สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แขนกลควบคุมด้วยไมโครคอนโทลเลอร์

ROBOT ARM CONTROL WITH MICROCONTROLLER

T139923

โดย

ฉัตรโยธิน มากกุญชร

CHATYOTHIN MAKKUNCHORN

ณัฐวุฒิ วาจาสัตย์

NUTHAWUT WACHASAT

อภิรักษ์ สมสวย

APIRUK SOMSUAY

ปพ.
ว2351
2557

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....139923
วัน,เดือน,ปี.....20 พย. 2558

b.12729516
i.....

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.แสงระวี บัวแก้ว

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง แขนกลที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

ROBOT ARM CONTROL WITH MICROCONTROLLER

ผู้จัดทำ นายฉัตรโยธิน มากกุญชร รหัสประจำตัว 54010250

นายณัฐวุฒิ วาจาสัตย์ รหัสประจำตัว 54010458

นายอภิรักษ์ สมสวย รหัสประจำตัว 54011490

ปริญญานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

(ผศ.ดร.แสงระวี บัวแก้ว)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	แขนกลที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
นักศึกษา	นายฉัตรโยธิน มากกุญชร รหัสประจำตัว 54010250
	นายณัฐวุฒิ วาจาสัตย์ รหัสประจำตัว 54010458
	นายอภิรักษ์ สมสวย รหัสประจำตัว 54011490
ปริญญา	วิศวกรรมศาตร์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ผศ.ดร.แสงระวี บัวแก้ว

บทคัดย่อ

โครงงานนี้นำเสนอหุ่นยนต์แขนกล ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงาน โดยเป็นแขนกลที่มีสองระบบ คือสามารถควบคุมการทำงานได้โดยใช้มนุษย์ควบคุมการทำงานตามที่ต้องการ และสามารถทำงานในระบบอัตโนมัติได้ด้วยโดยการส่งคำสั่งการทำงานจากคอมพิวเตอร์ โครงสร้างแขนกลที่นำเสนอนี้ประกอบด้วยจุดหมุน 6 จุด คือ ฐาน ไหล่ ศอก ข้อมือในแนวขึ้น-ลง ข้อมือในแนวหมุนซ้าย-ขวา และนิ้ว โดยใช้เซอร์โวมอเตอร์ทั้งหมด 7 ตัว ในการควบคุมแต่ละจุดการหมุน ซึ่งโครงงานชุดนี้ประกอบไปด้วยส่วนหลักๆ คือ ชุดจ่ายไฟ ชุดควบคุมการทำงานที่อาศัยจอยสติ๊ก ชุดประมวลผลสร้างขึ้นจากไมโครคอนโทรลเลอร์ Atmege328u และชุดจ่ายกระแสให้เซอร์โวมอเตอร์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าจากอินพุทที่ได้จากชุดควบคุม แล้วจะประมวลผลและส่งคำสั่งออกไปควบคุมชุดเซอร์โวมอเตอร์ในหุ่นยนต์แขนกลอีกที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Robot arm control with microcontroller	
Student	Mr.Chatyothin Makkunchorn	Student ID 54010250
	Mr.Nuthawut Wachasat	Student ID 54010458
	Mr.Apiruk Somsuay	Student ID 54011490
Degree	Bachelor of Engineer	
Program	Electronics Engineer	
Year	2014	
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Sangravee Buakeaw	

Abstract

This project presented a robot arm. The microcontroller used to control in the operation. The mechanical arm has two systems for operation. This robot arm can operate by using human controlled as required and it can operate in automatic mode by sending commands from the computer. The robot presented here includes six joint that consists of shoulder, elbow, wrist in up-down, wrist in the rotation of left- right, and catch by employing seven servo motors to control each the rotation. This project, which consists of the main power supply controlled broad by using joystick. Microcontroller broad was created from Atmege328u and power supply broad to servo motor. When the microcontroller receives input from the controller, then it process the data and send commands to control the servo motors on the robot arm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำโครงงานแขนกลควบคุมโดยไมโครคอนโทรเลอร์นี้ ได้รับการสนับสนุนและช่วยเหลือให้คำแนะนำจากอาจารย์ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ และได้รับความอนุเคราะห์ในด้านอุปกรณ์และเครื่องมือจากภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ดร.แสงระวี บัวแก้ว ที่ให้แนวคิดและคำปรึกษา การแก้ไข้ปัญหาและการสนับสนุนในการทำวิจัย รวมไปถึงผู้ปกครองของผู้ทำโครงงาน ที่ให้การสนับสนุนอปการะในด้านทุนทรัพย์เพื่อทำการจัดหาอุปกรณ์บางส่วน ซึ่งทางคณะผู้จัดทำรู้สึกทราบซึ่งในความกรุณาของทุกท่านอย่างที่สุดและขอกราบของพระคุณเป็นอย่างสูง

ฉัตรโยธิน มากกุญชร

ณัฐวุฒิ วาจาสัตย์

อภิรักษ์ สมสวย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญภาพ.....VIII

บทที่1 บทนำ.....1

1.1 หลักการและเหตุผล.....1

1.2 วัตถุประสงค์.....1

1.3 ขอบเขตการศึกษา.....2

1.4 แนวทางการดำเนินงาน.....2

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....2

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....3

บทที่ 2 ทฤษฎี.....4

2.1 แขนกลอุตสาหกรรม.....4

2.2 การคำนวณทอร์ค.....6

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.4 Servo Motor....11
2.5 Transformer....15
2.6 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์เต็มคลื่น....15

