การสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ

PROTOTYPE DEVELOPMENT OF AUTOMATIC CAPPER MACHINE

นายพิสิษฐ์ รุจิโรจนานนท์

MR.PISIT RUJIROJANANON

นางสาวเสาวนีย์ เกตุแก้วเกลี้ยง

MS.SAOWANEE KETKAEWKLIANG

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมออกแบบการผลิตและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

PROTOTYPE DEVELOPMENT OF AUTOMATIC CAPPER MACHINE

MR.PISIT RUJIROJANANON

MS.SAOWANEE KETKAEWKLIANG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN

PRODUCTION DESIGN AND MATERIALS ENGINEERING

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ
PROTOTYPE DEVELOPMENT OF AUTOMATIC CAPPER MACHINE

นักศึกษา นายพิสิษฐ์ รุจิโรจนานนท์ รหัสประจำตัว 60010728
นางสาวเสาวนีย์ เกตุแก้วเกลี้ยง รหัสประจำตัว 60011118

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมออกแบบการผลิตและวัสดุ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(ดร. พลชัย โชติปรายนกุล)

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ
นักศึกษา	นายพิสิษฐ์ รุจิโรจนานนท์
	นางสาวเสาวนีย์ เกตุแก้วเกลี้ยง
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
	สาขาวิชาวิศวกรรมออกแบบการผลิตและวัสดุ
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2563
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญาญานิพนธ์	ดร.พลชัย โชติปรายนกุล

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ ที่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มขวดแก้วแบบปลอดเชื้อ (Aseptic) ซึ่งเป็นกระบวนการบรรจุที่ทั้งภาชนะบรรจุและเครื่องดื่มผ่านการฆ่าเชื้อ และจำเป็นต้องใช้เครื่องจักรที่ปลอดเชื้อด้วยเช่นกัน และเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในขั้นตอนการบรรจุ รวมถึงการปิดบรรจุภัณฑ์ และในการสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ ก็ได้นำความรู้ที่เรียนมา เพื่อประยุกต์ใช้ในการทดลองคำนวณหาค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตมัติ ความรู้การใช้โปรแกรมช่วยออกแบบ มาใช้ในการออกแบบ ความรู้ในการใช้เครื่องมือช่าง การใช้เครื่องจักร อาทิเช่น เครื่องกลึง เครื่องเชื่อม เครื่องกัด มาใช้ในการประดิษฐ์ชิ้นส่วนหรือชิ้นงานต้นแบบ

ในการสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัตินี้ผู้วิจัยได้แบ่งการทำงานเป็น 2 ส่วน คือ การทำในส่วนของฮาร์ดแวร์และซฮฟท์แวร์ โดยเริ่มต้นผู้วิจัยได้ดำเนินงานส่วนของฮาร์ดแวร์ คือได้ออกแบบชิ้นงาน และสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติขึ้นมา วัสดุส่วนใหญ่ที่ใช้จะเป็นเหล็กและชิ้นงานจากเครื่องปริ้นสามมิติ ถัดไปผู้วิจัยดำเนินการต่อในส่วนของซอฟท์แวร์ คือ การสร้างชุดควบคุมการทำงาน และเขียนโปรแกรมควบคุม หลังจากที่ดำเนินงานเสร็จสิ้นแล้ว ก็ได้ทำการทดลองการทำงานของเครื่องฯ ผลการทดลองที่ได้คือ เครื่องผนึกฝาขวดสามารถปิดฝาขวดได้สนิท ด้วยเวลา 45 วินาทีต่อการปิดขวด 1 ครั้ง ครบกระบวนการทำงาน ซึ่งเมื่อเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติเสร็จสิ้นตามเป้าหมายแล้ว ในกระบวนการที่จะสร้างเครื่องฯเพื่อนำไปใช้งานจริง วัสดุของเครื่องจะต้องใช้เป็นอะลูมิเนียมและวัสดุที่เป็นเกรดอาหาร เพื่อความปลอดภัยและถูกสุขลักษณะของผู้บริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Thesis Title	Prototype Development of Automatic Capper Machine
Student	Mr. Pisit Rujirojananon Ms. Saowanee Ketkaewkliang
Degree	Bachelor of Engineering in Production Design and Materials Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2020
Thesis Advisor	Dr. Pholchai Chotiprayanakul

ABSTRACT

The propose of this project is to create a prototype of Automatic Capper Machine that can use in aseptic packaging system. Aseptic system is a food processing technique wherein avoiding thermally-sterilized liquid products after packaging. It is also necessary to use aseptic machine to protect microorganism as bacteria in every processing included with capping processing. To design and build Automatic Capper Machine, researchers have applied the knowledge, calculated variables, used CAD software, and the knowledge of using the tools and the machines for example lathe, milling machine, 3D printer to invent this machine.

For Prototype of Automatic Capper Machine, the researchers separated this project into hardware part and software part. At the beginning, researchers started with hardware design. The capping process is studied and tested to find physical parameters of machine's requirements and then design and build the Automatic Capper Machine. On the other hand, the researcher determined about controlling circuit and its software. Microcontroller is used and built to control the machine. Finally, the machine is conducted to test and perform an experiment. From the experiment, we found that the machine can close completely the bottle in 45 seconds. Thus to apply this machine in real manufacturing, it must be paralleled couple of this machine to support the high production capacity and some materials must be changed to be food grade materials for the safety and sanitation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ นี้เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรวิศกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ซึ่งสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ ตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่อง และให้คำปรึกษาในปัญหาที่เกิดขึ้นจนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร.พลชัย โชติปรายนกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ และตรวจแก้ไขรายงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความสมบูรณ์ทุกประการ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้สละเวลาตรวจสอบ แสดงความคิดเห็นและให้คำแนะนำทำให้รายงานวิจัยเล่มนี้มีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสม

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ปฏิบัติงาน รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการวิจัย ขอขอบพระคุณนายกำธร สุขพิมาย นายสิทธิชัย บุญกิจ และขอขอบพระคุณบุคลากรอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ผู้ซึ่งคอยช่วยเหลือ ให้ความอนุเคราะห์ให้ข้อมูลในการปฏิบัติงานเป็นอย่างดียิ่ง

สุดท้ายนี้ ผู้จัดทำใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาผู้ให้ชีวิตและเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา อีก ทั้งผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่มิได้กล่าวนามไว้ในที่นี้ ซึ่งได้ให้การสนับสนุนจนทำให้รายงานวิจัยเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีมา ณ โอกาสนี้

นายพิสิษฐ์ รุจิโรจนานนท์
นางสาวเสาวนีย์ เกตุแก้วเกลี้ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... **ก**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... **ข**
กิตติกรรมมประกาศ ..... **ค**
สารบัญ ..... **ง**
สารบัญตาราง ..... **ฉ**
สารบัญรูป ..... **ช**

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2
1.3 ขอบเขตโครงงาน 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน 2
1.5 แผนการดำเนินงานของโครงงาน 2

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 ทอร์ค (Torque) 4
2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้า 5
2.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้าแบ่งออกตามการใช้งานของกระแสไฟฟ้าได้ 2 ชนิด 5
2.2.2 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง 6
2.2.3 การควบคุมทิศทาง และความเร็วของมอเตอร์ 7
2.2.4 หลักการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ 11
2.3 การควบคุมมอเตอร์กระแสตรง ด้วย Arduino 16
2.4 การควบคุมสเต็ปมอเตอร์ ด้วย Arduino 20
2.5 โมดูลวัดกระแสไฟฟ้า สำหรับ Arduino 21

บทที่ 3 การสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติและวิธีดำเนินงาน 26
3.1 การทดลองและคำนวณเพื่อหาค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้อง 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

3.1.1 การทดสอบหาแรงบิด (Torque) ในการปิดฝาขวด 26
3.1.2 คำนวณขนาดของแรงบิดมอเตอร์ที่ใช้จับขวด 33
3.1.3 คำนวณหาขนาดของแรงบิดมอเตอร์ที่ใช้ในระบบกลไกควบคุมแกน Z 35
3.2 การเลือกมอเตอร์มาใช้งาน 36
3.2.1 มอเตอร์ใช้สำหรับควบคุมการปิดขวด เลือกใช้เป็นสเต็ปมอเตอร์ 36
3.2.2 มอเตอร์ใช้สำหรับควบคุมการจับขวด เลือกใช้เป็นมอเตอร์กระแสตรง 36
3.2.3 มอเตอร์ที่ใช้ในระบบกลไกควบคุมแกน Z เลือกใช้เป็นมอเตอร์กระแสตรง 37
3.3 การออกแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ 37
3.4 ชิ้นส่วนอุปกรณ์ในการสร้างเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ 40
3.4.1 ชิ้นส่วนอุปกรณ์ของแนวแกน X 40
3.4.2 ชิ้นส่วนอุปกรณ์ของแนวแกน Z 41
3.5 การสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ 42
3.6 การเขียนโค้ดคำสั่งควบคุมการทำงาน 46
3.7 หลักการทำงานของเครื่อง 47
3.8 หลักการทำงานของวงจร 48

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 49
4.1 ผลการทดลองหาค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้อง 49
4.2 ผลการทดลองเบื้องต้น 49
4.3 การทดลองการทำงานของเครื่อง 50

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ 52
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 52
5.2 ข้อเสนอแนะ 52

เอกสารอ้างอิง 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1. แผนการดำเนินงานของโครงงาน.....3
ตารางที่ 2.1 แสดงรูปแบบการกระตุ้นขดลวดของสเต็ปมอเตอร์แบบเวฟหรือฟูลสเต็ป 1 เฟส.....13
ตารางที่ 2.2 แสดงรูปแบบการกระตุ้นขดลวดของสเต็ปมอเตอร์แบบฟูลสเต็ป 2 เฟส.....14
ตารางที่ 2.3 แสดงรูปแบบการกระตุ้นขดลวดของสเต็ปมอเตอร์แบบครึ่งสเต็ปหรือฮาล์ฟสเต็ป.....16
ตารางที่ 2.4 แสดงชนิดของเซนเซอร์วัดกระแส ACS712.....22
ตารางที่ 3.1 ผลการทดลองการหาแรงบิดในการปิดฝาขวด.....27
ตารางที่ 3.2 แสดงชิ้นส่วนอุปกรณ์ของแนวแกน X.....40
ตารางที่ 3.3 แสดงชิ้นส่วนอุปกรณ์ของแนวแกน Z.....41
ตารางที่ 3.4 ชิ้นส่วนอุปกรณ์สำหรับสร้างชุดวงจร.....45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ของแรงบิด แรง และระยะ 4
รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบและการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง....6
รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบและการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงแบบขดลวด 3 ขั้ว ซึ่งเป็นแบบที่มีการผลิตใช้งานจริง 7
รูปที่ 2.4 หลักการของวงจรขับมอเตอร์กระแสตรงที่ใช้สวิตช์ 4 ตัว 7
รูปที่ 2.5 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรงที่ใช้รีเลย์ 2 ตัวแทนสวิตช์ 4 ตัว....8
รูปที่ 2.6 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรงแบบ H-Bridge ใช้ทรานซิสเตอร์ 4 ตัว ทำงานแทนสวิตช์และรีเลย์ 9
รูปที่ 2.7 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้ไอซี L293D 9
รูปที่ 2.8 การเปรียบเทียบค่าแรงดันที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ PWM.... 10
รูปที่ 2.9 ภาพโครงสร้าง Stepping Motor 11
รูปที่ 2.10 แผงผังการทำงานของ Stepping Motor.... 11
รูปที่ 2.11 ลักษณะการพันขดลวดของมอเตอร์แบบไบโพล่าร์.... 12
รูปที่ 2.12 ลักษณะการพันขดลวดของมอเตอร์แบบยูนิโพล่าร์.... 12
รูปที่ 2.13 การจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปที่ขดลวดทีละสองขด (หมุน 90 องศา) 14
รูปที่ 2.14 การจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปที่ขดลวดทีละสองขด (หมุน 45 องศา) 14
รูปที่ 2.15 การจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปที่ขดลวดที่มีจำนวนขดลวดมาก.... 15
รูปที่ 2.16 การจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปที่ขดลวดแบบครึ่งสเต็ปหรือฮาล์ฟสเต็ป 16
รูปที่ 2.17 Pulse Width Modulation.... 17
รูปที่ 2.18 การต่อ D.C. motor ใช้งานร่วมกับ Arduino 18
รูปที่ 2.19 การต่อ Stepper motor ใช้งานร่วมกับ Arduino.... 20
รูปที่ 2.20 ขาของ ACS712 เซนเซอร์วัดกระแส.... 22
รูปที่ 2.21 เซนเซอร์วัดกระแส ACS712 22
รูปที่ 2.22 แสดงการเช็คการทำงานของเซนเซอร์ ACS712 ด้วย Arduino.... 23
รูปที่ 2.23 การต่อวงจรโมดูลวัดกระแส ACS712 ใช้งานร่วมกับ Arduino 24
รูปที่ 3.1 แสดงการทดลองเพื่อหาแรงบิดในการปิดฝาขวด 27
รูปที่ 3.2 การฟแสดงผลการทดลองครั้งที่ 1 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น การอ้างอิงหรือสำเนาต้องได้รับอนุญาตเท่านั้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3.3 การฟแสดงผลการทดลองครั้งที่ 2 29
รูปที่ 3.4 การฟแสดงผลการทดลองครั้งที่ 3 30
รูปที่ 3.5 การฟแสดงผลการทดลองครั้งที่ 4 30
รูปที่ 3.6 การฟแสดงผลการทดลองครั้งที่ 5 31
รูปที่ 3.7 การฟแสดงผลการทดลองครั้งที่ 6 31
รูปที่ 3.8 การฟแสดงผลการทดลองทั้ง 6 ครั้ง 32
รูปที่ 3.9 แสดงทิศทางของแรงที่ใช้สำหรับจับขวด 33
รูปที่ 3.10 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 33
รูปที่ 3.11 แสดงที่มาสมการ (3.6) 34
รูปที่ 3.12 Nema 17 Stepper Motor Gear Ratio 5:1 36
รูปที่ 3.13 D.C. Motor 36
รูปที่ 3.14 D.C. Motor 37
รูปที่ 3.15 ภาพของเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ ที่ออกแบบในโปรแกรม Solidworks 37
รูปที่ 3.16 แนวแกน X เป็นส่วนที่ใช้สำหรับการจับขวด 38
รูปที่ 3.17 ภาพแยกชิ้นส่วนของแนวแกน X เป็นส่วนที่ใช้สำหรับการจับขวด 38
รูปที่ 3.18 แนวแกน Z เป็นส่วนของหัวปิดขวด 39
รูปที่ 3.19 ภาพแยกชิ้นส่วนของแนวแกน Z เป็นส่วนของหัวปิดขวด 39
รูปที่ 3.20 เครื่อง Milling 42
รูปที่ 3.21 เครื่องกลึง 42
รูปที่ 3.22 เครื่องปริ้น 3D 43
รูปที่ 3.23 เครื่องตัดเลเซอร์ 43
รูปที่ 3.24 เครื่องจำลองเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ 44
รูปที่ 3.25 ชุดวงจรควบคุม 44
รูปที่ 3.26 เครื่องจำลองเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติพร้อมชุดวงจรควบคุม 45
รูปที่ 3.27 ผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมเครื่อง 47
รูปที่ 3.28 ชุดวงจรควบคุมการทำงานของเครื่อง 48
รูปที่ 4.1 แสดงภาพขณะทำการทดลองการทำงานของเครื่อง 50

เอกสารนี้เป็นการเผยแพร่ผลงานได้อนุญาตให้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น รวมถึงไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 4.2 ขวดที่ปิดฝาให้สนิทด้วยเครื่องจำลองเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ..... 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1
บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาเป็นหลัก โดยผู้ทำโครงงานได้อธิบายถึงความสำคัญของโครงงานที่ผู้ดำเนินงานได้ทำการศึกษา ในบทนี้จะประกอบไปด้วย

1. ความเป็นมาและความสำคัญ
2. วัตถุประสงค์ของโครงงาน
3. ขอบเขตโครงงาน
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน
5. แผนการดำเนินงานของโครงงาน

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันมีการใช้เทคนิคปลอดเชื้อ (Aseptic Technique) ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มบรรจุขวด ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในกระบวนการบรรจุ เรียกว่า กระบวนการบรรจุแบบปลอดเชื้อ (Aseptic) เป็นกระบวนการบรรจุที่ทั้งภาชนะบรรจุและเครื่องดื่มผ่านการฆ่าเชื้อ โดยวิธีต่าง ๆ เพื่อฆ่าจุลินทรีย์ การบรรจุแบบนี้มีการสูญเสียคุณค่าทางอาหารน้อยกว่าการบรรจุและฆ่าเชื้อแบบอื่น และสามารถวางขายได้โดยไม่ต้องแช่เย็น เครื่องดื่มที่ใช้ในการบรรจุแบบนี้ ได้แก่ นม และน้ำผลไม้ เป็นต้น [1]

ซึ่งกระบวนการบรรจุแบบปลอดเชื้อ (Aseptic) นั้น จำเป็นต้องใช้เครื่องจักรที่ปลอดเชื้อด้วยเช่นกัน และเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในทุก ๆ ขั้นตอนการบรรจุ รวมถึงการปิดบรรจุภัณฑ์ นำไปสู่การทำโครงงานเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ โดยที่เครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติจะใช้หลักการควบคุมการทำงานด้วยระบบไฟฟ้า มีมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน แทนรูปแบบที่ใช้ระบบนิวเมติกส์เพื่อป้องกันเชื้อที่อาจมาพร้อมกับลม

บรรจุภัณฑ์ที่ใช้สำหรับบรรจุเครื่องดื่มประเภท นม น้ำผลไม้ ส่วนใหญ่มักจะเป็นบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วฝาเกลียวที่มีซีลในฝา จึงทำให้โครงงานเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัตินี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตเครื่องที่นำมาใช้สำหรับปิดขวดประเภทขวดแก้วฝาเกลียวพร้อมซีล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อนำความรู้การใช้โปรแกรม Solidworks มาใช้ในการออกแบบเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ

2. เพื่อศึกษาและเข้าใจหลักการทำงานของการควบคุมเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า

3. เพื่อนำความรู้จากการใช้โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino มาประยุกต์ใช้ในการสั่งการทำงานของเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ

1.3 ขอบเขตโครงงาน

1. ออกแบบเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ
2. สร้างเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติสำหรับปิดขวดแก้วฝาเกลียวแบบขวดเดี่ยว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน

1. เพื่อลดเวลาในการบรรจุผลิตภัณฑ์และประหยัดค่าแรงเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการผลิต
2. เพื่อประยุกต์ ใช้เทคโนโลยีให้เกิดประโยชน์กับการผลิตทางอุตสาหกรรมในการบรรจุผลิตภัณฑ์
3. เพื่อควบคุมระบบการทำงานการบรรจุผลิตภณฑ์ได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว
4. เพื่อสามารถออกแบบเครื่องจักรให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม

1.5 แผนการดำเนินงานของโครงงาน

1. ศึกษาการทำงานของเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ
2. ทดลองเพื่อหาค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้อง
3. ออกแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติและที่จับฝาบรรจุภัณฑ์
4. สร้างเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติและที่จับฝาบรรจุภัณฑ์
5. เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์และแขนกลจับฝาบรรจุภัณฑ์
6. ทดลองใช้เครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์
7. ปรับปรุงแก้ไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 1.1. แผนการดำเนินงานของโครงงาน

แผนการดำเนินงาน	พ.ศ. 2563					พ.ศ. 2564				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษา	↔									
2. ทดลองเพื่อหาค่าตัวแปร	↔	↔	↔							
3. ออกแบบเครื่อง	↔	↔	↔	↔	↔					
4. สร้างเครื่อง										
5. เขียนโปรแกรมควบคุม						↔	↔	↔		
6. ทดลองใช้เครื่อง									↔	↔
7. ปรับปรุงแก้ไข										↔

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

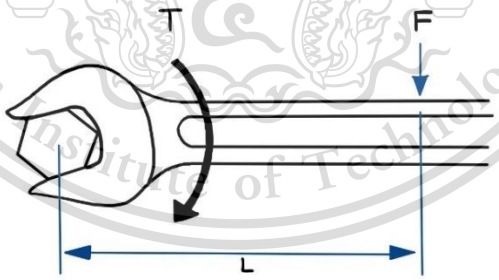
บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่างถึงทฤษฎีแนวคิดที่นำมาใช้การสร้างเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ โดยมีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องได้แก่

1. การคำนวณแรงบิด (Torque)
2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้า
3. การควบคุมมอเตอร์กระแสตรง (D.C. Motor) ด้วย Arduino
4. การควบคุมสเต็ปมอเตอร์ (Stepper Motor) ด้วย Arduino
5. โมดูลวัดกระแสไฟฟ้า สำหรับ Arduino

