

การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน
สำหรับรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติร่วมกับการใช้อินเตอร์เน็ตในทุกสิ่ง
SPEED CONTROL OF BLDC MOTOR FOR AGV COMBINED IOT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน
สำหรับรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติร่วมกับการใช้อินเตอร์เน็ตในทุกสิ่ง
SPEED CONTROL OF BLDC MOTOR FOR AGV COMBINED IOT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPEED CONTROL OF BLDC MOTOR FOR AGV COMBINED IOT



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELOR'S DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2561

การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน
สำหรับรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติร่วมกับการใช้อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง
SPEED CONTROL OF BLDC MOTOR FOR AGV COMBINED IOT



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล

ดร. ภูมิ คงห้วยรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านสำหรับรถลำเลียงสินค้า
อัตโนมัติร่วมกับการใช้อินเตอร์เน็ตในทุกสิ่ง

ผู้จัดทำ

นายอัคระ

ปีทมะสุคนธ์

นางสาวอาพิชญ์พิมณูช

ทองคำ



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล)



..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร. ภูมิ คงห้วยรอบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน
สำหรับรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติร่วมกับการใช้อินเตอร์เน็ตในทุกสิ่ง

นายอัคระ ปัทมะสุคนธ์

นางสาวอาพิชญ์พิมญูชู่ ทองคำ

รศ.ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. ภูมิ คงห้วยรอบ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์ในการออกแบบและสร้างชุดขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน สำหรับรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติ เพื่อลดระยะเวลาและต้นทุนการผลิตในภาคอุตสาหกรรม เริ่มต้นชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ทำงานโดยรับสัญญาณฮอลล์แล้วนำไปจัดลำดับการทำงาน จากนั้นควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วยสัญญาณพัลส์วิดท์มอดูเลชัน ที่ได้จากการนำความเร็วจริงมาเทียบกับความเร็วที่ตั้งไว้ จ่ายเข้าที่มอเตอร์ของอินเวอร์เตอร์ โดยเพิ่มประสิทธิภาพและเสถียรภาพด้วยการใช้ร่วมกับการควบคุมแบบพีไอ นอกจากนี้ อนุกรมนี้ แบทเตอรี่คงเหลือ และความเร็ว ได้ถูกรายงานเพื่อให้ทราบถึงสถานะทำงานของรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติผ่านการส่งสัญญาณไร้สายแบบเรียลไทม์

SPEED CONTROL OF BLDC MOTOR FOR AGV COMBINED IOT

Mr. Akara Patthasukhon

Miss Arphitphimon Thongkum

Assoc.Prof.Dr.Somyot Kaitwanidvilai Advisor

Dr. Poom Konghuayrob Co-Advisor

2018

ABSTRACT

This project aims to design and construct drive of Brushless DC Motor for Automated Guided Vehicle (AGV) to reduce time and cost in industry. At first, drive system receive hall signal to arrange working sequence. Secondly, the speed of motor is controlled via PWM signals obtained by comparing the actual and desired speed. The produced signals are injected to the high side of MOSFET in three phase inverter. To improve performance and stability of the proposed system PI controller is utilized in this project. Moreover, temperature, remain battery and speed of BLDC motor are reported to monitor the system status of AGV via wireless signal in real-time.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับการช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษา และเพื่อนหลายๆท่านภาควิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ภูมิ คงห้วยรอบ ที่คอยให้คำแนะนำและที่ปรึกษาด้านต่างๆเป็นอย่างดี ที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำโครงการนี้ให้เป็นผลสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีตลอดมา

ณ โอกาสนี้ทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณทุกๆท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษา พร้อมคำแนะนำต่างๆเป็นอย่างมาก ที่ทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และหวังว่าคงได้รับความอนุเคราะห์อีกในโอกาสต่อไป จึงขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่ศึกษาต่อไป ไม่มากก็น้อย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตและข้อจำกัดของโครงการ	2
1.4 วิธีการใช้ในโครงการ	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน	4
2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน	12
2.3 การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน	15
2.4 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ในแบบ PWM	18
2.5 การควบคุมแบบป้อนกลับโดยใช้ตัวควบคุมแบบ PI Controller	19
2.6 dsPIC30F4011	21
2.7 Internet of Things	24
2.8 NETPIE	25
2.9 NodeMCU ESP8266	28
2.10 Sensor	29
บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง	37
3.1 ระบบการทำงานของ AGV System	37
3.2 ระบบ Power Supply	38
3.3 ระบบประมวลผลกลาง	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน	39
3.5 ระบบตรวจสอบการทำงานด้วยระบบไร้สาย	44
บทที่ 4 การทดสอบและประเมินผล	45
4.1 ผลจากการจำลอง MATLAB	45
4.2 ผลการทดลองการควบคุมแบบ Open Loop	48
4.3 ผลการทดลองการแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า	50
4.4 ผลการทดลองการควบคุมแบบ Close Loop	51
4.5 ผลการทดลองแสดงการควบคุมความเร็วของมอเตอร์	53
4.6 ผลการทดลองระบบเดินตามเส้นของรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติ	53
4.7 ผลการทดลองระบบแสดงผลบน NETPIE	54
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	57
5.1 สรุปผลการทดลอง	57
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	57
เอกสารอ้างอิง	58
ภาคผนวก	60
ประวัติผู้เขียน	70

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างภายในของมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน	5
รูปที่ 2.2 ภาพตัดขวางของมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน	5
รูปที่ 2.3 Stator ของมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน	6
รูปที่ 2.4 รูปแบบการพันขดลวดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน	7
รูปที่ 2.5 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของวัสดุแม่เหล็กชนิดต่างๆในจุดภาคที่ 2	8
รูปที่ 2.6 ส่วนโรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน	8
รูปที่ 2.7 ตัวตรวจจับฮอลล์เอฟเฟกต์ในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน	9
รูปที่ 2.8 สัญญาณของตัวตรวจจับฮอลล์เอฟเฟกต์	10
รูปที่ 2.9 ลำดับขั้นตอนการจ่ายไฟเข้าขดลวดแต่ละเฟส	10
รูปที่ 2.10 Timing diagram ระหว่าง Hall sensor signal, Back EMF, Output Torque และ Phase current	11
รูปที่ 2.11 วงจรสมมูลมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน	12
รูปที่ 2.12 แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับและกระแสไฟฟ้า	14
รูปที่ 2.13 วงจรขับเคลื่อน BLDC Motor โดยใช้ตัวตรวจจับตำแหน่งโรเตอร์	15
รูปที่ 2.14 สัญญาณควบคุมสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังทั้ง 6 ตัว	16
รูปที่ 2.16 อัตราส่วนของ Duty Cycle	18
รูปที่ 2.17 การควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน	19
รูปที่ 2.18 การควบคุมแบบป้อนกลับโดยใช้ตัวควบคุมแบบ PID	19
รูปที่ 2.19 dsPIC30F4011 และขาการใช้งาน	21
รูปที่ 2.20 Network Platform for Internet of Everything	25
รูปที่ 2.21 NETPIE Feed	26
รูปที่ 2.22 NETPIE Freeboard	27
รูปที่ 2.23 ขาการใช้งานของ ModeMCU ESP8266	28
รูปที่ 2.24 LM35 และขาการใช้งาน	29
รูปที่ 2.25 IR Infrared Obstacle Avoidance Sensor และขาการใช้งาน	30
รูปที่ 2.26 Hall Sensor และการนำไปใช้กับการวัดความเร็วมอเตอร์	31
รูปที่ 2.27 Voltage sensor และขาการใช้งาน	31

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.28 Capacitive type voltage sensor	32
รูปที่ 2.29 Resistive type voltage sensor	32
รูปที่ 2.30 วงจรแบ่งแรงดันโดยใช้ตัวต้านทาน	33
รูปที่ 2.31 วงจรบริดจ์	33
รูปที่ 2.32 Current sensor และขาการใช้งาน	34
รูปที่ 2.33 วงจรเบื้องต้นการวัดกระแสโดยใช้ R Shunt	34
รูปที่ 2.34 เซ็นเซอร์ Hall effect ภายในชิปตระกูล ACS	35
รูปที่ 2.35 วงจรเบื้องต้น การวัดกระแสโดยใช้ Hall effect sensor	35
รูปที่ 2.36 หลักการวัดกระแสโดยใช้ Current transformer	35
รูปที่ 2.37 สัญลักษณ์ของ Current Transformer	36
รูปที่ 3.1 Block diagram ของ AGVs	37
รูปที่ 3.2 โมเดลรถ AGV จาก SketchUp	37
รูปที่ 3.3 Schematic ของวงจร Power Supply	38
รูปที่ 3.4 Schematic ของวงจรตัวประมวลผลกลางของ AGVs	39
รูปที่ 3.5 ไดอะแกรมของมอเตอร์แบบอาศัยตัวตรวจจับตำแหน่งโรเตอร์	39
รูปที่ 3.6 อุปกรณ์มอสเฟตชนิดเอ็น-แชนแนล	41
รูปที่ 3.7 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน	42
รูปที่ 3.8 Schematics วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า	43
รูปที่ 3.9 วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า	43
รูปที่ 3.10 Block diagram ของระบบตรวจสอบการทำงาน	44
รูปที่ 3.11 Schematic ของวงจรระบบแสดงผลการทำงาน	44
รูปที่ 4.1 การจำลองของ BLDC Motor Drive	45
รูปที่ 4.2 ผลการจำลองแบบ Close Loop	45
รูปที่ 4.3 ความเร็วมอเตอร์ที่ 46 rpm แบบ Close Loop	46
รูปที่ 4.4 ความเร็วมอเตอร์ที่ 62 rpm	46
รูปที่ 4.5 ความเร็วมอเตอร์ที่ 78 rpm	47
รูปที่ 4.6 ความเร็วมอเตอร์เมื่อพบสิ่งกีดขวาง	47

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.7 กราฟจากวงจรแปลงความถี่แบบ Open Loop ที่ Duty 0.10	48
รูปที่ 4.8 กราฟจากวงจรแปลงความถี่แบบ Open Loop ที่ Duty 0.15	48
รูปที่ 4.9 กราฟจากวงจรแปลงความถี่แบบ Open Loop ที่ Duty 0.20	49
รูปที่ 4.10 กราฟจากวงจรแปลงความถี่แบบ Open Loop ที่ Duty 0.25	49
รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วมอเตอร์กับแรงดันไฟฟ้า	50
รูปที่ 4.12 กราฟจากวงจรแปลงความถี่แบบ Close Loop ที่ความเร็ว 27 rpm	51
รูปที่ 4.13 กราฟจากวงจรแปลงความถี่แบบ Close Loop ที่ความเร็ว 58 rpm	51
รูปที่ 4.14 กราฟจากวงจรแปลงความถี่แบบ Close Loop ที่ความเร็ว 78 rpm	52
รูปที่ 4.15 กราฟจากวงจรแปลงความถี่แบบ Close Loop ที่ความเร็วสามค่า	52
รูปที่ 4.16 การทดลองระบบเดินตามเส้นของรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติ	53
รูปที่ 4.17 กราฟอุณหภูมิจาก Serial Monitor	54
รูปที่ 4.18 กราฟอุณหภูมิจาก NETPIE Freeboard	54
รูปที่ 4.19 กราฟแบตเตอรี่คงเหลือจาก Serial Monitor	55
รูปที่ 4.20 กราฟแบตเตอรี่คงเหลือจาก NETPIE Freeboard	55
รูปที่ 4.21 ค่าจากการอ่าน Serial Monitor	56
รูปที่ 4.22 ค่าจากการอ่าน NETPIE Feed	56
รูปที่ 4.23 ค่าจากการอ่าน NETPIE Freeboard	56

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วมอเตอร์กับแรงดันไฟฟ้า	50
ตารางที่ 4.2 ความเร็วของมอเตอร์	53



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา

ในปัจจุบันระบบอัตโนมัติมีความสำคัญต่อโรงงานอุตสาหกรรมอย่างมาก สาเหตุเนื่องจากผลของการแข่งขันกันด้านการตลาดอย่างจริงจังและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งปัจจัยที่ส่งเสริมด้านการตลาด ที่ขาดไม่ได้นั่นคือ การส่งมอบผลิตภัณฑ์ได้ตรงเวลาและมีคุณภาพสินค้าที่ดี ซึ่งจะต้องผลิตแข่งกับเวลา ดังนั้น ระบบอัตโนมัติจึงช่วยให้ลดระยะเวลาในการทำงานจากปกติ ทั้งในรูปแบบการเปลี่ยนเครื่องมือ การขนย้ายผลิตภัณฑ์ รวมไปถึงกระบวนการต่าง ๆ ที่มนุษย์ไม่สามารถเข้าไปปฏิบัติงานได้ ซึ่งหากพิจารณาจากค่าใช้จ่ายประมาณ 2 ใน 3 ของค่าใช้จ่ายในการผลิตทั้งหมด เป็นค่าใช้จ่ายการจ้างแรงงานมนุษย์ในการทำงานโดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบขนถ่ายวัสดุ จะเห็นว่าการขนถ่ายวัสดุเป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญมากต่อกระบวนการผลิต ดังนั้นหากสามารถนำรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติ (Automated Guided Vehicle : AGV) มาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม จะช่วยให้ขนย้ายวัสดุอุปกรณ์ได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น

ในระบบขับเคลื่อนมอเตอร์หลากหลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละแบบมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันไปซึ่งขึ้นอยู่กับความสะดวกและรูปแบบการใช้งาน โดยคณะผู้จัดทำได้เล็งเห็นถึงข้อดีของ มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor : BLDC Motor) ซึ่งเป็นมอเตอร์ชนิดหนึ่งที่ได้รับคามนิยม โดยใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ การบิน แพทย์ อุตสาหกรรมอัตโนมัติ และเครื่องมือวัด คุณลักษณะเด่นเฉพาะของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านนี้ คือ การไม่ใช้แปรงถ่านเนื่องจากแปรงถ่านเป็นตัวกำเนิดของสัญญาณรบกวน เมื่อมีการหมุนของโรเตอร์ และยังส่งผลเสียในทางกล คือ ก่อให้เกิดแรงเสียดทาน นอกจากนี้ แปรงถ่านยังมีอายุการใช้งานที่ค่อนข้างจำกัด เพราะเหตุที่ต้องเสียดสีกับโรเตอร์อยู่ตลอดเวลาและต่อเนื่องขณะที่โรเตอร์หมุน รวมถึงมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน มีการใช้เทคนิควิธีการ Commutation แบบ Electronic Commutation ซึ่งแตกต่างจากมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้แปรงถ่าน (Brush DC Motor) ซึ่งจะใช้แปรงถ่านเป็น Commutators รวมทั้งมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านมีประสิทธิภาพสูงกว่าการทำงานที่เสียบกว่า ยานความเร็วสูงกว่า เมื่อเทียบกับมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้แปรงถ่าน และหากพิจารณาถึงมอเตอร์ที่ใช้เป็นต้นกำลังของรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติ จึงเหมาะสมที่จะใช้มอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง อีกทั้งยังมีขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบา ดังนั้น จึงสามารถนำมาติดตั้งและใช้เป็นต้นกำลังของรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติ

ในยุคการทำงานที่ต้องแข่งขันกับเวลา รวมถึงเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายที่พัฒนามากในปัจจุบัน ทางคณะผู้จัดทำจึงเห็นว่า ควรมีระบบตรวจสอบสถานะการทำงานของรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติ เพื่อให้ง่ายต่อการตรวจสอบ และการซ่อมบำรุง และจะช่วยทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาการทำงานของ Drive BLDC Motor โดยนำไปใช้ในรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติ
2. เพื่อศึกษาการควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยใช้ PI Controller
3. เพื่อศึกษาการตรวจสอบสถานะการทำงานของรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติผ่านระบบไร้สาย

1.3 ขอบเขตและข้อจำกัดของโครงการ

1. ใช้มอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน
2. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้แก่ NodeMCU ESP8266, ArduinoMega2560 และ dsPIC30F4011
3. สร้างชุดขับเคลื่อนของมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน, ชุดประมวลผลกลางของ AGV และสร้างชุดตรวจสอบการทำงานของรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติ

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1. ศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลของรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติ
2. ศึกษาทฤษฎีการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน
3. ศึกษาทฤษฎีการเข้าถึงข้อมูลของ NETPIE
4. ศึกษาและพัฒนาการเขียนโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้แก่ NodeMCU ESP8266 , ArduinoMega2560 และ dsPIC30F4011
5. ศึกษาและทดลองการควบคุมการทำงานของ BLDC Motor ด้วย Microcontroller
6. ศึกษาและทดลองการตรวจสอบการทำงานของรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติด้วยระบบ IoT
7. สรุปผลจากการวิจัย ข้อเสนอแนะ และจัดทำรูปเล่มปริญาานิพนธ์

1.5 แผนการดำเนินงาน

ลำดับ	ขั้นตอนการดำเนินการ	พ.ศ. 2561					พ.ศ. 2562			
		ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1	สืบค้นและศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	←	→							
2	ออกแบบชุดขับเคลื่อนมอเตอร์		←	→						
3	ศึกษาไมโครคอนโทรลเลอร์และภาษาซี			←	→					
4	ทดสอบมอเตอร์				↔					
5	สร้างชุดตรวจจับความผิดปกติ					←	→			
6	ลงมือทำชิ้นงาน					←	→			
7	ทดสอบต้นแบบ							←	→	
8	ทำรูปเล่มปฏิญานพนธ์							←	→	

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. สามารถสร้างชุดขับเคลื่อนสำหรับมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านเพื่อนำไปใช้ในรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติในโรงงานอุตสาหกรรมได้
2. สามารถสร้างระบบการตรวจสอบและแจ้งสถานะการทำงานที่ผิดปกติของรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติได้โดยใช้ระบบไร้สาย
3. สามารถนำระบบการตรวจสอบการทำงานของรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติไปตรวจสอบกับระบบอื่น ๆ ได้ เช่น รถยนต์ไฟฟ้า เป็นต้น

บทที่ 2

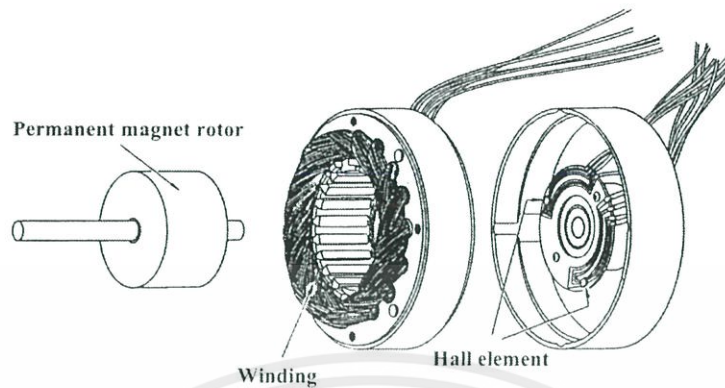
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

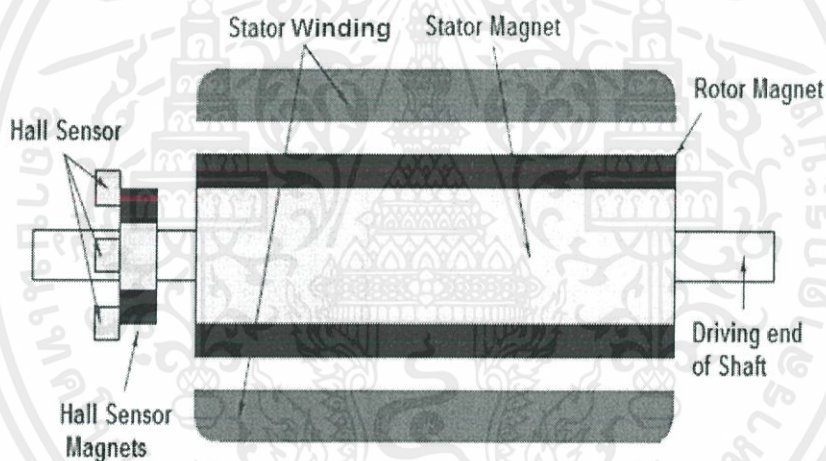
2.1.1 มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

มอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน (Brushless Motor) คือ มอเตอร์ชนิดที่ไม่มีแปรงถ่าน หรือมอเตอร์ซิงโครนัส 3 เฟส ที่ทำงานโดยอาศัยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเป็นสวิตซ์ในการตัดต่อกระแสที่จ่ายให้กับขดลวดมอเตอร์ โดยที่ชนิดของมอเตอร์จะพิจารณาลักษณะรูปคลื่นกระแส และคุณสมบัติของแรงบิดหรือทอร์ก โดยจะนิยมเรียกว่า มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) ในกรณีที่มีรูปแบบของกระแสและทอร์กของมอเตอร์ที่ใช้เป็นแบบสามเหลี่ยม (Trapezoidal Current/Torque) และจะเรียกว่า Brushless AC Motor หรืออีกชื่อหนึ่งว่า Brushless เมื่อลักษณะของกระแสและทอร์กเป็นรูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal Current /Torque format) ส่วน AC Servo คือ Brushless DC Motor ที่มีเซ็นเซอร์ตรวจจับตำแหน่งอย่างละเอียด โครงสร้างของ Brushless DC Motor หรือ AC Synchronous คือมอเตอร์ที่มีแม่เหล็กถาวรที่โรเตอร์และขดลวดที่สเตเตอร์ แม่เหล็กถาวรจะสร้างฟลักซ์ที่โรเตอร์ ส่วนขดลวดที่สเตเตอร์จะสร้างขั้วแม่เหล็ก โรเตอร์จะถูกดึงดูดด้วยเฟสจากสเตเตอร์ซึ่งจะทำให้เกิดการหมุนการจัดลำดับการจ่ายไฟให้กับเฟสของสเตเตอร์ สนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์จะถูกสร้างขึ้นและคงอยู่ ด้วยหลักการนี้ที่ว่า โรเตอร์หมุนตามสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์นั้นเป็นพื้นฐานของ Synchronous permanent magnet motor มุมระหว่างโรเตอร์และสนามแม่เหล็กหมุนจะถูกควบคุมเพื่อผลิตทอร์ก วิธีการควบคุมนี้เรียกว่า Rotor position ในฝั่งสเตเตอร์ ส่วนมากแล้วเราจะใช้เป็นมอเตอร์สามเฟส ซึ่งให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าและยังสามารถใช้อุปกรณ์ Power electronic ควบคุมได้ง่ายในส่วนของโรเตอร์ เพิ่มขั้วแม่เหล็กจะทำให้ทอร์กมากขึ้นในขณะที่ป้อนกระแสเท่าเดิมในขณะที่เดียวกับการเพิ่มจำนวนขั้ว ทำให้มอเตอร์มีขนาดใหญ่ขึ้นเพราะต้องการที่ว่างระหว่างแม่เหล็กขึ้น ดังนั้น เราอาจจะกล่าวได้อีกอย่างว่า จำนวนขั้วแปรผกผันกับขนาดของมอเตอร์ [2]

2.1.2 โครงสร้างภายในของมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน



รูปที่ 2.1 โครงสร้างภายในของมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน

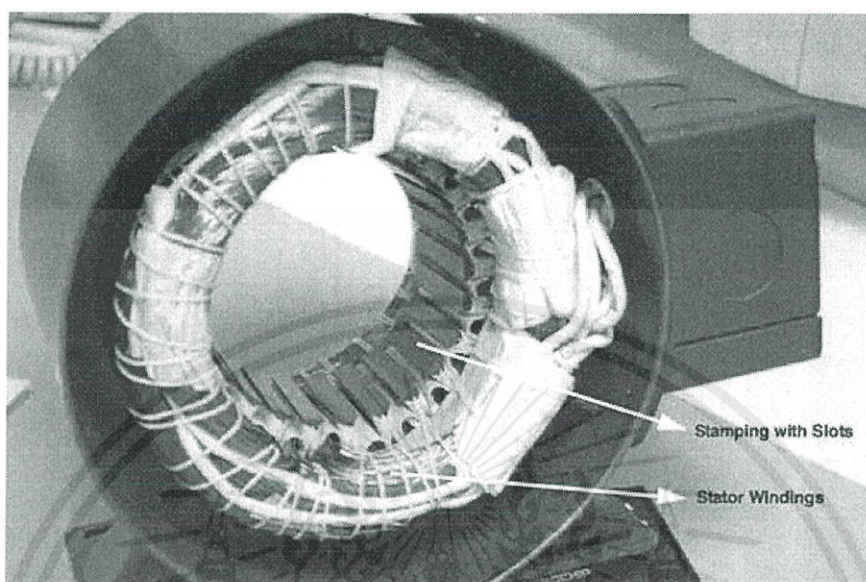


รูปที่ 2.2 ภาพตัดขวางของมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 อุปกรณ์ภายในของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