บทที่ 3 การออกแบบ....19
3.1 การออกแบบโครงสร้างแขนกล....19
3.2 ขั้นตอนในการออกแบบแขนกล....19
3.3 วงจรที่ใช้ควบคุม....27

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง....33
4.1 การทดลองโปรแกรมสร้างสัญญาณควบคุม servo motor....33
4.2 แผนภูมิการทำงานของโปรแกรม....35
4.3 ค่าทอร์คที่เซอร์โวมอเตอร์ตัวใดๆ....36
4.4 การทดลองวัดค่าสัญญาณต่างๆ....38

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์....45
5.1 สรุปการทำงาน....45
5.2 วิจารณ์และข้อเสนอแนะ....47
5.3 ข้อเสนอแนะ....47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก.....49

บรรณาณุกรม.....60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 รายละเอียดส่วนประกอบต่างๆของไอซี ATmega 328.....10

3.1 แสดง Datasheet Servo Motor ของรุ่นต่างๆ.....27

3.2 รายละเอียดส่วนประกอบต่างๆของไอซี ATmega 328.....30

3.3 แสดงข้อมูลขาของ L7805.....31

4.1 ทอร์คที่เซอร์โวมอเตอร์ตัวใดๆ.....36

4.2 ค่าที่วัดได้ของสัญญาณอินพุทจากตัวควบคุมที่ 0 °C, 45 °C และ90 °C.....39

4.3 ค่าที่วัดได้ของสัญญาณเอาท์พุทที่ออกจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

ที่ 0 °C,45 oCและ90 °C.....40

4.4 ค่าที่วัดได้ของสัญญาณไฟเลี้ยงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ 41

4.5 ค่าที่วัดได้ของสัญญาณไฟเลี้ยงบอร์ด DC to DC step down

ที่ขณะ charge และ discharge.....42

4.6 ค่าที่วัดได้ของสัญญาณไฟที่ออกจากบอร์ด DC to DC step down

สำหรับไปเลี้ยง Servo motor ที่ขณะ charge และ discharge.....44

5.1 ช่วงการเคลื่อนที่ของแขนกล.....47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 แขนกลอุตสาหกรรม....4

2.2 ส่วนประกอบของแขนกล....5

2.3 แรงที่กระทำผ่านจุดหมุน....6

2.4 แรงที่มีผลต่อจุดหมุน....6

2.5 การคำนวณทอร์คจากแรงตั้งฉาก....7

2.6 บล็อกไดอะแกรมของ ATmega328....8

2.7 ส่วนประกอบต่างๆของ ATmega 328....9

2.8 เซอร์โวมอเตอร์....11

2.9 การควบคุมการเคลื่อนที่เชิงมุมของมอเตอร์....12

2.10 การควบคุมการเคลื่อนที่เชิงมุมของมอเตอร์....13

2.11 แสดงโครงสร้างของเซอร์โวมอเตอร์....13

2.12 สายเชื่อมต่อของเซอร์โวมอเตอร์....14

2.13 หม้อแปลงไฟฟ้า(Transformer)....15

2.14 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์เต็มคลื่น (Bridge Full Wave Rectifier)....16

2.15 วงจรเรกกูเลเตอร์....16

2.16 วงจรแปลงแรงดัน....18

3.1 ชิ้นส่วนต่างๆของแขนกลที่ตัดแล้ว....20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.2 ที่ได้จากการออกแบบใน Solid Work แบบ 3 มิติ.....20

3.3 รูปแขนกลจาก Solid Work มุม Top view.....21

3.4 การใช้งานโดยหยิบจับวัสดุ.....21

3.5 Schematic ATmega328.....22

3.6 การป้อนสัญญาณพัลส์เพื่อควบคุม เซอร์โวมอเตอร์.....23

3.7 การป้อนสัญญาณพัลส์เพื่อควบคุม เซอร์โวมอเตอร์.....23

3.8 Servo Motor **Tower Pro SG-5010**.....25

3.9 SG91R **Tower Pro SG90**.....26

3.10 บล็อกไดอะแกรมของ ATmega328.....28

3.11 ส่วนประกอบต่างๆของไอซี ATmega 328.....29

3.12 IC L7805.....31

4.1 สัญญาณ PWM ความกว้าง 0.5 m.....34

4.2 สัญญาณ PWM ความกว้าง 1.5 m.....34

4.3 สัญญาณ PWM ความกว้าง 2.5 m.....35

4.4 แผนภูมิการทำงานของโปรแกรม.....35

4.5 สัญญาณอินพุทจากตัวควบคุม ที่ 0 °C.....38

4.6 สัญญาณอินพุทจากตัวควบคุม ที่ 45 °C.....38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.7 สัญญาณอินพุทจากตัวควบคุม ที่ 90 °C.....39

4.8 สัญญาณเอาท์พุทที่ออกจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ 0 °C.....39

4.9 สัญญาณเอาท์พุทที่ออกจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ 45 °C.....40

4.10 สัญญาณเอาท์พุทที่ออกจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ 90 °C.....40