2.1 ทอร์ค (Torque)

ทอร์ค (Torque) คือ โมเมนต์ของแรงรอบจุดใด ๆ มีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างขนาดของแรงกับระยะทางตั้งฉากจากจุดหมุนมายังแนวแรง



รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ของแรงบิด แรง และระยะ

$$\vec{\tau} = \vec{F} \times L \quad (2.1)$$

τ คือ แรงบิด (Torque) มีหน่วยเป็น N.m

F คือ แรง มีหน่วยเป็น N

L คือ ระยะทางตั้งฉากจากจุดหมุนมายังแนวแรง มีหน่วยเป็น m [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงาน เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมเครื่องจักรกลในงานอุตสาหกรรม มอเตอร์มีหลายแบบหลายชนิดที่ใช้ให้เหมาะสมกับงาน ดังนั้นเราจึงต้องทราบถึงความหมายและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้า ตลอดถึงคุณสมบัติการใช้งานของมอเตอร์แต่ละชนิด เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งานของมอเตอร์นั้นๆ [3]

มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังกล เพื่อเป็นเครื่องต้นกำลังเพื่อนำไปใช้กับเครื่องจักรแบบต่างๆ มอเตอร์ที่ใช้งานในปัจจุบัน แต่ละชนิดก็จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างออกไปต้องการความเร็ว รอบหรือกำลังงานที่แตกต่างกัน ซึ่งมอเตอร์แต่ละชนิด

2.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้าแบ่งออกตามการใช้ของกระแสไฟฟ้า ได้ 2 ชนิดดังนี้

2.2.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor) หรือเรียกว่าเอ.ซี มอเตอร์ (A.C. Motor) การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้าสลับแบ่งออกเป็น 2 แบบได้แก่

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส หรือเรียกว่าซิงเกิลเฟสมอเตอร์ (A.C. Sing Phase) จะใช้กับแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ซึ่งเป็นกระแสไฟที่ใช้ตามบ้านเรือนทั่วไป มีสายไฟ เข้า 2 สาย มีแรงม้าไม่สูง ส่วนใหญ่ตามบ้านเรือน

-สปลิทเฟส มอเตอร์ (Split-Phase Motor)
-คาปาซิเตอร์ มอเตอร์ (Capacitor Motor)
-รีพัลชั่นมอเตอร์ (Repulsion-Type Motor)
-ยูนิเวอร์แวซลมอเตอร์ (Universal Motor)
-เช็ดเดดโพล มอเตอร์ (Shaded-Pole Motor)

2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟส หรือเรียกว่าทีเฟสมอเตอร์ (A.C. Three Phase Motor) เป็นมอเตอร์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมต้องใช้ระบบไฟฟ้า 3 เฟส ใช้แรงดัน 380 โวลต์ ซึ่งเป็นกระแสไฟที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ขนาดเล็ก จนไปถึงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ มีสายไฟเข้ามอเตอร์ 3 สาย

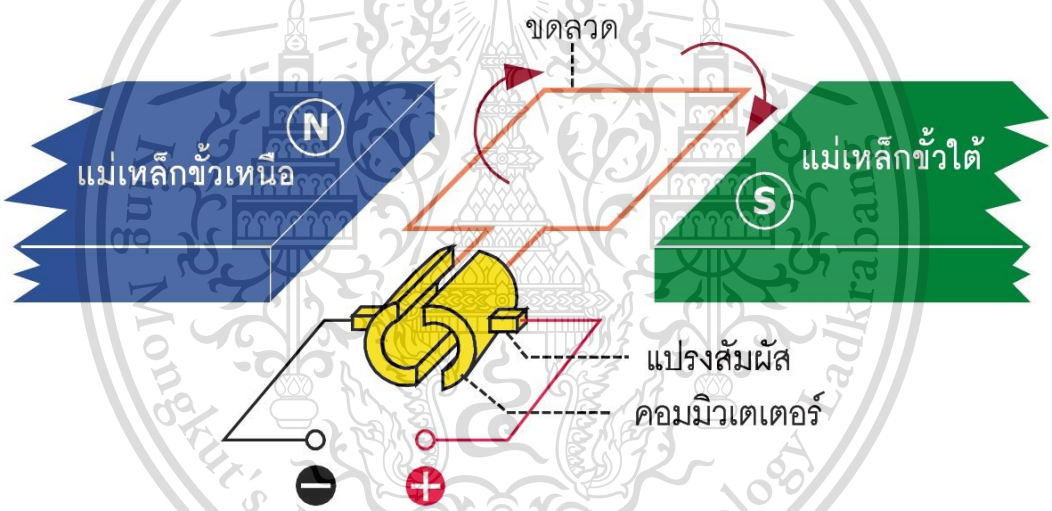
2.2.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor) หรือเรียกว่าดี.ซี มอเตอร์ (D.C. Motor) การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

1. มอเตอร์แบบอนุกรมหรือเรียกว่า ซีรีส์มอเตอร์ (Series Motor)
2. มอเตอร์แบบอนุขนานหรือเรียกว่า ชันท์มอเตอร์ (Shunt Motor)
3. มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมหรือเรียกว่า คอมเปาวด์มอเตอร์ (Compound Motor) [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.2 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

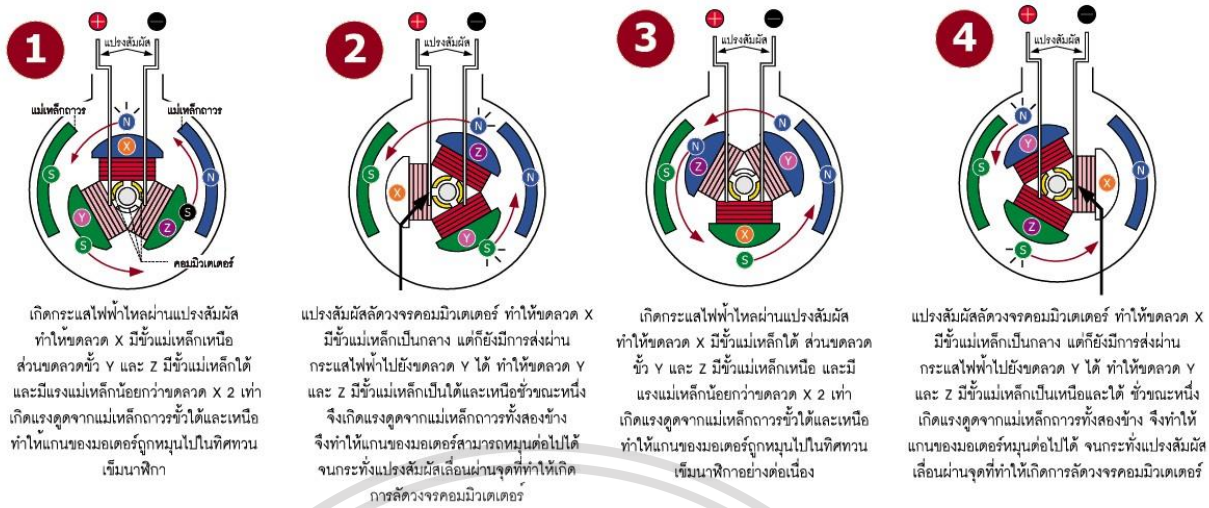
การขับหรือทำให้มอเตอร์กระแสตรงทำงานเพื่อหมุนแกนนั้นง่ายมาก เพียงจ่ายไฟเข้าที่ขั้วของมอเตอร์เท่านั้น และเมื่อกลับขั้วของการจ่ายไฟมอเตอร์ก็จะหมุนกลับทิศทาง สำหรับการอธิบายการทำงานของมอเตอร์โดยทั่วไปจะอ้างถึงมอเตอร์แบบ 2 ขั้ว ดังในรูปที่ 2.2 เมื่อจ่ายไฟให้แก่มอเตอร์ผ่านทางแปรงสัมผัสซึ่งต่ออยู่กับคอมมิวเตเตอร์และขดลวด เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น และเกิดแรงดูดและผลักจากแม่เหล็กถาวร ทำให้ขดลวดสามารถหมุนได้ แต่ด้วยการใช้ขดลวดเพียง 2 ขั้ว การหมุนของมอเตอร์จะขาดเสถียรภาพ เพราะในความเป็นจริงเมื่อคอมมิวเตเตอร์หมุนไป 90 องศาจะทำให้เกิดการลัดวงจรคอมมิวเตเตอร์ทั้ง 2 ชิ้น ทำให้กระแสไฟฟ้าหยุดไหล แต่แกนของมอเตอร์ยังหมุนไปได้ด้วยแรงเฉื่อย ทำให้จังหวะการทำงานนั้นไม่ต่อเนื่อง และทำให้อัตราเร็วในการหมุนไม่คงที่ ซึ่งทางแก้ไขนั้นจะใช้มอเตอร์แบบมีขดลวด 3 ขั้ว ที่มีการพันในทิศทางที่สลับกัน



รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบและการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

ในมอเตอร์กระแสตรงที่ใช้งานจริงนั้น จะเป็นมอเตอร์แบบขดลวด 3 ขั้ว ดังนั้นคอมมิวเตเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดจังหวะการจ่ายกระแสให้แก่ขดลวดจะมี 3 ชิ้น ดังแสดงโครงสร้างและการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงแบบ 3 ขั้วในรูปที่ 2.2 ด้วยการใช้ขดลวด 3 ชุดนี้ช่วยให้การหมุนของมอเตอร์มีเสถียรภาพมากขึ้น เพราะแม้ว่าจะเกิดจังหวะที่คอมมิวเตเตอร์ 2 ชิ้นจะถูกลัดวงจร ดังในขั้นตอนที่ 2 และ 4 ของรูปที่ 2.2 แต่เนื่องจากมีคอมมิวเตเตอร์ 3 ชิ้น เมื่อลัดวงจร 2 ชิ้น ก็เสมือนกับรวมกันเป็นคอมมิวเตเตอร์ 1 ชิ้น จึงสามารถทำงานกับคอมมิวเตเตอร์อีก 1 ชิ้นที่เหลือ เพื่อกำหนดจังหวะการจ่ายกระแสไฟฟ้าต่อไปได้ ทำให้ไม่เกิดภาวะกระแสไฟฟ้าหยุดไหลดังที่เกิดในมอเตอร์แบบขดลวด 2 ขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

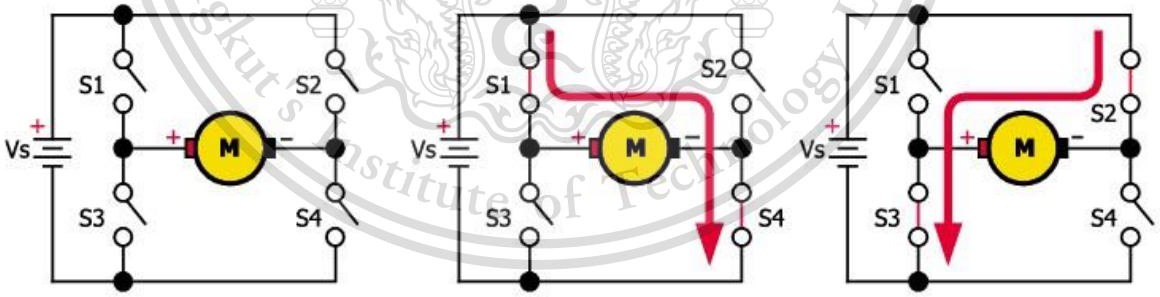


รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบและการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงแบบขดลวด 3 ขั้ว ซึ่งเป็นแบบที่มีการผลิตใช้งานจริง [5]

2.2.3 การควบคุมทิศทาง และความเร็วรอบของมอเตอร์

2.2.3.1 <u>วงจรขับมอเตอร์กระแสตรงอย่างง่ายด้วยสวิตช์</u>

แสดงวงจรในรูปที่ 2.4 ประกอบไปด้วย สวิตช์ 4 ตัว นั่นก็คือ S1 S2 S3 และ S4 ซึ่งในรูปตัวอย่างมอเตอร์จะเคลื่อนที่ทิศทางใด ขึ้นอยู่กับการต่อ สวิตช์ทั้ง 4 ตัว นั่นเอง ในสภาวะเริ่มต้น ยังไม่มีการเปิดสวิตช์ที่ตัวใดเลย มอเตอร์จึงไม่ทำงาน



(2.4.1) (2.4.2) (2.4.3)

รูปที่ 2.4 หลักการของวงจรขับมอเตอร์กระแสตรงที่ใช้สวิตช์ 4 ตัว

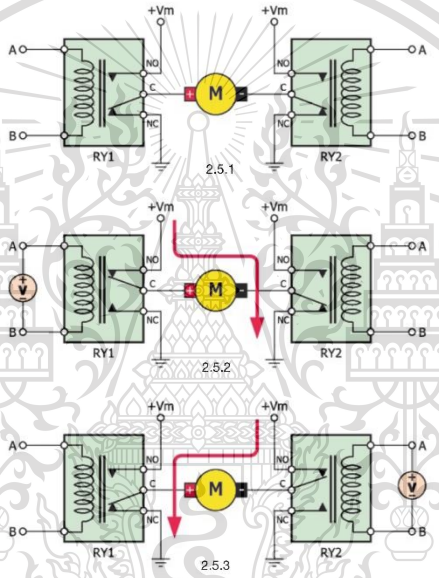
เมื่อต้องการให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา ให้ทำการต่อวงจร S1 และ S4 ตามรูปที่ 2.4.2 จะเห็นว่า แรงดัน +V จากแหล่งจ่ายไฟจะถูกต่อเข้ากับขั้วบวกของมอเตอร์ และขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟต่อเข้ากับขั้วลบของมอเตอร์ ทำให้เกิดกระแสไหลผ่านมอเตอร์ มอเตอร์จึงหมุนตามเข็มนาฬิกา (Clockwise: CW)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อต้องการให้มอเตอร์หมุนกลับทิศทางหรือหมุนทวนเข็มนาฬิกา (Counterclockwise: CCW) ให้ทำการต่อสวิตช์ S2 และ S3 แทน ในขณะที่ S1 และ S4 เปิดวงจร มอเตอร์ก็จะได้รับแรงดันกลับขั้ว ทำให้กระแสไหลในทิศทางตรงข้าม มอเตอร์จึงหมุนกลับทิศทางกับในตอนแรก

2.2.3.2 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรงด้วยรีเลย์

จากวงจรในรูปที่ 2.3 เปลี่ยนสวิตช์เป็นรีเลย์ 2 ตัว คือ RY1 และ RY2 โดยขั้วบวก (+) ของมอเตอร์ต่อกับขาร่วมของรีเลย์ RY1 และขั้วลบ (-) ของมอเตอร์ต่อกับขาร่วมของรีเลย์ RY2 ส่วนที่ขา NO ของทั้งรีเลย์ RY1 และ RY2 ต่ออยู่กับขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟ +Vm ที่จะจ่ายให้มอเตอร์ และขา NC ของทั้งรีเลย์ RY1 และ RY2 ต่อลงกราวด์ จะได้เป็นวงจรขับมอเตอร์ตามรูปที่ 2.4.1



รูปที่ 2.5 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรงที่ใช้รีเลย์ 2 ตัวแทนสวิตช์ 4 ตัว

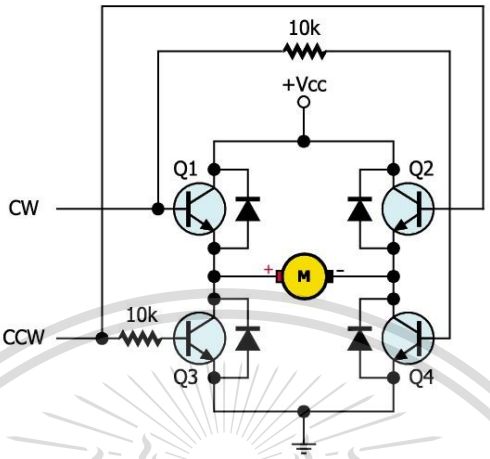
เมื่อจ่ายไฟเพื่อกระตุ้นให้รีเลย์ RY1 ทำงาน จะทำให้หน้าสัมผัสที่ขา NO และ C ของรีเลย์ RY1 ต่อกัน เกิดกระแสไฟฟ้าไหลจาก +Vm เข้าสู่ขั้วบวก (+) ของมอเตอร์ผ่านไปยังขาร่วม (C) ของรีเลย์ RY2 ต่อกับขา NC และลงกราวด์ ทำให้ครบวงจร มอเตอร์จึงทำงานและหมุนในทิศตามเข็มนาฬิกา ดังในรูปที่ 2.5.2 พิจารณารูปที่ 2.5.3 เมื่อจ่ายไฟเพื่อกระตุ้นให้รีเลย์ RY2 ทำงาน จะทำให้หน้าสัมผัสที่ขา NO และ C ของรีเลย์ RY2 ต่อกัน เกิดกระแสไฟฟ้าไหลจาก +Vm เข้าสู่ขั้วลบ (-) ของมอเตอร์ผ่านไปยังขาร่วม (C) ของรีเลย์ RY1 ซึ่งต่อกับขา NC และลงกราวด์ ทำให้ครบวงจร มอเตอร์จึงทำงานและหมุนในทิศทวนเข็มนาฬิกา

2.2.3.3 วงจรขับมอเตอร์แบบ H-Bridge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ลักษณะของวงจรขับมอเตอร์ทั้งในรูปที่ 2.4 และ 2.5 มีชื่อเรียกว่า วงจรขับแบบ H-Bridge เนื่องจากลักษณะของวงจรคล้ายกับตัวอักษร H ในภาษาอังกฤษ และมีการใช้อุปกรณ์ควบคุม 4 ตัว

นอกจากนั้นยังสามารถใช้ อุปกรณ์ที่เรียกว่า ทรานซิสเตอร์ มาทดแทนรีเลย์ ดังแสดงวงจรในรูปที่ 2.6 ด้วย การใช้ทรานซิสเตอร์จะทำให้ขนาดของวงจรเล็กลง

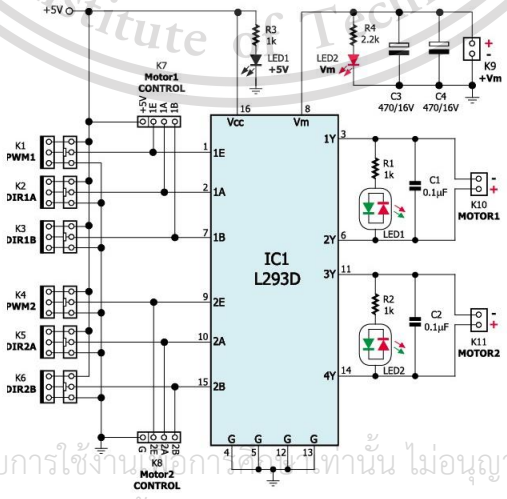


รูปที่ 2.6 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรงแบบ H-Bridge ใช้ทรานซิสเตอร์ 4 ตัว ทำงานแทนสวิตช์และรีเลย์

เมื่อส่งสัญญาณลอจิก “1” มาที่อินพุต CW จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q4 ทำงาน เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมอเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

ถ้าหากส่งสัญญาณลอจิก “1” มาที่อินพุต CCW จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q3 ทำงานแทน เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมอเตอร์ในอีกทิศทางหนึ่ง ทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

นอกจากนั้นยังมีการใช้ไอซีขับมอเตอร์โดยเฉพาะ นั่นคือ ไอซีเบอร์ L293D ซึ่งภายในบรรจุวงจรขับแบบ H-Bridge 2 ชุด จึงทำให้สามารถขับมอเตอร์กระแสตรงได้ 2 ตัว ในรูปที่ 2.7 เป็นวงจรขับมอเตอร์ที่ใช้ไอซี L293D



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 2.7 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้ไอซี L293D

การขับมอเตอร์แต่ละตัวใช้สายสัญญาณ 3 เส้น เนื่องจากต้องการ ควบคุมทิศทางของมอเตอร์ไปพร้อมๆ กับการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ด้วยสัญญาณ PWM สำหรับมอเตอร์ช่องที่ 1 จะใช้อินพุต DIR1A และ DIR1B ในการกำหนดทิศทางการหมุน ส่วนอินพุตรับสัญญาณเพื่อควบคุมความเร็วจะเป็นขา 1E ส่วนมอเตอร์ช่องที่ 2 ใช้อินพุต DIR2A และ DIR2B ส่วนอินพุตควบคุมความเร็วคือขา 2E

