_{MR}}{2}} \quad (2.43)$$

$L_R$  และ  $L_L$  สามารถหาได้จากการกำหนดรัศมีการเคลื่อนที่ ( $R_T$ ),  $L_{MR}$  และมุมของการวางแนว ( $\theta$ ) ดังสมการ (2.42) และ (2.43)

$$L_R = \left( R_T + \frac{L_{MR}}{2} \right) \theta \quad (2.44)$$

$$L_L = \left( R_T - \frac{L_{MR}}{2} \right) \theta \quad (2.45)$$

แทนสมการ (2.44) และ (2.45) เพื่อหามุมของการวางแนว ( $\theta$ ) โดยความสัมพันธ์ของ  $\theta$  กับความยาว ( $L_R, L_L$ ) และระยะทางของล้อขับเคลื่อนทั้งสองล้อ  $L_{MR}$  ถูกกำหนดด้วย

$$\theta = \frac{L_R + L_L}{L_{MR}} \quad (2.46)$$

ความเร็วเชิงมุม ( $\dot{\theta}$ ) ของการหมุนหุ่นยนต์เคลื่อนที่จะมีค่าเท่ากับผลต่างของความเร็วของล้อขวา ( $v_R$ ) และความเร็วเชิงเส้นของล้อซ้าย ( $v_L$ ) ทหารด้วยระยะห่างของแกนล้อขับเคลื่อนทั้งสองล้อ ( $L_{MR}$ )

$$\dot{\theta} = \frac{v_R - v_L}{L_{MR}} \quad (2.47)$$

แบบจำลองจลนศาสตร์โดยตรงของความเร็วเชิงมุมของการหมุนของหุ่นยนต์เคลื่อนที่กำหนดอยู่ในฟังก์ชันของความเร็วเชิงมุมของแต่ละตัวล้อขับเคลื่อน ( $\omega_R$  และ  $\omega_L$ ), รัศมีล้อ ( $R$ ) และ ( $L_{MR}$ ) คือ

$$\dot{\theta} = \frac{(\omega_R - \omega_L) R}{L_{MR}} \quad (2.48)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ความเร็วเชิงมุมของการหมุนของหุ่นยนต์สามารถอธิบายได้โดยฟังก์ชันของการหา  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 มุมเทียบกับเวลา

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\dot{\theta} = \frac{d\theta}{dt} = \frac{d\theta}{dL} \frac{dL}{dt} \quad (2.49)$$

เนื่องจาก  $d\theta/dl$  คือ  $1/R_T$  และความเร็วเชิงเส้น  $v$  เท่ากับ  $dL/dt$  จะได้

$$\dot{\theta} = \frac{v}{R_T} \quad (2.50)$$

$$v = \dot{\theta} R_T \quad (2.51)$$

ความเร็วเชิงมุมของล้อทั้งขวาและซ้าย สามารถจัดให้อยู่ในรูป

$$\omega_R = \frac{v_R}{R} = \frac{\dot{L}_R}{R} \quad (2.52)$$

$$\omega_L = \frac{v_L}{R} = \frac{\dot{L}_L}{R} \quad (2.53)$$

จากสมการ (2.44) และ (2.45) สามารถนำมาแทนความเร็วเชิงเส้นของล้อขวา  $\dot{L}_R$  และล้อซ้าย  $\dot{L}_L$  ตามลำดับ ในสมการ (2.52) และ (2.53) ได้ดังนี้

$$\omega_R = \frac{\left(R_T + \frac{L_{MR}}{2}\right) \dot{\theta}}{R} \quad (2.54)$$

$$\omega_L = \frac{\left(R_T - \frac{L_{MR}}{2}\right) \dot{\theta}}{R} \quad (2.55)$$

นำสมการ (2.50) แทนลงในสมการ (2.54) และ (2.55) แล้วจัดรูปสมการจะได้

$$\omega_R = \left(1 + \frac{L_{MR}}{2R_T}\right) \frac{V}{R} \quad (2.56)$$

$$\omega_L = \left(1 - \frac{L_{MR}}{2R_T}\right) \frac{V}{R} \quad (2.57)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

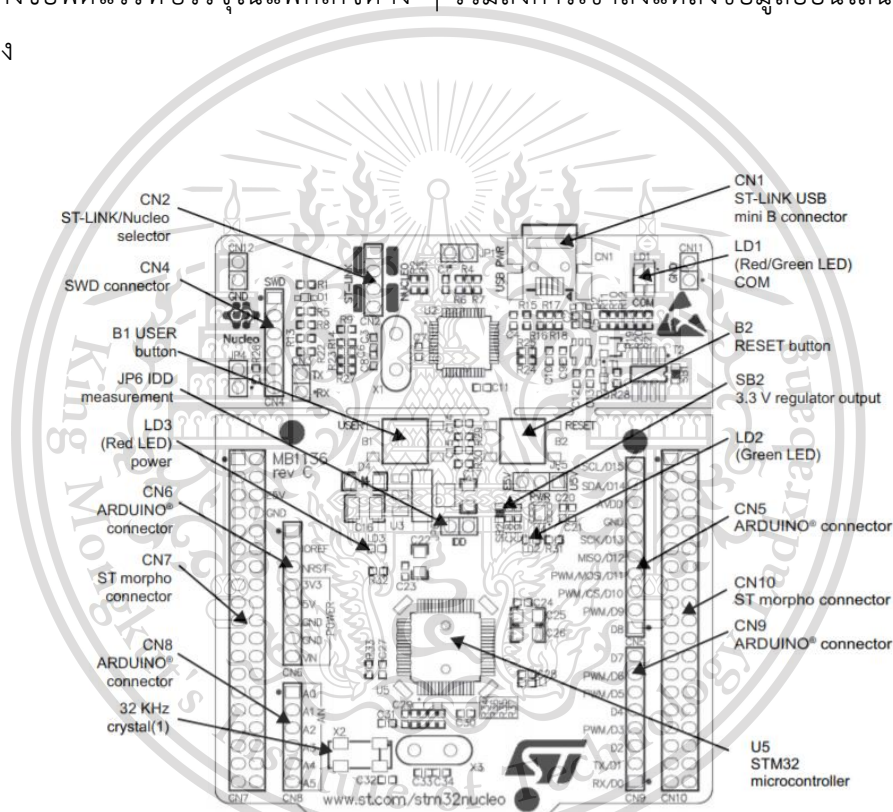
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.14 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

### 2.14.1 STM32F411RE – Nucleo64

STM32 Nucleo เป็นบอร์ดที่ราคาไม่แพง และมีความยืดหยุ่นในการใช้งานสำหรับผู้ใช้เพื่อลองใช้แนวคิดใหม่ ๆ และสร้างต้นแบบสำหรับบอร์ด STM32 ชนิดอื่น ๆ ซึ่งเลือกผสมผสานกันของประสิทธิภาพ การใช้พลังงาน และคุณสมบัติต่าง ๆ การสนับสนุนการเชื่อมต่อของ Arduino™ และ ส่วนหัวของ ST Morpho ทำให้งานต่อการขยายแพลตฟอร์มการพัฒนาของ STM32 บอร์ด STM32 Nucleo ไม่จำเป็นต้องใช้การต่อสายแยก เนื่องจากได้รวม ST-LINK, V2-1 debugger ไว้แล้ว STM32 Nucleo board มาพร้อมกับ HAL ไลบรารีที่ครอบคลุมการทำงานของ STM32 พร้อมกับตัวอย่างซอฟต์แวร์ที่บรรจุในแพ็คเกจต่าง ๆ รวมถึงการเข้าถึงแหล่งข้อมูลออนไลน์แบบ Mbed โดยตรง



รูปที่ 2.16 บอร์ด STM32F411RE – Nucleo64[12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.1 Specifications of STM32F411RE – Nucleo64

Dynamic Efficiency Line with BAM	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1.7 V to 3.6 V power supply</li> <li>- - 40°C to 85/105/125 °C temperature range</li> </ul>
Core	Arm® 32-bit Cortex®-M4 CPU with FPU
Memories	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Up to 512 Kbytes of Flash memory</li> <li>- 128 Kbytes of SRAM</li> </ul>
Clock, reset and supply management	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1.7 V to 3.6 V application supply and I/Os</li> <li>- POR, PDR, PVD and BOR</li> <li>- 4-to-26 MHz crystal oscillator</li> <li>- Internal 16 MHz factory-trimmed RC</li> <li>- 32 kHz oscillator for RTC with calibration</li> <li>- Internal 32 kHz RC with calibration</li> </ul>
Power consumption	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Run: 100 µA/MHz</li> <li>- Stop: 42 µA Typ @ 25°C; 65 µA max @25 °C</li> <li>- Stop: down to 9 µA @ 25 °C; 28 µA max @25 °C</li> <li>- Standby: 1.8 µA @25 °C / 1.7 V without RTC; 11 µA @85 °C @1.7 V</li> <li>- VBAT supply for RTC: 1 µA @25 °C</li> </ul>
Timer	up to six 16-bit, two 32-bit timers up to 100 MHz
I/O ports with interrupt capability	<ul style="list-style-type: none"> <li>- up to 78 fast I/Os up to 100 MHz</li> <li>- up to 77 5 V-tolerant I/Os</li> </ul>
communication interfaces (I <sup>2</sup> C)	- up to 3 x I2C interfaces (SMBus/PMBus)

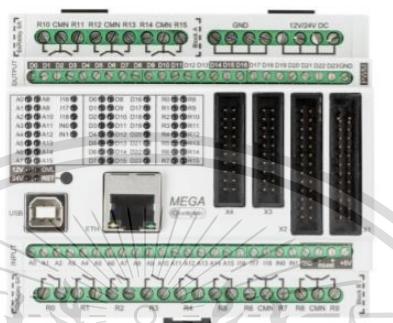
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.14.2 CONTROLLINO MEGA

CONTROLLINO เป็น PLC ระดับอุตสาหกรรมที่ใช้ซอฟต์แวร์แบบโอเพ่นซอร์ส สามารถเข้ากับ Arduino อย่างสมบูรณ์ โดยรุ่น MEGA เหมาะสำหรับโปรเจกต์ที่ใหญ่และซับซ้อน เนื่องจากมีช่องสัญญาณอินพุต 21 ช่องและมีช่องสัญญาณเอาต์พุต 24 ช่อง โดยจะมี USB Cable ที่ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ หรือ AC-to-DC Adapter ตาราง pinout สามารถดูเพิ่มเติมที่ภาคผนวก ข



รูปที่ 2.17 บอร์ด CONTROLLINO MEGA[13]

ตารางที่ 2.2 Specifications of CONTROLLINO MEGA

Microcontroller	ATmega2560
Supply voltage	12V or 24V
USB (Power for programming only)	USB-B, 2.0
Ethernet	RJ45, 10/100Mbps
RS485 (no termination inside)	250kb
Inputs, no galvanic insulation	21
- Common analog/digital	16
- Fixed digital, ext. Interrupt usable	5
Digital Outputs, no galvanic insulation	24
- Relay output	16
PIN Header, no Galvanic insulation	
- Logic level Input	21 parallel to terminal Inputs
- Logic level Output	24 parallel to terminal Outputs
- Internal Power	+3,3V, +5V, ARef, GND

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เช่าเห็นใบใช้บวชขอขึ้นดำเนินการค้า

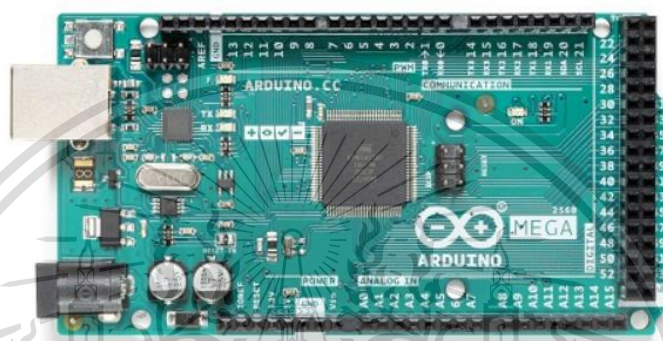
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.14.3 Arduino Mega

ATMega2560 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งถูกพัฒนานำมาใช้ในบอร์ดพัฒนาที่ชื่อว่า ArduinoMega2560 โดยมีขาทั้งหมดดังนี้ 54 digital input/output pins, 16 analog inputs, 4 UARTs, 16 MHz crystal oscillator, USB connection, Power Jack, ICSP header และปุ่มรีเซ็ต โดยจะมี USB Cable ที่ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ หรือ AC to DC Adapter หรือแบตเตอรี่ ใช้เป็นแหล่งพลังงานของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.18 บอร์ด Arduino Mega[14]

### ตารางที่ 2.3 Specifications of Arduino Mega

ชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์	Atmega2560
ใช้แรงดันไฟฟ้า	5V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7 – 12V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6 – 20V
พอร์ต Digital I/O	54 พอร์ต (มี 15 พอร์ต PWM output)
พอร์ต Analog Input	16 พอร์ต
กระแสไฟฟ้ารวมที่จ่ายได้ในทุกพอร์ต	40mA
กระแสไฟที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3V	50 mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	256KB แต่ 8KB ถูกใช้โดย Bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
ความเร็วสัญญาณนาฬิกา	16 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.15 เซนเซอร์ (Sensor)

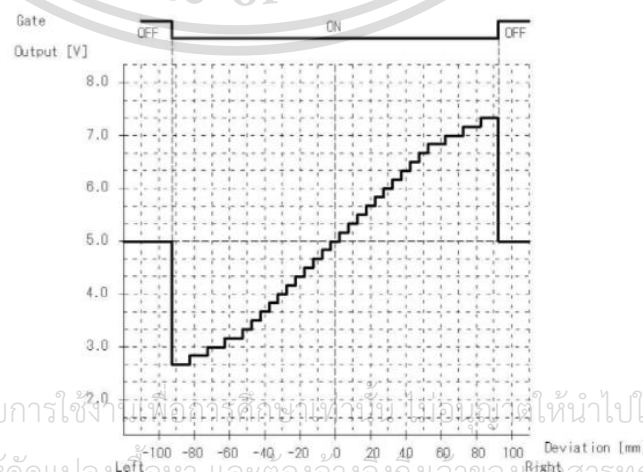
### 2.15.1 Magnetic Guide Sensor

Magnetic Guide Sensor MGS-H01 เป็นเซนเซอร์ที่ใช้ในการนำทางของรถขนส่งอัตโนมัติ ประกอบด้วย องค์ประกอบเช่น เซนเซอร์แม่เหล็กตั้งเดิม 15 บิต, encoder และ D/A converter โดยสัญญาณเอาต์พุตจะเป็นสัญญาณแรงดันแบบอนาล็อก หรือเรียกว่า Deviation out และสามารถเลือกโหมดการนำทาง (Branch Selection) ได้ 3 โหมด คือ Straight, Right, Left



รูปที่ 2.19 เซนเซอร์แม่เหล็กนำทาง (Magnetic Guide Sensor)[15]

หลักการทำงาน : โหมดการนำทางที่ใช้คือ Straight ถ้า MGS-H01 ตรวจจับเทปนำแม่เหล็กได้ ระดับสัญญาณแรงดัน (Gate out) จะเป็น LOW และในขณะเดียวกันสัญญาณแรงดัน (Deviation out) จะมีค่า 2 – 8 V เนื่องจากสัญญาณดังกล่าวจะแปรผันตามตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่าง MGS-H01 กับเทปนำแม่เหล็ก และถ้า MGS-H01 ตรวจจับเทปนำแม่เหล็กไม่ได้ ระดับสัญญาณแรงดัน (Gate out) จะเป็น HIGH ดังที่แสดงดังรูปที่ 2.20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.20 Branch selection ในโหมด Straight[15]

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## ตารางที่ 2.4 Specifications of Magnetic Guide Sensor MGS-H01

Power supply	DC+10.8V to +24V, ripple 1% max.					
Power consumption	30mA max					
Target magnet	MGT-50, MGT-50-25-A, MGT-50-25-B					
DEVIATION OUT						
Response	2.5ms					
Voltage range	2V to 8V					
Center voltage	5V					
Step voltage	Straight mode;0.167V, Right or Left branch mode;0.333V					
GATE OUT						
Area	±90mm from center of magnet					
Response	2.5ms					
SELECTION IN						
Combination	L: short to GND H: open					
	Mode	SEL1(white)	SEL2(blue)	LED1(red)	LED2(yellow)	LED3(Green)
	Straight	H	H	put out	bright	Put out
	Right branch	L	H	put out	bright	bright
	Left branch	H	L	bright	bright	Put out
Response	2.5ms					

### 2.14.2 RFID Reader รุ่น WG26 dual frequency

เครื่องอ่านข้อมูลในระบบ RFID จะใช้คลื่นความถี่วิทยุในการอ่าน/เขียน โดยรุ่นนี้

สามารถอ่านได้ 2 ความถี่ คือ 13.56 MHz และ 125 kHz ระยะเวลาในการอ่านข้อมูลจากแท็ก RFID คือ 5 cm โดยใช้ขา Wiegand Output (DATA1,Green) และ Wiegand Output (DATA0,White) ในไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้การรับข้อมูล

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

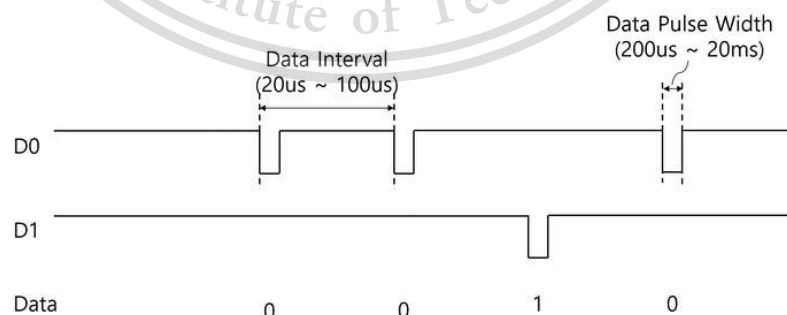
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.21 RFID Reader WG26 dual frequency[16]

หลักการทำงาน : ในระบบ RFID มีองค์ประกอบหลัก ๆ อยู่ 3 ส่วนด้วยกัน คือ แท็ก หรือการ์ด เครื่องสำหรับอ่านแท็กและระบบประยุกต์ใช้งาน โดยจะนำแท็กไปติดกับวัตถุต่าง ๆ ที่เราต้องการ ซึ่งแท็กนั้นจะประกอบด้วยสายอากาศและไมโครชิปที่มีการบันทึกหมายเลข (ID) หรือข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้นๆ หลังจากนั้นเราจะใช้เครื่องสำหรับอ่านแท็ก [16] ในการอ่านข้อมูลเพื่อนำไปใช้งานต่อ โดยเครื่องนี้จะใช้คลื่นความถี่วิทยุในการอ่านข้อมูลผ่านการสื่อสารแบบ Wiegand protocol

การสื่อสารแบบ Wiegand protocol เป็นมาตรฐานการเก็บหรืออ่านข้อมูล ก่อนส่งข้อมูลที่อ่านได้ไปเก็บ โดยจะมีสายส่งข้อมูล 2 สาย คือ DATA0 และ DATA1 เมื่อไม่มีการส่งข้อมูลทั้ง DATA0 และ DATA1 สัญญาณจะเป็น HIGH เมื่อต้องการส่งข้อมูล 0 สัญญาณ DATA0 จะเป็น LOW ในขณะที่ DATA1 จะเป็น HIGH เมื่อต้องการส่งข้อมูล 1 สัญญาณ DATA0 จะเป็น HIGH ในขณะที่ DATA1 จะเป็น LOW ดังรูปที่ 2.22 และมาตรฐานที่นำมาใช้คือ Wiegand26bits ดังรูปที่ 2.23

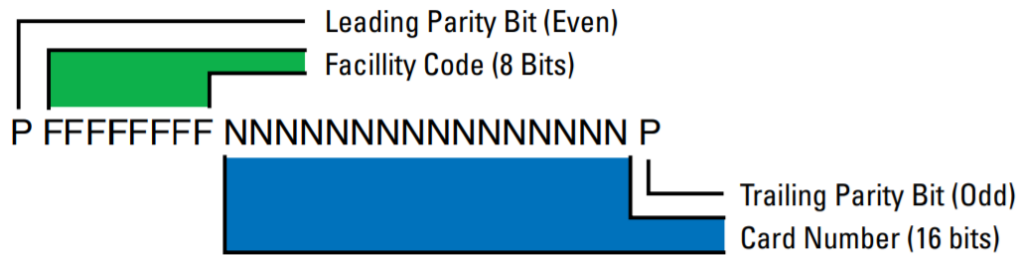


รูปที่ 2.22 Timing Diagram ของ Wiegand Protocol[16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.23 รูปแบบ Wiegand26bits[16]

จากรูปที่ 2.23 P bit คือ บิทกันข้อมูล ทำหน้าที่บอกจุดเริ่มและจุดสิ้นสุดของข้อมูล เพื่อป้องกันการสับสนของข้อมูล และ F บิท คือบิทจอง เป็นบิทที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ตามแต่ละโปรแกรมกำหนดใช้ในการกำหนดเพิ่มเติม และ N บิท คือค่าจากบัตรหรือแท็ก

ตัวอย่างการทำงาน : นำ RFID reader ติดไว้ที่รถขนส่งขับเคลื่อนอัตโนมัติ เพื่อรับข้อมูล Digital จากแท็กที่ติดไว้ที่ตำแหน่งต่างๆ เมื่อรถขนส่งอัตโนมัติเคลื่อนที่ผ่านแท็ก ความเร็วของรถขนส่งอัตโนมัติจะเปลี่ยนไปตามที่เรากำหนดจากแท็กนั้นๆ

#### ตารางที่ 2.5 Specifications of RFID Reader WG26 dual frequency

Power	DC 5 - 15V
Operating Current	Max < 100mA
Operating Frequency	13.56 MHz +/- 5 kHz; 125 kHz
Card Reading Distance	IC > 5 cm; ID > 5 cm
Operating Temperature	-20 ~ 60 Celsius
Operating Humidity	10% - 95%
Size	74*115*16 mm
Card sensor speed	Lower than 100 ms
Wiegand data output port	WG26, WG34 multiple format to choose
Support	ISO14443A card and EM4100 card reading operation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

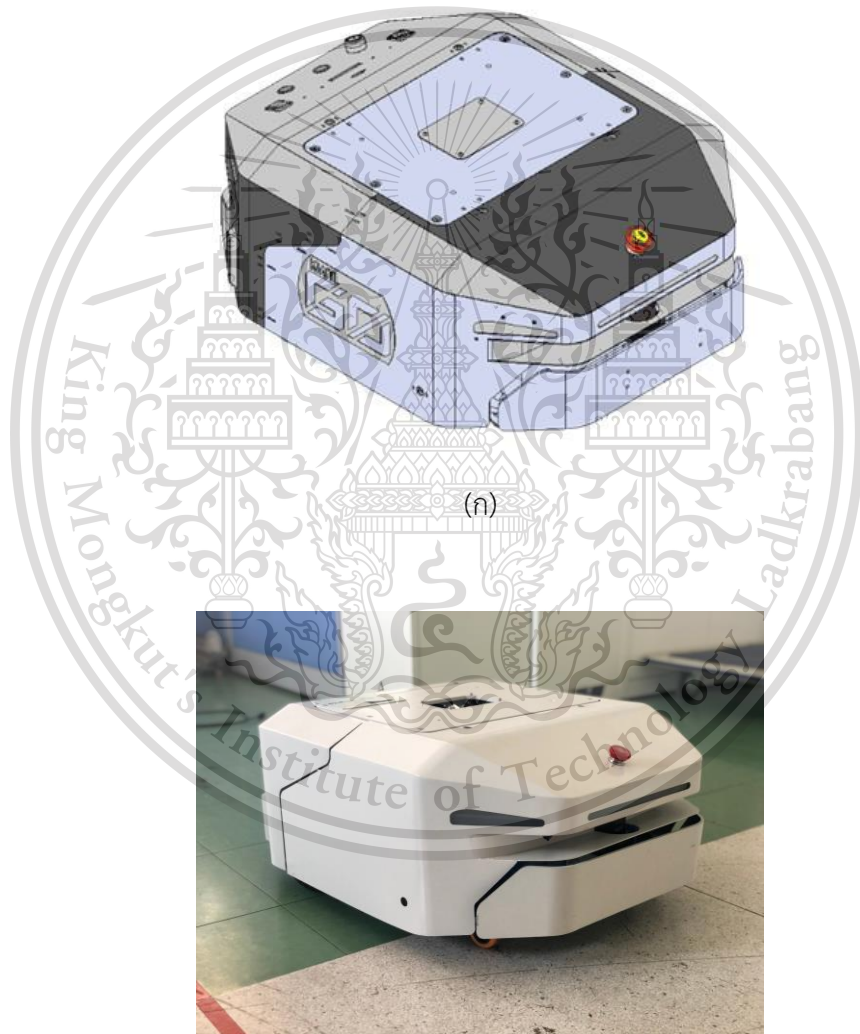
### บทที่ 3

#### การออกแบบและสร้างระบบการทำงาน

##### 3.1 ลักษณะโครงสร้างของรถขนส่งอัตโนมัติ

###### 3.1.1 รูปแบบโครงสร้างของรถขนส่งอัตโนมัติ ที่ทำร่วมกับห้องปฏิบัติการ AIMs

KMITL



(ข)

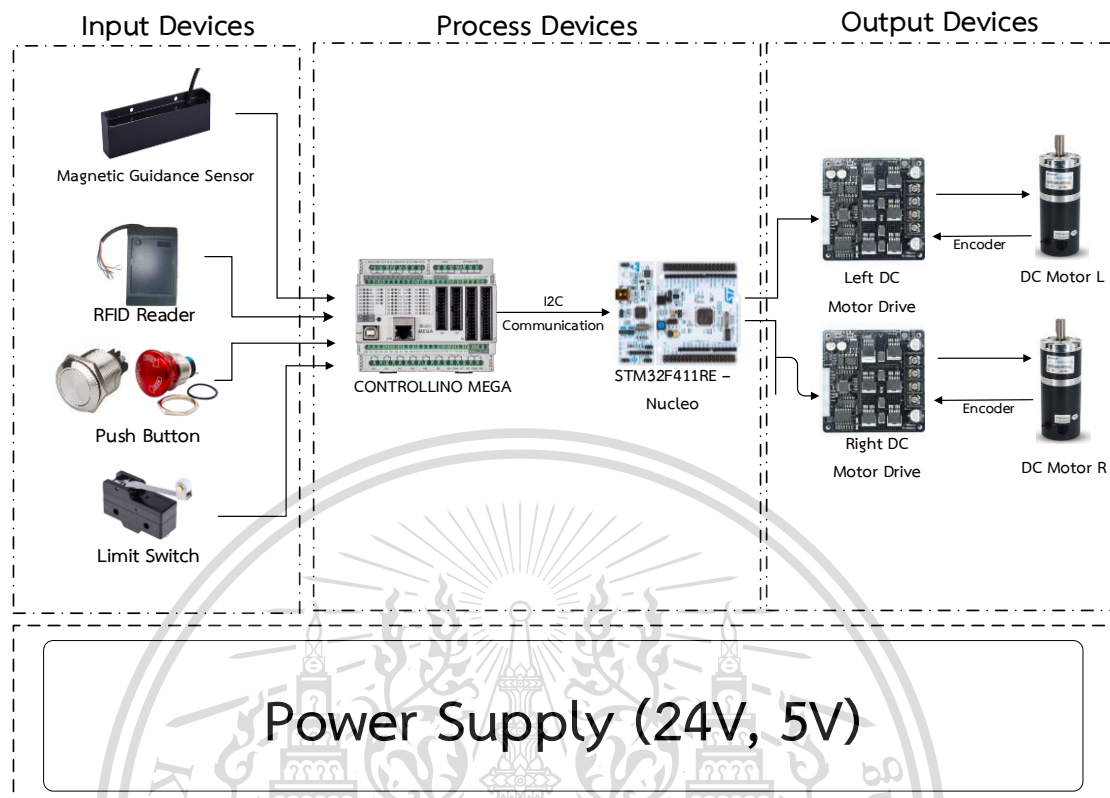
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของรถขนส่งอัตโนมัติ (ก) โดยโปรแกรม FUSION 360 (ข) ชิ้นงานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.2 ระบบการทำงานของรถขนส่งอัตโนมัติ



รูปที่ 3.2 Block diagram ของรถขนส่งอัตโนมัติ

#### 3.2.1 อุปกรณ์ขาเข้า

อุปกรณ์ขาเข้าที่ต่อเข้ากับระบบประมวลผลกลาง (Controllino Mega) ประกอบด้วย 5 อย่าง คือ เซนเซอร์ตรวจจับแม่เหล็ก (Magnetic Guide Sensor) ทำหน้าที่ตรวจจับแถบแม่เหล็กเพื่อใช้ในการเคลื่อนที่, เครื่องอ่านแท็กในระบบวิทยุ (RFID Reader) ทำหน้าที่อ่านข้อมูลจากแท็ก เพื่อระบุตำแหน่งของรถและ Push Button 3 ปุ่ม ทำหน้าที่เป็นปุ่มในการกดเพื่อเริ่มหรือหยุดการทำงาน, ลิมิทสวิตช์ 4 ตัว โดยที่ 2 ตัวติดอยู่ที่กันชนด้านหน้ารถและอีก 2 ตัวติดอยู่ที่กันชนท้ายรถเพื่อทำหน้าที่เปิดหรือปิดวงจรเมื่อรถชนกับสิ่งกีดขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.2.2 ระบบประมวลผลกลาง

ระบบประมวลผลกลางของรถขนส่งอัตโนมัติ ประกอบด้วย Controllino Mega จำนวน 1 ตัว , STM32F411RE – Nucleo64 จำนวน 1 ตัว

โดย Controllino Mega ทำหน้าที่รับค่าจากเซนเซอร์ตรวจจับแม่เหล็ก (Magnetic Guide Sensor) และ เครื่องอ่านแท็กในระบบวิทยุ (RFID Reader) แล้วนำค่าที่ได้ส่งให้กับ STM32F411RE – Nucleo64 ,ควบคุมการทำงานของวงจรป้องกันมอเตอร์และปรับตำแหน่งของรถ ในอยู่กึ่งกลางของเทปนำแม่เหล็ก

บอร์ด STM32F411RE – Nucleo64 ทำหน้าที่ควบคุมความเร็วมอเตอร์ของรถขนส่งอัตโนมัติให้มีค่าคงที่ และรับคำสั่งตั้งค่าความเร็วของรถขนส่งอัตโนมัติจาก Controllino Mega เพื่อปรับเปลี่ยนความเร็วของรถขนส่งอัตโนมัติใหม่และรักษาระดับความเร็วนั้นให้คงที่

### 3.2.3 อุปกรณ์ขาออก

อุปกรณ์ขาออกของตัวประมวลผลกลาง ประกอบด้วย ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง 2 ชุด โดยที่ STM32F411RE – Nucleo64 จะสั่งงานด้วยสัญญาณ PWM ในการควบคุมความเร็ว และใช้สัญญาณลอจิกป้อนให้กับ INA และ INB ในการควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์

## 3.3 ชุดวงจรของรถขนส่งอัตโนมัติ

### 3.3.1 วงจรป้องกันมอเตอร์

ทำหน้าที่เป็นวงจรป้องกันของรถขนส่งอัตโนมัติ โดยวงจรทั้งหมดจะถูกตัด เมื่อเกิดความผิดปกติขณะที่รถทำงาน เช่น รถชนสิ่งกีดขวาง โดยอุปกรณ์ที่ใช้ทำวงจรป้องกัน ประกอบด้วย Limit switch จำนวน 4 ตัว ,Push Button switch จำนวน 3 ตัว คือ ปุ่ม Start 1 ตัว และปุ่ม Emergency stop 2 ปุ่ม ,รีเลย์ 2 ตัว โดยคอนโทรลเลอร์ที่ควบคุมวงจร Interlock คือ Controllino Mega

### 3.3.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)

วงจรไฟเลี้ยงของรถขนส่งอัตโนมัติมีอินพุตเป็นแบตเตอรี่ 24 V ต่อผ่าน Key switch และมีการป้องกันคือป้องกันกระแสเกินโดยต่อฟิวส์ 30 A และ EMI filter ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันกระแสเกินและกรองสัญญาณรบกวน ก่อนเข้า Controllino Mega และจะมีโมดูลลดแรงดันจาก 24 V<sub>dc</sub> เป็น 5 V<sub>dc</sub> เพื่อจ่ายไฟให้กับ STM32F411RE – Nucleo64 และเครื่องอ่านแท็กในระบบวิทยุ (RFID Reader)