4.11 สัญญาณไฟเลี้ยงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์.....41

4.12 สัญญาณไฟเลี้ยงบอร์ด DC to DC step down ที่ขณะ charge.....41

4.13 สัญญาณไฟเลี้ยงบอร์ด DC to DC step down ที่ขณะ discharge.....42

4.14 สัญญาณไฟที่ออกจากบอร์ด DC to DC step down.....43

4.15 สัญญาณไฟที่ออกจากบอร์ด DC to DC step down.....43

5.1 การแสดงโครงสร้างการทำงานของแขนกล.....45

5.2 แสดงตำแหน่งจุดหมุนของแขนกล.....46

5.3 บอร์ดควบคุม Atmega 328.....46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

เนื่องจากในปัจจุบันนี้วิวัฒนาการความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีได้ก้าวไกลไปอย่างมาก กระบวนการต่างๆ ได้ใช้เทคโนโลยีเขาไปช่วยอย่างกว้างขวางในหลายๆด้านโดยเฉพาะในระบบอุตสาหกรรมแขนกลเป็นหุ่นยนต์ชนิดหนึ่งที่นำมาใช้งานในวงการอุตสาหกรรมการผลิตได้ถูกนำมาใช้แทนแรงงานมนุษย์ในงานที่ต้องการทำอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมงงานที่ต้องการทำซ้ำๆกันตลอดเวลา งานที่เป็นอันตรายในการหยิบจับของในสารเคมีงานที่หนักและยากเกินที่มนุษย์จะทำไหวแขนกลก็จะเข้ามามีบทบาทที่สำคัญในการทำงาน ดังกล่าว และข้อดีของการที่มีหุ่นยนต์ทำงานแทนคนนั้นนอกจากที่กล่าวมาแล้วประสิทธิภาพของการทำงานก็จะดีขึ้น มีความแน่นอน แม่นยำสามารถทำงานผลิตได้โดยไม่ต้องพักจำนวนชิ้นงานที่ทำก็มากขึ้นทำงานได้โดยไม่มีวันหยุดแขนกลอุตสาหกรรมจะมีการทำงาน 2 ระบบคือ สามารถทำงานในระบบอัตโนมัติและสามารถใช้งานโดยการควบคุมด้วยมนุษย์ก็ได้ ซึ่งแขนกลอุตสาหกรรมสามารถจับชิ้นงานจากที่หนึ่งไปไว้อีกที่หนึ่งได้

เพื่อเป็นการศึกษาทำความเข้าใจเกี่ยวกับการสร้างแขนกล ผู้จัดทำโครงงานจึงมีแนวคิดที่จะสร้างหุ่นยนต์แขนกลขนาดเล็กที่มี6 ข้อต่อขึ้นมา ประกอบด้วยเซอร์โวมอเตอร์7 ตัว เพื่อศึกษาการควบคุมมอเตอร์ในลักษณะการหมุนในทิศทางต่างๆ และออกแบบวงจรควบคุมรวมถึงการเขียนโปรแกรมควบคุมจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ โดยแขนกลที่สร้างจะควบคุมด้วยระบบmanual ต้นแบบแขนกลที่ได้จะใช้สำหรับเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างแขนกลในโรงงานอุตสาหกรรมต่อไปในอนาคต และหุ่นยนต์แขนกลขนาดเล็กนี้สามารถใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนเกี่ยวกับระบบควบคุมโครงสร้าง และการเขียนโปรแกรมสำหรับควบคุมหุ่นยนต์ได้ ซึ่งสามารถนำการสร้างแขนกลนี้ไปใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคตได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. สามารถออกแบบและสร้างหุ่นยนต์แขนกลขนาดเล็ก โดยใช้อะคริลิคเป็นโครงสร้างและใช้เซอร์โวมอเตอร์ในการควบคุมข้อต่อ
2. เพื่อศึกษาและออกแบบบอร์ด Microcontroller
3. เพื่อศึกษาและเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมแขนกลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบข่ายของงาน

หุ่นยนต์แขนกลมีขนาดเล็ก น้ำหนักไม่เกิน5kgมี6 ข้อต่อควบคุมด้วยเซอร์โวมอเตอร์หุ่นยนต์แขนกลสามารถหยิบจับวัสดุที่มีน้ำหนัก 0.1 – 0.3 kgจากที่หนึ่งไปยังที่หนึ่งได้ด้วยการควบคุมแบบmanualการควบคุมข้อต่อด้วยการควบคุมข้อต่อด้วยเซอร์โวมอเตอร์ใช้หลักการเขียนโปรแกรมในวิชา CProgrammingforembeddedsystemขนาดแขนกลเมื่อยืด ออกสุดแขนไม่เกน 35cm (ไม่รวมฐานข้อต่อที่เป็นเหมือนหัวไหล)

1.4 แนวทางการดำเนินงาน

1. ศึกษาโครงสร้างและการควบคุมการทำงานแขนกล
2. เขียนแบบขนาดของหุ่นยนต์แขนกลขนาดเล็กและวางแผนการติดตั้งมอเตอร์
3. จำลองแบบแขนกลจากวัสดุทดลอง เช่น อะลูมิเนียมหรือไม่ก็เป็นจำพวกกระดาษแข็ง กระดาษลูกฟูก
4. ลงมือทำโครงสร้างแขนกล
5. เขียนโปรแกรมควบคุมแขนกลและทำการทดสอบการทำงาน
6. แก้ไขการทำงานของแขนกลจนมีโครงสร้างและสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์
7. เขียนข้อเสนอแนะและทำรูปเล่มรายงาน
8. สรุปรายงานขั้นสุดท้าย