การกำหนดเงื่อนไขในการขับมอเตอร์ของ L293D เป็นดังนี้

DIRxA = 0, DIRxB = 1 มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา

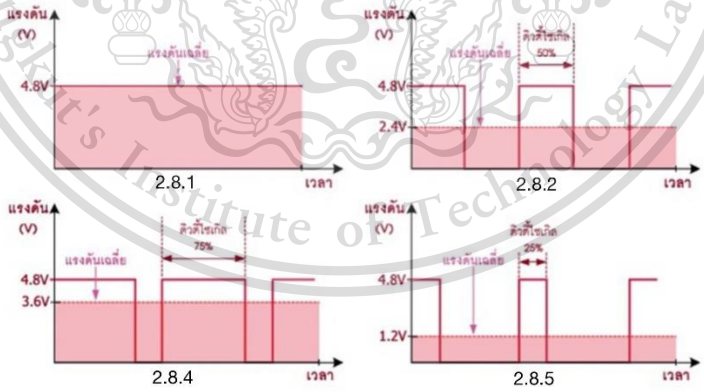
DIRxA = 1, DIRxB = 0 มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา

x คือ 1 หรือ 2

โดยไอซี L293D จะสามารถทำงานได้เมื่อมีสัญญาณลอจิก “1” ส่งมาที่อินพุต 1E สำหรับมอเตอร์ช่อง 1 และ 2E สำหรับมอเตอร์ช่อง 2 ที่เอาต์พุตของวงจรขับมอเตอร์มี LED สองสีแสดงขั้วแรงดันที่จ่าย ให้กับมอเตอร์ ถ้า LED ติดเป็นสีเขียว หมายถึงการจ่ายแรงดันตรงขั้วให้กับมอเตอร์ ถ้าแรงดันที่จ่ายให้กลับขั้ว LED จะติดเป็นสีแดง

2.2.3.4 <u>ควบคุมความเร็วของมอเตอร์</u>

ในการขับมอเตอร์โดยปกติจะป้อนแรงดันไฟตรงให้โดยตรง มอเตอร์จะทำงานเต็มกำลัง ซึ่งอาจมีความเร็วมากเกินไป ดังนั้นการปรับความเร็วของมอเตอร์จึงใช้วิธีลดแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ วิธีที่นิยมคือ การป้อนพัลส์ไปขับมอเตอร์แทน แล้วปรับความกว้างพัลส์ช่วงบวก เพื่อให้ได้ค่าแรงดันเฉลี่ยตามต้องการ วิธีการนี้เรียกว่า พัลส์วิดธ์มอดูเลเตอร์ (Pulse Width Modulator: PWM)



รูปที่ 2.8 การเปรียบเทียบค่าแรงดันที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ PWM

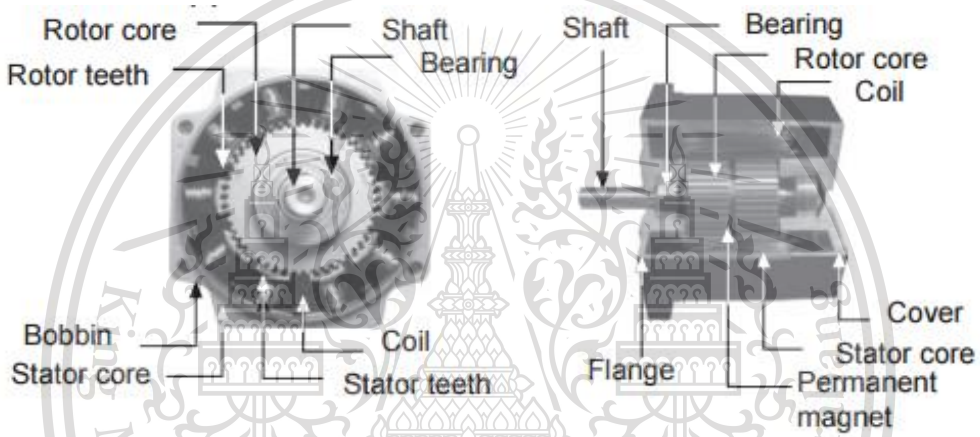
โดยความกว้างพัลส์ช่วงบวกเมื่อเทียบกับความกว้างพัลส์ทั้งหมดเรียกว่า ดิวตี้ไซเกิล (Duty Cycle)โดยจะคิดค่าดิวตี้ไซเกิลเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความกว้างพัลส์ทั้งหมด ตัวอย่างจากรูปที่ 2.8.2 มีค่าดิวตี้ไซเกิล 50% หมายถึง ความกว้างของพัลส์ช่วงบวกมีความกว้างเป็น 50% ของความกว้างทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ดังนั้นแรงดันเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ (50 x 4.8) /100 = 2.4V สำหรับรูปที่ 2.8.3 และ 2.8.4 เป็นการกำหนดค่าดิวตี้ไซเกิล 75% และ 25% ตามลำดับ [5]

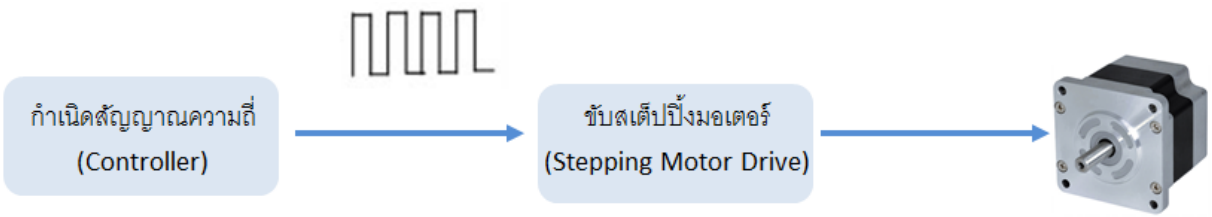
2.2.4 หลักการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ (Stepping Motor)

สเต็ปมอเตอร์ (Stepper Motor) เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยการจ่ายพัลส์ไฟฟ้าไปให้ขดลวดแบบเรียงลำดับทำให้เกิดการหมุน โดยโครงสร้างภายในนั้นจะประกอบไปด้วยขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าบนสเตเตอร์ (Stator) ทำมาจากแผ่นเหล็กวงแหวน จะมีซี่ยื่นออกมาประกอบกันเป็นชั้น ๆ โดยแต่ละซี่ที่ยื่นออกมานั้นจะมีขดลวด (คอยล์) พันอยู่ เมื่อมีกระแสผ่านคอยล์จะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น



รูปที่ 2.9 ภาพโครงสร้าง Stepping Motor

ในการทำงานของสเต็ปมอเตอร์นั้นจะไม่สามารถขับเคลื่อนหรือทำงานเองได้ จำเป็นต้องมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณหรือจ่ายพัลส์ไปให้วงจรขับสเต็ปมอเตอร์ (Stepping Motor Drive) การสร้างสัญญาณนั้นจะเป็นต้องสร้างและเรียงลำดับของสัญญาณด้วยและอีกสิ่งที่สำคัญคือการดูตำแหน่งของสายที่ทำการต่อเข้ากับตัวสเต็ปปิ้งมอเตอร์



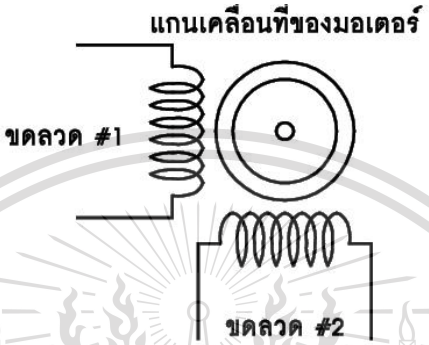
รูปที่ 2.10 แผงผังการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ (Stepping Motor) [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ชนิดของสเต็ปมอเตอร์ แบ่งเป็น 2 ชนิดหลักๆ คือ ชนิดไบโพลาร์ (Bipolar) และชนิดยูนิโพลาร์ (Unipolar)

2.2.4.1 สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบไบโพลาร์

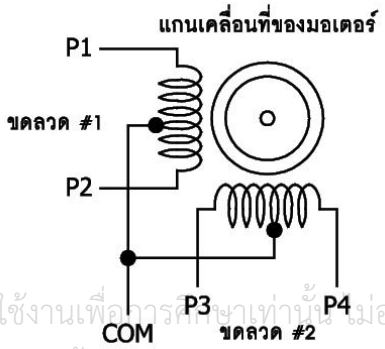
มีลักษณะการพันขดลวดของมอเตอร์แสดงในรูปที่ 2.11 แบ่งออกเป็น 2 ขดที่ไม่มีแท็ปกลาง ทำให้บางครั้งจึงเรียกสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้ว่า เป็นสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ 2 เฟส การขับให้มอเตอร์แบบนี้หมุนจะต้องป้อนแรงดันต่างขั้วกันให้แก่ขดลวดแต่ละขด ทำให้วงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้ค่อนข้างซับซ้อน



รูปที่ 2.11 ลักษณะการพันขดลวดของมอเตอร์แบบไบโพล่าร์

2.2.4.2 สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพล่าร์

มีลักษณะการพันขดลวดของมอเตอร์แสดงในรูปที่ 2.12 มีด้วยกัน 2 แบบคือ แบบ 5 และ 6 สาย บางครั้งเรียกสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้ว่า เป็นสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ 4 เฟส การขับจะต้องป้อนสัญญาณเข้าที่ขั้วหรือเฟสของมอเตอร์ให้เรียงลำดับอย่างถูกต้อง มอเตอร์จึงจะสามารถหมุนได้อย่างราบรื่น สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้มีการพันขดลวด 2 ขดบนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ แต่ละขดแบ่งเป็น 2 เฟส รวมมอเตอร์ทั้งตัวจะมี 4 เฟสคือ เฟส 1 2 3 และ 4 มีการต่อสายออกมาจากขดลวดแต่ละขดเพื่อจ่ายไฟเลี้ยง ทำให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้มีทั้งแบบ 5 สายและ 6 สาย ถ้าเป็นแบบ 5 สาย จะเป็นการนำสายไฟเลี้ยงของขดลวดทั้งสองมาต่อรวมกันเป็นสายเดียว สำหรับในบทความนี้จะเน้นหนักไปที่สเต็ปเปอร์แบบยูนิโพล่าร์นี้ เนื่องจากสามารถหาได้ง่ายกว่า และใช้วงจรขับที่มีความซับซ้อนน้อยกว่ามาก



รูปที่ 2.12 ลักษณะการพันขดลวดของมอเตอร์แบบยูนิโพล่าร์ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปแต่ละสเต็ปทำได้โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละขดบนสเตเตอร์ ซึ่งต้องป้อนเป็นแบบซีเควนเชียลในรูปแบบที่ถูกต้องด้วย สามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบคือแบบเวฟ (Wave) หรือแบบฟูลเต็ป 1 เฟส (Full Step 1-Phase) และแบบฟูลสเต็ป 2 เฟส แบบครึ่งสเต็ป (Half Step)

1. การกระตุ้นสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบเวฟหรือฟูลสเต็ป 1 เฟส

เป็นการกระตุ้นที่มีรูปแบบง่ายที่สุด โดยทำการกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่งไล่เรียงถัดกันไป เช่น เริ่มต้นที่ขดที่ 1 2 3 4 แล้ววนกลับมาขดที่ 1 วนไปเรื่อยๆ หรือเริ่มที่ขดที่ 1 แล้วย้อนไปยังขดที่ 4 3 2 แล้วกลับมายังขดที่ 1 อีกครั้ง ซึ่งทำให้ทิศทางของการหมุนสวนกัน ในการกระตุ้นรูปแบบนี้จึงมีขดลวดเพียงขดเดียวในเวลาหนึ่งที่ถูกกระตุ้นเท่านั้น วงจรกระตุ้นแบบนี้มีราคาถูกและง่าย ขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงดังในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงรูปแบบการกระตุ้นขดลวดของสเต็ปมอเตอร์แบบเวฟหรือฟูลสเต็ป 1 เฟส

สเต็ปที่	ขดลวดที่ 1	ขดลวดที่ 2	ขดลวดที่ 3	ขดลวดที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	-	ทำงาน	-	-
3	-	-	ทำงาน	-
4	-	-	-	ทำงาน

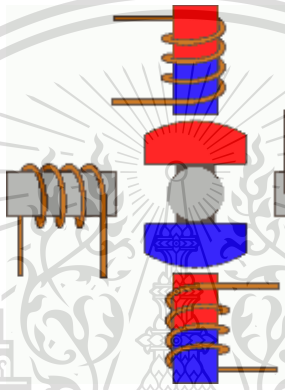
2. การกระตุ้นกระตุ้นสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบฟูลสเต็ป 2 เฟส

เป็นการกระตุ้นซึ่งคล้ายกับแบบฟูลสเต็ปหนึ่งเฟส แต่การกระตุ้นแบบนี้จ่ายกำลังไฟฟ้าไปที่ขดลวด 2 ขดที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน และเรียงถัดกันไปเช่นเดียวกับแบบฟูลสเต็ป 1 เฟส ดังตัวอย่างขดลวดชุดแรกที่ถูกกระตุ้นจะเป็นขดที่ 1 และ 2 ตามด้วยการกระตุ้นขดที่ 2 และ 3 ต่อไปเป็นขดที่ 3 และ 4 ถัดไปเป็นขดที่ 4 และ 1 แล้วกลับมาที่ขดที่ 1 และ 2 วนไปตามลำดับเช่นนี้ หรือเริ่มที่ขด 1 และ 4 ตามด้วยขดที่ 4 และ 3 ถัดไปเป็นขดที่ 3 และ 2 ต่อไปเป็นขดที่ 2 และ 1 แล้ววนกลับมาที่ขดที่ 1 และ 4 ทิศทางการหมุนจะสวนทางกัน การกระตุ้นสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้สามารถเพิ่มแรงบิดได้มากกว่าแบบฟูลสเต็ป 1 เฟส โรเตอร์จะเคลื่อนที่ด้วยแรงดึงอย่างเต็มแรงจาก 2 ขดลวดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน และเคลื่อนที่ต่อไปด้วยแรงดึงจากอีก 2 ขดลวดถัดไป สำหรับข้อเสียคือการกระตุ้นแบบนี้ต้องใช้กำลังไฟฟ้ามากขึ้น ขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ แสดงดังในตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

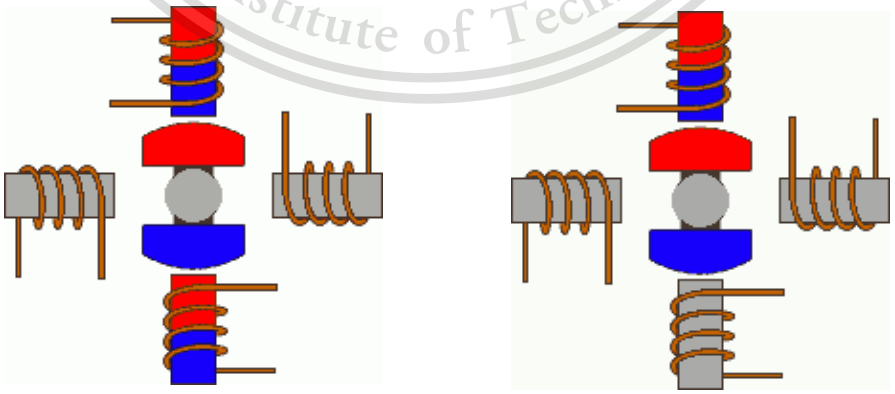
ตารางที่ 2.2 แสดงรูปแบบการกระตุ้นขดลวดของสเต็ปมอเตอร์แบบฟูลสเต็ป 2 เฟส

สเต็ปที่	ขดลวดที่ 1	ขดลวดที่ 2	ขดลวดที่ 3	ขดลวดที่ 4
1	ทำงาน	ทำงาน	-	-
2	-	ทำงาน	ทำงาน	-
3	-	-	ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน	-	-	ทำงาน



รูปที่ 2.13 การจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปที่ขดลวดทีละสองขด (หมุน 90 องศา)

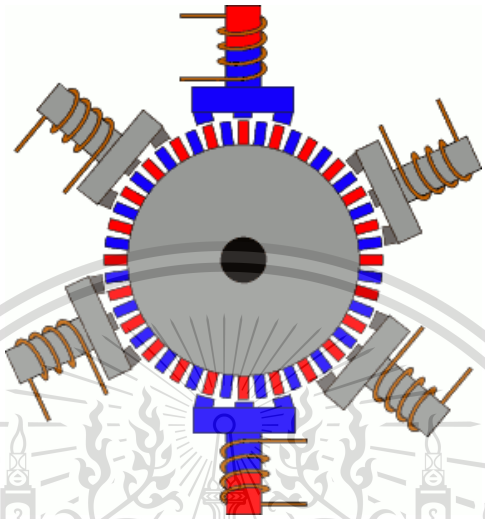
หรือถ้าต้องการควบคุมให้มีความละเอียดมากขึ้นอีก สามารถทำได้โดยคุมให้มอเตอร์หมุนได้ละเอียดขึ้นจาก 90 องศา เหลือ 45 องศา โดยที่ไม่ต้องปรับเปลี่ยนตัวฮาร์ดแวร์ใดๆ เป็นเพียงการเปลี่ยนวิธีการจ่ายกระแสเข้าขดลวดเท่านั้น



รูปที่ 2.14 การจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปที่ขดลวดทีละสองขด (หมุน 45 องศา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แต่เนื่องจาก Stepper Motor ที่ใช้กันจริงๆ แบบรูปด้านล่าง มีซี่ และขดลวดมาก จึงทำให้สามารถควบคุมการหมุนได้ละเอียดมากๆ โดยการควบคุม 1 Cycle จะทำให้มอเตอร์หมุนไป 0.9 - 5 องศา แล้วแต่เทคนิคที่ใช้ในการควบคุมการหมุน



รูปที่ 2.15 การจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปที่ขดลวดที่มีจำนวนขดลวดมาก

สังเกตุเห็นว่ามีขดลวดอยู่ 6 ขดลวด การทำงานจะต้องควบคุมเป็นขั้นให้ครบ 75 ขั้นจึงหมุนได้ครบ 1 รอบ หรือ 5 องศาต่อขั้นการเรียงขดลวด 6 ขดก็ไม่ได้วางห่างกัน 60 องศาแบบตรงๆ ถ้าทำแบบนั้นมอเตอร์จะไม่หมุน แต่ต้องเรียงให้คู่แรกคือขดลวดบนสุดและล่างสุดวางห่างจากคู่ที่สอง และสามเป็นมุม 60 + 5 = 65 องศา เพื่อให้มันหมุนทีละ 5 องศา มุมต่างนี้มีผลต่อการควบคุมและการเขียนโปรแกรม [2]

3. การกระตุ้นแบบครึ่งสเต็ปหรือฮาล์ฟสเต็ป

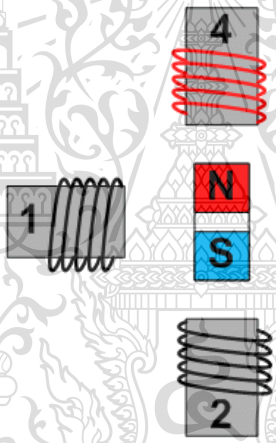
เป็นรูปแบบที่ผสมผสานระหว่างการกระตุ้นแบบฟูลสเต็ป 1 และ 2 เฟส เพื่อเพิ่มจำนวน ของสเต็ปต่อรอบอีกเท่าตัวหนึ่ง ในระบบนี้จะกระตุ้นขดลวดเรียงกันไปเป็นลำดับดังนี้ เริ่มจากขดลวดที่ 1 1 และ 2 2 2 และ 3 3 3 และ 4 4 4 และ 1 แล้ววนกลับมายังขดลวดที่ 1

แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นแบบนี้จะเพิ่มมากขึ้นอีก เพราะช่วงสเต็ปมีระยะสั้นลง แต่ละสเต็ปเกิดแรงดึงจากขดลวด 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ความถูกต้องของตำแหน่งมีเพิ่มมากขึ้น แต่ต้องพึงระวังไว้อีกประการหนึ่งว่าเมื่อกระตุ้นให้ทำงานในรูปแบบนี้จะต้องทำการหมุนถึง 2 สเต็ป จึงจะได้เท่ากับระยะเท่ากับ 1 สเต็ปเต็มของการควบคุมใน 2 แบบแรก สำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต้องใช้ขนาดเท่ากับแบบ 2 เฟสเป็นอย่างน้อย จึงจะเพียงพอ ขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงดังในตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.3 แสดงรูปแบบการกระตุ้นขดลวดของสเต็ปมอเตอร์แบบครึ่งสเต็ปหรือฮาล์ฟสเต็ป

สเต็ปที่	ขดลวดที่ 1	ขดลวดที่ 2	ขดลวดที่ 3	ขดลวดที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	ทำงาน	ทำงาน	-	-
3	-	ทำงาน	-	-
4	-	ทำงาน	ทำงาน	-
5	-	-	ทำงาน	-
6	-	-	ทำงาน	ทำงาน
7	-	-	-	ทำงาน
8	ทำงาน	-	-	ทำงาน