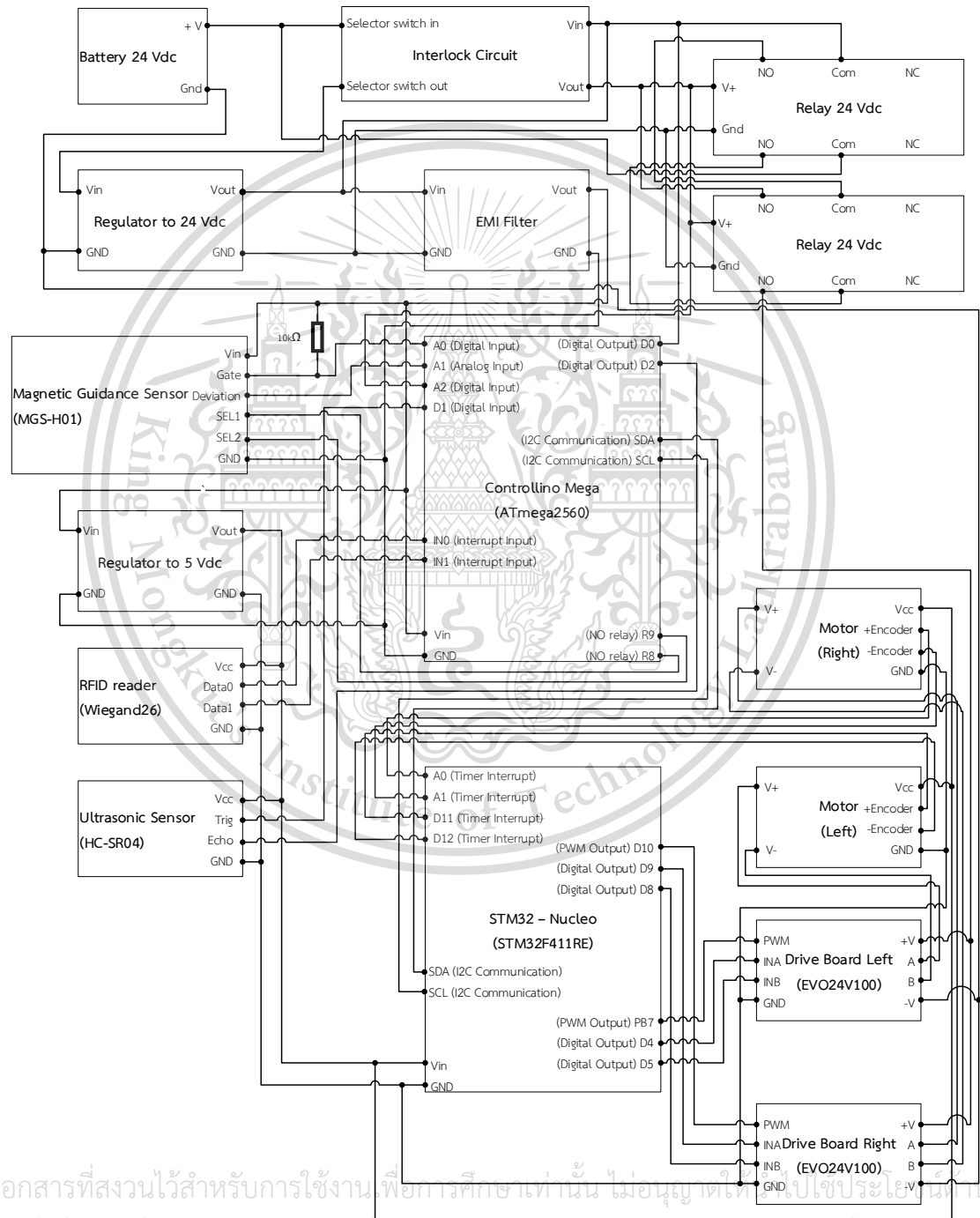
### 3.3.3 วงจรระบบประมวลผลกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลิขสิทธิ์ทั้งหมดเป็นของเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 เช่น รับค่าจากเซนเซอร์เพื่อประมวลผลการควบคุมการความเร็วของมอเตอร์ ,ตรวจจับระยะห่างของ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วัตถุ เป็นต้น ดังนั้นตัวประมวลผลกลางจึงเป็นการทำงานร่วมกันระหว่าง Controllino Mega และ STM32F411RE – Nucleo64 โดย Controllino Mega ต่อวงจรเข้ากับ Push Button, RFID Reader และ Magnetic Guide Sensor และ STM32F411RE – Nucleo64 ต่อวงจรเข้ากับวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง 2 ชุด โดยตัวประมวลผลกลางทั้งสองตัวนี้จะสื่อสารกันแบบ I2C ในการรับและส่งข้อมูล เพื่อนำไปประมวลผลต่อไป



รูปที่ 3.3 Schematic ของรถขนส่งอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า

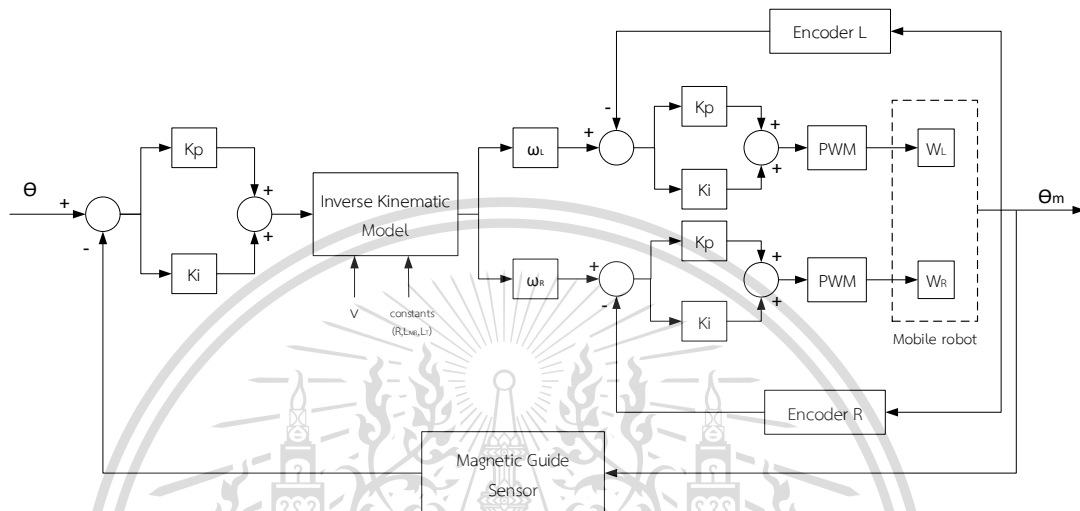
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.4 ระบบควบคุมรถขนส่งอัตโนมัติ

ระบบควบคุมรถขนส่งอัตโนมัติเป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับสองวงรอบ ดังที่แสดงในรูป 3.4 ประกอบไปด้วยวงรอบนอกคือระบบควบคุมการตรวจจับเส้นแถบแม่เหล็กแบบลูปปิด และวงรอบในคือระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแม่เหล็กถาวรแบบลูปปิด



รูปที่ 3.4 ระบบควบคุมการตรวจจับเส้นแถบแม่เหล็กแบบลูปปิด

#### 3.4.1 ระบบควบคุมการตรวจจับเส้นแถบแม่เหล็กแบบลูปปิด

ระบบควบคุมรอบนอก ในรูปที่ 3.4 มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมให้รถขนส่งอัตโนมัติเคลื่อนที่อยู่บริเวณกึ่งกลางแถบแม่เหล็กตลอดเวลา โดยการกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิงเป็นตำแหน่งที่รถอยู่ตรงกึ่งกลางเส้นแถบแม่เหล็ก เมื่อสัญญาณอ้างอิงดังกล่าวนำมาหักล้างกับค่าสัญญาณตำแหน่งปัจจุบันที่วัดได้จากเซนเซอร์ตรวจจับแถบแม่เหล็กจะได้สัญญาณความผิดพลาด จากนั้นนำสัญญาณความผิดพลาดที่ได้ไปเข้าตัวควบคุมพีไอเพื่อปรับค่าสัญญาณคำสั่งซึ่งเป็นตำแหน่งของรถที่จะนำไปคำนวณด้วยวิธีจลศาสตร์ผกผันการขับเคลื่อนแบบดิฟเฟอเรนเชียล โดยสัญญาณขาออกของระบบคือความเร็วเชิงมุมของล้อซ้ายและล้อขวาของรถขนส่งอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.4.2 ระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแม่เหล็กถาวรแบบลูปปิด ระบบควบคุมวงรอบใน ในรูปที่ 3.4 มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์ โดยการกำหนดสัญญาณอ้างอิงเป็นความเร็วของมอเตอร์ที่ต้องการในหน่วย rpm เมื่อนำสัญญาณอ้างอิงมาหักล้างกับสัญญาณความเร็วปัจจุบันที่วัดได้จากตัวถอดรหัสมอเตอร์และแปลงจากสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณความเร็วจะได้สัญญาณความผิดพลาด จากนั้นนำสัญญาณความผิดพลาดที่ได้ไปเข้าตัวควบคุมพีไอเพื่อปรับค่าสัญญาณคำสั่ง โดยสัญญาณขาออกของระบบเป็นดิวิตีไซเคิลของสัญญาณพัลส์วิตช์มอเตอร์ซึ่งจะนำไปควบคุมความเร็วของมอเตอร์



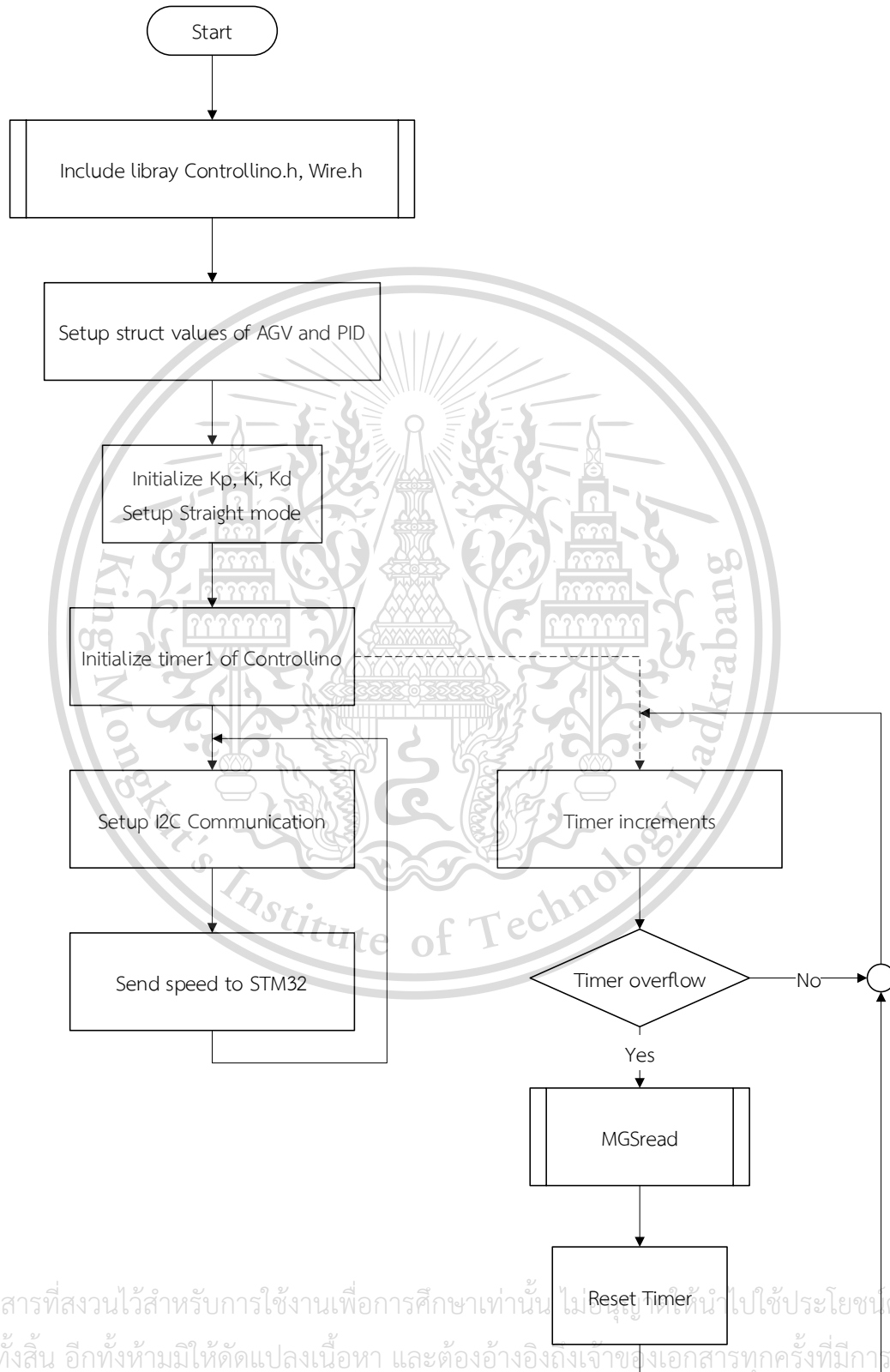
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.5 ฟังก์ชันการทำงานของรถขนส่งอัตโนมัติ

#### 3.5.1 ฟังก์ชันการทำงานของ CONTROLLINO MEGA

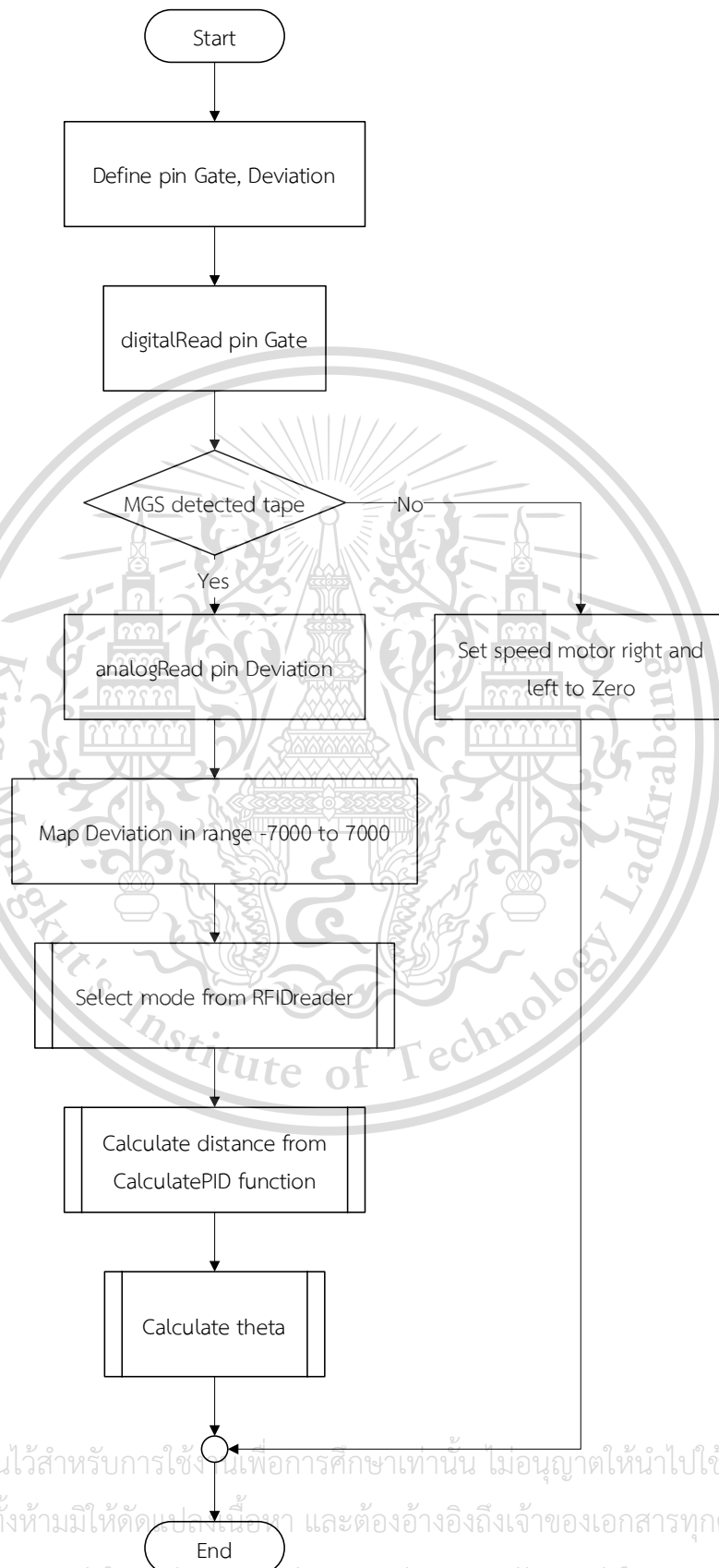


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 3.5.1.1 ผังการทำงานของ Magnetic Guide Sensor MGS-H01

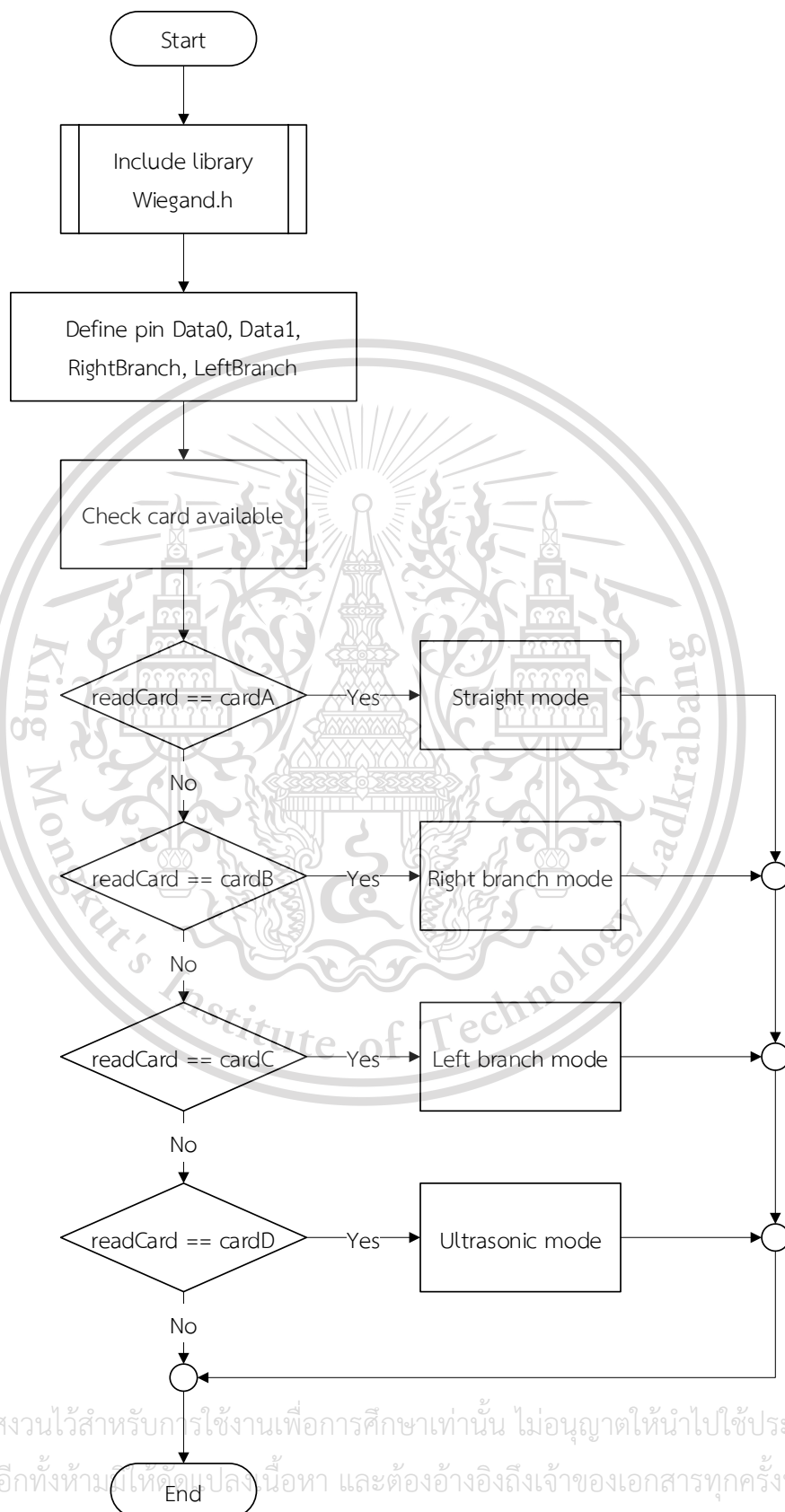


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 3.5.1.2 ผังการทำงานของ RFID Reader



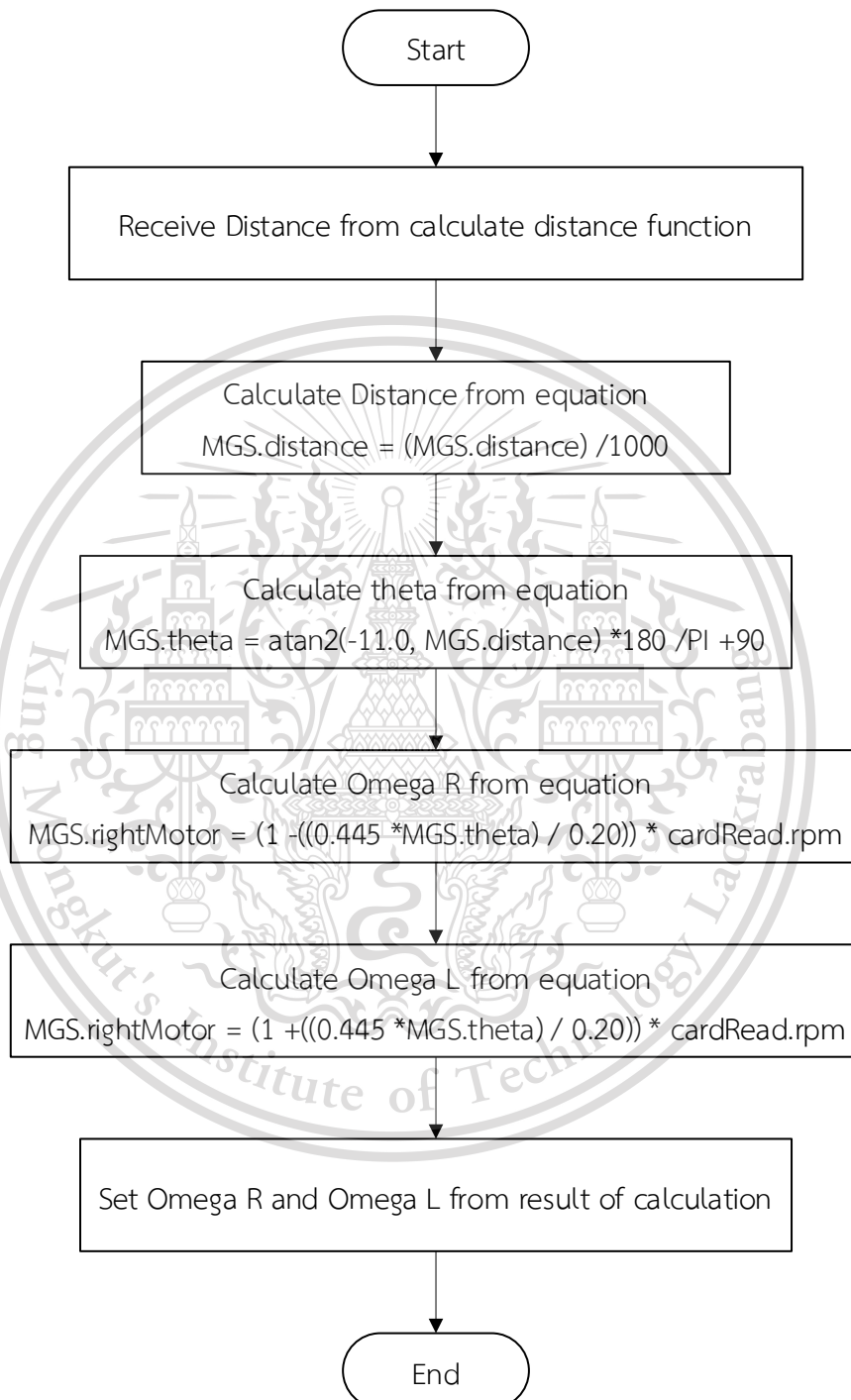
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 3.5.1.3 ฟังก์ชัน Inverse Kinematic เพื่อปรับตำแหน่งของรถในอยู่กึ่งกลางของเทป

นำแม่เหล็ก



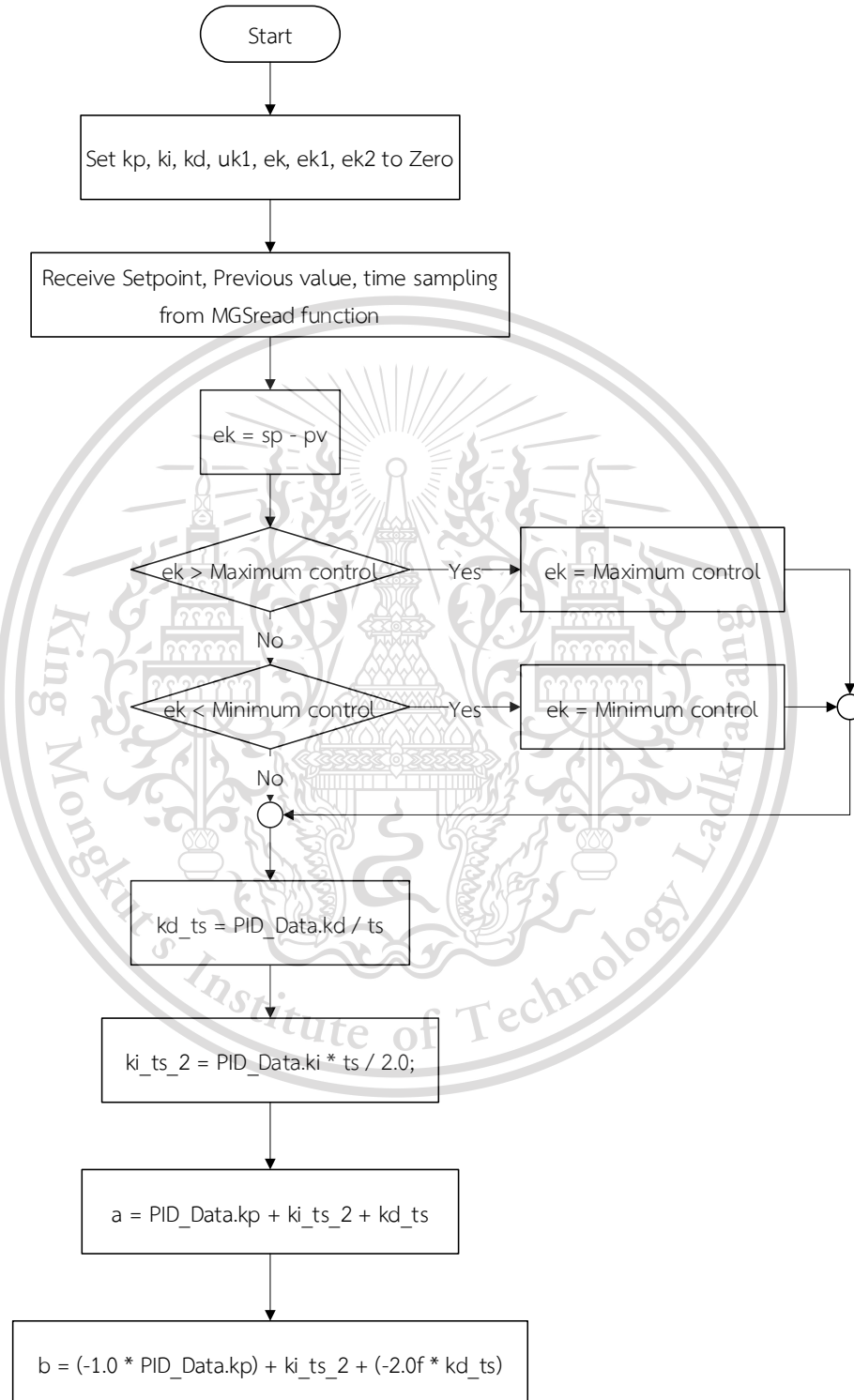
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 3.5.1.4 ฟังก์ชันปรับค่า PID เพื่อปรับตำแหน่งของรถในอยู่กึ่งกลางของเทปนำ

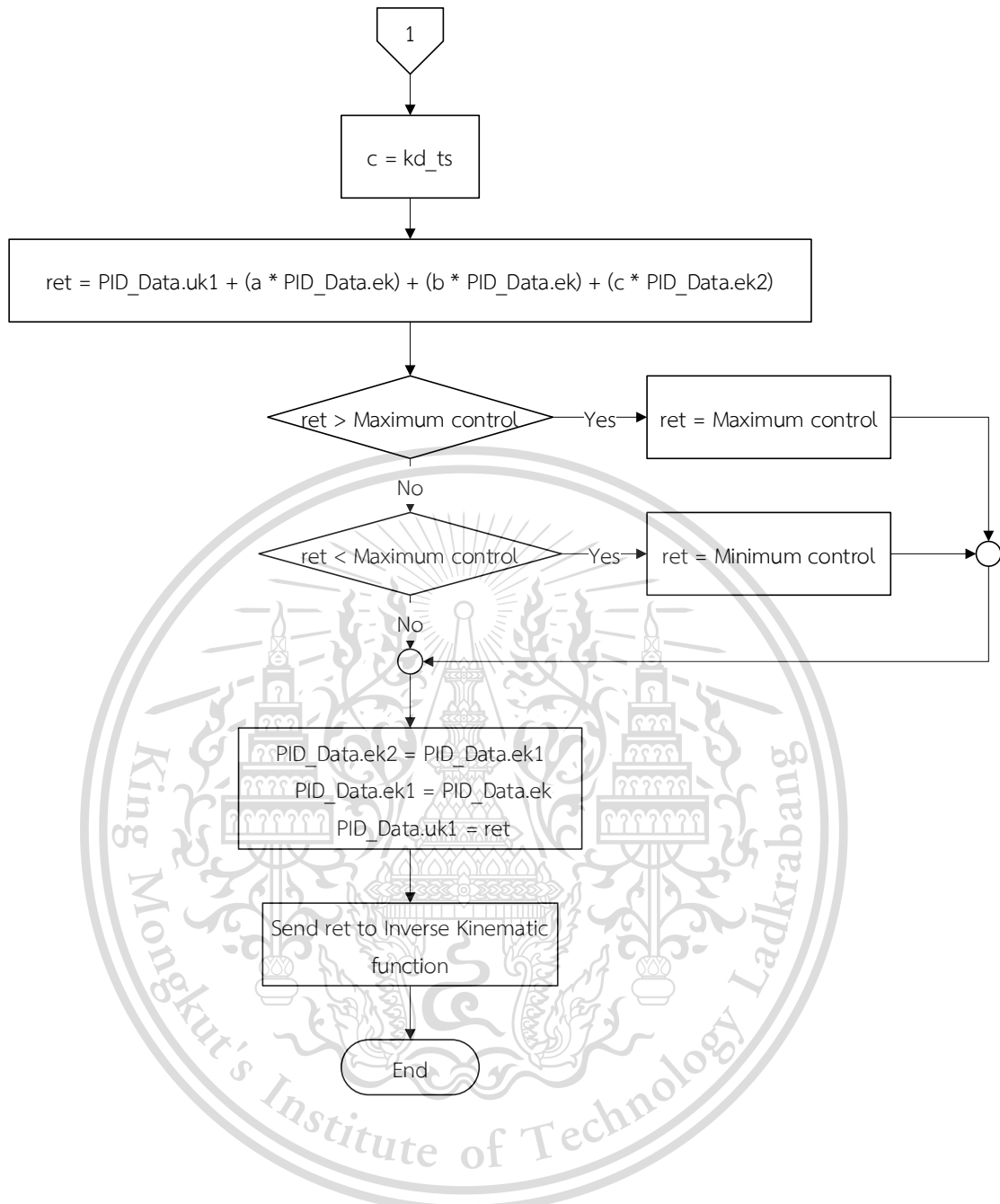
แม่เหล็ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