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ระยะเวลาการทำโครงงานนี้ใช้เวลาตั้งแต่ เดือนสิงหาคม2557ไปจนถึง เดือนเมษายน 2558 ระยะเวลาเป็น 2 ภาคการศึกษา

ลำดับที่	กิจกรรม	เดือน								
		ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย
	ภาคการศึกษาต้น									
1	ศึกษาหาหัวข้อของโปรเจ็คที่จะลงมือทำลงมือปฏิบัติ									
2	ปรึกษาหัวข้อที่จะดำเนินการกับอาจารย์ที่ปรึกษา									
3	เขียนแบบขนาดของหุ่นยนต์แขนกลขนาดเล็ก และวางแผนการติดตั้งเซอร์โวมอเตอร์									
4	ลงมือทำแบบจำลองของแขนกลด้วยวัสดุทดลอง									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5	ลงมือทำโครงสร้างแขนกลด้วยวัสดุจริง และประกอบกับเซอร์โวมอเตอร์									
	ภาคการศึกษาปลาย									
6	ศึกษาการทำวงจร Microcontroller เพื่อนำมาใช้ในการควบคุมแขนกล									
7	ศึกษาการเขียนโปรแกรมเพื่อการควบคุม แขนกล									
8	ศึกษาทำเครื่องควบคุมการทำงานของ แขนกล									
9	ทดลองการทำงานของข้อต่อทั้งหมด									
10	แก้ไขในส่วนที่ยังไม่สมบูรณ์ จนมีโครงสร้างที่สามารถทำได้ตาม วัตถุประสงค์									

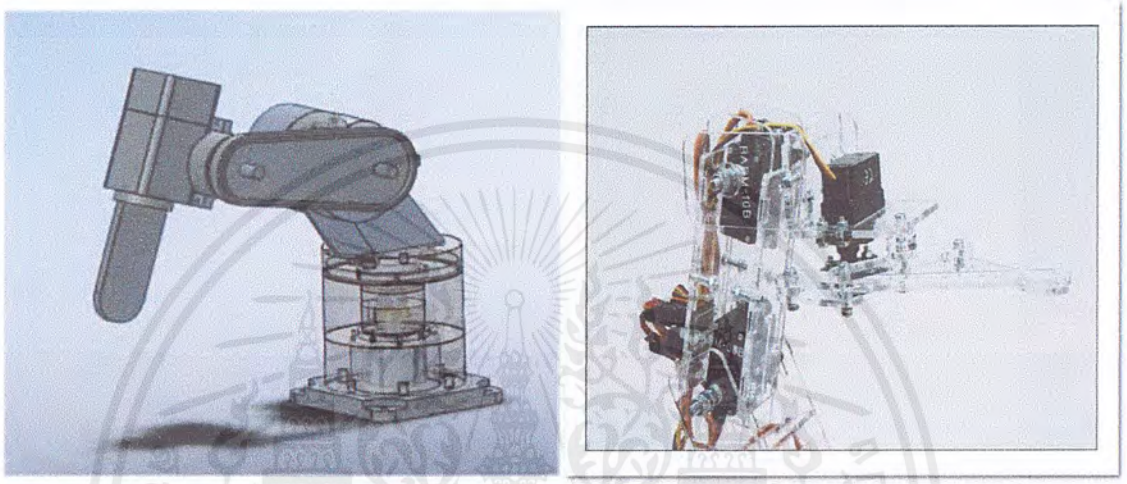
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับต้นแบบแขนกลขนาดเล็ก ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนและนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาและออกแบบหุ่นยนต์แขนกลต่อไปในอนาคต
2. เข้าใจในระบบควบคุมที่สามารถควบคุมตำแหน่งการหมุนเซอร์โวมอเตอร์
3. ได้ศึกษาเกี่ยวกับชุดคำสั่งและการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
4. ได้รับความรู้ความเข้าใจในการสร้างแขนกลและการเขียนโปรแกรมควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แขนกลอุตสาหกรรม (Industrial Robot Arms)