รูปที่ 2.16 การจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปที่ขดลวดแบบครึ่งสเต็ปหรือฮาล์ฟสเต็ป [7]

2.3 การควบคุมมอเตอร์กระแสตรง ด้วย Arduino

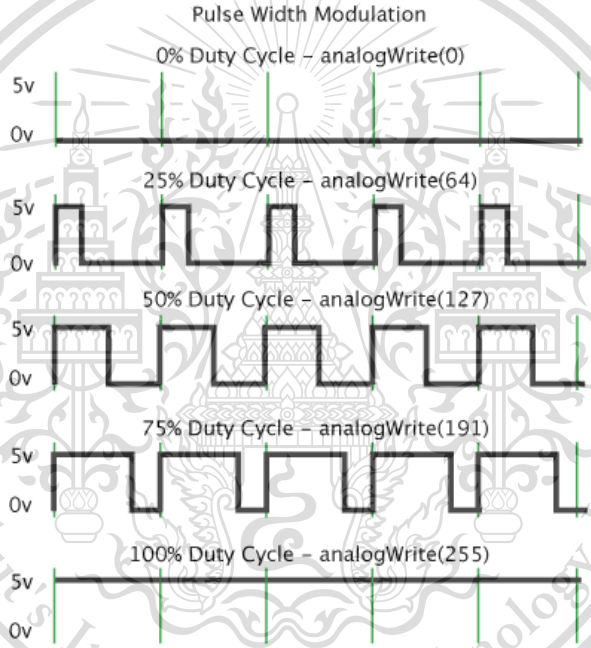
การควบคุมความแรงมอร์เตอร์ดีซี โดยปกติจะทำปรับเพิ่มและลดแรงดันที่ส่งออกไปยังมอร์เตอร์ แต่การปรับเพิ่มหรือลดแรงดันนั้นเป็นแนวทางที่ต้องใช้วงจรที่ซับซ้อนมีความยุ่งยากค่อนข้างมาก ดังนั้นโดยทั่วไปจึงนิยมใช้เทคนิคที่เรียกว่า Pulse Width Modulation (PWM) ซึ่งไม่ได้ปรับเพิ่มหรือลดแรงดันโดยตรง หากแต่ใช้หลักการเปิด/ปิดมอร์เตอร์ด้วยความเร็วสูงๆ จนผลค่าเฉลี่ยของแรงดันที่ได้ออกมาเทียบเท่ากับการเปลี่ยนแรงดันโดยตรง เทคนิคนี้ทำให้ไม่ต้องใช้วงจรซับซ้อน แต่การเขียนโปรแกรมจะยุ่งยากขึ้นบ้าง

PWM นั้นโดยทั่วไปจะมีการสร้างลูกคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) ออกมาโดยกำหนดคาบของสัญญาณ (Period) ให้สั้นๆ ซึ่งปกติคาบจะจะมีค่าไม่เกิน 33 ms (30 Hz) สำหรับการทดลองทั่วไป และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อาจมีค่าน้อยถึง 0.01 ms (100KHz) หรือน้อยกว่าในงานอุตสาหกรรมบางชนิด หลักการสำคัญของ PWM คือการปรับเปลี่ยนความกว้างของลูกคลื่นในแต่ละคาบ โดยถ้าลูกคลื่นสั้นก็จะทำให้แรงดันเฉลี่ยที่ออกมามีค่าน้อย และถ้าลูกคลื่นยาวแรงดันเฉลี่ยก็จะมีค่ามากขึ้น จากรูปด้านล่าง V เฉลี่ย จะสูงหรือต่ำนั้นขึ้นอยู่กับความกว้างของลูกคลื่น ซึ่งความกว้างของลูกคลื่นนี้เรียกว่า pulse width หรือ Duty Cycle

Pulse width จะต้องน้อยกว่าค่าความยาวคาบเสมอ Duty Cycle จะมีหน่วยเป็น % ของความยาวคาบ เช่น ถ้าคาบ = 10 ms และ Duty Cycle = 40% นั่นหมายความว่า Pulse width = 10 ms * 0.4 = 4 ms เป็นต้น [8]

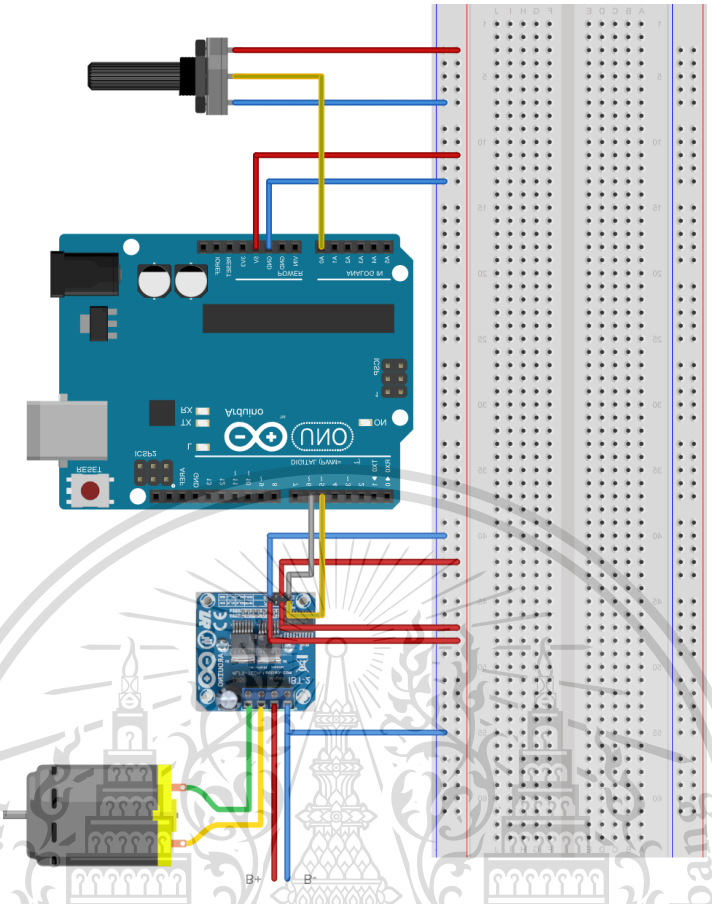


รูปที่ 2.17 Pulse Width Modulation

ตัวอย่างการใช้งาน บอร์ด Arduino ร่วมกับ Potentiometer เพื่อที่จะขับ IBT-2 โดยการ Full Reverse Speed จนถึง Full Forward Speed

IBT-2 (BTS7960) เป็นโมดูลขนาดกระทัดรัดสำหรับขับ Motor (PWM at 25 kHz ร่วมกับ active freewheeling) เหมาะสำหรับควบคุม High Power Motor โดยทำงานที่ 24 V และสามารถขับได้ที่กระแสสูงสุดถึง 43 A ที่มาพร้อมกับ Protection ต่างๆไม่ว่าจะเป็น Over-Voltage Under-Voltage Over-Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.18 การต่อ D.C. Motor ใช้งานร่วมกับ Arduino

โปรแกรมที่ 2.1 การขับ IBT-2 โดยการ Full Reverse Speed จนถึง Full Forward Speed [9]

```
/*
    IBT-2 Motor Control Board driven by Arduino.
    Speed and direction controlled by a potentiometer attached to analog input 0.
    One side pin of the potentiometer (either one) to ground; the other side pin to
+5V
    Connection to the IBT-2 board:
    IBT-2 pin 1 (RPWM) to Arduino pin 5 (PWM)
    IBT-2 pin 2 (LPWM) to Arduino pin 6 (PWM)
    IBT-2 pins 3 (R_EN), 4 (L_EN), 7 (VCC) to Arduino 5V pin
    IBT-2 pin 8 (GND) to Arduino GND
    IBT-2 pins 5 (R_IS) and 6 (L_IS) not connected
*/
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

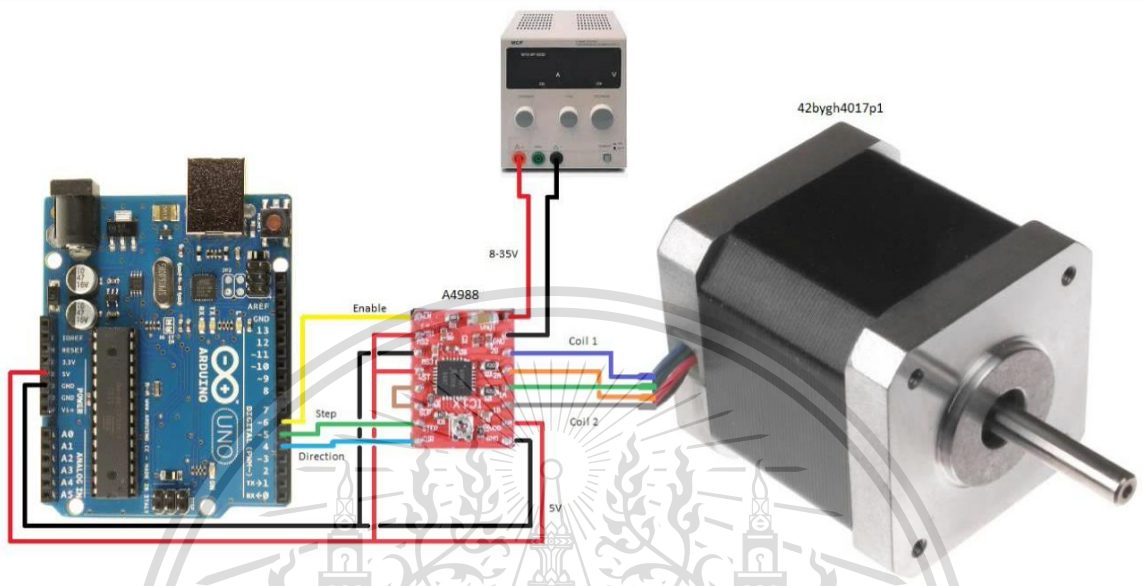
```
int SENSOR_PIN = 0; // center pin of the potentiometer
int RPWM_Output = 5; // Arduino PWM output pin 5; connect to IBT-2 pin 1 (RPWM)
int LPWM_Output = 6; // Arduino PWM output pin 6; connect to IBT-2 pin 2 (LPWM)

void setup(){
        pinMode(RPWM_Output, OUTPUT);
        pinMode(LPWM_Output, OUTPUT);
       }
void loop(){
       int sensorValue = analogRead(SENSOR_PIN);
       // sensor value is in the range 0 to 1023
       // the lower half of it we use for reverse rotation; the upper half for forward
rotation
       if (sensorValue < 512){
        // reverse rotation
        int reversePWM = -(sensorValue - 511) / 2;
        analogWrite(LPWM_Output, 0);
        analogWrite(RPWM_Output, reversePWM);
        }
        else{
       // forward rotation
       int forwardPWM = (sensorValue - 512) / 2;
       analogWrite(LPWM_Output, forwardPWM);
       analogWrite(RPWM_Output, 0);
       }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4 การควบคุมสเต็ปมอเตอร์ ด้วย Arduino

ตัวอย่างการใช้งาน บอร์ด Arduino ร่วมกับ A4988



รูปที่ 2.19 การต่อ Stepper Motor ใช้งานร่วมกับ Arduino

โปรแกรมที่ 2.2 การขับ Stepper Motor [10]

```
// Drive Stepper motor using A4988 stepper motor driver
// for more info visit iknowvations.in
// first define the pins
const int DirPin = 4;    // this pin defines direction CW or CCW
const int StepPin = 5;   // pulse this pin to move one step
const int SPR = 200;     // Steps per revolution
void setup(){
        // Make pins as Outputs
        pinMode(StepPin, OUTPUT);
        pinMode(DirPin, OUTPUT);
}
void loop(){
        // First let us rotate shaft clockwise
        digitalWrite(DirPin, HIGH);   // defines the direction to clockwise
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
        // Pulse the step pin
        for(int x = 0; x < SPR; x++){
                digitalWrite(StepPin, HIGH);
                delayMicroseconds(1000);
                digitalWrite(StepPin, LOW);
                delayMicroseconds(1000);
        }
        delay(1000); // Short delay of one second
        // Now rotate shaft counterclockwise
        digitalWrite(DirPin, LOW);
        // Again pulse the step pin
        for(int x = 0; x < SPR; x++){
                digitalWrite(StepPin, HIGH);
                delayMicroseconds(1000);
                digitalWrite(StepPin, LOW);
                delayMicroseconds(1000);
        }
        delay(1000); // Short delay of one second
}
```

2.5 โมดูลวัดกระแสไฟฟ้า สำหรับ Arduino

โมดูลวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน ให้สัญญาณออกมาเป็น Analog ใช้ต่อร่วมกับ Arduino ได้ในช่อง Analog โมดูลนี้ใช้ IC เบอร์ ACS712-05 เป็นเซนเซอร์วัดกระแส

ACS712 คือเซนเซอร์ที่อาศัยหลักการวัดการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก Hall Effect สามารถวัดได้ทั้งกระแสตรง DC และกระแสสลับ AC ให้เอาต์พุตออกมาเป็นโวลต์สัมพันกับกระแสที่วัดได้ มีฟังก์ชั่นป้องกันสัญญาณรบกวน ตอนสนองต่อการวัดได้รวดเร็ว เอาต์พุตมีความแม่นยำคลาดเคลื่อนประมาณ 1.5% สามารถเขียนโปรแกรมเพื่ออ่านค่าได้ง่าย

เซนเซอร์ ACS712 ประกอบด้วยวงจร Hall Effect เอาต์พุตแบบเชิงเส้น มีวงจรเหนี่ยวนำไฟฟ้าทองแดงตั้งอยู่รอบ ๆ พื้นผิวของตัวชิฟ ACS712 เมื่อกระแส AC หรือ DC ผ่านเส้นทองแดงจะเกิดการสร้างสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กไฟฟ้านี้ทำปฏิกิริยากับเซนเซอร์ Hall Effect แปลงแม่เหล็กไฟฟ้านี้เป็นแรงดันตามสัดส่วนของกระแสไฟฟ้าได้ทั้ง AC หรือ DC ขึ้นอยู่กับชนิดของกระแสไฟฟ้าอินพุต เรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สามารถใช้บอร์ด Arduino หรือไมโครคอนโทรเลอร์รุ่นอื่น ๆ วัดค่าแรงดันนี้ได้โดยตรง เพื่อแปลงค่ากลับมาเป็นกระแสไฟฟ้า

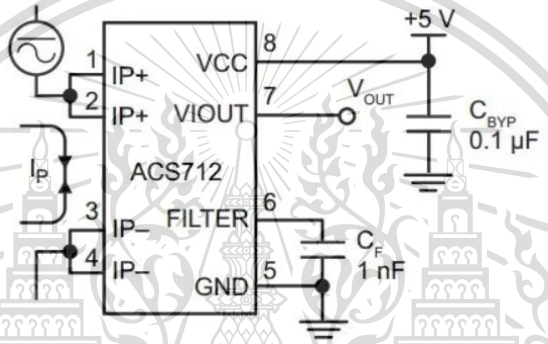
ขาของ ACS712 เซนเซอร์วัดกระแส ดังรูปนี้ ขา 1 2 และ 3 4 ใช้สำหรับวัดกระแส เราสามารถเชื่อมต่อที่ขานี้กับโหลดที่ต้องการวัดได้

ขา 6 กับ 5 ต่อ C สำหรับ filter ป้องกันสัญญาณรบกวน

ขา 5 ไฟกราวน์

ขา 8 ไฟเลี้ยง 5 V

ขา 7 เป็นขาเอาต์พุตที่วัดได้ หน่วยเป็นโวลต์



รูปที่ 2.20 ขาของ ACS712 เซนเซอร์วัดกระแส

เมื่อนำมาประกันตามวงจร ก็จะได้โมดูล ACS712 ดังนี้

รูปที่ 2.21 เซนเซอร์วัดกระแส ACS712

ตารางที่ 2.4 แสดงชนิดของเซนเซอร์วัดกระแส ACS712 (ACS712 Hall Effect Sensor มี 3 ชนิดให้เลือกใช้งาน 5A 20A 30A)

Part Number	Packing*	T_A (°C)	Optimized Range, I_P (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	–40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	–40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	–40 to 85	±30	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- ACS712-05B วัดกระแสได้ช่วง -5 A ถึง 5 A เอาต์พุต 185 mV/A แปลว่า ถ้าวัดได้แรงดันไฟฟ้าได้ 185 มิลลิโวลต์ แสดงว่ากระแสที่วัดได้คือ 1 แอมป์

- ACS712-20A วัดกระแสได้ช่วง -20 A ถึง 20 A เอาต์พุต 100 mV/A

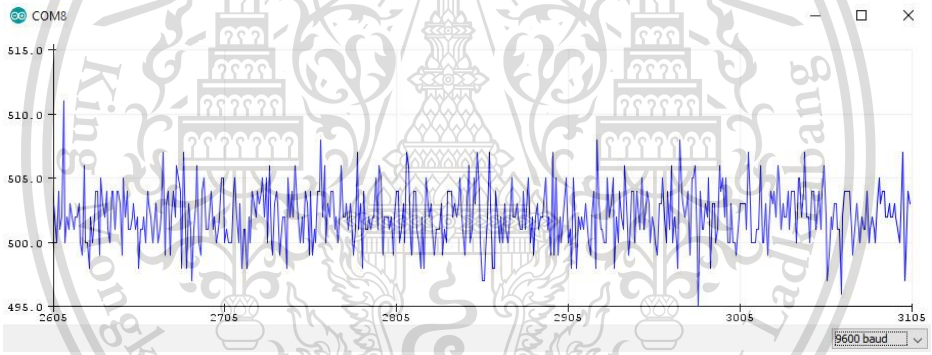
- ACS712-30A วัดกระแสได้ช่วง -30 A ถึง 30 A เอาต์พุต 66 mV/A

การคำนวนเอาต์พุตของ ACS712 ที่เป็นโวลต์ ให้เป็นค่ากระแสไฟฟ้า สามารถคำนวนได้ตามตัวอย่างนี้

เมื่อไม่มีกระแสไหลผ่านเซนเซอร์ ACS712 Hall Effect เอาพุตจะให้ค่า VCC/2 โดย VCC คือไฟเลี้ยงที่จ่ายให้กับเซนเซอร์

ถ้า VCC = 5 โวลต์ เอาต์พุตของ ACS712 จะมีค่าประมาณ 2.5V เมื่อไม่มีกระแสผ่านเซนเซอร์ ACS721

เช็คการทำงานของเซนเซอร์ ACS712 ด้วย Arduino โดยไม่จ่ายโหลด อ่านค่าจะได้ค่ากลาง ๆ 1024/2 ประมาณ 512 บวกลบนิดหน่อยขึ้นอ้างอิงกับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟ ดังกราฟนี้ จะวัดได้ประมาณ 502



รูปที่ 2.22 แสดงการเช็คการทำงานของเซนเซอร์ ACS712 ด้วย Arduino

ค่า 2.5 V นี้ คือแรงดันออฟเซต (voltage_offet) หรือค่า 0 ของการวัดกระแส
แรงดันเอาต์พุตจะเปลี่ยนแปลง ขึ้นลง ตามกระแสที่ผ่านเซนเซอร์ ACS712
ดังนั้นเราสามารถคำนวนกระแส DC โดยใช้คำสั่งนี้

adcvalue = analogRead(A0); // อ่านค่าจาก Analog ได้ค่า 0-1024

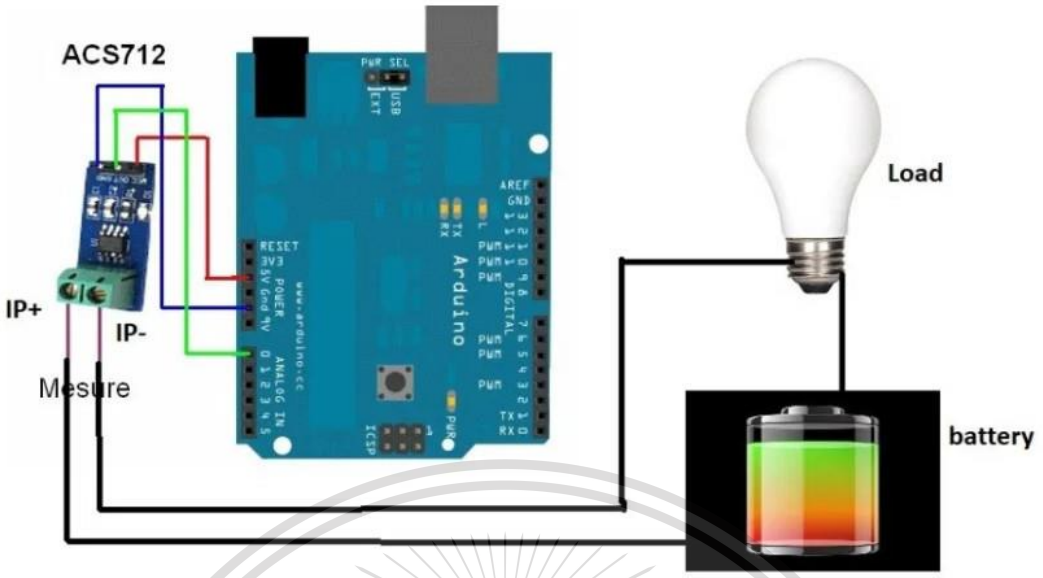
voltage = (adcvalue/1024.0)*5000; //แปลงค่าจาก 0-1024 ให้เป็น0-5 V

current = ((voltage-voltage_offset)/mVperAmp); // แปลงค่าให้เป็นกระแสไฟฟ้า

อุปกรณ์ทดลอง Arduino ACS712

- Arduino UNO R3 พร้อมสาย USB
- สายจัม ผู้-เมีย Jump Wire (Male to Female) สายแพ ยาว 20 cm. ขนาด 40 เส้น
- เซนเซอร์ ACS712