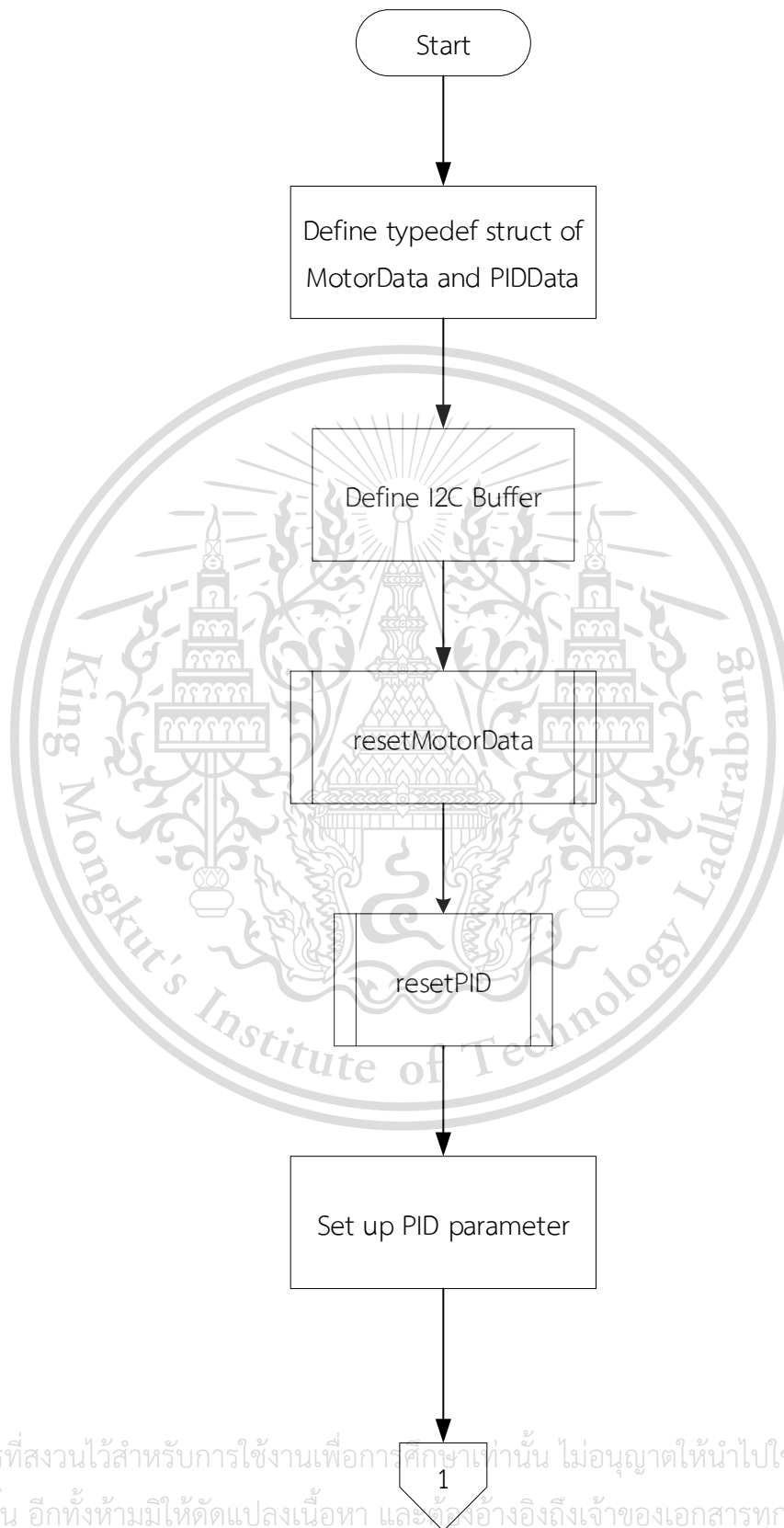


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

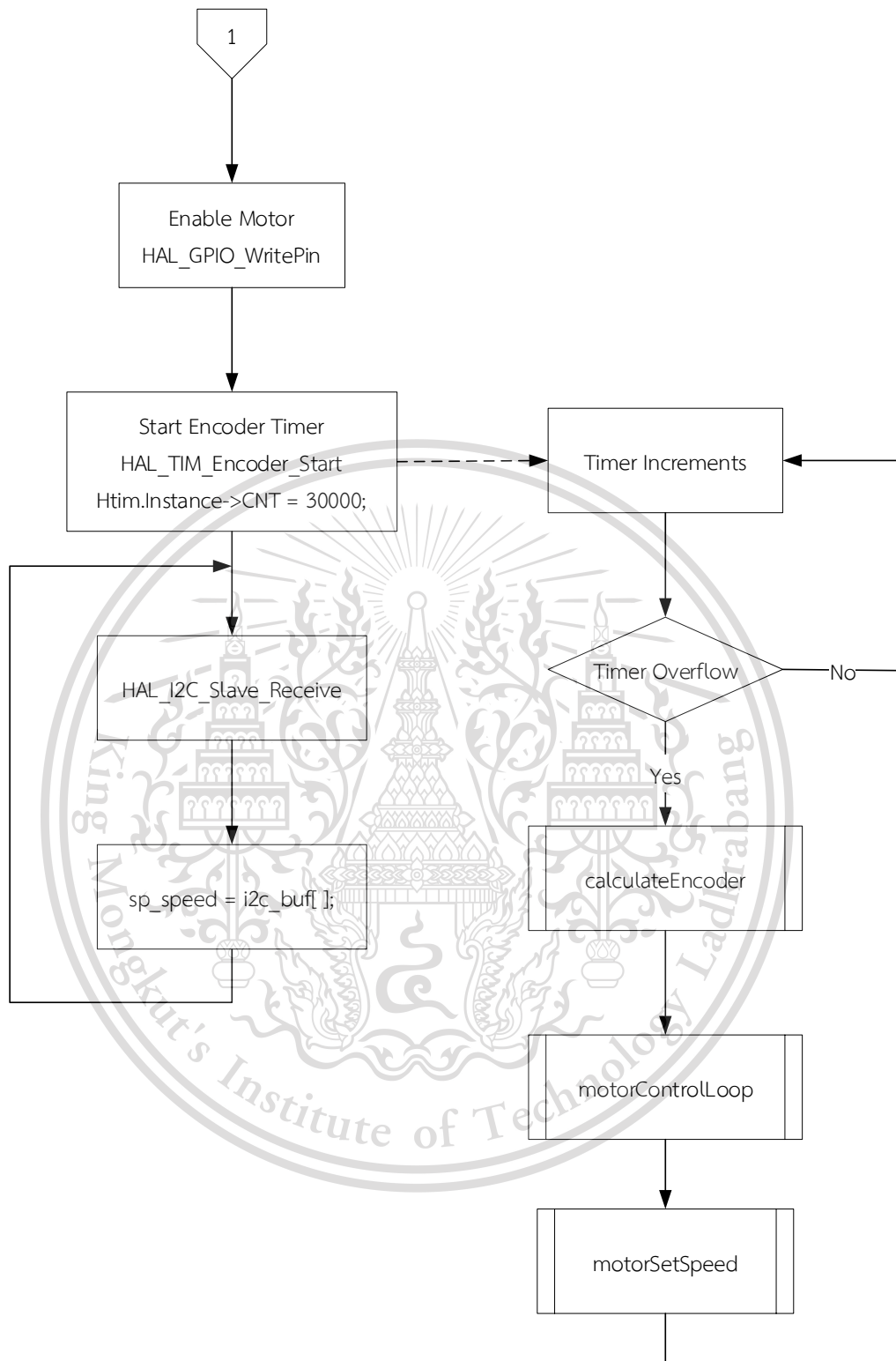
## 3.5.2 ฟังก์ชันการทำงานของ STM32F411RE – Nucleo64



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

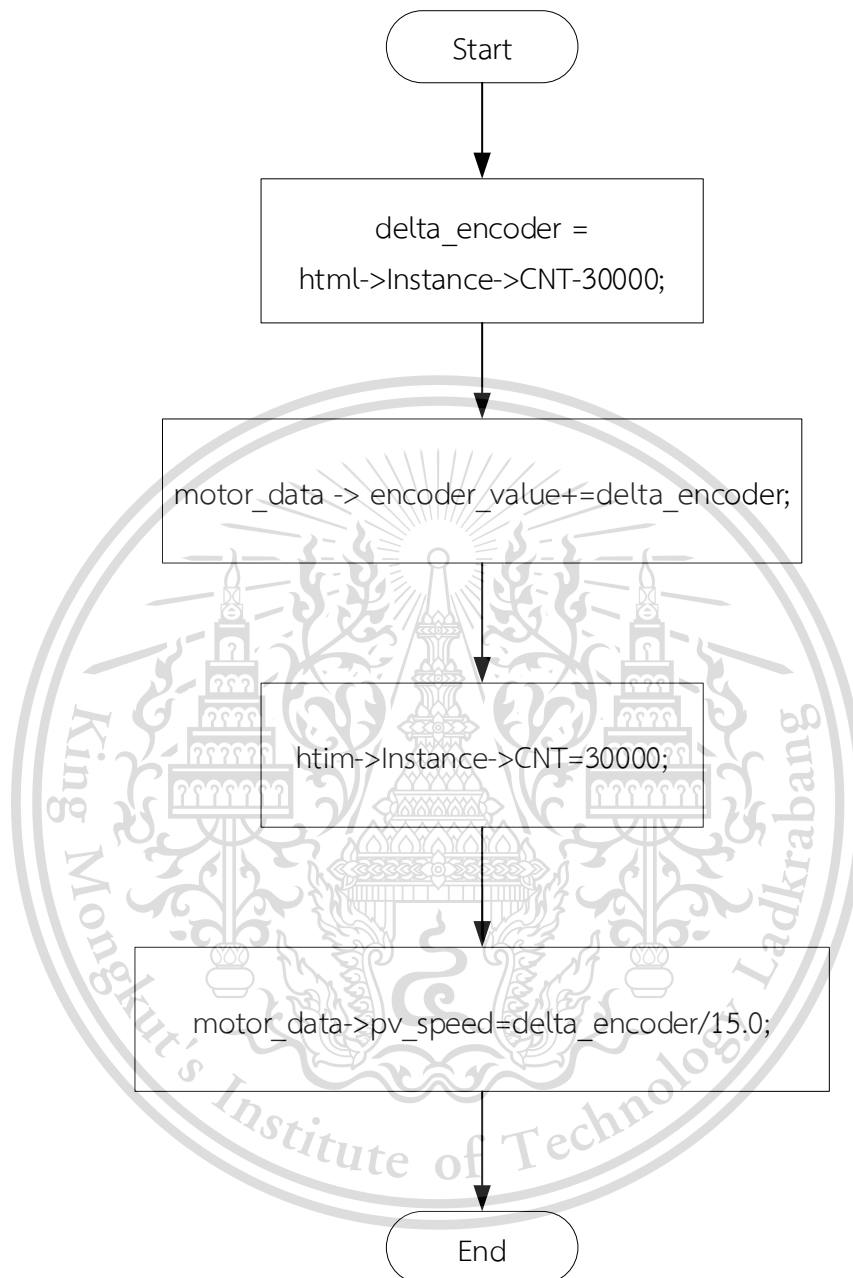


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 3.5.2.1 ผังการทำงานของฟังก์ชัน calculateEncoder

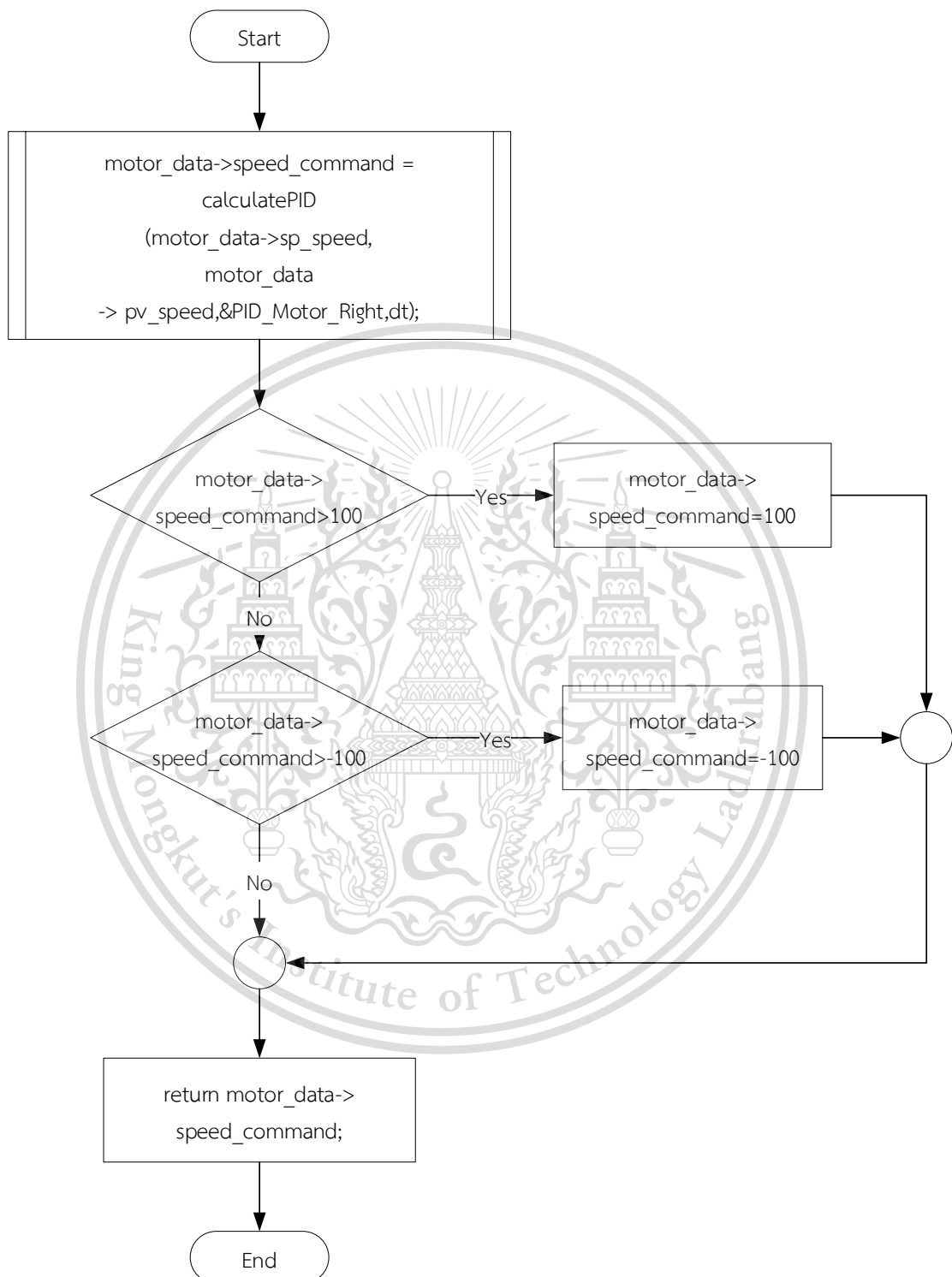


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

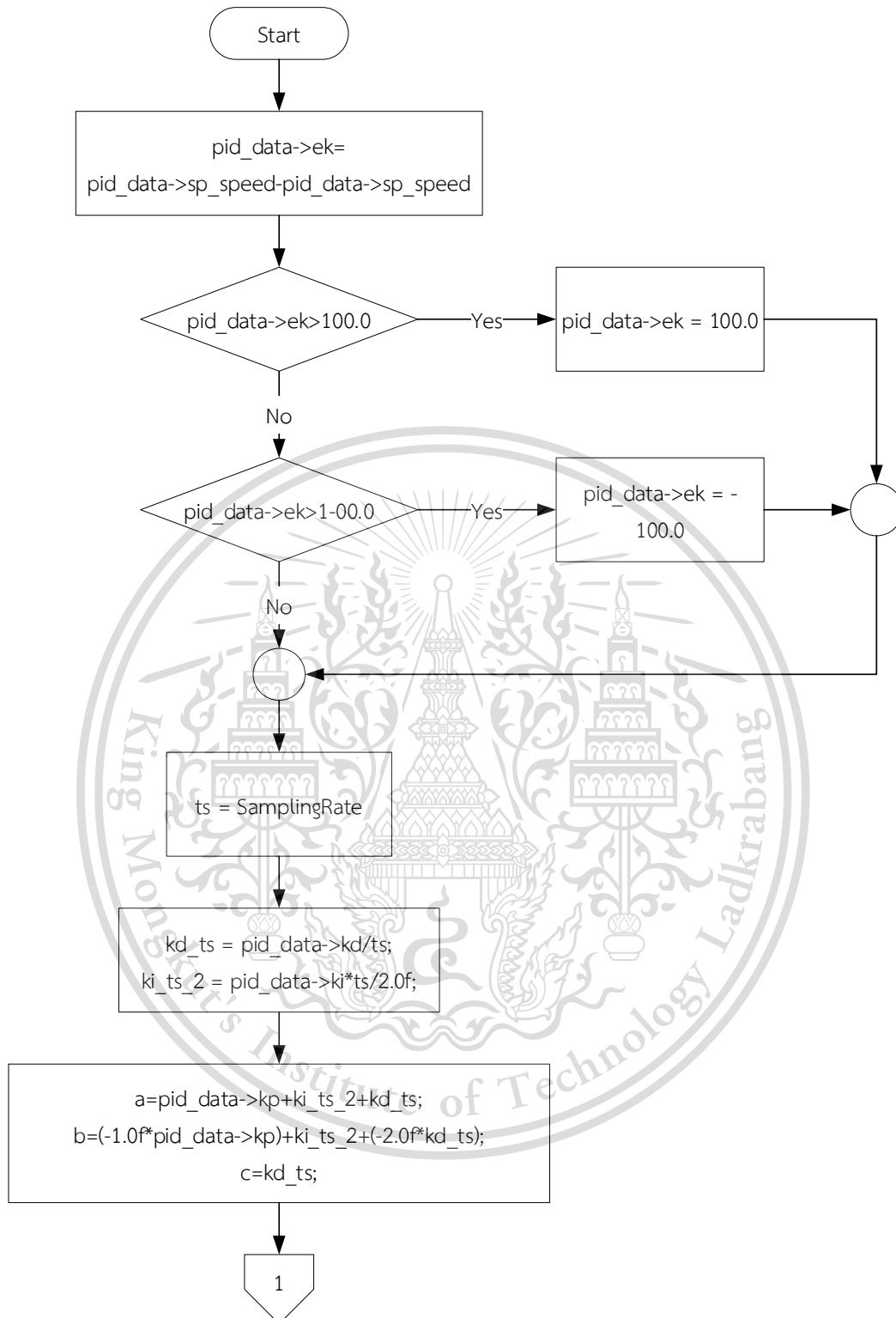
## 3.5.2.2 ผังการทำงานของฟังก์ชัน motorControlLoop



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเอาไว้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 3.5.2.3 ผังการทำงานของฟังก์ชัน calculatePID  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

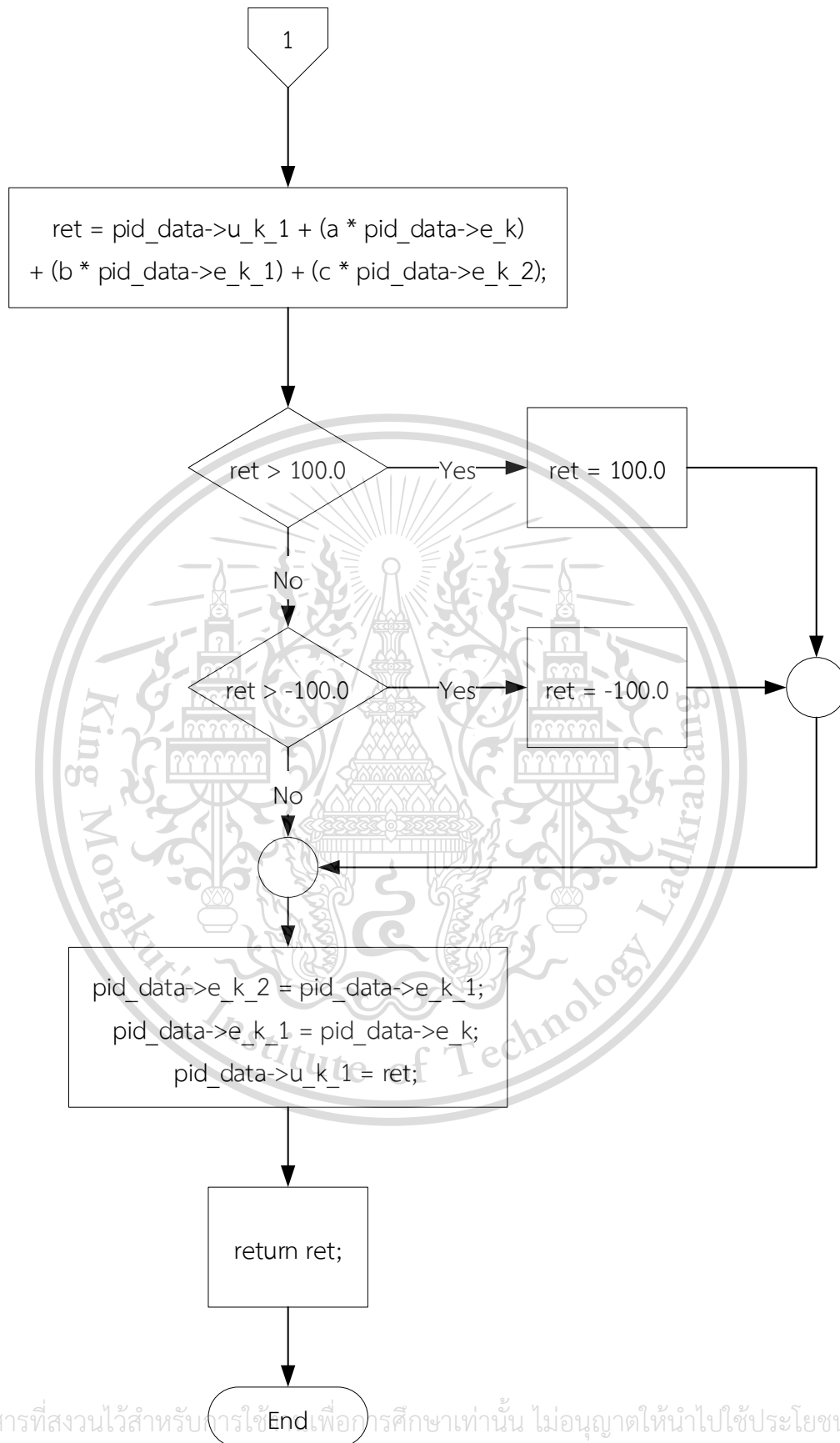
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

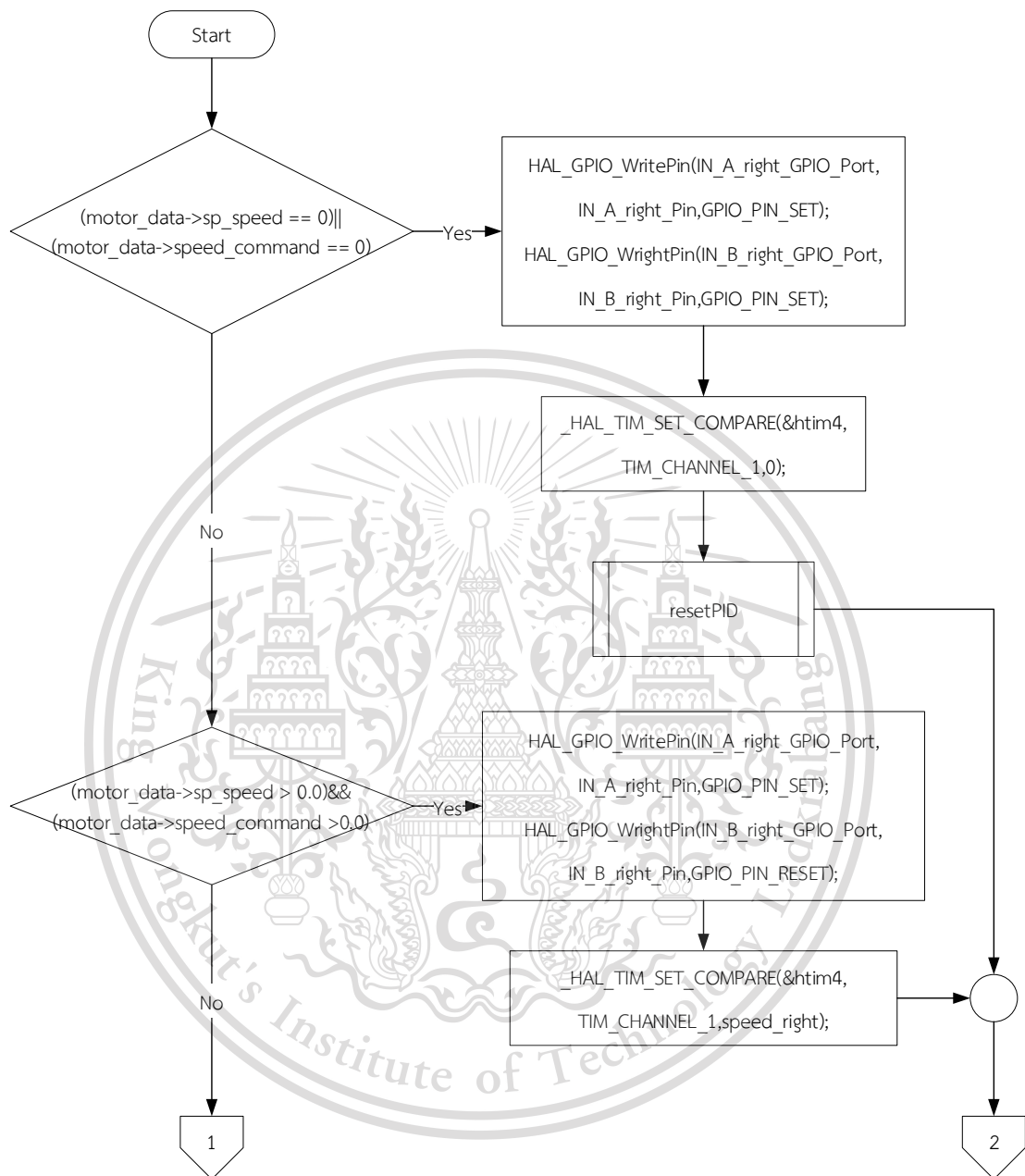


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ End เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

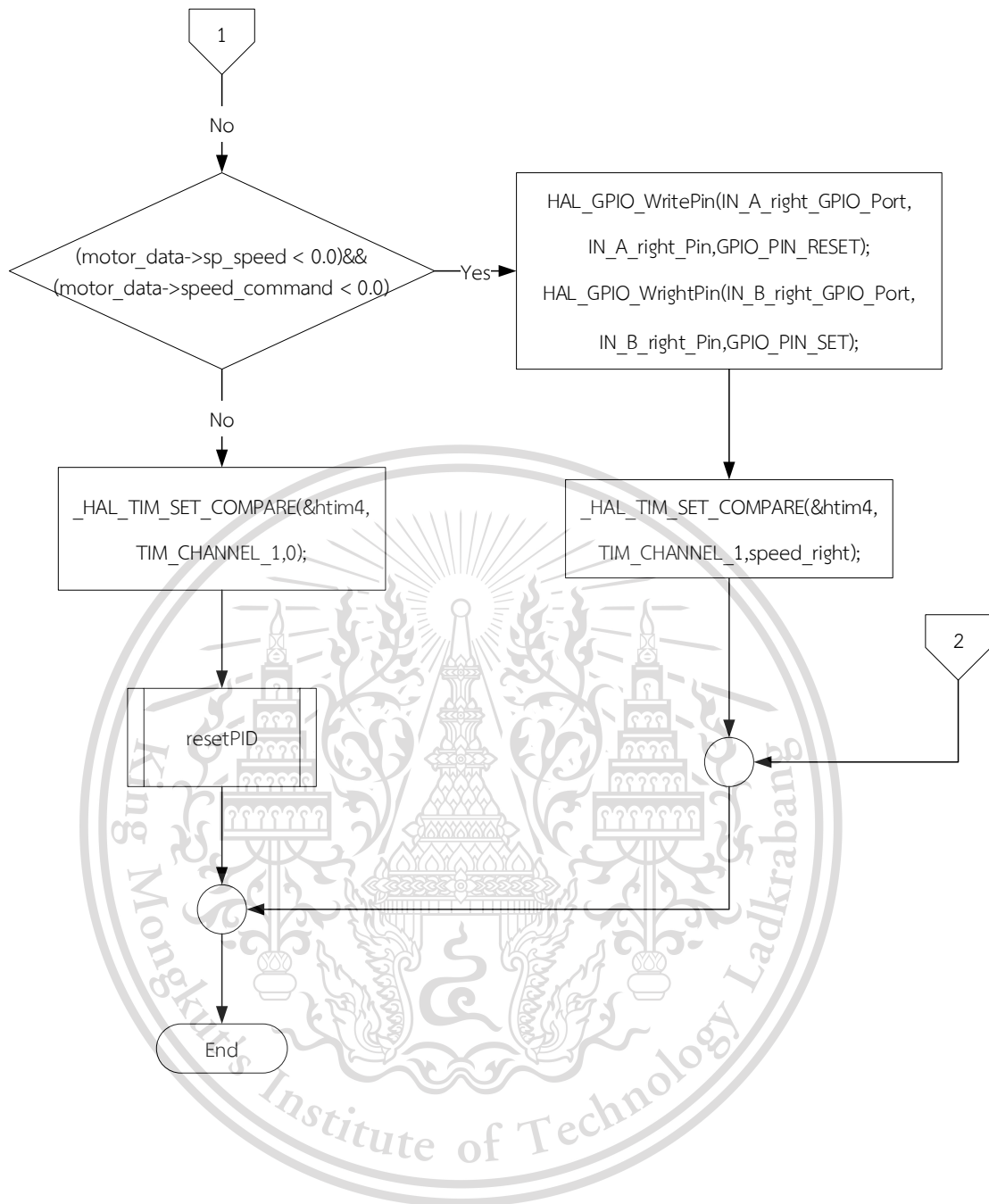
## 3.5.2.4 ฝั่งการทำงานของฟังก์ชัน motorSetSpeed



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

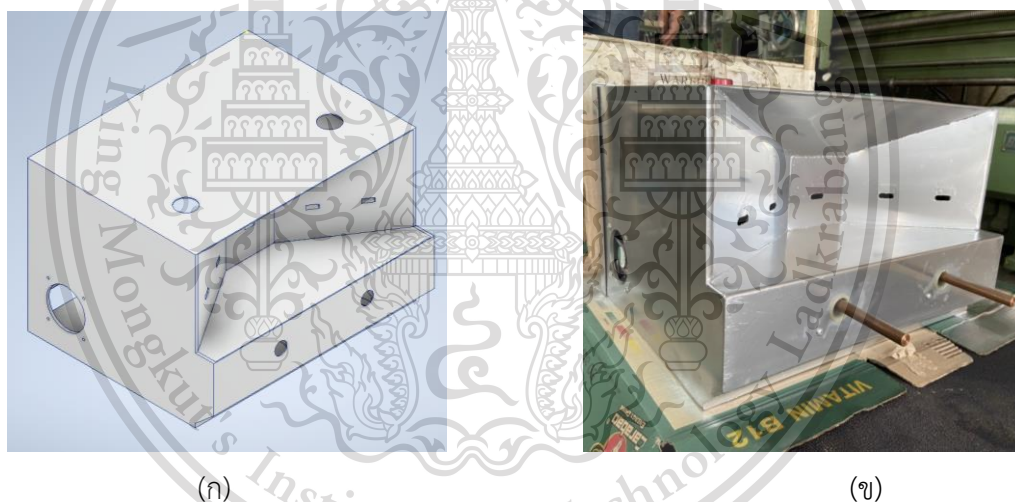
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.6 ลักษณะโครงสร้างและวัสดุของสร้างสถานีอัดประจุไฟฟ้า