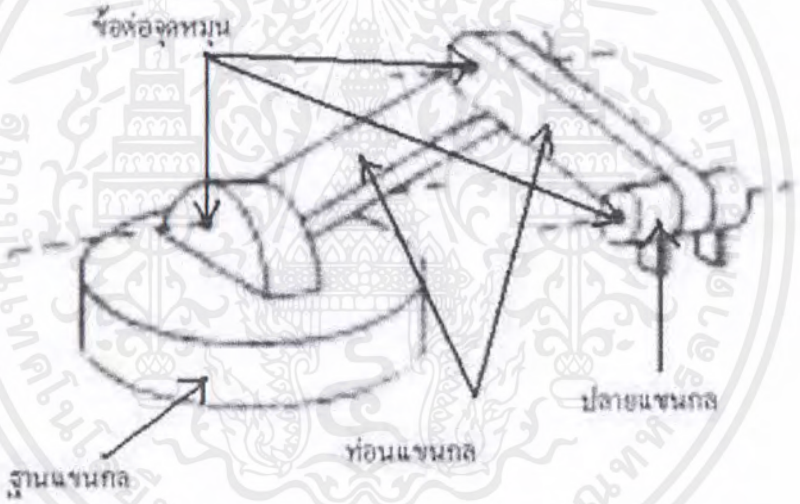
รูปที่ 2.1 แขนกลอุตสาหกรรม

แขนกลเป็นหุ่นยนต์ชนิดหนึ่งที่นำมาใช้งานในวงการอุตสาหกรรมการผลิต ได้ถูกนำมาใช้แทนแรงงานมนุษย์ในงานที่ต้องทำอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง, งานที่ต้องทำซ้ำ ๆ กันตลอดเวลา,งานที่เป็นอันตราย, งานที่หนักและยากเกินที่มนุษย์จะทำไหว ปกติมนุษย์ก็สามารถทำงานได้ทุกอย่างแต่ข้อจำกัดของมนุษย์นั้นไม่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องยาวนานจะเกิดความเหน็ดเหนื่อยเมื่อยล้าจึงต้องมีการพักผ่อน เมื่อคนทำงานในที่อันตรายเช่นงานที่เกี่ยวกับสารเคมีที่มีพิษ ถ้าป้องกันไม่ดีก็จะมีผลต่อสุขภาพได้ เมื่อเป็นข้อจำกัดอย่างนี้หุ่นยนต์ก็จะเข้ามามีบทบาทในการทำงานดังกล่าว และข้อดีของการที่มีหุ่นยนต์ทำงานแทนคนนั้นนอกจากที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว ประสิทธิภาพการทำงานก็จะดีขึ้น , มีความแน่นอน แม่นยำ, สามารถทำงานผลิตได้โดยไม่ต้องพัก, จำนวนชิ้นงานที่ทำก็มากขึ้น, ทำงานได้โดยไม่มีวันหยุด ส่วนข้อเสียก็มี เช่นมีราคาสูง ต้องมีผู้ชำนาญการในการควบคุมหุ่นยนต์ ไม่เหมาะในโรงงานที่กำลังผลิตน้อย

แขนกลอุตสาหกรรมที่เราพบเห็นได้โดยทั่วไปเช่น ในโรงงานผลิต ประกอบรถยนต์, งานเชื่อมอุตสาหกรรม, งานประกอบเครื่องจักร, งานในโรงงานผลิตเหล็ก, งานเกี่ยวกับคลังสินค้าขนาดใหญ่ และอื่น ๆ อีกมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แขนกลอุตสาหกรรมนั้นมีส่วนประกอบอยู่หลายส่วนได้แก่ ฐาน (Base) ของหุ่นยนต์, ท่อนชิ้นส่วนที่เป็นแขนกล, ข้อต่อจุดหมุน (Joints) ตามชิ้นส่วนที่ต่อกัน, ปลายของแขนกลที่ใช้ทำงาน ยกตัวอย่างเช่นมือคีบจับ, หัวเชื่อม, อุปกรณ์ประกอบชิ้นส่วน, ปืนพ่นสี, หัวเจาะ ฯลฯ คอมพิวเตอร์ที่มาควบคุมแขนกลนั้นจะทำหน้าที่ควบคุมในส่วนที่เป็นมอเตอร์แบบสเต็บ (Step motors: เป็นมอเตอร์ที่จากมอเตอร์โดยทั่วไป กล่าวคือมอเตอร์แบบสเต็บนั้นมีความสามารถหมุน และหยุดได้ตามความต้องการ ตามระยะที่ได้ตั้งโปรแกรมไว้ และสามารถทำซ้ำ ๆ กันได้ในการเคลื่อนที่ ส่วนมอเตอร์โดยทั่วไปเมื่อป้องพลังงานก็จะหมุนตลอด และเวลาหยุดจะหมุนฟรีไปหลายรอบซึ่งเป็นผลมาจากแรงเฉื่อย) มอเตอร์แบบสเต็บจึงทำให้หุ่นยนต์ได้เคลื่อนไหวได้ตามโปรแกรมที่ได้ตั้งไว้ นอกจากมอเตอร์แบบสเต็บแล้ว แขนกลที่มีขนาดใหญ่ที่นำมาใช้ในงานหนักอาจจะใช้มอเตอร์ไฮดรอลิกส์ หรือมอเตอร์ลมนิวแมติกส์ แทนก็ได้ แขนกลจะมีระบบเซ็นเซอร์ไว้คอยตรวจจับการทำงานเพื่อให้หุ่นยนต์นั้นได้มีการเคลื่อนที่ได้อย่างถูกต้อง เกิดความแน่นอนในการเคลื่อนที่ของแขนกล



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของแขนกล

แขนกลอุตสาหกรรมโดยทั่วไปจะมีข้อต่อ 6 ข้อต่อ โดยคล้ายกับแขนของมนุษย์ที่เริ่มนับจากหัวไหล่ ข้อศอก และมือ ในหุ่นยนต์จะมีฐานหุ่นคล้ายบ่าเพื่อรองรับโครงสร้างที่มีกรเคลื่อนที่ เราเรียกข้อต่อจุดหมุนว่าเป็นองศาอิสระ (Degrees Of Freedom: DOF) หมายถึงมันสามารถที่จะเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระภายใต้ระยะจุดหมุนที่หมุนได้ ถ้าเปรียบเทียบกับแขนมนุษย์ที่สามารถยกแขนให้เคลื่อนที่จากตำแหน่งไปสู่ตำแหน่งหนึ่ง แขนกลก็เหมือนกันแขนกลก็สามารถทำการเคลื่อนที่ได้จากจุดหนึ่งไปสู่จุดหนึ่งในระยะขอบเขตรัศมีการเคลื่อนที่ ในการรับน้ำหนักของแขนกลก็จะมีเซ็นเซอร์วัดความดันบอกสถานะน้ำหนักที่รับได้ว่าเกินกำลังลังของหุ่นหรือไม่เมื่อน้ำหนักที่ทำงานเกินเครื่องก็จะ

