

หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์
SOLAR PANEL CLEANING ROBOT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์
SOLAR PANEL CLEANING ROBOT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SOLAR PANEL CLEANING ROBOT



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHATRONICS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์
SOLAR PANEL CLEANING ROBOT

ผู้จัดทำ นายกตัญญู แฉ่งศิริ 58010005
 นายดลมินทร์ หยอยสระ 58010443
 นายพิพิธ ตันทอง 58010890



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพดล มณีรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์

โดย

นายกตัญญู	แฉ่งศิริ	58010005
นายดลมินทร์	หยอยสระ	58010443
นายพิพิธ	ตันทอง	58010890

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล มณีรัตน์

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาการออกแบบ และพัฒนาหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์ ทั้งในระดับครัวเรือน และระดับอุตสาหกรรม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งความไม่สะอาดของแผงโซลาร์เซลล์จะส่งผลให้การผลิตไฟฟ้ามีประสิทธิภาพพลดน้อยลง จึงจำเป็นต้องมีการทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์อย่างสม่ำเสมอ หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์ควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ สามารถทำงานได้ในพื้นที่ลาดเอียง 0-15 องศา ช่วยเพิ่มความสะอาดสบาย ลดระยะเวลาในการทำงาน ลดค่าใช้จ่ายที่ใช้ และยังทำความสะอาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งแผงโซลาร์เซลล์ที่มีความสะอาดนั้นจะส่งผลดีต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า ทำให้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

SOLAR PANEL CLEANING ROBOT

By

Mr. Katanyoo Changsiri 58010005

Mr. Donmin Yoisra 58010443

Mr. Pipit Tanthong 58010890

Advisor

Asst.Prof.Dr. Noppadol Maneerat

Academic Year 2018

ABSTRACT

This project proposes the “Solar Panel Cleaning Robot” to use in household and industry for the efficiency increasing of electricity production. When the solar panel is uncleaness, it will decrease the efficiency of electricity production. So it is important to clean the solar panel frequently. The robot has the automatic cleaning functions. It can work on the 0-15 degrees slope. It comfortable to use and reduces cleaning time and hiring cost. The cleaned cell panels will have good efficiency in the electricity generation.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ด้วยการให้ความดูแลและให้คำแนะนำของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล มณีรัตน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการจัดทำโครงการนี้ ที่คอยชี้แนะแนวทางปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ และให้ความกรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่รวมถึงอุปกรณ์ที่จำเป็นต่างๆ ทำให้ปริญญาโทฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ คณะผู้จัดทำมีความซาบซึ้งในความกรุณาของอาจารย์ที่อนุเคราะห์ช่วยเหลือ และขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยอบรม สั่งสอน ชี้แนะแนวทางที่ดีแก่คณะผู้จัดทำเสมอมา ขอขอบพระคุณเพื่อนๆ ที่คอยช่วยเหลือและแก้ปัญหาในการทำงาน

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณครอบครัวทั้งบิดาและมารดาที่คอยให้กำลังใจ และให้การสนับสนุน ทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้จนมาเป็นปริญญาโทฉบับนี้



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.4 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.5 วิธีการดำเนินงาน	2
1.6 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโซลาร์เซลล์	4
2.1.1 ชนิดของโซลาร์เซลล์	4
2.1.2 ส่วนประกอบของโซลาร์เซลล์	5
2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์	6
2.1.4 การทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์	7
2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	7
2.2.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	7
2.2.2 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	8
2.2.3 รายละเอียดพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	9
2.2.4 คุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	10
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์	11
2.4 สัญญาณ PWM	12
2.4.1 การใช้ประโยชน์จาก PWM	13
2.4.2 การส่งค่า PWM ใน Arduino	14
2.5 เซนเซอร์แสง	14
2.5.1 ประเภทของ LED ตามความยาวคลื่นของ	15
2.5.2 ประเภทของเซนเซอร์แสง	15
2.6 เทคโนโลยีการรับส่งข้อมูลแบบไร้สาย	17
2.7 แบตเตอรี่ลิเธียมโพลิเมอร์	17
2.7.1 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ลิเธียมโพลิเมอร์	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 โปรแกรม Arduino IDE	18
2.8.1 ขั้นตอนการใช้งาน Arduino IDE	19
บทที่ 3 การออกแบบหุ่นยนต์ทำความสะอาดโซลาร์เซลล์	20
3.1 อุปกรณ์สำหรับการทำงานของหุ่นยนต์ทำความสะอาดโซลาร์เซลล์	20
3.1.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์	20
3.1.2 มอเตอร์กระแสตรง	20
3.1.3 บอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง	22
3.1.4 แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า	23
3.1.5 เซนเซอร์วัดระยะ	23
3.1.6 แปร่งทำความสะอาด	24
3.1.7 โครงสร้าง	24
3.1.8 ล้อ	25
3.2 การออกแบบวงจรการทำงานของระบบ	25
3.2.1 อธิบายรายละเอียดการทำงานของระบบ	26
3.3 การออกแบบตัวหุ่นยนต์	27
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	28
4.1 การทดลองขับมอเตอร์กระแสตรง	28
4.2 การทดลองเซนเซอร์วัดระยะ	30
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน และข้อเสนอแนะ	33
5.1 การดำเนินงานจัดทำปริญญานิพนธ์	33
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไขปัญหา	33
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา	34
เอกสารอ้างอิง	35
ภาคผนวก	36
ประวัติผู้วิจัย	70

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 Single Crystalline Silicon Solar Cell	4
2.2 Polycrystalline Silicon Solar Cell	5
2.3 Amorphous Silicon Solar Cell	5
2.4 ส่วนประกอบของโซลาร์เซลล์	6
2.5 การทำงานของมอเตอร์กระแสตรง	9
2.6 การต่อแหล่งจ่ายแรงดันเพื่อควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	10
2.7 อาร์ดูโน้ (Arduino)	11
2.8 โครงสร้าง Arduino Board	12
2.9 PWM แบบ Center Aligned	12
2.10 PWM แบบ Edge Aligned	13
2.11 กราฟแสดง Duty Cycle	13
2.12 กราฟแสดง Duty Cycle เทียบกับค่า Analog ของ Arduino	14
2.13 หลักการทำงาน Diffuse Reflective Optical Sensor	15
2.14 หลักการทำงาน Retro-Reflective Optical Sensor	16
2.15 หลักการทำงาน Through Beam Optical Sensor	16
2.16 ส่วนประกอบภายในแบตเตอรี่ลิเธียมโพลีเมอร์	18
2.17 ตัวอย่างหน้าต่างโปรแกรม Arduino IDE	19
3.1 Arduino Mega 2560	20
3.2 มอเตอร์กระแสตรง 12 V 30 rpm รุ่น ZGA60FM334I	21
3.3 มอเตอร์กระแสตรง 12 V 50 rpm รุ่น ZGA37RG95I	21
3.4 มอเตอร์กระแสตรง 12 V 400 rpm รุ่น ZGA32RI	22
3.5 BTS7960 H-Bridge DC Motor Drive Module	22
3.6 Motor Drive Module L298N	23
3.7 แบตเตอรี่ Lithium Polymer (LiPo) MEGA Power + 3700 mAh/30 C/11.1 V	23
3.8 เซนเซอร์วัดระยะ Sharp GP2Y0D805Z0F	24
3.9 แปรงทำความสะอาดแบบพู่	24
3.10 อลูมิเนียมโปรไฟล์ เหล็กฉาก และน็อตต่างๆ	25
3.11 ล้อ Omni Wheel	25
3.12 โครงสร้างการทำงานของระบบ	26
3.13 ภาพแบบหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์	27
3.14 หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์ที่สมบูรณ์	27

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 การทดลองมอเตอร์ตัวที่ 1	28
4.2 การทดลองมอเตอร์ตัวที่ 2	29
4.3 การทดลองมอเตอร์ตัวที่ 3	29
4.4 การทดลองมอเตอร์ตัวที่ 4	30
4.5 การทดลองเซนเซอร์อินฟราเรดตัวที่ 1	30
4.6 การทดลองเซนเซอร์อินฟราเรดตัวที่ 2	31
4.7 การทดลองเซนเซอร์อินฟราเรดตัวที่ 3	31
4.8 การทดลองเซนเซอร์อินฟราเรดตัวที่ 4	32



บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์ วัตถุประสงค์ของโครงการ ขอบเขตของโครงการ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และตารางแผนการทำงาน โดยมีรายละเอียดที่จะได้กล่าวถึงดังต่อไปนี้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

เนื่องจากในปัจจุบันนี้พลังงานสะอาดเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง ทั้งในระดับโรงงานอุตสาหกรรม จนถึงระดับครัวเรือน และพลังงานสะอาดที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ พลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์ โซลาร์เซลล์ (Solar Cell) หรือเซลล์พลังแสงอาทิตย์ แผงโซลาร์เซลล์นั้นต้องได้รับการดูแลที่ถูกต้องเพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ฝุ่นละออง เขม่าควัน และละอองเกสรดอกไม้สามารถลดกำลังการผลิตไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ลงได้ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ การสูญเสียประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นี้จากสิ่งสกปรก ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงเนื่องจากแสงอาทิตย์นั้นไม่ได้สัมผัสกับตัวเซลล์กำเนิดพลังงานโดยตรง

วิธีพื้นฐานในการทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์ที่นิยมใช้คือ การทำความสะอาดด้วยแรงงานคนโดยใช้แปรงขัดเฉพาะ หรือการใช้ลิฟต์บนรถเครนเพื่อใช้น้ำประปาทำความสะอาด ซึ่งวิธีดังกล่าวจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายหลายด้านทั้งด้านสาธารณสุขโรคและค่าแรง นอกจากนี้ยังมีการใช้งานอุปกรณ์ที่ติดตั้งเสริม เช่น แปรงหัวฉีดและฟองน้ำที่มีการเคลื่อนย้ายไปบนแผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้มักจะต้องใช้โซ้และชุดขับเคลื่อนให้กับโซลาร์เซลล์เพื่อเคลื่อนที่ ซึ่งยากต่อการบำรุงรักษาที่และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่สูงขึ้น การแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นโดยใช้หุ่นยนต์จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยประหยัดงบประมาณ และค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อเครื่องจักรขนาดใหญ่ และการใช้แรงงานคนที่ชำนาญงานที่มีค่าจ้างสูง

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อพัฒนาการผลิตหุ่นยนต์ที่สามารถทำความสะอาดได้
2. เพื่อพัฒนาการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ด้วย Arduino
3. เพื่อประยุกต์ใช้ DC Motor, Photoelectric Sensors และ Arduino เข้าด้วยกัน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำชิ้นงานมาใช้ได้จริงและมีประสิทธิภาพ
2. สามารถลดต้นทุนในการดูแลรักษาทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์
3. เพิ่มความสะดวกสบายในการทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์
4. ง่ายต่อการซ่อมแซม และบำรุงรักษา
5. ได้รับความรู้ด้านการเขียนโปรแกรม ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้กับงานอื่นๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR
2. ใช้โปรแกรม Arduino ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่อง
3. หุ่นยนต์ควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ
4. ทำงานได้ในระนาบเอียงไม่เกิน 15 องศาจากแนวระดับ

1.5 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับแผงโซลาร์เซลล์ และรูปแบบการติดตั้ง
2. ศึกษาต้นแบบหุ่นยนต์ทำความสะอาดเพื่อมาปรับใช้กับแผงโซลาร์เซลล์
3. ออกแบบโครงหุ่นยนต์ และออกแบบวงจรการทำงาน
4. เลือกอุปกรณ์ที่ใช้ทำ และกำหนดค่าใช้จ่าย
5. ทำชิ้นส่วน และประกอบอุปกรณ์ส่วนต่างๆ
6. เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์
7. ทดลองและปรับปรุงแก้ไข
8. สรุปผลและนำไปพัฒนาปรับปรุงต่อ

1.6 รายละเอียดของปฏิญญานิพนธ์

ปฏิญญานิพนธ์นี้ประกอบด้วย 5 บท ดังนี้

บทที่ 1 บทกล่าวนำวัตถุประสงค์ของโครงการ ขอบเขตในการค้นคว้า ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และรายละเอียดของโครงการ

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโซลาร์เซลล์ มอเตอร์กระแสตรง ไมโครคอนโทรลเลอร์ เซนเซอร์แสง และเทคโนโลยีการรับส่งข้อมูลแบบไร้สาย

บทที่ 3 หลักการออกแบบและโครงสร้างของวงจรควบคุม ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับหุ่นยนต์ทำความสะอาดโซลาร์เซลล์

บทที่ 4 ผลการทดลองของการศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์กระแสตรง เซนเซอร์ และการทดลองควบคุมหุ่นยนต์ผ่านรีโมทบังคับระยะไกล

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน และข้อเสนอแนะ

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโซลาร์เซลล์, มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง, ไมโครคอนโทรลเลอร์, สัญญาณ PWM, เซนเซอร์แสง, เทคโนโลยีการส่งรับข้อมูลแลบไร้สาย, แบตเตอรี่ลิเธียมโพลิเมอร์ และโปรแกรม Arduino IDE โดยมีรายละเอียดที่จะกล่าวดังต่อไปนี้

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโซลาร์เซลล์

โซลาร์เซลล์ (Solar Cell) หรือ PV เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ซึ่งมีราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุุดบนพื้นโลกมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โปรตอน (Proton) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (Atom) และเคลื่อนที่ได้ อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น เมื่อพิจารณา ลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า สูงที่สุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้า เพื่อแก้ไขปัญหา การขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน

2.1.1 ชนิดของโซลาร์เซลล์

1. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอน ชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Monocrystalline Silicon Solar Cell และ ชนิดผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Solar Sell) ลักษณะเป็นแผ่นซิลิกอนแข็งและบางมาก ดังรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 Single Crystalline Silicon Solar Cell



รูปที่ 2.2 Polycrystalline Silicon Solar Cell

2. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอะมอร์ฟิซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นฟิล์มบางเพียง 0.5 ไมครอน (0.0005 มิลลิเมตร) นาน้ำหนักเบา และประสิทธิภาพเพียง 5-10 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 Amorphous Silicon Solar Cell

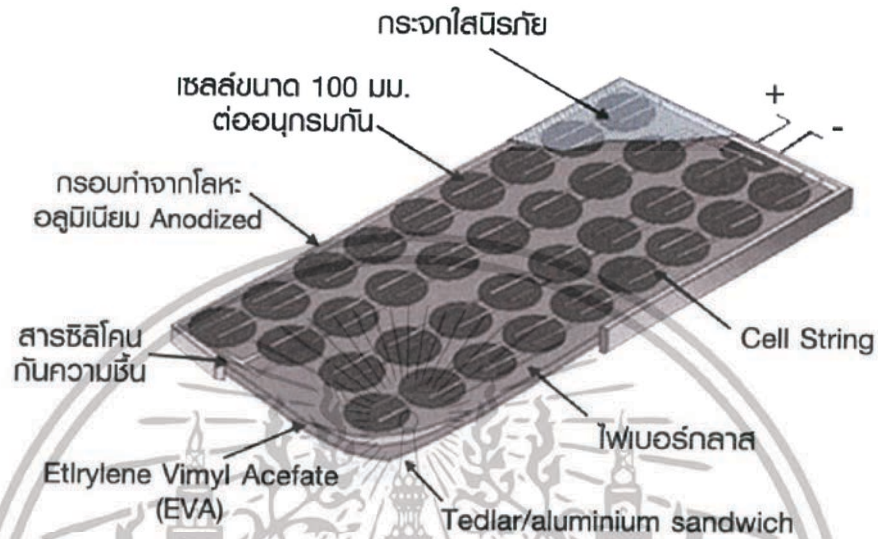
3. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำอื่น เช่น แกลเลียม อาร์เซไนด์, แคดเมียม เทลลูไรด์ และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ เป็นต้น มีทั้งชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) และผลึกรวม (Polycrystalline) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกลเลียมอาร์เซไนด์ จะให้ประสิทธิภาพสูงถึง 20-25 เปอร์เซ็นต์