#### 3.6.1 รูปแบบโครงสร้างและวัสดุของสถานีอัดประจุไฟฟ้า

โครงสร้างของแท่นชาร์จสำหรับรถขนส่งขับเคลื่อนอัตโนมัติ มีรูปทรงสี่เหลี่ยม ขนาดความกว้าง 46 เซนติเมตร ความยาว 40 เซนติเมตร และความสูง 31 เซนติเมตร โดยวัสดุที่ใช้ในการทำแท่นชาร์จคือเหล็กที่ฐานมีความหนา 10 มิลลิเมตร ด้านซ้ายและขวามีความหนา 5 มิลลิเมตร ด้านหน้า ,ด้านบนและด้านหลังมีความหนา 1.5 มิลลิเมตร โดยออกแบบด้านหน้าของแท่นชาร์จให้พอดีกับตัวรถ ภายในโครงสร้างของแท่นอัดประจุ ประกอบด้วย Arduino Mega ,อุปกรณ์วัดแรงดัน ,ไฟแสดงสถานะ(Pilot lamp) 2 ดวง ,อินเวอร์เตอร์ (Inverter) 1 ตัว ,ลิมิตสวิตช์ 2 ตัว ,พัดลมระบายความร้อน 2 ชุดและรีเลย์ 3 ตัว โดยจะมีช่องทางแดง 2 แห่งยื่นออกมาจากช่องตรงกลาง ซึ่งช่องทางแดงทั้งสองสามารถยึดและหดได้จากการใช้สปริงและลิเนียร์ไกด์ (Linear Guide) เป็นตัวยึด ทำให้เมื่อแผ่นทองแดงที่ติดอยู่กับรถขนส่งขับเคลื่อนอัตโนมัติประกบกับช่องทางแดงที่ยื่นออกมาจากแท่นชาร์จ ส่งผลให้ลิมิตสวิตช์ทำงาน ทำให้เกิดการอัดประจุเกิดขึ้น



รูปที่ 3.5 โครงสร้างของสร้างสถานีอัดประจุไฟฟ้า (ก) โดยโปรแกรม Inventor (ข) ชิ้นงานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

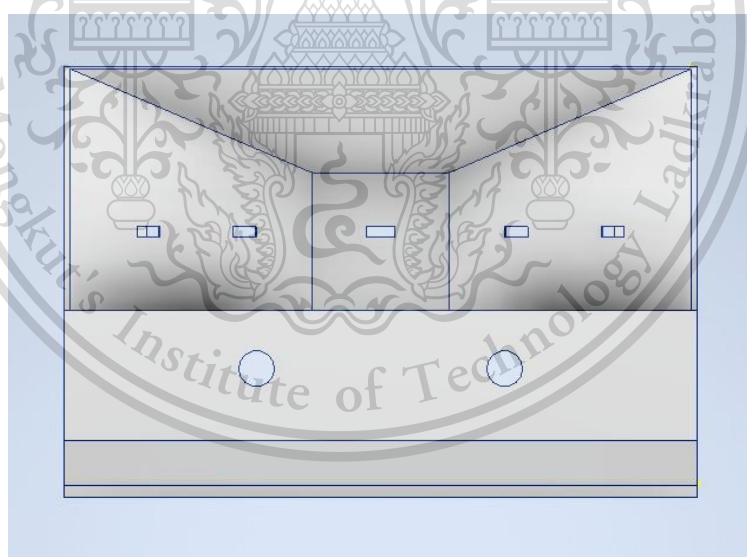
### 3.6.2 คุณสมบัติเฉพาะของสถานีอัดประจุไฟฟ้า

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติเฉพาะของสถานีอัดประจุไฟฟ้า

คุณสมบัติเฉพาะ		ผลการวัดสถานีอัดประจุ
ความยาว		46 เซนติเมตร
ความกว้าง		40 เซนติเมตร
ความสูง		31 เซนติเมตร
น้ำหนักแท่นชาร์จ		28 กิโลกรัม
วัสดุ		เหล็ก
พิกัดแรงดัน	ขาเข้า	220 Vac
	ขาออก	24 Vdc

### 3.7 ขั้นตอนการสร้างสถานีอัดประจุไฟฟ้า

#### 3.7.1 ออกแบบสถานีอัดประจุไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม Inventor

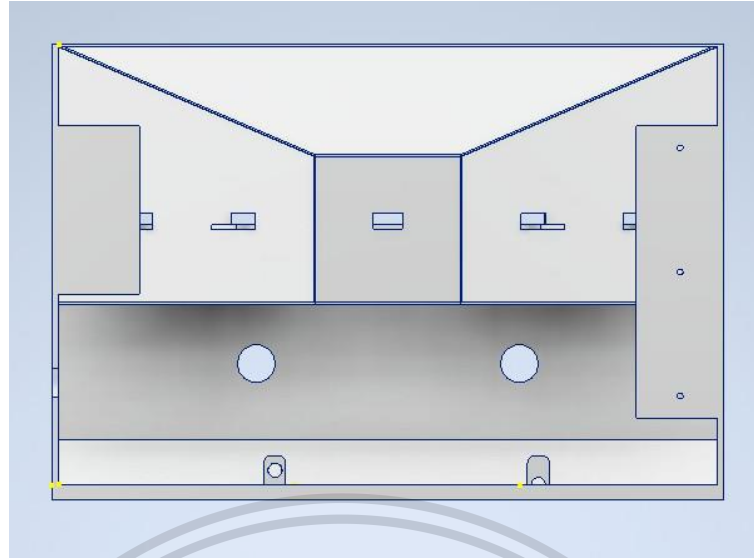


รูปที่ 3.6 ด้านหน้าของสถานีอัดประจุไฟฟ้าในโปรแกรม Inventor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.7 ด้านหลังของสถานีอัดประจุไฟฟ้าในโปรแกรม Inventor



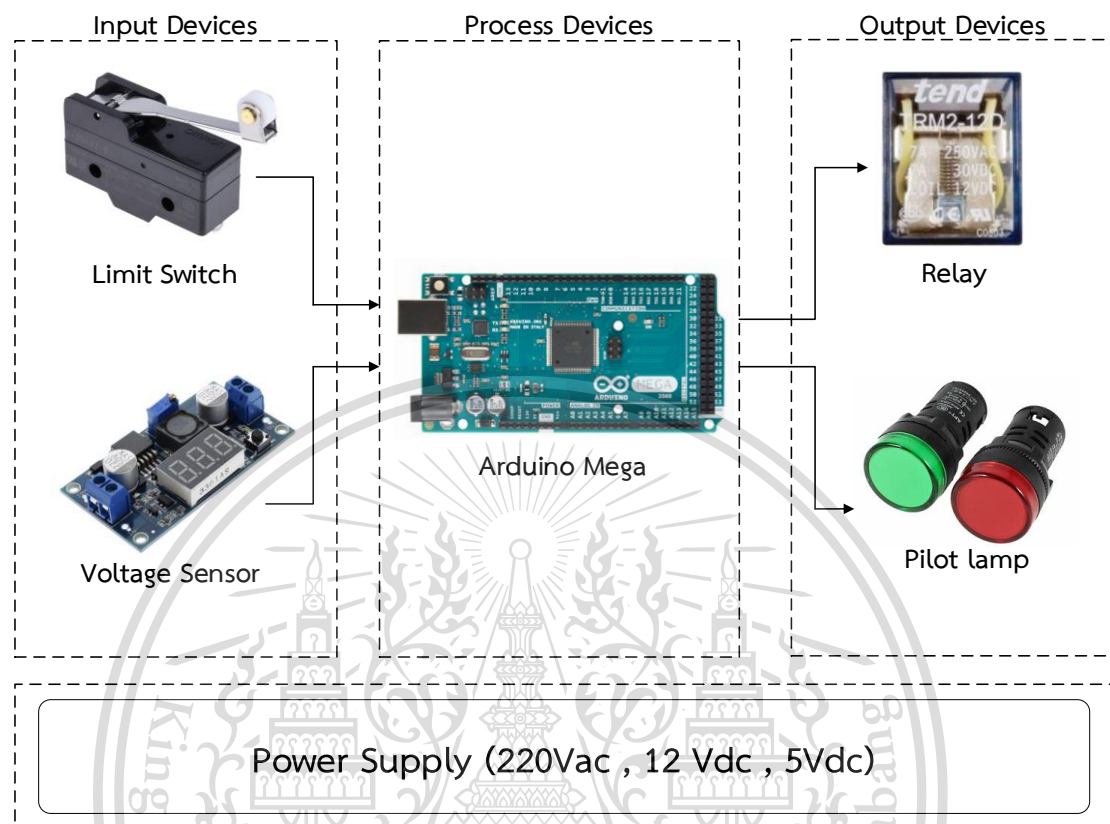
รูปที่ 3.8 ข้างซ้ายและขวาของสถานีอัดประจุไฟฟ้าในโปรแกรม Inventor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.8 ระบบการทำงานของสถานีอัดประจุไฟฟ้า



รูปที่ 3.9 Block diagram ของสถานีอัดประจุไฟฟ้า

#### 3.8.1 อุปกรณ์ขาเข้า

อุปกรณ์ขาเข้าที่เชื่อมต่อกับส่วนประมวลผลประกอบด้วย 2 อุปกรณ์คือ อุปกรณ์วัดแรงดันและLimit switch โดยอุปกรณ์วัดแรงดันใช้เป็นวงจร R-divider ที่เชื่อมต่อกับทองแดงของสถานีและแปลงแรงดันให้อยู่ในช่วง 0 – 5 V และลิมิตสวิตช์ใช้เพื่อตรวจสอบว่ามีวัตถุมาชนสถานีอัดประจุไฟฟ้าหรือไม่

#### 3.8.2 ระบบประมวลผลกลาง

ตัวประมวลผลกลางที่ใช้คือ Arduino Mega โดยการรับค่าแรงดันจากอุปกรณ์วัดแรงดัน เพื่อนำมาประมวลผล และส่งออกให้กับอุปกรณ์ขาออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

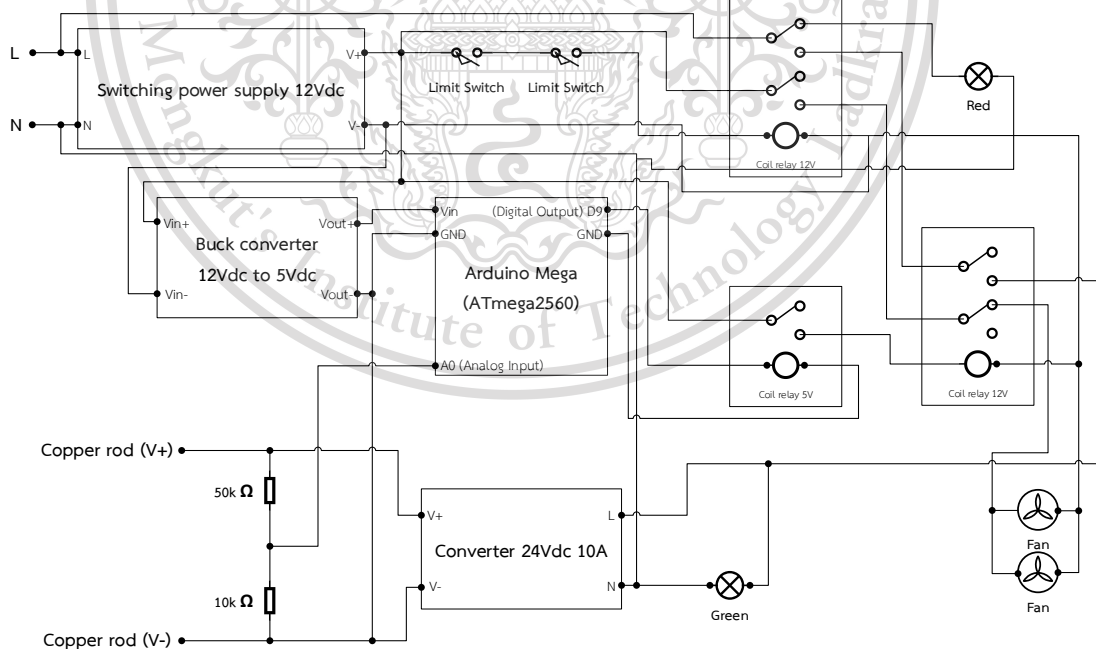
### 3.8.3 อุปกรณ์ขาออก

อุปกรณ์ขาออกประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ชนิด คือ รีเลย์และไฟแสดงสถานะ โดยรีเลย์จะเป็นตัวรับสัญญาณมาจาก Limit Switch เพื่อควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ที่จ่ายไฟให้กับแบตเตอรี่ และไฟแสดงสถานะใช้สำหรับแสดงสถานะการทำงานของแท่นชาร์จ โดยไฟสีแดงคือสถานะอัดประจุไฟฟ้ากำลังทำงาน ไฟสีเขียวคือสถานะอัดประจุอัตโนมัติพร้อมใช้งาน และไม่มีไฟแสดงสถานะคือสถานะอัดประจุอัตโนมัติไม่พร้อมใช้งาน

### 3.9 ชุดวงจรของสถานีอัดประจุไฟฟ้า

#### 3.9.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้า (Power Supply)

แหล่งจ่ายไฟของสถานีอัดประจุอัตโนมัติมี 3 ส่วนคือ แรงดันไฟกระแสสลับ 220 V , แรงดันไฟกระแสตรง 12V และแรงดันไฟกระแสตรง 5V โดยแรงดันไฟกระแสสลับ 220 V ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับไฟแสดงสถานะและ converter 220 Vac to 24 Vdc ทำหน้าที่ในการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ , แรงดันไฟ 12 Vdc มาจาก Switching power supply 220 Vac to 12 Vdc ใช้เป็นตัวจ่ายไฟให้กับรีเลย์และพัดลมทำงาน และแรงดัน 5 Vdc มาจาก Buck converter 12Vdc to 5 Vdc เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับ Arduino Mega



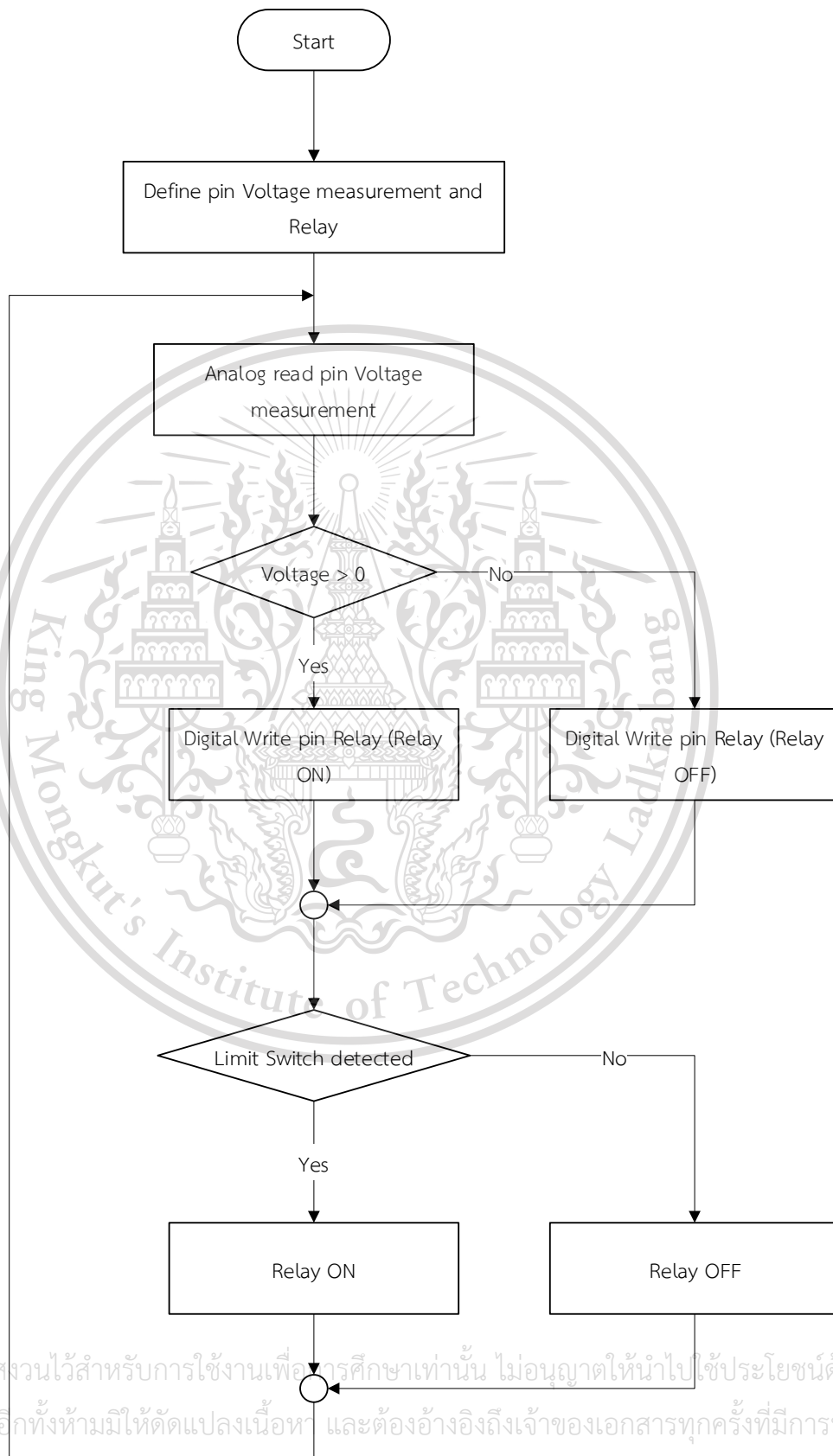
รูปที่ 3.10 Schematic ของวงจรชุดวงจรของสถานีอัดประจุไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.10 ฟังก์ชันการทำงานของสถานีอัดประจุไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการทดลองจากการอ่านค่าที่ได้รับจาก Magnetic Guide Sensor MGS-H01

วิธีการทดลอง คือ นำ Magnetic Guide Sensor MGS-H01 ติดตั้งที่โครงรถขนส่งขับเคลื่อนอัตโนมัติ หลังจากนั้นให้รถเคลื่อนที่บนแถบแม่เหล็กที่เตรียมไว้แล้วอ่านค่าที่ได้

เมื่อแถบแม่เหล็กอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของ Magnetic Guide Sensor MGS-H01 ระดับแรงดัน (Deviation out) ที่อ่านได้จะมีค่าอยู่ในช่วง 5.00 โวลต์และระดับแรงดัน (Gate) ที่อ่านได้จะมีค่าอยู่ในช่วง 0.4 โวลต์ ดังรูปที่ 4.1 และเมื่อแถบแม่เหล็กอยู่ที่ตำแหน่งทางซ้ายของ Magnetic Guide Sensor MGS-H01 ระดับแรงดัน (Deviation out) ที่อ่านได้จะมีค่าอยู่ในช่วง 3.00 โวลต์และระดับแรงดัน (Gate) ที่อ่านได้จะมีค่าอยู่ในช่วง 0.4 โวลต์ ดังรูปที่ 4.2 และเมื่อแถบแม่เหล็กอยู่ที่ตำแหน่งทางขวาของ Magnetic Guide Sensor MGS-H01 ระดับแรงดัน (Deviation out) ที่อ่านได้จะมีค่าอยู่ในช่วง 7.60 โวลต์และระดับแรงดัน (Gate) ที่อ่านได้จะมีค่าอยู่ในช่วง 0.4 โวลต์ ดังรูปที่ 4.3 และเมื่อแถบแม่เหล็กไม่อยู่ในตำแหน่งที่ Magnetic Guide Sensor MGS-H01 ระดับแรงดัน (Deviation out) ที่อ่านได้จะมีค่าอยู่ในช่วง 5.40 โวลต์และระดับแรงดัน (Gate) ที่อ่านได้จะมีค่าอยู่ในช่วง 21.4 โวลต์ ดังรูปที่ 4.4

โดยจะนำค่าที่ได้จากการทดลองไปป้อนในโปรแกรมเพื่อควบคุมให้รถขนส่งขับเคลื่อนอัตโนมัติเคลื่อนที่ตามแถบแม่เหล็กที่ติดตั้งไว้

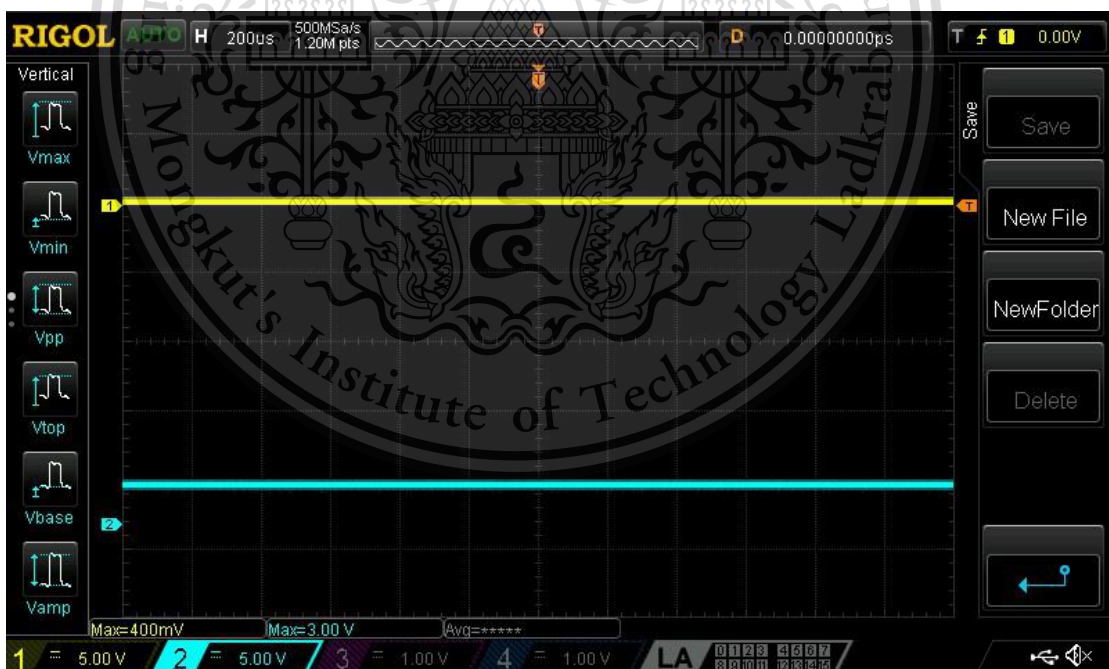
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.1 แรงดันที่ MGS-H01 ตรวจจับเมื่อรถเคลื่อนที่อยู่กึ่งกลางของแถบแม่เหล็ก  
(Gate 400 mV, Deviation 5.00 V)



รูปที่ 4.2 แรงดันที่ MGS-H01 ตรวจจับเมื่อรถเคลื่อนที่อยู่ข้างซ้ายของแถบแม่เหล็ก  
(Gate 400 mV, Deviation 3.00 V)

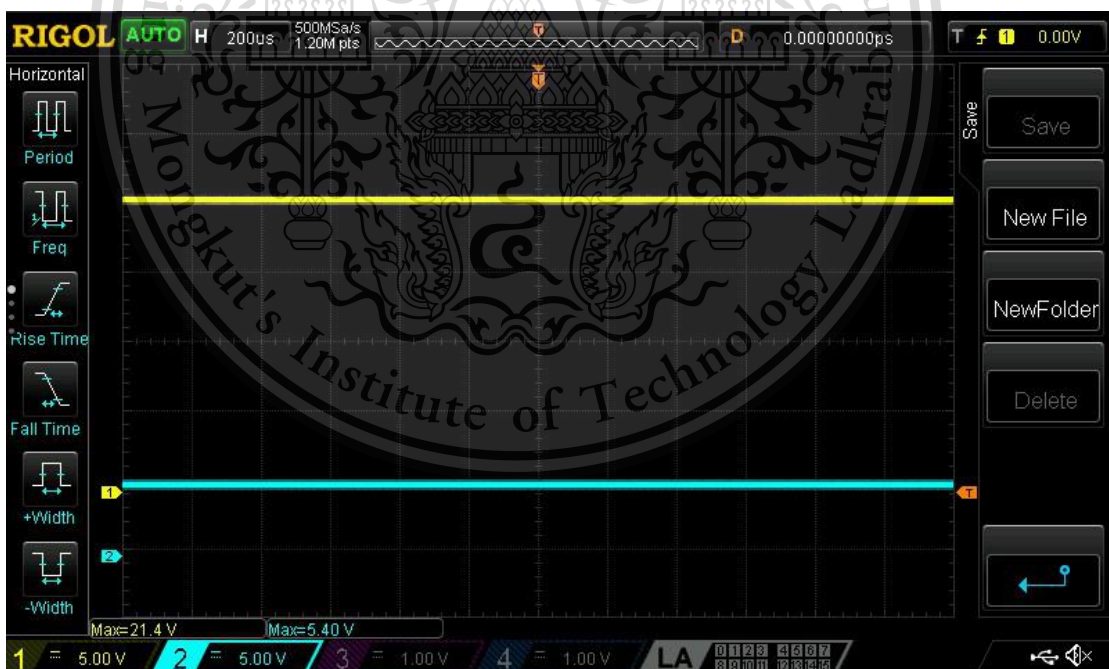
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.3 แรงดันที่ MGS-H01 ตรวจจับเมื่อรถเคลื่อนที่อยู่ข้างขวาของแถบแม่เหล็ก  
(Gate 400 mV, Deviation 7.60 V)



รูปที่ 4.4 แรงดันที่ MGS-H01 อ่านได้เมื่อรถเคลื่อนที่ไม่เจอแถบแม่เหล็ก  
(Gate 21.4 V, Deviation 5.40 V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.5 แรงดันที่ MGS-H01 ตรวจจับเมื่อทดสอบเคลื่อนแถบแม่เหล็กบน sensor จากซ้าย-ขวา

#### 4.2 ผลการทดลองจากการอ่านค่าผลที่ได้รับจาก RFID Reader

จากการทดลอง เรานำหลักการการสื่อสารข้อมูลแบบ Wiegand Interface มาใช้ในอุปกรณ์ RFID Reader เพื่ออ่านข้อมูลจากแท็ก จากนั้นนำข้อมูลที่อ่านได้ไปป้อนใส่โปรแกรมเพื่อสั่งเพิ่มหรือลดความเร็วของรถขนส่งอัตโนมัติ

เมื่อต้องการให้รถขนส่งอัตโนมัติเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 10 rpm ข้อมูลที่อ่านได้จาก RFID Reader จะมีค่า 8682741 ดังที่แสดงในรูปที่ 4.6 และถ้าต้องการให้รถขนส่งอัตโนมัติเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 20 rpm ข้อมูลที่อ่านได้จาก RFID Reader จะมีค่า 8682461 ดังที่แสดงในรูปที่ 4.7 และถ้าต้องการให้รถขนส่งอัตโนมัติเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 30 rpm ข้อมูลที่อ่านได้จาก RFID Reader จะมีค่า 8661373 ดังที่แสดงในรูปที่ 4.8 และถ้าต้องการให้รถขนส่งอัตโนมัติลดความเร็วเพื่อเคลื่อนที่ไปที่สถานีอัดประจุไฟฟ้า ข้อมูลที่อ่านได้จาก RFID Reader จะมีค่า 8666083 ดังที่แสดงในรูปที่ 4.9 และถ้าต้องการให้รถขนส่งอัตโนมัติหยุดเคลื่อนที่ ข้อมูลที่อ่านได้จาก RFID Reader จะมีค่า 8666713 ดังที่แสดงในรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.6 ค่าที่อ่านได้จาก RFID Reader เมื่อรถขนส่งอัตโนมัติเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 10 rpm

(ก) สัญญาณ Data 0 และ Data 1 (ข) ข้อมูลของแท็กผ่าน Serial Monitor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ก)



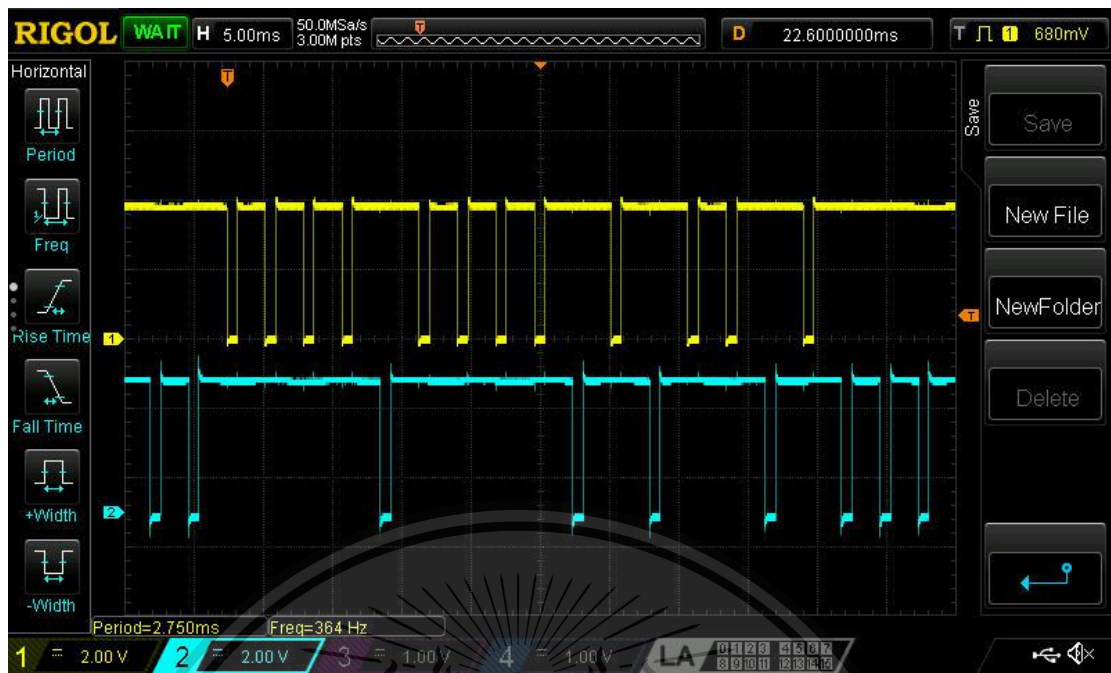
(ข)

รูปที่ 4.7 ค่าที่อ่านได้จาก RFID Reader เมื่อรถขนส่งอัตโนมัติเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 20 rpm (ก)  
สัญญาณ Data 0 และ Data 1 (ข) ข้อมูลของแท็กผ่าน Serial Monitor

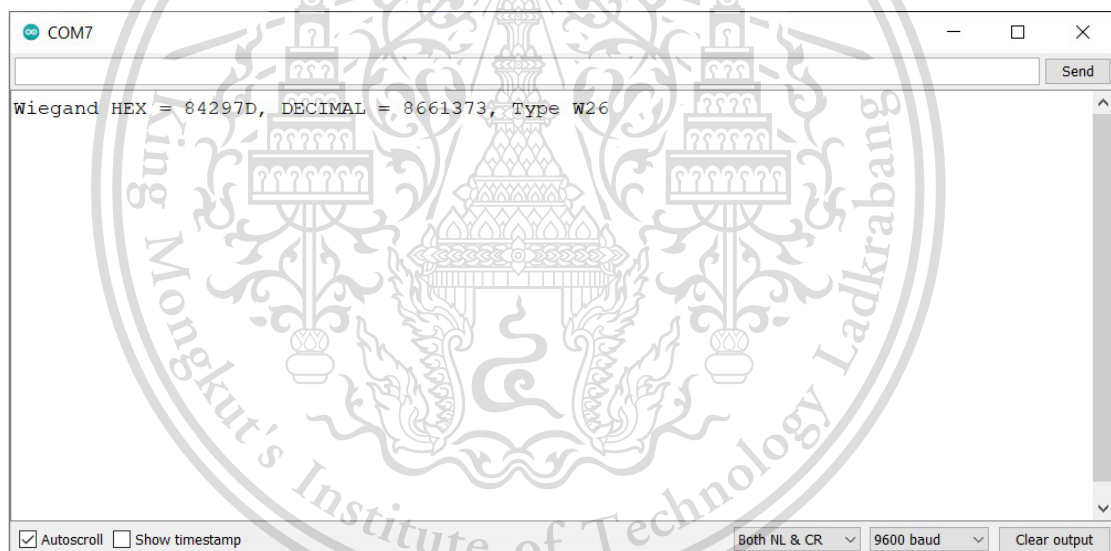
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.8 ค่าที่อ่านได้จาก RFID Reader เมื่อรถขนส่งอัตโนมัติเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 30 rpm (ก)  
สัญญาณ Data 0 และ Data 1 (ข) ข้อมูลของแท็กผ่าน Serial Monitor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.9 ค่าที่อ่านได้จาก RFID Reader เมื่อรถขนส่งขับเคลื่อนอัตโนมัติไปที่สถานีอัดประจุไฟฟ้า