2.1.3.1 Stator part



รูปที่ 2.3 Stator ของมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน

โครงสร้างในส่วนของสเตเตอร์มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน 3 เฟสมีองค์ประกอบเหมือนกับมอเตอร์ซิงโครนัสหรือมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำประกอบด้วย ขดลวดตัวนำ (Winding) พันอยู่ในร่องสลิตของสเตเตอร์ เรียกว่า ขดลวดสเตเตอร์ (Stator Winding) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งขดลวดนี้ มีรูปแบบการเชื่อมต่อทั้ง แบบวาย (Wye) หรือ แบบเดลต้า (Delta) ขึ้นอยู่กับการใช้งาน โดยทั่วไปแล้วนิยมเชื่อมต่อขดลวดแบบวายที่ไม่เชื่อมต่อจุดนิวทรัล เพราะให้ประสิทธิภาพมอเตอร์ที่ดี และมีต้นทุนที่ถูก สำหรับการพันขดลวดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านมีด้วยกัน 2 รูปแบบ คือ การพันขดลวดแบบกระจุกตัว (Concentrated Winding) และการพันขดลวดแบบกระจายตัว (Distributed Winding) รูปแบบการพันขดลวดที่แตกต่างกันมีผลต่อลักษณะรูปคลื่นสัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ (Back Electromotive Force: Back EMF)

การพันขดลวดแบบกระจุกตัว (Concentrated Winding) โดยจะมีลักษณะการวางขดลวดของแต่ละเฟส ดังรูปที่ 2.4 (ก) การพันขดลวดแบบนี้ทำให้ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่ช่องว่างอากาศ (Air-gap flux density) ในมอเตอร์เท่ากัน ส่งผลให้รูปคลื่นสัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับมีรูปร่างเหมือนกับรูปคลื่นสัญญาณความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่ช่องว่างอากาศที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูในทางอุดมคติ

การพันขดลวดแบบกระจายตัว (Distributed Winding) โดยขดลวดมีการพันขดลวดกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 2.4 (ข) มีวัตถุประสงค์เพื่อระบายความร้อนของขดลวดผ่านพื้นที่ผิวในสเตเตอร์ อย่างไรก็ตามการพันด้วยวิธีนี้ทำให้สัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับไม่เป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู เนื่องจากในทางปฏิบัติ เป็นการยากที่ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่ช่องว่างอากาศจะกระจายตัวให้อยู่ในรูปแบบสัญญาณสี่เหลี่ยมคางหมูในอุดมคติ



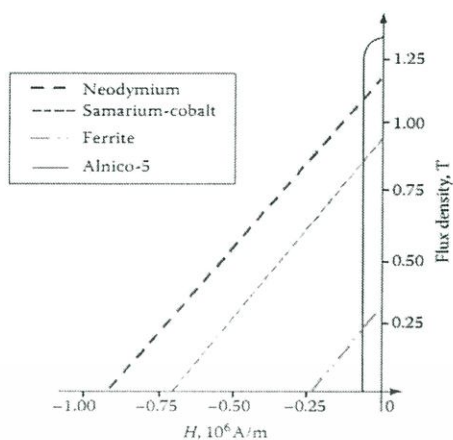
(ก) Concentrated winding

(ข) Distributed winding

รูปที่ 2.4 รูปแบบการพันขดลวดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

2.1.3.2 Rotor part

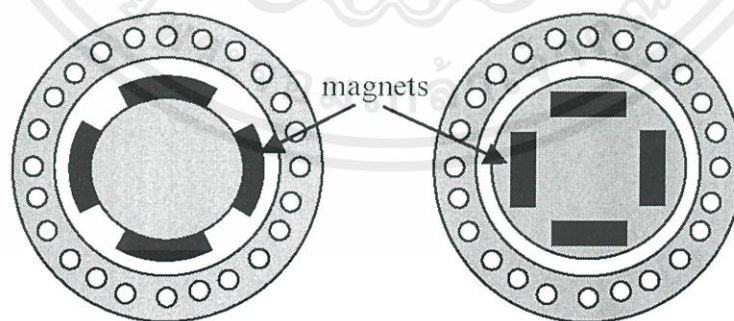
ส่วนของโรเตอร์ ประกอบด้วยแม่เหล็กถาวร (Permanent magnet) อย่างน้อย 1 คู่ขั้วหรือหลายคู่ขั้วยึดติดอยู่บนแกนเหล็ก โดยวัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นแม่เหล็กถาวรมีหลายชนิด เช่น Neodymium-Iron-Boron (NdFeB) แม่เหล็กชนิดนี้ประกอบด้วย นีโอมีเดียม เหล็ก และโบรอน ซึ่งมีค่า Remanence (B_r) และ Coercivity (H_c) สูง การเปรียบเทียบคุณลักษณะของวัสดุแม่เหล็กชนิดต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งพบว่าวัสดุแม่เหล็กชนิด Neodymium-Iron-Boron (NdFeB) ให้ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (Flux density) และความเข้มของสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Intensity: H) สูงที่สุด



รูปที่ 2.5 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของวัสดุแม่เหล็กชนิดต่างๆในจุดภาคที่ 2

เมื่อพิจารณาตามลักษณะการติดตั้งแม่เหล็กถาวรบนโรเตอร์สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท ดังต่อไปนี้ โรเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรถูกติดตั้งบนผิวรอบนอกของโรเตอร์ (Surface Mounted Permanent Magnet Rotor) ดังรูปที่ 2.6 (a) โดยใช้แท่งแม่เหล็กที่มีผิวโค้งยึดติดบนผิวโรเตอร์ด้วยกาวชนิดพิเศษเพื่อป้องกันไม่ให้แม่เหล็กหลุด โรเตอร์ชนิดนี้ มีราคาถูก สามารถเลือกขนาดแม่เหล็กให้เหมาะสมกับขนาดของโรเตอร์ได้ง่าย และให้ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูง อย่างไรก็ตามโรเตอร์ชนิดนี้ไม่เหมาะสมสำหรับงานที่ต้องการความเร็วรอบมอเตอร์สูง เพราะแม่เหล็กที่ติดบนผิวโรเตอร์อาจเกิดการหลุดร่อนได้

โรเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรถูกฝังภายในโรเตอร์ (Interior Permanent Magnet Rotor) ดังรูปที่ 2.6 (b) โรเตอร์ชนิดนี้นิยมใช้ในงานที่ต้องการความเร็วรอบมอเตอร์สูง เนื่องจากแม่เหล็กถาวรถูกฝังในโรเตอร์ทำให้ทนทาน วัสดุแม่เหล็กถาวรไม่หลุดร่อนที่ความเร็วรอบมอเตอร์สูง อย่างไรก็ตามโรเตอร์ชนิดนี้มีกระบวนการผลิตยากกว่าแบบแม่เหล็กถาวรถูกติดตั้งบนผิวโรเตอร์ [4]



(ก) Surface mounted permanent magnet motor (SPM)

(ข) Interior permanent magnet motor (IPM)

รูปที่ 2.6 ส่วนโรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

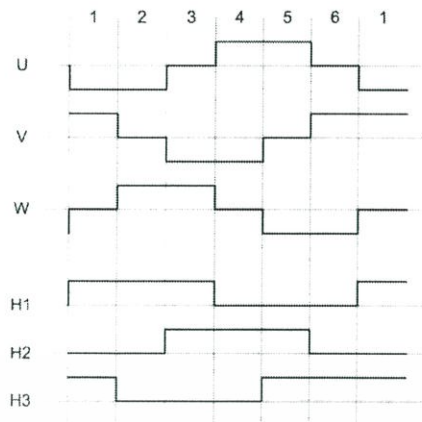
2.1.3.3 Hall Sensors

ตัวตรวจจับตำแหน่งโรเตอร์ถูกติดตั้งในมอเตอร์เพื่อทำหน้าที่ตรวจจับตำแหน่งโรเตอร์แล้วแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า เพื่อควบคุมการเปิดปิดสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังให้คอมมิวเตชันกระแสไฟฟ้าได้ถูกต้อง โดยตัวตรวจจับตำแหน่งโรเตอร์มีหลายชนิด เช่น เอ็นโคเดอร์ (Encoder) รีโซลเวอร์ (Resolver) และตัวตรวจจับฮอลล์เอฟเฟกต์ (Hall Effect Sensor) ส่วนใหญ่นิยมใช้ตัวตรวจจับฮอลล์เอฟเฟกต์ เป็นตัวตรวจจับตำแหน่งโรเตอร์เพราะมีขนาดเล็ก ราคาถูก และใช้งานง่าย เมื่อนำตัวตรวจจับฮอลล์เอฟเฟกต์ มาใช้งานกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน ตัวตรวจจับนี้มักติดอยู่บริเวณส่วนหลังของมอเตอร์จำนวนทั้งหมด 3 ตัว แต่ละตัวติดตั้งห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้า ตำแหน่งการติดตั้ง ต้องสัมพันธ์กับตำแหน่งของขดลวดแต่ละเฟส เพื่อให้สัญญาณที่ได้จากตัวตรวจจับฮอลล์เอฟเฟกต์สัมพันธ์กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า โดยฮอลล์เซนเซอร์จะแสดงในรูปที่ 2.7



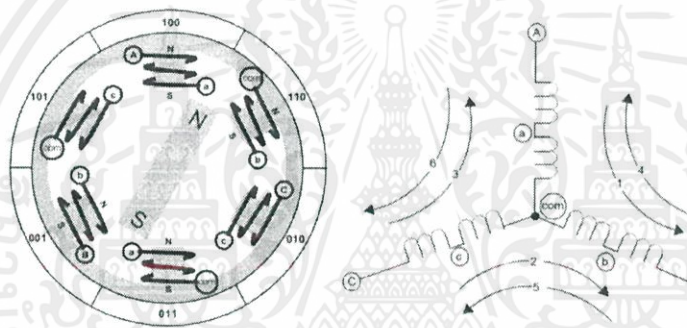
รูปที่ 2.7 ตัวตรวจจับฮอลล์เอฟเฟกต์ในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน

ตัวตรวจจับฮอลล์เอฟเฟกต์แต่ละตัวจะให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นลอจิก 1 เมื่อเจอขั้วเหนือของแม่เหล็กถาวรที่โรเตอร์ และให้ลอจิกเป็น 0 เมื่อเจอขั้วใต้ของแม่เหล็กถาวรที่โรเตอร์ เนื่องจากตำแหน่งติดตั้งตัวตรวจจับฮอลล์เอฟเฟกต์วางห่างกัน 120 องศาไฟฟ้า ทำให้ใน 1 คาบของการหมุน สามารถแบ่งสัญญาณออกมาเป็น 6 ช่วง (Commutation States) ซึ่งแต่ละช่วงห่างกัน 60 องศาทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.8 [2]



รูปที่ 2.8 สัญญาณของตัวตรวจจับฮอลล์เอฟเฟกต์

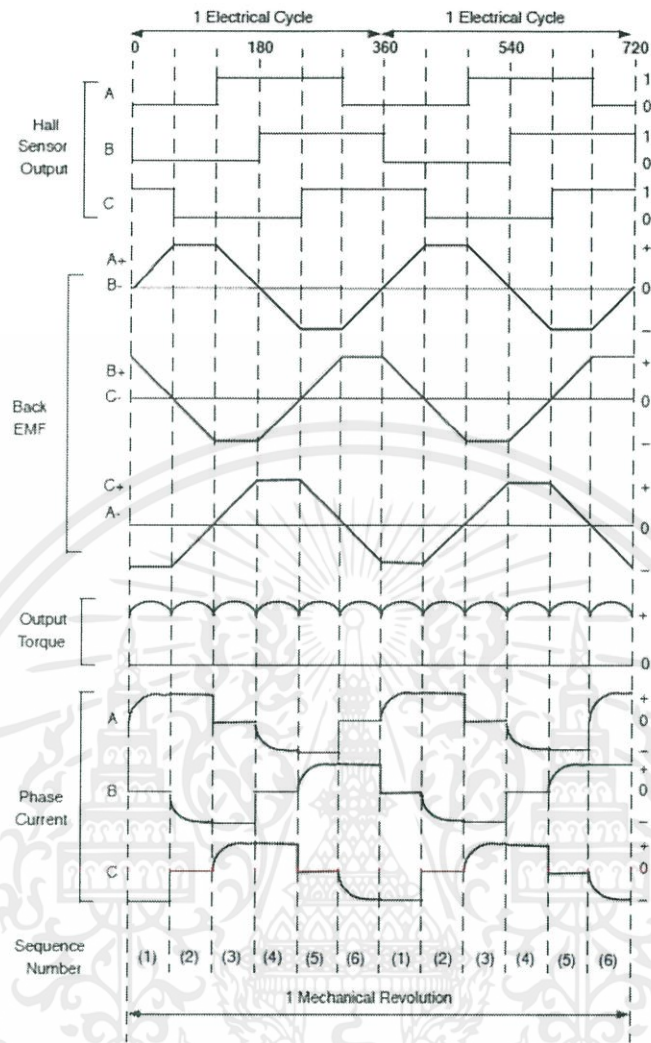
2.1.4 ทิศทางการไหลของกระแสในขดลวดการเหนี่ยวนำในสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2.9 ลำดับขั้นตอนการจ่ายไฟเข้าขดลวดแต่ละเฟส

เราจะใช้สัญญาณที่ได้จากฮอลล์เซนเซอร์เพื่อต้องการรู้ตำแหน่งของโรเตอร์มาแปลงเป็นสัญญาณที่จะไปขับเกตของมอสเฟตเพื่อให้กระแสไหลตามลำดับตามรูปที่ 2.9 ช่วงที่ 1 กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านขดลวด A ไปยัง ขดลวด B ตามเส้นที่ 1 ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กสำหรับดึงดูดโรเตอร์ให้อยู่ระหว่างขดลวด A และ B และหากให้กระแสไหลตามเส้นทางที่ 6 คือจากขั้ว A ไปยังขั้ว C จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กระหว่างขั้ว A และขั้ว C จะทำให้ตัวหมุนเคลื่อนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาไปอยู่ระหว่างขั้ว C และ ขั้ว A แทน หรือขั้ว N ประมาณเลข 11 บนหน้าปัดนาฬิกา และหากเปลี่ยนกระแส คือ จาก B ไปยัง C ต่อไปอีก ตัวหมุนจะหมุนทวนเข็มนาฬิกาต่อไปอีก ขั้ว N จะอยู่ที่ระหว่างขั้ว B และขั้ว C หรือที่ประมาณเลข 9 บนหน้าปัดนาฬิกา ดังนั้น หากให้เกิดการหมุนต่อเนื่องจะต้องทำการสับขั้วให้กระแสไหลในจังหวะที่เหมาะสมตามลำดับไป ดูได้จากรูปที่ 2.4 และเมื่อกระทำต่อเนื่องไปจนครบ 6 ขั้นตอน ในระหว่างขั้นตอนต่าง ๆ นี้ ขั้ว A ,B และ C จะถูกสับเปลี่ยนไปมาระหว่างบวกและลบ ทำให้ตัวควบคุมจะต้องใช้ MOSFET ต่อกันเป็น Bridge อย่างน้อย 6 ตัว เพื่อให้สามารถสับเปลี่ยนขั้วได้ [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

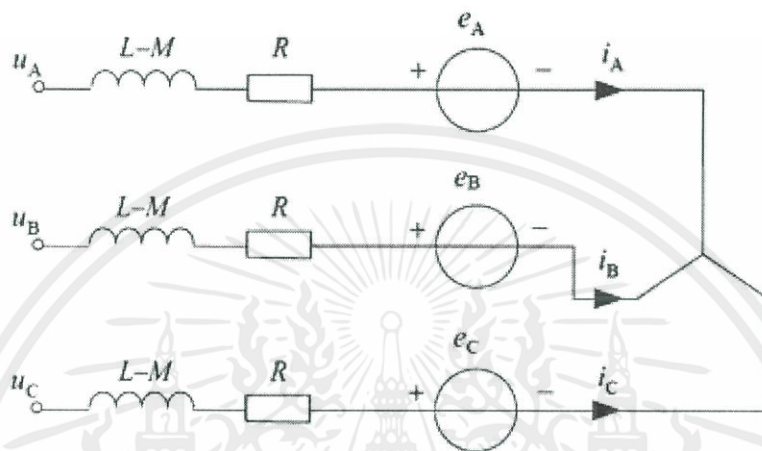


รูปที่ 2.10 Timing diagram ระหว่าง Hall sensor signal, Back EMF, Output Torque และ Phase current

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน

พฤติกรรมต่าง ๆ ของการขับเคลื่อนมอเตอร์ เช่น กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ความเร็วรอบ และ แรงบิด ที่สภาวะชั่วขณะและสภาวะคงตัวของมอเตอร์ เพื่อความเข้าใจพฤติกรรมเหล่านี้ จึงจำเป็นต้องมีความเข้าใจแบบจำลองคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ก่อน โดยวงจรสมมูลมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 วงจรสมมูลมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน

จากรูปที่ 2.11 ซึ่งเป็นวงจรสมมูลมอเตอร์ที่ขดลวดสเตเตอร์ถูกเชื่อมต่อแบบวาย จึงทำให้สามารถเขียนสมการแรงดันสเตเตอร์ได้ดังนี้

$$V_{an} = RI_a + L \frac{di_a}{dt} + E_a \quad (2.1)$$

$$V_{bn} = RI_b + L \frac{di_b}{dt} + E_b \quad (2.2)$$

$$V_{cn} = RI_c + L \frac{di_c}{dt} + E_c \quad (2.3)$$

โดยที่ V_{an} , V_{bn} , V_{cn} คือ แรงดันไฟฟ้าต้านเทียบจุดต่อร่วมนิวทรัลในแต่ละเฟส (V)

E_a , E_b , E_c คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับในแต่ละเฟส (V)

R คือ ความต้านทานขดลวดมอเตอร์ (Ohm)

$L = L_s - M$ คือ ความเหนี่ยวนำขดลวดมอเตอร์ (H)

L_s คือ ความเหนี่ยวนำขดลวดสเตเตอร์แต่ละเฟส (H)

M คือ ความเหนี่ยวนำร่วมระหว่างเฟส (H)

สำหรับสมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับของมอเตอร์สามารถเขียนได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_a = K_e \omega_m f_a(\theta) \quad (2.4)$$

$$E_b = K_e \omega_m f_b(\theta) \quad (2.5)$$

$$E_c = K_e \omega_m f_c(\theta) \quad (2.6)$$

$f_a(\theta)$, $f_b(\theta)$ และ $f_c(\theta)$ คือ ฟังก์ชันที่ขึ้นกับตำแหน่งมุมโรเตอร์ซึ่งมีการกระจายตัวเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoid Back EMF) ที่เปลี่ยนค่าตามตำแหน่งมุมโรเตอร์ โดยมีค่าสูงสุดและต่ำสุด เท่ากับ 1 และ -1 ตามสมการดังนี้

$$f_a(\theta) = \begin{cases} (6/\pi)\theta & (0 < \theta < \pi/6) \\ 1 & (\pi/6 < \theta < 5\pi/6) \\ -(6/\pi)\theta + 6 & (5\pi/6 < \theta < 7\pi/6) \\ -1 & (7\pi/6 < \theta < 11\pi/6) \\ (6/\pi)\theta - 12 & (11\pi/6 < \theta < 2\pi) \end{cases} \quad (2.7)$$

$$f_b(\theta) = \begin{cases} -1 & (0 < \theta < \pi/2) \\ (6/\pi)\theta - 4 & (\pi/2 < \theta < 5\pi/6) \\ 1 & (5\pi/6 < \theta < 9\pi/6) \\ -(6/\pi)\theta + 10 & (9\pi/6 < \theta < 11\pi/6) \\ 1 & (11\pi/6 < \theta < 2\pi) \end{cases} \quad (2.8)$$

$$f_c(\theta) = \begin{cases} 1 & (0 < \theta < \pi/6) \\ -(6/\pi)\theta + 2 & (\pi/6 < \theta < \pi/2) \\ -1 & (\pi/2 < \theta < 7\pi/6) \\ (6/\pi)\theta - 8 & (7\pi/6 < \theta < 9\pi/6) \\ 1 & (9\pi/6 < \theta < 2\pi) \end{cases} \quad (2.9)$$

จากสมการข้างบน พบว่าค่าสูงสุดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าด้านกลับ มีค่าเท่ากับผลคูณของ ω_m และ K_e ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการนี้

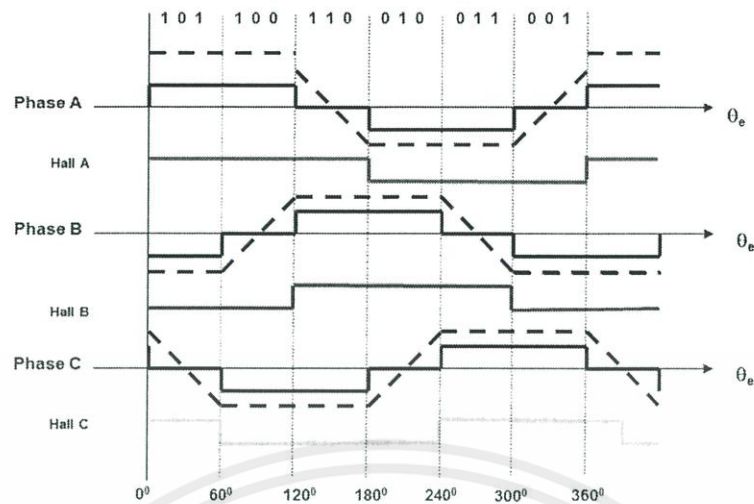
$$E = K_e \omega_m \quad (2.10)$$

โดย E คือ ค่าสูงสุดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าด้านกลับในแต่ละเฟส (V)

K_e คือ ค่าคงที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าด้านกลับ (V/(rad/s))

ω_m คือ ความเร็วรอบทางกลของมอเตอร์ (rad/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับและกระแสไฟฟ้า

ความสัมพันธ์แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับจากสมการข้างบน แสดงดังรูปที่ 2.12 เนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับมอเตอร์มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ดังนั้นกระแสไฟฟ้าจึงถูกจ่ายเข้าขดลวดมอเตอร์แต่ละเฟส (I_a , I_b และ I_c) ในขณะที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับมอเตอร์คงที่ จากนั้นกำลังไฟฟ้า และ แรงบิดมอเตอร์จึงถูกนำมาพิจารณา โดยสมการกำลังไฟฟ้า และแรงบิดของมอเตอร์สามารถเขียนได้ดังสมการ 2.11 และ สมการ 2.12

$$P_e = E_a I_a + E_b I_b + E_c I_c \quad (2.11)$$

$$T_e = \frac{P_e}{\omega_m} = [E_a I_a + E_b I_b + E_c I_c] \frac{1}{\omega_m} \quad (2.12)$$

โดย T_e คือ แรงบิดมอเตอร์ (N.m)

P_e คือ กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ (W)

ซึ่งแรงบิดมอเตอร์สัมพันธ์กับสมการการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ดังสมการ 2.13

$$T_e - T_L = J \frac{d\omega_m}{dt} + B\omega_m \quad (2.13)$$

นอกจากนี้ความสัมพันธ์ ความเร็วเชิงมุม และตำแหน่งของมอเตอร์ แสดงดังสมการ 2.14 [4]

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{P}{2} \omega_m \quad (2.14)$$

โดย T_L คือ แรงบิดของโหลด (N.m)

J คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของมอเตอร์ (N.m)

B คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของมอเตอร์และโหลด

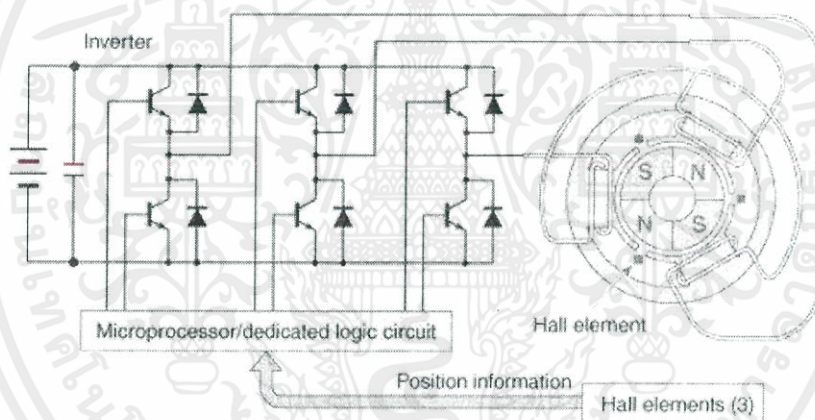
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน

การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านสามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านแบบใช้ตัวตรวจจับตำแหน่งโรเตอร์ และการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านแบบไร้ตัวตรวจจับตำแหน่งโรเตอร์ ซึ่งในโครงการนี้จะพูดถึงการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านแบบใช้ตัวตรวจจับตำแหน่งโรเตอร์