2.1.2. ส่วนประกอบของโซลาร์เซลล์

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงเซลล์เดียวจะมีค่าต่ำมาก การนำมาใช้งานจะต้องนำเซลล์หลายๆ เซลล์มาต่อกันแบบอนุกรม เพื่อเพิ่มค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้สูงขึ้น เซลล์ที่นำมาต่อกันในจำนวนและขนาดที่เหมาะสมเรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Module หรือ Solar Panel) การทำเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นแผงก็เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน ด้านหน้าของแผงเซลล์ประกอบด้วย แผ่นกระจกที่มีส่วนผสมของเหล็กต่ำ ซึ่งมีคุณสมบัติในการยอมให้แสงผ่านได้ดี และยังเป็นเกราะป้องกันแผ่นเซลล์อีกด้วย แผงเซลล์จะต้องมีการป้องกันความชื้นที่ดีมาก เพราะจะต้องอยู่กลางแจ้งเป็นเวลายาวนาน ในการประกอบจะต้องใช้วัสดุที่มีความคงทนและป้องกันความชื้นที่ดี เช่น ซิลิโคนและอีวีเอ (Ethylene Vinyl Acetate) เป็นต้น เพื่อเป็นการป้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นกระจกด้านบนของแผงเซลล์ จึงต้องมีการทำกรอบด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรง แต่บางครั้งก็ไม่มี ความจำเป็น ถ้ามีการเสริมความแข็งแรงของแผ่นกระจกให้เพียงพอ ซึ่งก็สามารถทดแทนการทำกรอบ ได้เช่นกัน ดังนั้นแผงเซลล์จึงมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ (Laminate) ซึ่งสะดวกในการติดตั้ง ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของโซลาร์เซลล์

2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์

1. ชนิดของโซลาร์เซลล์

การเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของแผงโซลาร์เซลล์โดยตรงคือ การเลือกใช้เซลล์ที่มี ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าสูง แต่การใช้เซลล์ประสิทธิภาพสูง ย่อม ส่งผลให้ราคาของแผงสูงตามด้วย

2. โครงสร้างของแผงโซลาร์เซลล์

โครงสร้างของแผงโซลาร์เซลล์ที่ดีจะช่วยให้แผงมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่น การใช้กระจกที่มี คุณสมบัติลดการสะท้อนแสงเป็นส่วนประกอบของแผง จะช่วยให้เซลล์ได้รับแสงมากขึ้น ส่งผลให้ผลิต ไฟฟ้าได้มากขึ้น

3. ความเข้มของแสงที่ตกกระทบ

กระแสไฟฟ้าที่โซลาร์เซลล์ผลิตได้ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หากแสงที่ตก กระทบแผงโซลาร์เซลล์มีความเข้มสูง แผงก็จะผลิตกระแสไฟฟ้าได้มาก ขณะที่แรงดันไฟฟ้าจะแปร ตามความเข้มแสงน้อยมาก ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะสูงขึ้น เมื่อความเข้มของแสงเพิ่มขึ้น

4. อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลโดยตรงกับประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะลดลง เมื่อเซลล์ มีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยทั่วไปแล้วผู้ผลิตแผงโซลาร์เซลล์จะระบุข้อมูลทางเทคนิคที่วัดจากการทดลองใน สภาพแวดล้อมมาตรฐานคือ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิของแผงที่การใช้งานจริงอาจสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึง 45 องศาเซลเซียส ดังนั้นการออกแบบระบบเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้ารวม ที่ต้องการควรคำนึงถึง อุณหภูมิเวลาใช้งานจริง หากโครงสร้างของแผงสามารถระบายความร้อนได้ดี ก็จะช่วยเพิ่ม ประสิทธิภาพของแผงสูงขึ้นได้อีกด้วย

5. ลักษณะการติดตั้งแผง

หากมีเงาบังแผงโซลาร์เซลล์เพียงส่วนใดส่วนหนึ่ง อาจส่งผลให้ประสิทธิภาพของแผง ลดลงอย่างมาก ดังนั้นจึงควรติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ในสถานที่ที่ไม่มีเงาของวัตถุใดมาบัง องค์การ ดกกระทบของแสงก็มีผลเช่นกัน โซลาร์เซลล์จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อแสงตกกระทบบนเซลล์แบบ ตั้งฉาก สำหรับประเทศไทยนั้นทิศทางและองศาการติดตั้งแผงที่จะทำให้อรับแสงได้ดีที่สุดคือ หันไปทาง ทิศใต้และทำมุม 15 องศาจากพื้นดิน

6. การดูแลรักษา

เมื่อใช้งานไปได้ช่วงระยะเวลาหนึ่ง ย่อมมีฝุ่นละอองหรือสิ่งสกปรก เช่น มูลนก เปื้อนแผง โซลาร์เซลล์ หรืออาจมีต้นไม้กิ่งก้านมาบังแสงที่จะตกกระทบบนแผง ซึ่งมีผลทำให้แผงได้รับแสงลดลง หรือเกิดเงาบนส่วนใดส่วนหนึ่งของแผง ส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมลดลง การทำความสะอาดและ ดูแลไม่ให้เกิดเงามาบังแผง จะช่วยให้ประสิทธิภาพของทั้งระบบดีขึ้นได้

2.1.4 การทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์

การทำความสะอาดคราบสกปรกและฝุ่นที่เกาะบนแผงโซลาร์เซลล์ สามารถทำได้ด้วยการ ล้างด้วยน้ำสะอาดและเช็ดคราบสกปรกออก บางครั้งคราบสกปรกจะเป็นพวกยางหรือมูลนกให้ใช้น้ำ เย็นล้างและขัดด้วยฟองน้ำ ข้อควรระวังในการทำความสะอาดแผงพลังงานแสงอาทิตย์คือ ห้ามใช้ แปรงที่มีขนเป็นโลหะทำความสะอาดผิวของแผงโซลาร์เซลล์ นอกจากนี้ผงซักฟอกก็ไม่ควรใช้ในการ ทำความสะอาด เพราะอุปกรณ์และน้ำยาทำความสะอาดดังกล่าวจะทำให้เกิดรอยที่ผิวกระจกของแผง พลังงานแสงอาทิตย์

2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) เป็นมอเตอร์ที่ต้องใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Source) เป็นมอเตอร์แบบเบื้องต้นที่ถูกผลิตมาใช้งาน มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วย แม่เหล็กถาวร 2 ขั้ววางอยู่ระหว่างขดลวดตัวนำ ขดลวดตัวนำจะได้รับแรงดันไฟฟ้าตรงบ่อนให้ในการทำงาน ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก 2 ขั้ว มีขั้วแม่เหล็กเหมือนกันวางใกล้กัน เกิดแรงผลักกันทำให้ขดลวดตัวนำหมุนเคลื่อนที่ได้

2.2.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 2 ส่วน ดังนี้

1. สเตเตอร์ (Stator) หรือส่วนที่อยู่กับที่ ประกอบด้วย

- เฟรมหรือโยค (Frame or Yoke) เป็นโครงภายนอกทำหน้าที่เป็นทางเดินของ เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเหนือไปขั้วใต้ให้ครบวงจร และยึดส่วนประกอบอื่นๆ ให้แข็งแรงทำด้วย เหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นหนาม้วนเป็นรูปทรงกระบอก

- **ขั้วแม่เหล็ก (Pole)** ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ แกนขั้วแม่เหล็กและขดลวด ส่วนแรก แกนขั้ว (Pole Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ กันด้วยฉนวนประกบกันเป็นแท่งยึดติดกับเฟรม ส่วนปลายที่ทำเป็นรูปโค้งนั้นเพื่อโค้งรับรูปกลมของตัวโรเตอร์เรียกว่า ขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoes) มีวัตถุประสงค์ให้ขั้วแม่เหล็กและโรเตอร์ใกล้ชิดกันมากที่สุด เพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุดจะมีผลให้เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กผ่านไปยังโรเตอร์มากที่สุด แล้วทำให้เกิดแรงบิดหรือกำลังบิดของโรเตอร์มากเป็นการทำให้มอเตอร์มีกำลังหมุน (Torque) ส่วนที่สอง ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) จะพันอยู่รอบๆ แกนขั้วแม่เหล็ก ขดลวดนี้ทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เกิดขึ้น และเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะเกิดการหักล้าง และเสริมกันกับสนามแม่เหล็กของอาร์เมเจอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น

2. โรเตอร์ (Rotor) หรือตัวหมุน

ตัวหมุนนี้ทำให้เกิดกำลังงานมีแกนวางอยู่ในตลับลูกปืน (Ball Bearing) ซึ่งประกอบอยู่ในแผ่นปิดหัวท้าย (End Plate) ของมอเตอร์ ตัวโรเตอร์ประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ

- แกนเพลลา (Shaft) เป็นตัวสำหรับยึดคอมมิวเตเตอร์ และยึดแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature Core) ประกอบเป็นตัวโรเตอร์ แกนเพลลาจะวางอยู่บนแบริ่ง เพื่อบังคับให้หมุนอยู่ในแนวหนึ่งไม่มีการสั่นสะเทือนได้

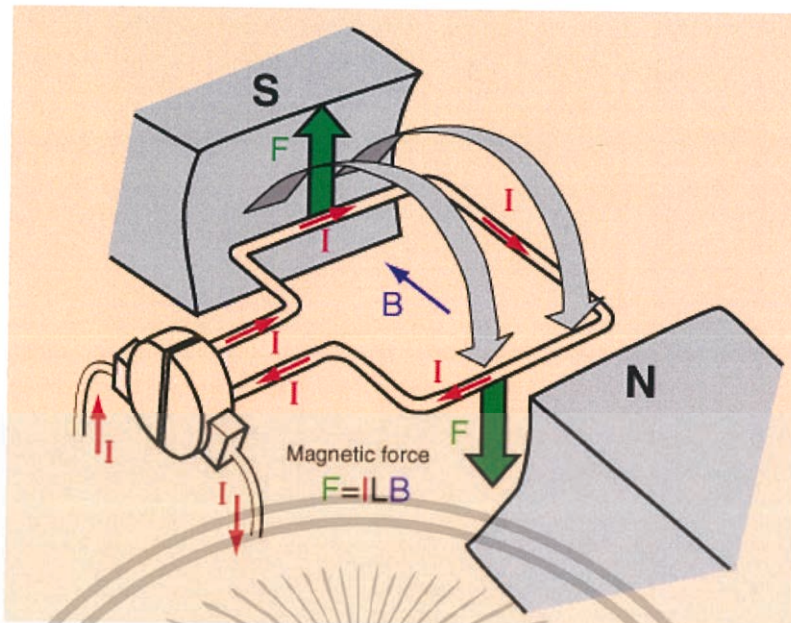
- แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ ซ้อนกันเป็นชั้นๆ (Laminated Sheet Steel) เป็นที่สำหรับพันขดลวดอาร์เมเจอร์ซึ่งสร้างแรงบิด (Torque)

- คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ทำด้วยทองแดงออกแบบเป็นซี่แต่ละซี่มีฉนวนไมก้า (Mica) คั่นระหว่างซี่ของคอมมิวเตเตอร์ ส่วนหัวซี่ของคอมมิวเตเตอร์ จะมีร่องสำหรับใส่ปลายสายของขดลวดอาร์เมเจอร์ ตัวคอมมิวเตเตอร์นี้อัดแน่นติดกับแกนเพลลาเป็นรูปกลมทรงกระบอก มีหน้าที่สัมผัสกับแปรงถ่าน (Carbon Brushes) เพื่อรับกระแสจากสายป้อนเข้าไปยังขดลวดอาร์เมเจอร์ เพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วนหนึ่งให้เกิดการหักล้างและเสริมกันกับเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วน ซึ่งเกิดจากขดลวดขั้วแม่เหล็ก ดังกล่าวมาแล้วเรียกว่าปฏิกริยามอเตอร์ (Motor Action)

- ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) เป็นขดลวดพันอยู่ในร่องสลอท (Slot) ของแกนอาร์เมเจอร์ ขนาดของลวดจะเล็กหรือใหญ่และจำนวนรอบจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับารออกแบบของตัวโรเตอร์ชนิดนั้นๆ เพื่อที่จะให้เหมาะสมกับงานต่างๆ

2.2.2 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การทำงานของเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีแรงดันไฟตรงจ่ายผ่านแปรงถ่านไปที่คอมมิวเตเตอร์ ผ่านให้ขดลวดตัวนำที่อาร์เมเจอร์ ทำให้ขดลวดอาร์เมเจอร์เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นมาทางด้านซ้ายมือเป็นขั้วเหนือ (N) และด้านขวามือเป็นขั้วใต้ (S) เหมือนกับขั้วแม่เหล็กถาวรที่วางอยู่ใกล้ๆ เกิดอำนาจแม่เหล็กผลัดกัน อาร์เมเจอร์หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา พร้อมกับคอมมิวเตเตอร์หมุนตามไปด้วย แปรงถ่านสัมผัสกับส่วนของคอมมิวเตเตอร์ เปลี่ยนไปในอีกปลายหนึ่งของขดลวด แต่มีผลทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่อาร์เมเจอร์เหมือนกับขั้วแม่เหล็กถาวรที่อยู่ใกล้ๆ อีกครั้ง ทำให้อาร์เมเจอร์ยังคงถูกผลัดให้หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาตลอดเวลา เกิดการหมุนของอาร์เมเจอร์คือ มอเตอร์ไฟฟ้าทำงาน ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

2.2.3 รายละเอียดพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1. แรงดันไฟฟ้า (Voltage)

มอเตอร์ทุกตัวจะมีแรงดันไฟฟ้าใช้งานที่แตกต่างกัน ตามคุณสมบัติของมอเตอร์แต่ละตัวที่ผู้ผลิตกำหนดมา เช่น มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 12 V เป็นต้น สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นสามารถใช้ไฟกระแสตรงหรือกระแสสลับก็ได้ แต่ถ้าเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับจะใช้ไฟกระแสสลับเท่านั้น และแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ จะมีผลต่ออัตราเร็ว และแรงบิดของมอเตอร์คือ ถ้าหากแรงดันไฟฟ้ามากอัตราเร็วและแรงบิดของมอเตอร์ก็จะมากด้วย

2. การไหลของกระแสไฟฟ้า (Current Draw)

ในการไหลของกระแสนั้นจะกล่าวถึงในกรณีที่มอเตอร์ได้รับกระแสจากแหล่งจ่าย ในกรณีที่มอเตอร์ ไม่ได้ต่อกับโหลดใดๆ นั้นจะมีกระแสไหลผ่านน้อย แต่ในกรณีที่มีการใช้งานต่อกับโหลดจะมีปริมาณกระแสที่เพิ่มมากขึ้น การไหลของกระแสนั้นมีความจำเป็นเพราะถ้าหากกระแสไม่พอแล้วมอเตอร์ก็จะมีกำลังเพียงพอสำหรับการขับโหลด และกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์จะมีผลต่ออัตราเร็วและแรงบิดของมอเตอร์ด้วยคือ ถ้าหากจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์มาก อัตราเร็วและแรงบิดของมอเตอร์ก็จะมากด้วย

3. แรงบิด (Torque)

สำหรับแรงบิดเป็นแรงที่มอเตอร์กระทำกับโหลด ในการพิจารณาเลือกมอเตอร์นั้นถ้าหากมีแรงบิดน้อยจะใช้งานได้กับโหลดที่มีน้ำหนักไม่มากนัก แต่ถ้ามีแรงบิดเพิ่มมากขึ้น สามารถใช้งานกับโหลดที่มีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นได้ ดังนั้นในการพิจารณาเลือกใช้งานมอเตอร์ จึงจำเป็นต้องรู้ข้อมูลพื้นฐานของมอเตอร์เพื่อที่จะเป็นข้อพิจารณาในการเลือกใช้งานต่อไป

4. อัตราเร็ว (Speed)

ส่วนใหญ่มอเตอร์กระแสตรงจะมีอัตราเร็วปกติที่ 4,000-7,000 รอบต่อนาที ซึ่งอัตราเร็วของมอเตอร์สามารถลดลงหรือเพิ่มขึ้นได้ ตามความต้องการของผู้ใช้ ถ้าหากต้องการใช้งานที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วมากก็ต้องเลือกมอเตอร์ที่มีอัตราเร็วสูง เป็นต้น สำหรับการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสดังนั้น สามารถทำได้โดยการจ่ายไฟฟ้ากระแสดังเข้าไปที่ขั้วของมอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และถ้าต้องการเปลี่ยนทิศทางการหมุนของมอเตอร์ก็สามารถทำได้โดยการกลับขั้วการจ่ายไฟฟ้าให้กับมอเตอร์

2.2.4 คุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสดัง

1. กรณี No Load

กรณี No Load หรือไม่มีภาระทางกลในการหมุนของมอเตอร์ จะทำให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วสูงสุดค่า e ก็สูง ส่งผลให้กระแสไหลเข้ามอเตอร์น้อยที่สุด ซึ่งในทางทฤษฎีจะมีค่าเท่ากับ 0 แต่ในทางปฏิบัติกระแสให้กับมอเตอร์ แต่ถ้าหากต้องการลดความเร็วมอเตอร์ ก็สามารถทำได้โดยการลดแรงดันไฟฟ้า V_s หรือลดกระแสที่ให้กับมอเตอร์

2. เมื่อยึดมอเตอร์ไว้ไม่ให้หมุน

เมื่อยึดมอเตอร์ไว้ไม่ให้หมุนจะทำให้ $e = 0$ กระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์จะมีค่าสูงสุดเท่ากับ V_s/R_a