(ก) สัญญาณ Data 0 และ Data 1 (ข) ข้อมูลของแท็กผ่าน Serial Monitor

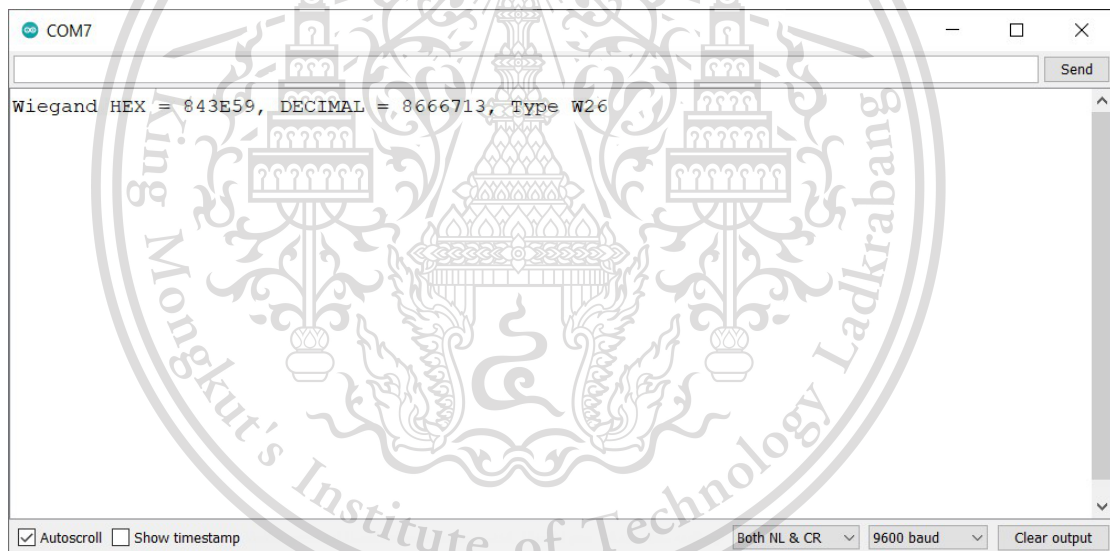
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.10 ค่าที่อ่านได้จาก RFID Reader เมื่อรถขนส่งขับเคลื่อนอัตโนมัติหยุดเคลื่อนที่

(ก) สัญญาณ Data 0 และ Data 1 (ข) ข้อมูลของแท็กผ่าน Serial Monitor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 4.3 ผลการทดลองการหยุดรถขนส่งอัตโนมัติ

เมื่อนำ RFID Reader รุ่น WG26 dual frequency ติดตั้งที่ตัวรถขนส่งอัตโนมัติ จากนั้นให้รถเคลื่อนที่ตามแถบนำแม่เหล็กด้วยความเร็ว 0.115 m/s ทำการทดลอง 5 ครั้งพบว่าควรติดตั้ง RFID Reader ที่ความสูงจากพื้น 1.48 เซนติเมตร เพื่อความแม่นยำในการหยุดรถ โดยผลการทดสอบการหยุดรถขนส่งอัตโนมัติแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การทดสอบการหยุดรถขนส่งอัตโนมัติ

ครั้งที่	ระยะการหยุดของรถขนส่งอัตโนมัติ (เซนติเมตร)
1	13
2	13
3	12
4	12
5	13



รูปที่ 4.11 ระยะหยุดของรถขนส่งอัตโนมัติเมื่ออ่านแท็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

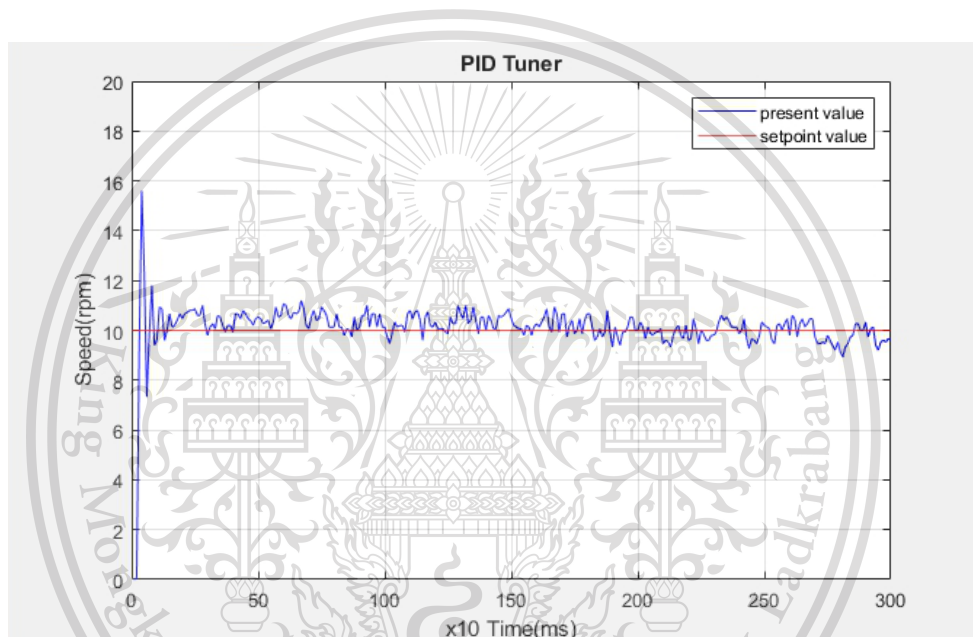
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.4 ผลการทดลองการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับรถขนส่งอัตโนมัติ

จากการทดลองการสร้างรถขนส่งอัตโนมัติได้ทำการกำหนดความเร็วขณะที่รถเคลื่อนที่อยู่บนกึ่งกลางเส้นเท่ากับ 30 rpm จากการคำนวณด้วยวิธีจลนศาสตร์ผกผันการขับเคลื่อนแบบดิฟเฟอเรนเชียลทำให้ได้พิกัดค่าความเร็วใช้งานของมอเตอร์สูงสุดเท่ากับ 45 rpm และพิกัดค่าความเร็วใช้งานของมอเตอร์ต่ำสุดเท่ากับ 10 rpm ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ความเร็วต่างๆ ประกอบไปด้วย ความเร็ว 10 , 20 , 30 และ 40 rpm พบว่ากราฟแสดงผลตอบสนองของระบบเป็นดังนี้

##### 4.4.1 ผลตอบสนองของมอเตอร์ล้อซ้ายที่ความเร็วเท่ากับ 10 rpm

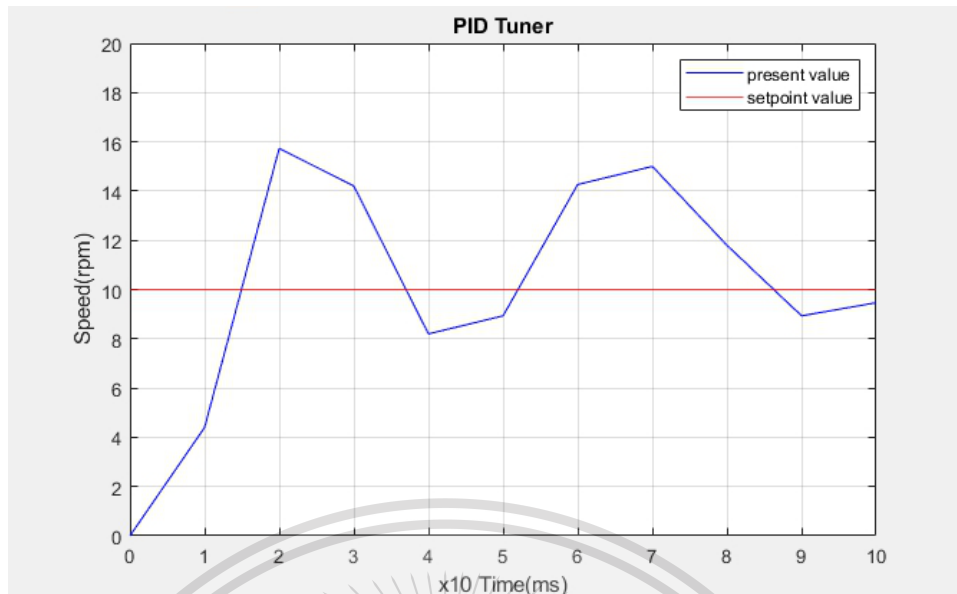


รูปที่ 4.12 ผลตอบสนองการควบคุมมอเตอร์แบบวงรอบปิดของมอเตอร์ล้อซ้ายที่ความเร็ว 10 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.13 ค่าเวลาขาขึ้นของมอเตอร์ล้อย้ายที่ความเร็ว 10 rpm

ตารางที่ 4.2 ค่าผลตอบสนองของมอเตอร์ล้อย้ายที่ความเร็ว 10 rpm

ผลตอบสนอง	ผลการทดสอบ
อัตราขยายสัดส่วน	1.725
อัตราขยายปริพันธ์	0.214
เวลาขาขึ้น	15 ms

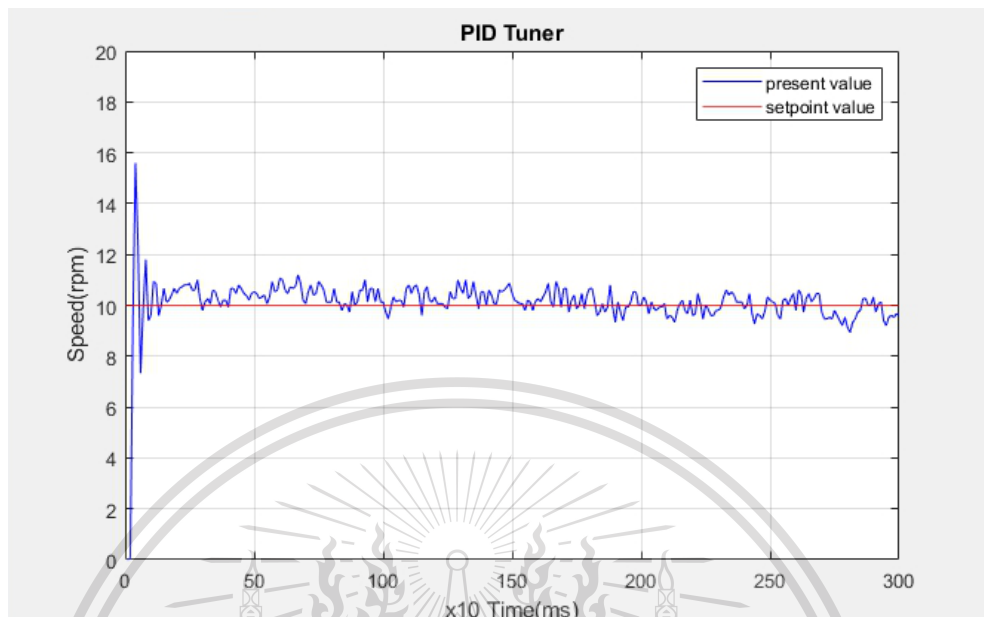
เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์มีค่าดังตารางที่ 4.2 ทำให้ได้ผลตอบสนองการควบคุมมอเตอร์ดังรูปที่ 4.12 และค่าเวลาขาขึ้นมีค่าประมาณ 15 ms ดังที่แสดงในรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

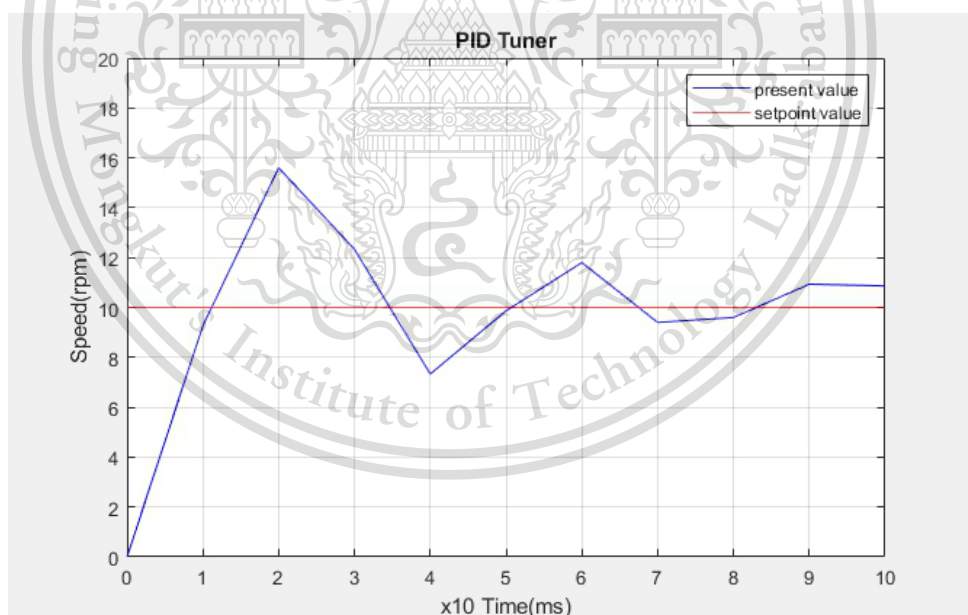
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.4.2 ผลตอบสนองของมอเตอร์ล้อขาที่ความเร็วเท่ากับ 10 rpm



รูปที่ 4.14 ผลตอบสนองการควบคุมมอเตอร์แบบวงรอบปิดของมอเตอร์ล้อขาที่ความเร็ว 10 rpm



รูปที่ 4.15 ค่าเวลาขาขึ้นของมอเตอร์ล้อขาที่ความเร็ว 10 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

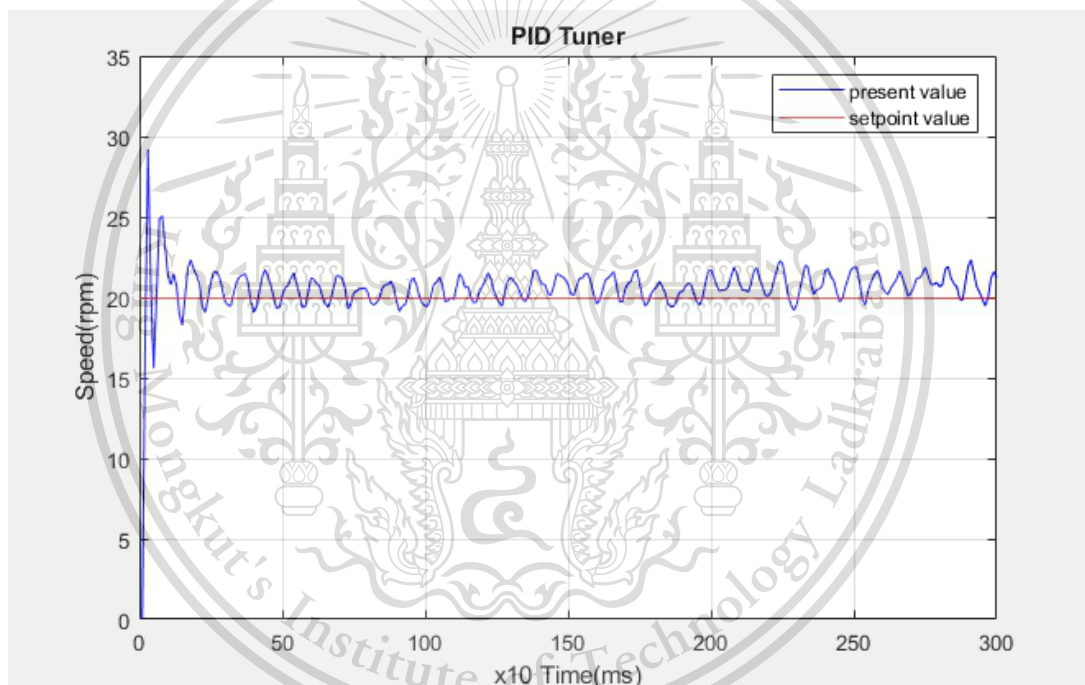
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.3 ค่าผลตอบสนองของมอเตอร์ล้อยาวที่ความเร็ว 10 rpm

ผลตอบสนอง	ผลการทดสอบ
อัตราขยายสัดส่วน	1.695
อัตราขยายปริพันธ์	0.2368
เวลาขาขึ้น	11 ms

เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์มีค่าดังตารางที่ 4.4 ทำให้ได้ผลตอบสนองการควบคุมมอเตอร์ดังรูปที่ 4.14 และค่าเวลาขาขึ้นมีค่าประมาณ 11 ms ดังที่แสดงในรูปที่ 4.15

4.4.3 ผลตอบสนองของมอเตอร์ล้อยาวที่ความเร็วเท่ากับ 20 rpm

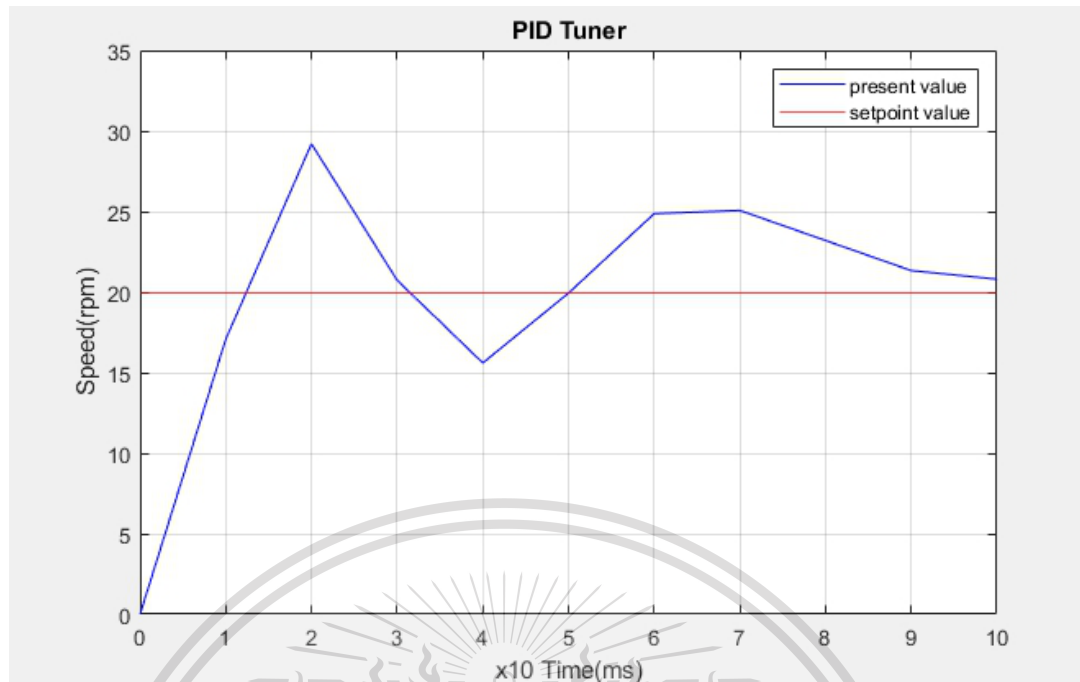


รูปที่ 4.16 ผลตอบสนองการควบคุมมอเตอร์แบบวงรอบปิดของมอเตอร์ล้อยาวที่ความเร็ว 20 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.17 ค่าเวลาขาขึ้นของมอเตอร์ล้อย้ายที่ความเร็ว 20 rpm

ตารางที่ 4.4 ค่าผลตอบสนองของมอเตอร์ล้อย้ายที่ความเร็ว 20 rpm

ผลตอบสนอง	ผลการทดสอบ
อัตราขยายสัดส่วน	1.695
อัตราขยายปริพันธ์	0.23
เวลาขาขึ้น	12 ms

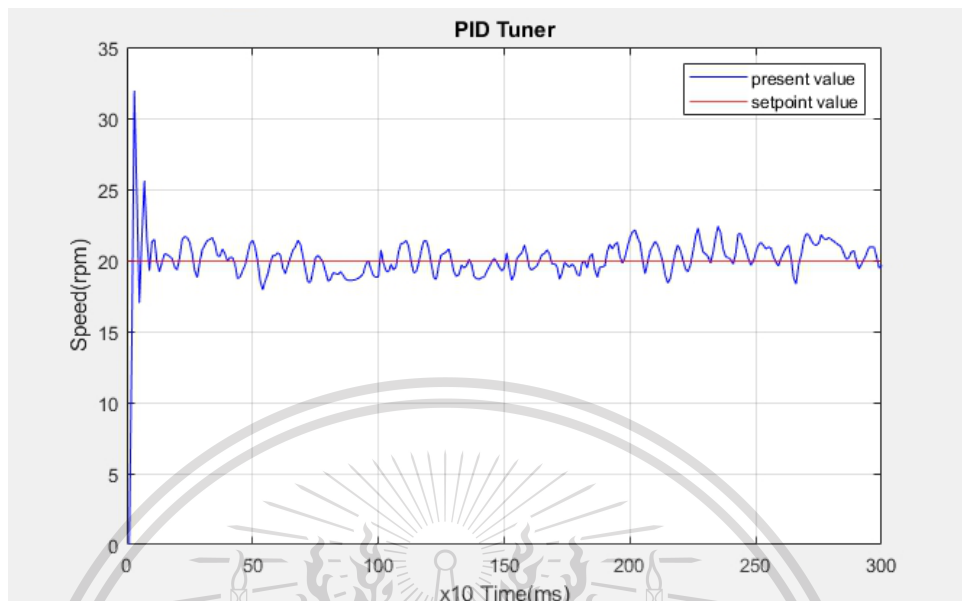
เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์มีค่าดังตารางที่ 4.5 ทำให้ได้ผลตอบสนองการควบคุมมอเตอร์ดังรูปที่ 4.16 และค่าเวลาขาขึ้นมีค่าประมาณ 12 ms ดังที่แสดงในรูปที่ 4.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

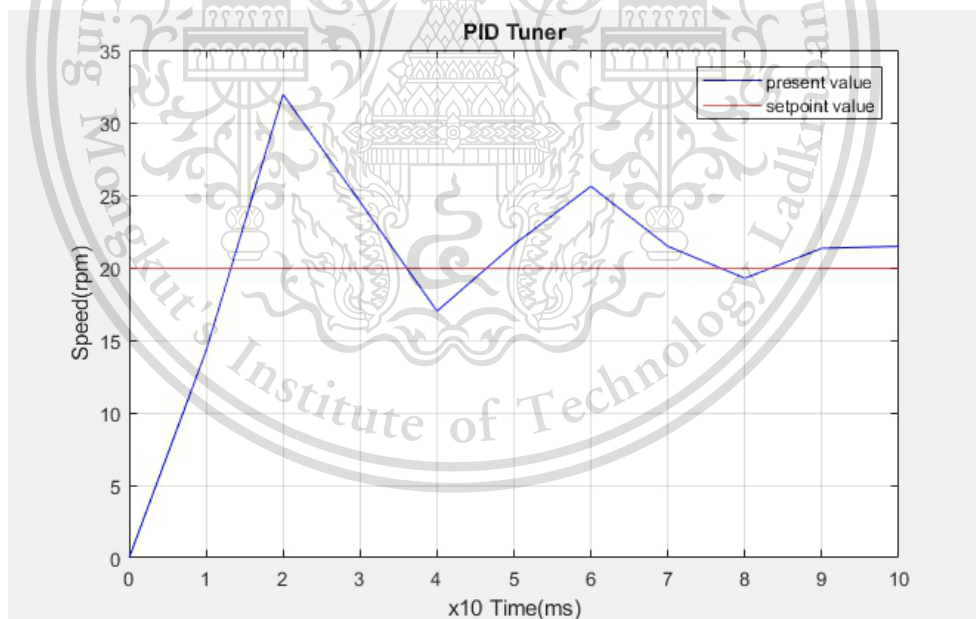
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.4.4 ผลตอบสนองของมอเตอร์ล้อขาที่ความเร็วเท่ากับ 20 rpm



รูปที่ 4.18 ผลตอบสนองการควบคุมมอเตอร์แบบวงรอบปิดของมอเตอร์ล้อขาที่ความเร็ว 20 rpm



รูปที่ 4.19 ค่าเวลาขาขึ้นของมอเตอร์ล้อขาที่ความเร็ว 20 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

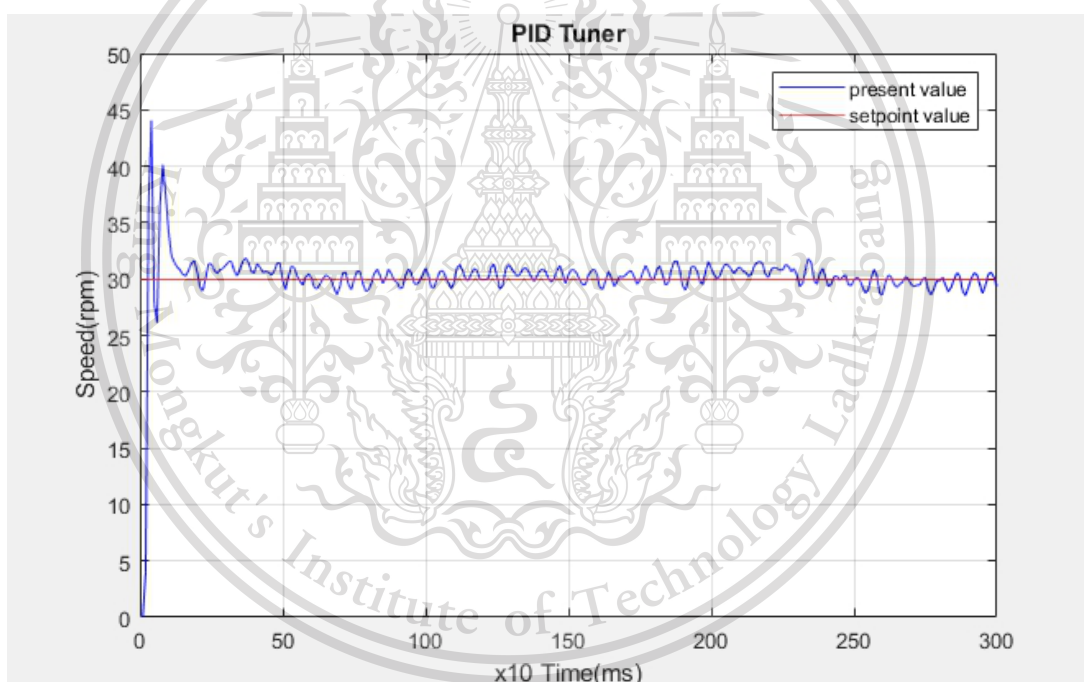
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.5 ค่าผลตอบสนองของมอเตอร์ล้อยาวที่ความเร็ว 20 rpm

ผลตอบสนอง	ผลการทดสอบ
อัตราขยายสัดส่วน	1.54
อัตราขยายปริพันธ์	0.2212
เวลาขาขึ้น	13 ms

เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์มีค่าดังตารางที่ 4.6 ทำให้ได้ผลตอบสนองการควบคุมมอเตอร์ดังรูปที่ 4.18 และค่าเวลาขาขึ้นมีค่าประมาณ 13 ms ดังที่แสดงในรูปที่ 4.19

4.4.5 ผลตอบสนองของมอเตอร์ล้อยาวที่ความเร็วเท่ากับ 30 rpm

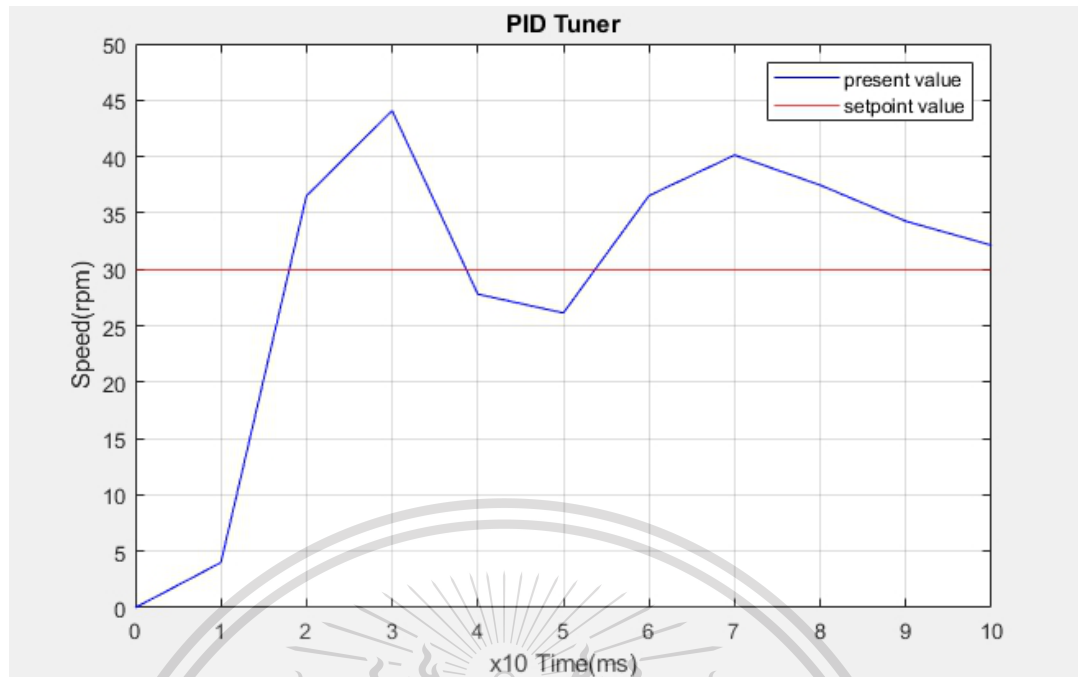


รูปที่ 4.20 ผลตอบสนองการควบคุมมอเตอร์แบบวงรอบปิดของมอเตอร์ล้อยาวที่ความเร็ว 30 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.21 ค่าเวลาขาขึ้นของมอเตอร์ล้อย้ายที่ความเร็ว 30 rpm

ตารางที่ 4.6 ค่าผลตอบแทนของมอเตอร์ล้อย้ายที่ความเร็ว 30 rpm

ผลตอบแทน	ผลการทดสอบ
อัตราขยายสัดส่วน	2.05
อัตราขยายปริพันธ์	0.26
เวลาขาขึ้น	18 ms