2.3.1 การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านแบบใช้ตัวตรวจจับตำแหน่งโรเตอร์

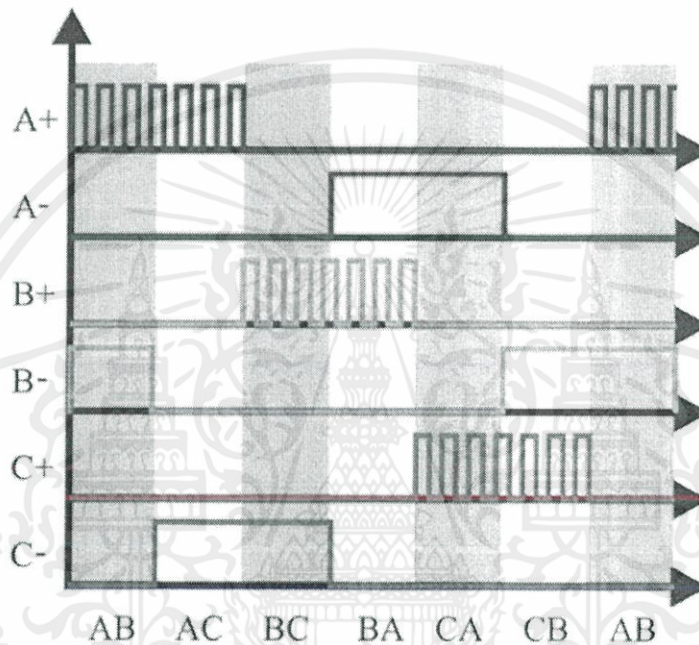
เนื่องจากมอเตอร์ชนิดนี้ไม่มีแปรงถ่านและคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ที่ทำหน้าที่จัดเรียงกระแสเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าชนิดนี้จึงจำเป็นต้องใช้วงจรสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่เรียกว่า วงจรอินเวอร์เตอร์ เพื่อเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 วงจรขับเคลื่อน BLDC Motor โดยใช้ตัวตรวจจับตำแหน่งโรเตอร์

สำหรับการขับเคลื่อนมอเตอร์ชนิดนี้ วิธีการขับเคลื่อนแบบ Six-Step เป็นวิธีการที่นิยมใช้ โดยแบ่งช่วงคอมมิวเตชัน (Commutation States) หรือช่วงเปลี่ยนทิศทางไหลของกระแสไฟฟ้าเป็น 6 ช่วง คือ S1, S2, S3, S4, S5 และ S6 แต่ละช่วงห่างกัน 60 องศาไฟฟ้า โดยในทุกๆ ช่วงของการหมุน จะมีการจ่ายแรงดันไฟฟ้าผ่านขดลวดของมอเตอร์ที่ละ 2 เฟส ส่วนขดลวดเฟสที่เหลือ ถูกปล่อยลอยไว้ เมื่อแรงดันไฟฟ้าถูกจ่ายให้กับขดลวดทั้งสองเฟส กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านเข้าขดลวดเฟสหนึ่งแล้วไหลออกขดลวดอีกเฟสหนึ่ง จึงทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลทั้งช่วงบวกและช่วงลบ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในแต่ละเฟสมีช่วงการนำกระแสอยู่ 120 องศาไฟฟ้าและมีลักษณะสี่เหลี่ยม (Quasi-Square) ดังรูปที่ 2.14 เพื่อให้สามารถปรับความเร็วรอบมอเตอร์ได้ เทคนิคพัลส์วิดมอดูเลชัน

ได้ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ โดยการปรับค่าดีวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) หรือ อัตราส่วนระหว่างช่วงเวลาเปิดสวิตช์ (T_{on}) กับคาบเวลาสวิตช์ซิง (T_s) $\frac{T_{on}}{T_s}$ เพื่อควบคุมการเปิดปิดสวิตช์ทั้ง 6 ตัวทำให้สามารถปรับแรงดันเฉลี่ยที่จ่ายให้กับขดลวดสเตเตอร์ได้ สำหรับงานวิจัยนี้ใช้เทคนิคพัลส์วิดมอดูเลชันแบบ PWM-ON ดังรูปที่ 2.14 เนื่องจากเทคนิคนี้ทำให้ความสูญเสียที่เกิดจากการสวิตช์ซิงลดลงเนื่องจากจำนวนครั้งในการสวิตช์จะน้อยกว่าการที่เราจ่ายสัญญาณ PWM ทั้งสองด้านทั้งฝั่ง High side และ Low side ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 สัญญาณควบคุมสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังทั้ง 6 ตัว

เมื่อพิจารณาการทำงานของเทคนิคพัลส์วิดมอดูเลชันแบบ PWM-ON ตลอดช่วงการหมุน 360 องศาไฟฟ้า โดยแบ่งเป็น 6 ช่วง S1, S2, S3, S4, S5 และ S6 สามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

ช่วง S1: ตัวตรวจจับฮอลล์เอฟเฟกต์ เฟส A (Hall A) เปลี่ยนสถานะลอจิกจาก 0 เป็น 1 ตัวตรวจจับฮอลล์เอฟเฟกต์ เฟส B (Hall B) มีสถานะลอจิกเป็น 0 และตัวตรวจจับฮอลล์เอฟเฟกต์ เฟส C (Hall C) มีสถานะลอจิกเป็น 1 ตัวควบคุมส่งสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชันควบคุมการเปิด-ปิดสวิตช์ Q_1 ส่วนสวิตช์ Q_4 นำกระแสต่อเนื่อง ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าที่ขดลวดมอเตอร์เฟส A และออกที่ขดลวดมอเตอร์เฟส B ส่วนขดลวดมอเตอร์เฟส C ถูกปล่อยลอยไม่มีกระแสไฟฟ้าไหล

ช่วง S2: ตัวตรวจจับฮอลล์เอฟเฟกต์ เฟส C (Hall C) เปลี่ยนสถานะลอจิกจาก 1 เป็น 0 ตัวควบคุมจะสั่งงานสวิตช์ Q_1 ถูกควบคุมด้วยสัญญาณพัลซ์วิดมอดูเลชั่น และ Q_6 นำกระแสต่อเนื่อง ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าที่ขดลวดมอเตอร์เฟส A และออกที่ขดลวดมอเตอร์เฟส C ส่วนขดลวดมอเตอร์เฟส B ถูกปล่อยลอยไม่มีกระแสไฟฟ้าไหล

ช่วง S3: ตัวตรวจจับฮอลล์เอฟเฟกต์ เฟส B (Hall B) เปลี่ยนสถานะลอจิกจาก 0 เป็น 1 ตัวควบคุมจะสั่งงานสวิตช์ Q_3 ถูกควบคุมด้วยสัญญาณพัลซ์วิดมอดูเลชั่น และ Q_6 นำกระแสต่อเนื่อง ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าที่ขดลวดมอเตอร์เฟส B และออกที่ขดลวดมอเตอร์เฟส C ส่วนขดลวดมอเตอร์เฟส A ถูกปล่อยลอยไม่มีกระแสไฟฟ้าไหล

ช่วง S4: ตัวตรวจจับฮอลล์เอฟเฟกต์ เฟส A (Hall A) เปลี่ยนสถานะลอจิกจาก 1 เป็น 0 ตัวควบคุมจะสั่งงานสวิตช์ Q_3 ถูกควบคุมด้วยสัญญาณพัลซ์วิดมอดูเลชั่น และ Q_2 นำกระแสต่อเนื่อง ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าที่ขดลวดมอเตอร์เฟส B และออกที่ขดลวดมอเตอร์เฟส A ส่วนขดลวดมอเตอร์เฟส C ถูกปล่อยลอยไม่มีกระแสไฟฟ้าไหล

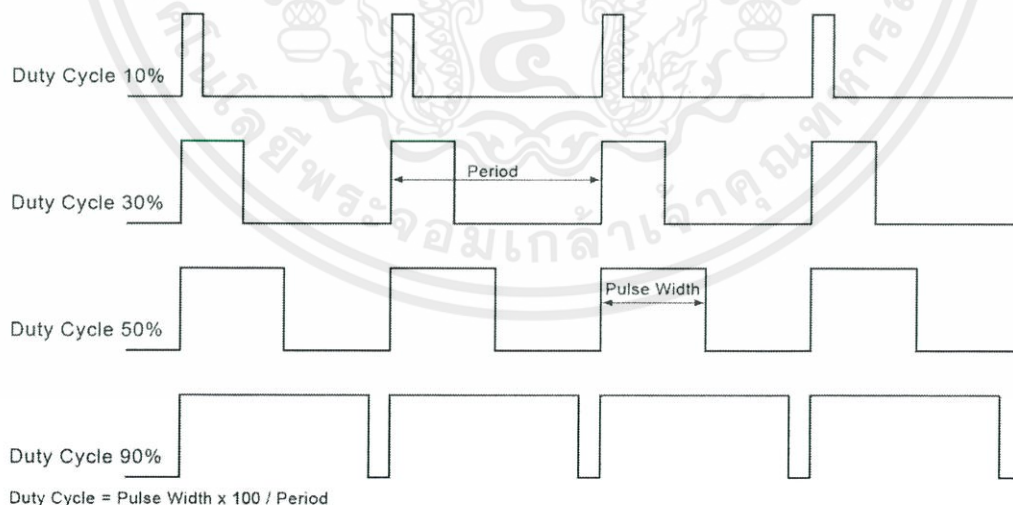
ช่วง S5: ตัวตรวจจับฮอลล์เอฟเฟกต์ เฟส C (Hall C) เปลี่ยนสถานะลอจิกจาก 0 เป็น 1 ตัวควบคุมจะสั่งงานสวิตช์ Q_5 ถูกควบคุมด้วยสัญญาณพัลซ์วิดมอดูเลชั่น และ Q_2 นำกระแสต่อเนื่องทำให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าที่ขดลวดมอเตอร์เฟส C และไหลออกที่ขดลวดมอเตอร์เฟส A ส่วนขดลวดมอเตอร์เฟส B ถูกปล่อยลอยไม่มีกระแสไฟฟ้าไหล

ช่วง S6: ตัวตรวจจับฮอลล์เอฟเฟกต์ เฟส B (Hall B) เปลี่ยนสถานะลอจิกจาก 1 เป็น 0 ตัวควบคุมจะสั่งงานสวิตช์ Q_5 ถูกควบคุมด้วยสัญญาณพัลซ์วิดมอดูเลชั่นและ Q_2 นำกระแสต่อเนื่อง ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าที่ขดลวดมอเตอร์เฟส C และไหลออกที่ขดลวดมอเตอร์เฟส B ส่วนขดลวดมอเตอร์เฟส A ถูกปล่อยลอยไม่มีกระแสไฟฟ้าไหล และวนกลับมาช่วง S1 อีกครั้งเป็นเช่นนี้เรื่อยๆ [4]

2.4 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ในแบบ PWM

ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์นั้น แนวความคิดที่จะนำมาใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์นั้นก็คือการ ควบคุมแรงดันที่จ่ายให้กับ BLDC มอเตอร์ หากจ่ายแรงดันให้กับมอเตอร์น้อย มอเตอร์ก็จะหมุนด้วยความเร็วต่ำ หากเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้น มอเตอร์ก็จะหมุนด้วยความเร็วที่สูงขึ้น แต่ในแนวความคิดของหลักการ PWM – Pulse Width Modulation นั้นไม่ได้เป็นเช่นนั้น วิธีการของ PWM นั้นจะคงค่าของแรงดันที่ใช้ขับมอเตอร์เอาไว้อย่างคงที่โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงในการทำงานของ PWM ซึ่งจะใช้ความถี่ในการตัดต่อที่สูงมาก เพื่อให้ผลที่ออกมามีความราบเรียบหรือ เหมือนกับขับมอเตอร์ด้วยแรงดัน DC ให้มากที่สุด

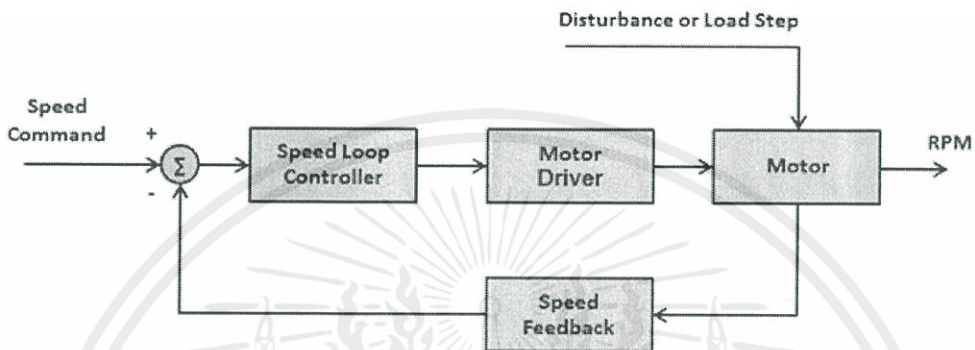
ในการทำงานภาค Output ของ PWM นั้นจะต้องใช้อุปกรณ์ในการตัดต่อที่ทำงานด้วยความเร็วสูงได้ และในทางอุดมคติ จะต้องมีความใกล้เคียงกับการเป็น อิเล็กทรอนิกส์สวิตช์ให้มากที่สุดด้วย โดยในภาค Output ของวงจรในแบบ PWM โดยเฉพาะที่ต้องมีการขับกำลังจะใช้ MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor) หรือ IGBT เป็นส่วนมาก เนื่องจาก MOSFET สามารถทำงานได้ที่ความถี่สูงขึ้นไป ตั้งแต่ 50 KHz ไปจนถึงประมาณ 500 KHz เนื่องจากมันใช้เวลาในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสั้นนั่นเอง จากดังรูปที่ 2.8 เป็นตัวอย่างการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ซึ่งจะขึ้นกับค่าของช่วงเวลา ON และ OFF หรืออัตราส่วน ของ Duty Cycle ซึ่งในรูปจะเป็น 10% 30% 50% 90% ของ Duty Cycle [4]



รูปที่ 2.15 อัตราส่วนของ Duty Cycle

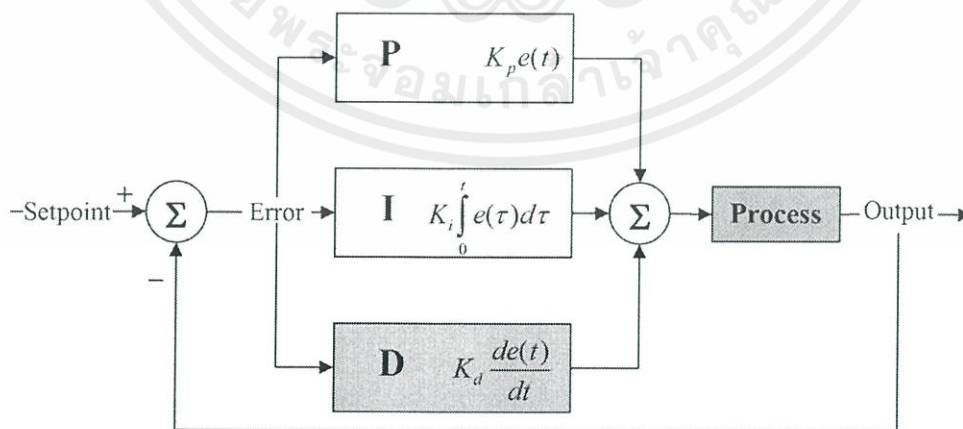
2.5 การควบคุมแบบป้อนกลับโดยใช้ตัวควบคุมแบบ PI Controller

การควบคุมแบบป้อนกลับเราจะใช้ผลต่างระหว่างความเร็วของมอเตอร์กับความเร็วที่เราอ้างอิง จะถูกใช้เป็นสัญญาณอินพุตให้กับตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัล (PI controller) ซึ่งทำหน้าที่ปรับค่าตัวตั้งซีเคิลของสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชั่นเพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์ให้ได้ตามที่ต้องการ



รูปที่ 2.16 การควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัลและอนุพันธ์ (PID Controller) ซึ่งเป็นตัวควบคุมสำหรับระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่นิยมใช้งานอย่างกว้างขวาง ซึ่งประกอบด้วย 3 เทอม คือ สัดส่วน (Proportional : P) อินทิกรัล (Integral : I) และอนุพันธ์ (Derivative : D) ซึ่งตัวควบคุมนี้รับสัญญาณความผิดพลาดระหว่างค่าอ้างอิง กับค่าจริงที่วัดได้ ($e(t)$) เข้ามาเป็นสัญญาณอินพุต โดยตัวควบคุมจะพยายามลดค่าความผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับค่าสัญญาณควบคุมที่ส่งให้ตัวระบบ ($u(t)$) แสดงดังรูปที่ 2.18 โดยสมการของตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัลและอนุพันธ์ในโดเมนเวลาต่อเนื่อง (Continuous time) แสดงดังสมการ 2.15



รูปที่ 2.17 การควบคุมแบบป้อนกลับโดยใช้ตัวควบคุมแบบ PID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$u(t) = K_p(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt}) \quad (2.15)$$

เมื่อนำตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัลและอนุพันธ์ไปประยุกต์ใช้กับการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital signal processing) จำเป็นต้องมีการแปลงสมการจากโดเมนเวลาต่อเนื่องให้อยู่ในโดเมนเวลาไม่ต่อเนื่อง (Discrete time) ดังสมการ 2.16

$$u(k) = K_p(e(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{i=0}^k e(i) + \frac{T_d}{T} (e(k) - e(k-1))) \quad (2.16)$$

จากสมการ 2.16 ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัลและอนุพันธ์ สามารถอธิบายในเทอมของเวลาได้ดังนี้ คือ

เทอมสัดส่วน (P) ขึ้นอยู่กับค่าความผิดพลาดปัจจุบัน โดยนำค่าความผิดพลาดมาคูณกับอัตราขยายเชิงสัดส่วน เพื่อขยายสัญญาณควบคุมและลดค่าความผิดพลาดของระบบ

เทอมอินทิกรัล (I) ขึ้นกับความผิดพลาดสะสมในอดีตถึงปัจจุบัน โดยถูกนำมาใช้เพื่อลดค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัว

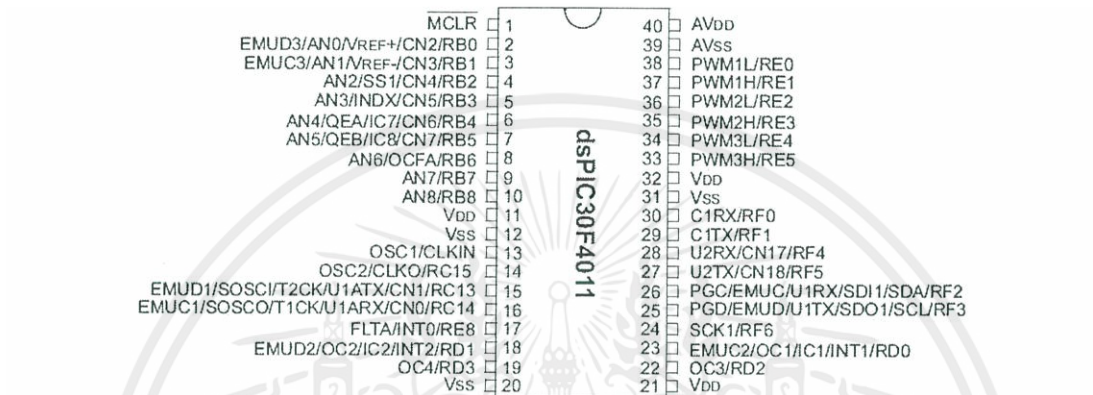
เทอมอนุพันธ์ (D) ขึ้นอยู่กับผลต่างของค่าความผิดพลาด ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์นี้ช่วยเพิ่มค่าความหน่วง (damping) ให้กับระบบที่ต้องการควบคุม ทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าสัญญาณความผิดพลาดมีสัญญาณรบกวนมาก ส่งผลให้สัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากตัวควบคุมแบบอนุพันธ์นี้มีการขยายมาก (Amplify) ค่อนข้างมาก ซึ่งอาจทำให้ระบบควบคุมไม่มีเสถียรภาพได้

ในทางปฏิบัติไม่จำเป็นต้องใช้ตัวควบคุมแบบ PID ที่มีองค์ประกอบครบทั้งสามเทอม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระบบที่ต้องการควบคุม สำหรับการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์นิยมใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัล (PI Controller) มากกว่า เพราะเทอมอนุพันธ์ไวต่อสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการวัดค่าสัญญาณเอาต์พุตซึ่งอาจทำให้ระบบไม่มีเสถียรภาพได้ ถึงแม้ว่าเทอมอนุพันธ์สามารถลดผลกระทบของค่าพุ่งเกิน (Over shoot) ได้ก็ตาม

โดยตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัล จำเป็นต้องหาค่าพารามิเตอร์ K_p , T_i ที่เหมาะสมกับระบบ ซึ่งในทางปฏิบัตินิยมหาค่าพารามิเตอร์เหล่านี้โดยวิธีใช้ Trial and Error โดยกำหนดให้ในส่วนของเทอมอินทิกรัล มีค่าเป็นศูนย์ก่อน แล้วปรับเพิ่มค่า K_p จนกระทั่งผลตอบสนองของระบบอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady State) โดยมีค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงตัว (Steady State Error ; E_{ss}) น้อยที่สุด จากนั้นจึงปรับค่าเทอมอินทิกรัล เพื่อลดค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงตัว และสภาวะพลวัต จนกว่าผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุต เป็นไปตามเงื่อนไขที่ต้องการ [4]

2.6 dsPIC30F4011

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ของ Microchip Technology เป็นทางเลือกหนึ่งของนักพัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ในประเทศไทยตั้งแต่ปลายทศวรรษ 1990 และมีการนำเบอร์ใหม่ๆมาใช้งานอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในอนุกรม PIC16F8x, PIC16F87x จนมาถึง PIC18Fxxx ซึ่งทั้งหมดนั้นซีพียูภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ยังอยู่ที่ขนาด 8 บิต



รูปที่ 2.18 dsPIC30F4011 และขาการใช้งาน

ในปี ค.ศ. 2004 นี้ Microchip Technology ได้พัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ในรุ่นใหม่ที่มีประมวผลในระดับ 16 บิตออกมาให้ใช้งานกัน นั่นคือ dsPIC ภายใต้ชื่ออย่างเป็นทางการว่า Digital Signal Controller หรือ DSC โดยจุดเด่นของ DSC คือ การประมวผลสัญญาณดิจิตอลเพื่อนำไปใช้งานในงานควบคุมโดยมีการเพิ่มขีดความสามารถของหน่วยประมวผลกลาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เนื่องจากเป็นหัวใจหลักของการประมวผลสัญญาณดิจิตอลโดยสามารถประมวผลข้อมูลได้สูงที่สุดถึง 16 บิตอย่างแท้จริง นอกจากนั้นยังเพิ่มความเร็วในการประมวผลเพื่อให้สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณดิจิตอลได้ เพิ่มเติมความสามารถของโมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลให้มีความละเอียดมากขึ้น และมีความเร็วในการสุ่มสัญญาณเพิ่มขึ้น

ด้านเครื่องมือในการพัฒนาซอฟต์แวร์ สามารถพัฒนาด้วยโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีและภาษา C ผ่านทางชุดซอฟต์แวร์ MPLAB V6.6 ขึ้นไป ร่วมกับ C คอมไพเลอร์ชื่อ MPLAB C30 ส่วนเครื่องมือทางฮาร์ดแวร์นั้นใช้ ICD2 หรือ In-Circuit Debugger/Programmer 2 ของ Microchip เป็นหลัก

2.6.1 ข้อมูลเบื้องต้นของ dsPIC

dsPIC คือชื่อของไมโครคอนโทรลเลอร์ 16 บิตจาก Microchip Technology Inc. โดย Microchip Technology ได้กำหนดชื่ออย่างเป็นทางการสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์อนุกรมใหม่นี้มี Digital Signal Controller หรือ DSC นั้นหมายความว่า dsPIC เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่องานประมวลผลสัญญาณดิจิทัลสำหรับสร้างระบบควบคุมอัตโนมัติที่มีความสามารถสูง