3. เมื่อมอเตอร์ถูกต่อเข้ากับ Load ใดๆ

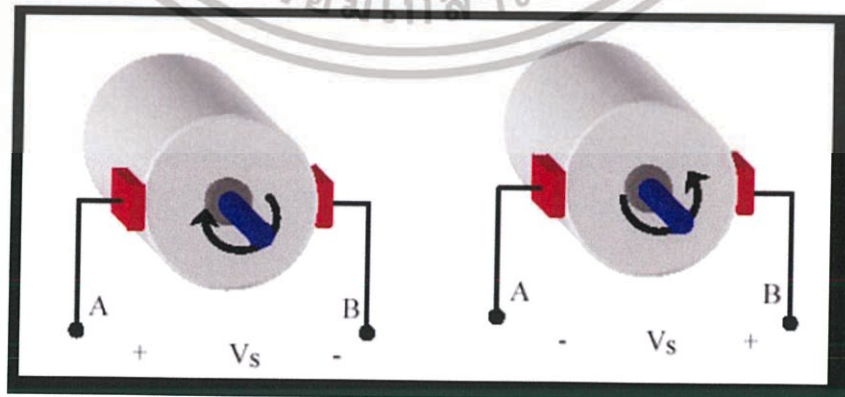
เมื่อมอเตอร์ถูกต่อเข้ากับ Load ความเร็วของมอเตอร์จะขึ้นกับแรงบิด (Torque) หรือ Load ของมอเตอร์ โดยถ้าหาก Load มากจะต้านการหมุนของมอเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนช้าลงและดึงกระแสมาก และในทางกลับกันถ้า Load ต่ำต้านทานการหมุนน้อย มอเตอร์จะดึงกระแสและหมุนเร็วขึ้น

4. ถ้าต้องการเพิ่มความเร็วของมอเตอร์

เมื่อต้องการเพิ่มความเร็วของมอเตอร์ สามารถทำได้โดยการเพิ่มแรงดันไฟฟ้า V_s หรือเพิ่มกระแสให้มอเตอร์ แต่ถ้าหากต้องการลดความเร็วมอเตอร์ ก็สามารถทำได้โดยการลดแรงดันไฟฟ้า V_s หรือลดกระแสให้กับมอเตอร์

5. การกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์

การกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ สามารถทำได้โดยการกลับขั้วแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์



รูปที่ 2.6 การต่อแหล่งจ่ายแรงดันเพื่อควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสดัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

Arduino อ่านว่า (อา-ดู-อิ-โน้ หรือ อาดูยโน้) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือ มีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัวบอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาเพื่อให้ง่าย และสะดวกในการใช้งาน โดยภาษาที่ใช้กับบอร์ดนี้จะมีลักษณะเป็น C/C++ โดยจัดให้มี Library ต่างๆ ให้พร้อมให้เรียกใช้งานได้ทันทีมากมาย ครอบคลุมการติดต่อกับ I/O ต่างๆ ได้หลากหลาย การใช้งานง่ายเพียงเสียบสาย USB ติดตั้งโปรแกรมที่ให้มาก็สามารถประยุกต์ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ทันที ดังรูปที่ 2.7

- ส่วนที่เป็น Hardware คือ บอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) เป็นชิ้นส่วนหลัก ถูกนำมาประกอบร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน หรือที่เรียกกันว่า บอร์ด Arduino, โดยบอร์ด Arduino เองก็มีหลายรุ่นให้เลือกใช้ ตามสเปคที่ต้องการ

- ส่วนที่เป็น Software คือ ภาษา Arduino เป็นภาษาสำหรับเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ มีการเขียนแบบเดียวกับภาษา C/C++ และ Arduino IDE เป็นเครื่องมือสำหรับเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Arduino, คอมไพล์โปรแกรม (Compile) และอัปโหลดโปรแกรมลงบอร์ด (Upload)

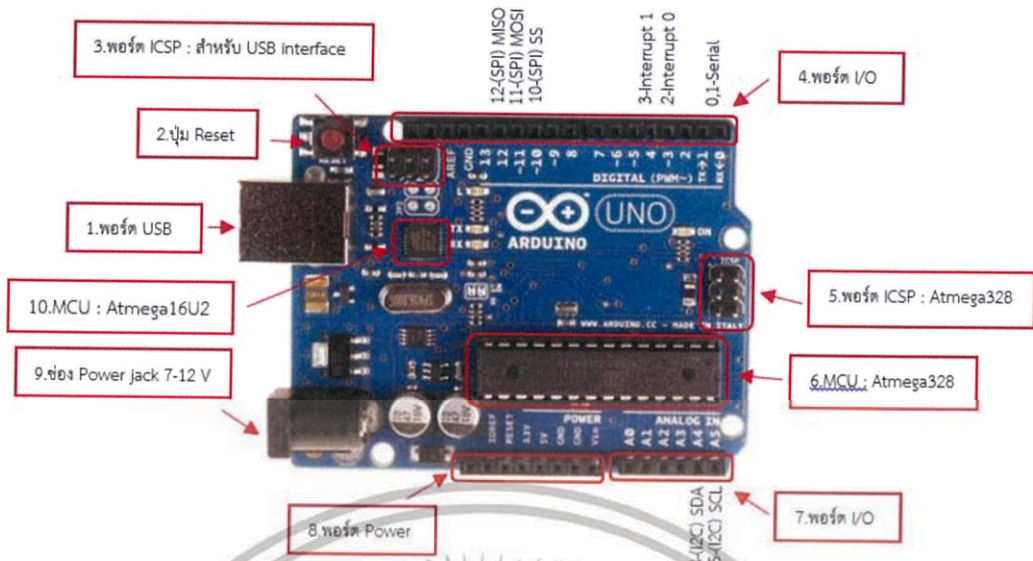


รูปที่ 2.7 อาดูโน้ (Arduino)

บอร์ด Arduino มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.8 และมีจุดเด่นคือ เรียนรู้และใช้งานง่าย เนื่องจากมีคำสั่งต่างๆ ขึ้นมาสนับสนุนในการใช้งานมีรูปแบบง่ายไม่ซับซ้อน ซึ่งถึงแม้ว่า Arduino เองจะมีรูปแบบการใช้งานคล้ายๆ กับไมโครคอนโทรลเลอร์อื่นๆ เช่น Basic Stamp, BX-24, Handy Board เป็นต้น แต่มีจุดเด่นที่ไม่เหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์อื่นๆ อย่างเช่น

1. ราคาไม่แพง เนื่องจาก Source Code และวงจรแจกให้ฟรี สามารถต่อวงจรขึ้นเองได้
2. โปรแกรมที่ใช้พัฒนารองรับการทำงานทั้ง Windows, Linux และ Macintosh OSX
3. มีรูปแบบคำสั่งที่ง่ายต่อการใช้งาน แต่สามารถนำไปใช้กับงานจริงที่มีความซับซ้อนมากๆ ได้ และยังสามารถสร้างคำสั่งและ Library ใหม่ๆ มาใช้งานเองได้ เมื่อมีความชำนาญมากขึ้นแล้ว

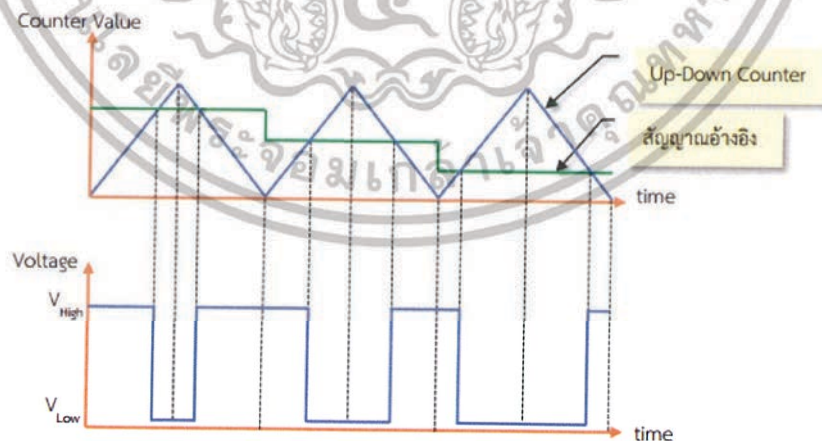
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



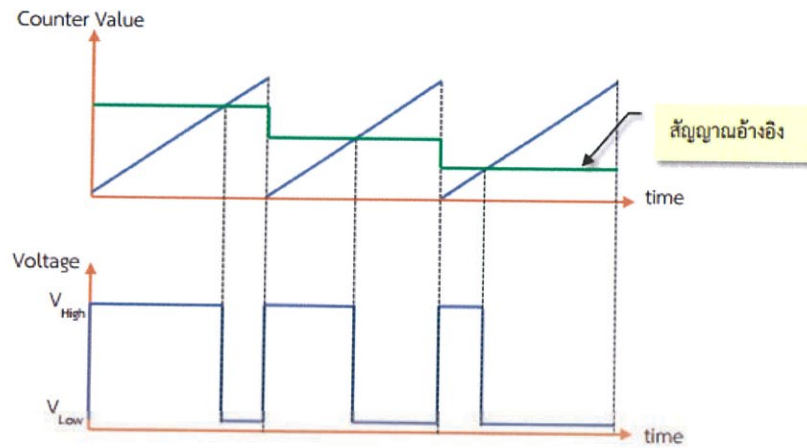
รูปที่ 2.8 โครงสร้าง Arduino Board

2.4 สัญญาณ PWM

PWM ย่อมาจาก Pulse Width Modulation คือ การปรับความกว้างของพัลส์สามารถทำได้ โดยนำสัญญาณสองชุดมาเปรียบเทียบกัน โดยสัญญาณชุดแรกคือ สัญญาณสามเหลี่ยม กับสัญญาณที่ต้องการปรับความกว้างของพัลส์ (สัญญาณอ้างอิง) สัญญาณ PWM เป็นที่นิยมนำมาใช้ควบคุม อุปกรณ์ต่างๆ เช่น ปรับความเร็วของ DC Motor หรือความสว่างของหลอดไฟ โดยมีข้อดีคือ ลดการสูญเสียพลังงาน เนื่องจากมีการกระตุ่นอย่างต่อเนื่อง และสามารถเชื่อมต่อกับ Microcontroller หรือ คอมพิวเตอร์ได้ง่าย ถ้าต้องการส่งพลังงานไปยังอุปกรณ์มาก ให้รับ Duty Cycle มาก หากต้องการส่งพลังงานน้อย ให้รับ Duty Cycle น้อย เป็นต้น ดังรูปที่ 2.9 และรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 PWM แบบ Center Aligned

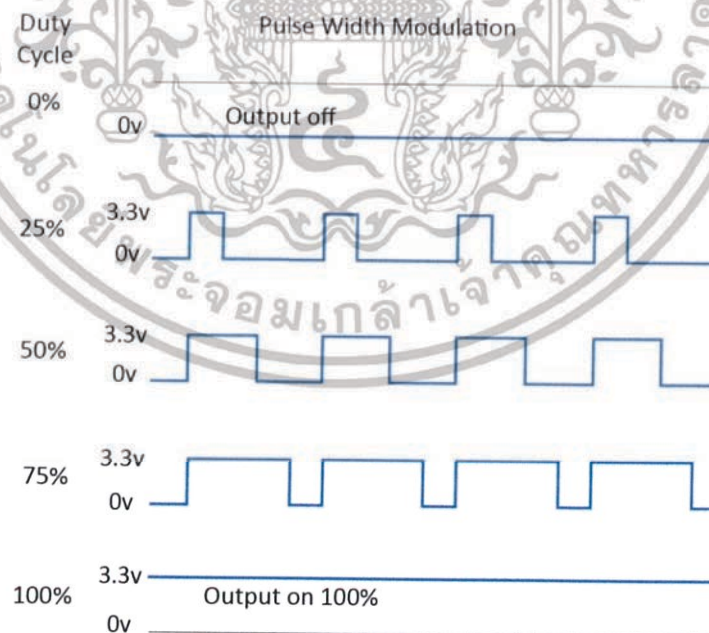


รูปที่ 2.10 PWM แบบ Edge Aligned

2.4.1 การใช้ประโยชน์จาก PWM

ในระบบดิจิทัลนั้นจะมีสัญญาณแค่ High และ Low สองนี้ภาพว่า ถ้าต้องการจะนำระบบดิจิทัลไปควบคุมอุปกรณ์ที่ต้องควบคุมด้วยสัญญาณ Analog เช่น การนำไปควบคุมความเร็วมอเตอร์ เป็นต้น ในระบบดิจิทัลจะไม่สามารถควบคุมอุปกรณ์พวกนี้ได้ตรงๆ จะต้องใช้ PWM ในการควบคุม โดยจะปรับคาบเวลาของ High-Low (Duty Cycle) ดังตัวอย่างต่อไปนี้ ดังรูปที่ 2.11

- 50% Duty Cycle คือ คาบเวลาที่เป็น High 50% และคาบเวลาที่เป็น Low 50%
- 25% Duty Cycle คือ คาบเวลาที่เป็น High 25% และคาบเวลาที่เป็น Low 75%
- 75% Duty Cycle คือ คาบเวลาที่เป็น High 75% และคาบเวลาที่เป็น Low 25%

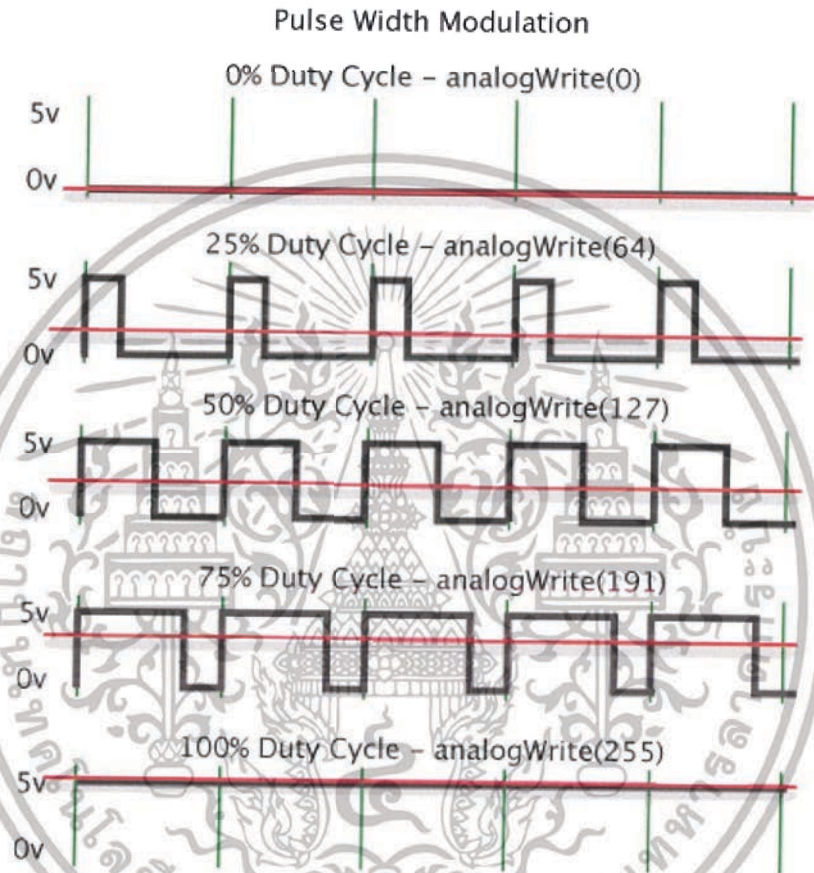


รูปที่ 2.11 กราฟแสดง Duty Cycle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การส่งค่าสัญญาณ PWM ใน Arduino

PWM (Pulse Width Modulation) คือ เทคนิคการส่งสัญญาณแบบสวิตช์ หรือส่งค่าดิจิตอล 0-1 โดยให้สัญญาณความถี่คงที่ การควบคุมระยะเวลาสัญญาณสูง-ต่ำต่างกัน ก็จะทำให้ค่าแรงดันเฉลี่ยของสัญญาณต่างกันด้วย สำหรับโมดูล PWM ของ Arduino มีความละเอียด 8 Bit หรือปรับได้ 255 ระดับ ดังนั้นค่าสัญญาณ 0 โวลต์ถึง 5 โวลต์ จะถูกแสดงเป็นสัญญาณแบบดิจิตอล จะได้ 0 ถึง 255 ซึ่งสามารถเทียบสัดส่วนค่านวณจากเลขจริงเป็นเลขทางดิจิตอลได้ ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 กราฟแสดง Duty Cycle เทียบกับค่า Analog ของ Arduino