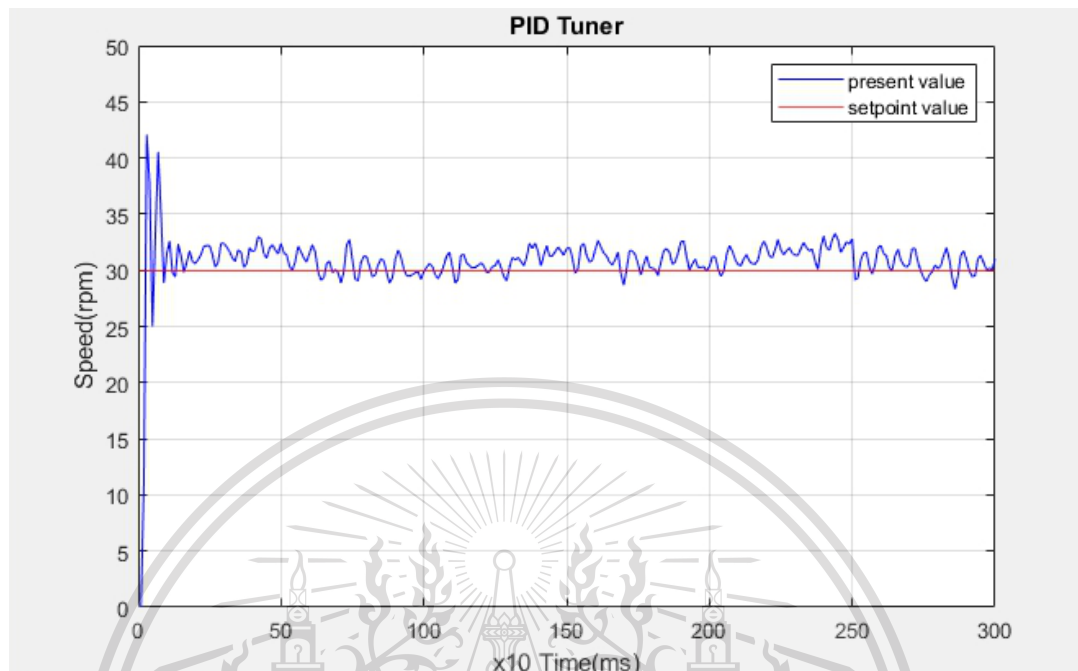
เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์มีค่าดังตารางที่ 4.7 ทำให้ได้ผลตอบแทนการควบคุมมอเตอร์ดังรูปที่ 4.20 และค่าเวลาขาขึ้นมีค่าประมาณ 18 ms ดังที่แสดงในรูปที่ 4.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

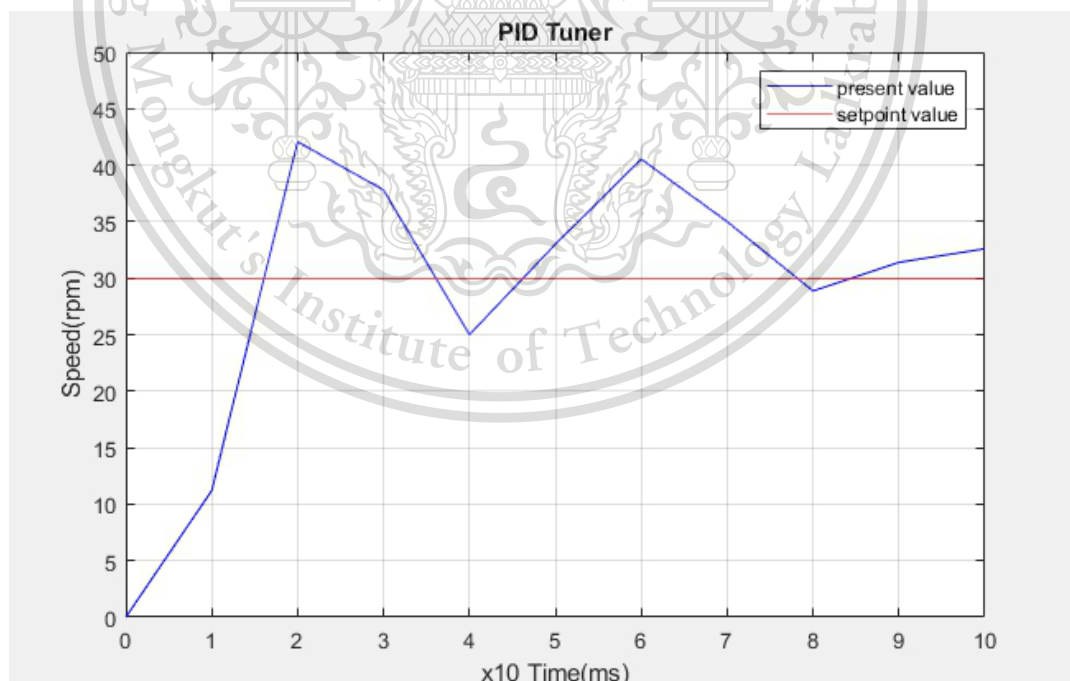
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.4.6 ผลตอบสนองของมอเตอร์ล้อขาที่ความเร็วเท่ากับ 30 rpm



รูปที่ 4.22 ผลตอบสนองการควบคุมมอเตอร์แบบวงรอบปิดของมอเตอร์ล้อขาที่ความเร็ว 30 rpm



รูปที่ 4.23 ค่าเวลาขาขึ้นของมอเตอร์ล้อขาที่ความเร็ว 30 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

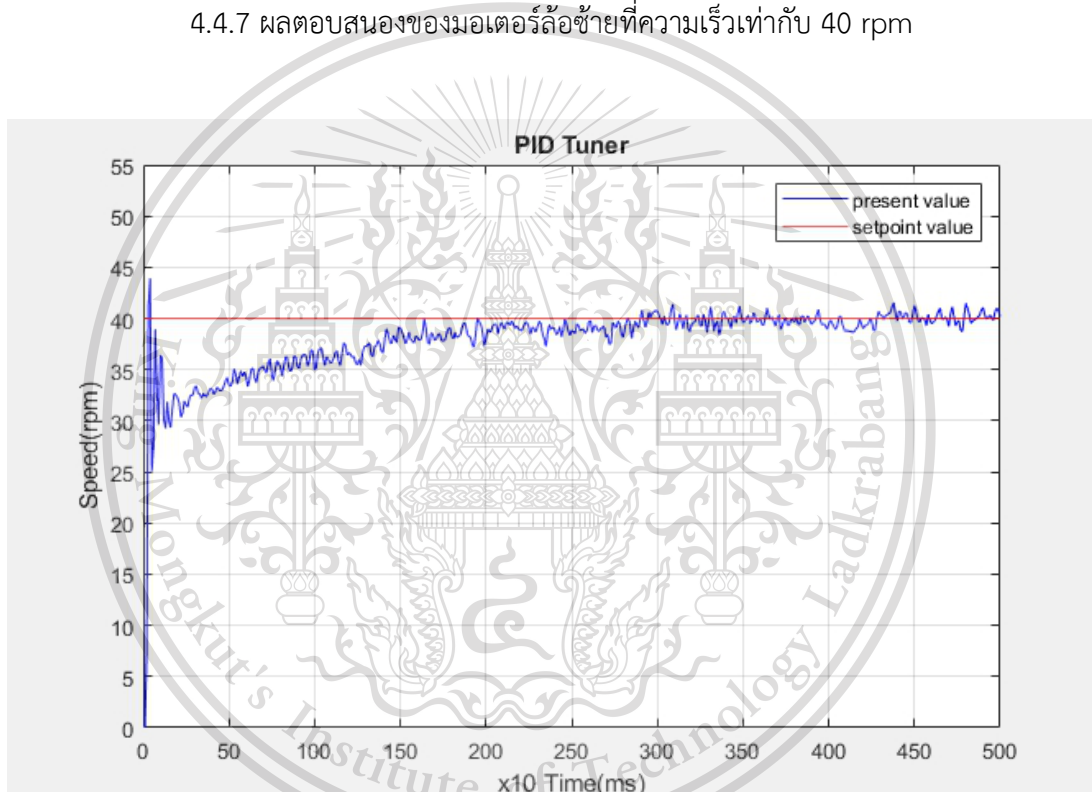
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.7 ค่าผลตอบสนองของมอเตอร์ล้อยาวที่ความเร็ว 30 rpm

ผลตอบสนอง	ผลการทดสอบ
อัตราขยายสัดส่วน	1.55
อัตราขยายปริพันธ์	0.235
เวลาขาขึ้น	16 ms

เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์มีค่าดังตารางที่ 4.8 ทำให้ได้ผลตอบสนองการควบคุมมอเตอร์ดังรูปที่ 4.22 และค่าเวลาขาขึ้นมีค่าประมาณ 16 ms ดังที่แสดงในรูปที่ 4.23

4.4.7 ผลตอบสนองของมอเตอร์ล้อยาวที่ความเร็วเท่ากับ 40 rpm



รูปที่ 4.24 ผลตอบสนองการควบคุมมอเตอร์แบบวงรอบปิดของมอเตอร์ล้อยาวที่ความเร็ว 40 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

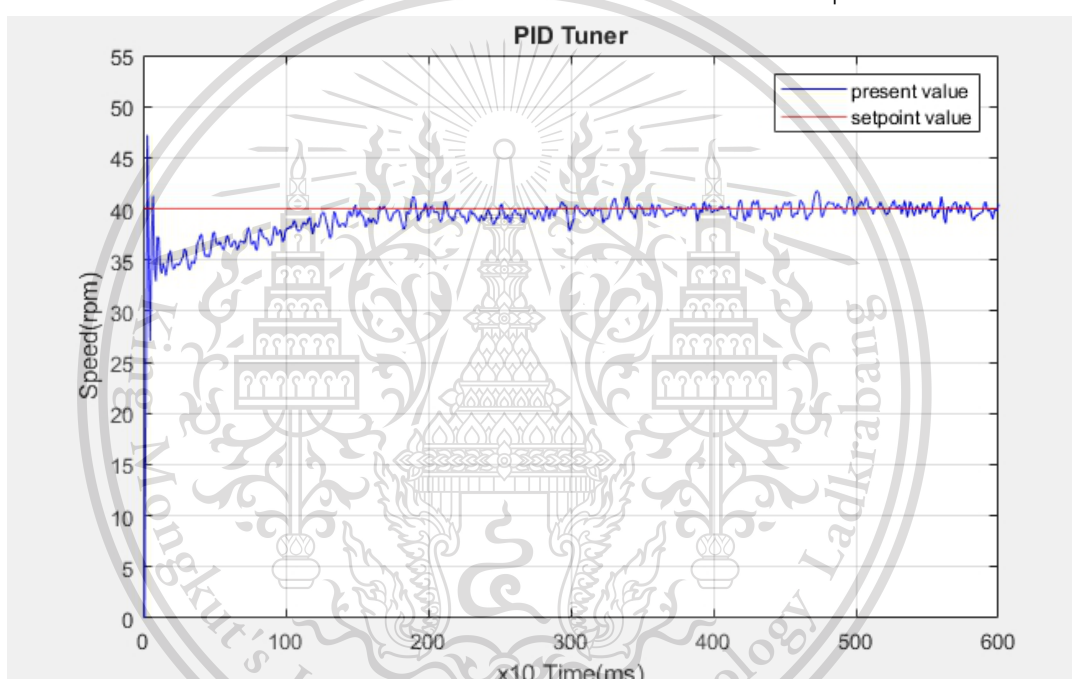
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.8 ค่าผลตอบสนองของมอเตอร์ล้อย้ายที่ความเร็ว 40 rpm

ผลตอบสนอง	ผลการทดสอบ
อัตราขยายสัดส่วน	2.15
อัตราขยายปริพันธ์	3.12
เวลาขาขึ้น	3 s

เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์มีค่าดังตารางที่ 4.9 ทำให้ได้ผลตอบสนองการควบคุมมอเตอร์ดังรูปที่ 4.24 และค่าเวลาขาขึ้นมีค่าประมาณ 3 s

4.4.8 ทดสอบของมอเตอร์ล้อย้ายที่ความเร็วเท่ากับ 40 rpm



รูปที่ 4.25 ผลตอบสนองการควบคุมมอเตอร์แบบวงรอบปิดของมอเตอร์ล้อย้ายที่ความเร็ว 40 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.9 ค่าผลตอบสนองของมอเตอร์ล้อขาที่ความเร็ว 40 rpm

ผลตอบสนอง	ผลการทดสอบ
อัตราขยายสัดส่วน	1.98
อัตราขยายปริพันธ์	3.1
เวลาขาขึ้น	2 s

เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์มีค่าดังตารางที่ 4.10 ทำให้ได้ผลตอบสนองการควบคุมมอเตอร์ดังรูปที่ 4.25 และค่าเวลาขาขึ้นมีค่าประมาณ 2 s

#### 4.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของรถขนส่งอัตโนมัติ

เมื่อทำการทดลองให้รถขนส่งอัตโนมัติเคลื่อนที่ตามแถบนำแม่เหล็กทางตรงพบว่าการทดสอบ 10 ครั้งไม่เกิดการแกว่งและเมื่อเคลื่อนที่ทางโค้งพบว่าการทดสอบ 5 ครั้ง พบว่ามีการหลุดโค้ง 2 ครั้ง ดังที่แสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของรถขนส่งอัตโนมัติ

ครั้งที่	การเคลื่อนที่ของรถขนส่งอัตโนมัติ		
	เริ่มเคลื่อนที่เข้าเส้น	ทางตรง	ทางโค้ง
1	รถมีการแกว่งค่อนข้างมาก	รถมีการแกว่งเล็กน้อย	รถมีการแกว่งเล็กน้อยขณะเริ่มเข้าโค้ง
2	รถมีการแกว่งค่อนข้างมาก	รถมีการแกว่งเล็กน้อย	รถมีการแกว่งเล็กน้อยขณะเริ่มเข้าโค้ง
3	รถมีการแกว่งเล็กน้อย	รถมีการแกว่งเล็กน้อย	รถมีการแกว่งเล็กน้อยขณะเริ่มเข้าโค้ง
4	รถมีการแกว่งเล็กน้อย	รถมีการแกว่งเล็กน้อย	รถมีการแกว่งเล็กน้อยขณะเริ่มเข้าโค้ง
5	รถมีการแกว่งเล็กน้อย	รถมีการแกว่งเล็กน้อย	รถมีการแกว่งเล็กน้อยขณะเริ่มเข้าโค้ง
6	รถมีการแกว่งเล็กน้อย	รถมีการแกว่งเล็กน้อย	รถมีการแกว่งเล็กน้อยขณะเริ่มเข้าโค้ง
7	รถมีการแกว่งเล็กน้อย	รถมีการแกว่งเล็กน้อย	รถมีการแกว่งเล็กน้อยขณะเริ่มเข้าโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่น หากฝ่าฝืนต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ครั้งที่	การเคลื่อนที่ของรถขนส่งอัตโนมัติ		
	เริ่มเคลื่อนที่เข้าเส้น	ทางตรง	ทางโค้ง
8	รถมีการแกว่งค่อนข้างมาก	รถมีการแกว่งเล็กน้อย	รถมีการแกว่งเล็กน้อยขณะเริ่มเข้าโค้ง
9	รถมีการแกว่งเล็กน้อย	รถมีการแกว่งเล็กน้อย	รถมีการแกว่งเล็กน้อยขณะเริ่มเข้าโค้ง
10	รถมีการแกว่งเล็กน้อย	รถมีการแกว่งเล็กน้อย	รถมีการแกว่งเล็กน้อยขณะเริ่มเข้าโค้ง

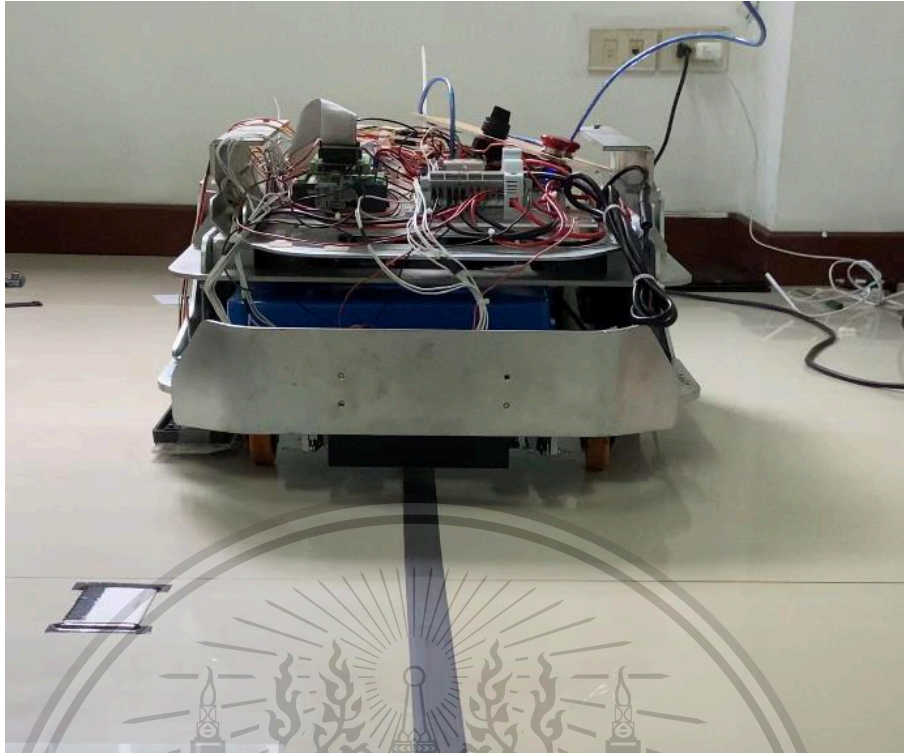


รูปที่ 4.26 ขณะที่รถขนส่งอัตโนมัติเริ่มเคลื่อนที่เข้าเส้น

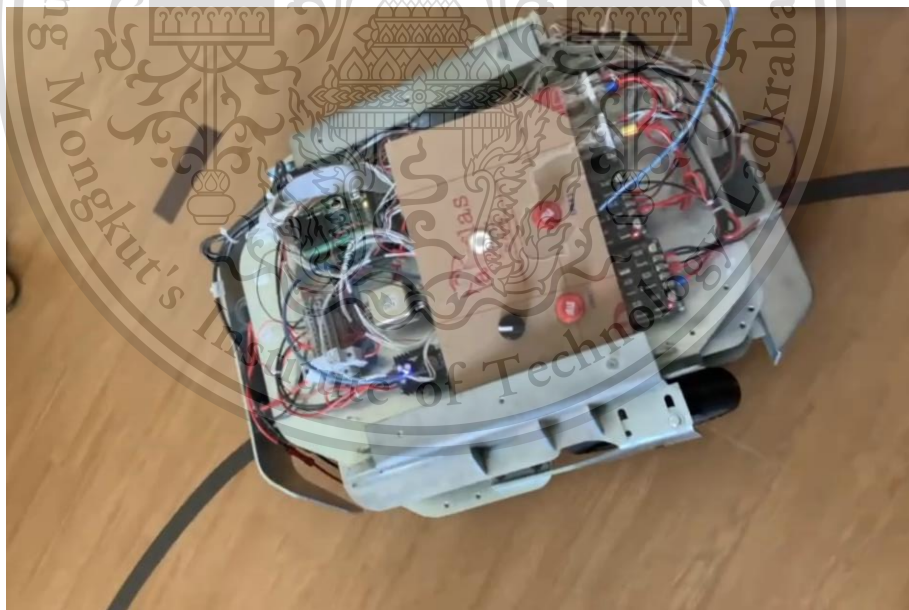
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.27 ขณะที่รถขนส่งอัตโนมัติเคลื่อนที่ทางตรง



รูปที่ 4.28 ขณะที่รถขนส่งอัตโนมัติเคลื่อนที่ทางโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.6 ผลการทดลองการสร้างวงจรป้องกันมอเตอร์

ทำการติดตั้งลิมิตสวิตช์ 2 ตัวที่กันชนหน้าและติด 2 ตัวที่กันชนหลัง เมื่อเจอร์รถลิ่งกีดขวาง วงจรป้องกันมอเตอร์จะทำงาน ส่งผลให้มอเตอร์หยุดหมุนทันที หรือในกรณีที่เกิดการทำงานที่ผิดปกติในตัวรถ ผู้ใช้งานสามารถกดปุ่ม Emergency stop ที่ติดตั้งไว้ที่ด้านหน้าและด้านหลังของรถได้ มอเตอร์ก็จะหยุดหมุนทันทีเช่นกัน

ตารางที่ 4.11 สถานะทำงานของอุปกรณ์ในวงจรป้องกันมอเตอร์

อุปกรณ์ขาเข้า			อุปกรณ์ขาออก	
ลิมิตสวิตช์	ปุ่ม Start	ปุ่ม E-Stop	รีเลย์	มอเตอร์
x	x	x	x	x
x	/	x	/	/
x	/	/	x	x
/	/	x	x	x
/	/	/	x	x

หมายเหตุ : เมื่อ / คือมีการทำงาน และ x คือไม่มีการทำงาน

จากการทดสอบวงจรป้องกันมอเตอร์ ระบบจะทำงานเมื่อกดปุ่ม Start และจะไม่ทำงานเมื่อลิมิตสวิตช์ทำงานหรือปุ่ม Emergency stop ถูกกด เมื่อระบบทำงานรีเลย์จะทำงานทำงานทำให้มอเตอร์หมุน และเมื่อระบบไม่ทำงานรีเลย์จะไม่ทำงานส่งผลให้มอเตอร์ไม่หมุน

#### 4.7 ผลการทดลองการสร้างสถานีอัดประจุไฟฟ้า

เมื่อออกแบบสถานีอัดประจุไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม Inventor เรียบร้อยแล้วจึงนำไปผลิตเป็นชิ้นงานจริง ดังที่แสดงในรูปที่ 4.24 และ 4.25 และนำอุปกรณ์สำหรับระบบการอัดประจุไฟฟ้าอัตโนมัติไปติดตั้ง ดังที่แสดงในรูปที่ 4.26

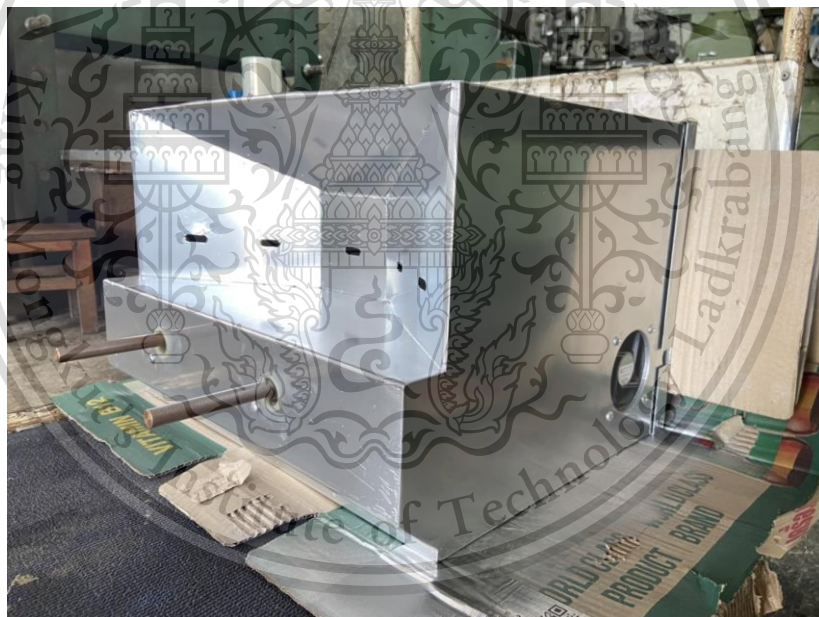
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.29 ด้านหน้าของสถานีอัดประจุไฟฟ้า

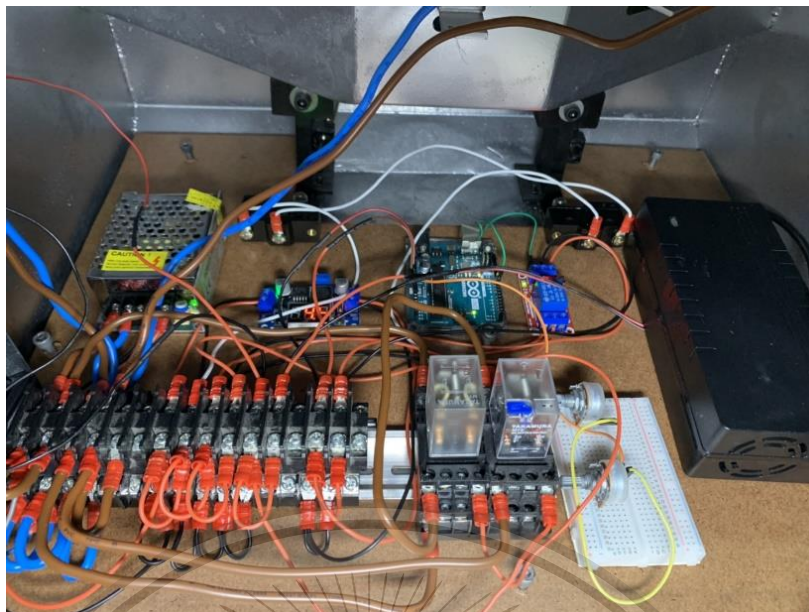


รูปที่ 4.30 ด้านข้างของสถานีอัดประจุไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.31 ภายในสถานีอัดประจุไฟฟ้า

#### 4.8 ผลการทดลองเกี่ยวกับสถานีอัดประจุไฟฟ้า

เมื่อสถานีอัดประจุไฟฟ้าอยู่ในสถานะพร้อมใช้งาน ขณะไม่จ่ายไฟ ไฟแสดงสถานะสีเขียวจะสว่าง ดังรูปที่ 4.27 และในขณะที่สถานีอัดประจุไฟฟ้ากำลังจ่ายไฟ ไฟแสดงสถานะสีแดงจะสว่าง ดังรูปที่ 4.28

#### ตารางที่ 4.12 การทำงานของแทนอัดประจุอัตโนมัติ

สถานการณ์ทำงาน	ไฟแสดงสถานะ	
	สีแดง	สีเขียว
1. ขณะไม่จ่ายไฟ	x	/
2. ขณะจ่ายไฟ	/	x
3. ไม่พร้อมใช้งาน	x	x

หมายเหตุ : เมื่อ / คือมีการทำงาน และ x คือไม่มีการทำงาน

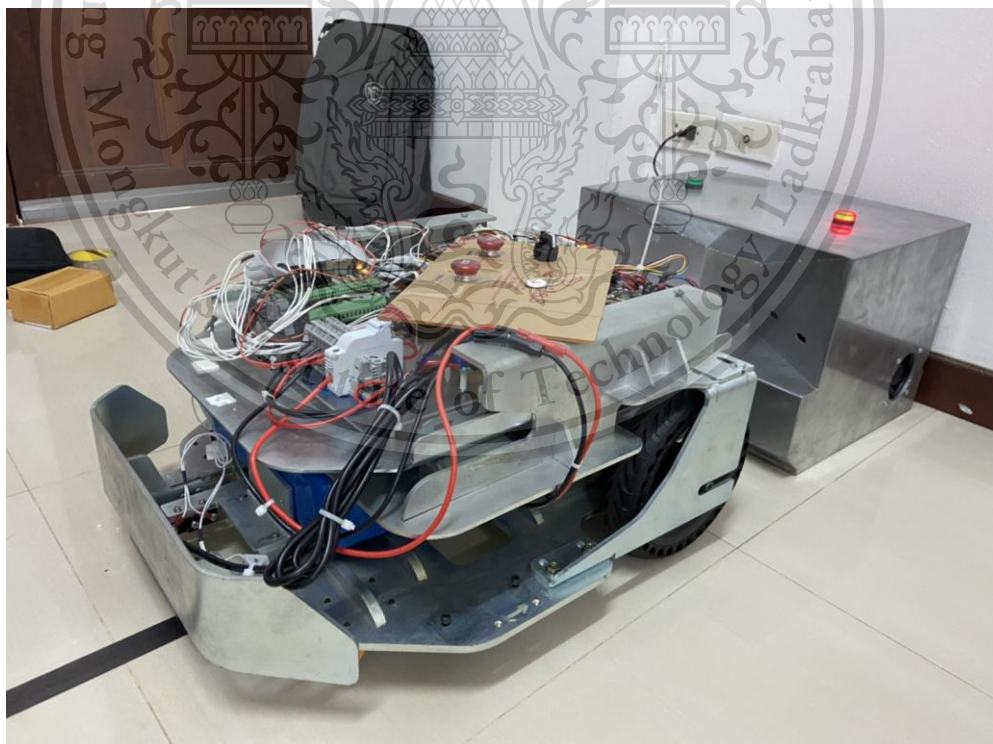
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.32 เมื่อสถานีอัดประจุไฟฟ้าอัตโนมัติอยู่ในสถานะพร้อมใช้งาน



รูปที่ 4.32 เมื่อสถานีอัดประจุไฟฟ้าอัตโนมัติกำลังจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.9 ผลการทดลองเมื่อรถขนส่งอัตโนมัติทำการอัดประจุ

เนื่องจากโครงรถและสถานีอัดประจุสร้างมาจากเหล็ก เมื่อแผ่นทองแดงที่ติดอยู่กับรถประกบกับแท่งทองแดงที่ยื่นออกมาจากสถานี ทำให้เกิดการอัดประจุเกิดขึ้น จึงทำการทดลองหามุมที่ปลอดภัยระหว่างรถและสถานีในการเข้าอัดประจุ ดังตารางที่ 4.4 และทำการทดลองการดันรถเข้าจอดที่สถานีอัดประจุ 10 ครั้ง พบว่าอัดประจุสำเร็จทุกครั้ง ดังตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.33 มุมระหว่างรถและสถานีอัดประจุ

#### ตารางที่ 4.13 การทดสอบหามุมที่ปลอดภัยระหว่างรถและสถานีในการอัดประจุ

มุมการเข้าจอด (องศา)	การทำงานของสถานีอัดประจุ
-4	ไม่ทำงาน
-3	ไม่ทำงาน
-2	ทำงาน
-1	ทำงาน
0	ทำงาน
1	ทำงาน
2	ทำงาน
3	ไม่ทำงาน
4	ไม่ทำงาน

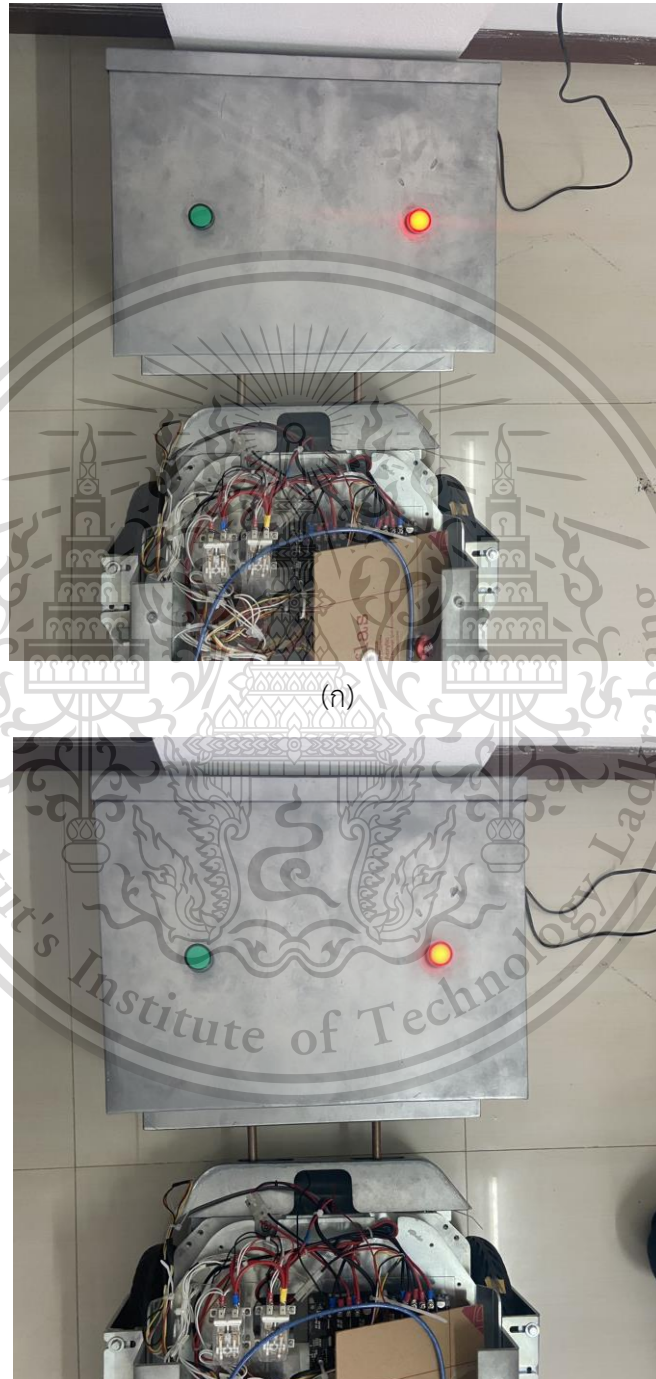
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากการทดสอบองศาที่เหมาะสมสำหรับการเข้าจอดเพื่อไม่ให้เกิดการลัดวงจร ระหว่างรถขนส่งกับสถานีอัดประจุ อยู่ในช่วง  $-2^{\circ}$  ถึง  $2^{\circ}$  เป็นมุมมองที่ปลอดภัยสำหรับการทำงาน หากเกินกว่ามุมที่ปลอดภัย จะทำให้เกิดการลัดวงจรได้