2.6.2 คุณสมบัติของ dsPIC

- มี 84 คำสั่งมาตรฐาน สามารถรองรับรูปแบบการอ้างอิงแอดเดรสได้อย่างอิสระ
- ชุดคำสั่งมีขนาด 24 บิต สามารถประมวลผลข้อมูลได้ 16 บิต
- มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช ความจุ 48 กิโลไบต์ ลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 100,000 ครั้งสามารถป้องกันการอ่านได้
- สามารถโปรแกรมหน่วยความจำโปรแกรมได้ด้วยตัวเอง โดยใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์
- มีหน่วยความจำข้อมูลอีพรอม 1 กิโลไบต์ ลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 1,000,000 ครั้ง
- มีหน่วยความจำข้อมูลแรม 2 กิโลไบต์
- รีจิสเตอร์ W จัดในรูปของอะเรย์ มีขนาด 16 บิต จำนวน 16 ตัว
- ความเร็วในการทำงานสูงถึง 30 ล้านคำสั่งต่อวินาที
- ความถี่สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก ตั้งแต่ย่านไฟตรงจนถึง 40 MHz
- ความถี่สัญญาณนาฬิกาในกรณีใช้งานร่วมกับวงจรเฟลลือกูภายใน ตั้งแต่ 4 MHz ถึง 10 MHz เลือกได้ 3 ระดับ คือ 4,8 หรือ 16 เท่า
- รองรับแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้สูงสุด 62 แหล่ง รวมทั้งการอินเตอร์รัปต์จากภายนอก 3 แหล่ง
- สามารถกำหนดระดับความสำคัญในการตอบสนองอินเตอร์รัปต์ 8 ระดับ
- มีอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์ 48 ตำแหน่ง
- มีวงจรตรวจจับแรงดันไฟเลี้ยงต่ำกว่ากำหนดแบบโปรแกรมได้
- มีเพาเวอร์-อนรีเซต,เพาเวอร์-อัปเดตไทมเมอร์ และออสซิลเลเตอร์สตาร์ท-อัปเดตไทมเมอร์
- มีวอตช์ด็อกไทมเมอร์แบบโปรแกรมได้
- มีวงจรตรวจสอบการทำงานของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณนาฬิกา หากผิดพลาดจะเข้าสู่โหมดสัญญาณนาฬิกา RC พลังงานต่ำทันที
- รองรับการโปรแกรมในวงจรแบบอนุกรม (ICSP : In-Circuit Serial Programming)

- สามารถเลือกโหมดการใช้พลังงานได้
- ย่านไฟเลี้ยง 2.5 ถึง 5.5 V กระแสไฟฟ้า 2.6 ถึง 4.4 mA ที่ไฟเลี้ยง +5V ขึ้นอยู่กับการกำหนดความเร็วในการทำงาน

2.6.3 คุณสมบัติด้านการประมวลสัญญาณดิจิทัล

- มีแอกคิวมูเลเตอร์ขนาด 40 บิต 2 ตัว รองรับการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ได้อย่างดี
- มีหน่วยประมวลผลด้านการคูณและหารเลข 17 บิตในรูปของฮาร์ดแวร์ จึงทำให้สามารถทำการคูณและหารเลขได้อย่างรวดเร็ว
- ทำการคูณเลข 16 บิตได้ภายในสัญญาณนาฬิกาเพียง 1 cycle
- มีตัวเลื่อนข้อมูลบาร์เรล 40 สเตจ ช่วยให้ประมวลผลข้อมูลที่จำนวนบิตมากๆ ทำได้รวดเร็ว
- มีวงจรเพดซ์ข้อมูลคู่ จึงทำให้สามารถประมวลผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว

2.6.4 คุณสมบัติของโมดูลฟังก์ชันพิเศษ

- สามารถจ่ายกระแสออกทางขาพอร์ตได้ 25 mA ทั้งแบบกระแสซิงก์และซอร์ส
- ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 16 บิต 5 ตัว สามารถต่อใช้งานร่วมกันเป็นไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 32 บิตได้
- มีโมดูลตรวจจับสัญญาณดิจิทัลขนาด 16 บิต 4 ชุด
- มีโมดูลเปรียบเทียบข้อมูลและกำหนดสัญญาณ PWM ความละเอียด 16 บิต 2 ชุด
- ในการเปรียบเทียบข้อมูลสามารถเลือกการทำงานได้ทั้ง 2 โหมด
- มีส่วนเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมแบบ SPI
- มีส่วนเชื่อมต่ออุปกรณ์ผ่านระบบบัส IC ทั้งแบบ 7 และ 10 บิต กำหนดเป็นมาสเตอร์หรือสเลฟได้
- มีโมดูลสื่อสารข้อมูลอนุกรม UART พร้อมบัฟเฟอร์แบบ FIFO
- มีโมดูลสร้างสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมมอเตอร์ 6 ช่อง
- เลือกรูปแบบเอาต์พุตได้ทั้งแบบคอมพลีเมนต์และแบบฮิสเทรีซิส
- มีโหมดปรับตำแหน่งการหมุนทั้งแบบปรับขอบสัญญาณและแบบกึ่งกลาง
- มีส่วนกำเนิดดิวิตีไซเคิล 4 ชุด
- กำหนดฐานเวลาได้ 4 โหมด
- สามารถเลือกขั้วของสัญญาณทางเอาต์พุตได้
- มีสัญญาณกระตุ้นเพื่อให้งานสัมพันธ์กับวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์
- สามารถควบคุมสัญญาณเอาต์พุตได้
- มีโมดูลเชื่อมต่อตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์

- มีอินพุต Phase A, Phase B และรับสัญญาณเฟสเพาส์เพื่อกำหนดตำแหน่ง
- มีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบดิจิตอลจากอินพุตแบบโปรแกรมได้
- สามารถกำหนดให้ทำงานได้เป็นไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตได้
- กำหนดสัญญาณอินพุตรีเซ็ตจากตำแหน่งที่นับเกิน (rollover) หรือนับขาด (underflow)
- มีวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอล ความละเอียด 10 บิต 9 ช่อง
- อัตราการสุ่มและแปลงสัญญาณ 500 กิโลแซมเปิลต่อวินาที
- สามารถแปลงสัญญาณเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานในโหมดสลีปและไอเดิลได้ [2]

2.7 Internet of Things

Internet of Things หรือ IoT หมายถึงสิ่งของต่างๆที่มีการเชื่อมต่อกันเป็นเครือข่าย รับส่งข้อมูล เพื่อทำการแลกเปลี่ยน หรือทำการประมวลผล หรือเพื่อควบคุมการทำงานสิ่งของต่างๆ สิ่งของที่กล่าวถึงนั้น หมายถึง “Things/Device” คือสิ่งของต่างๆ ได้แก่ เครื่องใช้สำนักงาน เครื่องมือ เครื่องจักรกลการเกษตร เครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม หุ่นยนต์ แขนกล อุปกรณ์ภายในอาคาร เช่น สิ่งของภายในบ้านพักอาศัย อุปกรณ์เครื่องใช้ในชีวิตประจำวัน อาทิ นาฬิกา รถยนต์ ตู้เย็น อุปกรณ์เตือนภัย ฯลฯ โดยสิ่งของที่กล่าวถึงนั้นจะมีเซนเซอร์ ที่ทำหน้าที่รับรู้สภาพแวดล้อมต่างๆ มีระบบเครือข่ายทำการติดต่อสื่อสารส่งข้อมูลกันระหว่างอุปกรณ์ (Machine to machine Communication) เหมือนหนึ่งว่าอุปกรณ์มีการคุยสื่อสารกันตัวเอง โดยอาศัยโปรโตคอล (Protocol) และระบบเครือข่าย เช่นในระบบ Smart Farm เมื่อระบบอ่านค่าเซนเซอร์ตรวจจับความแห้งของดิน เมื่อพบว่าดินมีสภาพแห้ง ก็ส่งสัญญาณสั่งให้ระบบรดน้ำทำงาน ซึ่ง Gartner ประเมินว่า IoT จะเติบโตและการใช้งานรวมสูงถึง 2 หมื่นล้านตัวในปี 2020 โดยมีมูลค่าสูงถึง 3 ล้านล้านเหรียญสหรัฐ

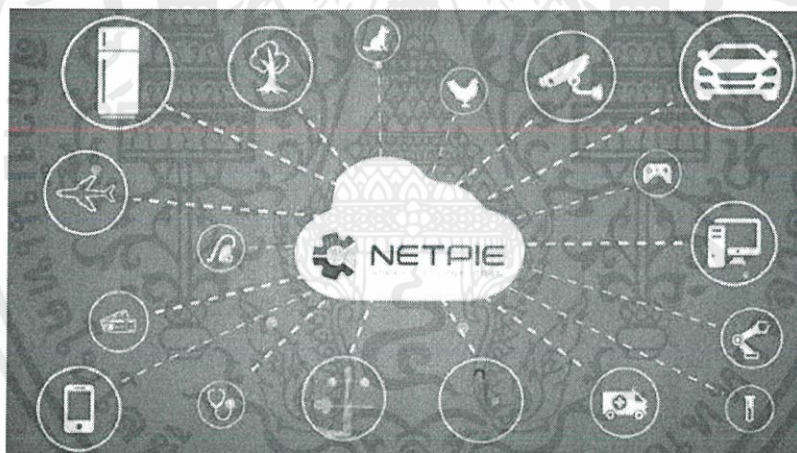
IoT จัดอยู่ในหมวดวิทยาการและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ดังนั้น ความรู้และทักษะที่เกี่ยวข้อง จะมีดังนี้

- ด้านฮาร์ดแวร์ โดยรวมแล้วงานด้าน IoT จะประกอบด้วย แผ่นบอร์ด (Board) สำหรับพัฒนาระบบ IoT ตัวเซนเซอร์ อุปกรณ์ Actuator และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ดังนั้นจะต้องมีความรู้พื้นฐานไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น เช่น กระแสไฟตรง (DC) สถานะดิจิตอล High Low วงจรอนุกรม วงจรขนาน ความรู้ด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน เช่น ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ บอร์ดทดลอง สวิตช์ แหล่งจ่ายไฟ สัญลักษณ์ทางไฟฟ้า การต่อวงจรเบื้องต้น ฯลฯ

- ด้านซอฟต์แวร์ เนื่องจากจะต้องเขียนโปรแกรมให้ IoT อ่านค่าเซนเซอร์และควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ ทำการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต หรือการพัฒนาเซิร์ฟเวอร์รองรับระบบ ดังนั้นควรมีพื้นฐานการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งภาษาหลักก็ขึ้นอยู่กับบอร์ด IoT ที่ใช้งาน เช่น ถ้าใช้ Arduino หรือ NodeMCU ESP8266 ก็ใช้กลุ่มภาษาซี แต่ถ้าใช้ Raspberry Pi ระบบปฏิบัติการ Raspbian ก็ใช้ภาษา Python ถ้าใช้ระบบ Android Things ก็ใช้ Java ฯลฯ ส่วนภาษารองที่อาจต้องใช้สนับสนุนเพิ่มเติมได้แก่พวกกลุ่มเว็บ เช่น JS HTML CSS ฯลฯ

2.8 NETPIE

NETPIE เป็นแพลตฟอร์มแบบ cloud-as-a-service ซึ่งช่วยอำนวยความสะดวกในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ IoT เข้าด้วยกันได้อย่างราบรื่นและโปร่งใสที่สุดโดยการลดความซับซ้อนในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ IoT จากมือผู้พัฒนาแอปพลิเคชันหรือผู้ผลิตอุปกรณ์ ไปยังคลาวด์



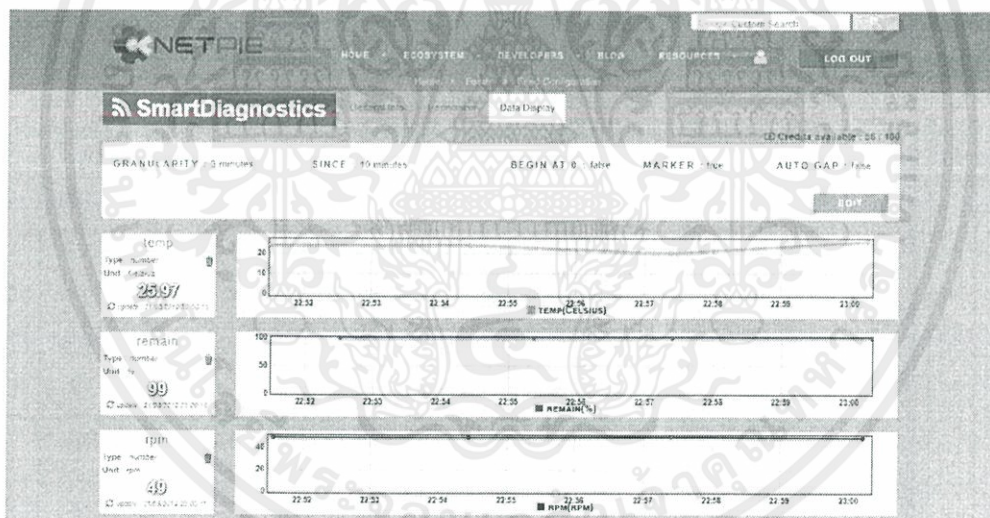
รูปที่ 2.19 Network Platform for Internet of Everything

Microgears เป็นไลบรารีเฟิร์มแวร์ ที่มีช่องทางการสื่อสารและฟังก์ชันการทำงานอื่น ๆ ระหว่างสิ่งต่างๆ และแพลตฟอร์ม NETPIE ขณะนี้มี Microgears สำหรับ hardware และระบบปฏิบัติการยอตนิยม Microgears ทั้งหมดมีให้เป็น open-source

2.8.1 NETPIE Feed

Feed เป็นเครื่องมือช่วยเก็บข้อมูลบน NETPIE โดยใช้บริการของ NETPIE Cloud Platform ในการรับส่งข้อมูล และ Feed เป็นฟังก์ชันเสริมของ Free board โดย Feed สามารถนำค่ามาแสดงเป็นกราฟเพื่อดูและสังเกตความเปลี่ยนแปลงของข้อมูลในแต่ละช่วงเวลาที่มีการทำงานเพื่อช่วยให้วิเคราะห์การทำงานของระบบได้สะดวกมากยิ่งขึ้น

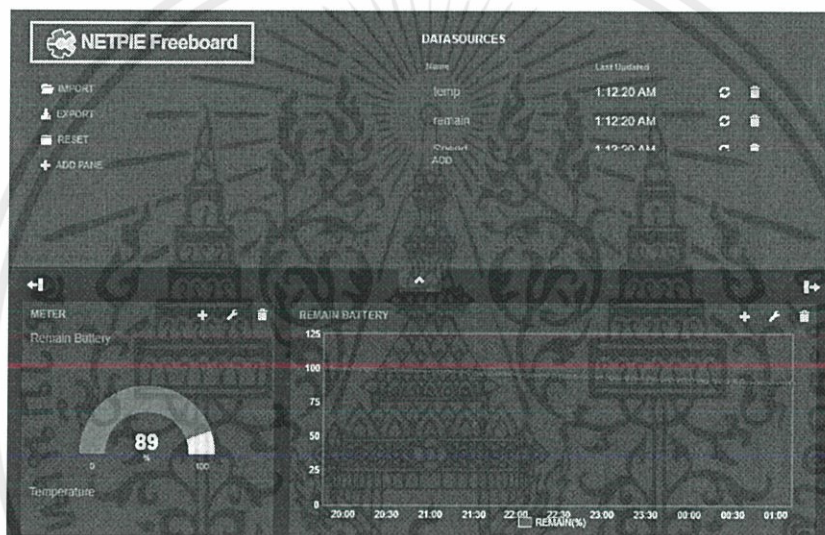
ข้อมูลที่เกิดจากการอ่านค่าของอุปกรณ์เซนเซอร์ สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย เช่น ใช้สำหรับการตรวจสอบ (Monitoring) หรือการแสดงผลของข้อมูล (Data Visualization) โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลแบบทันเวลา (Real-time Data) ซึ่งจะต้องเก็บรวบรวมด้วยอัตราความถี่ที่เหมาะสมเพื่อให้การตรวจสอบหรือการแสดงผลตรงตามความต้องการ ในปัจจุบันแพลตฟอร์ม NETPIE มีบริการที่สามารถเก็บข้อมูลและแสดงผลที่เรียกว่า Feed ซึ่งทำหน้าที่เสมือนถังเก็บข้อมูล ประเภท Time-Series กล่าวคือ เป็นชุดข้อมูลหรือค่าตัวแปร ณ เวลาต่างๆ เช่น อุณหภูมิอากาศในช่วงเวลาต่างๆ ของวัน เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้จะถูกเก็บแบบต่อเนื่องสะสมกันไปตลอด และสามารถเรียกออกมาดูในช่วงเวลาใดก็ตาม



รูปที่ 2.20 NETPIE Feed

2.8.2 NETPIE Freeboard

Freeboard เป็น Web Application ที่สามารถสร้าง Dashboard เพื่อแสดงผลสำหรับ IoT แอปพลิเคชันโดยสามารถใช้เป็นกระดานส่วนตัว สามารถวางปุ่มกดสวิตช์ไว้ใช้สำหรับควบคุมอุปกรณ์ หรือวางหน้าปัดเพื่อแสดงผลข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากอุปกรณ์ เช่น เซนเซอร์ในระบบ IoT นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลเป็นกราฟได้ ส่วนหน้ากระดานหรือ Dashboard นั้น สามารถปรับแต่งได้โดยง่าย เพียงแค่ป้อนข้อมูลเข้าหรือกำหนดคำสั่งก็สามารถทำงานได้แล้ว โดยที่ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องเขียน HTML Web Page เองและที่สำคัญคือข้อมูลนั้นมีการอัปเดตแบบ Real-time มีความเสถียรและเชื่อถือได้ และเป็น Open-Source ซึ่งทำให้นักพัฒนาสามารถต่อยอดให้ดียิ่งขึ้นได้อีกด้วย



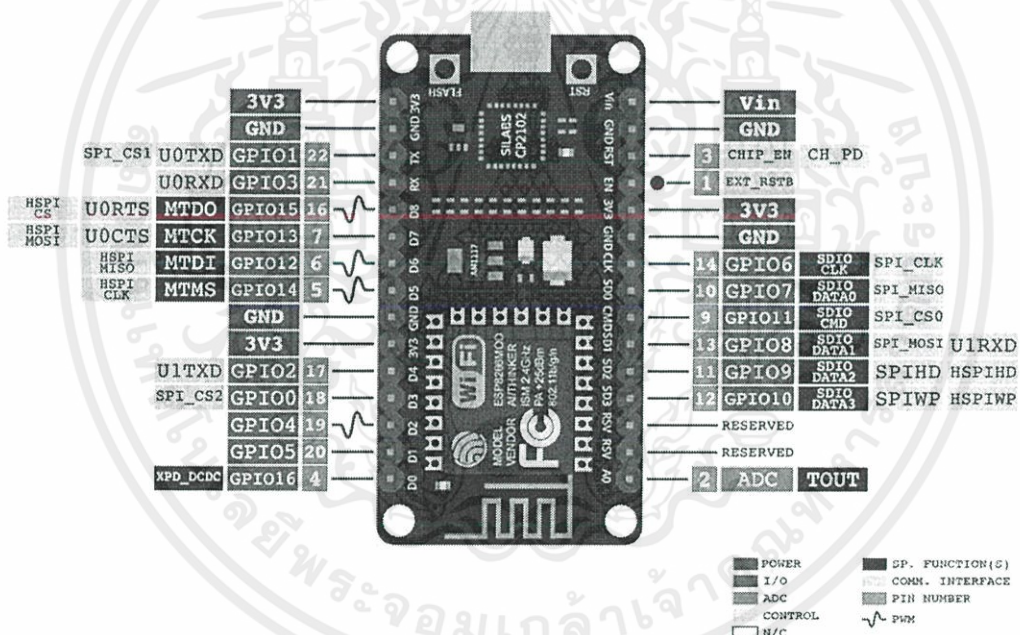
รูปที่ 2.21 NETPIE Freeboard

NETPIE Freeboard คือ board สำหรับการควบคุมและการแสดงผล (Visualization) ข้อมูลที่ดึงมาจากอุปกรณ์ที่ต่อกับ NETPIE ทีมงานได้พัฒนา Widget Plugins ขึ้นมาให้ผู้ใช้สามารถทำตามความต้องการได้หลากหลาย เช่น สามารถสร้างปุ่มควบคุมและใส่คำสั่ง Java script สำหรับ Action ต่าง ๆ ได้ การใช้งาน NETPIE Freeboard นั้นสามารถใช้ Browser เปิดไฟล์ index.html ที่ได้จากการติดตั้ง NETPIE Freeboard หรือสามารถใช้ Freeboard ผ่านทางหน้าเว็บของ NETPIE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 NodeMCU ESP8266

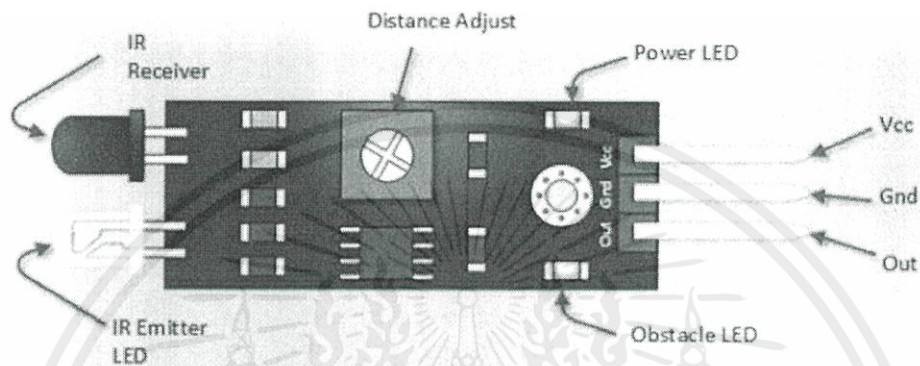
NodeMCU ESP8266 เรียกว่า NodeMCU เป็นบอร์ดสำหรับงาน IoT ตัวหนึ่งที่ได้รับ ความนิยมสูง เนื่องจากมีขนาดเล็กและราคาถูก โครงสร้างขา Input Output คล้ายกับ Arduino และ มีจำนวนมากพอใช้งานทั่วไป บนบอร์ดมีระบบ WiFi รองรับการทำงานทั้งโหมด Station และ Client ทำให้สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายและทำงานเป็น Access Point ได้ หรือเซิร์ฟเวอร์ให้ทำงานเป็น Web Server ขนาดเล็กได้ NodeMCU จัดอยู่ในรูปแบบ Arduino ก็ได้ โดยเมื่อเทียบกับ Arduino แล้ว ตัวบอร์ด NodeMCU มีสถาปัตยกรรมคล้าย Arduino ที่ไม่ต้องติดตั้งระบบปฏิบัติการ ภายในจะมีโปรแกรมจัดการของตัวเอง ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมควบคุม สามารถเขียนได้ 2 ภาษา คือ ภาษาซี (เขียนเหมือนกับ Arduino) และภาษา Lua ซึ่งถ้าใช้ภาษาซีเขียนโปรแกรมควบคุม ก็สามารถ ใช้ Arduino IDE เขียนโปรแกรมและ อัปโหลดเข้าตัวบอร์ดได้เลย และขาของ NodeMCU ESP8266 ถูกนิยามไว้ดังรูปที่ 2.23 [9]



รูปที่ 2.22 ขากรใช้งานของ ModeMCU ESP8266

2.10.2 IR Infrared Obstacle Avoidance Sensor

Infrared sensor สามารถใช้ได้หลายจุดประสงค์ สามารถใช้เพื่อตรวจสอบว่ามีสิ่งกีดขวางหน้า robot ของเราหรือไม่ หรืออาจจะเอามาใช้การดูว่ารถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติของเรามีการวิ่งที่ตรงทางรีเพล่า หรืออาจจะเอาไปใช้ในการตรวจจับความเร็วรอบของมอเตอร์ก็ได้เช่นกัน โดยในที่นี้เราจะใช้ Infrared sensor เป็นตัวตรวจสอบวัตถุหน้ารถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติ