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.23 การต่อวงจร ACS712

โปรแกรมที่ 2.3 การใช้โมดูลวัดกระแสร่วมกับ Arduino [11]

```
int sensitive = 66; // สำหรับ 30 A
// int sensitive = 100; // สำหรับ 20 A
// int sensitive = 185; // สำหรับ 5 A
 int offset = 2525; // ค่าเริ่มต้น 2500 ปรับค่าตรงนี้เพื่อให้ค่ายังไม่มีโหลดเป็น 0.00
 void setup() {
        Serial.begin(9600);
}
 void loop() {
        double c = getCA();
        Serial.println(c);
        delay(1000);
}
 // หาค่ากระแสเฉลี่ย
double getCA() {
        int count = 200;
        double sum = 0;
        for (int i = 0; i < count; i++) {
        sum += getC();
        }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
        double val = sum / count;
        return val;
}
// อ่านค่ากระแส
double getC() {
        int a = analogRead(A0);
        double v = (a / 1024.0) * 5000;
        double c = (v - offset) / sensitive;
        return c;
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3
การสร้างเครื่องเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ และวิธีการดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการการสร้างเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติและดำเนินงานของโครงงาน ซึ่งมีเนื้อหาประกอบด้วย

1. การทดลองและคำนวณเพื่อหาค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้อง
2. การเลือกมอเตอร์มาใช้งาน
3. การออกแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ
4. ชิ้นส่วนอุปกรณ์ในการสร้างเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ
5. การสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ
6. การเขียนโค้ดควบคุมการทำงาน
7. หลักการทำงานของเครื่อง
8. หลักการทำงานของวงจร

3.1 การทดลองและคำนวณเพื่อหาค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 การทดสอบหาแรงบิด (Torque) ในการปิดฝาขวด

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ฝาขวด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 42 mm
2. ขวด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 54.6 mm
3. เครื่องชั่งสปริง
4. เทปกาว
5. แท่งอะลูมิเนียม ใช้เป็นระยะ L มีขนาดเท่ากับ 86 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.1 แสดงการทดลองเพื่อหาแรงบิดในการปิดฝาขวด

ตารางที่ 3.1 ผลการทดลอง

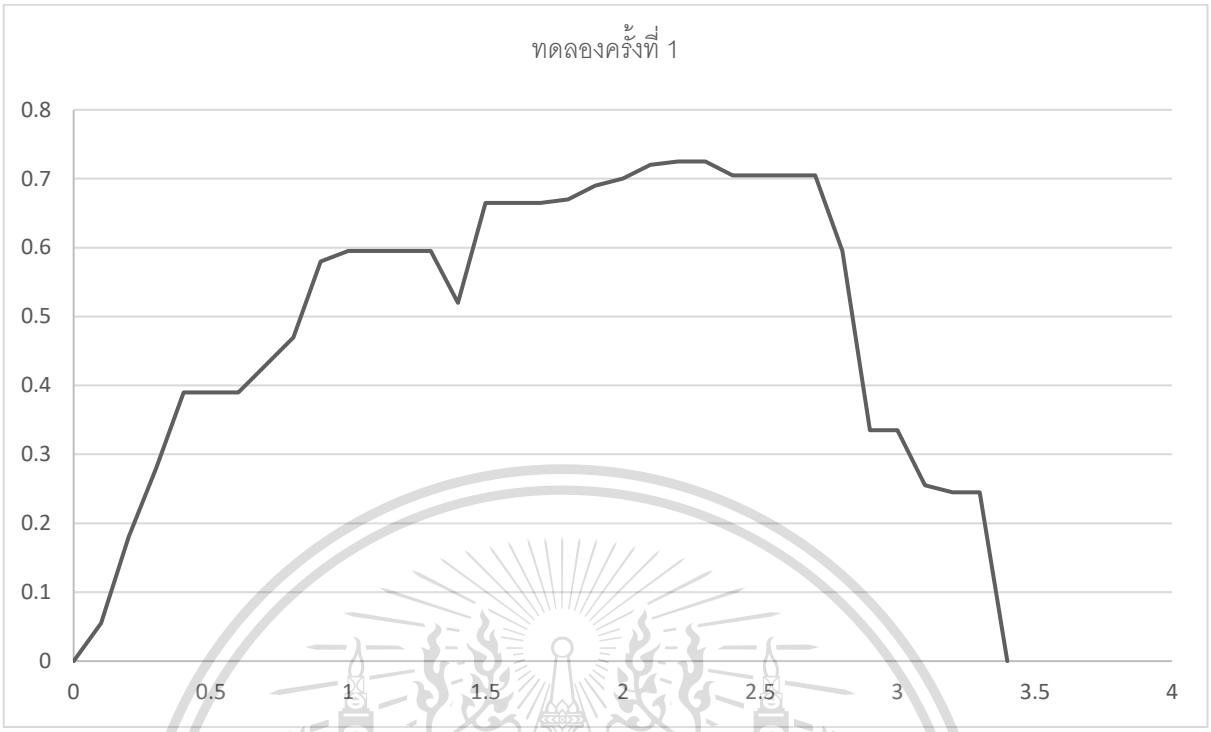
ทดลองครั้งที่ 1		ทดลองครั้งที่ 2		ทดลองครั้งที่ 3		ทดลองครั้งที่ 4		ทดลองครั้งที่ 5		ทดลองครั้งที่ 6	
เวลา (วินาที)	น้ำหนัก (*kg*)	เวลา (วินาที)	น้ำหนัก (*kg*)	เวลา (วินาที)	น้ำหนัก (*kg*)	เวลา (วินาที)	น้ำหนัก (*kg*)	เวลา (วินาที)	น้ำหนัก (*kg*)	เวลา (วินาที)	น้ำหนัก (*kg*)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	0.055	0.1	0.06	0.1	0.19	0.1	0.05	0.1	0.1	0.1	0.075
0.2	0.18	0.2	0.06	0.2	0.22	0.2	0.09	0.2	0.21	0.2	0.11
0.3	0.28	0.3	0.065	0.3	0.285	0.3	0.095	0.3	0.28	0.3	0.15
0.4	0.39	0.4	0.11	0.4	0.285	0.4	0.11	0.4	0.355	0.4	0.15
0.5	0.39	0.5	0.16	0.5	0.345	0.5	0.13	0.5	0.415	0.5	0.15
0.6	0.39	0.6	0.25	0.6	0.425	0.6	0.13	0.6	0.515	0.6	0.15
0.7	0.43	0.7	0.25	0.7	0.495	0.7	0.13	0.7	0.515	0.7	0.15
0.8	0.47	0.8	0.29	0.8	0.51	0.8	0.17	0.8	0.515	0.8	0.265
0.9	0.58	0.9	0.38	0.9	0.52	0.9	0.22	0.9	0.515	0.9	0.36
1	0.595	1	0.425	1	0.56	1	0.25	1	0.515	1	0.4
1.1	0.595	1.1	0.47	1.1	0.57	1.1	0.275	1.1	0.59	1.1	0.45
1.2	0.595	1.2	0.47	1.2	0.58	1.2	0.32	1.2	0.595	1.2	0.51
1.3	0.595	1.3	0.545	1.3	0.58	1.3	0.415	1.3	0.595	1.3	0.55
1.4	0.52	1.4	0.585	1.4	0.58	1.4	0.45	1.4	0.605	1.4	0.55
1.5	0.665	1.5	0.61	1.5	0.575	1.5	0.525	1.5	0.625	1.5	0.58
1.6	0.665	1.6	0.625	1.6	0.575	1.6	0.585	1.6	0.625	1.6	0.595
1.7	0.665	1.7	0.625	1.7	0.575	1.7	0.585	1.7	0.625	1.7	0.595
1.8	0.67	1.8	0.675	1.8	0.575	1.8	0.585	1.8	0.625	1.8	0.635
1.9	0.69	1.9	0.685	1.9	0.575	1.9	0.59	1.9	0.62	1.9	0.635
2	0.7	2	0.685	2	0.555	2	0.59	2	0.61	2	0.64

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

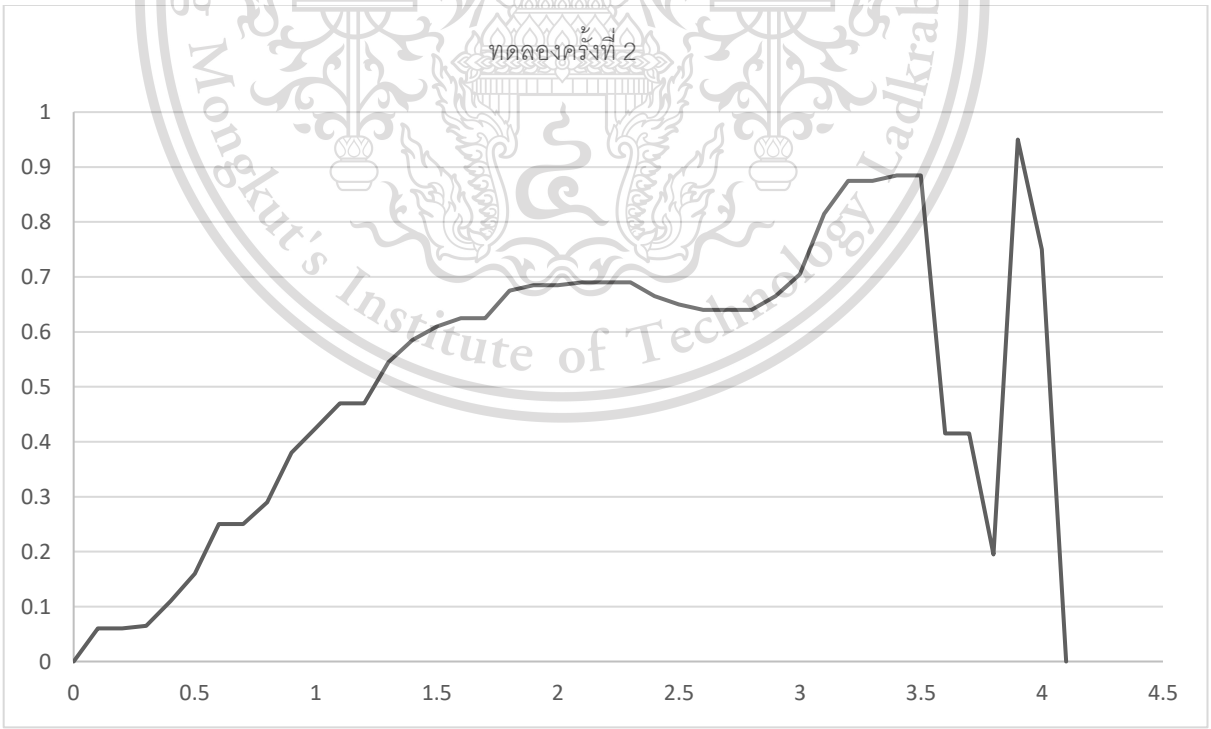
ตารางที่ 3.1 ผลการทดลอง (ต่อ)

ทดลองครั้งที่ 1		ทดลองครั้งที่ 2		ทดลองครั้งที่ 3		ทดลองครั้งที่ 4		ทดลองครั้งที่ 5		ทดลองครั้งที่ 6	
เวลา (วินาที)	น้ำหนัก (*kg*)	เวลา (วินาที)	น้ำหนัก (*kg*)	เวลา (วินาที)	น้ำหนัก (*kg*)	เวลา (วินาที)	น้ำหนัก (*kg*)	เวลา (วินาที)	น้ำหนัก (*kg*)	เวลา (วินาที)	น้ำหนัก (*kg*)
2.1	0.72	2.1	0.69	2.1	0.455	2.1	0.59	2.1	0.56	2.1	0.67
2.2	0.725	2.2	0.69	2.2	0.325	2.2	0.6	2.2	0.56	2.2	0.67
2.3	0.725	2.3	0.69	2.3	0.205	2.3	0.61	2.3	0.56	2.3	0.685
2.4	0.705	2.4	0.665	2.4	0.175	2.4	0.615	2.4	0.56	2.4	0.685
2.5	0.705	2.5	0.65	2.5	0.135	2.5	0.65	2.5	0.59	2.5	0.685
2.7	0.705	2.7	0.64	2.7	0.07	2.7	0.65	2.7	0.64	2.7	0.69
2.8	0.595	2.8	0.64	2.8	0.07	2.8	0.64	2.8	0.69	2.8	0.69
2.9	0.335	2.9	0.665	2.9	0	2.9	0.615	2.9	0.7	2.9	0.68
3	0.335	3	0.705			3	0.615	3	0.69	3	0.67
3.1	0.255	3.1	0.815			3.1	0.605	3.1	0.66	3.1	0.66
3.2	0.245	3.2	0.875			3.2	0.585	3.2	0.5	3.2	0.66
3.3	0.245	3.3	0.875			3.3	0.585	3.3	0.41	3.3	0.675
3.4	0	3.4	0.885			3.4	0.585	3.4	0.24	3.4	0.71
		3.5	0.885			3.5	0.585	3.5	0.21	3.5	0.75
		3.6	0.415			3.6	0.585	3.6	0.165	3.6	0.75
		3.7	0.415			3.7	0.595	3.7	0.15	3.7	0.75
		3.8	0.195			3.8	0.61	3.8	0.13	3.8	0.565
		3.9	0.95			3.9	0.655	3.9	0.08	3.9	0.405
		4	0.75			4	0.69	4	0	4	0.19
		4.1	0			4.1	0.705			4.1	0.12
						4.2	0.745			4.2	0.1
						4.3	0.745			4.3	0
						4.4	0.745				
						4.5	0.65				
						4.6	0.59				
						4.7	0.545				
						4.8	0.41				
						4.9	0.24				
						5	0.11				
						5.1	0.09				
						5.2	0				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

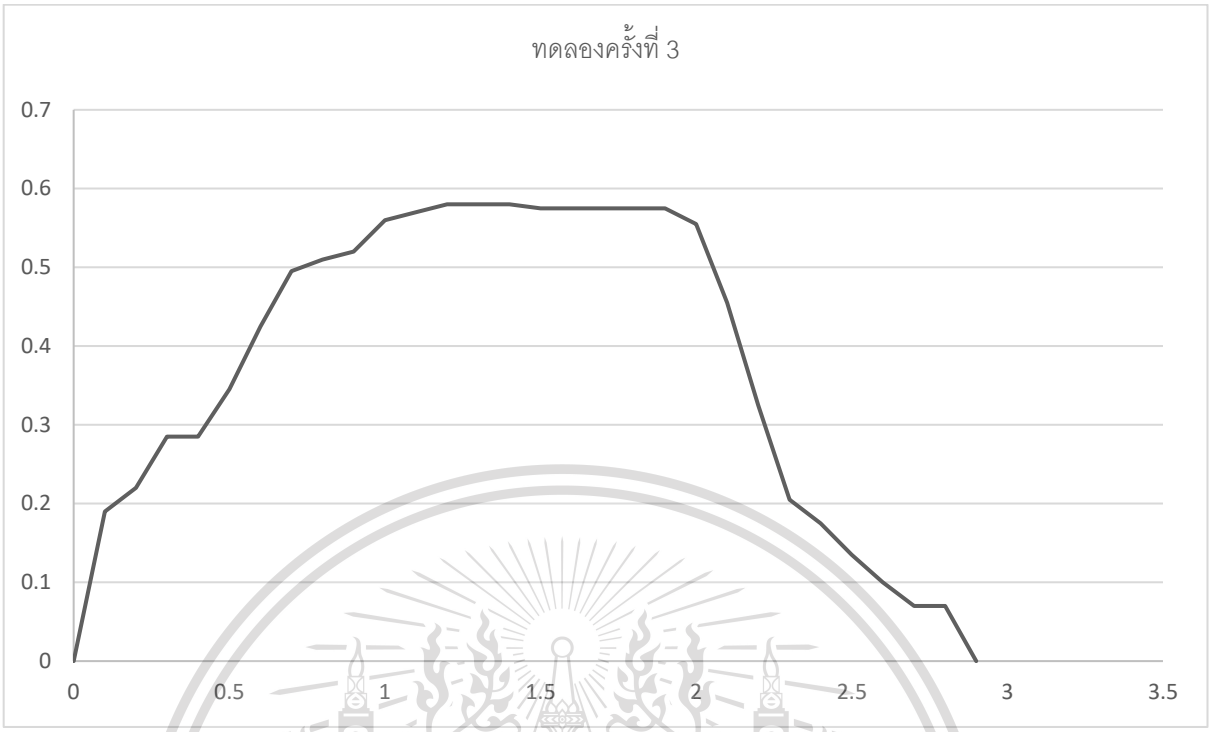


รูปที่ 3.2 การฟแสดงผลการทดลองครั้งที่ 1

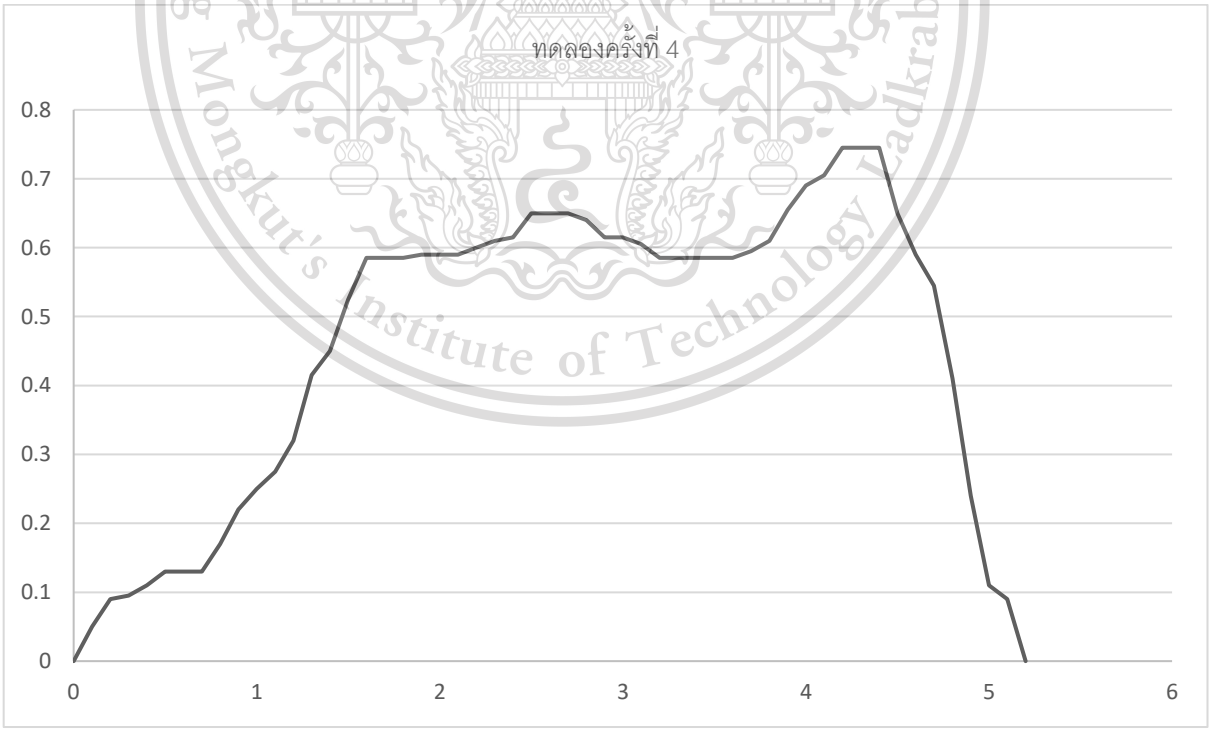


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.3 การฟแสดงผลการทดลองครั้งที่ 2

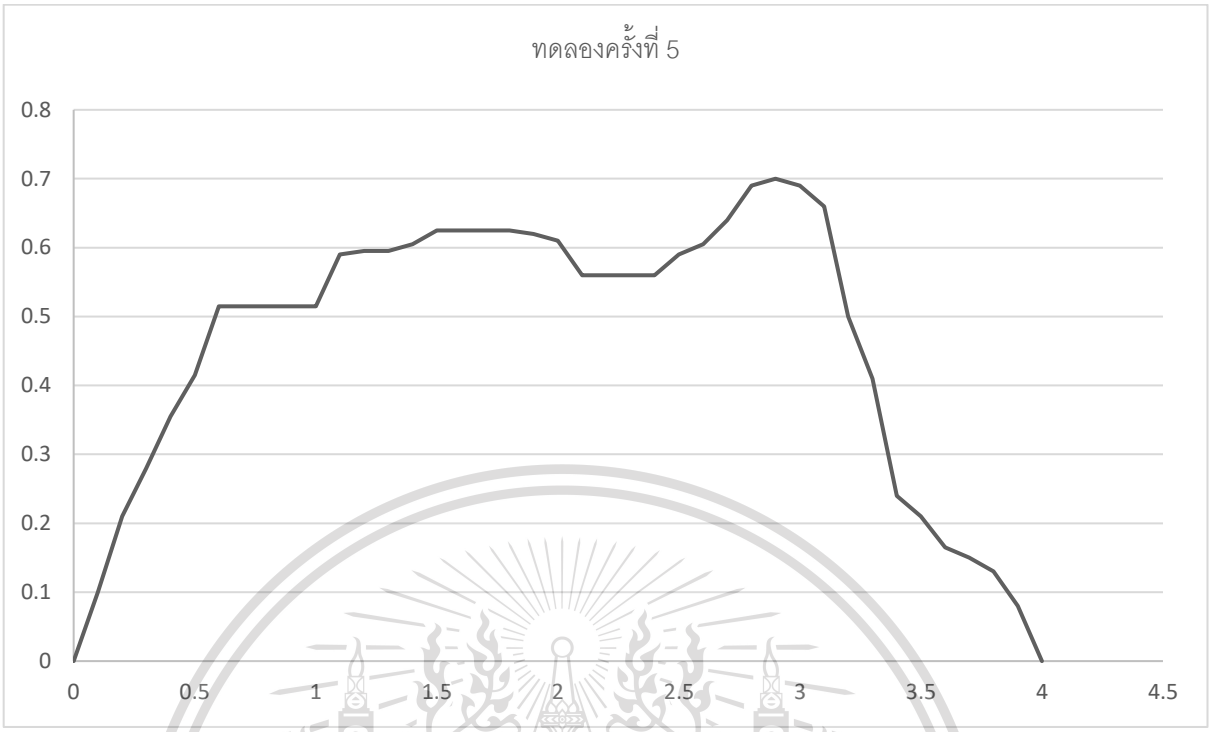


รูปที่ 3.4 การฟแสดงผลการทดลองครั้งที่ 3

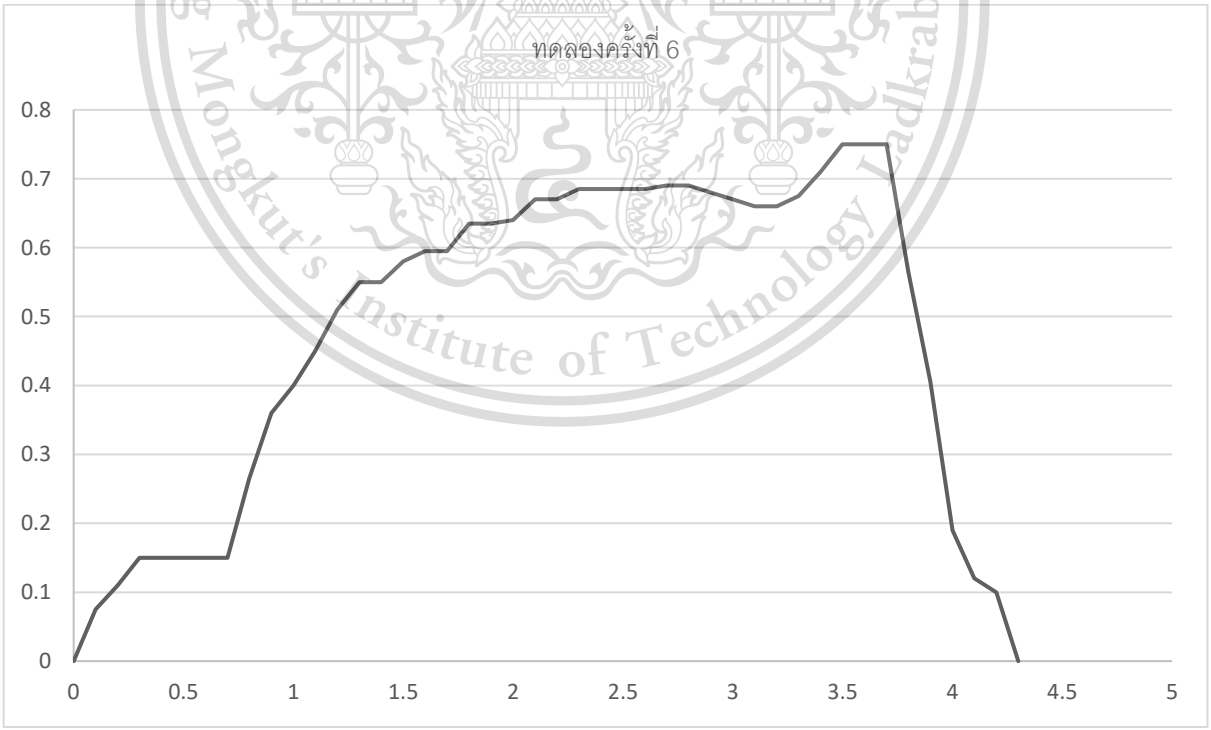


รูปที่ 3.5 การฟแสดงผลการทดลองครั้งที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

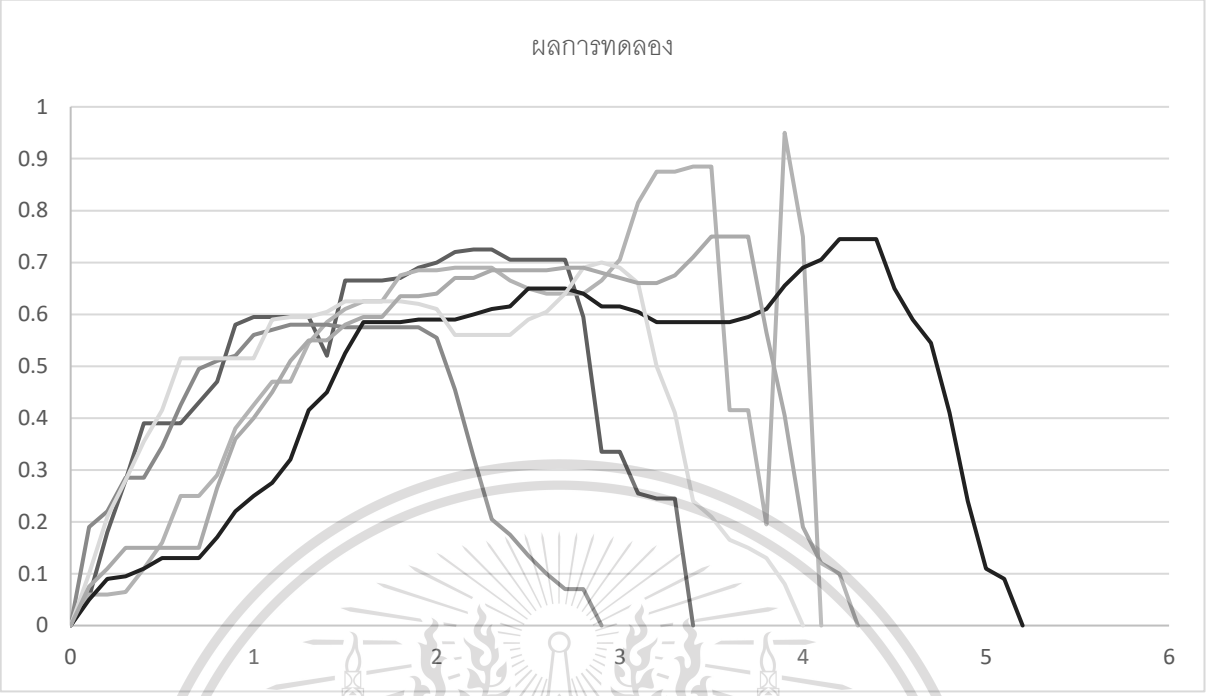


รูปที่ 3.6 การฟแสดงผลการทดลองครั้งที่ 5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.7 การฟแสดงผลการทดลองครั้งที่ 6



รูปที่ 3.8 การฟแสดงผลการทดลองทั้ง 6 ครั้ง

ในการทดลองนี้ได้ทำการทดลองหลายครั้งเพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำที่สุด โดยจะเลือกค่าที่มากที่สุดมาใช้สำหรับคำนวณหาแรงบิด (Torque) เพื่อที่จะเลือกมอเตอร์ได้เหมาะสมสำหรับการออกแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ

กราฟที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นลักษณะแรงที่ใช้สำหรับการปิดฝาขวด ซึ่งกราฟที่ได้จะมีลักษณะที่คล้ายๆกันคือ แรงค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึงค่ามากที่สุดแล้วก็จะตกลงมาที่ศูนย์ ในการทดลองนี้ได้ค่ามากที่สุดสำหรับการปิดฝาขวด เท่ากับ 0.885 kg คิดเป็นแรงเท่ากับ 0.855 kg * 9.8 m/s^2 = 8.673 N และนำไปคำนวณหาแรงบิด ด้วยสมการ (3.1) (ระยะ L ที่ใช้ทดลอง เท่ากับ 0.0086 m)

$$\vec{\tau} = \vec{F} \times L \tag{3.1}$$

$$\tau = 8.673\ (\mathrm{N}) \cdot 0.0086\ (\mathrm{m})$$

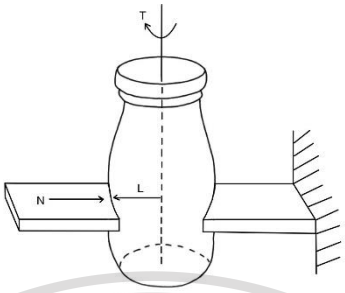
$$\tau = 0.7199\ (\mathrm{N.m})$$

จากการทดลองนี้ ทำให้ทราบแรงบิด (Torque) สำหรับการปิดฝาขวด มีค่าเท่ากับ 0.7199 N.m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.2 คำนวณหาขนาดของแรงบิดมอเตอร์ที่ใช้จับขวด

จากการทดลองหาแรงบิด (Torque) สำหรับการปิดฝาขวด มีค่าเท่ากับ 0.7199 N.m ก็นำมาคำนวณต่อเพื่อหาแรงที่ใช้สำหรับจับขวด ด้วยสมการ (3.2)



รูปที่ 3.9 แสดงทิศทางของแรงที่ใช้สำหรับจับขวด

$$F = \frac{\tau}{L} \tag{3.2}$$

τ คือ แรงบิด (Torque) มีหน่วยเป็น N.m

F คือ แรง มีหน่วยเป็น N

L คือ ระยะระยะทางตั้งฉากจากจุดหมุนมายังแนวแรง มีหน่วยเป็น m (จากภาพ L คือ รัศมีของขวด)

$$F_f = \mu N \tag{3.3}$$

F_f คือ แรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส มีหน่วยเป็น N

μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงสียดทาน (ใช้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่าง Rubber on Glass)

N คือ แรงตั้งฉากกับผิวสัมผัส มีหน่วยเป็น N

Static & Kinetic Friction Coefficients

Material	Coefficient of Static Friction μ_s	Coefficient of Kinetic Friction μ_s
Rubber on Glass	2.0+	2.0
Rubber on Concrete	1.0	0.8
Steel on Steel	0.74	0.57
Wood on Wood	0.25 – 0.5	0.2
Metal on Metal	0.15	0.06
Ice on Ice	0.1	0.03
Synovial Joints in Humans	0.01	0.003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.10 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน [2]

แรงที่ใช้สำหรับจับขวดควรจะต้องมากกว่าแรงที่เกิดจากแรงบิดปิดฝาขวด จึงได้สมการ

$$F_f > F \tag{3.4}$$

$$\mu N > \frac{\tau}{L} \tag{3.5}$$

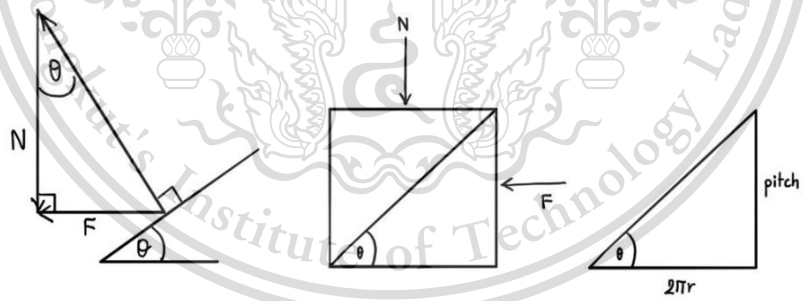
$$N > \frac{\tau}{\mu L} \tag{3.5}$$

$$N > \frac{0.7119\ (N.m)}{2 \times 27.3 \times 10^{-3}\ (m)}$$

$$N > 13.185\ (N)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ว่า แรงที่ใช้สำหรับจับขวดต้องมีค่ามากกว่า 13.185 N

จากการคำนวณแรงที่ใช้จับขวด มีค่ามากกว่า 13.185 N ก็นำมาคำนวณต่อเพื่อหาแรงบิดที่ใช้สำหรับจับขวด สำหรับการออกแบบเราได้เลือกบอลสกรู (Ball Screw Pitch: P) ที่มีระยะ Pitch เท่ากับ 13 mm และเส้นผ่านศูนย์กลางของบอลสกรู (Ball Screw Diameter: D) กำหนดให้เส้นผ่านศูนย์กลางของบอลสกรู เท่ากับ 11 mm



รูปที่ 3.11 แสดงที่มาสมการ (3.6)

$$\tan\theta = \frac{\text{pitch}}{2\pi r} = \frac{F}{N} \tag{3.6}$$

$$N = F \cdot \frac{2\pi r}{\text{pitch}} \tag{3.7}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$N = \frac{\tau}{r} \cdot \frac{2\pi r}{\text{pitch}} > 13.185$$

$$\tau > \frac{\text{pitch} \cdot r \cdot 13.185}{2\pi r}$$

$$\tau > \frac{0.013 \cdot 13.185}{2\pi}$$

$$\tau > 0.0272 \text{ N.m}$$

จะได้ว่า แรงบิดที่ใช้สำหรับควบคุมการจับขวดนั้นต้องมีค่ามากกว่า 0.0272 N.m ซึ่งจะนำค่าที่ได้นี้ไปเลือกมอเตอร์มาใช้ออกแบบเครื่องให้มีความเหมาะสม

3.1.3 คำนวณหาขนาดของแรงบิดมอเตอร์ที่ใช้ในระบบกลไกควบคุมแกน Z

ระยะพิตช์ของบอลสกรู (Ball Screw Pitch: P) กำหนดให้ระยะพิตช์ P = 1.25 mm

เส้นผ่านศูนย์กลางของบอลสกรู (Ball Screw Diameter: D) กำหนดให้เส้นผ่านศูนย์กลางของบอลสกรู D = 8 mm

$$\frac{\text{pitch}}{\pi D} = \frac{F}{N} \tag{3.8}$$

$$F = \frac{\text{pitch} \cdot N}{\pi D} \tag{3.9}$$

$$F = \frac{1.25 \cdot 1.8 \cdot 9.8}{\pi \cdot 8}$$

$$F = 0.8778 \text{ (N)}$$

$$\vec{\tau} = \vec{F} \times L \tag{3.10}$$

$$\tau = 0.8778 \text{ (N)} \cdot 4 \text{ (mm)}$$

$$\tau = 0.00351 \text{ (N.m)}$$

เพราะฉะนั้นจะได้ว่าขนาดของแรงบิดมอเตอร์ที่จะนำมาใช้ต้องมีค่ามากกว่า 0.00351 N.m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 การเลือกมอเตอร์มาใช้งาน

3.2.1 มอเตอร์ใช้สำหรับควบคุมการปิดขวด เลือกใช้เป็นสเต็ปมอเตอร์ (Stepper Motor)

การทำงานของ Stepping Motor หรือ Stepper Motor นั้นจะให้ค่าที่แม่นยำ และเราได้เลือกเป็น Nema 17 Stepper Motor Gear Ratio 5:1 เนื่องจากมีค่าแรงบิดมากกว่าที่เราคำนวณได้

รูปที่ 3.12 Nema 17 Stepper Motor Gear Ratio 5:1

Specification : Maximum torque 2 nm
Permissible torque of 4 Nm
Max Axial Load Axle 50 N
Maximum radial load shaft 100 N
Gear Ratio:5.18:1
Gear ratio (exact gear ratio) 5 + 2/11
Recommended voltage 12-24 V
Step angle (with gearbox) 1.8 °

3.2.2 มอเตอร์ใช้สำหรับควบคุมการจับขวด เลือกใช้เป็นมอเตอร์กระแสตรง

การควบคุมแกน X เราต้องการควบคุมให้แกนเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและถอยหลัง จึงเลือกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Motor) เพราะเมื่อกลับขั้วของการจ่ายไฟมอเตอร์ก็จะหมุนกลับทิศทาง ซึ่งการใช้มอเตอร์กระแสตรงก็เพียงพอแล้ว

รูปที่ 3.13 D.C. Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

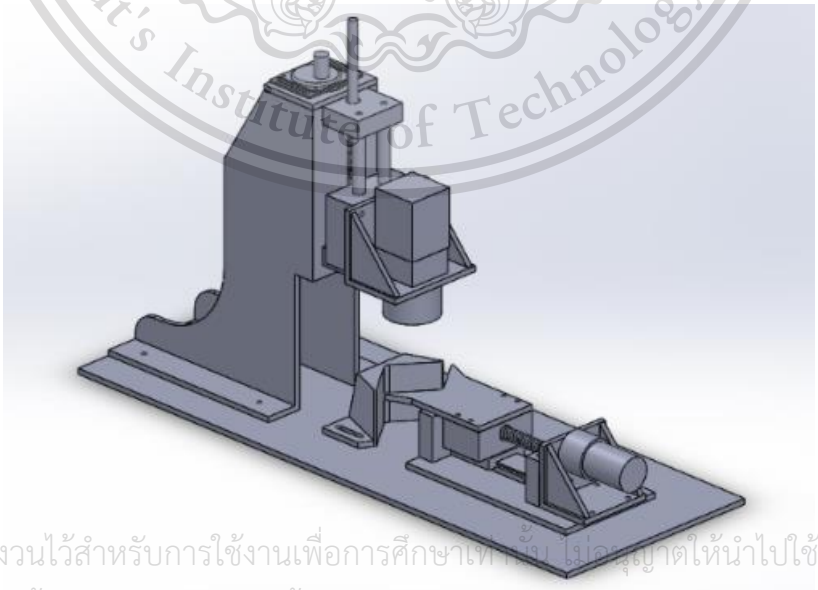
3.2.3 มอเตอร์ที่ใช้ในระบบกลไกควบคุมแกน Z เลือกใช้เป็นมอเตอร์กระแสตรง

การควบคุมแกน Z เป็นการควบคุมการเคลื่อนที่ขึ้นลงของชุดอัดปิดฝาขวด และเราต้องการควบคุมให้แกนเคลื่อนที่ขยับขึ้นลงตามระดับที่ต้องการ จึงเลือกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Motor) เพราะเมื่อกลับขั้วของการจ่ายไฟมอเตอร์ก็จะหมุนกลับทิศทาง ซึ่งการใช้มอเตอร์กระแสตรงก็เพียงพอแล้ว

รูปที่ 3.14 D.C. Motor

3.3 การออกแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ

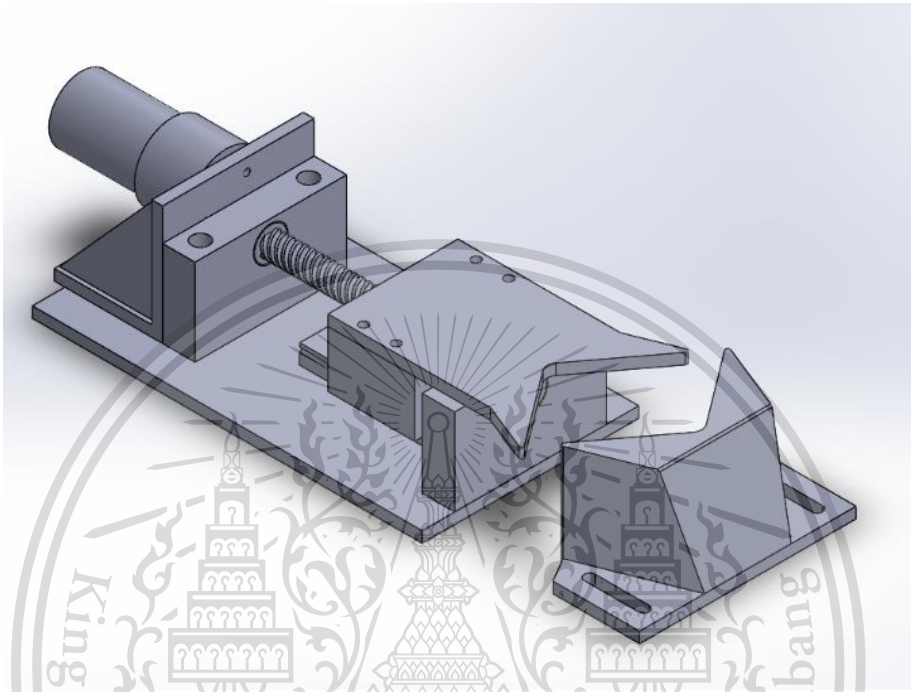
จากการทดลองและคำนวณหาแรงบิด เพื่อเลือกมอเตอร์มาใช้ในการออกแบบเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ เมื่อได้มอเตอร์ที่เหมาะสมแล้ว จึงได้ทำการออกแบบเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ ตามขนาดจริงตามส่วนประกอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.15 คือภาพของเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ ที่ออกแบบในโปรแกรม Solidworks



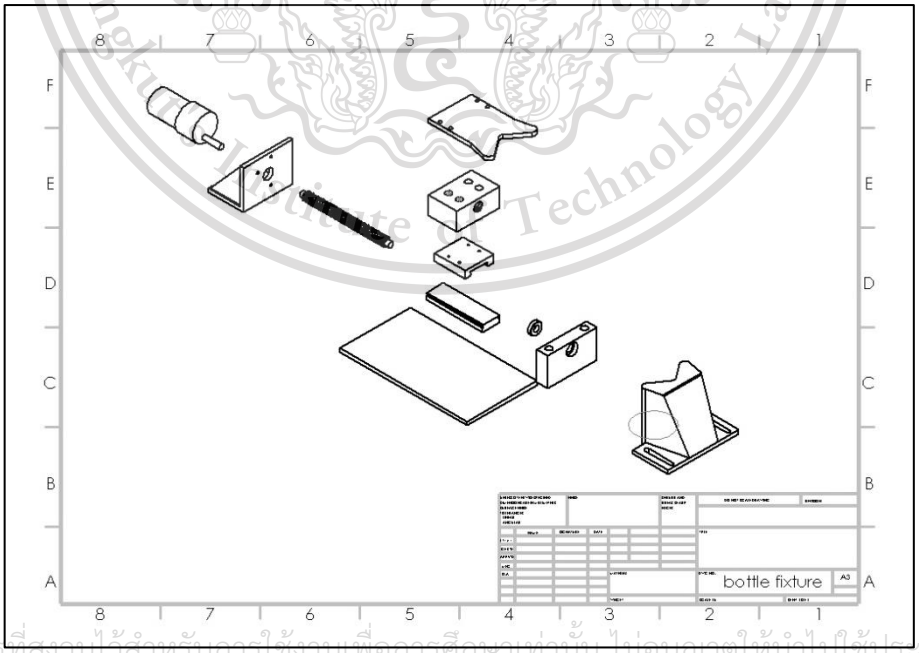
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.15 ภาพของเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ ที่ออกแบบในโปรแกรม Solidworks

การออกแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัตินี้ เราได้แบ่งเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือส่วนที่ 1 อยู่ในแนวแกน X เป็นส่วนที่ใช้สำหรับการจับขวดเพื่อที่จะทำการปิดขวด แสดงในรูปที่ 2.16 และส่วนที่ 2 อยู่ในแนวแกน Z เป็นส่วนชุดอัดปิดฝาขวดแสดงในรูปที่ 2.18

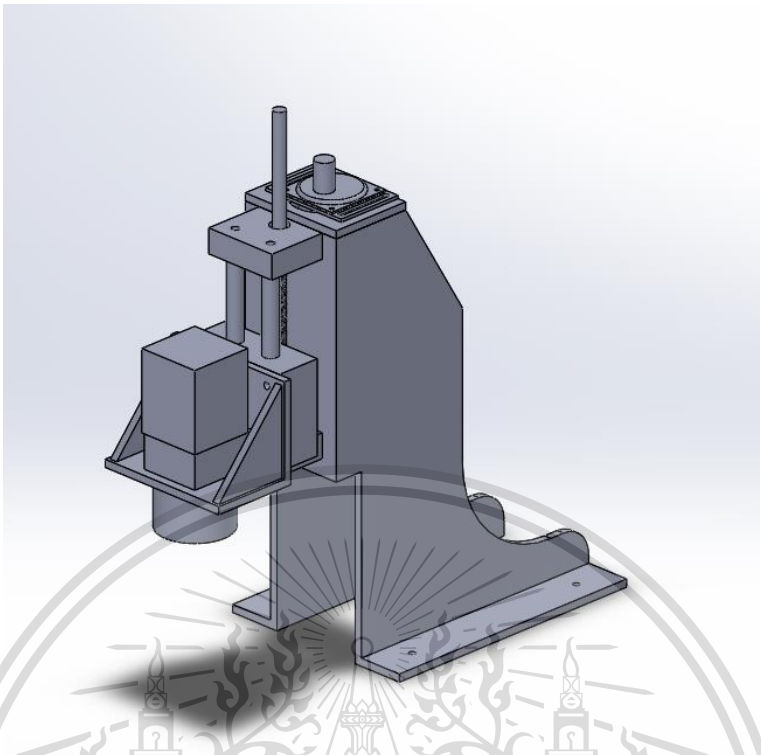


รูปที่ 3.16 แนวแกน X เป็นส่วนที่ใช้สำหรับการจับขวด

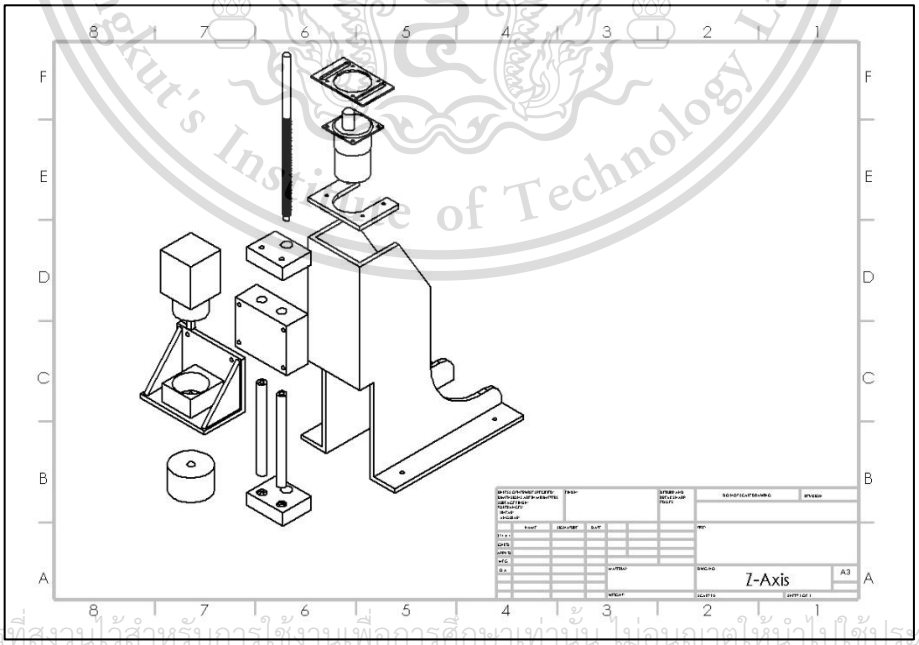


รูปที่ 3.17 ภาพแยกชิ้นส่วนของแนวแกน X เป็นส่วนที่ใช้สำหรับการจับขวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.18 แนวแกน Z เป็นส่วนชุดอัดปิดฝาขวด



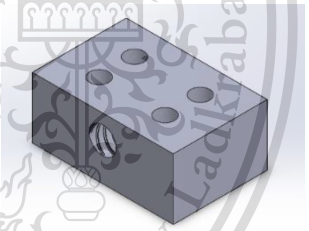
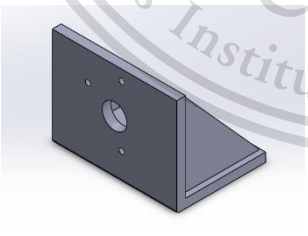
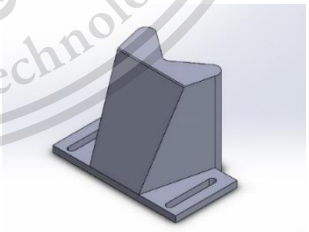
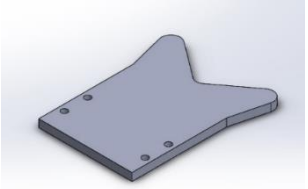
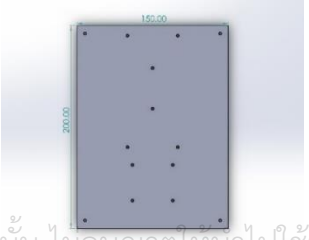
รูปที่ 3.19 ภาพแยกชิ้นส่วนของแนวแกน Z เป็นส่วนชุดอัดปิดฝาขวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.4 ชิ้นส่วนอุปกรณ์ในการสร้างเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ

3.4.1 ชิ้นส่วนอุปกรณ์ของแนวแกน X

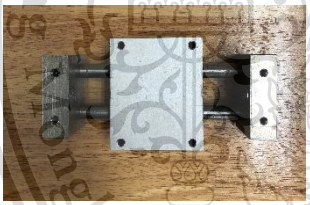
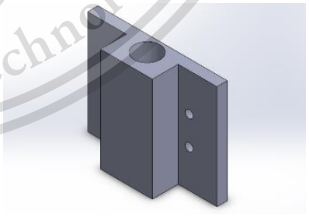
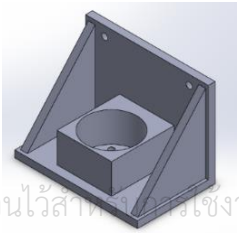
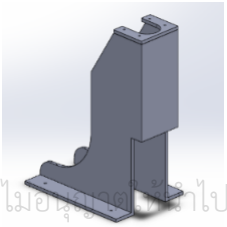
ตาราง 3.2 แสดงชิ้นส่วนอุปกรณ์ของแนวแกน X

D.C. motor	Linear Guide Way
Screw	Bearing
	
	
	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.4.2 ชิ้นส่วนอุปกรณ์ของแนวแกน Z

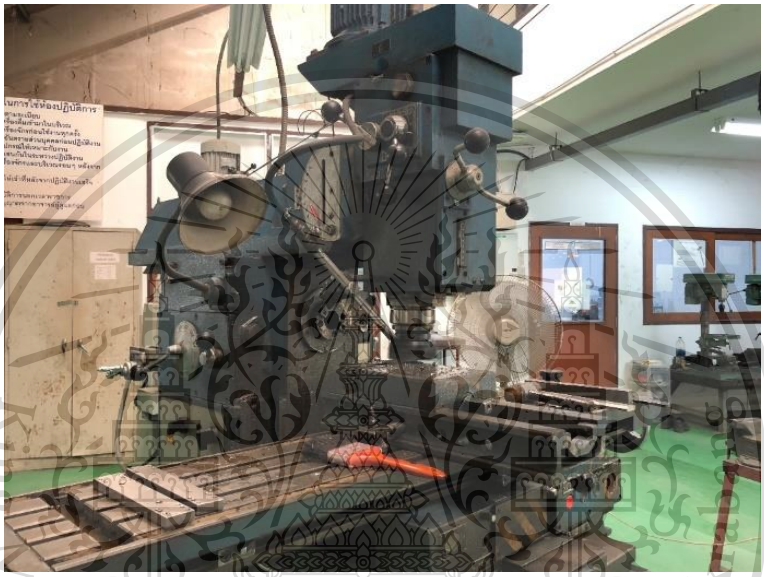
ตาราง 3.3 แสดงชิ้นส่วนอุปกรณ์ของแนวแกน Z

 Stepper Motor	 D.C. Motor
 สายพาน	 Gear
 Linear Guide Way	 Screw
 หัวปิดฝา	 ส่วนยึด Linear Guide Way กับ Screw
 ชิ้นส่วนสำหรับติด Stepper Motor	 โครงสร้างของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5 การสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ

ในการสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัตินี้ ได้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือในส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟแวร์ โดยในขั้นตอนแรกก็ดำเนินการทำในส่วนฮาร์ดแวร์ ซึ่งมีการนำความรู้ในการใช้เครื่องมือช่าง การใช้เครื่องจักร อาทิเช่น เครื่องกัด เครื่องกลึง เครื่องเชื่อม เครื่องปริ้นสามมิติ ในการประดิษฐ์ชิ้นส่วนหรือชิ้นงานต้นแบบ และในส่วนของซอฟแวร์ มีการนำความรู้ในเรื่องการเขียนโค้ด การต่อวงจร การบัดกรี มาประกอบเป็นชุดวงจรสำหรับใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่อง



รูปที่ 3.20 เครื่อง Milling

รูปที่ 3.21 เครื่องกลึง

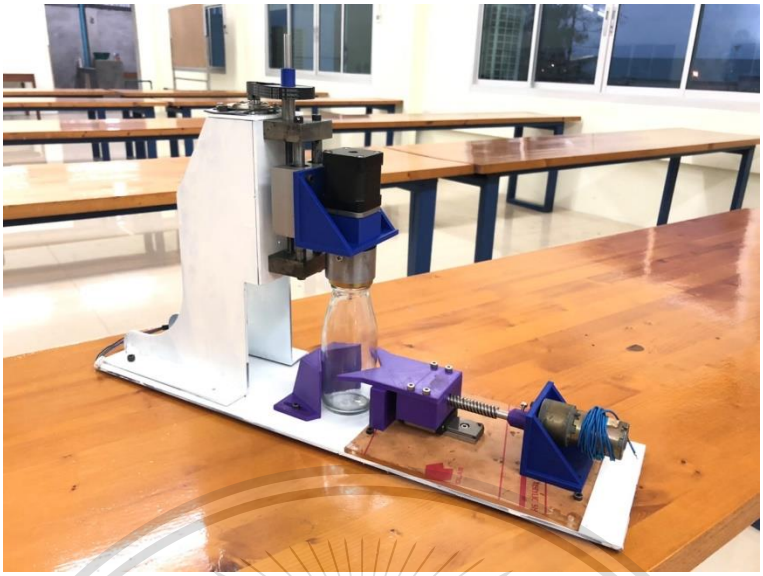
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.22 เครื่องปริ้น 3D

รูปที่ 3.23 เครื่องตัดเลเซอร์

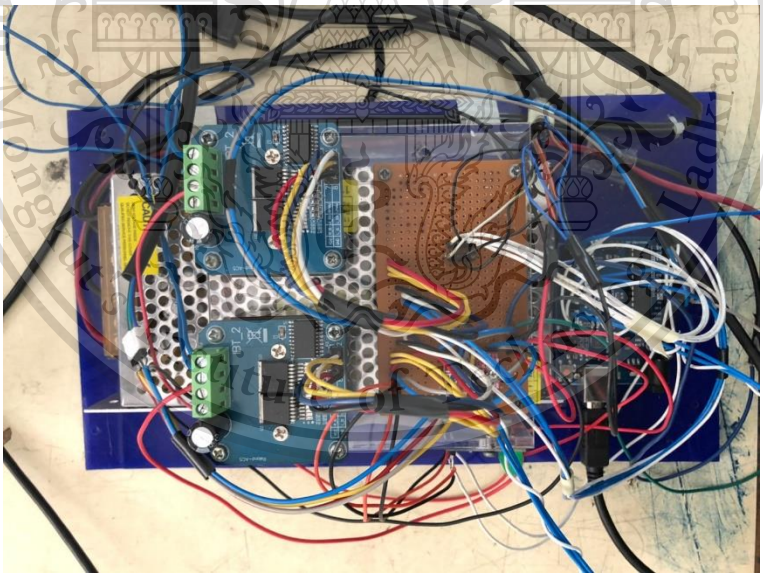
ชิ้นส่วนอุปกรณ์ในการสร้างเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติที่เราสร้างขึ้นนี้ได้มาจากการใช้เครื่องจักรต่างๆ หรือมาจากชิ้นงานมาตรฐาน เราก็นำมาประกอบเป็นเครื่องจำลองเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ ดังแสงในรูปที่ 3.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



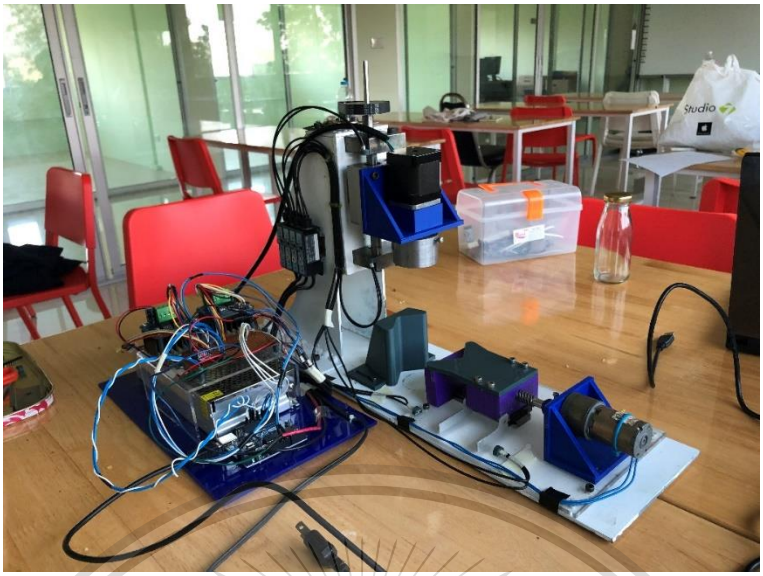
รูปที่ 3.24 เครื่องจำลองเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ

เมื่อเราได้ประกอบเป็นเครื่องขึ้นมาแล้ว ก็ดำเนินการต่อในส่วนของซอฟแวร์ ซึ่งเราต้องมีการต่อวงจรประกอบเป็นชุดวงจรสำหรับใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่อง แสดงดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 ชุดวงจรควบคุม

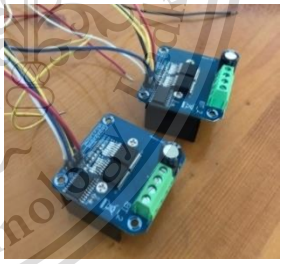
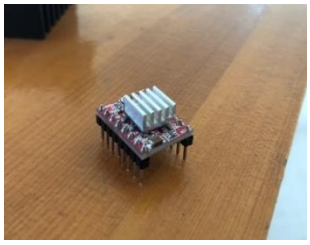
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.26 เครื่องจำลองเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติพร้อมชุดวงจรควบคุม

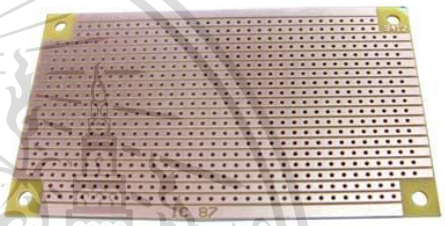
โดยในส่วนของวงจรจะประกอบด้วยชิ้นส่วนดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ชิ้นส่วนอุปกรณ์สำหรับสร้างชุดวงจร

 Power Supply	 IBT-2 (BTS7960) เป็นโมดูลควบคุม D.C. Motor
 บอร์ด Arduino	 A4988 เป็นโมดูลควบคุม Stepper Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.4 ชิ้นส่วนอุปกรณ์สำหรับสร้างชุดวงจร (ต่อ)

 โมดูลวัดกระแส ACS712	 เซนเซอร์
 สายไฟ	 แผ่นปริ้น IC-87

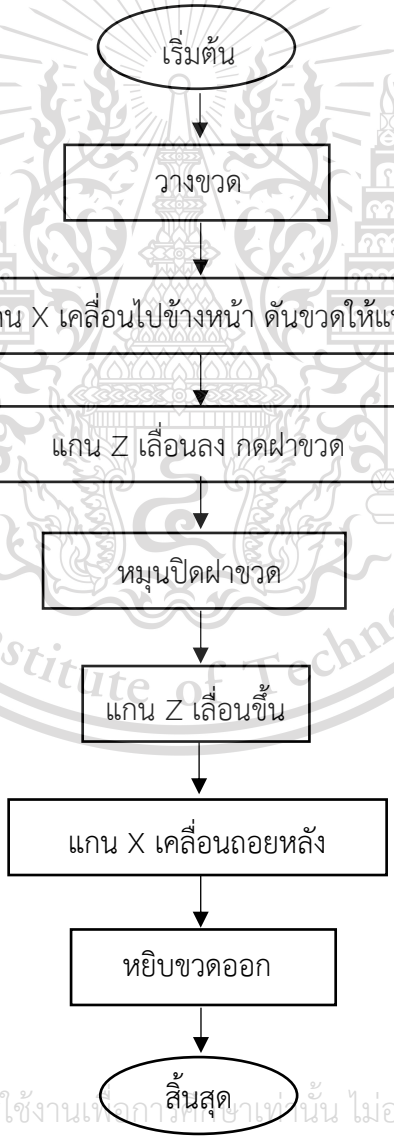
3.6 การเขียนโค้ดคำสั่งควบคุมการทำงาน

ใช้โปรแกรม Arduino ในการเขียนโค้ดคำสั่งควบคุมการทำงาน ซึ่งในโค้ดที่เราเขียนเราได้แบ่งชุดคำสั่งเป็นส่วน ๆ อาทิเช่น คำสั้งสำหรับควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง คำสั่งควบคุมสเต็ปมอเตอร์ เป็นต้น จากนั้นจะเรียกชื่อมาใช้ในการเขียนคำสั่งการทำงาน โดยจะเขียนคำสั่งการทำงานตามลำดับการทำงานของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.7 หลักการทำงานของเครื่อง

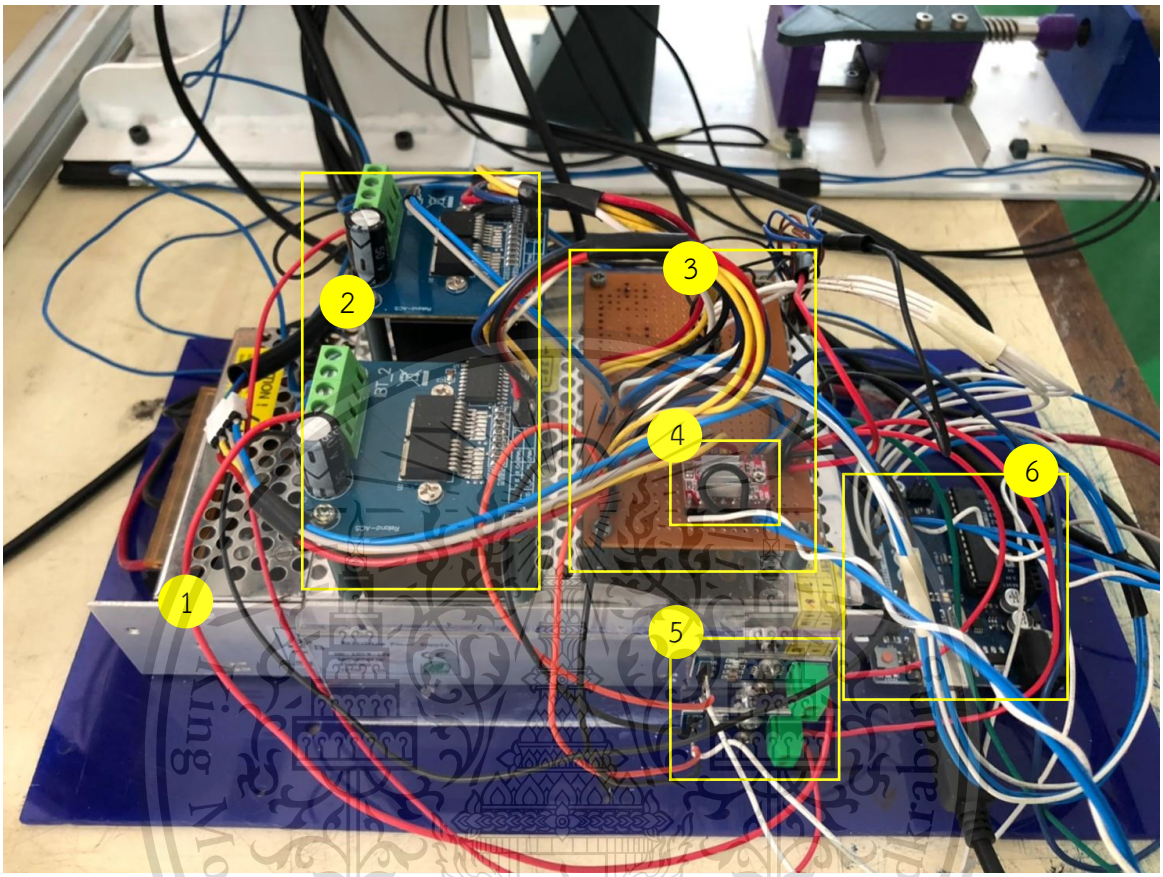
หลักการทำงานของเครื่องจะใช้มอเตอร์ในการควบคุมการทำงาน และมีเซนเซอร์สำหรับการอ่านค่าและใช้เป็นตัวป้อนคำสั่งให้มอเตอร์ทำงาน ซึ่งการทำงานของเครื่องจะมี 7 ขั้นตอนหลักๆด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.27 เริ่มตั้งแต่นำขวดพร้อมฝามาวางในตำแหน่งที่กำหนดไว้ เมื่อเซนเซอร์อ่านค่าได้ ก็จะสั่งมอเตอร์ให้ทำงาน โดยที่แกน X จะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าดันขวดให้แน่น และเซนเซอร์ตัวต่อไปที่อ่านค่าได้ก็จะไปสั่งให้แกน Z เคลื่อนที่ลงเพื่อกดฝาขวด เมื่อได้ตำแหน่งที่ตั้งไว้ เซนเซอร์ก็จะอ่านค่าได้ ถัดไปก็จะสั่งให้ชุดหัวปิดฝาขวดหมุนเพื่อทำการปิดขวดให้แน่น และในการหมุนปิดขวดนี้ เราได้กำหนดค่าสำหรับรอบการหมุนไว้ เมื่อหมุนครบรอบตามที่กำหนดไว้มอเตอร์ก็จะหยุดหมุน ถัดไปแกน Z จะเคลื่อนที่ขึ้นไปอยู่ที่ตำแหน่งเดิม เซนเซอร์อ่านค่าได้ก็จะทำให้หยุดเคลื่อนที่ และสั่งให้แกน X เคลื่อนที่ถอยหลัง เมื่อเซนเซอร์อ่านค่าได้ แกน X ก็จะหยุดที่ตำแหน่งเดิมเช่นกัน



รูปที่ 3.27 ผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.8 หลักการทำงานของวงจร



รูปที่ 3.28 ชุดวงจรควบคุมการทำงานของเครื่อง

วงจรในรูปที่ 3.28 ประกอบด้วย 6 ส่วนหลักๆ คือ

1. เครื่องจ่ายไฟ (Power Supply) เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับตัวอุปกรณ์
2. IBT-2 (BTS7960) โมดูลควบคุม D.C. Motor
3. แผ่นปริ้น IC-87 เป็นแผ่นวงจร ใช้สำหรับรวมอุปกรณ์ต่างๆให้เชื่อมกันได้
4. A4988 เป็นโมดูลควบคุม Stepper Motor
5. โมดูลวัดกระแส ACS712 ใช้เพื่อเป็นตัววัดปริมาณกระแสที่ถูกจ่ายออกมาจากเครื่องจ่ายไฟ โดยจะนำไปควบคุมการจ่ายกระแสให้กับมอเตอร์
6. บอร์ด Arduino เป็นตัวรับโปรแกรมคำสั่งให้ทั้งวงจรทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองของการสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ ดังแสดงในหัวข้อต่อไปนี้

1. ผลการทดลองหาค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้อง
2. ผลการทดลองเบื้องต้น
3. การทดลองการทำงานของเครื่อง

4.1 ผลการทดลองหาค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