2.5 เซนเซอร์แสง

เซนเซอร์แสง (Optical Sensor) หรือ Photo Sensor โดยทั่วไปใช้ในงานการตรวจจับการเคลื่อนไหว การตรวจจับวัตถุ และการตรวจสอบขนาดรูปร่างของวัตถุ เซนเซอร์ชนิดนี้ทำงานโดยอาศัยหลักการส่งและรับแสง มีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนคือ ตัวส่งแสง (Emitter) และตัวรับแสง (Receiver) ลักษณะการตรวจจับเกิดจากการที่ลำแสงจากตัวส่งแสง ส่งไปสะท้อนกับวัตถุหรือถูกขวางกั้นด้วยวัตถุ ส่งผลให้ตัวรับแสงรู้สถานะที่เกิดขึ้นและเปลี่ยนแปลงสถานะของสัญญาณทางด้านเอาต์พุตเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

อุปกรณ์ที่เป็นตัวรับแสงส่วนใหญ่นิยมใช้โฟโตไดโอด (Photo Diode) หรือโฟโตทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor) ส่วนตัวส่งแสงนั้นโดยทั่วไปใช้ LED (Light Emitting Diode) เนื่องจากการต่อใช้งานร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทำได้ง่าย สะดวกในการบำรุงรักษา ใช้กระแสไฟฟ้าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ำ และไม่ได้รับผลกระทบจากสภาวะรอบข้างไม่ว่าจะเป็นสนามแม่เหล็ก ความถี่ ความร้อน ความชื้น หรือการสั่นสะเทือนแบ่ง

2.5.1 ประเภทของ LED ตามความยาวคลื่นของแสง

1. LED แบบแสงอินฟราเรด มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 910-950 นาโนเมตร ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ให้ความเข้มของแสงสูงและระยะส่งไกล แต่ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างของสีได้

2. LED แบบแสงสีแดง มีความยาวคลื่นประมาณ 650 นาโนเมตร มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ให้ความเข้มของแสงอยู่ในระดับปานกลาง สามารถตรวจจับพื้นผิวที่มีสีดำ สีน้ำเงินและสีเขียวบนพื้นสีขาวได้ดี

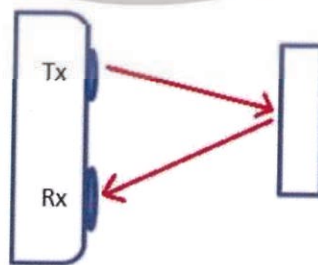
3. LED แบบแสงสีเขียว มีความยาวคลื่นประมาณ 560 นาโนเมตร ให้ความเข้มของแสงต่ำ มีระยะการตรวจจับที่ไม่ไกล สามารถตรวจจับพื้นที่สีแดงบนพื้นสีขาวได้ดี

4. LED ประเภทแสงเลเซอร์ซึ่งเหมาะสำหรับงานที่ต้องการความละเอียดในการวัด

2.5.2 ประเภทของเซนเซอร์แสง

เซนเซอร์แสงสามารถแบ่งตามลักษณะการตรวจจับ และตำแหน่งการติดตั้งตัวรับแสงและตัวส่งแสงได้ 3 ประเภท

1. เซนเซอร์แสงประเภทตรวจจับโดยตรง (Diffuse Reflective Optical Sensor) เป็นเซนเซอร์ชนิดใช้แสง (Optical Sensor/Photo Sensor) ประเภทนี้ตัวส่งแสงและตัวรับแสงติดตั้งรวมอยู่ภายในตัวเดียวกัน ตรวจจับโดยการสะท้อนลำแสงโดยตรงกับตัววัตถุ และใช้วัตถุนั้นเป็นตัวสะท้อนลำแสงกลับมาที่ตัวรับแสง โดยไม่ต้องมีการปรับแต่งทิศทางลำแสง ระยะการตรวจจับใกล้ที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแบบอื่น มีระยะการตรวจจับประมาณ 1 เมตร เซนเซอร์ประเภทนี้นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากสะดวกและง่ายในการติดตั้ง ใช้เนื้อที่ในการติดตั้งน้อย ราคาถูก ไม่ต้องใช้อุปกรณ์อื่นเพิ่มเติมเพราะมีทั้งตัวส่งและตัวรับอยู่ในตัวเดียวกัน สามารถตรวจจับวัตถุได้เกือบทุกชนิด ยกเว้นวัตถุที่มีลักษณะพื้นผิวด้านหรือดูดกลืนแสงและวัตถุที่โปร่งแสง เหมาะสำหรับการตรวจจับวัตถุที่มีลักษณะพื้นผิวเรียบ เป็นมันวาวและทึบแสง ระยะการตรวจจับขึ้นอยู่กับลักษณะของวัตถุที่ต้องการตรวจจับ เช่น สี และความเรียบมันของวัตถุ โดยระยะการตรวจจับจะลดลงอย่างมากถ้าเป็นวัตถุสีดำ ดังรูปที่ 2.13

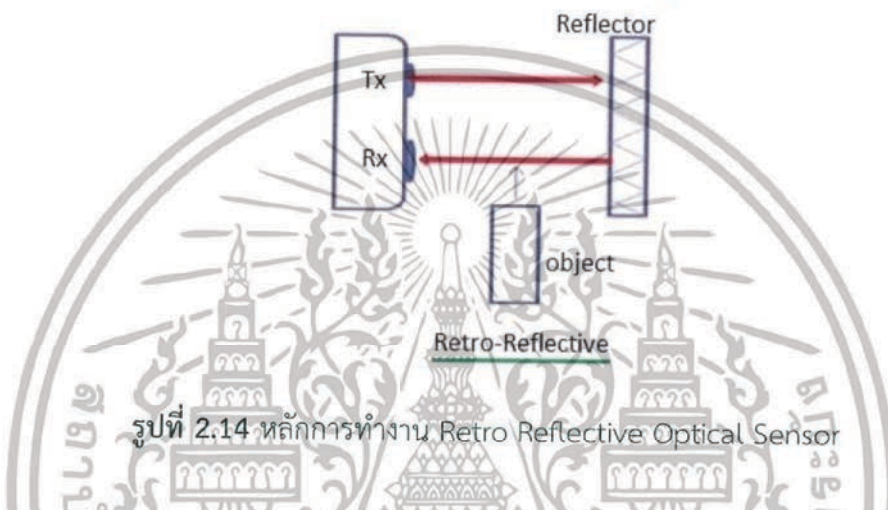


Diffuse Reflective

รูปที่ 2.13 หลักการทำงาน Diffuse Reflective Optical Sensor

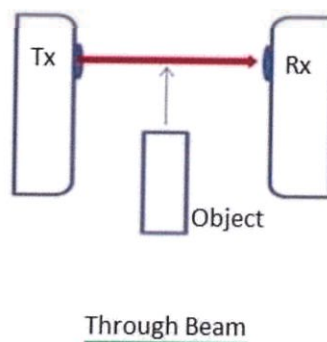
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เซนเซอร์แสงประเภทลำแสงสะท้อนกลับ (Retro Reflective Optical Sensor) เป็นเซนเซอร์แสง (Optical Sensor/Photo Sensor) ที่อาศัยหลักการสะท้อนกลับของลำแสง โดยตัวส่งแสงและตัวรับแสงติดตั้งรวมอยู่ภายในตัวเดียวกันเช่นเดียวกับแบบตรวจจับโดยตรง ต่างกันที่เซนเซอร์ประเภทนี้ต้องใช้งานร่วมกับแผ่นสะท้อนแสง (Reflector) เพื่อประโยชน์ในการเพิ่มความเข้มของแสงให้มากขึ้น มีผลทำให้ระยะทางในการตรวจจับเพิ่มมากขึ้นด้วย มีระยะการตรวจจับประมาณ 3-10 เมตร ข้อดีของเซนเซอร์ใช้แสง (Optical Sensor/Photo Sensor) ประเภทนี้คือ การปรับแต่งทิศทางลำแสงทำได้ง่าย ติดตั้งง่าย มีระยะการตรวจจับปานกลาง การตรวจจับและระยะการตรวจจับไม่ขึ้นกับสีของวัตถุ แต่ไม่สามารถตรวจจับวัตถุที่มีผิวมันเงาและโปร่งแสงได้ เหมาะกับวัตถุที่มีลักษณะพื้นผิวที่ดูดกลืนแสงและไม่สามารถสะท้อนแสงกลับมายังตัวรับ ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 หลักการทำงาน Retro Reflective Optical Sensor

3. เซนเซอร์แสงประเภทลำแสงผ่านตลอด (Through Beam Optical Sensor) เป็นเซนเซอร์แสง (Optical Sensor/Photo Sensor) ที่อาศัยวิธีการตัดต่อลำแสงเมื่อมีวัตถุที่ต้องการตรวจจับเคลื่อนที่ผ่านระหว่างตัวรับและตัวส่ง เซนเซอร์ประเภทนี้ติดตั้งตัวส่งแสงกับตัวรับแสงแยกกัน และต้องจ่ายไฟให้ทั้งตัวส่งและตัวรับ และเป็นเซนเซอร์ชนิดใช้แสงที่มีระยะการตรวจจับไกลที่สุด อย่างไรก็ตามเซนเซอร์ประเภทนี้ติดตั้งยาก และมีราคาสูงกว่าประเภทตรวจจับโดยตรงและลำแสงผ่านตลอด โดยสีและความมันวาวของวัตถุไม่มีผลต่อการตรวจจับ สามารถตรวจจับได้เฉพาะวัตถุที่มีลักษณะพื้นผิวทึบแสงเท่านั้น ไม่สามารถตรวจจับวัตถุที่มีสภาพผิวโปร่งแสงได้ ข้อควรระวังสำหรับการติดตั้งเซนเซอร์แสงประเภทนี้คือ ต้องปรับตั้งศูนย์ของตัวรับและตัวส่งให้ตรงกันเสมอ ดังรูปที่ 2.15



Through Beam

รูปที่ 2.15 หลักการทำงาน Through Beam Optical Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนักผู้จัดทำใบเสนอราคาไม่ผ่านการคัดเลือก หรือหากมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 เทคโนโลยีการรับส่งข้อมูลแบบไร้สาย

เทคโนโลยีการส่งข้อมูลแบบไร้สาย อาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อกลางนำสัญญาณซึ่งสามารถแบ่งตามช่วงความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ 4 ชนิด ดังนี้

1. อินฟราเรด (Infrared) เป็นลักษณะของคลื่นที่ใช้ในการส่งข้อมูลระยะใกล้ๆ ในช่วงความถี่ที่แคบมาก ใช้ช่องทางสื่อสารน้อย มักใช้กับการสื่อสารข้อมูลที่ไม่มีสิ่งกีดขวางระหว่างตัวส่งกับตัวรับสัญญาณ โดยต้องใช้วิธีการสื่อสารตามแนวเส้นตรง ระยะทางไม่เกิน 1-2 เมตร ความเร็วประมาณ 4-1 เมกะบิตต่อวินาที เช่น การส่งสัญญาณจากรีโมทคอนโทรลไปยังโทรทัศน์ การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์สองเครื่องโดยผ่านพอร์ตอินฟราเรด เป็นต้น

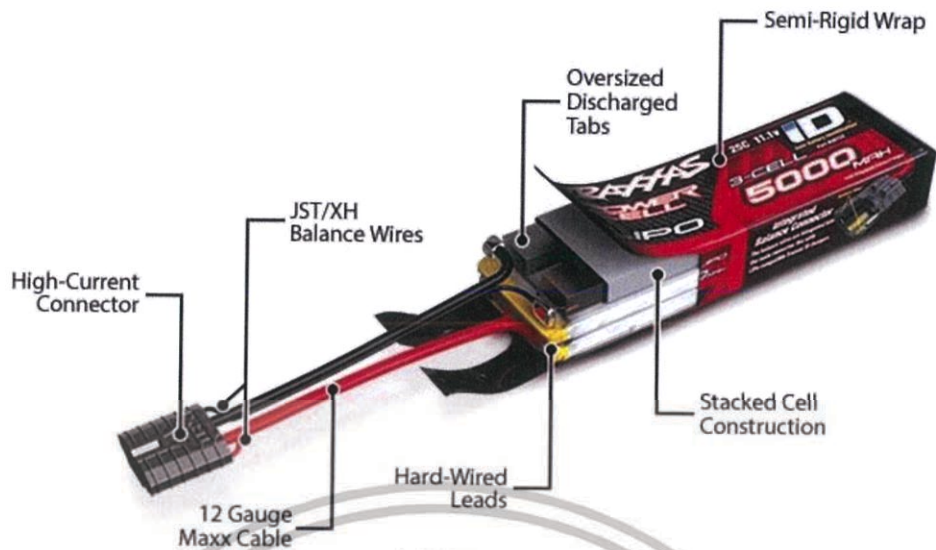
2. คลื่นวิทยุ (Radio Frequency) ใช้ส่งสัญญาณไปในอากาศ โดยมีตัวกระจายสัญญาณส่งไปยังตัวรับสัญญาณ และใช้คลื่นวิทยุในช่วงความถี่ต่างๆ กัน มีความเร็วต่ำประมาณ 2 เมกะบิตต่อวินาที เช่น การสื่อสารโดยใช้ระบบไร้สาย การสื่อสารในระบบวิทยุเอฟเอ็ม (Frequency Modulation : FM) เอเอ็ม (Amplitude Modulation : AM) เป็นต้น

3. ไมโครเวฟ (Microwave) จะใช้การส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปในอากาศพร้อมกับข้อมูลที่ต้องการส่ง และต้องมีสถานีที่ทำหน้าที่ส่งและรับข้อมูล เนื่องจากสัญญาณไมโครเวฟจะเดินทางเป็นเส้นตรงไม่สามารถเลี้ยวหรือโค้งตามขอบโลกได้ จึงต้องมีการตั้งสถานีรับ-ส่งข้อมูลเป็นระยะๆ และส่งข้อมูลต่อกันเป็นทอดๆ ระหว่างสถานีต่อสถานี จนกว่าจะถึงสถานีปลายทาง และแต่ละสถานีจะตั้งอยู่ในที่สูง เช่น ภูเขา ยอดเขา เป็นต้น เพื่อหลีกเลี่ยงการชนสิ่งกีดขวางในแนวการเดินทางของสัญญาณ เหมาะกับการส่งข้อมูลในพื้นที่ห่างไกล

4. ดาวเทียม (Satellite) เป็นสถานีรับส่งสัญญาณไมโครเวฟบนดาวเทียม ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อหลีกเลี่ยงข้อจำกัดของสถานีรับ-ส่งไมโครเวฟบนผิวโลก เพื่อใช้เป็นสถานีรับ-ส่งสัญญาณไมโครเวฟบนอวกาศ และทวนสัญญาณในแนวโคจรของโลก ซึ่งจะต้องมีสถานีภาคพื้นดิน ทำหน้าที่รับและส่งสัญญาณขึ้นไปบนดาวเทียมที่โคจรอยู่สูงจากพื้นโลกประมาณ 35,600 ไมล์ โดยดาวเทียมเหล่านั้นจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่เท่ากับการหมุนของโลก จึงเสมือนกับดาวเทียมนั้นอยู่นิ่งกับที่ขณะที่โลกหมุนรอบตัวเอง ทำให้การส่งสัญญาณไมโครเวฟจากสถานีหนึ่งขึ้นไปบนดาวเทียม และการกระจายสัญญาณจากดาวเทียมลงมายังสถานีตามจุดต่างๆ บนผิวโลกเป็นไปอย่างแม่นยำ

2.7 แบตเตอรี่ลิเทียมโพลิเมอร์

แบตเตอรี่ลิเทียมโพลิเมอร์ถูกสร้างขึ้นครั้งแรกโดยการรวมอิเล็กโทรไลต์-โพลิเมอร์ ในรูปแบบแข็ง และแข็ง คล้ายกับฟิล์มพลาสติก ทำให้ผลออกมาคือ รูปร่างจะมีลักษณะบาง แต่ยังคงมีความสามารถในการคงอายุการใช้งานได้ดี นอกจากนี้แบตเตอรี่ชนิดนี้ยังมีความเบา และถูกปรับปรุงให้มีความปลอดภัยสูงยิ่งขึ้น แต่ก็มีข้อเสียคือ แบตเตอรี่ประเภทนี้มีราคาสูงกว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน และมีความหนาแน่นของแบตเตอรี่น้อยกว่า ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ส่วนประกอบภายในแบตเตอรี่ลิเทียมโพลีเมอร์

2.7.1 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ลิเทียมโพลีเมอร์

1. เก็บประจุไฟฟ้านาน 1 ปี โดยไม่คลายประจุ
2. ของเหลวด้านในไม่ติดไฟ ปลอดภัย ลดความเสี่ยงเรื่องระเบิด
3. พร้อมใช้งาน แกะออกจากกล่องแล้วใช้งานได้ทันที
4. น้ำหนักเบา พกพาสะดวก