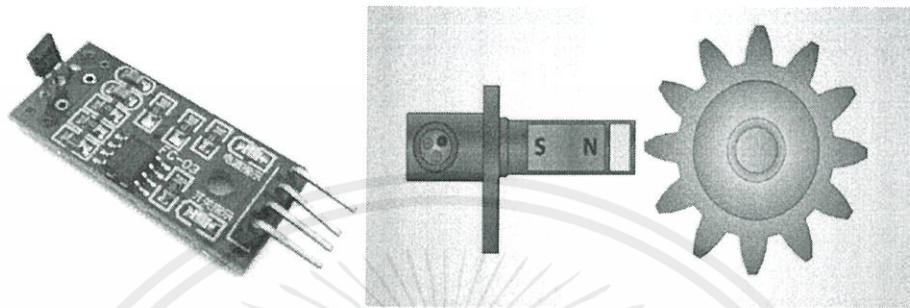


รูปที่ 2.24 IR Infrared Obstacle Avoidance Sensor และการใช้งาน

เซนเซอร์แสงสำหรับตรวจจับวัตถุกีดขวาง (IR Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module) โดยโมดูลนี้ จะมีตัวรับและตัวส่ง infrared ในตัว ตัวสัญญาณ (สีขาว) infrared จะส่งสัญญาณออกมา และเมื่อมีวัตถุมาบัง คลื่นสัญญาณ infrared ที่ถูกส่งออกมาจะสะท้อนกลับเข้าไปในตัวรับสัญญาณ (สีดำ) สามารถนำมาใช้ตรวจจับวัตถุที่อยู่ตรงหน้าได้ และสามารถปรับความไว ระยะการตรวจจับ ใกล้หรือไกลได้ เซนเซอร์แบบนี้จะมีช่วงในการทำงาน หรือระยะในการตรวจจับจะได้ไกลกว่าแบบอื่น ซึ่งในสภาวะการทำงานปกติตัวรับ (Receiver) จะสามารถรับสัญญาณแสงจากตัวส่ง (Emitter) ได้ตลอดเวลา เนื่องจากลำแสงจะสะท้อนกับแผ่นสะท้อน (Reflector) อยู่ตลอดเวลา จะแสดงค่าเป็น 0 หน้าหลักของเซนเซอร์ชนิดนี้ จะคอยตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่ตัดผ่านหน้าเซนเซอร์ เมื่อวัตถุผ่านเข้ามาที่หน้าเซนเซอร์ แล้วจะการขวางลำแสงที่ส่งจากตัวส่ง Emitter ที่ส่งไปยังแผ่นสะท้อน จึงทำให้ตัวรับไม่สามารถรับลำแสงที่จะสะท้อนกลับมาได้ จะแสดงค่าเป็น 1 ซึ่งจะทำให้วงจรภายในรับรู้ได้ว่า มีวัตถุหรือชิ้นงานขวางอยู่ ทำให้สถานะของเอาต์พุตของตัวรับเปลี่ยนแปลงไป โดยเราเรียกลักษณะการทำงานแบบนี้ว่า Dark On [9]

2.10.3 Hall sensor

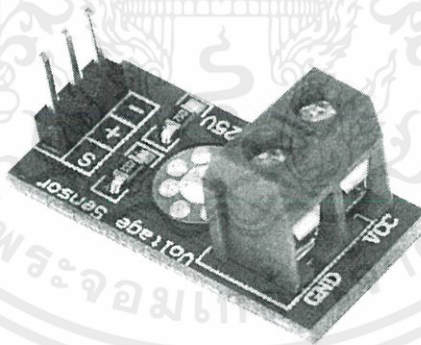
Hall sensor ใช้ตรวจจับความเร็วของมอเตอร์โดยเราจะใช้ Hall sensor ใน BLDC 1 ตัวเมื่อขั้วแม่เหล็กหมุนผ่านก็จะส่งสัญญาณไปเข้าขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ ให้คำนวณหาว่า 1 รอบใช้เวลาไปเท่าไร หลังจากรู้เวลาที่ใช้ใน 1 รอบแล้วเราก็จะไปคำนวณหาความเร็วรอบในหน่วย RPM



รูปที่ 2.25 Hall Sensor และการนำไปใช้กับการวัดความเร็วมอเตอร์

2.10.4 Voltage sensor

FZ0430 DC Voltage Sensor เป็นโมดูลวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง สามารถวัดแรงดันไฟได้ไม่เกิน 25 VDC เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้งานภายในวงจร

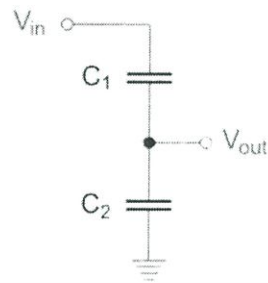


รูปที่ 2.26 Voltage sensor และวิธีการใช้งาน

โดยที่เซนเซอร์แรงดันสามารถวัดได้ทั้ง DC และ AC โดยที่อินพุตคือโวลต์ที่จะวัดและเอาท์พุตจะเป็นสัญญาณโวลต์อนาล็อก หรือ กระแสนาล็อก หรืออื่นๆ เซนเซอร์แรงดันบางตัวสามารถสร้างสัญญาณไซน์หรือสัญญาณพัลส์ได้ ในเซนเซอร์แรงดัน การวัดนั้นจะใช้หลักการแบ่งแรงดัน โดยที่มีอยู่ 2 แบบใหญ่ๆ คือ Capacitive type voltage sensor และ Resistive type voltage sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.4.1 Capacitive voltage sensor



$$V_{out} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \times V_{in}$$

รูปที่ 2.27 Capacitive type voltage sensor

โดยโครงสร้างของตัวเก็บประจุจะประกอบด้วยแผ่นตัวนำสองแผ่นแล้วมีสารที่ไม่ใช่ตัวนำอยู่ตรงกลาง โดยที่สารที่ไม่ใช่ตัวนำนี้เรียกว่า ไดอิเล็กทริก เมื่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับข้ามไดอิเล็กทริกจากนั้นกระแสก็จะสามารถเดินทางผ่านตัวเก็บประจุได้ ต่อไปเราจะพูดถึงการแบ่งแรงดันในตัวเก็บประจุ 2 ตัวที่ต่ออนุกรมกันอยู่ โดยทั่วไปแล้วถ้าเป็นตัวต้านทานจะแปรผันตรงกัน แต่ในที่นี้เป็นตัวเก็บประจุ แรงดันไฟฟ้ากับค่าความจุไฟฟ้าจะแปรผกผันกัน

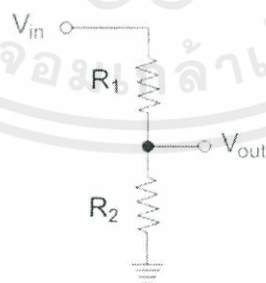
$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \quad (2.17)$$

ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้าคือ

$$V = \frac{Q}{C} \quad (2.18)$$

โดยจากสมการ 2.17 และ 2.18 เราจะรู้ว่าแรงดันไฟฟ้าแปรผกผันกับค่าความจุไฟฟ้า และเซนเซอร์แรงดันไฟฟ้าที่ใช้หลักการของการแบ่งค่าความจุไฟฟ้าก็ใช้หลักการพื้นฐานจากสมการนี้

2.10.4.2 Resistive voltage sensor

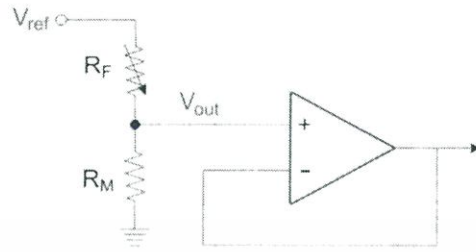


$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in}$$

รูปที่ 2.28 Resistive type voltage sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Resistive voltage sensor มี 2 วิธีที่จะวัดแรงดันไฟฟ้า วิธีแรกคือวิธีพื้นฐานโดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าที่วงจรแบ่งแรงดันตัวต้านทานดังรูปที่ 2.30

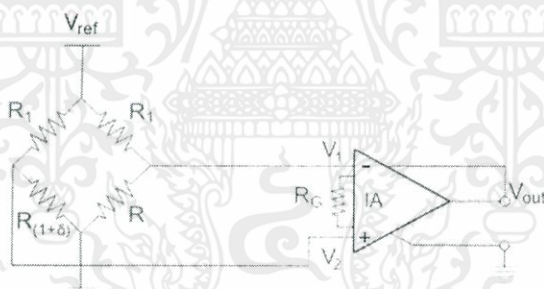


รูปที่ 2.29 วงจรแบ่งแรงดันโดยใช้ตัวต้านทาน

แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะจ่ายเข้าที่ ADC แรงดันไฟฟ้าขาออกสามารถแสดงได้ตามสมการที่ 2.19

$$V_{out} = \frac{R_M}{R_M + R_F} \times V_{ref} \quad (2.19)$$

ข้อเสียของวงจรนี้ก็คือ แอมพลิฟายเออร์จะขยายแรงดันไฟฟ้าทั้งหมดที่ผ่านเซนเซอร์ แต่จะดีกว่าถ้าขยายแค่เพียงแรงดันที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความต้านทานจากเซนเซอร์ เพราะฉะนั้นวิธีการต่อไปก็จะแก้ปัญหานี้โดยการใช้วงจรตัวต้านทานแบบบริดจ์ดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.30 วงจรบริดจ์

แรงดันไฟฟ้าจากวงจรบริดจ์จะเท่ากับ

$$V_{out} = A \times \frac{R_M}{R_M + R_F} \times V_{ref} \frac{\delta}{1 + \left(\frac{R}{R_1}\right)(1 + \delta)} \quad (2.20)$$

ถ้า $R_1 = R$ จะทำให้แรงดันไฟฟ้าขาออกประมาณเท่ากับ

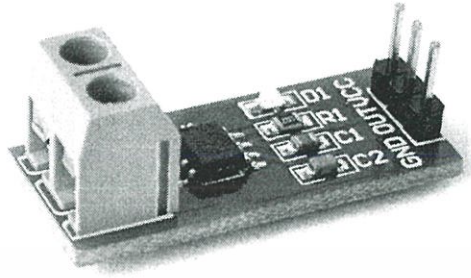
$$V_{out} = \frac{A}{4} V_{ref} \delta \quad (2.21)$$

โดยที่ A คือ อัตราการขยายของแอมพลิฟายเออร์

δ คือ ค่าความเปลี่ยนแปลงของความต้านทานในตัวเซนเซอร์

ในสมการนี้เราต้องให้อัตราขยายมากๆ เพราะการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานที่ผ่านอัตราการขยาย

2.10.5 Current sensor

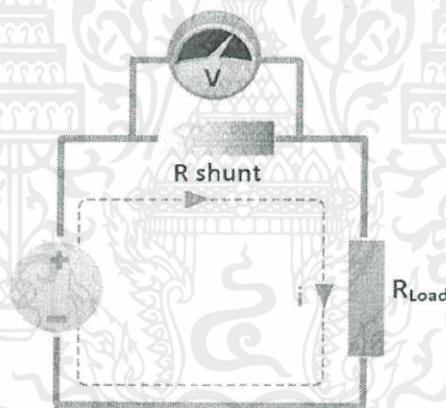


รูปที่ 2.31 Current sensor และขาการใช้งาน

ACS712 Current sensor 20A โมดูลนี้เป็นอุปกรณ์ใช้ต่อพ่วงกับ Arduino ในช่อง Analog เพื่ออ่านค่ากระแสที่ไหลผ่าน

เซ็นเซอร์กระแสมีรูปแบบการวัดกระแสได้ 3 รูปแบบ คือ

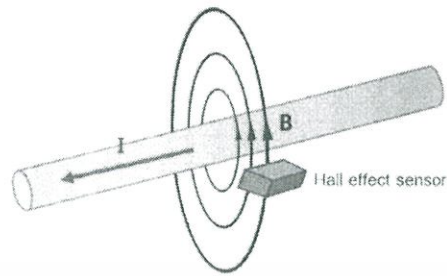
2.10.5.1 Current Sensing Resistors



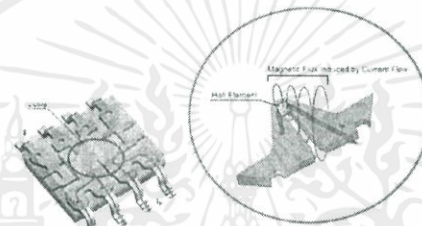
รูปที่ 2.32 วงจรเบื้องต้นการวัดกระแสโดยใช้ R Shunt

การวัดกระแสโดยใช้ R Shunt โดยอาศัยหลักการคือ วัดแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานค่าน้อยๆ ซึ่งต่ออนุกรมกับความต้านทานโหลดเรียกว่าความต้านทานชั้นท์และ คำนวณกลับเป็นกระแส โดยจากสูตร $I = V_{shunt} / R_{shunt}$ สามารถวัดได้ทั้งไฟ DC และ AC

2.10.5.2 Hall Effect Sensor



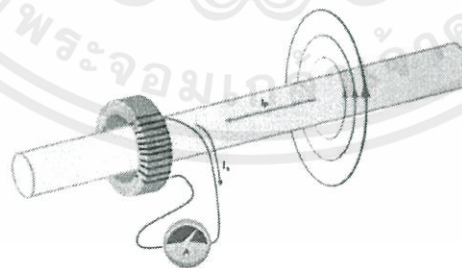
รูปที่ 2.33 เซนเซอร์ Hall effect ภายในชิปตระกูล ACS



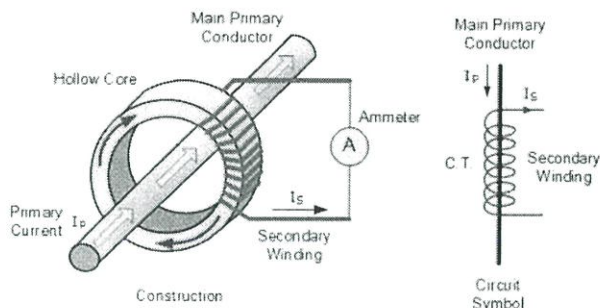
รูปที่ 2.34 วรรณเบื้องต้น การวัดกระแสโดยใช้ Hall effect sensor

Hall effect sensor เป็นการวัดกระแสทางอ้อม เมื่อเราจ่ายกระแสไฟฟ้าทั้ง DC และ AC จะทำให้เกิดเส้นสนามแม่เหล็กรอบสายไฟ เมื่อเซนเซอร์ Hall effect อยู่ในบริเวณเส้นสนามแม่เหล็กของสายไฟ จะส่งสัญญาณออกมา ตามระดับสนามแม่เหล็กที่วัดได้

2.10.5.3 Current Transformer



รูปที่ 2.35 หลักการวัดกระแสโดยใช้ Current transformer



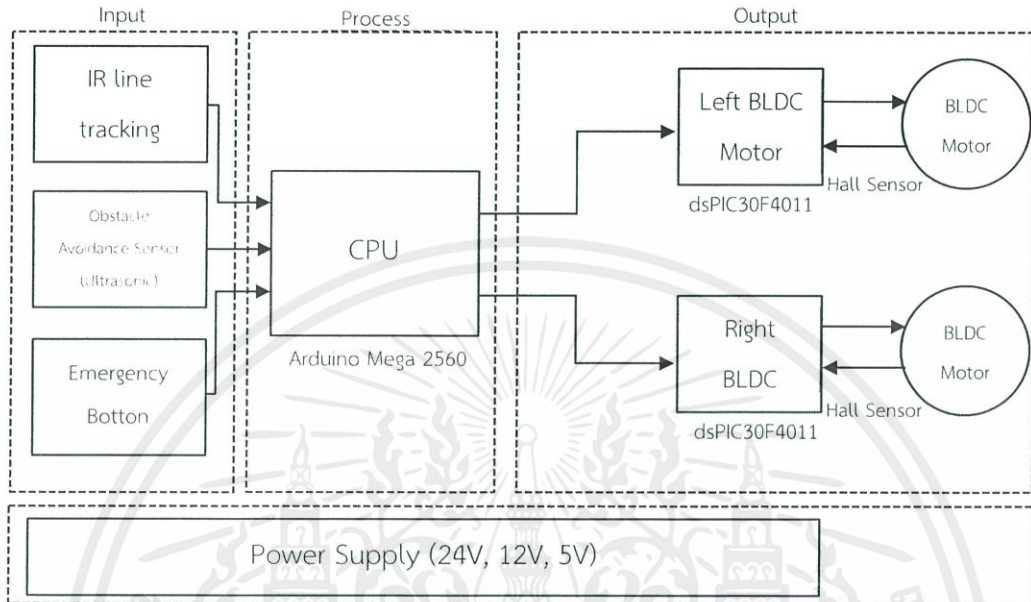
รูปที่ 2.36 สัญลักษณ์ของ Current Transformer

Current Transformer เป็นการวัดกระแสไฟฟ้าทางอ้อมเช่นกัน โดยใช้หลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กเหมือนกับหม้อแปลงไฟฟ้า แต่เปลี่ยนให้ฝั่ง Primary เป็นสายไฟที่ต้องวัดกระแสแทน และมีเพียงขดลวดฝั่ง Secondary เรียกว่า Current Transformer เมื่อเราจ่ายกระแสไฟฟ้าสลับไหลผ่านสายไฟ จะทำให้เกิดเส้นสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงไปมา และไปตัดกับขดลวดที่พันรอบแกน Inductive Sensor ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นเมื่อต่อกับโวลต์ ซึ่งจะวัดได้เฉพาะกระแสไฟฟ้า AC เท่านั้น กรณีที่จ่ายกระแสไฟฟ้า DC เข้าไปในสายไฟ จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะไม่เกิดการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก หลักการนี้สามารถนำไปใช้กับ Clamp meter โดยในที่นี้ เซนเซอร์กระแสที่เลือกใช้จะใช้หลักการของ Hall effect sensor

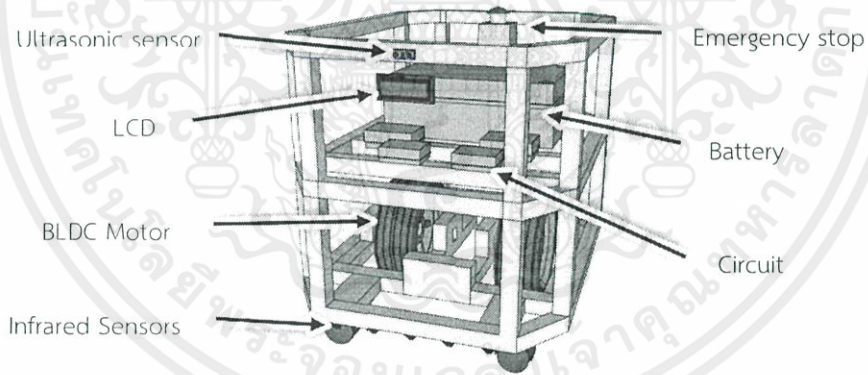
บทที่ 3

การออกแบบการทดลอง

3.1 ระบบการทำงานของ AGV System



รูปที่ 3.1 Block diagram ของ AGVs [1]

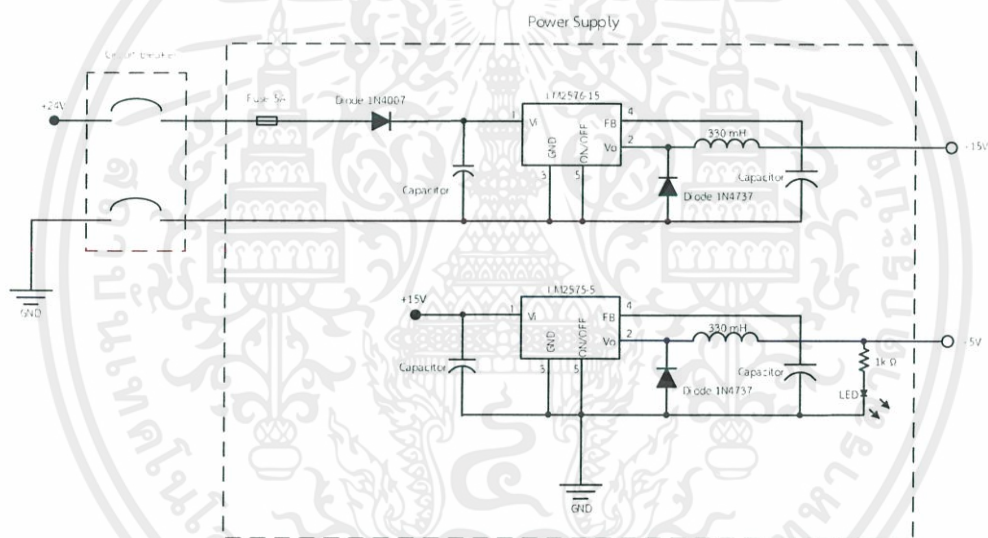


รูปที่ 3.2 โมเดลรถ AGV จาก SketchUp

3.2 ระบบ Power Supply

วงจรไฟเลี้ยงของรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติ มีอินพุตเป็นแบตเตอรี่ 24V ต่อผ่าน Circuit Breaker และมีการป้องกัน คือ ป้องกันกระแสเกินด้วยการต่อฟิวส์ 5A และป้องกันการต่อกลับขั้วของอินพุตโดยการต่ออนุกรมไดโอดเบอร์ 1N4007 ซึ่งสามารถทนแรงดันย้อนกลับได้ 1,000V และมี Forward Voltage 1V และมีการต่อตัวเก็บประจุประเภท Electrolyte Capacitor เพื่อรักษาระดับแรงดันกระแสตรง รวมทั้งลดการกระเพื่อมของกระแสตรง (Ripple Voltage)

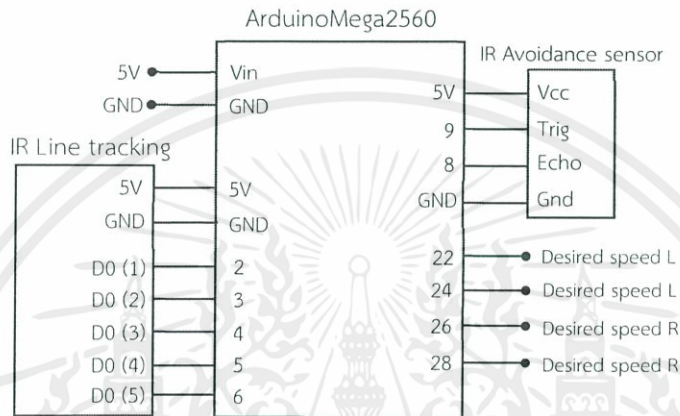
วงจรไฟเลี้ยงมีวงจรลดทอนแรงดัน (Regulator) ให้เป็นแรงดัน $12V_{dc}$ โดยใช้ LM2575-12 ซึ่งเป็นวงจรลดทอนแรงดันแบบ switching ซึ่งนำไปใช้กับวงจรขับเคลื่อน และมีเอาต์พุต เท่ากับ 5V นำไปใช้กับวงจรควบคุมต่าง ๆ และมีการต่อไฟ LED เพื่อแสดงผลว่าวงจรกำลังทำงานอยู่ สามารถแสดงวงจร Power Supply ได้ดังรูปที่ 3.2 [1]



รูปที่ 3.3 Schematic ของวงจร Power Supply

3.3 ระบบประมวลผลกลาง

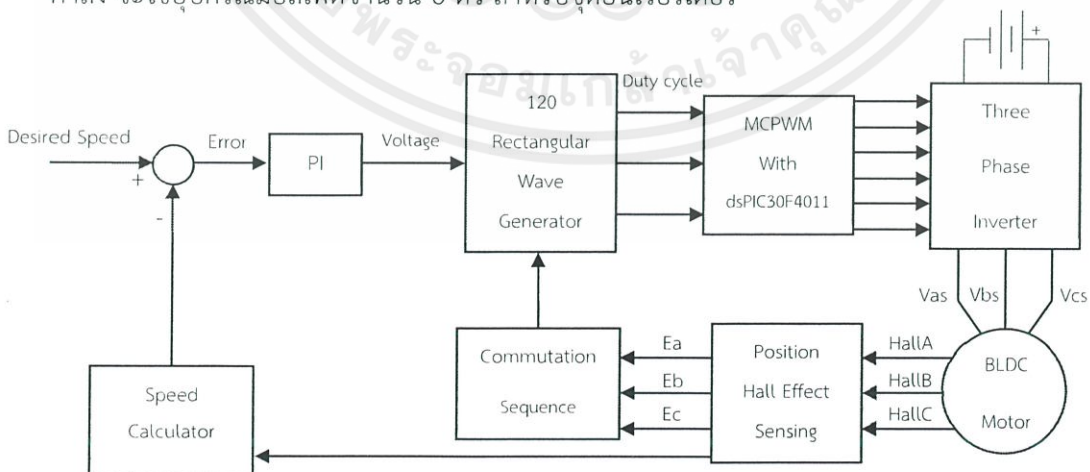
วงจรของตัวประมวลผลกลางของรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติต้องประมวลผลหลายอย่าง เช่น รับค่าจากเซนเซอร์เพื่อประมวลผลควบคุมการขับเคลื่อน , ตรวจจ็ับวัตถุที่อยู่ในระยะใกล้ ๆ เป็นต้น ซึ่งตัวประมวลผลกลางเป็น ArduinoMega2560 โดย ArduinoMega2560 ต้องวงจรเข้ากับ IR Line tracking, IR Avoidance sensor และ BLDC Motor Drive ทั้ง 2 ข้าง



รูปที่ 3.4 Schematic ของวงจรตัวประมวลผลกลางของ AGVs

3.4 ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

การออกแบบ และการสร้างเครื่องต้นแบบของวงจรการควบคุมความเร็วรอบสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน ในการควบคุมระบบจะใช้ตัวประมวลผลทางดิจิทัล (Digital Signal Controller: DSC) ตระกูล dsPIC ขนาด 16 บิต ในภาคของการควบคุม และส่วนของภาคกำลัง จะใช้อุปกรณ์มอสเฟตจำนวน 6 ตัว สำหรับชุดอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 3.5 ไดอะแกรมของมอเตอร์แบบอาศัยตัวตรวจจับตำแหน่งโรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบวงจรในแต่ละส่วนของภาคการควบคุม และภาคกำลังไฟฟ้า ในการวิจัยนี้ ประกอบด้วยวงจรภาคการทำงานหลักสำหรับการออกแบบ ในรูปที่ 3.1 ซึ่งเป็นไดอะแกรมของการควบคุมความเร็วสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน ในส่วนของวงจรแต่ละภาคส่วนจะแสดงการออกแบบตามรายละเอียด ดังต่อไปนี้