(ก)

(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.34 มุมระหว่างรถและสถานีในการอัดประจุ (ก) มุม 0 องศา (ข) มุม 2 องศา  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.14 การทดสอบการทำงานของสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่มุมเข้าจอด -2° ถึง 2°

ครั้งที่	การทำงานของสถานีอัดประจุไฟฟ้า
1	ทำงาน
2	ทำงาน
3	ทำงาน
4	ทำงาน
5	ทำงาน
6	ทำงาน
7	ทำงาน
8	ทำงาน
9	ทำงาน
10	ทำงาน

#### 4.10 ผลการทดลองการอัดประจุของแบตเตอรี่

เมื่อทำการวัดระดับแรงดันของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟต (LiFePO<sub>4</sub>) ขณะที่รถเข้าอัดประจุที่สถานีเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 4.33 จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่กับเวลาดังรูปที่ 3.34



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.35 การทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.36 ค่าแรงดันขณะอัดประจุให้แบตเตอรี่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการสร้างรถขนส่งอัตโนมัติ โดยใช้การควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงแบบลูปิดด้วยตัวควบคุมชนิดพีโอ ซึ่งจากการทดลองได้ทำการกำหนดความเร็วมอเตอร์ ขณะที่รถเคลื่อนที่อยู่บนกึ่งกลางแถบเส้นแม่เหล็กเท่ากับ 30 rpm เนื่องจากเป็นความเร็วที่สามารถควบคุมให้รถเคลื่อนที่ตามเส้นแถบแม่เหล็กได้โดยไม่หลุดจากเส้น ซึ่งจากการคำนวณด้วยวิธี จลนศาสตร์ผกผันการขับเคลื่อนแบบดิฟเฟอเรนเชียล ทำให้ได้พิกัดค่าความเร็วใช้งานของมอเตอร์ สูงสุดเท่ากับ 45 rpm และพิกัดค่าความเร็วใช้งานของมอเตอร์ต่ำสุดเท่ากับ 10 rpm เนื่องจากการ ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปิดหากใช้ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีโอที่ความเร็วทดสอบ เดียวไปใช้ควบคุมความเร็วอื่นๆ เมื่อมีผลต่างของความเร็วมากขึ้นอาจจะทำให้ผลตอบสนองมีค่าความ ผิดพลาดที่สภาวะคงตัวสูงขึ้นด้วย ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองกำหนดช่วงความเร็วในการปรับ ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีโอเป็น 4 ช่วง โดยกำหนดจากค่าพิกัดความเร็วใช้งานของมอเตอร์สูงสุด และต่ำสุดประกอบไปด้วย ที่ความเร็วทดสอบ 10 rpm ใช้งานในช่วงความเร็ว 8 ถึง 15 rpm ที่ ความเร็วทดสอบ 20 rpm ใช้งานในช่วงความเร็ว 16 ถึง 25 rpm ที่ความเร็วทดสอบ 30 rpm ใช้งาน ในช่วงความเร็ว 26 ถึง 35 rpm และ ที่ความเร็วทดสอบ 40 rpm ใช้งานในช่วงความเร็ว 36 ถึง 45 rpm พบว่าที่ความเร็ว 10 , 20 และ 30 rpm สามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ได้ดี ผลตอบสนอง ของระบบมีค่าเวลาขาขึ้นน้อยมากโดยมีค่าไม่เกิน 20 ms และเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวพบว่าค่า ความเร็วของมอเตอร์มีการแกว่งอยู่ระหว่างค่าความเร็วอ้างอิงไม่เกิน 3 rpm ในขณะที่ความเร็ว 40 rpm สามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ได้และผลตอบสนองของระบบเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวพบว่า ค่าความเร็วของมอเตอร์มีการแกว่งอยู่ระหว่างค่าความเร็วอ้างอิงไม่เกิน 3 rpm เช่นเดียวกัน แต่ ผลตอบสนองในช่วงเริ่มต้นนั้นมีค่าเวลาขาขึ้นสูงประมาณ 2 ถึง 3 วินาที เนื่องจากการทดลองพบว่า มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้งานไม่สามารถเริ่มเดินที่ความเร็วสูงกว่า 30 rpm ทันทีได้ ดังนั้นมอเตอร์ จึงต้องการเวลาในการเร่งความเร็วเพื่อให้ไปถึงค่าความเร็วที่กำหนด ดังนั้นที่ความเร็วสูงกว่า 30 rpm จึงมีค่าเวลาขาขึ้นสูง เมื่อให้รถขนส่งอัตโนมัติเคลื่อนที่ไปตามแถบนำแม่เหล็ก พบว่ารถขนส่งอัตโนมัติ สามารถเคลื่อนที่โดยไม่หลุดเส้น โดยขณะที่รถขนส่งอัตโนมัติเริ่มเคลื่อนที่เข้าสู่เส้นแถบแม่เหล็ก รถจะมี การแกว่ง จากการทดลองพบว่าค่าการแกว่งมากหรือน้อยนั้นขึ้นกับองศาของการเข้าเส้นแถบแม่เหล็ก ของรถขนส่งอัตโนมัติ เมื่อรถขนส่งอัตโนมัติเริ่มเคลื่อนที่เข้าสู่เส้นแถบแม่เหล็ก และรักษาตำแหน่งของ ตัวรถให้อยู่กึ่งกลางเส้นแถบแม่เหล็กได้แล้ว พบว่าขณะที่รถขนส่งอัตโนมัติเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงรถ จะมีการรักษาตำแหน่งให้อยู่กึ่งกลางเส้นแถบแม่เหล็กได้ดี และมีการแกว่งค่อนข้างน้อยมาก สำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่มิได้มีเหตุที่เปลี่ยนแปลงได้ และต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Guide Sensor) รุ่น MGS-H01 ที่นำมาใช้เป็นระบบนำทางของรถขนส่งอัตโนมัติ พบว่าระยะติดตั้งที่เหมาะสมควรสูงจากพื้น 6.35 เซนติเมตร เพื่อความแม่นยำในการตรวจจับแถบแม่เหล็กและผลการทดสอบการใช้งานเครื่องอ่านแท็กในระบบวิทยุ (RFID Reader) รุ่น WG26 dual frequency เพื่อเป็นอุปกรณ์ระบุตำแหน่งของตัวรถ เมื่อความเร็วของรถมีค่า 0.115 m/s และเครื่องอ่านแท็กที่ติดตั้งอยู่ที่ตัวรถอ่านแท็กเพื่อหยุดการเคลื่อนที่จำนวน 5 ครั้ง พบว่าค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนจากจุดอ้างอิงถึงตำแหน่งที่รถหยุดมีค่าประมาณ 12.6 เซนติเมตรและควรติดตั้งเครื่องอ่านแท็กที่ความสูงจากพื้น 1.48 เซนติเมตรและการใส่วงจรป้องกันมอเตอร์เข้าไปในตัวรถ ทำให้ไม่เกิดอันตรายต่ออุปกรณ์ภายในรถและผู้ใช้งาน

จากการศึกษา ออกแบบและสร้างต้นแบบสถานีอัดประจุไฟฟ้าอัตโนมัติ โดยใช้วัสดุที่ทำจากเหล็ก มีความมั่นคง แข็งแรง สามารถรองรับการเข้ามาจอดของรถขนส่งอัตโนมัติได้ เมื่อแบตเตอรี่ของรถขนส่งอัตโนมัติมีระดับแรงดันต่ำกว่า 23 โวลต์ รถจะเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางไปยังสถานีเพื่อทำการอัดประจุ โดยจากการทดลองการเข้าอัดประจุพบว่าแท่งทองแดงที่สถานีอัดประจุประกบพอดีกับแผ่นทองแดงที่ตัวรถพอดีและจากการทดลองหามุมที่ปลอดภัยระหว่างรถและสถานีในการเข้าอัดประจุพบว่ามุมที่ปลอดภัยของการเข้าอัดประจุอยู่ระหว่างมุม  $-2$  ถึง  $2$  องศา ซึ่งมุมดังกล่าวจะไม่ส่งผลให้ตัวรถหรือสถานีอัดประจุเกิดความเสียหาย จากนั้นได้ทำการทดลองการอัดประจุของแบตเตอรี่ตั้งแต่ระดับแรงดัน 26.69 โวลต์จนถึง 29.11 โวลต์ใช้เวลาในการอัดประจุประมาณ 2 ชั่วโมง

### วิจารณ์ผลการทดลอง

1. หากมีการออกแบบเส้นทางของแถบแม่เหล็กใหม่ อาจต้องมีการปรับค่าพารามิเตอร์ของการอ่านค่าแถบแม่เหล็กใหม่เพื่อให้รถเคลื่อนที่ตามเส้นทางได้มีประสิทธิภาพ
2. ในกรณีที่ต้องการให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วต่ำแต่มีภาระสูง จะส่งผลให้ความเร็วของมอเตอร์สั่งไม่สามารถควบคุมให้คงที่ได้ เนื่องจากการควบคุมความเร็วใช้วิธีการควบคุมด้วยแรงดันอาร์เมเจอร์ซึ่งจะแปรผันตามความเร็วของมอเตอร์ ดังนั้นในสถานะที่ภาระคงตัวและต้องการให้ความเร็วต่ำจะต้องควบคุมให้แรงดันอาร์เมเจอร์มีค่าต่ำตามความเร็ว จะส่งผลให้มีกำลังไฟฟ้าต่ำ ซึ่งอาจจะไม่เพียงพอต่อการขับภาระทางกลที่ใช้งานอยู่ในขณะนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางการแก้ไข

1. การการปรับค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ถ้าระบบมีค่าความเร็วปัจจุบัน (Present Value) สูงกว่าค่าสัญญาณอ้างอิง (Setpoint) จะส่งผลให้สัญญาณขาออกมีค่าเป็นลบ ทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางย้อนกลับและเนื่องจากเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะทำให้เกิดผลของแรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับ (Back EMF) ซึ่งจะส่งผลให้ความเร็วของมอเตอร์เกิดการสั่นในระดับประมาณ 10 rpm แก้ปัญหาโดยการปล่อยให้มอเตอร์หมุนอย่างอิสระจนกระทั่งความเร็วปัจจุบันกลับมามีค่าน้อยกว่าความเร็วอ้างอิง จากนั้นเริ่มทำการปรับค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอดีอีกครั้ง
2. ปัญหาการใช้งาน PLC Mitsubishi FX2N-20MR ไม่สามารถส่งค่าให้กับคอนโทรลเลอร์ ตัวอื่นได้ จึงได้เปลี่ยนมาใช้ CONTROLLINO MEGA ที่มีการทำงานเทียบเท่ากับ PLC แทน
3. แรงดันไฟฟ้าจากไมโครคอนโทรลเลอร์ (Controllino Mega) จ่ายให้กับเครื่องอ่านแท็กในระบบวิทยุ (RFID Reader) ไม่เพียงพอ แก้ปัญหาโดยการใช้แหล่งจ่ายไฟแยก
4. ความเร็วในการอ่านค่าของเครื่องอ่านแท็กในระบบวิทยุ (RFID Reader) สามารถอ่านได้ที่ความเร็วของ 0.230 m/s ถ้าความเร็วเกินกว่า 0.230 m/s เครื่องอ่านแท็กในระบบวิทยุไม่สามารถอ่านค่าได้ แก้ปัญหาโดยเพิ่มระดับแรงดันที่จ่ายให้กับเครื่องอ่านแท็กในระบบวิทยุ ให้มีค่าเท่ากับ 12 V<sub>dc</sub>
5. ด้วยสถานการณ์โควิด-19 แพร่ระบาด ส่งผลให้ไม่สามารถเข้าไปทำปริญญานิพนธ์ที่สถาบันได้ จึงทำให้แผนงานมีความล่าช้า แก้ปัญหาโดยการลดเนื้องานลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## ข้อเสนอแนะ

1. ใช้มอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน (BLDC) แทนมอเตอร์มีแปรงถ่าน เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงกว่า สามารถให้แรงบิดปริมาณมากในหลายช่วงกำลังได้
2. ปรับตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับการเคลื่อนที่ตามเส้นให้ดียิ่งขึ้น เพื่อให้รถมีการแกว่งน้อย และเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงขึ้นได้
3. พัฒนาคอนเวอร์เตอร์ (Converter) ให้มีพิกัดกระแสสูงขึ้น เพื่อลดระยะเวลาในการอัดประจุแบตเตอรี่
4. สร้างจอแสดงสถานะและแอปพลิเคชันมาใช้ในการควบคุมการทำงานรถขนส่งอัตโนมัติและสถานีอัดประจุอัตโนมัติจะทำให้สามารถควบคุมทั้งตรวจสอบสถานะของรถได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บรรณานุกรม

- [1] กฤตพัฒน์ อนันต์ลักษณ์ และ คณะ, “รถขนส่งขับเคลื่อนอัตโนมัติ,” **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2557.
- [2] ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย, “เครื่องจักรกลไฟฟ้า 1,” **เอกสารคำสอน**, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2558, หน้า 68-79.
- [3] G-tech, “เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง,” [Online]. Available: <http://www.g-tech.ac.th/> [Accessed: 30 เมษายน 2564].
- [4] Chrovj Engineering, (2017 Oct), “Working Principle of DC Motor (animation of elementary model)” [Online]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=j\\_F4limaHYI](https://www.youtube.com/watch?v=j_F4limaHYI). [Accessed: 30 เมษายน 2564].
- [5] R. Krishnan, **Electric motor drives: modeling, analysis, and control**, New Jersey, Prentice Hall, Inc., 2001.
- [6] พิชิต ล้ำยอง, **เครื่องจักรกลไฟฟ้า**, ครั้งที่ 4, กรุงเทพฯ, ห้างหุ้นส่วนจำกัด มิน เซอร์วิส ซัพพลาย, 2559.
- [7] วิภพ ใจแข็ง, “ตำราวิชาการระบบควบคุม” [Online]. Available: [http://www.intech.crru.ac.th/research\\_ind/display\\_dissemin.asp?yreq=2560&treq=t1006](http://www.intech.crru.ac.th/research_ind/display_dissemin.asp?yreq=2560&treq=t1006). [Accessed: 1 พฤษภาคม 2564].
- [8] พัศกร พูลสวัสดิ์, “การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงด้วยวงจรถูกซิปเปอร์,” **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยบูรพา, 2560.
- [9] Modular Circuits, “H-Bridges- the Basics” [Online]. Available: <https://www.Modularcircuits.com/blog/articles/h-bridge-secrets/h-bridges-the-basics/> [Accessed: 1 พฤษภาคม 2564].
- [10] สราวุธ นาขมื่น และ นิชนันท์ ขาวมงคล, “พาหนะขนส่งเคลื่อนที่อัตโนมัติด้วยระบบขับเคลื่อนแบบล้อแมคคานัม,” **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยบูรพา, 2560.
- [11] E. Maulana, M. A. Muslim, and A. Zainuri, “Inverse kinematics of a two-wheeled differential drive an autonomous mobile robot,” **EECCIS**, Vol.7, N0.92, 2014, p.93-98.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บรรณานุกรม

- [12]STMicroelectronic, “STM32F411RE” [Online]. Available: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f411re.html>. [Accessed: 1 พฤษภาคม 2564].
- [13]Controllino, “CONTROLLINO MEGA” [Online]. Available: <https://www.controllino.com/downloads/#datasheets>. [Accessed: 1 พฤษภาคม 2564].
- [14]ARDUINO, “Arduino Mega 2560 rev3” [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>. [Accessed: 1 พฤษภาคม 2564].
- [15] Shanghai Yuanben Magnetolectric Tech, “MGS-H01 Magnetic Guidance Sensor”, **User manual**, Shanghai Yuanben Magnetolectric Tech. Co., Ltd.
- [16]คมสัน ระงับพิศม์ และ นิพนธ์ เพ็ชรคาน, “ระบบที่จอดรถโดยใช้อาร์เอฟไอดี,” **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

# การควบคุมความเร็วมอเตอร์สำหรับรถขนส่งอัตโนมัติและสถานีอัดประจุไฟฟ้าอัตโนมัติ

## SPEED CONTROL MOTOR FOR AUTOMATED GUIDED VEHICLE (AGV)

### AND AUTOMATIC CHARGING STATION

กัญญารัตน์ กอบกลางเจริญ<sup>1</sup> กุศลสิน ชันผง<sup>2</sup> ฐนันทพัทธ์ วิวัฒน์นิมิตดี<sup>1</sup> และ วุฒิพงษ์ เทพลีสิทธิ์<sup>1</sup>

ดร.ภูมิ คงหัวรอบ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

<sup>1</sup> ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-Mail : power@kmitl.com

#### บทคัดย่อ

เนื่องจากสถานการณ์โควิด-19 ในปัจจุบัน ที่จำเป็นต้องลดการสัมผัสและการแพร่เชื้อของไวรัส เป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาระบบขนส่งให้มีประสิทธิภาพและช่วยชะลอการแพร่ระบาดในทั้งทางการแพทย์ และทางอุตสาหกรรม ดังนั้นปรัชญาวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทำการพัฒนารถขนส่งจากต้นแบบรวมทั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ สำหรับพัฒนาชิ้นส่วนรถขนส่งอัตโนมัตินั้นใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Controllino Mega) เป็นระบบประมวลผลกลางในการควบคุมหุ่นยนต์ให้เดินตามเส้นแม่เหล็ก และการอ่านค่าตำแหน่งจาก RFID เพื่อระบุตำแหน่งจอด และควบคุมความเร็วล้อโดยส่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32F411RE – Nucleo64) เพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ ซึ่งผลการทดสอบผลตอบสนองของมอเตอร์สามารถควบคุมความเร็วได้ดีและมีค่าเวลาขาขึ้นน้อย นอกจากนี้ได้ทำการออกแบบมีวงจรป้องกันมอเตอร์ทำหน้าที่ตัดการทำงานของมอเตอร์เมื่อเกิดการชนหรือเกิดความผิดปกติขณะทำงาน เมื่อแบตเตอรี่ถึงระดับที่กำหนดรถจะอ่าน RFID ที่ระบุการทำงานเพื่อให้รถเคลื่อนที่ไปยังสถานีอัดประจุไฟฟ้า โดยภายในสถานีอัดประจุถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Mega) ชุดที่ 2 ซึ่งมีอุปกรณ์วัดระดับแรงดันและลิมิตสวิตซ์ในการตรวจจบการเข้าจอดของรถ เมื่ออุปกรณ์ทั้งสองตรวจสอบได้ว่ามีระดับแรงดันและมีรถเข้าจอด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้รีเลย์ควบคุมการจ่ายแรงดันให้กับแบตเตอรี่อย่างอัตโนมัติ

คำสำคัญ : การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง , ตัวควบคุมพีไอ

#### Abstract

Due to covid-19 situation, it is necessary to reduce exposure of viruses. Therefore, we have developed a prototype Automated Guided Vehicle (AGV) to be more efficient in both medical and industrial areas by making automatic transport vehicles and automatic charging stations. The AGV uses a Controllino Mega as center processing of this mobile robot to drive along with magnetic tape and identify work with RFID card. Then, the value is sent to the STM32F411RE – Nucleo64 to control

the speed of motor using the PI controller. The response of motor can control the speed and rise time is low. The interlock circuit will eliminate the risk when an abnormal situation occurs while AGV is operating. The AGV will move to a charging station when the battery is lower than limitation. The automatic charging station is controlled by an Arduino Mega. If the controller detect voltage from AGV and the limit switches are detected, the charger is working. Keyword : Speed control motor, PI Controller

#### 1. บทนำ

เนื่องจากสถานการณ์โควิด-19 ที่แพร่ระบาดทั่วโลก ส่งผลกระทบต่อวิถีชีวิต ระบบเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม ดังนั้นรถขนส่งอัตโนมัติจึงมีความสำคัญในด้านงานอุตสาหกรรม เนื่องจากทำหน้าที่ได้เสมือนคน สามารถเพิ่มผลผลิต ลดระยะเวลาที่สูญเสียในระบบ ลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นระหว่างการทำงาน สามารถตรวจสอบความถูกต้องสามารถควบคุมความเร็วของตัวรถและกำหนดเส้นทางในการเคลื่อนที่ให้เป็นไปตามที่ต้องการและในขณะที่เดินรถอัตโนมัติสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ในสถานการณ์โควิด-19 เพื่อชะลอการแพร่ระบาดของเชื้อโรคได้ เช่น การนำรถขนส่งอัตโนมัติขนส่งยาไปแจกจ่ายให้แก่ผู้ป่วยในแต่ละห้อง ซึ่งเป็นการลดการสัมผัสระหว่างบุคลากรทางการแพทย์กับคนไข้ ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาการควบคุมความเร็วมอเตอร์สำหรับรถขนส่งอัตโนมัติและสร้างต้นแบบสถานีอัดประจุไฟฟ้าอัตโนมัติ โดยเมื่อแบตเตอรี่มีระดับแรงดันต่ำกว่าที่กำหนดไว้รถขนส่งอัตโนมัติจะสามารถกลับไปอัดประจุที่แทนอัดประจุจะเกิดการอัดประจุแบบอัตโนมัติ ทำให้ลดภาระของพนักงานและสามารถลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นภายในระบบได้

#### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

โดยหลักการการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบด้วย สลักแม่เหล็ก ที่ได้มาจากแม่เหล็กถาวร (Permanent magnet) เกิดเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับงานวิจัยเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้อ่านไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยหลักการการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบด้วย สลักแม่เหล็ก ที่ได้มาจากแม่เหล็กถาวร (Permanent magnet) เกิดเป็น

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ขั้วแม่เหล็กทั้งสองขั้วและขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature Winding) วางอยู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็กทั้งสองขั้ว เมื่อให้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงภายนอกจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ไหลในขดลวดอาร์มาเจอร์ผ่านซี่คอมมิวเตเตอร์กับแปรงถ่านที่ทำหน้าที่จัดเรียงกระแสที่ไหลเข้าขดลวดอาร์มาเจอร์ จะสังเกตได้ว่าขดลวดที่อยู่ภายใต้ขั้ว N มีทิศทางตรงกันข้ามกับขดลวดที่อยู่ภายใต้ขั้ว S ส่งผลให้เกิดแรงกระทำที่มีทิศตรงข้ามกัน ทำให้ขดไปในทิศตามเข็มนาฬิกา เมื่อลวดตัวนำเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็กทำให้เกิดค่าแรงดันเหนี่ยวนำ (e) โดยเมื่อลวดเหนี่ยวนำเคลื่อนที่หมุนไป ณ ตำแหน่งมุม  $\theta$  ต่าง ๆ ทำให้ค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นมีค่าและทิศเปลี่ยนแปลง

## 2.2 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิด H-Bridge Switching

หลักการของวงจรมอเตอร์นั้นจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์สวิตช์ 4 ตัว สำหรับควบคุมการของวงจรซึ่งเป็นมอเตอร์กระแสตรง ในการทำงานสามารถควบคุมมอเตอร์ได้ 4 โหมด คือ

- 2.2.1 โหมดหมุนอิสระ คือ การสั่งให้สวิตช์เปิดทั้ง 4 ตัว ทำให้มอเตอร์ไม่มีไฟ มอเตอร์หยุดหมุนด้วยแรงเฉื่อย
- 2.2.2 โหมดหมุนไปข้างหน้า คือ การสั่งให้สวิตช์คู่ใดคู่หนึ่งทำงาน จะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลเข้ามอเตอร์ในทิศทางหนึ่งซึ่งเป็นทิศทางสมมติให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา
- 2.2.3 โหมดหมุนย้อนกลับ คือ การสั่งให้สวิตช์อีกคู่หนึ่งทำงาน จะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลเข้ามอเตอร์ในทิศทางตรงข้ามซึ่งทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา
- 2.2.4 โหมดหยุดหมุน คือ การทำให้ขั้วของมอเตอร์ลัดวงจรกันในขณะที่มอเตอร์กำลังหมุนด้วยแรงเฉื่อย ขดลวดอาร์มาเจอร์ที่ตัดสนามแม่เหล็กจะมีกระแสเหนี่ยวนำทำให้มีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นในทิศทางต้านกับการหมุนของขดลวดอาร์มาเจอร์ ทำให้แกนมอเตอร์หยุดหมุนอย่างรวดเร็ว

เนื่องจากการควบคุมดังกล่าวไม่สามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ได้ จึงใช้สัญญาณพัลส์แบบ PWM (Pulse Width Modulation) ความเร็วจะใช้การปรับค่า Duty cycle เพื่อควบคุมความเร็วของ

## 2.3 ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์ (PI-Control)

ตัวควบคุมแบบพีไอ คือ การนำเอาวิธีควบคุมแบบพีและไอ มารวมกัน โดยมีเป้าหมายคือเพิ่มความสามารถของการควบคุมให้มีเสถียรภาพที่ดียิ่งขึ้น สามารถขจัดค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัว (Steady State Error) ได้แต่ผลตอบสนองยังได้จะยังมีค่าพุ่งเกินเหมือนเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.4 จลนศาสตร์ผกผันการขับเคลื่อนแบบดิฟเฟอเรนเชียล

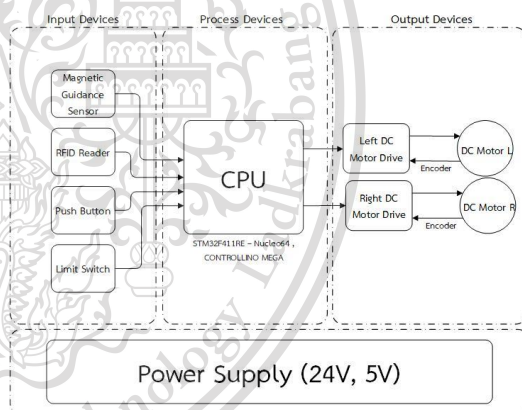
การขับเคลื่อนหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบ Two-Wheeled Differential (TWD) สามารถคำนวณความเร็วเชิงมุม ( $\omega_R$ ) ของล้อขวาดังสมการ (1) และความเร็วเชิงมุม ( $\omega_L$ ) ของล้อซ้ายดังสมการ (2)

$$\omega_R = \left(1 + \frac{L_{MR}}{2R_r}\right) \frac{V}{R} \tag{1}$$

$$\omega_L = \left(1 - \frac{L_{MR}}{2R_r}\right) \frac{V}{R} \tag{2}$$

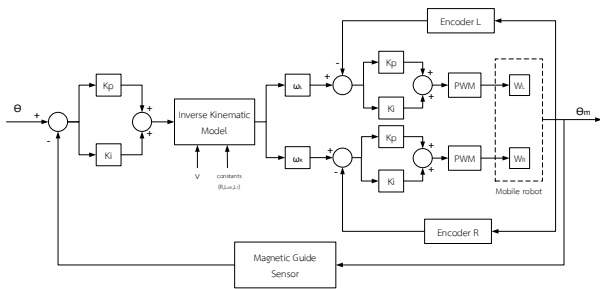
## 3. การออกแบบและสร้างระบบการทำงาน

รถขนส่งอัตโนมัติใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Controllino Mega) ในการอ่านแท็กผ่านเครื่องอ่านแท็กในระบบวิทยุ (RFID Reader) เพื่อระบุตำแหน่งของรถ อ่านค่าแอมป์แม่เหล็กจากเซนเซอร์ตรวจจับแม่เหล็ก และใช้จลนศาสตร์ผกผันเพื่อหาความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ จากนั้นส่งค่าความเร็วที่ได้รับให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32F411RE – Nucleo64) เพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบลูปปิด โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอและมีวงจรป้องกันมอเตอร์ทำหน้าที่ตัดวงจรเมื่อเกิดการชนหรือเกิดความผิดปกติขณะที่รถทำงาน



### 3.1 ระบบควบคุมรถขนส่งอัตโนมัติ

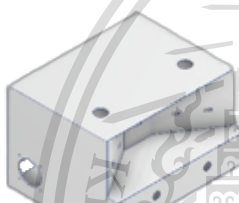
ระบบควบคุมรถขนส่งอัตโนมัติเป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับสองวงรอบ ดังที่แสดงในรูป 2 ประกอบไปด้วยวงรอบนอกคือระบบควบคุมการตรวจจับเส้นแอมป์แม่เหล็กแบบลูปปิด และวงรอบในคือระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแม่เหล็กถาวรแบบลูปปิด



รูปที่ 2 ระบบควบคุมการตรวจจับเส้นแถบแม่เหล็กแบบลูปปิด

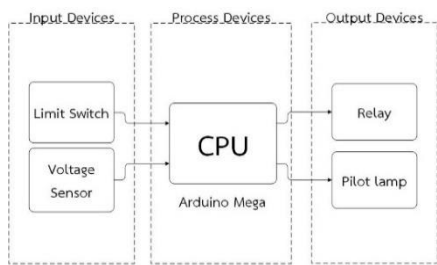
### 3.2 การสร้างสถานีอัดประจุไฟฟ้า

รูปแบบโครงสร้างของสถานีอัดประจุไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 3 และวัสดุที่ใช้คือเหล็กที่ฐานมีความหนา 10 มิลลิเมตร ด้านซ้ายและขวามีความหนา 5 มิลลิเมตร ด้านหน้า, ด้านบนและฝาหลังมีความหนา 1.5 มิลลิเมตร โดยระบบการทำงานภายในสถานีอัดประจุ ดังรูปที่ 4

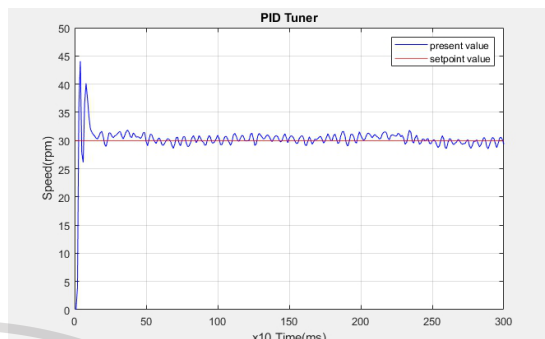


รูปที่ 3 สถานีอัดประจุไฟฟ้าในโปรแกรม Inventor

หลักการการทำงานของระบบอัดประจุอัตโนมัติ เมื่อแบตเตอรี่ของรถขนส่งอัตโนมัติมีระดับแรงดันต่ำกว่าที่กำหนด รถจะเคลื่อนที่กลับไปยังสถานีเพื่อทำการอัดประจุ ภายในสถานีอัดประจุอัตโนมัติถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Mega) ซึ่งมีอุปกรณ์สำหรับวัดระดับแรงดันและลิมิตสวิตช์ในการตรวจจับการชนของรถ เมื่ออุปกรณ์ทั้งสองตรวจสอบว่ามีรถเข้ามาจอดและวัดค่าระดับแรงดันของรถ ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Mega) สั่งงานให้รีเลย์ควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ภายในรถ และเมื่อทำการอัดประจุแบตเตอรี่เรียบร้อยแล้ว รถจะเคลื่อนที่ออกจากสถานีเพื่อทำการกิจต่อไป



### 4.3 ผลตอบสนองของมอเตอร์ล้อย้ายเมื่อกำหนดให้หมุนด้วยความเร็วเท่ากับ 30 rpm



รูปที่ 5 ผลตอบสนองการควบคุมมอเตอร์แบบวงรอบปิดของมอเตอร์ล้อย้ายที่ความเร็ว 30 rpm

เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์  $K_p = 2.05$  และ  $K_i = 0.26$  ทำให้ได้ผลตอบสนองการควบคุมมอเตอร์ดังรูปที่ 6 และค่าเวลาขาขึ้นมีค่าประมาณ 18 ms

### 4.4 การหยุดรถขนส่งอัตโนมัติ

สามารถทำให้รถหยุดได้เมื่อนำ RFID Reader ติดตั้งที่ตัวรถขนส่งอัตโนมัติที่ความสูงจากพื้น 1.48 เซนติเมตร และกำหนดให้รถเคลื่อนที่ตามแถบนำแม่เหล็กด้วยความเร็ว 0.115 m/s เพื่อความแม่นยำในการหยุดรถ