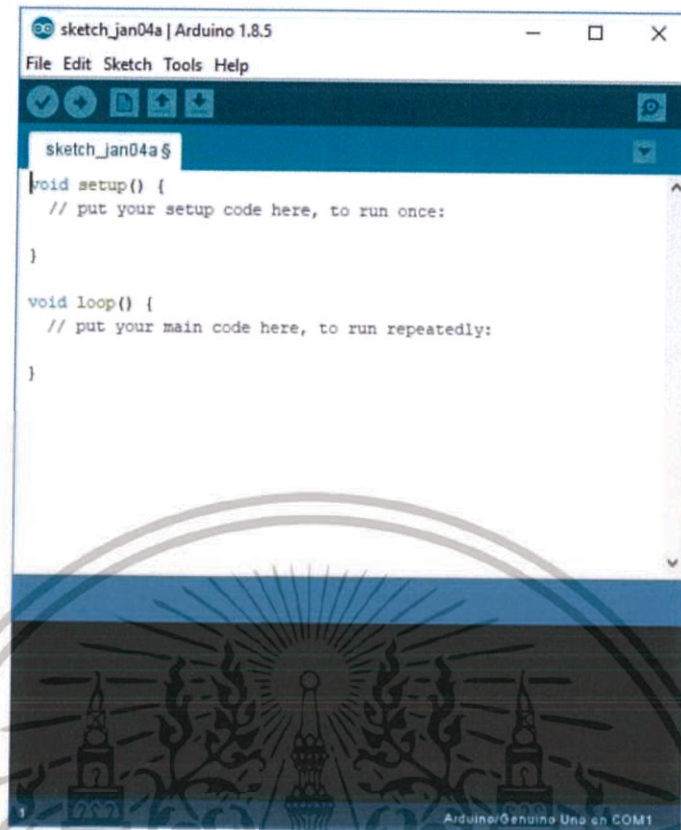
2.8 โปรแกรม Arduino IDE

Arduino IDE หรือ Arduino Integrated Development Environment คือ เครื่องมือที่ใช้สำหรับเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของ Arduino โดยสามารถใช้งานได้กับ Arduino ทุกรุ่น โปรแกรม Arduino IDE เป็นโปรแกรม Open-Source สามารถโหลดไปใช้งานได้ฟรี และยังมีโค้ดตัวอย่างให้ทดสอบอุปกรณ์ต่างๆ เช่น โปรแกรมไฟกระพริบ โปรแกรมทดสอบมอเตอร์ เป็นต้น ดังรูปที่ 2.17

2.8.1 ขั้นตอนการใช้งาน Arduino IDE

1. ตั้งค่าบอร์ดให้ตรงกับบอร์ดที่ใช้งาน
2. ตั้งค่าพอร์ตเชื่อมต่อกับบอร์ด (กรณีต่อบอร์ดจริง)
3. ตั้งค่าชนิดการเขียนโปรแกรม (กรณีต่อบอร์ดจริง)
4. เขียนโปรแกรม
5. กดปุ่ม Compile เพื่อแปลงไฟล์เป็นภาษาเครื่อง
6. กดปุ่มเบิร์นไฟล์ลงบอร์ด (กรณีต่อบอร์ดจริง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```
sketch_jan04a$  
void setup() {  
  // put your setup code here, to run once:  
}  
  