จากการทดลองหาค่าตัวแปรที่เราได้ดำเนินการในบทที่ 3 ทำให้ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.1 และนำไปสร้างกราฟเพื่อเลือกจุดที่มีค่ามากที่สุด ซึ่งมีค่าแรงเท่ากับ 8.673 นิวตัน เป็นแรงที่นำไปคำนวณหาแรงบิดสำหรับการปิดขวด ได้เท่ากับ 0.7199 นิวตันเมตร เมื่อเราได้ค่าแรงบิดจากการทดลองแล้ว ก็นำไปคำนวณต่อเพื่อหาแรงบิดที่ใช้สำหรับจับขวด มีค่าเท่ากับ 0.0272 นิวตันเมตร และหาแรงบิดที่ใช้ในระบบกลไกควบคุมแกน Z มีค่าเท่ากับ 0.00351 นิวตันเมตร และเมื่อเราได้ค่าแรงบิดทั้ง 3 ค่าแล้ว ก็สามารถนำไปเลือกมอเตอร์สำหรับการสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ

4.2 ผลการทดลองเบื้องต้น

เป็นการทดสอบการทำงานของเครื่องในทุกหน้าที่ เพื่อปรับปรุงแก้ไข ได้แก่ การหมุนปรับเคลื่อนขึ้นลงของส่วนประกอบชุดอัดปิดฝาขวด การหมุนของหัวอัดปิดฝาขวด การเคลื่อนเข้าออกในแนวแกน X ของชุดจับขวด การตรวจจับสัญญาณเซนเซอร์ในการทำงานของเครื่อง เป็นต้น

1. การหมุนปรับเคลื่อนขึ้นลงของส่วนประกอบชุดอัดปิดฝาขวด ทดสอบด้วยการเขียนโค้ดทำงานแล้วอัพโหลดโค้ดไปที่ชุดวงจรสั่งให้มอเตอร์ทำงาน เพื่อขับให้มีการเคลื่อนขึ้นลง

2. การหมุนของหัวอัดปิดฝาขวด ในการปิดฝาขวดโดยใช้มือหมุนปิด จะหมุนไป 1 ใน 3 รอบ ก็จะทำให้ขวดปิดแน่นสนิทแล้ว แต่ในการทดสอบของเครื่องนี้ จะต้องปรับตัวเลขในโค้ดที่เราอัพโหลดเพื่อควบคุมสเต็ปมอเตอร์หมุนไปให้ได้ 1 ใน 3 รอบ ของฝาขวด

3. การเคลื่อนเข้าออกในแนวแกน X ของชุดจับขวด ทดสอบด้วยการเขียนโค้ดทำงานแล้วอัพโหลดโค้ดไปที่ชุดวงจรสั่งให้มอเตอร์ทำงาน เพื่อขับให้มีการเคลื่อนเข้าออก

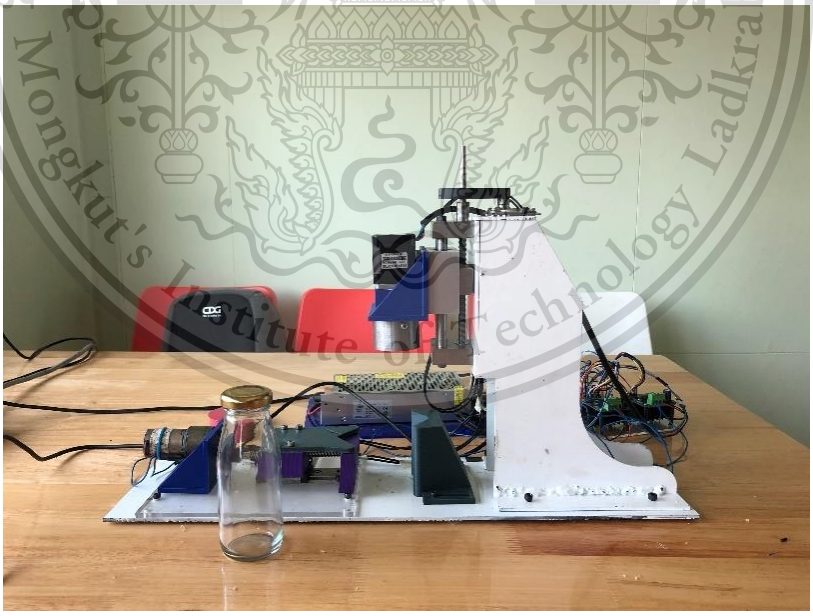
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4. การตรวจจับสัญญาณเซนเซอร์ในการทำงานของเครื่อง โดยเรามีการใช้เซนเซอร์มาเป็นตัวกำหนดระยะในการเคลื่อขึ้นลงของส่วนประกอบชุดอัดปิดฝาขวด และการเคลื่อนเข้าออกในแนวแกน X ของชุดจับขวด ดังนั้นเราจะติดเซนเซอร์ไว้ที่ด้านบนและล่างของชุดอัดปิดฝาขวด ติดเซนเซอร์ไว้ที่ด้านหน้าและด้านหลังของชุดจับขวด ดังนั้นเราต้องทดสอบการทำงานของเซนเซอร์เพื่อให้ทำงานได้ตามที่เราต้องการ ต้องมีการทดลองหาระยะที่เซนเซอร์จับได้ โดยมีการทดสอบควบคู่กับการเคลื่อนที่ขึ้นลง เคลื่อนที่เข้าออก

4.3 การทดลองการทำงานของเครื่อง

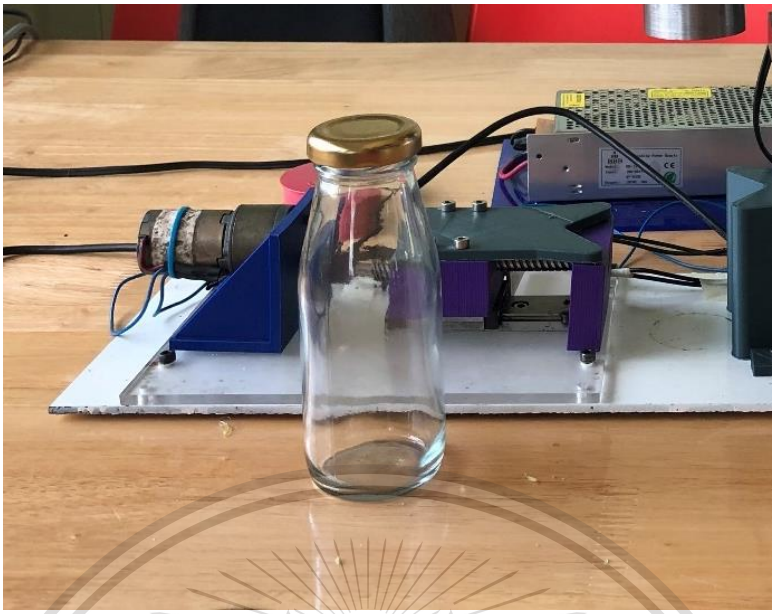
หลังจากที่มีการเขียนโค้ดควบคุมการทำงาน และทดสอบการทำงานของแต่ละส่วนแล้ว ก็ได้ทดสอบการทำงานของเครื่องทั้งระบบ เพื่อวัดความแม่นยำของเครื่อง และเวลาในการทำงาน

ในการทดลองการทำงานของเครื่องนี้ เราได้อัพโหลดโค้ดคำสั่งให้มีการทำงานตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.27 ในขณะทำการทดลอง เราได้บันทึกวีดีโอการทำงานของเครื่องต่อการปิดขวด 1 ครั้ง แสดงในรูปที่ 4.1 พร้อมกับตรวจสอบว่าสามารถปิดฝาขวดได้สนิท แสดงในรูปที่ 4.2 และเมื่อเราทำการทดลองเสร็จแล้ว ก็นำวีดีโอที่บันทึกมาดูเพื่อหารอบเวลาในการปิดฝาขวด 1 ครั้ง ซึ่งผลการทดลองที่ได้นั้น ขวดสามารถปิดได้สนิท และเวลาที่ใช้สำหรับการปิด 1 ครั้งเท่ากับ 45 วินาที



รูปที่ 4.1 แสดงภาพขณะทำการทดลองการทำงานของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.2 ขวดที่ปิดฝาให้สนิทด้วยเครื่องจำลองเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลและข้อเสนอแนะของการสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ ดังแสดงในหัวข้อต่อไปนี้

1. สรุปผลการดำเนินงาน
2. ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้น มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติสำหรับบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วฝาเกลียว ในการสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติประกอบด้วยการดำเนินงาน 2 ส่วนคือการดำเนินงานส่วนฮาร์ดแวร์และซอฟท์แวร์ โดยเริ่มต้นผู้วิจัยได้ดำเนินงานส่วนของฮาร์ดแวร์ คือได้ออกแบบชิ้นงาน และสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติขึ้นมา วัสดุส่วนใหญ่ที่ใช้จะเป็นเหล็กและชิ้นงานจากเครื่องปริ้นสามมิติ โดยถัดไปผู้วิจัยดำเนินการต่อในส่วนของซอฟท์แวร์ คือ การสร้างชุดควบคุมการทำงาน และเขียนโปรแกรมควบคุม หลังจากที่ดำเนินงานเสร็จสิ้นแล้ว ก็ได้ทำการทดลองการทำงานของเครื่อง ผลการทดลองที่ได้คือเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติสามารถปิดฝาขวดได้สนิท ด้วยเวลา 45 วินาทีต่อการปิดขวด 1 ครั้ง ครบกระบวนการทำงาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์อัตโนมัตินี้ วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้จะเป็นวัสดุที่เราสามารถหาได้ง่าย ซึ่งในการที่จะนำไปสร้างเป็นเครื่องปิดฝาบรรจุภัณฑ์ที่ใช้งานจริงในอุตสาหกรรม จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้โครงสร้างชิ้นส่วนและกลไกใช้วัสดุที่เหมาะสมสำหรับการผลิตอาหารและเครื่องดื่ม

2. จากผลการทดลองการปิดฝาขวดใช้เวลา 45 วินาทีต่อการปิดฝา 1 ครั้ง เป็นเวลาที่นานเกินไป ซึ่งควรจะต้องมีการปรับปรุงและพัฒนาต่อไป โดยการเลือกใช้มอเตอร์ที่มีจำนวนรอบเพิ่มมากขึ้น เพื่อเป็นการลดเวลาในการทำงาน

3. เครื่องที่เราสร้างขึ้นมานี้ยังมีข้อจำกัดอยู่ เพราะสามารถใช้กับขวดได้แค่ขนาดเดียว ซึ่งในการปรับปรุงพัตนาต่อ ควรจะต้องเลือกรางระบบ Linear Guide Way ให้มีความยาวมากขึ้น ซึ่งก็อาจจะทำให้โครงสร้างของเครื่องใหญ่ขึ้นไปด้วย และจะทำให้สามารใช้งานได้กับขวดหลายขนาดมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

เอกสารอ้างอิง

[1] PACKAGING INDUSTRIAL INTELLIGENCE UNIT. ระบบการบรรจุแบบปลอดเชื้อ (Aseptic). https://packaging.oie.go.th/new/admin_control_new/html-demo/file_technology/0271548693.pdf

[2] สุชาติ สุภาพ, ฟิสิกส์ 1 เล่ม 3. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[3] ครูทันพงษ์ ภู่รักษ์. การควบคุมดีซีมอเตอร์และสเตปมอเตอร์ด้วย ARDUINO. http://www.sbt.ac.th/new/sites/default/files/TNP_Unit_8.pdf

[4] (2018). มอเตอร์ (Motor) คืออะไร. https://industrypro.co.th/motor/

[5] บุญเลิศ โพธิ์ขำ, มอเตอร์ไฟฟ้าและการควบคุม. นครพนม: วิทยาลัยเทคนิคนครพนม

[6] Factomart.com. หลักการทำงานของ Stepping Motor. https://mall.factomart.com/principle-of-stepping-motor/

[7] Arduino and Motor Control. https://www.arduitronics.com/article/25/arduino-and-motor-control-part-3-stepper-motor-2

[8] ทันพงษ์ ภู่รักษ์, เอกสารประกอบการสอนวิชาไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น. สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและเทคโนโลยี คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ.

[9] (2019). Motor Drive Module (BTS7960) - 43A with H-Bridge. https://www.arduitronics.com/product/983/motor-drive-module-bts7960-43a-with-h-bridge

[10] โมดูลขับรถมอเตอร์ A4988 Stepper. https://iknowvations.in/th/arduino/a4988-stepper-motor-driver-arduino-tutorial/

[11] Current Sensor Module (ACS712-30A) for Arduino. https://www.allnewstep.com/product/26/30-a-current-sensor-module-acs712-30a-for-arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.