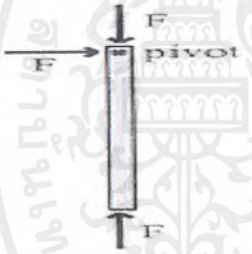
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตือน และแขนกลก็จะไม่ทำงานหุ่นยนต์อุตสาหกรรมจะถูกออกแบบมาให้กับการทำงานที่ซ้ำ ๆ กันได้อย่างถูกต้อง ในขอบเขตการทำงานที่ถูกควบคุม ตามโปรแกรมที่ได้ตั้งไว้ หุ่นยนต์สามารถทำงานตามหน่วยความจำที่ถูกป้อนไว้ และสามารถทำงานได้อีกครั้งในทุก ๆ เวลาในโรงงานอุตสาหกรรมหุ่นยนต์จะทำงานในระบบอัตโนมัติ ในสายการประกอบรถยนต์ หุ่นยนต์สามารถทำงานได้มากกว่ามนุษย์และมีความแม่นยำมากกว่า มันสามารถทำงานในจุดเดิมๆ โดยไม่ผิดพลาด พวกมันสามารถใส่สลักเกลียว และสามารถขันได้ตามแรงที่กำหนด หุ่นยนต์ในโรงงานที่ผลิตอุปกรณ์จะพวกไมโครชิป จะมีความสำคัญมากในการทำงานที่มีอุปกรณ์ขนาดเล็ก ซึ่งมันสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำ

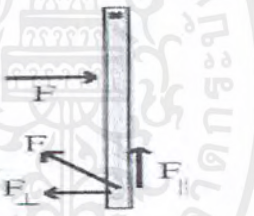
2.2การคำนวณทอร์ค

กฎข้อที่หนึ่งของนิวตันสำหรับการหมุน

วัตถุทุกชนิดจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเชิงมุมคงที่นอกจากมีทอร์คมากระทำต่อวัตถุนั้นล้อรถจักรยานจะ ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้นอกจากมีแรงภายนอกมากระทำบางแรงทำให้ล้อหมุนแต่บางแรงไม่มีผลต่อการหมุน



รูปที่2.3แรงที่กระทำผ่านจุดหมุน



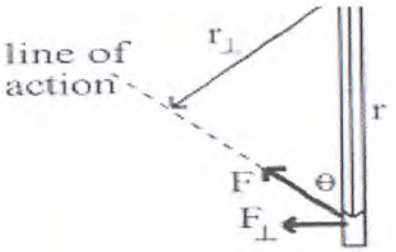
รูปที่2.4แรงที่มีผลต่อจุดหมุน

พิจารณารูปที่2.3 จะสังเกตเห็นว่าแนวแรงที่กระทำต่อไม้เมตรผ่านจุดหมุน(pivot) กรณีนี้จะไม่เกิดการหมุนแต่ถ้าแนวแรงที่กระทำต่อไม้เมตรไม่ผ่านจุดหมุนกรณีนี้จะเกิดการหมุนนอกจากนี้แรงที่กระทำต่อไม้เมตรสามารถแยกออกเป็นองค์ประกอบย่อยเป็นแรงที่ตั้งฉากกับไม้เมตรและแรงที่ขนานกับไม้เมตรแรงที่มีผลต่อการหมุนคือแรงที่ตั้งฉากกับไม้เมตรเท่านั้นนั้นคือ

$$\begin{aligned}\tau &= F_{\perp} r = (F\sin\theta)r \\ &= F(r\sin\theta) \\ &= Fr_{\perp}\end{aligned}$$

เมื่อ τ คือผลคูณระหว่างระยะทางที่ลากจากจุดหมุนมาตั้งฉาก(แขนหมุน)กับแนวแรงหรือผลคูณ ระหว่างแรงที่ตั้งฉากกับแขนหมุนดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ทอร์คเมื่อเขียนอยู่ในรูปของเวกเตอร์หรือ crossproduct

$$\tau = r \times F$$

รูปที่2.5การคำนวณทอร์คจากแรงตั้งฉาก

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบหนึ่งที่รวมเอาหน่วยประมวลผล หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์ และลอจิก วงจรรับสัญญาณอินพุต วงจรส่งสัญญาณเอาท์พุต รวมถึงหน่วยความจำวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาไว้ด้วยกัน ทำให้สามารถนำไปใช้งานแทนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี โดยไมโครคอนโทรลเลอร์มาจากคำสองคำรวมกันคือ “ไมโคร” ซึ่งหมายถึงไมโครโปรเซสเซอร์ เป็นอุปกรณ์ประมวลผลข้อมูลขนาดเล็กภายในประกอบด้วย หน่วยประมวลผลกลางหรือ CPU ประกอบด้วยหน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก วงจรเชื่อมต่อหน่วยความจำ วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา อีกคำหนึ่งคือคำว่า “คอนโทรลเลอร์” หมายถึง อุปกรณ์ควบคุม ดังนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม โดยที่สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดรูปแบบการควบคุมได้อย่างเป็นอิสระ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR รุ่น ATmega 328P

2.3.1 สถาปัตยกรรมชั้นสูงแบบ RISC(Reduce Instruction Set Computer)