void loop() {  
  // put your main code here, to run repeatedly:  
}
```

Arduino/Genuino Uno en COM1

รูปที่ 2.17 ตัวอย่างหน้าต่างโปรแกรม Arduino IDE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์

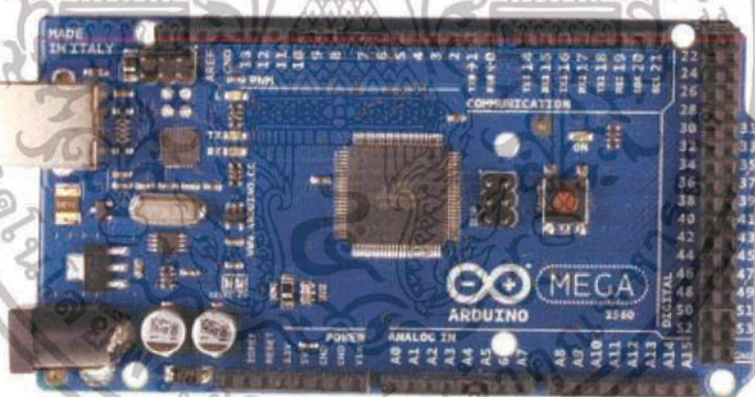
ในบทนี้จะกล่าวถึงการเลือกใช้อุปกรณ์ที่ส่งผลต่อการทำงานของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์ และการพัฒนาระบบควบคุม เพื่อให้หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.1 อุปกรณ์สำหรับการทำงานของหุ่นยนต์ทำความสะอาดโซลาร์เซลล์

ทำการออกแบบระบบขับเคลื่อนและควบคุมโดยจะมีส่วนต่างๆ ประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ มอเตอร์กระแสตรง เซนเซอร์ตรวจจับระยะ แหล่งจ่ายไฟฟ้า บอร์ดขับมอเตอร์กระแสตรง แปรงทำความสะอาด รีโมทบังคับระยะไกล

3.1.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

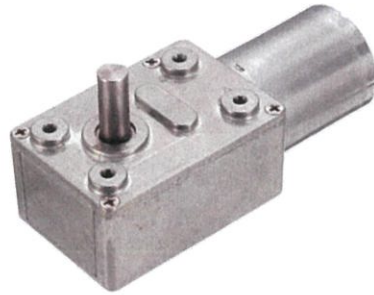
เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น Arduino Mega 2560 เนื่องจากบอร์ดรุ่นนี้มีความเหมาะสมกับอุปกรณ์ เพราะจำนวนขาสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมมีจำนวนมาก เพียงพอต่อการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 Arduino Mega 2560

3.1.2 มอเตอร์กระแสตรง

เลือกใช้มอเตอร์เกียร์มอเตอร์ 12 V 30 rpm รุ่น ZWL-FP401I เป็นตัวขับเคลื่อนหุ่นยนต์ไปทางด้านหน้าและด้านหลัง เนื่องจากเป็นมอเตอร์ที่ให้กำลังสูง และเป็นมอเตอร์เกียร์ ทำให้เมื่อไม่มีกระแสในมอเตอร์ หุ่นยนต์จะไม่เคลื่อนที่ตกลงจากพื้นเอียง ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 มอเตอร์กระแสตรง 12 V 30 rpm รุ่น ZGA60FM334I

เลือกใช้มอเตอร์กระแสตรง 12 V 50 rpm รุ่น ZGA37RG95I เป็นตัวขับเคลื่อนหุ่นยนต์ไปทางด้านข้าง ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 มอเตอร์กระแสตรง 12 V 50 rpm รุ่น ZGA37RG95I

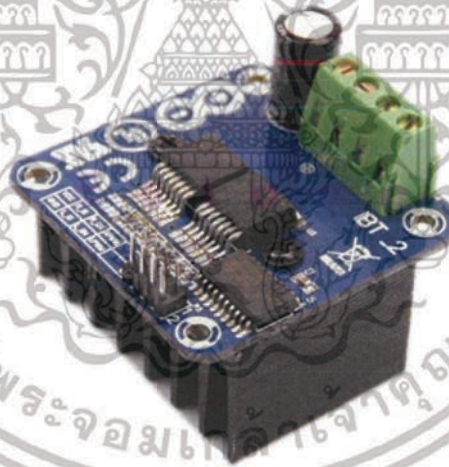
และเลือกใช้มอเตอร์กระแสตรง 12 V 400 rpm รุ่น ZGA32RI เป็นตัวขับเคลื่อนทำความสะอาด เนื่องจากสามารถปรับรอบในการทำงานได้ถึง 400 rpm เหมาะแก่การทำความสะอาด เมื่อความหนาของฝุ่นมีการเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 มอเตอร์กระแสตรง 12 V 400 rpm รุ่น ZGA32RI

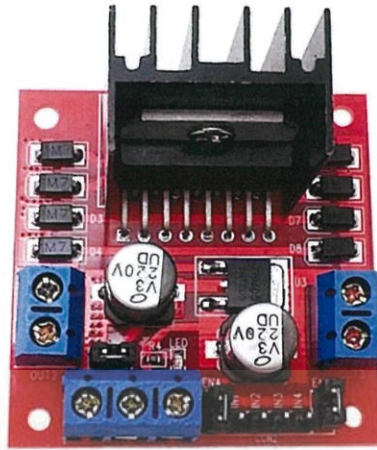
3.1.3 บอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง

ในส่วนขับเคลื่อนหุ่นยนต์ เลือกใช้บอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง รุ่น Motor Drive Module (BTS790) 43A with H-Bridge เนื่องจากสามารถขับมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้สัญญาณ Pulse Width Modulation (PWM) และสามารถขับกระแสได้มากที่สุด 43 A มีระบบป้องกันต่างๆ ได้แก่ Over-Voltage, Under-Voltage, Over-Temperature ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 BTS7960 H-Bridge DC Motor Drive Module

ในส่วนขับเคลื่อนแปร่งทำความสะอาด เลือกใช้บอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง รุ่น Motor Drive Module L298N ซึ่งหลักการทำงานจะเหมือน BTS790 แต่สามารถขับกระแสได้น้อยกว่ามอเตอร์ที่ใช้ขับแปร่งทำความสะอาดไม่จำเป็นต้องมีกำลังเยอะมาก ดังนั้นกระแสที่ใช้ขับจึงเพียงพอดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 Motor Drive Module L298N

3.1.4 แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า

แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าของหุ่นยนต์ เลือกใช้แบตเตอรี่ประเภท Lithium Polymer (LiPo) เพราะจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงกว่าแบตเตอรี่ปกติทั่วไป โดยใช้แบตเตอรี่ 11.1 V (3 Cell) ความจุ 3700 mA จ่ายกระแส 30c ทำให้เพียงพอต่อการทำงานภายใน 30 นาที ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แบตเตอรี่ Lithium Polymer (LiPo) MEGA Power + 3700 mA/30 C/11.1 V

3.1.5 เซนเซอร์วัดระยะ

เลือกใช้โฟโตอิล็คทริกเซนเซอร์ชนิดอินฟราเรด รุ่น E3F-DS10B2 เพราะสามารถตรวจจับระยะได้ตั้งแต่ 1-10 เซนติเมตร และสามารถตอบสนองได้รวดเร็วถึง 1 ms ดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 เซนเซอร์วัดระยะ Sharp GP2Y0D805Z0F

3.1.6 แปรงทำความสะอาด

เลือกใช้แปรงทำความสะอาดแบบพู่ ขนแปรงทำจากไนลอนชนิดพิเศษ ซึ่งมีความอ่อนนุ่ม ทำให้สามารถทำความสะอาดได้ดี และไม่ส่งผลเสียต่อแผงโซลาร์เซลล์ อันเนื่องมาจากรอยขีดข่วนบนพื้นผิวรับแสงของแผงโซลาร์เซลล์ สามารถดูแลทำความสะอาดได้ง่าย ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แปรงทำความสะอาดแบบพู่

3.1.7 โครงสร้าง

เลือกใช้อลูมิเนียมโปรไฟล์ขนาด 20x20 มิลลิเมตร มาทำโครง และใช้แผ่นอะคริลิคสำหรับทำเป็นฐานวางอุปกรณ์ต่างๆ ดังรูปที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 อลูมิเนียมโปรไฟล์ เหล็กฉาก และน็อตต่างๆ

3.1.8 ล้อ

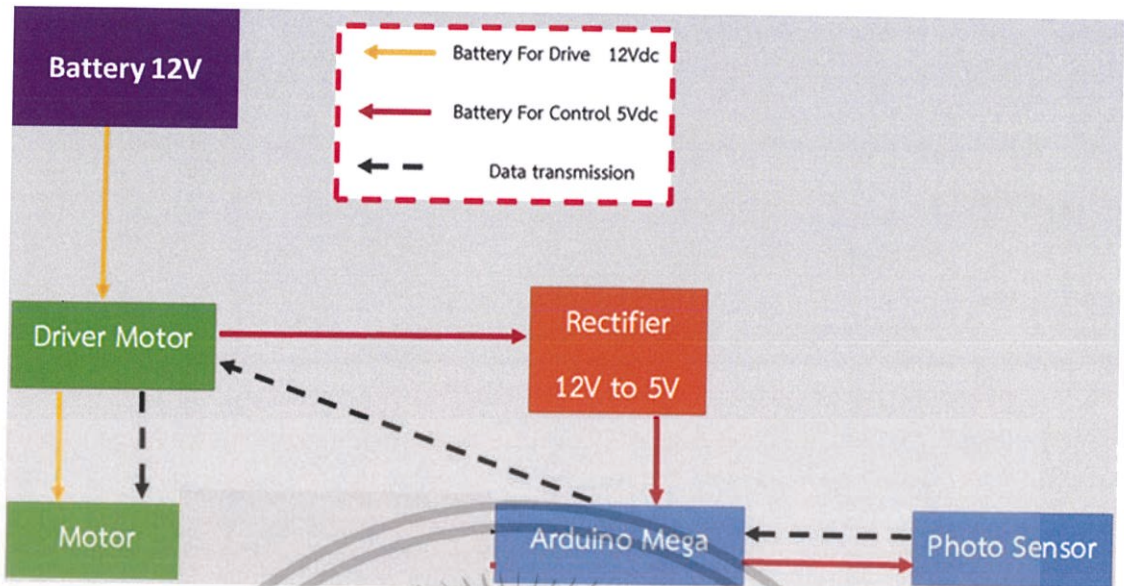
เลือกใช้ล้อเป็นล้อ Omni Wheel ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ทุกทิศทาง ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ล้อ Omni Wheel

3.2 การออกแบบวงจรการทำงานของระบบ

การทำงานของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์ มีการทำงานโดยควบคุมการเคลื่อนที่ด้วย DC Motor และจะถูกควบคุมการทำงานผ่านรีโมทคอนโทรลระยะไกลจากโปรแกรมที่ออกแบบมา ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 โครงสร้างการทำงานของระบบ

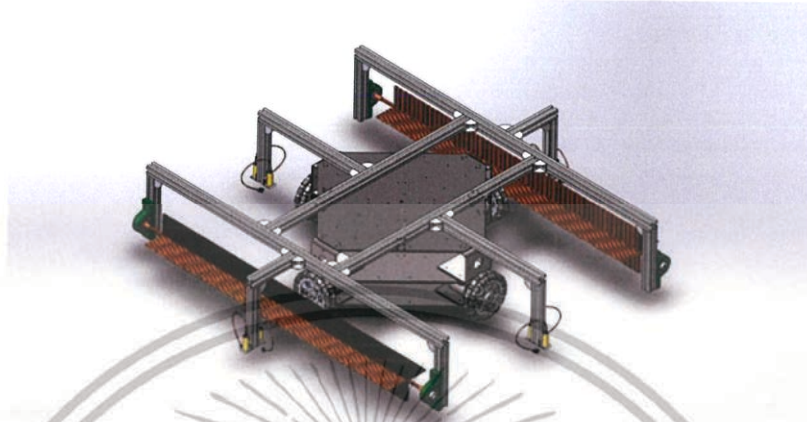
3.2.1 อธิบายรายละเอียดการทำงานของระบบ

จากรูปที่ 3.12 คือ โครงสร้างการทำงานของระบบทั้งหมด โดยที่จะแบ่งออกเป็น 7 ส่วนด้วยกัน คือ

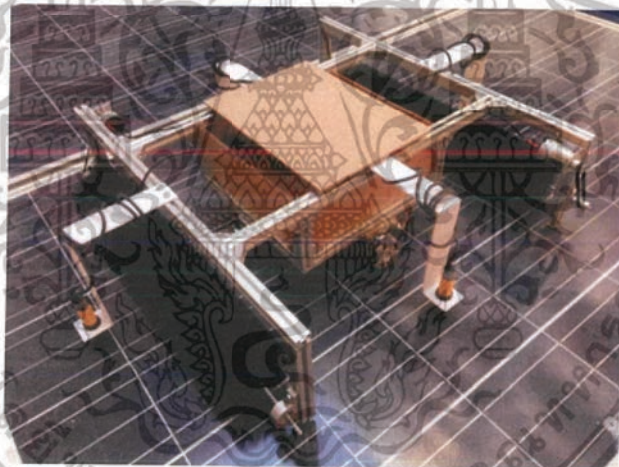
1. เป็นการเชื่อมต่อระหว่างบอร์ด Arduino กับ Photo Sensor ใช้ในการตรวจจับสิ่งกีดขวาง ซึ่ง Photo Sensor จะทำการส่งข้อมูลทั้งหมดไปให้กับบอร์ดโดยการส่ง Output ออกเป็นแบบดิจิทัล
2. เป็นการเชื่อมต่อระหว่างบอร์ด Arduino กับ Motor Drive Module BTS7690 ซึ่งเป็นตัวขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งสามารถควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์, การเปิดปิด และความเร็วของมอเตอร์ด้วยการส่งสัญญาณการควบคุมแบบ PWM ได้ โดยสามารถควบคุมการขับมอเตอร์กระแสตรงได้ 1 ตัว ในส่วนนี้จะทำหน้าที่เป็นส่วนใช้ในการขับมอเตอร์ของล้อของหุ่นยนต์
3. การเชื่อมต่อระหว่าง Motor Drive Module BTS7690 กับ Motor DC 12 V 30 rpm, 50 rpm ที่ใช้ในการขับเคลื่อนล้อของหุ่นยนต์ ซึ่งการเชื่อมต่อนี้จะมีอยู่ 4 ชุดด้วยกัน เพราะเนื่องจากต้องมีมอเตอร์ซ้าย, ขวา, ด้านหน้า และด้านหลัง
4. เป็นการเชื่อมต่อระหว่างบอร์ด Arduino กับ Motor Drive Module L298N ซึ่งเป็นตัวขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งสามารถควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์, การเปิดปิด และความเร็วของมอเตอร์ด้วยการส่งสัญญาณการควบคุมแบบ PWM ได้ โดยสามารถควบคุมการขับมอเตอร์กระแสตรงได้ 1 ตัว ในส่วนนี้จะทำหน้าที่เป็นส่วนใช้ในการขับมอเตอร์ของแปรงทำความสะอาด
5. การเชื่อมต่อระหว่าง Motor Drive Module L298N กับ Motor DC 12 V 400 rpm ที่ใช้ในการหมุนแปรงทำความสะอาดของหุ่นยนต์ โดยบอร์ดจะเชื่อมต่อกับมอเตอร์ 1 ตัว

3.3 การออกแบบตัวหุ่นยนต์

ทำการออกแบบตัวหุ่นยนต์โดยใช้โปรแกรม SOLODWORKS ดังรูปที่ 3.13 และประกอบจริงจนเสร็จสมบูรณ์ ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.13 ภาพแบบหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์



รูปที่ 3.14 หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์ที่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลอง ที่ได้จากการทดลองเพื่อนำมาใช้พัฒนาและปรับปรุงหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การทดลองขับมอเตอร์กระแสตรง

ใช้บอร์ดขับมอเตอร์กระแสตรง BTS7960 ในการต่อเข้ากับมอเตอร์กระแสตรง และใช้แบตเตอรี่ลิเธียมโพลิเมอร์เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า โดยทดลองส่งค่า Analog 2 ค่า จากบอร์ด Arduino Mega 2560 เพื่อทดลองควบคุมความเร็วและทิศทางการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง ซึ่ง จะทำการใส่ค่า Analog ตั้ง 0-255 ได้การทดลองดังตารางที่ 4.1, ตารางที่ 4.2, ตารางที่ 4.3 และ ตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.1 การทดลองมอเตอร์ตัวที่ 1

Analog1(R_EN)	Analog2(L_EN)	ทิศทางการ หมุน	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	% ความคลาด เคลื่อนจากทฤษฎี
0	0	-	0	0.0%
0	64	CW	26	3.7%
0	127	CW	53	3.6%
0	191	CW	80	2.5%
0	255	CW	108	1.8%
64	0	CCW	26	3.7%
127	0	CCW	52	5.4%
191	0	CCW	78	4.8%
255	0	CCW	105	4.5%
255	255	-	0	0.0%

ตารางที่ 4.2 การทดลองมอเตอร์ตัวที่ 2

Analog1(R_EN)	Analog2(L_EN)	ทิศทางการหมุน	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	% ความคลาดเคลื่อนจากทฤษฎี
0	0	-	0	0.0%
0	64	CW	27	0.0%
0	127	CW	54	1.8%
0	191	CW	81	1.2%
0	255	CW	108	1.8%
64	0	CCW	26	3.7%
127	0	CCW	54	1.8%
191	0	CCW	80	2.4%
255	0	CCW	109	0.9%
255	0	-	0	0%

ตารางที่ 4.3 การทดลองมอเตอร์ตัวที่ 3

Analog1(R_EN)	Analog2(L_EN)	ทิศทางการหมุน	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	% ความคลาดเคลื่อนจากทฤษฎี
0	0	-	0	0.0%
0	64	CW	26	3.7%
0	127	CW	54	1.8%
0	191	CW	80	2.5%
0	255	CW	108	1.8%
64	0	CCW	26	3.7%
127	0	CCW	54	1.8%
191	0	CCW	78	4.8%
255	0	CCW	109	0.9%
255	255	-	0	0.0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 การทดลองมอเตอร์ตัวที่ 4

Analog1(R_EN)	Analog2(L_EN)	ทิศทางการหมุน	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	% ความคลาดเคลื่อนจากทฤษฎี
0	0	-	0	0.0%
0	64	CW	27	0.0%
0	127	CW	53	3.6%
0	191	CW	81	1.2%
0	255	CW	108	1.8%
64	0	CCW	26	3.7%
127	0	CCW	52	5.4%
191	0	CCW	78	4.8%
255	0	CCW	105	4.5%
255	255	-	0	0.0%

4.2 การทดลองเซนเซอร์ตรวจจับระยะ

การทดลองเซนเซอร์ตรวจจับระยะ โดยทำการใช้เซนเซอร์อินฟราเรด Sharp GP2Y0D805Z0F ในการวัดระยะ ซึ่งพิกัดการวัดระยะอยู่ที่ 1-10 เซนติเมตร เซนเซอร์จะทำการส่งค่า Output แบบดิจิตอลให้กับ Arduino Mega 2560 เพื่อแสดงค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ ได้การทดลองดังตารางที่ 4.5, ตารางที่ 4.6, ตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.5 การทดลองเซนเซอร์อินฟราเรดตัวที่ 1

ระยะทางจริง (cm)	ค่าที่ได้จากทฤษฎี	ค่าเซนเซอร์ ครั้งที่ 1	ค่าเซนเซอร์ ครั้งที่ 2	ค่าเซนเซอร์ ครั้งที่ 3
0.0	0	0	0	0
1.0	1	0	1	1
2.0	1	1	1	1
3.0	1	1	1	1
4.0	1	1	1	1
5.0	1	1	1	1
6.0	1	1	1	1
7.0	1	1	1	1
8.0	1	1	1	1
9.0	1	1	1	1
10.0	1	1	1	1
11.0	0	0	0	0
12.0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 การทดลองเซนเซอร์อินฟราเรดตัวที่ 2

ระยะทางจริง (cm)	ค่าที่ได้จาก ทฤษฎี	ค่าเซนเซอร์ ครั้งที่ 1	ค่าเซนเซอร์ ครั้งที่ 2	ค่าเซนเซอร์ ครั้งที่ 3
0.0	0	0	0	0
1.0	1	0	1	1
2.0	1	1	1	1
3.0	1	1	1	1
4.0	1	1	1	1
5.0	1	1	1	1
6.0	1	1	1	1
7.0	1	1	1	1
8.0	1	1	1	1
9.0	1	1	1	1
10.0	1	1	1	1
11.0	0	0	0	0
12.0	0	0	0	0

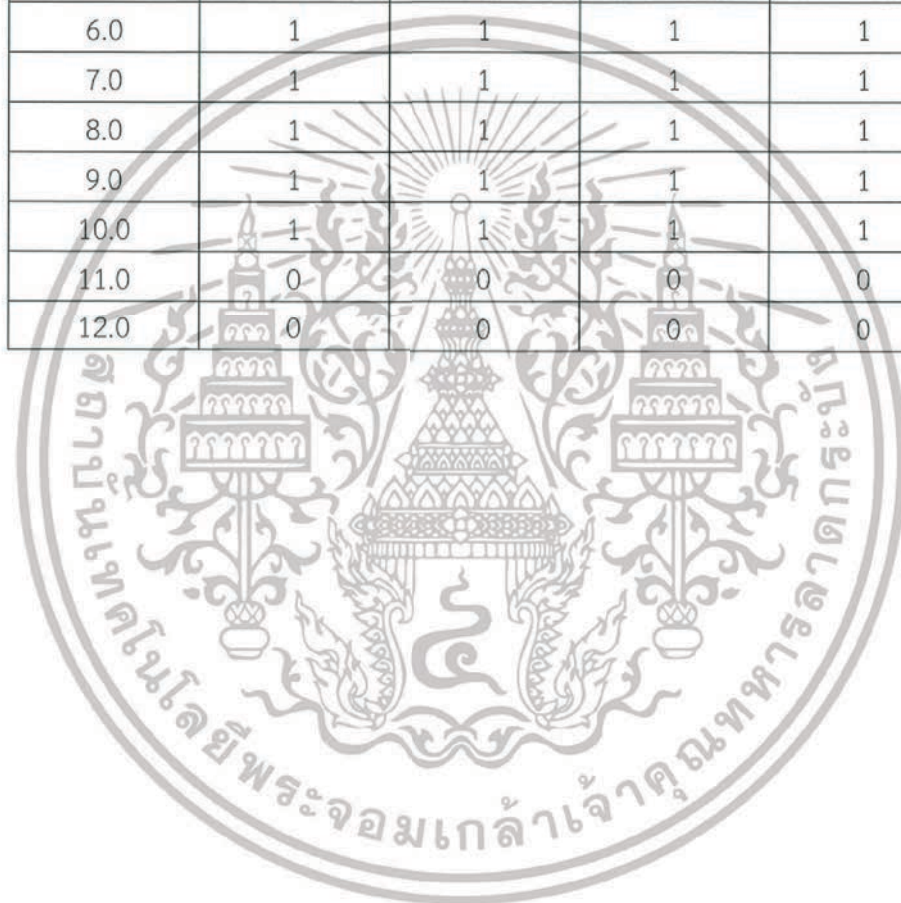
ตารางที่ 4.7 การทดลองเซนเซอร์อินฟราเรดตัวที่ 3

ระยะทางจริง (cm)	ค่าที่ได้จาก ทฤษฎี	ค่าเซนเซอร์ ครั้งที่ 1	ค่าเซนเซอร์ ครั้งที่ 2	ค่าเซนเซอร์ ครั้งที่ 3
0.0	0	0	0	0
1.0	1	0	1	1
2.0	1	1	1	1
3.0	1	1	1	1
4.0	1	1	1	1
5.0	1	1	1	1
6.0	1	1	1	1
7.0	1	1	1	1
8.0	1	1	1	1
9.0	1	1	1	1
10.0	1	1	1	1
11.0	0	0	0	0
12.0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 การทดลองเซนเซอร์อินฟราเรดตัวที่ 4

ระยะทางจริง (cm)	ค่าที่ได้จาก ทฤษฎี	ค่าเซนเซอร์ ครั้งที่ 1	ค่าเซนเซอร์ ครั้งที่ 2	ค่าเซนเซอร์ ครั้งที่ 3
0.0	0	0	0	0
1.0	1	0	1	1
2.0	1	1	1	1
3.0	1	1	1	1
4.0	1	1	1	1
5.0	1	1	1	1
6.0	1	1	1	1
7.0	1	1	1	1
8.0	1	1	1	1
9.0	1	1	1	1
10.0	1	1	1	1
11.0	0	0	0	0
12.0	0	0	0	0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

จากการทำโครงการนี้ทำให้ต้องคำนึงถึงขนาดของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์ต่อขนาดแผงโซลาร์เซลล์ การทำงานของมอเตอร์กระแสตรงที่ใช้ขับเคลื่อนหุ่นยนต์ การทดลองค่าที่ได้จากเซนเซอร์และการปรับตำแหน่งของเซนเซอร์เพื่อให้ความเสถียร สามารถสรุปผลการดำเนินงานได้ดังนี้

5.1 การดำเนินงานจัดทำปฏิญานิพนธ์

โครงการนี้เป็นโครงการที่ทำการออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งการควบคุมหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์นั้น ทำได้ด้วยการควบคุมผ่านระบบอัตโนมัติ ในการทำงานนั้นได้ร่วมมือกันทำงาน และศึกษาข้อมูลจากแหล่งต่างๆ เพื่อให้หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์ทำงานได้มีประสิทธิภาพ ทำงานได้รวดเร็ว มีความสะอาด ลดระยะเวลา และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน รวมถึงความปลอดภัยในการทำงานจากที่สูง หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์ทำให้สามารถทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์ได้เป็นประจำ ส่งผลให้แผงโซลาร์เซลล์สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เต็มประสิทธิภาพ ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งอื่นส่งผลต่อการประหยัดทรัพยากรธรรมชาติ

การสร้างหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์จำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจหลากหลายด้าน อาทิเช่น ด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้านระบบควบคุม ด้านแมคคานิกส์ ฯลฯ ซึ่งต้องศึกษาอย่างเจาะลึกในด้านนั้นๆ ให้เข้าใจอย่างลึกซึ้งเพื่อให้สามารถทำงานได้ โดยมีข้อสงสัยน้อยที่สุด ความรู้ที่กล่าวมาข้างต้นนั้นในท้ายที่สุดจะนำมาประกอบกันให้เกิดการทำงานที่มีผลต่อกันเป็นระบบ เมื่อทำแล้วเจอปัญหาจึงมาช่วยกันแก้ให้การทำงานหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์นั้นมีประสิทธิภาพสูงสุด

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข

1. ปัญหาเนื่องจากขาดอุปกรณ์ในการทำงาน เพราะชิ้นงานจำเป็นต้องอุปกรณ์เฉพาะเพื่อให้ได้คุณภาพชิ้นงานที่ออกมาดี ทำให้งานบางอย่างจำเป็นต้องทำหาวิธีทำชิ้นงานจากแหล่งอื่นๆ
2. ปัญหาเนื่องจากงานชิ้นงานจำเป็นต้องใช้ทักษะที่มีความชำนาญในการทำงาน ทำให้ต้องใช้เวลานานในการสร้างชิ้นงาน
3. ปัญหาเนื่องจากชิ้นงานมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง เพราะชิ้นงานต้องมีทักษะความชำนาญ ทำให้จำเป็นต้องปรับแก้หลายครั้ง เกิดความล่าช้า
4. ปัญหาเนื่องจากอุปกรณ์บางส่วนจำเป็นต้องสั่งซื้อ สั่งทำเป็นพิเศษ และส่วนประกอบของหุ่นยนต์บางชิ้นนั้นเป็นส่วนเฉพาะที่ต้องใช้เวลาในการหา หรือสร้างขึ้นมา ทำให้ต้องใช้เวลามากในการศึกษาและหาแหล่งขายอุปกรณ์ชนิดนั้น
5. ปัญหาเนื่องจากความปลอดภัยจากทำงาน เพราะชิ้นงานที่สร้างนั้น มีขั้นตอนในการสร้างที่มีความอันตรายต่อร่างกาย อาทิเช่น การเจาะชิ้นงาน การตัดชิ้นงาน การกรึงชิ้นงาน เป็นต้น ทำให้

จำเป็นต้องเรียนรู้การใช้งานอุปกรณ์ที่ปลอดภัย และต้องหาอุปกรณ์มาป้องกันการเกิดอันตรายจากทำงาน

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อ

1. การพัฒนาให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้นานขึ้นจากเดิม เพื่อการทำงานที่ต่อเนื่อง
2. การพัฒนาระบบฉีดน้ำควบคู่ไปกับการทำความสะอาด เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการทำ ความสะอาดที่สูงขึ้น
3. การพัฒนาระบบนำทาง
4. การทำงานมีความเสี่ยงในด้านความปลอดภัย ต้องมีความระมัดระวังในการทำงาน และควรจัดหาอุปกรณ์ป้องกันที่มีมาตรฐานเพื่อหลีกเลี่ยงอันตรายจากทำงาน
5. ในการดำเนินงานต่างๆ อาจเกิดอุปสรรคและปัญหา เมื่อเกิดปัญหาขึ้นจำเป็นต้อง วิเคราะห์ แยกแยะ และแสวงหาแนวทางการแก้ปัญหาเพื่อให้การดำเนินงานสำเร็จลุล่วง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Dr.Rainer Hessmer. 2014 . IBT – 2 H-Bridge with Arduino.

Available : <http://www.hessmer.org/blog/2013/12/28/ibt-2-h-bridge-with-arduino/>

- [2] John. 2018 . Arduino Mega Tutorial – Pinout & Schematics.

Available : <http://www.circuitstoday.com/arduino-mega-pinout-schematics>

- [3] 2018. Infrared Sensor Switch.

Available : [https://www.drobot.com/wiki/index.php/Adjustable_Infrared_Sensor_Switch_\(SKU:SEN0019\)](https://www.drobot.com/wiki/index.php/Adjustable_Infrared_Sensor_Switch_(SKU:SEN0019))



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

Arduino Mega 2560

Overveiw :

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 (datasheet). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

Summary:

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MH

Power:

The Arduino Mega can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 V. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may

be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 V.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

The power pins are as follows:

VIN. The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 V from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.

5V. The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.

3V3. A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.

GND. Ground pins.

Memory:

The ATmega2560 has 256 KB of flash memory for storing code (of which 8 KB is used for the bootloader), 8 KB of SRAM and 4 KB of EEPROM (which can be read and written with the EEPROM library).

Input and Output:

Each of the 54 digital pins on the Mega can be used as an input or output, using `pinMode()`, `digitalWrite()`, and `digitalRead()` functions. They operate at 5 V. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

Serial: 0 (RX) and 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX). Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. Pins 0 and 1 are also connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.

External Interrupts: 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), and 21 (interrupt 2). These pins can be configured to trigger an interrupt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the `attachInterrupt()` function for details.

PWM: 0 to 13. Provide 8-bit PWM output with the `analogWrite()` function.

SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). These pins support SPI communication using the SPI library. The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Uno, Duemilanove and Diecimila.

LED: 13. There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

I²C: 20 (SDA) and 21 (SCL). Support I²C (TWI) communication using the Wire library (documentation on the Wiring website). Note that these pins are not in the same location as the I²C pins on the Duemilanove or Diecimila.

The Mega2560 has 16 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 V, though is it possible to change the upper end of their range using the AREF pin and `analogReference()` function.

There are a couple of other pins on the board:

AREF. Reference voltage for the analog inputs. Used with `analogReference()`.

Reset. Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

Communication:

The Arduino Mega2560 has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega2560 provides four hardware UARTs for TTL (5V) serial communication. An ATmega8U2 on the board channels one of these over USB and provides a virtual com port to software on the computer (Windows machines will need a .inf file, but OSX and Linux machines will recognize the board as a COM port automatically). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the ATmega8U2 chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A SoftwareSerial library allows for serial communication on any of the Mega2560's digital pins.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The ATmega2560 also supports I²C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I²C bus; see the documentation on the Wiring website for details. For SPI communication, use the SPI library.

Programming:

The Arduino Mega can be programmed with the Arduino software (download). For details, see the reference and tutorials.

The ATmega2560 on the Arduino Mega comes preburned with a bootloader that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol (reference, C header files).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see these instructions for details.

The ATmega8U2 firmware source code is available in the Arduino repository. The ATmega8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2. You can then use Atmel's FLIP software (Windows) or the DFU programmer (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader). See this user-contributed tutorial for more information.

Automatic (Software) Reset:

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Mega2560 is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega2560 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Mega2560 is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Mega2560. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Mega2560 contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see this forum thread for details.

USB Overcurrent Protection:

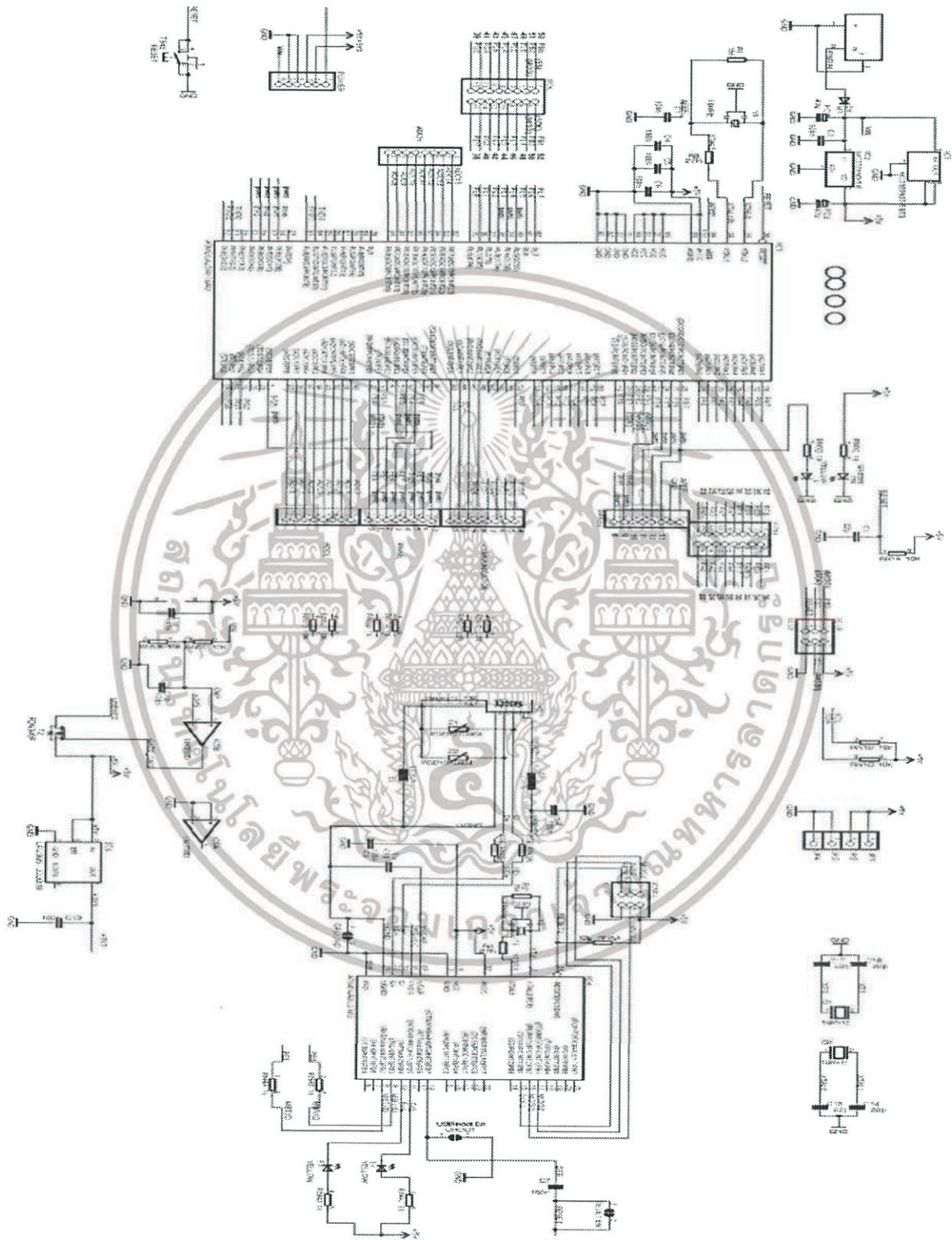
The Arduino Mega2560 has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics and Shield Compatibility:

The maximum length and width of the Mega2560 PCB are 4 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

The Mega2560 is designed to be compatible with most shields designed for the Uno, Diecimila or Duemilanove. Digital pins 0 to 13 (and the adjacent AREF and GND pins), analog inputs 0 to 5, the power header, and ICSP header are all in equivalent locations. Further the main UART (serial port) is located on the same pins (0 and 1), as are external interrupts 0 and 1 (pins 2 and 3 respectively). SPI is available through the ICSP header on both the Mega2560 and Duemilanove / Diecimila. Please note that I2C is not located on the same pins on the Mega (20 and 21) as the Duemilanove / Diecimila (analog inputs 4 and 5).

Schematic:



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

Motor Driver 43A BTS7960

The Motor Driver 43A BTS7960 uses an H-bridge driver module that composed by Infineon power drive chip, with overheating and overcurrent protection. Double BTS7960 H-bridge driver circuit, with strong drive and braking effect, uses 74HC244 chip to effectively isolate the microcontroller and the motor driver. It can operate at high current up to 43A.

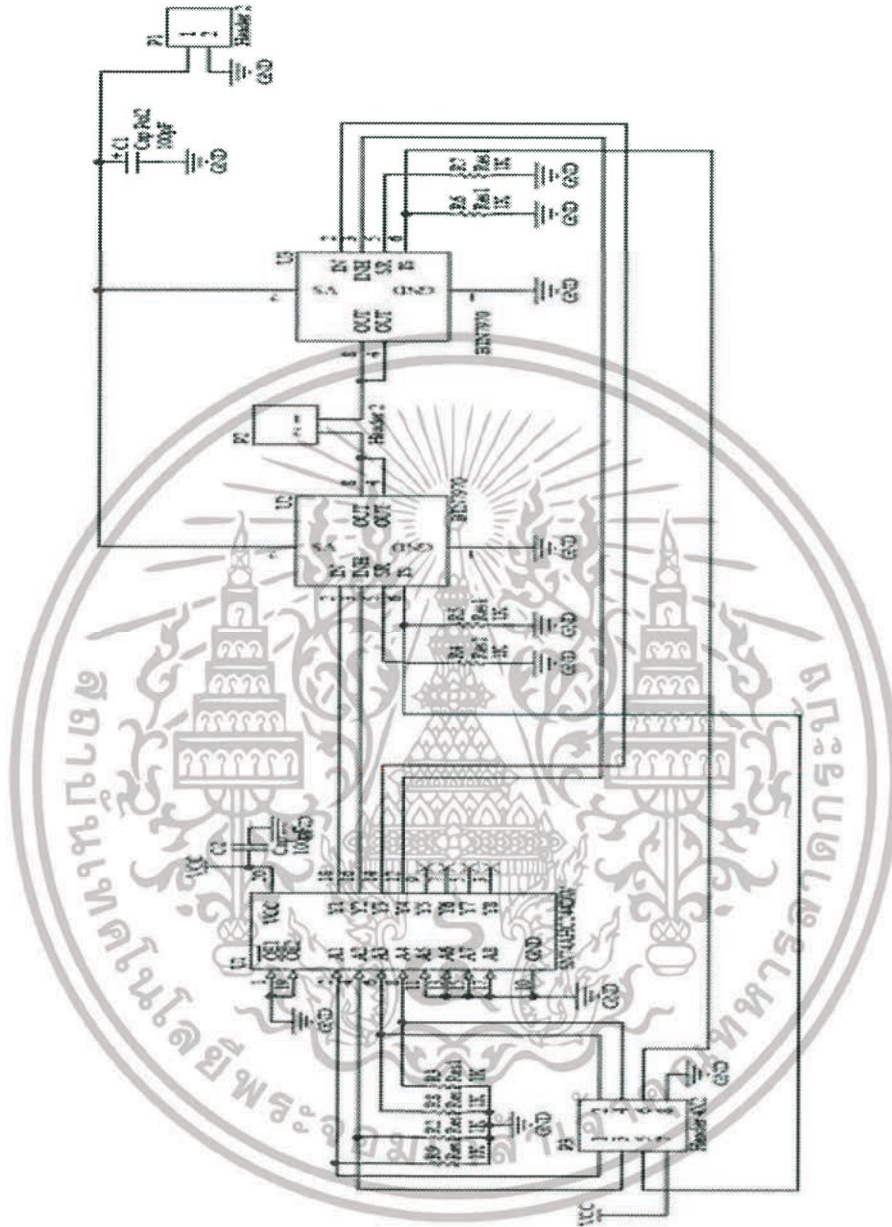
Applications:

- Current diagnostic
- Slope adjustment
- Dead Time generation
- Overtemperature, overvoltage, undervoltage, overcurrent protection
- Short circuit protection

Specifications:

- Input voltage: 6V-27V
- Model: IBT-2
- Maximum current: 43A
- Input level: 3.3-5V
- Control mode: PWM or level
- Duty cycle: 0-100%

Schematic:



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

Photoelectric Sensor (E3F-DS10B2)

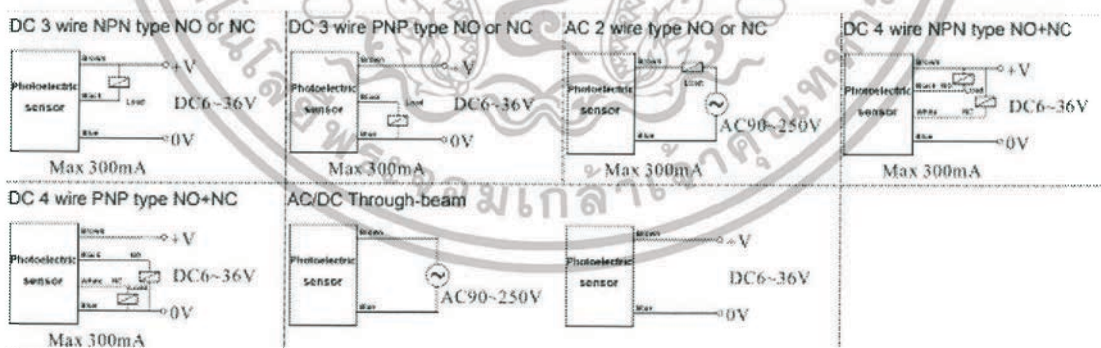
Description:

E3F-DS10B2 is a Photoelectric Sensor, Inductive type: diffuse reflection; Induction distance: 10cm Working voltage: 6-36V both can The positive, blue, black, black, black. Working environment: temperature -40 to +70 degrees celsius; Protection level: IP61-IP67; Corresponding time: the function reset time is below 2.5MS; Object: transparent, opaque body; Differential distance: the detection distance is below 20%; Insulation resistance: greater than or equal to 20M ohm

Features:

1. Inductive type : diffuse reflection
2. Induction distance : 1-10cm
3. Output Form : 3 Wires
4. Voltage : DC 6-36V
5. Output State : NPN/NC
6. Output Current : 300mA

Wiring diagram:



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dimensions (mm):

	a	b	c	d	e	f
E3F	M12×1	64±0.5	42±0.5	7.5	16	(18)
	M18×1	70±0.5	56±0.5	8.5	21.5	(23.5)
	M30×1.5	102±0.5	64±0.5	10	35	(40)
E3FJ	M18×1	72±0.5	47±0.5	4	24	(30)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

Arduino Code Programming

แผ่นเดี่ยว