รูปที่ 6 ระยะเวลาหยุดของรถขนส่งอัตโนมัติเมื่ออ่านแท็ก

## 5. สรุป

จากการทดลองการสร้างรถขนส่งอัตโนมัติได้ทำการกำหนดความเร็วรถขณะที่รถเคลื่อนที่อยู่บนกึ่งกลางเส้นเท่ากับ 30 rpm จากการคำนวณด้วยวิธีจลนศาสตร์ผกผันการขับเคลื่อนแบบดิฟเฟอเรนเชียลทำให้ได้พิกัดค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่สามารถดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่ใช้

ความเร็วใช้งานของมอเตอร์สูงสุดเท่ากับ 45 rpm และพิกัดค่าความเร็วใช้งานของมอเตอร์ต่ำสุดเท่ากับ 10 rpm ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมฟีดแบ็คของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ความเร็วต่างๆ ประกอบไปด้วย ความเร็ว 10 , 20 , 30 และ 40 rpm พบว่าผลตอบสนองของระบบมีค่าเวลาขาขึ้นน้อยมาก และเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวพบว่าค่าความเร็วของมอเตอร์มีการแกว่งอยู่ระหว่างค่าความเร็วอ้างอิงไม่เกิน 3 rpm โดยผลการทดสอบเซนเซอร์ตรวจจับที่นำมาใช้เป็นระบบนำทางของรถ พบว่าระยะคิดตั้งควรสูงจากพื้น 6.35 เซนติเมตรและเครื่องอ่านแท็กในระบบวิทยุควรติดตั้งที่ความสูงจากพื้น 1.48 เซนติเมตรและค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนจากจุดอ้างอิงถึงตำแหน่งที่รถหยุดมีค่าประมาณ 12.6 เซนติเมตรและการใส่วงจรถ่วงกันมอเตอร์เข้าไปในตัวรถทำให้ไม่เกิดอันตรายต่ออุปกรณ์ภายในรถและผู้ใช้รถ จากสร้างต้นแบบสถานีอัดประจุไฟฟ้าอัตโนมัติ โดยใช้วัสดุทำจากเหล็กมีความแข็งแรงสามารถรองรับการเข้าจอดของรถได้ เมื่อแบตเตอรี่ของรถมีระดับแรงดันต่ำ รถจะเคลื่อนที่ตามเส้นทางไปยังสถานีเพื่อทำการอัดประจุ

#### 4. กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องขอขอบคุณ ดร.ภูมิ คงหัวรอบ อาจารย์ที่ปรึกษา รวมไปถึงคุณบุญยวีร์ ฉายศิริ คุณณัฐภาสน์ สุ่มกลาง คุณปริญญา ไสยโยธา คุณนครศักดิ์ แสงศรีและคุณสุภารัตน์ พุ่มย้อยที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อปริญญานิพนธ์และคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณครอบครัวและเพื่อน ๆ ที่ ๆ นื่อง ๆ ที่ให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย, “เครื่องจักรกลไฟฟ้า 1,” เอกสารคำสอน, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2558, หน้า 68-79.
- [2] พัสกร พูลสวัสดิ์, “การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงด้วยวงจรถ้อปเปอร์,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยบูรพา, 2560.
- [3] E. Maulana, M. A. Muslim, and A. Zainuri, “Inverse kinematics of a two-wheeled differential drive an autonomous mobile robot,” *ECCIS*, Vol.7, N0.92, 2014, p.93-98.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### ประวัติผู้เขียน



นางสาวกัญญารัตน์ กอบลาภเจริญ  
การศึกษาระดับปริญญาตรี : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง



นางสาวกุลลิน ชันพง  
การศึกษาระดับปริญญาตรี : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง



นายฐนันทพัทธ์ วิวัฒน์นimit  
การศึกษาระดับปริญญาตรี : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง



นายจิติพงศ์ เทพลีทธิ  
การศึกษาระดับปริญญาตรี : ภาควิชา  
วิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า  
คุณทหารลาดกระบัง



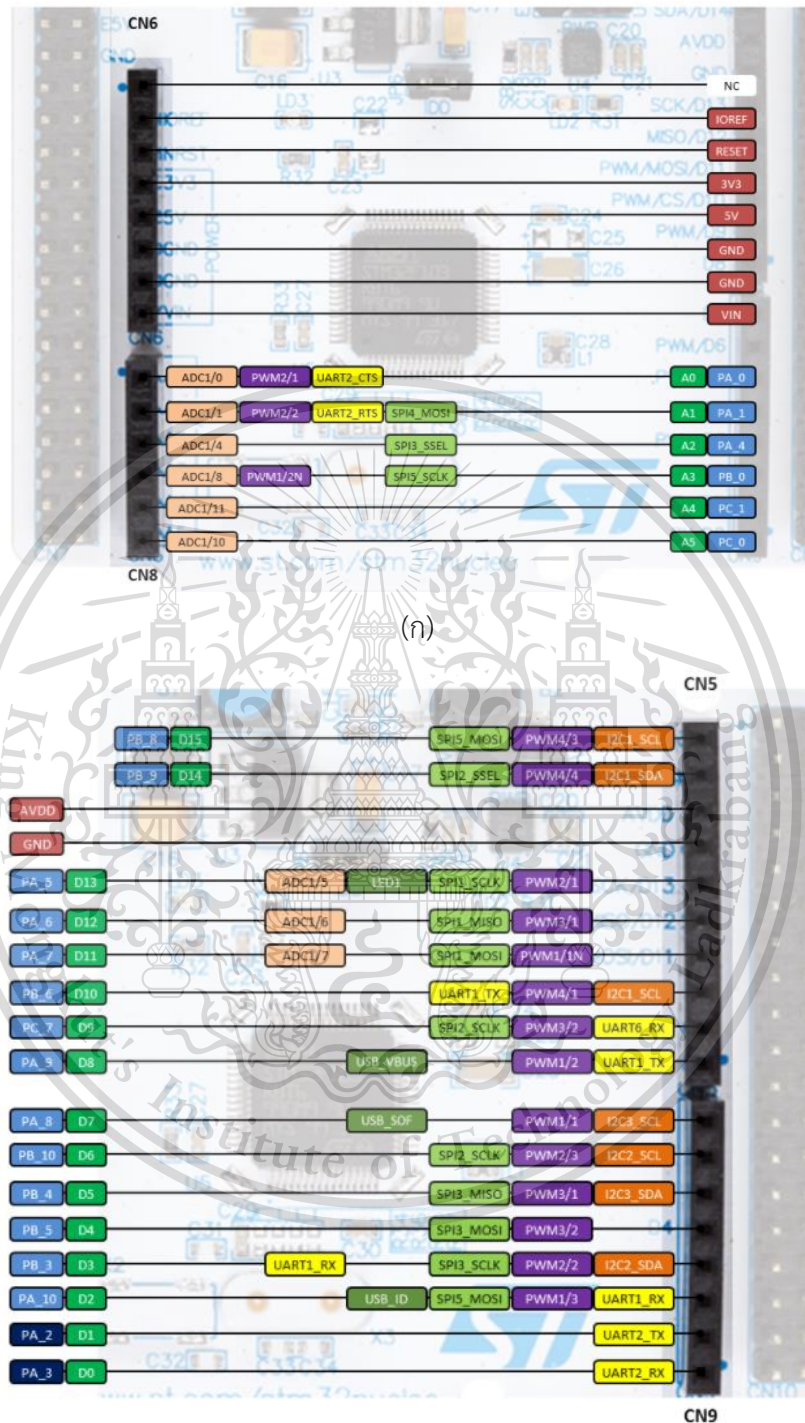
ภาคผนวก ข  
ข้อมูลอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## Board pinout ของ stm32f411re – nucleo64



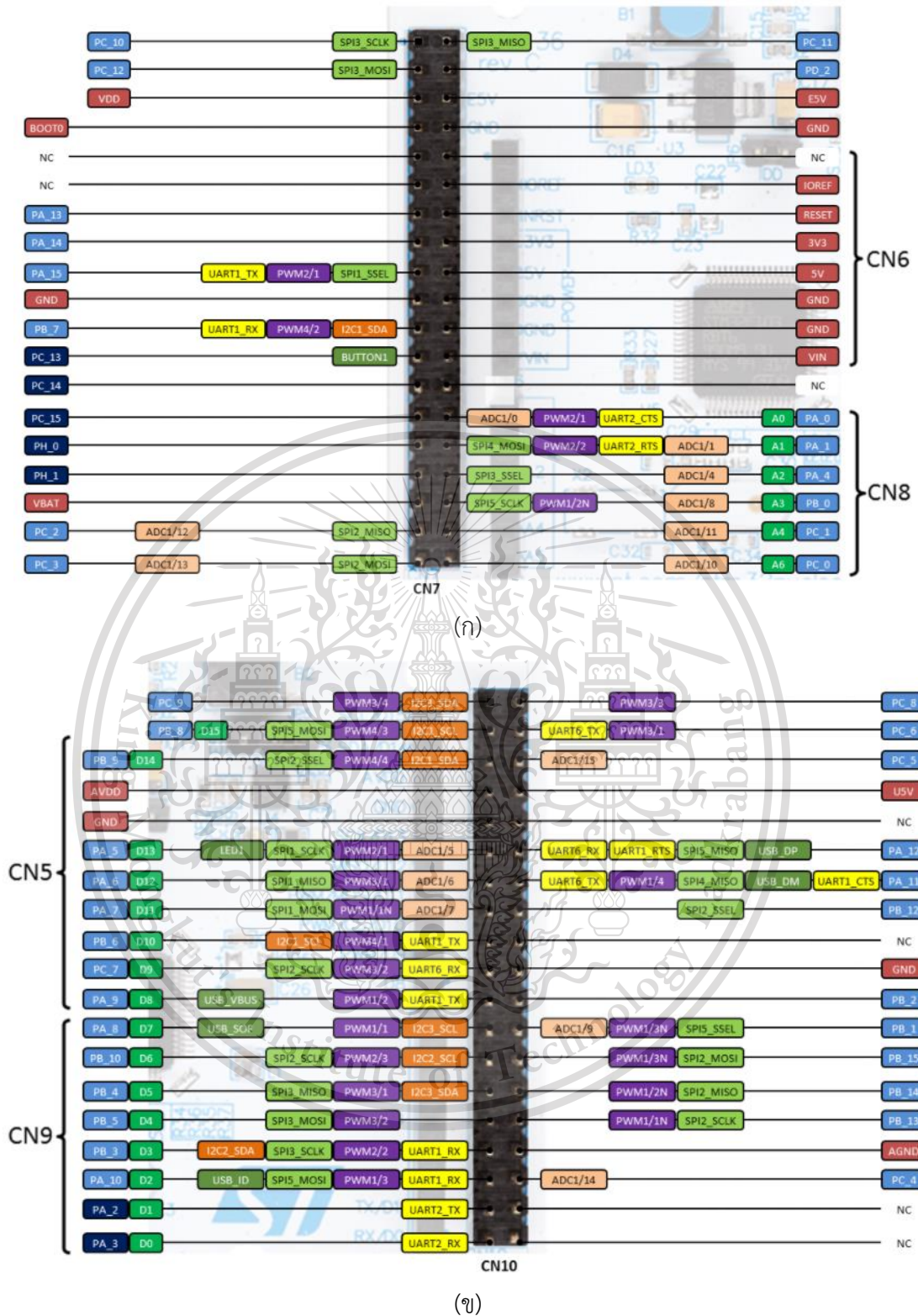
(ก)

## รูปที่ ข.1 Arduino-compatible headers ของ stm32f411re – nucleo64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ ข.2 Morpho headers ของ stm32f411re – nucleo64

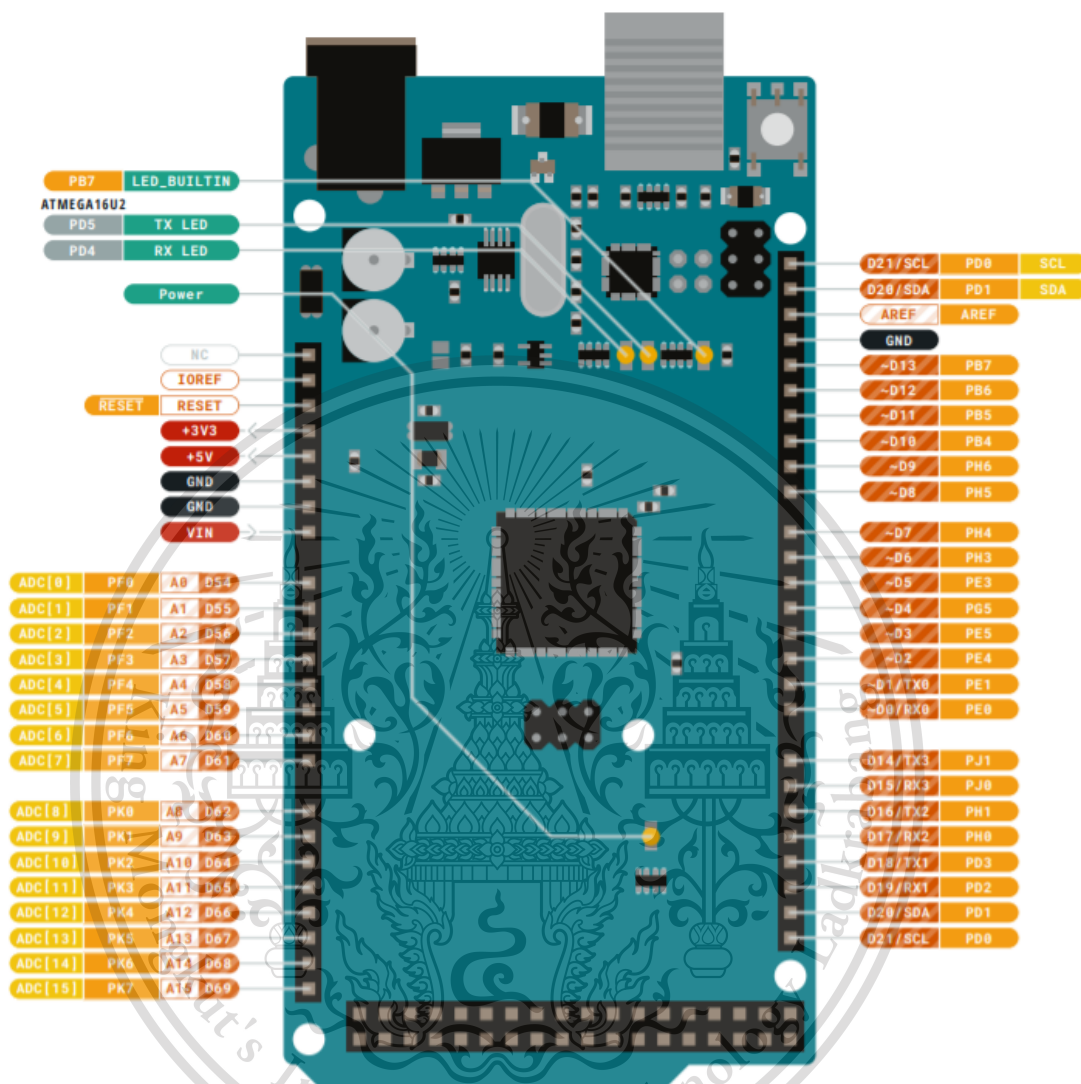
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



Board pinout ของ Arduino Mega



รูปที่ ข.4 Pinout ของ Arduino Mega

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

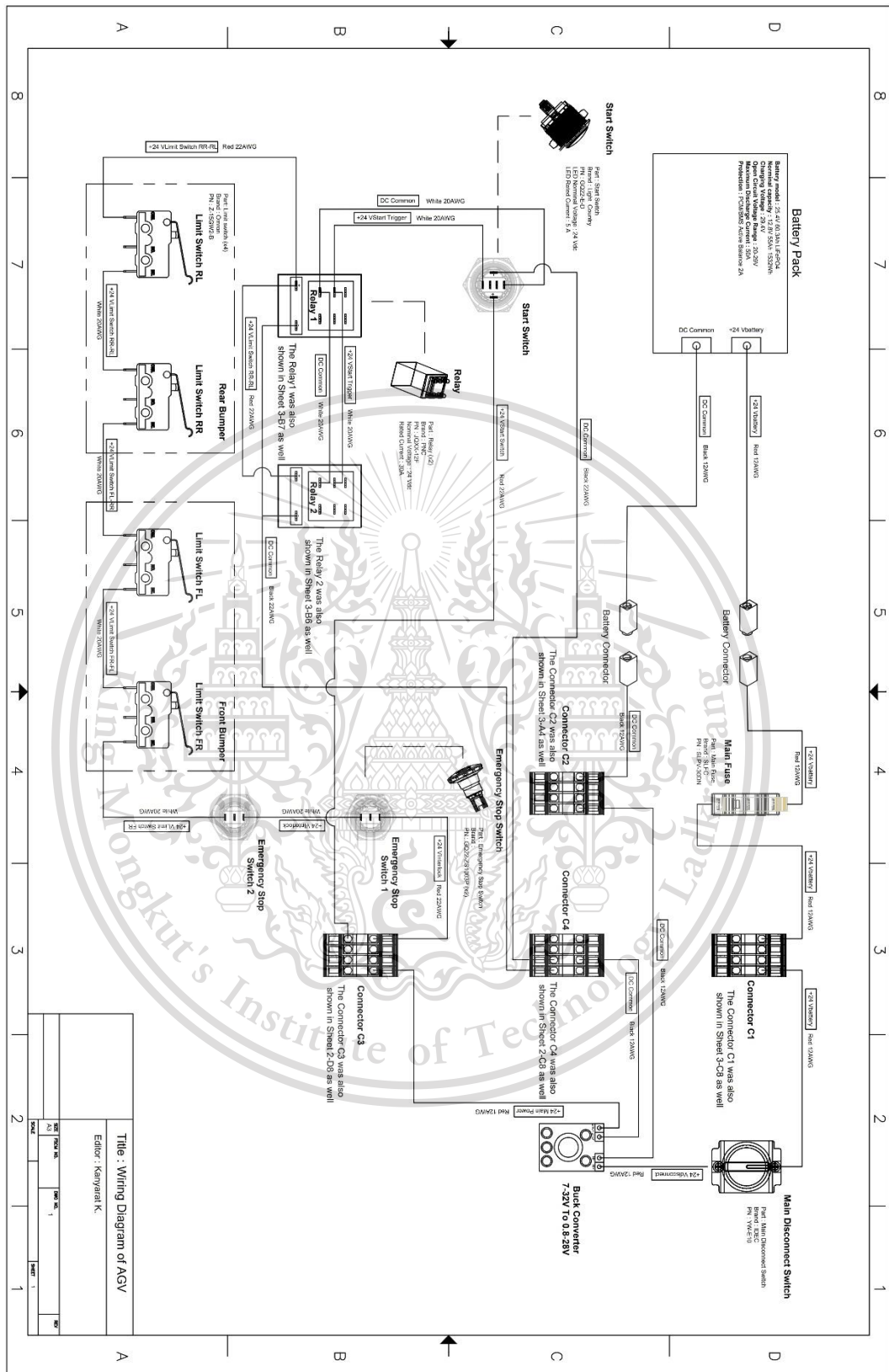
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

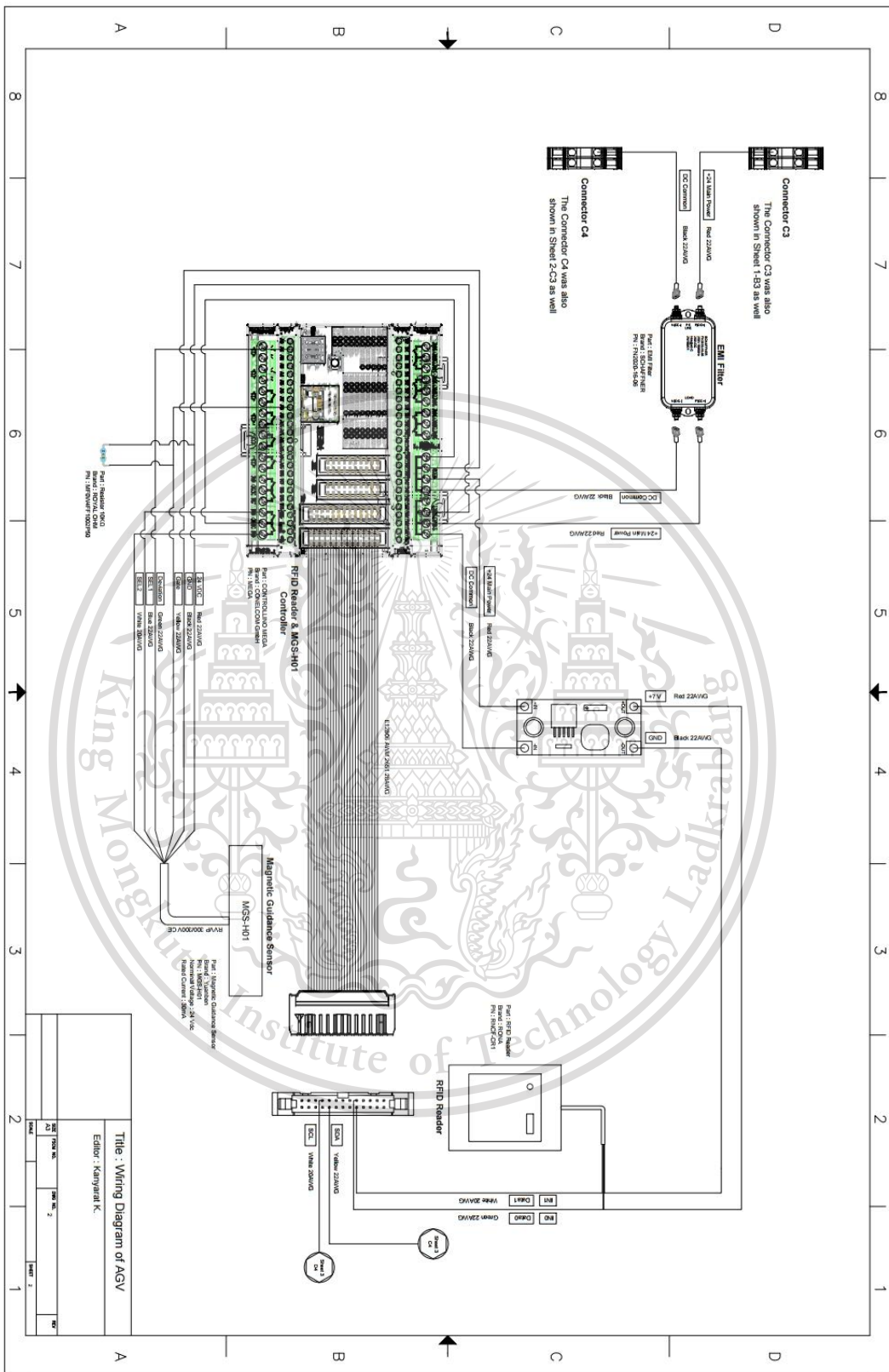


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

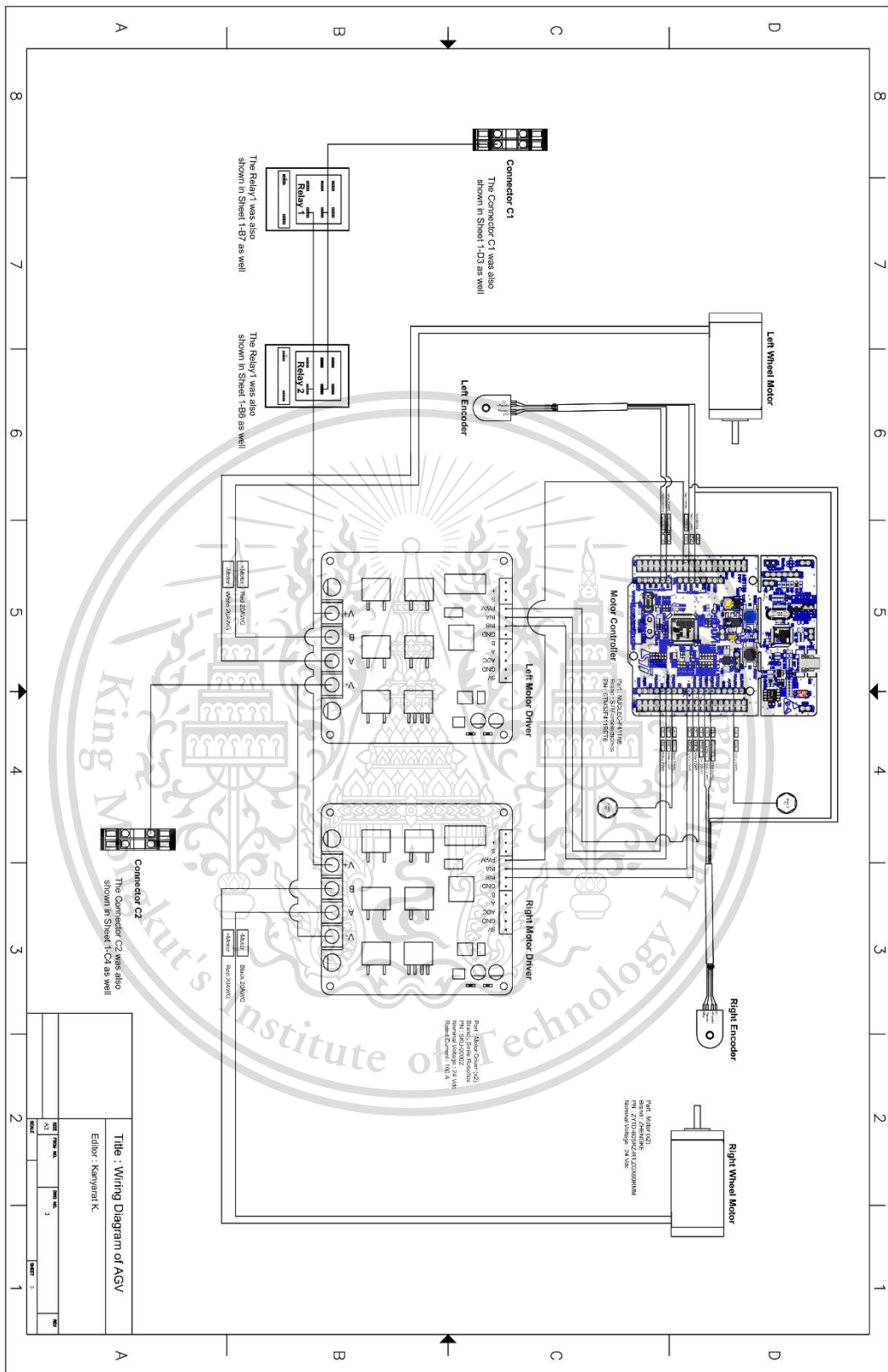
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## ตัวอย่างโปรแกรมการ Inverse Kinematic

```

void MGSread() {
  MGS.gate = digitalRead(Gate);
  if(MGS.gate == LOW) {
    MGS.deviation = analogRead(Deviation);
    MGS.deviation = map(MGS.deviation, 93, 254, -7000, 7000);
    Calculation();
  }
  else{
    MGS.rightMotor = 0;
    MGS.leftMotor = 0;
  }
}

void Calculation() {
  MGS.distance = (MGS.deviation) /1000;
  MGS.theta = atan2(-11.0, MGS.distance) *180 /PI +90;
  MGS.rightMotor = (1 -((0.445 *MGS.theta) / 30)) * MGS.rpm;
  MGS.leftMotor = (1 +((0.445 *MGS.theta) / 30)) * MGS.rpm;
}

```

## ตัวอย่างโปรแกรมการอ่านค่า RFID

```

void RFIDread(){
  if(RFIDreader.available()){
    cardRead.code = RFIDreader.getCode();
    cardRead.check = true;
  }
}

void RFIDcommand(){
  if(cardRead.code == 8666713){
    MGS.stp = 0;
    MGS.rightMotor = 0;
    MGS.leftMotor = 0;
    do{
      MGS.stp++;
      SendSpeed();
    }while (MGS.stp < 10000);
    MGS.rpm = 20;
  }
  else if(cardRead.code == 8682741)
    MGS.rpm = 10;
  else if(cardRead.code == 8682461)
    MGS.rpm = 20;
  else if(cardRead.code == 8661373)
    MGS.rpm = 30;
  cardRead.check = false;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## ตัวอย่างโปรแกรม PI controller

```

85 //Discrete PID
86 float calculatePID(float sp_speed, float pv_speed, PID_Motor_TypeDef* pid_data, float dt){
87     pid_data->e_k = sp_speed - pv_speed;
88     if(pid_data->e_k > 1000.0) pid_data->e_k = 1000.0;
89     if(pid_data->e_k < -1000.0) pid_data->e_k = -1000.0;
90
91     float ts = dt;
92     float kd_ts = pid_data->kd / ts;
93     float ki_ts_2 = pid_data->ki * ts / 2.0f;
94     float a = pid_data->kp + ki_ts_2 + kd_ts;
95     float b = (-1.0f * pid_data->kp) + ki_ts_2 + (-2.0f * kd_ts);
96     float c = kd_ts;
97
98     float ret = pid_data->u_k_1 +
99             (a * pid_data->e_k) +
100            (b * pid_data->e_k_1) +
101            (c * pid_data->e_k_2);
102
103
104     if(ret > 100.0) ret = 100.0;
105     if(ret < -100.0) ret = -100.0;
106
107     // update data
108     pid_data->e_k_2 = pid_data->e_k_1;
109     pid_data->e_k_1 = pid_data->e_k;
110     pid_data->u_k_1 = ret;
111
112
113     return ret;
114 }
115
116 void resetPID(PID_Motor_TypeDef* pid_data){
117     pid_data->u_k_1 = 0;
118     pid_data->e_k = 0;
119     pid_data->e_k_1 = 0;
120     pid_data->e_k_2 = 0;
121 }
122 }

```

## ตัวอย่างโปรแกรมการอ่านค่า Encoder และควบคุมความเร็วมอเตอร์

```

123
124 void resetMotorData(Motor_Data_TypeDef* motor_data){
125     motor_data->encoder_value = 0;
126     motor_data->sp_speed = 0;
127     motor_data->speed_command = 0;
128     motor_data->pv_speed = 0;
129 }
130
131 void calculateEncoder(TIM_HandleTypeDef *htim, Motor_Data_TypeDef *motor_data){
132     int32_t delta_encoder = htim->Instance->CNT - 30000;
133     motor_data->encoder_value += delta_encoder;
134     htim->Instance->CNT = 30000;
135     motor_data->pv_speed = (float)delta_encoder/15.0;
136 }
137
138 int16_t motorControlLoop(Motor_Data_TypeDef *motor_data, PID_Motor_TypeDef *pid_data){
139     motor_data->speed_command = calculatePID((float)motor_data->sp_speed, motor_data->pv_speed, pid_data, dt);
140     if(motor_data->speed_command > 100.0) motor_data->speed_command = 100.0;
141     if(motor_data->speed_command < -100.0) motor_data->speed_command = -100.0;
142     return (int16_t)motor_data->speed_command;
143 }
144
145 /* USER CODE END 0 */

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## ประวัติผู้เขียน



นางสาวกัญญารัตน์ กอบลาภเจริญ รหัสนักศึกษา 6001048  
เกิดเมื่อวันที่ 3 เดือน เมษายน พ.ศ. 2542 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร  
การศึกษาระดับมัธยมศึกษา : โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า  
การศึกษาระดับปริญญาตรี : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นางสาวกุลสิน ชันผง รหัสนักศึกษา 60010094  
เกิดเมื่อวันที่ 21 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2541 ที่จังหวัด บึงกาฬ  
การศึกษาระดับมัธยมศึกษา : โรงเรียนศรีวิไลวิทยา  
การศึกษาระดับปริญญาตรี : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายฐนนท์พัทธ์ วัฒนนิมิตติ รหัสนักศึกษา 60010258  
เกิดเมื่อวันที่ 3 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2542 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร  
การศึกษาระดับมัธยมศึกษา : โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ  
การศึกษาระดับปริญญาตรี : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายฐิติพงศ์ เทพสิทธิ์ รหัสนักศึกษา 60010264  
เกิดเมื่อวันที่ 30 เดือน เมษายน พ.ศ. 2542 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร  
การศึกษาระดับมัธยมศึกษา : โรงเรียนนาคประสิทธิ์  
การศึกษาระดับปริญญาตรี : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.