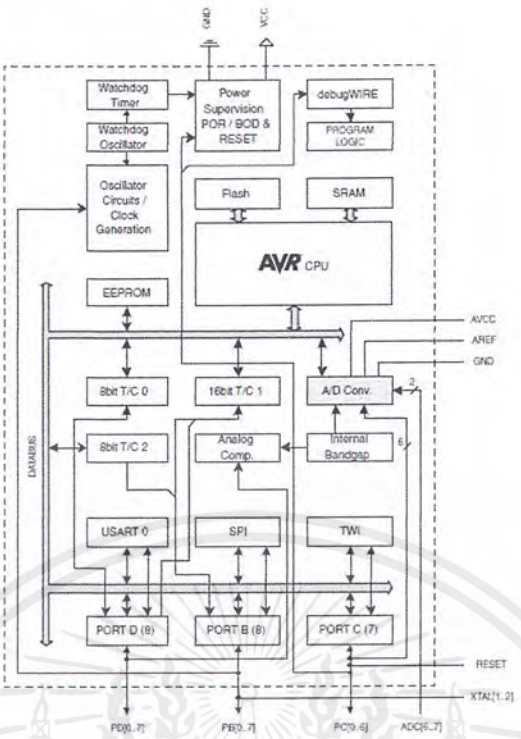
- RISC คือตัวทำให้การประมวลผลมีความเร็ว 1 คำสั่ง/1 clock หรือ CPU สามารถประมวลคำสั่งได้ 1 MIPS/MHz

- ชุดคำสั่ง 131 คำสั่งต่อ 1 รอบนาฬิกา

- รีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต 32 ตัว

- ความเร็วในการประมวลผลมากกว่า 20 ล้านคำสั่งต่อวินาที (MIPS) ที่ 20 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 บล็อกไดอะแกรมของ ATmega328

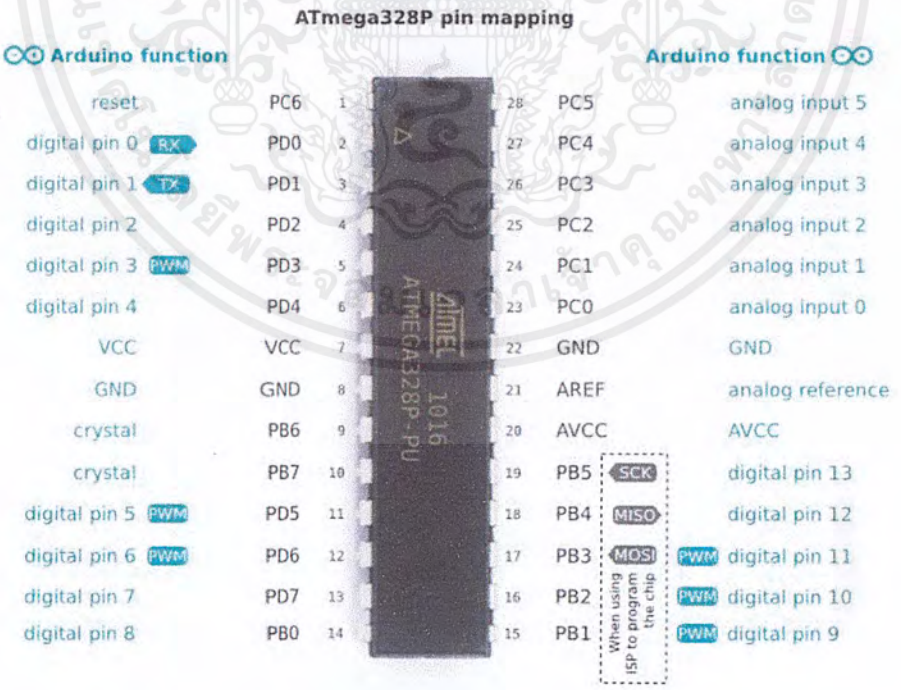
โดยมีคุณสมบัติต่างๆดังต่อไปนี้

- มีสถาปัตยกรรมแบบ RISE (Advanced RISE architecture) มีความเร็วในการทำงานส่ง โดยสามารถประมวลผล 1 คำสั่งในเวลา 1 clock
- มีคำสั่งในการควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์จำนวน 118 คำสั่ง
- หน่วยความจำแบบ FLASH สำหรับบนทุก PROGRAM MEMORY ขนาด 32 Kbyte
- แบบ 32 Kbyte สามารถเขียนลบโปรแกรมได้ 10,000 ครั้ง
- หน่วยความจำแบบ EEPROM สำหรับบนทุก DATA MEMORY ขนาด 1024 Byte
- แบบ EPROM 1Kbyte สามารถเขียนและลบโปรแกรมได้ 100,000 ครั้ง
- หน่วยความจำแบบ RAM ขนาด 2 Kbyte
- ระบบการเปลี่ยนสัญญาณ ANALOG TO DIGITAL ขนาด 10 บิต จำนวน 8 CHANNEL
- กลุ่มรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปขนาด 8 บิต จำนวน 32 ตัว
- พอร์ตอินพุตและเอาท์พุตขนาด 8 บิต จำนวน 4 พอร์ต
- ระบบการสื่อสารข้อมูลดิจตอลแบบอะซิงโครนัส (UART) 1 CHANNEL
- ระบบการสื่อสารข้อมูลดิจตอลแบบซิงโครนัส (SPI) 1 CHANNEL
- ความถี่สัญญาณนาฬิกา 0-16 MHz (ATMEGA 32)
- ระบบการรีเซตแบบอัตโนมัติเมื่อเริ่มจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ (Power on reset)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบการเกิดความถี่สัญญาณแบบ PWM จำนวน 4 CHANNEL (ATMEGA 32)
- ระบบการตรวจจับระดับสัญญาณอนาล็อก (Analog Comparator)
- ระบบการป้องกันการ COPY ข้อมูลภายในหน่วยความจำ(LOCK FOR SOLFWARE SECURITY)
- ระบบการตรวจจับการทำงานผิดพลาดของ CPU (WATCHDOG TIMER WITH ON-CHIP OSCILATOR)
- ระบบการอินเตอร์รัพท์ จากภายนอก (EXTERNAL INTERRUPT)
- TIMER/COUNTER ขนาด 16 บิต 1 CHANNEL
- TIMER/COUNTER ขนาด 8 บิต 2 CHANNEL
- Vcc : 4.5 - 5.5 for ATMEGA 32
- มีการรองรับอุปกรณ์ต่อพ่วง
- อุปกรณ์สื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมแบบ I2C และ USART อื่นๆ
- มีระบบตรวจจับความผิดพลาดของ CPU
- มีโหมดอนุรักษ์พลังงาน 5 mode ได้แก่ dle , ADC Noise Reduction , Power-save , Power-down , Stand-by