```
int motorNE_R = 8;
int motorNE_L = 9;
int motorNW_R = 10;
int motorNW_L = 11;
```

```
int motorSE_R = 2;
int motorSE_L = 3;
int motorSW_R = 4;
int motorSW_L = 5;
```

```
int brush_NR = 6;
int brush_NL = 7;
int brush_SR = 44;
int brush_SL = 45;
```

```
int sensor_N = 30;
int sensor_S = 35;
int sensor_W = 32;
int sensor_E = 37;
int N_value = 0;
int S_value = 0;
int W_value = 0;
int E_value = 0;
```

```
boolean run = true;
```

```
void setup()
{
  pinMode(motorNE_R,OUTPUT);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

pinMode(motorNE_L,OUTPUT);
pinMode(motorNW_R,OUTPUT);
pinMode(motorNW_L,OUTPUT);

pinMode(motorSE_R,OUTPUT);
pinMode(motorSE_L,OUTPUT);
pinMode(motorSW_R,OUTPUT);
pinMode(motorSW_L,OUTPUT);

pinMode(brush_NR,OUTPUT);
pinMode(brush_NL,OUTPUT);
pinMode(brush_SR,OUTPUT);
pinMode(brush_SL,OUTPUT);

pinMode(sensor_N,INPUT);
pinMode(sensor_S,INPUT);
pinMode(sensor_W,INPUT);
pinMode(sensor_E,INPUT);
Serial.begin(9600);
}

void loop()
// วิ่งบน solar cell แผ่นเดียว (วิ่งเป็นสี่เหลี่ยม) ลองที่ 0 องศา
{
  READ();
  if((N_value == HIGH) && (S_value == LOW) && (W_value == LOW))
  {
    Move_Forward();
  }
  else if((N_value == LOW) && (W_value == LOW) && (E_value == HIGH))
  {
    Move_Right();
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else if((N_value == LOW) && (S_value == HIGH) && (E_value == LOW))
{
    Move_Backward();
}
else if((N_value == HIGH) && (S_value == LOW) && (W_value == HIGH))
{
    Move_Left();
}
else if((N_value == HIGH) && (S_value == HIGH))
{
    READ();
    if((W_value == LOW))
        Forward();
    else if((E_value == LOW))
        Backward();
}
}

void READ()
{
    N_value = digitalRead(sensor_N);
    S_value = digitalRead(sensor_S);
    W_value = digitalRead(sensor_W);
    E_value = digitalRead(sensor_E);
}

////Forward////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

void Move_Forward()
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Stop();
delay(500);
Smooth_Forward();
while(N_value == HIGH)
{
  Forward();
  READ();
  if(N_value == LOW)
  {
    Brush_ON();
    Check_Forward();
    READ();
  }
}
}

void Smooth_Forward()
{
  for(int i=0;i<=150;i=i+30)
  {
    analogWrite(motorNE_R,0 );
    analogWrite(motorNE_L,i );
    analogWrite(motorNW_R,i );
    analogWrite(motorNW_L,0);
    analogWrite(motorSE_R,0 );
    analogWrite(motorSE_L,i );
    analogWrite(motorSW_R,i );
    analogWrite(motorSW_L,0 );
    delay(600);
  }
}

void Forward()

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
  analogWrite(motorNE_R,0 );
  analogWrite(motorNE_L,150);
  analogWrite(motorNW_R,150);
  analogWrite(motorNW_L,0 );
  analogWrite(motorSE_R,0 );
  analogWrite(motorSE_L,150);
  analogWrite(motorSW_R,150);
  analogWrite(motorSW_L,0 );
}

```

```

void Check_Forward()

```

```

{
  for(int i=150;i>=0;i=i-30)
  {
    analogWrite(motorNE_R,0 );
    analogWrite(motorNE_L,i );
    analogWrite(motorNW_R,i );
    analogWrite(motorNW_L,0 );
    analogWrite(motorSE_R,0 );
    analogWrite(motorSE_L,i );
    analogWrite(motorSW_R,i );
    analogWrite(motorSW_L,0 );
    delay(400);
  }
}

```