3.4.1 การออกแบบวงจรควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมสัญญาณดิจิทัล

dsPIC คือ ชื่อของไมโครคอนโทรลเลอร์ 16 บิตจากบริษัท Microchip Technology Inc. ผู้ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งรู้จักกันเป็นอย่างดีในแวดวง นักพัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ โดย Microchip ได้กำหนดชื่ออย่างเป็นทางการสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์อนุกรมใหม่นี้ว่า Digital Signal Controller หรือ DSC นั้นหมายความว่า dsPIC เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่อการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลสำหรับระบบควบคุมอัตโนมัติที่มีความสามารถสูง และมีฟังก์ชันสำหรับการควบคุมมอเตอร์ และชุดควบคุมสัญญาณ PWM สำหรับขับมอเตอร์ถึง 6 ช่อง

3.4.2 การออกแบบวงจรชุดอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

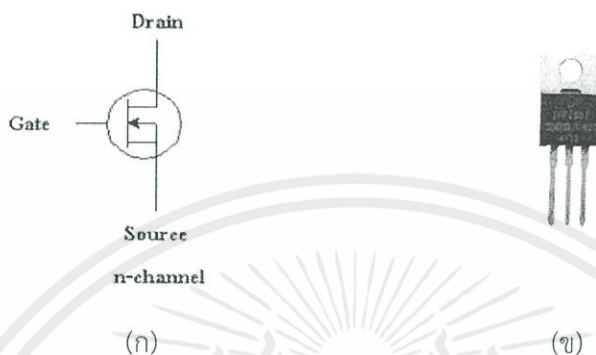
อินเวอร์เตอร์เป็นวงจรที่ใช้ในการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับในการสับเปลี่ยนทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในแต่ละกิ่งของชุดอินเวอร์เตอร์ โหลดของชุดอินเวอร์เตอร์จะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน 3 เฟส ในที่นี้จะกล่าวถึงการทำงานวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ตามสัญญาณขับอุปกรณ์สวิตซ์ และการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์

สำหรับโครงงานนี้ เลือกอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งเป็น มอสเฟตกำลัง (MOSFET) จุดเด่นของมอสเฟตกำลัง คือทำงานได้ดีที่ความถี่สูง ตั้งแต่ 10 kHz ถึงประมาณ 400 kHz ใช้เวลาในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสั้น พิกัดการทำงานของแรงดันไฟฟ้าต่ำถึงแรงดันไฟฟ้าสูง แต่มีข้อจำกัดกระแสไฟฟ้าสูง และการพัฒนาในปัจจุบันมีแนวโน้มทำให้มอสเฟตกำลังทำงานที่ความถี่สูงมากขึ้นไปอีกซึ่งจะเป็นผลดีในการลดขนาดของอินเวอร์เตอร์ กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในขณะที่มอสเฟตกำลังทำงานจะเป็นไปได้ 2 ลักษณะ คือ การสูญเสียขณะนำกระแสไฟฟ้า และการสูญเสียขณะสวิตซ์

การหาพิกัดของมอสเฟตกำลัง เราสามารถหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสูงสุดได้จากสมการที่ 3.1

$$I_p = \frac{2\pi P_o}{v} \quad (3.1)$$

ในการใช้งานมอสเฟตจำเป็นต้องเผื่อพิกัดในการใช้งานไว้ที่ 70% เพื่อป้องกันการกระชากและการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด ดังนั้นจึงเลือกใช้งานมอสเฟตกำลังเบอร์ IRF2807 มีพิกัดเท่ากับ 82A, 100V แบบเอ็นแชนแนล (N-channel) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 เป็นสัญลักษณ์ของมอสเฟตและรูปมอสเฟตที่ใช้ในชุดอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์มอสเฟตชนิดเอ็น-แชนแนล (ก) สัญลักษณ์ (ข) มอสเฟต

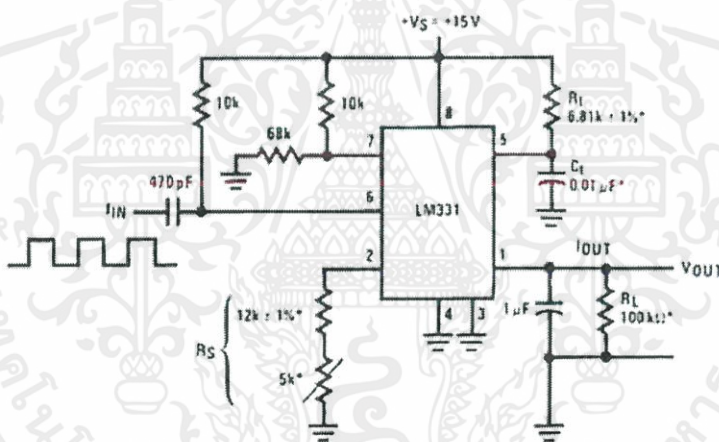
วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน ใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสในการควบคุมมอเตอร์ โดยใช้ Power MOSFET เบอร์ IRF2807 เป็นอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่ง ซึ่งมี $V_{DD} = 75V$, $R_{DS(on)} = 13m\Omega$, $I_D = 82A$ และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ dsPIC30F4011 เป็นตัวควบคุมชุดขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่าน โดยใช้ความถี่สวิตซ์ซึ่งที่ 20 kHz แต่เนื่องจาก dsPIC30F4011 สามารถจ่ายแรงดันได้แค่ 5V ดังนั้นจึงต้องมีวงจรขับเกตซึ่งใช้ไอซีเบอร์ IR2101 เป็นวงจรขับเกต

นอกจากนี้ยังมีการต่อ LED 2 หลอด โดยหากหลอด LED ติด 1 หลอด หมายความว่าชุดขับยังอยู่ในสถานะปิดการใช้งานอยู่ แต่เมื่อทำการสับสวิตซ์ LED จะติด 2 หลอด แสดงว่าชุดขับพร้อมทำงานแล้ว วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านแสดงดังรูปที่ 3.6 [1]

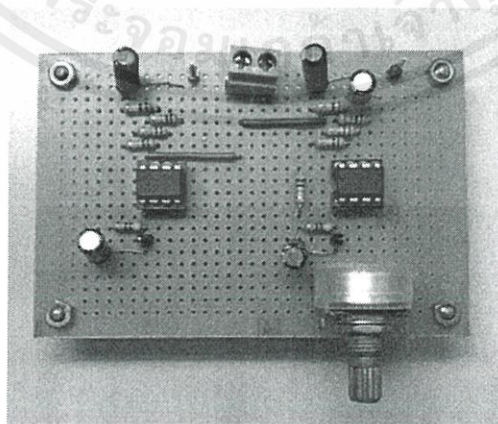
3.4.3 การออกแบบวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า

ในโครงงานนี้มอเตอร์ที่ใช้เป็น Hub BLDC Motor การต่อ encoder เพื่อที่จะหาความเร็วเป็นไปได้อย่าง จึงต้องใช้สัญญาณฮอลล์แทน แต่มอเตอร์ที่ใช้เป็นมอเตอร์เดิม มีบางส่วนได้รับความเสียหาย ทำให้สัญญาณที่ได้ไม่สมบูรณ์ เพราะฉะนั้นไม่สามารถใช้สัญญาณฮอลล์โดยตรงได้ คณะผู้จัดทำได้ตัดสินใจเลือกใช้งานวงจรแปลงความถี่ของสัญญาณฮอลล์เป็นแรงดันไฟฟ้า นำมาสร้างสมการตัวแทนของความเร็วของมอเตอร์

วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกความถี่เอาท์พุทของสัญญาณฮอลล์ แปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าตามสัดส่วน ซึ่งถูกนำไปเปรียบเทียบกับความเร็วของมอเตอร์ในความเร็วที่หลากหลาย ไอซี LM331 เป็นตัวแปลงสัญญาณความถี่ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 0 - 5V เพื่อป้อนเป็นสัญญาณอินพุตให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ และแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลป้อนกลับเข้าไปเป็นความเร็วเพื่อทำการประมวลผลเปรียบเทียบกับความเร็วที่กำหนด ซึ่ง $V_{out} = f_{IN} \times 2.09V \times \frac{R_L}{R_S} \times (R_t C_t)$ [8]



รูปที่ 3.8 Schematics วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 3.9 วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า

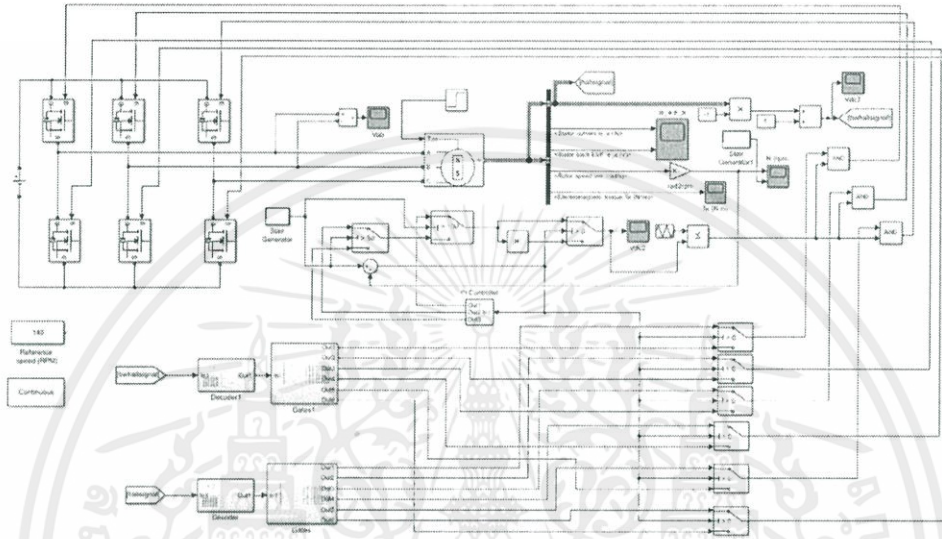
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

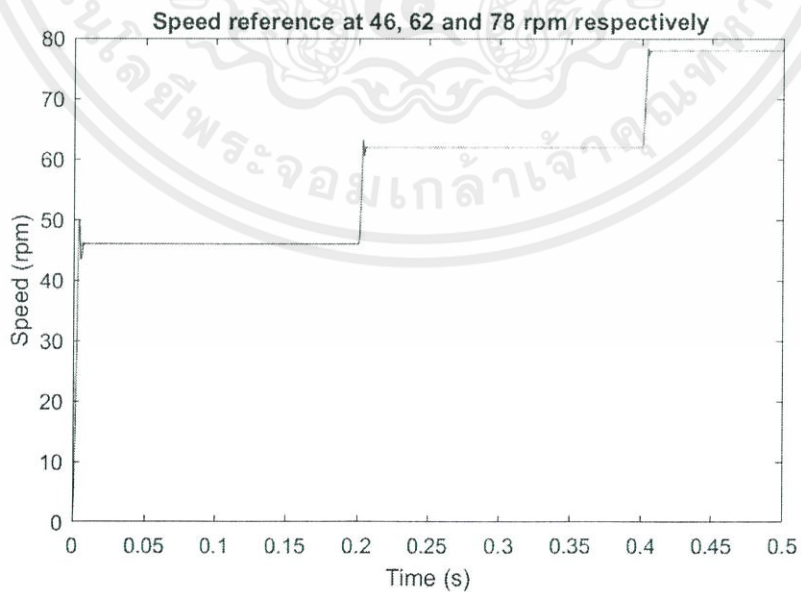
4.1 ผลจากการจำลอง MATLAB

โครงการนี้ทำการสร้างแบบจำลองการทำงานในโปรแกรม MATLAB ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การจำลองของ BLDC Motor Drive

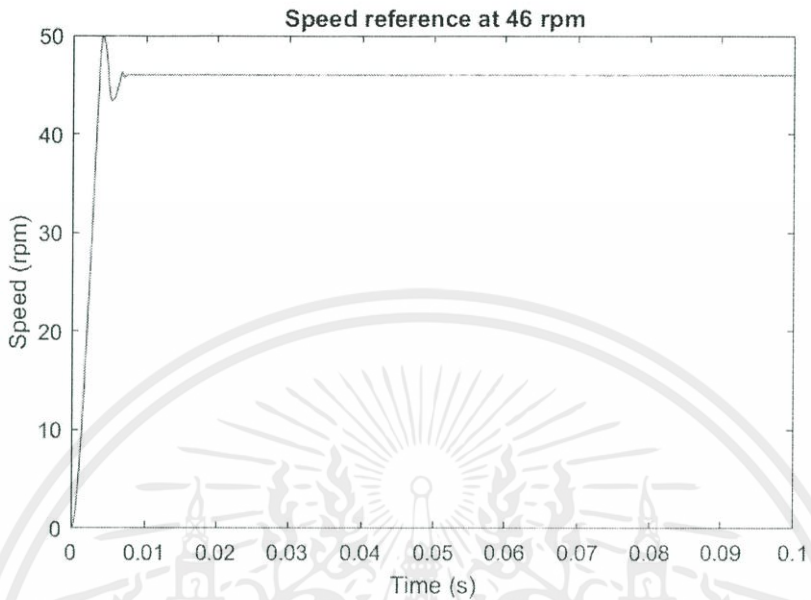
การทดสอบมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านโดยควบคุมความเร็วแบบจำลองทาง MATLAB Simulink โดยผลการควบคุมแบบ Close Loop แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ผลการจำลองแบบ Close Loop

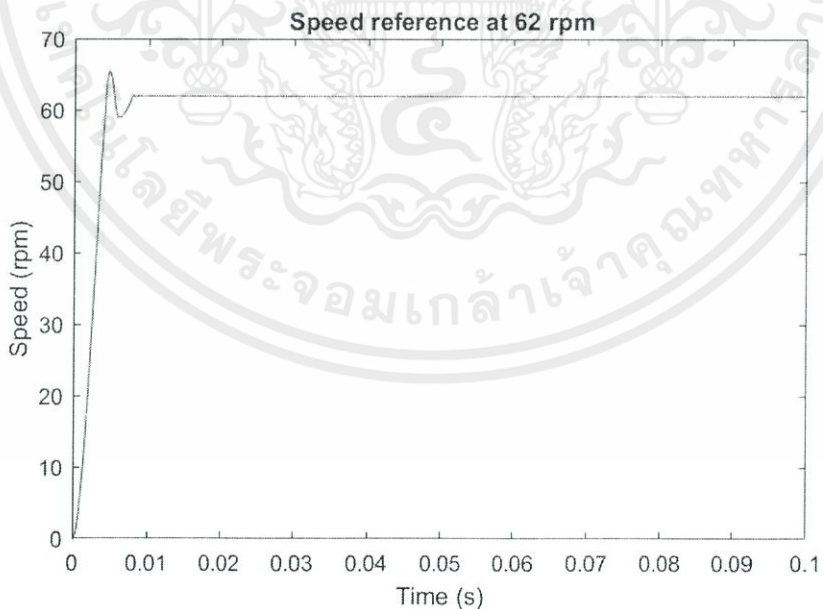
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วของมอเตอร์ เมื่อกำหนดความเร็วที่ 46 rpm จะได้ว่า Rise time = 2.719 ms ,
Settling time = 7.733 ms และ Overshoot = 3.94 rpm ดังรูปที่ 4.3



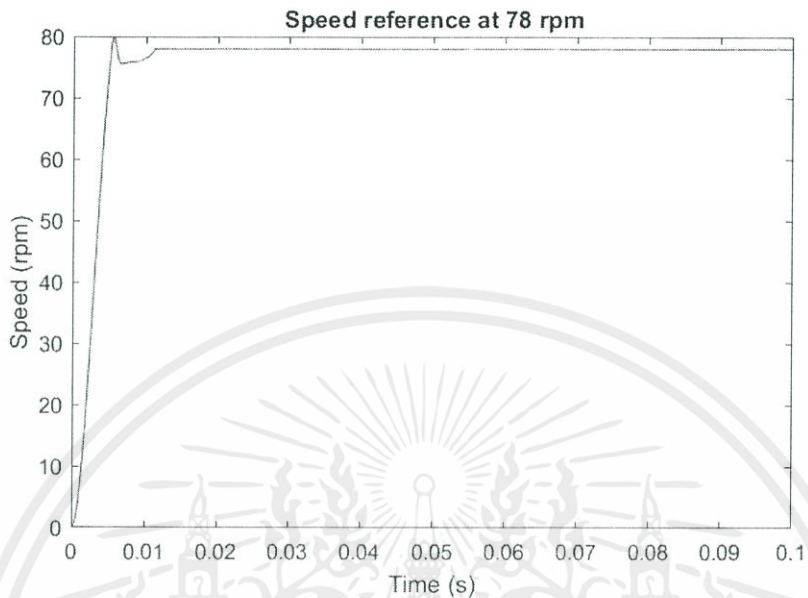
รูปที่ 4.3 ความเร็วมอเตอร์ที่ 46 rpm แบบ Close Loop

ความเร็วของมอเตอร์ เมื่อกำหนดความเร็วที่ 62 rpm จะได้ว่า Rise time = 3.037 ms ,
Settling time = 8.934 ms และ Overshoot = 3.43 rpm ดังรูปที่ 4.4



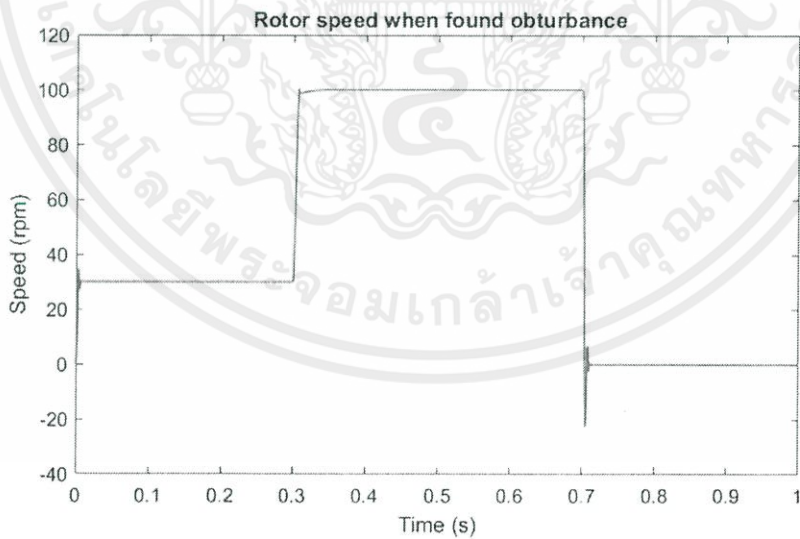
รูปที่ 4.4 ความเร็วมอเตอร์ที่ 62 rpm

ความเร็วของมอเตอร์ เมื่อกำหนดความเร็วที่ 78 rpm จะได้ว่า Rise time = 4.202 ms ,
Settling time = 11.9 ms และ Overshoot = 1.8 rpm ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความเร็วมอเตอร์ที่ 78 rpm

ความเร็วของมอเตอร์ เมื่อเริ่มต้นที่ความเร็ว 30 rpm พบสิ่งกีดขวางที่เวลา 0.7 วินาที
ลดความเร็วเป็นหยุดนิ่ง ดังรูปที่ 4.6

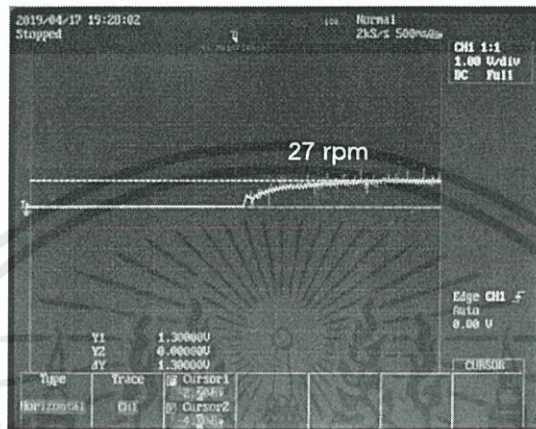


รูปที่ 4.6 ความเร็วมอเตอร์เมื่อพบสิ่งกีดขวาง

4.2 ผลการทดลองการควบคุมแบบ Open Loop

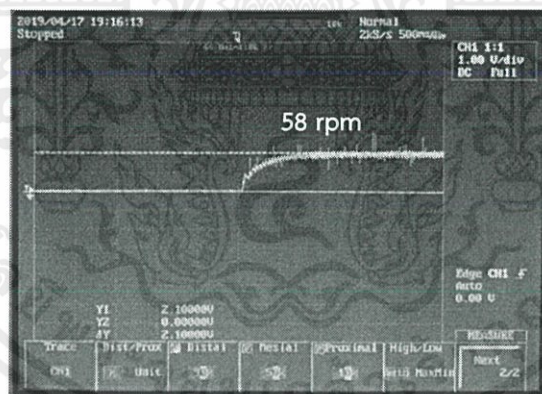
จากการทดลองแบบ Open Loop แบบ No-Load ที่ Duty ต่างๆ ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าจากวงจรแปลงความถี่ ดังนี้

ที่ Duty=0.10 ความเร็วของมอเตอร์ 27 rpm , แรงดันไฟฟ้า=1.30V ดังรูปที่ 4.7



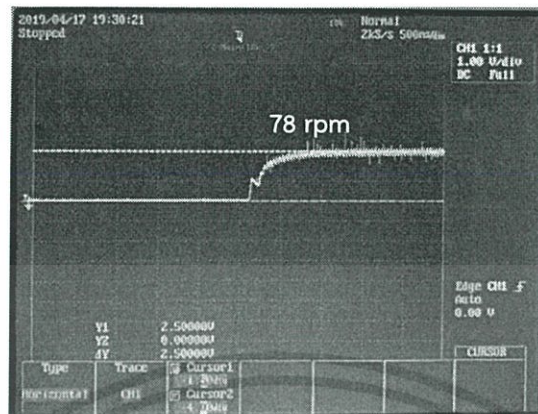
รูปที่ 4.7 กราฟจากวงจรแปลงความถี่แบบ Open Loop ที่ Duty 0.10

ที่ Duty=0.15 ความเร็วของมอเตอร์ 58 rpm , แรงดันไฟฟ้า=2.10V ดังรูปที่ 4.8



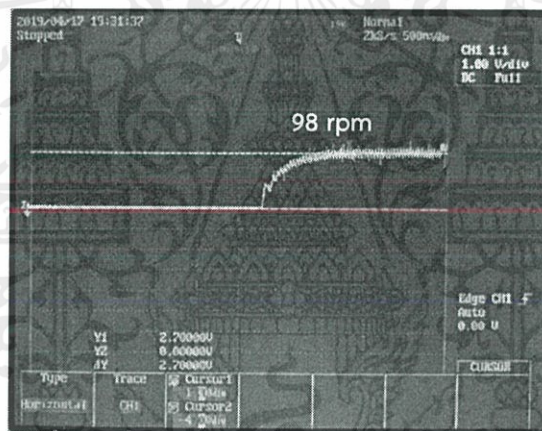
รูปที่ 4.8 กราฟจากวงจรแปลงความถี่แบบ Open Loop ที่ Duty 0.15

ที่ Duty=0.20 ความเร็วของมอเตอร์ 78 rpm , แรงดันไฟฟ้า=2.60V ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 กราฟจากวงจรแปลงความถี่แบบ Open Loop ที่ Duty 0.20

ที่ Duty=0.25 ความเร็วของมอเตอร์ 98 rpm , แรงดันไฟฟ้า=2.72V ดังรูปที่ 4.10



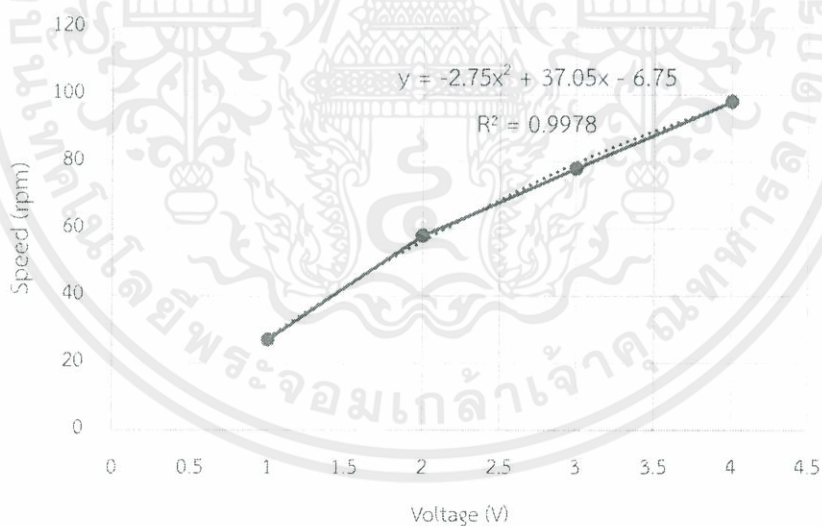
รูปที่ 4.10 กราฟจากวงจรแปลงความถี่แบบ Open Loop ที่ Duty 0.25