```

/////Backward////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

```

```

void Move_Backward()

```

```

{
  Stop();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

delay(500);
Smooth_Backward();
while(S_value == HIGH)
{
  Brush_ON();
  Backward();
  READ();
  if(S_value == LOW)
  {
    Check_Backward();
    READ();
  }
}
}

void Smooth_Backward()
{
  for(int i=0;i<=150;i=i+30)
  {
    analogWrite(motorNE_R,i );
    analogWrite(motorNE_L,0 );
    analogWrite(motorNW_R,0 );
    analogWrite(motorNW_L,i );
    analogWrite(motorSE_R,i );
    analogWrite(motorSE_L,0 );
    analogWrite(motorSW_R,0 );
    analogWrite(motorSW_L,i );
    delay(600);
  }
}

void Backward()
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

analogWrite(motorNE_R,150);
analogWrite(motorNE_L,0 );
analogWrite(motorNW_R,0 );
analogWrite(motorNW_L,150);
analogWrite(motorSE_R,150);
analogWrite(motorSE_L,0 );
analogWrite(motorSW_R,0 );
analogWrite(motorSW_L,150);
}

```

```

void Check_Backward()
{
  for(int i=150;i>=0;i=i-30)
  {
    analogWrite(motorNE_R,i );
    analogWrite(motorNE_L,0 );
    analogWrite(motorNW_R,0 );
    analogWrite(motorNW_L,i );
    analogWrite(motorSE_R,i );
    analogWrite(motorSE_L,0 );
    analogWrite(motorSW_R,0 );
    analogWrite(motorSW_L,i );
    delay(400);
  }
}

```

```

////Slide_Right////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

```

```

void Move_Right()
{
  Stop();
  delay(500);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Smooth_Right();
while(E_value == HIGH)
{
    Right();
    READ();
    if(E_value == LOW)
    {
        Check_Right();
        READ();
    }
}
}

void Smooth_Right()
{
    for(int i=0;i<=150;i=i+30)
    {
        analogWrite(motorNE_R,i );
        analogWrite(motorNE_L,0 );
        analogWrite(motorNW_R,i );
        analogWrite(motorNW_L,0 );
        analogWrite(motorSE_R,0 );
        analogWrite(motorSE_L,i );
        analogWrite(motorSW_R,0 );
        analogWrite(motorSW_L,i );
        delay(300);
    }
}

void Right()
{
    analogWrite(motorNE_R,150);
    analogWrite(motorNE_L,0 );

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

analogWrite(motorNW_R,150);
analogWrite(motorNW_L,0 );
analogWrite(motorSE_R,0 );
analogWrite(motorSE_L,150);
analogWrite(motorSW_R,0 );
analogWrite(motorSW_L,150);
}
void Check_Right()
{
  for(int i=150;i>=0;i=i-30)
  {
    analogWrite(motorNE_R,i );
    analogWrite(motorNE_L,0 );
    analogWrite(motorNW_R,i );
    analogWrite(motorNW_L,0 );
    analogWrite(motorSE_R,0 );
    analogWrite(motorSE_L,i );
    analogWrite(motorSW_R,0 );
    analogWrite(motorSW_L,i );
    delay(200);
  }
}

////Slide_Left////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

void Move_Left()
{
  Stop();
  delay(500);
  Smooth_Left();
  while(W_value == HIGH)
  {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Left();
READ();
if(W_value == LOW)
{
    Check_Left();
    READ();
}
}
}

```

```

void Smooth_Left()
{
    for(int i=0;i<=150;i+=30)
    {
        analogWrite(motorNE_R,0 );
        analogWrite(motorNE_L,i );
        analogWrite(motorNW_R,0 );
        analogWrite(motorNW_L,i );
        analogWrite(motorSE_R,i );
        analogWrite(motorSE_L,0 );
        analogWrite(motorSW_R,i );
        analogWrite(motorSW_L,0 );
        delay(300);
    }
}

```

```

void Left()
{
    analogWrite(motorNE_R,0 );
    analogWrite(motorNE_L,150);
    analogWrite(motorNW_R,0 );
    analogWrite(motorNW_L,150);
    analogWrite(motorSE_R,150);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

analogWrite(motorSE_L,0 );
analogWrite(motorSW_R,150);
analogWrite(motorSW_L,0 );
}

```

```

void Check_Left()

```

```

{
  for(int i=150;i>=0;i=i-30)
  {
    analogWrite(motorNE_R,0 );
    analogWrite(motorNE_L,i );
    analogWrite(motorNW_R,0 );
    analogWrite(motorNW_L,i );
    analogWrite(motorSE_R,i );
    analogWrite(motorSE_L,0 );
    analogWrite(motorSW_R,i );
    analogWrite(motorSW_L,0 );
    delay(200);
  }
}

```

```

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

```

```

void Stop()

```

```

{
  analogWrite(motorNE_R,0 );
  analogWrite(motorNE_L,0 );
  analogWrite(motorNW_R,0 );
  analogWrite(motorNW_L,0 );
  analogWrite(motorSE_R,0 );
  analogWrite(motorSE_L,0 );
  analogWrite(motorSW_R,0 );
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    analogWrite(motorSW_L,0 );
}

```

```

void Brush_ON()
{
    analogWrite(brush_NR,0 );
    analogWrite(brush_NL,255);
    analogWrite(brush_SR,255);
    analogWrite(brush_SL,0 );
}

```

```

void Brush_OFF()
{
    analogWrite(brush_NR,0 );
    analogWrite(brush_NL,0 );
    analogWrite(brush_SR,0 );
    analogWrite(brush_SL,0 );
}

```

เติม Panel

```

int motorNE_R = 8;
int motorNE_L = 9;
int motorNW_R = 10;
int motorNW_L = 11;

```

```

int motorSE_R = 2;
int motorSE_L = 3;
int motorSW_R = 4;
int motorSW_L = 5;

```

```

int brush_NR = 6;
int brush_NL = 7;
int brush_SR = 44;
int brush_SL = 45;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

int sensor_N = 30;
int sensor_S = 35 ;
int sensor_W = 32 ;
int sensor_E = 37 ;
int N_value = 0;
int S_value = 0;
int W_value = 0;
int E_value = 0;

```

```

boolean run = true;

```

```

void setup()
{
  pinMode(motorNE_R,OUTPUT);
  pinMode(motorNE_L,OUTPUT);
  pinMode(motorNW_R,OUTPUT);
  pinMode(motorNW_L,OUTPUT);

  pinMode(motorSE_R,OUTPUT);
  pinMode(motorSE_L,OUTPUT);
  pinMode(motorSW_R,OUTPUT);
  pinMode(motorSW_L,OUTPUT);

  pinMode(brush_NR,OUTPUT);
  pinMode(brush_NL,OUTPUT);
  pinMode(brush_SR,OUTPUT);
  pinMode(brush_SL,OUTPUT);

  pinMode(sensor_N,INPUT);
  pinMode(sensor_S,INPUT);
  pinMode(sensor_W,INPUT);
  pinMode(sensor_E,INPUT);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.begin(9600);
}

void loop()
// วิ่งบน solar cell แผ่นเดียว (วิ่งเป็นสี่เหลี่ยม) ลองที่ 0 องศา
{
  READ();
  if((N_value == HIGH) && (S_value == LOW) && (W_value == LOW))
  {
    Move_Forward();
  }
  else if((N_value == LOW) && (W_value == LOW) && (E_value == HIGH))
  {
    Move_Right();
  }
  else if((N_value == LOW) && (S_value == HIGH) && (E_value == LOW))
  {
    Move_Backward();
  }
  else if((N_value == HIGH) && (S_value == LOW) && (W_value == HIGH))
  {
    Move_Left();
  }
  else if((N_value == HIGH) && (S_value == HIGH))
  {
    READ();
    if((W_value == LOW))
      Forward();
    else if((E_value == LOW))
      Backward();
  }
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void READ()
{
  N_value = digitalRead(sensor_N);
  S_value = digitalRead(sensor_S);
  W_value = digitalRead(sensor_W);
  E_value = digitalRead(sensor_E);
}

////Forward////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

void Move_Forward()
{
  Stop();
  delay(500);
  Smooth_Forward();
  while(N_value == HIGH)
  {
    Forward();
    READ();
    if(N_value == LOW)
    {
      Brush_ON();
      Check_Forward();
      READ();
    }
  }
}

void Smooth_Forward()
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for(int i=0;i<=150;i=i+30)
{
    analogWrite(motorNE_R,0 );
    analogWrite(motorNE_L,i );
    analogWrite(motorNW_R,i );
    analogWrite(motorNW_L,0 );
    analogWrite(motorSE_R,0 );
    analogWrite(motorSE_L,i );
    analogWrite(motorSW_R,i );
    analogWrite(motorSW_L,0 );
    delay(600);
}
}

void Forward()
{
    analogWrite(motorNE_R,0 );
    analogWrite(motorNE_L,150);
    analogWrite(motorNW_R,150);
    analogWrite(motorNW_L,0 );
    analogWrite(motorSE_R,0 );
    analogWrite(motorSE_L,150);
    analogWrite(motorSW_R,150);
    analogWrite(motorSW_L,0 );
}

void Check_Forward()
{
    for(int i=150;i>=0;i=i-30)
    {
        analogWrite(motorNE_R,0 );
        analogWrite(motorNE_L,i );
        analogWrite(motorNW_R,i );

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

    analogWrite(motorNW_L,0 );
    analogWrite(motorSE_R,0 );
    analogWrite(motorSE_L,i );
    analogWrite(motorSW_R,i );
    analogWrite(motorSW_L,0 );
    delay(400);
  }
}

```

```

////Backward////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

```

```

void Move_Backward()
{
  Stop();
  delay(500);
  Smooth_Backward();
  while(S_value == HIGH)
  {
    Brush_ON();
    Backward();
    READ();
    if(S_value == LOW)
    {
      Check_Backward();
      READ();
    }
  }
}
}

```

```

void Smooth_Backward()
{
  for(int i=0;i<=150;i=i+30)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
  analogWrite(motorNE_R,i );
  analogWrite(motorNE_L,0 );
  analogWrite(motorNW_R,0 );
  analogWrite(motorNW_L,i );
  analogWrite(motorSE_R,i );
  analogWrite(motorSE_L,0 );
  analogWrite(motorSW_R,0 );
  analogWrite(motorSW_L,i );
  delay(600);
}
}

void Backward()
{
  analogWrite(motorNE_R,150);
  analogWrite(motorNE_L,0 );
  analogWrite(motorNW_R,0 );
  analogWrite(motorNW_L,150);
  analogWrite(motorSE_R,150);
  analogWrite(motorSE_L,0 );
  analogWrite(motorSW_R,0 );
  analogWrite(motorSW_L,150);
}

void Check_Backward()
{
  for(int i=150;i>=0;i=i-30)
  {
    analogWrite(motorNE_R,i );
    analogWrite(motorNE_L,0 );
    analogWrite(motorNW_R,0 );
    analogWrite(motorNW_L,i );

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    analogWrite(motorSE_R,i );
    analogWrite(motorSE_L,0 );
    analogWrite(motorSW_R,0 );
    analogWrite(motorSW_L,i );
    delay(400);
  }
}

////Slide_Right////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

void Move_Right()
{
  Stop();
  delay(500);
  Smooth_Right();
  while(E_value == HIGH)
  {
    Right();
    READ();
    if(E_value == LOW)
    {
      Check_Right();
      READ();
    }
  }
}

void Smooth_Right()
{
  for(int i=0;i<=150;i=i+30)
  {
    analogWrite(motorNE_R,i );

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    analogWrite(motorNE_L,0 );
    analogWrite(motorNW_R,i );
    analogWrite(motorNW_L,0 );
    analogWrite(motorSE_R,0 );
    analogWrite(motorSE_L,i );
    analogWrite(motorSW_R,0 );
    analogWrite(motorSW_L,i );
    delay(300);
  }
}

void Right()
{
  analogWrite(motorNE_R,150);
  analogWrite(motorNE_L,0 );
  analogWrite(motorNW_R,150);
  analogWrite(motorNW_L,0 );
  analogWrite(motorSE_R,0 );
  analogWrite(motorSE_L,150);
  analogWrite(motorSW_R,0 );
  analogWrite(motorSW_L,150);
}

void Check_Right()
{
  for(int i=150;i>=0;i=i-30)
  {
    analogWrite(motorNE_R,i );
    analogWrite(motorNE_L,0 );
    analogWrite(motorNW_R,i );
    analogWrite(motorNW_L,0 );
    analogWrite(motorSE_R,0 );
    analogWrite(motorSE_L,i );
    analogWrite(motorSW_R,0 );

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        analogWrite(motorSW_L,i );
        delay(200);
    }
}

////Slide_Left////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

```

```

void Move_Left()
{
    Stop();
    delay(500);
    Smooth_Left();
    while(W_value == HIGH)
    {
        Left();
        READ();
        if(W_value == LOW)
        {
            Check_Left();
            READ();
        }
    }
}

```

```

void Smooth_Left()
{
    for(int i=0;i<=150;i=i+30)
    {
        analogWrite(motorNE_R,0 );
        analogWrite(motorNE_L,i );
        analogWrite(motorNW_R,0 );
        analogWrite(motorNW_L,i );
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    analogWrite(motorSE_R,i );
    analogWrite(motorSE_L,0 );
    analogWrite(motorSW_R,i );
    analogWrite(motorSW_L,0 );
    delay(300);
  }
}

```

```

void Left()

```

```

{
  analogWrite(motorNE_R,0 );
  analogWrite(motorNE_L,150);
  analogWrite(motorNW_R,0 );
  analogWrite(motorNW_L,150);
  analogWrite(motorSE_R,150);
  analogWrite(motorSE_L,0 );
  analogWrite(motorSW_R,150);
  analogWrite(motorSW_L,0 );
}

```

```

void Check_Left()

```

```

{
  for(int i=150;i>=0;i=i-30)
  {
    analogWrite(motorNE_R,0 );
    analogWrite(motorNE_L,i );
    analogWrite(motorNW_R,0 );
    analogWrite(motorNW_L,i );
    analogWrite(motorSE_R,i );
    analogWrite(motorSE_L,0 );
    analogWrite(motorSW_R,i );
    analogWrite(motorSW_L,0 );
    delay(200);
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
}

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

void Stop()
{
    analogWrite(motorNE_R,0 );
    analogWrite(motorNE_L,0 );
    analogWrite(motorNW_R,0 );
    analogWrite(motorNW_L,0 );
    analogWrite(motorSE_R,0 );
    analogWrite(motorSE_L,0 );
    analogWrite(motorSW_R,0 );
    analogWrite(motorSW_L,0 );
}

void Brush_ON()
{
    analogWrite(brush_NR,0 );
    analogWrite(brush_NL,255);
    analogWrite(brush_SR,255);
    analogWrite(brush_SL,0 );
}

void Brush_OFF()
{
    analogWrite(brush_NR,0 );
    analogWrite(brush_NL,0 );
    analogWrite(brush_SR,0 );
    analogWrite(brush_SL,0 );
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ : นายกตัญญู แฉ่งศิริ

Name : Mr. Katanyoo Changsiri

วัน/เดือน/ปี เกิด : 29 พฤศจิกายน 2539

ที่อยู่ : 38/20 ถนนรังสิตนครนายก ตำบลรังสิต อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110

เบอร์โทรศัพท์ : 0891351376

อีเมล : 5801005@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

ระดับมัธยมศึกษา : โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สตรีวิทยา2 ปีการศึกษา 2552-2557

ระดับอุดมศึกษา : ปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา
2558-ปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ : นายดลมินทร์ หอยยสระ

Name : Mr. Donmin Yoisra

วัน/เดือน/ปี เกิด : 24 ธันวาคม 2539

ที่อยู่ : 222/157 ตำบลพลูตาหลวง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี รหัสไปรษณีย์ 20180

เบอร์โทรศัพท์ : 0616424693

อีเมล : 58010443@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

ระดับมัธยมศึกษา : โรงเรียนสิงห์สมุทร ปีการศึกษา 2552-2557

ระดับอุดมศึกษา : ปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมแม่คคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา

2558-ปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ : นายพิพิธ ต้นทอง

Name : Mr. Pipit Tanthong

วัน/เดือน/ปี เกิด : 1 มกราคม 2540

ที่อยู่ : 196 ถนนทุ่งมังกร 22 แขวงฉิมพลี เขตตลิ่งชัน จังหวัดกรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10170

เบอร์โทรศัพท์ : 0857833838

อีเมล : Pipit.tanthong@gmail.com

ประวัติการศึกษา

ระดับมัธยมศึกษา : โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียน ปีการศึกษา 2552-2557

ระดับอุดมศึกษา : ปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2558-ปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้