4.3 ผลการทดลองการแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า

ผลจากการแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้าในช่วงความเร็วที่เหมาะสมกับรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติ ความเร็วอยู่ในช่วง 5 m/s ถึง 8 m/s หรือ 50 rpm ถึง 80 rpm (รัศมีล้อ เท่ากับ 10 cm) สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วมอเตอร์กับแรงดันไฟฟ้า ดังตารางที่ 4.1 และนำไปพลอตกราฟแสดงแนวโน้มของกราฟ เพื่อหาความเร็วจริงของมอเตอร์ และนำไปใช้ในการควบคุมแบบ Close Loop โดย Microcontroller รับค่าแรงดันไฟฟ้าแล้วแปลงเป็นความเร็วตามสมการที่ได้จาก trend line ของกราฟรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วมอเตอร์กับแรงดันไฟฟ้า

Duty	Speed (rpm)	Voltage (V)
0.10	27	1.32
0.15	46	2.10
0.20	62	2.51
0.25	78	2.70

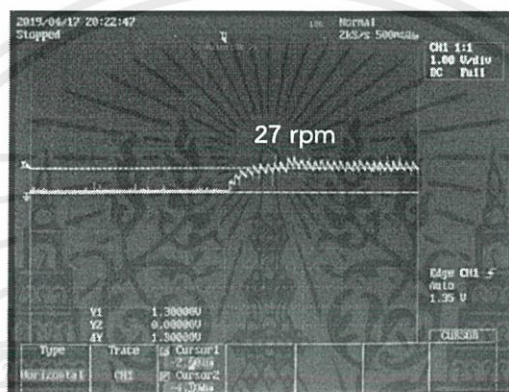


รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วมอเตอร์กับแรงดันไฟฟ้า

4.4 ผลการทดลองการควบคุมแบบ Close Loop

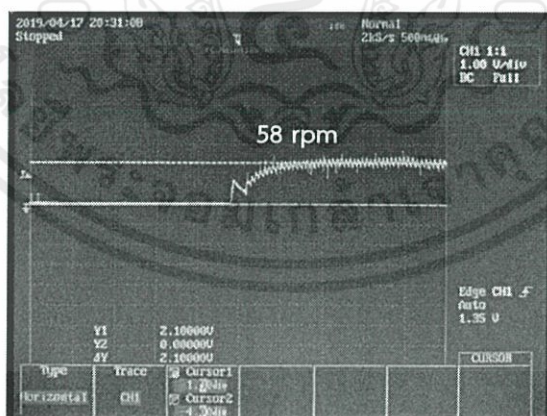
จากการทดลองแบบ Close Loop แบบ No-Load ที่ Duty ต่างๆได้ทำการปรับค่า Kp และ Ki เป็นช่วงๆ ในช่วง Duty ≤ 0.10 ได้ Kp=0.21 และ Ki=10 , ช่วง $0.10 < \text{Duty} \leq 0.15$ ได้ Kp=0.5 และ Ki=16.7 , ช่วง $0.15 < \text{Duty} \leq 0.20$ ได้ Kp=0.06 และ Ki=30 และ ช่วง Duty > 0.20 ได้ Kp=1.5 และ Ki=25

ที่ความเร็วของมอเตอร์ 27 rpm , แรงดันไฟฟ้า=1.30V , Rise time=650ms และ Settling time=850ms ดังรูปที่ 4.12



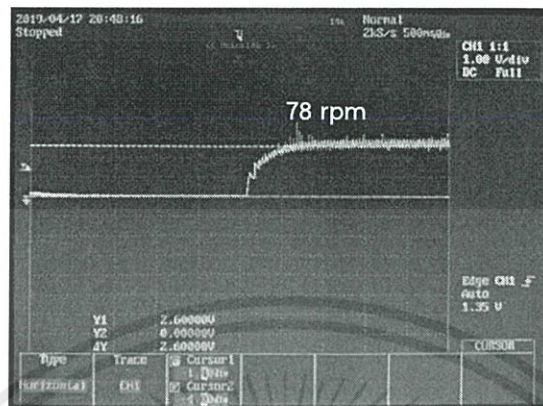
รูปที่ 4.12 กราฟจากวงจรแปลงความถี่แบบ Close Loop ที่ความเร็ว 27 rpm

ที่ความเร็วของมอเตอร์ 58 rpm , แรงดันไฟฟ้า=2.10V , Rise time=700ms และ Settling time=900ms ดังรูปที่ 4.13



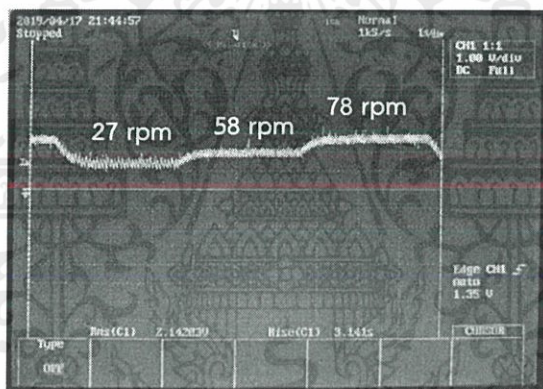
รูปที่ 4.13 กราฟจากวงจรแปลงความถี่แบบ Close Loop ที่ความเร็ว 58 rpm

ที่ความเร็วของมอเตอร์ 78 rpm , แรงดันไฟฟ้า=2.60V , Rise time=700ms และ Settling time=900ms ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 กราฟจากวงจรแปลงความถี่แบบ Close Loop ที่ความเร็ว 78 rpm

ที่ความเร็วของมอเตอร์ 27 rpm , 58 rpm และ 78 rpm ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 กราฟจากวงจรแปลงความถี่แบบ Close Loop ที่ความเร็วสามค่า

4.5 ผลการทดลองแสดงการควบคุมความเร็วของมอเตอร์

ผลการทดลองนี้แสดงถึงความเร็วของมอเตอร์แบบ Open Loop และ Close Loop ขณะ No Load เพื่อทดสอบการควบคุมความเร็วของระบบให้มีประสิทธิภาพและเสถียรภาพ

ตารางที่ 4.2 ความเร็วของมอเตอร์

ความเร็วของมอเตอร์ (rpm)	
Open Loop	Close Loop
27	27
45	46
61	63
78	79

4.6 ผลการทดลองระบบเดินตามเส้นของรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติ

จากผลการทดลองการเดินตามเส้นของรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติ การตรวจจับเส้นสามารถเดินตามเส้นได้แต่ยังไม่ราบรื่นเท่าที่ควร เนื่องจากทางผู้จัดทำเลือกให้เซนเซอร์อินฟราเรดรับค่าเป็นดิจิตอล และค่าความสว่างที่มากกระทบกับเส้น ทำให้เซนเซอร์อินฟราเรดไม่สามารถอ่านค่าดิจิตอลได้ จึงต้องควบคุมความสว่างในห้องทดลองให้ไม่มีแสงรบกวน รวมไปถึงปัจจัยอื่นๆ เช่น ลักษณะการออกแบบตัวรถ ดังนั้น จากการทดลองจะเห็นว่ารถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติสามารถเดินตามเส้นได้ ดังรูปที่ 4.16

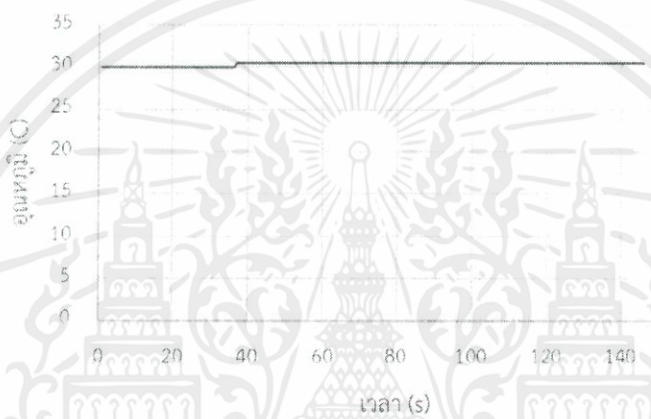


รูปที่ 4.16 การทดลองระบบเดินตามเส้นของรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติ

4.7 ผลการทดลองระบบแสดงผลบน NETPIE

4.7.1 ผลการทดลองแสดงอุณหภูมิ

การทดลองนี้ทำการทดลองโดยการเก็บข้อมูลแบบ Local จากการอ่าน Serial Monitor ซึ่งจะแสดงผลออกมาทุกๆ 1 วินาที ดังรูปที่ 4.17 และแบบ Global การอ่านค่าที่ส่งผลเพื่อแสดงที่ NETPIE Freeboard แสดงผลในรูปแบบกราฟ และจะอัปเดตทุกๆ 10 วินาที เพื่อมีจำนวนที่ไม่มากเกินไป และอุณหภูมิจากการทดลอง ซึ่งเป็นข้อมูลที่ถูกส่งขึ้น NETPIE Freeboard สามารถแสดงได้ดังรูป 4.18



รูปที่ 4.17 กราฟอุณหภูมิจาก Serial Monitor



รูปที่ 4.18 กราฟอุณหภูมิจาก NETPIE Freeboard

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.2 ผลการทดลองแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้า

การทดลองนี้ทำการทดลองโดยการเก็บข้อมูลแบบ Local จากการอ่าน Serial Monitor ซึ่งจะแสดงผลออกมาทุกๆ 1 วินาที ดังรูปที่ 4.19 และกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของแบตเตอรี่ที่เหลือที่ได้จาก NETPIE Freeboard สามารถแสดงได้ดังรูป 4.20

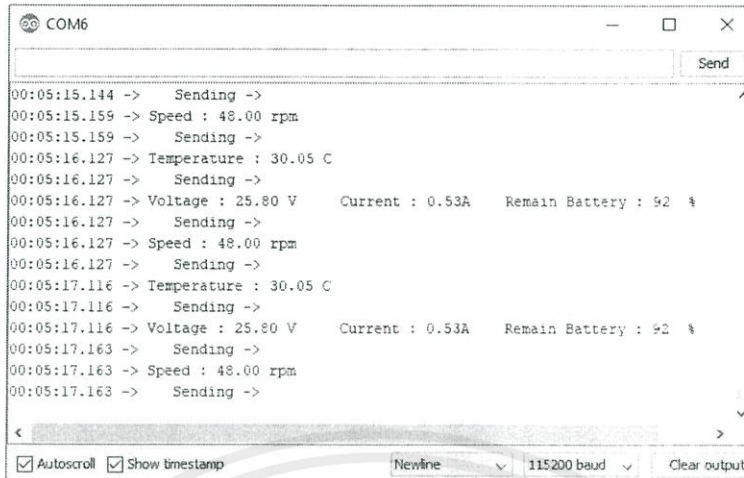


รูปที่ 4.19 กราฟแบตเตอรี่คงเหลือจาก Serial Monitor

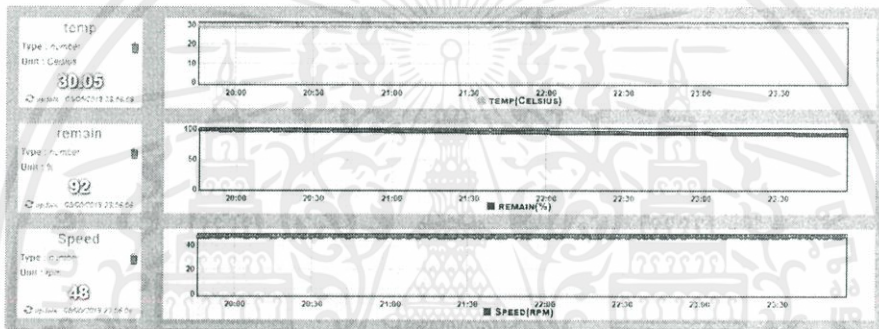


รูปที่ 4.20 กราฟแบตเตอรี่คงเหลือจาก NETPIE Freeboard

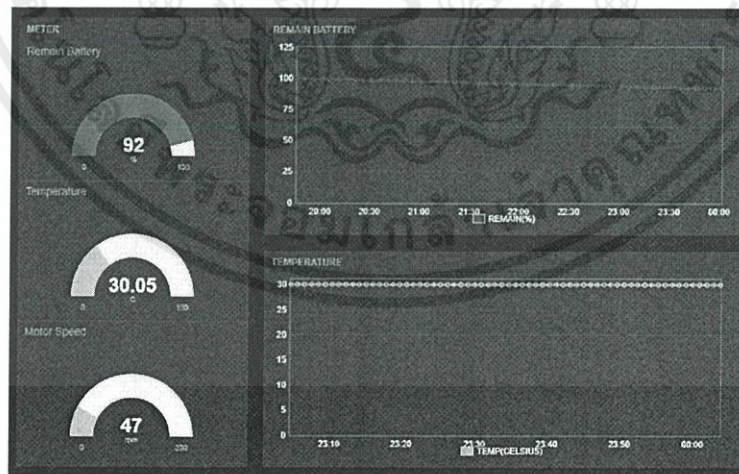
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 ค่าจากการอ่าน Serial Monitor



รูปที่ 4.22 ค่าจากการอ่าน NETPIE Feed



รูปที่ 4.23 ค่าจากการอ่าน NETPIE Freeboard

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

รถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติซึ่งใช้แทนมนุษย์ในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อช่วยลดระยะเวลาการทำงานและค่าใช้จ่าย โครงการนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดขับเคลื่อนและระบบแสดงผลการทำงานของรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติเพื่อการใช้งานที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

จากการทดสอบควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน ด้วย PI Control ทำให้รถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติสามารถรักษาความเร็วเมื่อมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นได้ โดยค่า Rise time และ Overshoot ของระบบมีค่าน้อยมาก ซึ่งแสดงถึงความมีประสิทธิภาพของระบบที่ดีขึ้น ประกอบกับมีระบบแสดงผลแบบ Real time และมีการแสดงผลในรูปแบบกราฟเพื่ออำนวยความสะดวก

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากมอเตอร์ที่นำมาใช้งานมีอายุการใช้งานนาน อาจมีการเสื่อมสภาพของมอเตอร์ อาจทำให้ระบบควบคุมแบบป้อนกลับไม่มีเสถียรภาพ
2. เนื่องจากการส่งสัญญาณไร้สายมีการหน่วงเวลาจากตัว NETPIE ทำให้ข้อมูลไม่ใช่ข้อมูลในขณะนั้น
3. สามารถใช้ระบบควบคุมแบบป้อนกลับกับการเดินตามเส้นของรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติได้
4. สามารถสร้างแอปพลิเคชันขึ้นมาใช้กับ AR ในการแสดงค่าข้อมูลของมอเตอร์ในขณะนั้น
5. สามารถใช้ AI วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากมอเตอร์สถานภาพของรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กฤตพัฒน์ อนันต์ลักษณ์การ , ขชล ลายเงิน และ คเนศ หมั่นเขตรกรณ์ , “รถขนส่งขับเคลื่อนอัตโนมัติ” , ปรินูญยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต , ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2557.
- [2] กิตติพงศ์ กลิ่นดี , จักรพันธ์ แจงตระกูล และ ธเนศ ชนะสุนน , “ระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน” , ปรินูญยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต , ภาควิชาวิศวกรรมแมคคา-ทรอนิกส์ , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2551.
- [3] ดวงดาว ลอมไธสง , ภัทรวดี จันทกุล และ สิทธิพันธ์ สังข์ทอง , “ระบบควบคุมมอเตอร์เชิงโรตารีชนิดแม่เหล็กถาวร” , ปรินูญยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต , ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2559
- [4] ศรีวิชัย พรหมทอง , “การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านแบบไร้ตัวตรวจจับตำแหน่งโรเตอร์พร้อมลดการกระเพื่อมแรงบิดมอเตอร์” , วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต , ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า , มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี , 2556
- [5] B. Tibor , V. Fedak and F. Durovsky , “Modeling and simulation of the BLDC Motor in MATHLAB GUI” , IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE) , 2011 , pp. 1403-1407
- [6] Anand Sathyan , Nikola Milivojevic , Young-Joo Lee and Mahesh , “An FPGA-Based Novel Digital PWM Control Scheme for BLDC Motor Drives” , IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE) , Vol.56 , No. 8 , 2009 , pp. 3045-3049
- [7] นคร ภัคดีชาติ , ณัฐพล วงศ์สุนทรชัย , กฤษดา ใจเย็น และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล , คู่มือการทดลอง dsPIC microcontroller เบื้องต้นด้วยโปรแกรมภาษา C กับ MPLAB C30 , พิมพ์ครั้งที่ 3 , กรุงเทพฯ , สำนักพิมพ์ อินโเวตีฟอิเล็กทรอนิกส์ , 2548

- [8] Mehmet Cihat Ozgenel , Gungor Bal and Durmus Uygun , “Design and application of a novel high precision and low cost electronic tachogenerator for sensor-based brushless direct current motor drivers” , Thesis of Bachelor of Engineering , Electrical and Electronics Engineering Department, Engineering Faculty, Erzincan University , 2017
- [9] กอบเกียรติ สระอุบล , พัฒนา IoT บนแพลตฟอร์ม Arduino และ Raspberry PI , พิมพ์ครั้งที่ 1 , กรุงเทพฯ , สำนักพิมพ์ อินเทอร์เน็ตมีเดีย , 2561
- [10] ประจัน พลังสันติกุล , พื้นฐานภาษา C สำหรับ Arduino , พิมพ์ครั้งที่ 1 , กรุงเทพฯ , สำนักพิมพ์ แอพซอฟต์แวร์เทค , 2553





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน
สำหรับรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติที่รวมกับการใช้อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง
SPEED CONTROL OF BLDC MOTOR FOR AGV COMBINED IOT

นายอัคระ ปัทมะสุคนธ์¹ และ นางสาวอาพิชญ์พิมณัฐ ทองคำ²

รศ.ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล³ และ ดร. ภูมิ กงห้วยรอบ⁴

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

¹ ซอย จลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3515 E-Mail : power@kmitl.com

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์ในการออกแบบและสร้างชุดขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน สำหรับรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติ เพื่อลดระยะเวลาและต้นทุนการผลิตในภาคอุตสาหกรรม เริ่มต้นชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ทำงานโดยรับสัญญาณฮอลล์ แล้วนำไปจัดลำดับการทำงาน จากนั้นควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วยสัญญาณพัลส์วิดท์มอดูเลชัน ที่ได้จากการนำความเร็วจริงมาเทียบกับความเร็วที่ตั้งไว้จ่ายเข้าที่มอสเฟตของอินเวอร์เตอร์ โดยเพิ่มประสิทธิภาพและเสถียรภาพด้วยการใช้ร่วมกับการควบคุมแบบพีไอ นอกจากนี้ อุณหภูมิ แบตเตอรี่ คงเหลือ และความเร็ว ได้ถูกรายงาน เพื่อให้ทราบถึงสถานะทำงานของรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติผ่านการส่งสัญญาณไร้สายแบบเรียลไทม์

คำสำคัญ : การควบคุมแบบพีไอ, มอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน, เน็ตพาย และ ไอโอที

Abstract

This project aims to design and construct drive of Brushless DC Motor for Automated Guided Vehicle (AGV) to reduce time and cost in industry. At first, drive system receive hall signal to arrange working sequence. Secondly, the speed of motor is controlled via PWM signals obtained by comparing the actual and desired speed. The produced signals are injected to the high side of MOSFET in three phase inverter. To improve performance and stability of the proposed system PI controller is utilized in this project. Moreover, temperature, remain battery and speed of BLDC motor are reported to monitor the system status of AGV via wireless signal in real-time.

Keywords: PI controller, BLDC motor, NETPIE and IOT

1. บทนำ

ในปัจจุบันระบบอัตโนมัติมีความสำคัญต่อโรงงานอุตสาหกรรมอย่างมาก สาเหตุเนื่องจากผลของการแข่งขันกันด้านการตลาดอย่างจริงจัง และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งปัจจัยที่ส่งเสริมด้านการตลาด ที่ขาดไม่ได้ นั่นคือ การส่งมอบผลิตภัณฑ์ได้ตรงเวลาและมีคุณภาพสินค้าที่ดี ซึ่งจะต้องผลิตแข่งกับเวลา ดังนั้น ระบบอัตโนมัติจึงช่วยให้อลดระยะเวลาในการทำงานจากปกติ ทั้งในรูปแบบการเปลี่ยนเครื่องมือ การขนย้ายผลิตภัณฑ์ รวมไปถึงกระบวนการต่าง ๆ ที่มนุษย์ไม่สามารถเข้าไปปฏิบัติงานได้ ซึ่งหากพิจารณาจากค่าใช้จ่ายประมาณ 2 ใน 3 ของค่าใช้จ่ายในการผลิตทั้งหมด เป็นค่าใช้จ่ายการจ้างแรงงานมนุษย์ในการทำงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบขนถ่ายวัสดุจะเห็นว่าการขนถ่ายวัสดุเป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญมากต่อกระบวนการผลิต ดังนั้นหากสามารถนำรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติ (Automated Guided Vehicle : AGV) มาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมจะช่วยให้ขนย้ายวัสดุอุปกรณ์ได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น

ในระบบขับเคลื่อนมอเตอร์หลากหลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละแบบมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันไปซึ่งขึ้นอยู่กับความสะดวกและรูปแบบการใช้งาน โดยคณะผู้จัดทำได้สังเกตเห็นข้อดีของ มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor : BLDC Motor) ซึ่งเป็นมอเตอร์ชนิดหนึ่ง ที่ได้รับความนิยม โดยใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ การบิน แพทย์ อุตสาหกรรมอัตโนมัติ และเครื่องมือวัด คุณลักษณะเด่นเฉพาะของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านนี้ คือ การไม่ใช้แปรงถ่าน เนื่องจากแปรงถ่านเป็นตัวกำเนิดของสัญญาณรบกวน เมื่อมีการหมุนของโรเตอร์ และยังส่งผลเสียในทางกล คือ ก่อให้เกิดแรงเสียดทาน นอกจากนี้แปรงถ่านยังมีอายุการใช้งานที่ค่อนข้างจำกัด เพราะเหตุที่ต้องเสียดสีกับโรเตอร์อยู่ตลอดเวลาและต่อเนื่องขณะที่โรเตอร์หมุน รวมถึงมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน มีการใช้เทคนิควิธีการ Commutation แบบ Electronic Commutation ซึ่งแตกต่างจากมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้แปรงถ่าน (Brush DC Motor) ซึ่งจะใช้แปรงถ่านเป็น Commutators

รวมทั้งมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านมีประสิทธิภาพสูงกว่า การทำงานที่เร็วกว่า ย่นความเร็วสูงกว่า เมื่อเทียบกับมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้แปรงถ่าน และหากพิจารณาถึงมอเตอร์ที่ใช้เป็นต้นกำเนิดของรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติ จึงเหมาะสมที่จะใช้มอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง อีกทั้งยังมีขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบา ดังนั้น จึงสามารถนำมาติดตั้งและใช้เป็นตัวกำเนิดของรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติ

ในยุคการทำงานที่ต้องแข่งขันกับเวลา รวมถึงเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายที่พัฒนาในปัจจุบัน ทางคณะผู้จัดทำจึงเห็นว่า ควรมีระบบตรวจสอบสถานะการทำงานของรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติ เพื่อให้ง่ายต่อการตรวจสอบ และการซ่อมบำรุง และจะช่วยทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

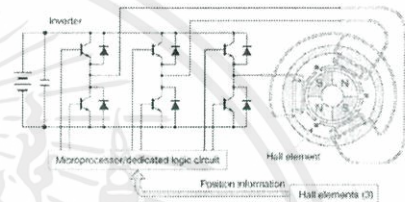
2.1 ทฤษฎีของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

มอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน (Brushless Motor) คือ มอเตอร์ชนิดที่ไม่มีแปรงถ่าน หรือมอเตอร์เชิงโรตอร์ 3 เฟส ที่ทำงานโดยอาศัยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเป็นสวิตช์ในการตัดต่อกระแสที่จ่ายให้กับขดลวดมอเตอร์ โดยที่ชนิดของมอเตอร์จะพิจารณาลักษณะรูปคลื่นกระแส และคุณสมบัติของแรงบิดหรือทอร์ก โดยจะนิยมเรียกว่า มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) ในกรณีที่มีรูปแบบของกระแสและทอร์กของมอเตอร์ที่ใช้เป็นแบบสามเหลี่ยม (Trapezoidal Current/Torque) และจะเรียกว่า Brushless AC Motor หรืออีกชื่อหนึ่งว่า Brushless เมื่อลักษณะของกระแสและทอร์กเป็นรูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal Current/Torque format) ส่วน AC Servo ก็คือ Brushless DC Motor ที่มีเซนเซอร์ตรวจจับตำแหน่งอย่างละเอียด โครงสร้างของ Brushless DC Motor หรือ AC Synchronous คือมอเตอร์ที่มีแม่เหล็กถาวรที่โรตอร์และขดลวดที่สเตเตอร์ แม่เหล็กถาวรจะสร้างฟลักซ์ที่โรตอร์ ส่วนขดลวดที่สเตเตอร์จะสร้างขั้วแม่เหล็ก โรตอร์จะถูกดึงดูดด้วยเฟสจากสเตเตอร์ซึ่งจะทำให้เกิดการหมุนจัดลำดับการจ่ายไฟให้กับเฟสของสเตเตอร์ สนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์จะถูกสร้างขึ้นและคงอยู่ ด้วยหลักการนี้ที่ว่า โรตอร์หมุนตามสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์นั้นเป็นพื้นฐานของ Synchronous permanent magnet motor มุมระหว่างโรตอร์และสนามแม่เหล็กหมุนจะถูกควบคุมเพื่อผลิตทอร์ก วิธีการควบคุมนี้เรียกว่า Rotor position ในฝั่งสเตเตอร์ ส่วนมากแล้วเราจะใช้แปรงถ่านสามเฟสซึ่งให้ผลการควบคุมดีกว่าและยังสามารถใช้อุปกรณ์ Power electronic ควบคุมได้ง่ายในส่วนของโรตอร์ เพิ่มขั้วแม่เหล็กจะทำให้ทอร์กมากขึ้นในขณะที่ป้อนกระแสเท่าเดิมในขณะที่เดียวกับการเพิ่มจำนวนขั้ว ทำให้มอเตอร์มีขนาดใหญ่ขึ้น

เพราะต้องการที่ว่างระหว่างแม่เหล็กขึ้น ดังนั้น เราอาจจะกล่าวได้อีกอย่างว่าจำนวนขั้วแปรผกผันกับขนาดของมอเตอร์

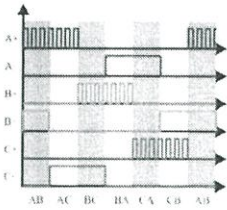
2.2 การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน

การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านแบบใช้ตัวตรวจจับตำแหน่งโรตอร์ เนื่องจากมอเตอร์ชนิดนี้ไม่มีแปรงถ่านและคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ที่ทำหน้าที่จัดเรียงกระแสเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าชนิดนี้จึงจำเป็นต้องใช้วงจรสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่เรียกว่าวงจรอินเวอร์เตอร์เพื่อเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรขับเคลื่อน BLDC Motor ใช้ตัวตรวจจับตำแหน่งโรตอร์

สำหรับการขับเคลื่อนมอเตอร์ชนิดนี้ วิธีการขับเคลื่อนแบบ Six-Step เป็นวิธีการที่นิยมใช้ โดยแบ่งช่วงคอมมิวเตชัน (Commutation States) หรือช่วงเปลี่ยนทิศทางไหลของกระแสไฟฟ้าเป็น 6 ช่วง คือ S1, S2, S3, S4, S5 และ S6 แต่ละช่วงห่างกัน 60 องศาไฟฟ้า โดยในทุกๆ ช่วงของการหมุน จะมีการจ่ายแรงดันไฟฟ้าผ่านขดลวดของมอเตอร์ทีละ 2 เฟส ส่วนขดลวดเฟสที่เหลือถูกปล่อยลอยไว้ เมื่อแรงดันไฟฟ้าถูกจ่ายให้กับขดลวดทั้งสองเฟส กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านเข้าขดลวดเฟสหนึ่งแล้วไหลออกขดลวดอีกเฟสหนึ่ง จึงทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลทั้งช่วงบวกและช่วงลบ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในแต่ละเฟสมีช่วงการนำกระแสอยู่ 120 องศาไฟฟ้า และมีลักษณะสี่เหลี่ยม (Quasi-Square) เพื่อให้สามารถปรับความเร็วรอบมอเตอร์ได้ เทคนิคพัลส์วิดมอดูเลชันได้ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ โดยการปรับค่าดิutyไซเคิล (Duty Cycle) หรืออัตราส่วนระหว่างช่วงเวลาเปิดสวิตช์ (T_{on}) กับคาบเวลาสวิตช์ซิ่ง (T_s) $\frac{T_{on}}{T_s}$ เพื่อควบคุมการเปิดปิดสวิตช์ทั้ง 6 ตัวทำให้สามารถปรับแรงดันเฉลี่ยที่จ่ายให้กับขดลวดสเตเตอร์ได้ สำหรับงานวิจัยนี้ใช้เทคนิคพัลส์วิดมอดูเลชันแบบ PWM-ON ดังรูปที่ 2.14 เนื่องจากเทคนิคนี้ทำให้ความสูญเสียที่เกิดจากการสวิตช์ซิ่งลดลงเนื่องจากจำนวนครั้งในการสวิตช์จะน้อยกว่าการที่เราจ่ายสัญญาณ PWM ทั้งสองด้านทั้งฝั่ง High side และ Low side ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 สัญญาณควบคุมสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังทั้ง 6 ตัว

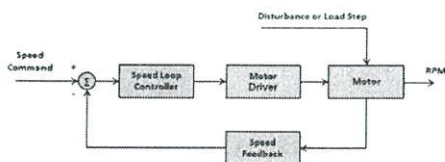
เมื่อพิจารณาการทำงานของเทคนิคพัลส์วิดโมดูเลชันแบบ PWM-ON ตลอดช่วงการหมุน 360 องศาไฟฟ้า โดยแบ่งเป็น 6 ช่วง S1, S2, S3, S4, S5 และ S6 สามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

ช่วง S1: ตัวตรวจจับฮอลล์เอฟเฟกต์ เฟส A (Hall A) เปลี่ยนสถานะลอจิกจาก 0 เป็น 1 ตัวตรวจจับฮอลล์เอฟเฟกต์ เฟส B (Hall B) มีสถานะลอจิกเป็น 0 และตัวตรวจจับฮอลล์เอฟเฟกต์ เฟส C (Hall C) มีสถานะลอจิกเป็น 1 ตัวควบคุมส่งสัญญาณพัลส์วิดโมดูเลชันควบคุมการ เปิด-ปิด สวิตช์ Q, ส่วนสวิตช์ Q, นำกระแสต่อเนื่อง ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าที่ขดลวดมอเตอร์เฟส A และออกที่ขดลวดมอเตอร์เฟส B ส่วนขดลวดมอเตอร์เฟส C ถูกปล่อยลอยไม่มีกระแสไฟฟ้าไหล

ช่วง S2: ตัวตรวจจับฮอลล์เอฟเฟกต์ เฟส C (Hall C) เปลี่ยนสถานะลอจิกจาก 1 เป็น 0 ตัวควบคุมจะสั่งงานสวิตช์ Q, ถูกควบคุมด้วยสัญญาณพัลส์วิดโมดูเลชัน และ Q, นำกระแสต่อเนื่อง ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าที่ขดลวดมอเตอร์เฟส A และออกที่ขดลวดมอเตอร์เฟส C ส่วนขดลวดมอเตอร์เฟส B ถูกปล่อยลอยไม่มีกระแสไฟฟ้าไหล และวนทำแบบนี้ไปเรื่อยๆ ถึงช่วง S6 แล้ววนกลับไป S1 อีกครั้ง

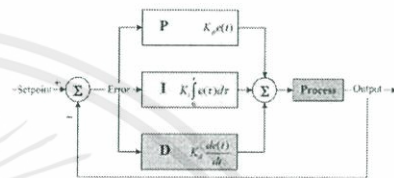
2.3 การควบคุมแบบป้อนกลับโดยใช้ตัวควบคุมแบบ PI Controller

การควบคุมแบบป้อนกลับจะใช้ผลต่างระหว่างความเร็วของมอเตอร์กับความเร็วที่เราอ้างอิง จะถูกใช้เป็นสัญญาณอินพุตให้กับตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัล (PI controller) ซึ่งทำหน้าที่ปรับค่าวิดิไซเกิลของสัญญาณพัลส์วิดโมดูเลชันเพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์ให้ได้ตามที่ต้องการ



รูปที่ 3 การควบคุมความเร็วรอบ BLDC Motor

ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัลและอนุพันธ์ (PID Controller) ซึ่งเป็นตัวควบคุมสำหรับระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่นิยมใช้งานอย่างกว้างขวาง ซึ่งประกอบด้วย 3 เทอม คือ สัดส่วน (Proportional : P) อินทิกรัล (Integral : I) และอนุพันธ์ (Derivative : D) ซึ่งตัวควบคุมนี้ รับสัญญาณความผิดพลาดระหว่างค่าอ้างอิง กับค่าจริงที่วัดได้ $e(t)$ เข้ามาเป็นสัญญาณอินพุต โดยตัวควบคุมจะพยายามลดค่าความผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับค่าสัญญาณควบคุมที่ส่งให้ตัวระบบ $u(t)$ แสดงดังรูปที่ 4

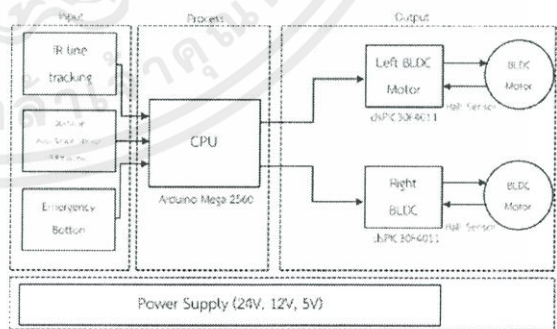


รูปที่ 4 การควบคุมแบบป้อนกลับโดยใช้ตัวควบคุมแบบ PID

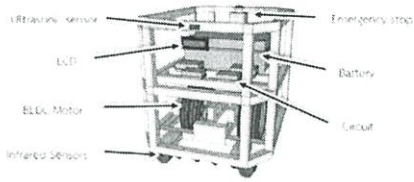
โดยที่ค่าสัดส่วน (Proportional : P) อินทิกรัล (Integral : I) สามารถอธิบายได้ดังนี้ คือ เทอมสัดส่วน (P) ขึ้นอยู่กับค่าความผิดพลาดปัจจุบัน โดยนำค่าความผิดพลาดมาคูณกับอัตราขยายเชิงสัดส่วน เพื่อขยายสัญญาณควบคุมและลดค่าความผิดพลาดของระบบเทอมอินทิกรัล (I) ขึ้นกับความผิดพลาดสะสมในอดีตถึงปัจจุบัน โดยถูกนำมาใช้เพื่อลดค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัว

3. การออกแบบและพัฒนา

ระบบการทำงานของรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติสามารถแสดงดังรูปที่ 5 และแผนภาพตำแหน่งอุปกรณ์บนรถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติแสดงในรูปที่ 6

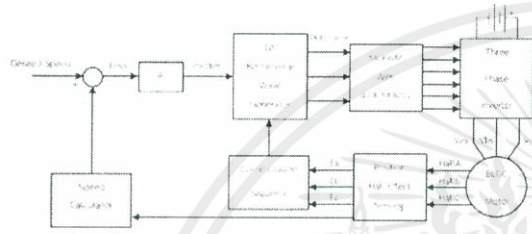


รูปที่ 5 Block diagram ของ AGVs



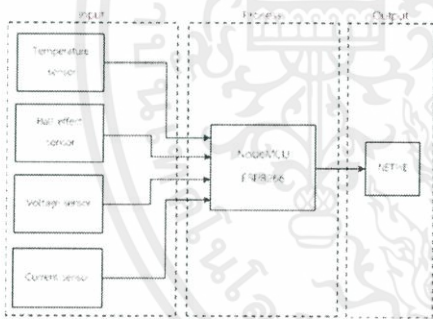
รูปที่ 6 โมเดลรถ AGV จาก SketchUp

หลักการการทำงานของระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านโดยใช้ PI controller แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ไลอเนแกรมของมอเตอร์แบบอซซิงโครนัสตัวตรวจจับตำแหน่งโรเตอร์

หลักการการทำงานของระบบตรวจสอบการทำงานโดยใช้ NETPIE เป็น Cloud เพื่อเก็บข้อมูล



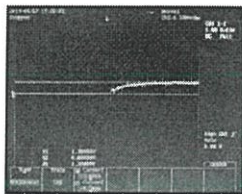
รูปที่ 8 Block diagram ของระบบตรวจสอบการทำงาน

4. ผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ได้จากวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นแรงดันอ้างอิงในการจูนพารามิเตอร์ของคอนโทรลเลอร์ ที่ความเร็วต่างๆ

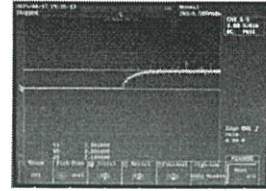
ที่ความเร็วของมอเตอร์ 27 rpm, 58 rpm และ 78 rpm ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 12

4.1 ผลการทดลองการควบคุมแบบ Open Loop



รูปที่ 9 Open Loop ที่ Duty 0.10

ความเร็วของมอเตอร์ 27 rpm . แรงดันไฟฟ้า=1.30 V

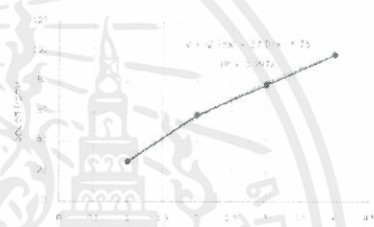


รูปที่ 10 Open Loop ที่ Duty 0.15

ความเร็วของมอเตอร์ 58 rpm , แรงดันไฟฟ้า=2.10 V

4.2 ผลการทดลองการแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า

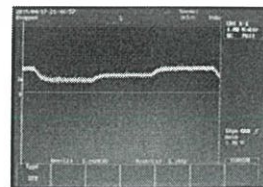
นำผลการทดลองที่ได้มาวาดกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและแรงดันไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 11 เพื่อหาความเร็วจริงของมอเตอร์ นำไปเปรียบเทียบกับความเร็วอ้างอิง และใช้ในการควบคุมแบบป้อนกลับ



รูปที่ 11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วมอเตอร์กับแรงดันไฟฟ้า

4.3 ผลการทดลองการควบคุมแบบ Close Loop

จากการทดลองแบบ Close Loop แบบ No-Load ที่ Duty ต่างๆ ได้ทำการปรับค่า K_p และ K_i เป็นช่วงๆ ในช่วง Duty ≤ 0.10 ได้ $K_p=0.21$ และ $K_i=10$, ช่วง $0.10 < \text{Duty} \leq 0.15$ ได้ $K_p=0.5$ และ $K_i=16.7$. ช่วง $0.15 < \text{Duty} \leq 0.20$ ได้ $K_p=0.06$ และ $K_i=30$ และ ช่วง Duty > 0.20 ได้ $K_p=1.5$ และ $K_i=25$ ผลจากการควบคุมความเร็วแบบ Close loop แสดงดังรูปที่ 12



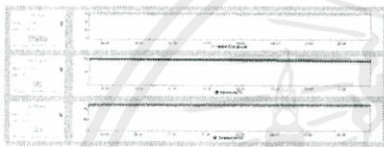
รูปที่ 12 กราฟจากวงจรแปลงความถี่แบบ Close Loop ที่ความเร็วสามค่า

4.4 ผลการระบบแสดงผลการทำงานบน NETPIE

ระบบแสดงผลการทำงานที่แสดงค่า อุณหภูมิ , แบตเตอรี่คงเหลือ และความเร็ว ซึ่งสามารถอ่านค่าแบบ Local จาก Serial Monitor ดังรูปที่ 13 และแบบ Global จาก NETPIE ทั้ง Feed และ Freeboard แบบเรียลไทม์ ดังรูปที่ 14 และ 15 ตามลำดับ



รูปที่ 13 ค่าจากการอ่าน Serial Monitor



รูปที่ 14 ค่าจากการอ่าน NETPIE Feed



รูปที่ 15 ค่าจากการอ่าน NETPIE Freeboard

5. สรุป

จากการทดสอบควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน ด้วย PI Control ทำให้รถลี้ยงขึงสินส์อัตโนมัติสามารถรักษาความเร็วเมื่อน้ำหนักเพิ่มขึ้นได้ โดยค่า Rise time และ Overshoot ของระบบมีค่าน้อยมาก ซึ่งแสดงถึงควมมีประสิทธิภาพของระบบที่ดีขึ้น ประกอบกับมีระบบแสดงผลแบบ Real time และมีกราฟแสดงผลในรูปแบบกราฟเพื่อช่วยต่อการวิเคราะห์

เอกสารอ้างอิง

- [1] กฤตพัฒน์ อนันต์ลักษณะการ , ชชล ชาญเงิน และคณะหมั่นเขตรกรณ์ . “รถขนส่งขับเคลื่อนอัตโนมัติ” , ปรินญา นินทร์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต , ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง , 2557.
- [2] กิตติพงศ์ กลั่นดี , จักรพันธ์ แจงตระกูล และ ธเนศ ชนะสมน . “ระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน” , ปรินญา นินทร์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต , ภาควิชา วิศวกรรมแมคคา-ทรอนิกส์ , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2551.
- [3] ดวงดาว ลอมไธสง , ภัทรวดี จันทกุล และ สิทธิพันธ์ สังข์ทอง , “ระบบควบคุมมอเตอร์เชิงโรติกอนิกส์แม่เหล็กถาวร” , ปรินญา นินทร์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต , ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2559
- [4] ศรีวิชัย พรหมทอง , “การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้ แปรงถ่านแบบไร้ตัวตรวจจับตำแหน่งโรเตอร์พร้อมลดการกระ เพื่อมแรงบิดมอเตอร์” , วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต , ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า , มหาวิทยาลัยพระจอม ก่อเกล้าธนบุรี , 2556
- [5] B. Tibor , V. Fedak and F. Durovsky , “Modeling and simulation of the BLDC Motor in MATHLAB GUI” , IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE) , 2011 , pp. 1403-1407
- [6] I. Janpan , R. Chaisrichaoren and P. Banyanant , “Control of the BLDC Motor in Combine Mode” , Sci’ Verse ScienceDirect , Elsevier Publication , 2012 , pp. 279-285
- [7] นคร ภักดีชาติ , ญัฐพล วงศ์สุนทรชัย , กฤษดา ใจเย็น และ ชัยวัฒน์ ลี้มพร จิตร วิไล , คู่มือการทดลอง dsPIC microcontroller เริ่มต้นด้วยโปรแกรมภาษา C กับ MPLAB C30 , พิมพ์ครั้งที่ 3 , กรุงเทพฯ , สำนักพิมพ์ อินโวัตีฟิสิกส์เพอริเมนต์ , 2548

- [8] Mehmet Cihat Ozgenel , Gungor Bal and Durmus Uygun ,
“ Design and application of a novel high precision and low cost
electronic tachogenerator for sensor-based brushless direct
current motor drivers ” , **Thesis of Bachelor of Engineering** ,
Electrical and Electronics Engineering Department ,
Engineering Faculty, Erzincan University , 2017
- [9] กอบเกียรติ สระอุบล . พัฒนา IoT บนแพลตฟอร์ม Arduino
และ Raspberry PI , พิมพ์ครั้งที่ 1 , กรุงเทพฯ , สำนักพิมพ์
อินเตอร์มีเดีย , 2561
- [10] ประจัน พลังสันติกุล . พื้นฐานภาษา C สำหรับ Arduino .
พิมพ์ครั้งที่ 1 . กรุงเทพฯ , สำนักพิมพ์เอกซอโฟลเทค , 2553



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Speed Control of BLDC Motor For AGV Combined IoT

Akara Pattamasukhon¹, Arphitphimon Thongkum²,
Assoc.Prof.Dr. Somyot Kaitwanidvilai³ and Dr. Poom Konghuayrob⁴

Abstract

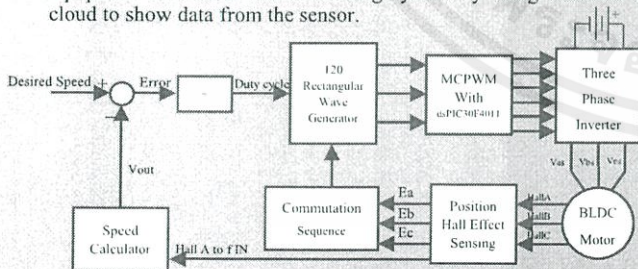
This project aims to design and construct drive of Brushless DC Motor for Automated Guided Vehicle (AGV) to reduce time and cost in industry. At first, drive system receive hall signal to arrange working sequence. Secondly, the speed of motor is controlled via PWM signals obtained by comparing the actual and desired speed. The produced signals are injected to the high side of MOSFET in three phase inverter. To improve performance and stability of the proposed system PI controller is utilized in this project. Moreover, temperature, remain battery and speed of BLDC motor are reported to monitor the system status of AGV via wireless signal in real-time.

Introduction

Nowadays, In industrial has very high competition. Every company has to find advantages for their company. Reducing the time and cost of the production line is the one choice. And the method is using AGV instead of the workman in the stocking system. We consider a motor that uses with Robot. BLDC motor is a good choice. Service and maintenance we must check the robot every six months so the robot should have the system to show and analyze working status. So, we decided to make a monitoring system to detect the problem in AGV and speed control drive to improve the efficiency of AGV.

Methodology

We made drive module use with BLDC motor and control speed of a motor by three-phase inverter use MOSFET as switching equipment and make the monitoring system by using NETPIE as a cloud to show data from the sensor.



Drive Part : Tracking system work to track the black color route by five Infrared sensors and ultrasonic sensor to detect obstacle. Arduino Mega 2560 receive data from Infrared sensor and Ultra sonic sensor. And processing to demand drive module that uses dsPIC30F4011. dsPIC30F4011 receives data from Arduino and controls speed in this microcontroller. dsPIC30F4011 Sends PWM signal to control six MOSFET in three-phase inverter by desired speed.

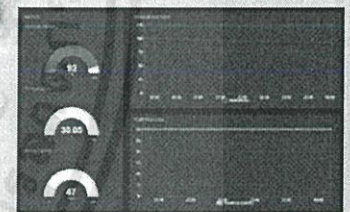
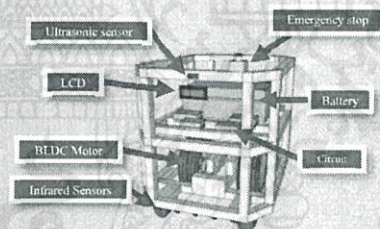
IoT Part : NodeMCU ESP8266 receives signal from temperature sensor ,voltage sensor , current sensor and infrared sensors. Temperature , percent remain battery and speed of motor are sent NETPIE and show on NETPIE Freeboard.

Results

In the experiment, we set desired speed of motor in four values 27 rpm, 46 rpm and 62 rpm. Test these values and tune multi level PI control. The result as shown in this picture.



Temperature , percent remain battery and speed of motor are sent to NETPIE and show on NETPIE Freeboard. As shown in this picture.



Conclusion

This project aim to drive BLDC motor and make monitoring systems for AGV. From the result of speed control BLDC motor with PI controller show that our AGV can keep the desired speed with fast response and low overshoot. We decided to tune PI gain in three range to get best response. Also the systems has stability and efficiency. And monitoring system can help to analyze the problem that occurred in AGV and the system has both of local and global so it easy to access.

References

- [1] Krirapat Ananlaksakarn, Khachon Laingoen and Khanate Munkhetrkhon, "Automated Guided Vehicle", KMITL
- [2] Kittipong Klindee , Jakkapan Jaewtrakul and Tanet Chanasumon , "Blushless DC Motor Speed Control", KMITL
- [3] Mehmet Cihat Ozgenel , Gungor Bal and Durmus Uygun , "Design and application of a novel high precision and low cost electronic tachogenerator for sensor-based brushless direct current motor drivers", Engineering Faculty, Erzincan University

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายอัคระ ปัทมะสุนันท์
 วัน เดือน ปีเกิด 24 พฤษภาคม 2540
 ประวัติการศึกษา
 ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
 กรุงเทพมหานคร
 ปีการศึกษา 2561 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชา
 วิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
 คุณทหารลาดกระบัง
 ฝึกงานภาคฤดูร้อน NITTO KOGYO CORPORATION
 ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 31 กรกฎาคม 2561



ชื่อ-นามสกุล นางสาวอาพิชญ์พิมณูชู่ ทองคำ
 วัน เดือน ปีเกิด 26 ธันวาคม 2539
 ประวัติการศึกษา
 ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
 โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย รังสิต ปทุมธานี
 ปีการศึกษา 2561 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชา
 วิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
 คุณทหารลาดกระบัง
 ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท ไส้ตัง แอนด์ อีควิปเมนต์ จำกัด (มหาชน)
 ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 31 กรกฎาคม 2561