2.3.2 ส่วนประกอบต่างๆของไอซี ATmega 328



รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบต่างๆของ ATmega 328

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดของ ATmega328

ชื่อ	รายละเอียด	ขา
GND	ขากราวด์ต่อสายดิน	8,22
VCC	ไฟเลี้ยง 1.8 ถึง 5.5v	7
Port B(PB 7:0) XTAL1/XTAL2/TOSC1/TOSC2	- เป็นพอร์ต 2 ทิศทาง ขนาด 8 บิต โดยสามารถ กำหนดให้ขาของแต่ละพอร์ตสามารถตั้งค่าให้ Pull up Resistor ได้(ภายในเป็นอิสระแยกจากกันเพื่อดึงแรงดันของลอจิก 1 ให้เท่ากับ 5 v) - สามารถใช้งานพิเศษตามความต้องการของ ATmega 328 โดยขึ้นอยู่กับการตั้งค่าสัญญาณนาฬิกาที่ขา PB6 ที่ใช้เป็นแรงดัน Oscillator และขาอินพุตของวงจรสัญญาณ Clock Oscillator	9,10,14-19
PC6/RESET	ขา Reset	1
Port D (PD7:0)	- เป็นพอร์ตสองทิศทางขนาด 8 บิต โดยสามารถ กำหนดให้ขาของแต่ละพอร์ตสามารถตั้งค่าให้Pull up Resistor ได้ - สามารถใช้งานพิเศษตามความต้องการของ ATmega 328	1-6,11-13
AVCC	ใช้จ่ายไฟให้กับวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล มักจะต่อเข้ากับขา VCC	20
AREF	แรงดันอ้างอิงที่ใช้งานในส่วนของวงจรแปลง สัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลมักต่อกับ VCC	21
ADC7:6	ขากำลังงานใช้แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็น ดิจิตอล	23-28
Port C (PC5:0)	- เป็นพอร์ตสองทิศทางขนาด 8 บิต โดยสามารถกำหนดให้ขาของแต่ละพอร์ตสามารถตั้งค่าให้ Pull up Resistor ได้ - สามารถใช้งานพิเศษตามความต้องการของ ATmega 328	23-28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 Servo Motor

รูปที่ 2.8 เซอร์โวมอเตอร์

เป็นมอเตอร์ที่มีการควบคุมการเคลื่อนที่ของมัน (State) ไม่ว่าจะเป็นระยะ ความเร็ว มุมการหมุน โดยใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control) การควบคุมแบบป้อนกลับเป็น keyword สำคัญที่ทำให้มอเตอร์ตัวนั้นๆ เรียกว่าเป็นแบบ Servo ซึ่งข้อแตกต่างนี้ชัดเจนระหว่าง Servo motor กับ Stepper motor

Stepper motor จะไม่มีการป้อนกลับ แต่ควบคุมการเคลื่อนที่แบบระบบเปิด โดยการส่งสัญญาณไปที่ตัว Stator ให้เคลื่อนที่ไปเป็น step ที่ตายตัว เช่น ทีละ 1.5 องศา เป็นต้น (ความละเอียดของการเคลื่อนที่ขึ้นกับคุณสมบัติของ Stepper motor และเทคนิคการควบคุม) ในขณะที่ Servo motor ต้องการสัญญาณป้อนกลับเพื่อใช้ในการประเมินตำแหน่ง หรือ ความเร็ว หรือ State อื่นๆ เพื่อไปประมวลการเคลื่อนไหวที่เหมาะสม เทียบกับตำแหน่งที่ผู้ใช้ระบุ โดยอาจจะใช้การควบคุมแบบปิดได้หลายๆ แบบ แล้วแต่ผู้ผลิต แต่แบบที่นิยมมากที่สุดก็คือ Propotional Integral Derivative (PID Control)

Servo motor ที่มีขายในปัจจุบันก็มีหลายแบบมากๆ เช่น แบบที่ประกอบด้วยมอเตอร์กระแสตรง (DC motor) แบบที่ใช้มอเตอร์กระแสสลับ (AC motor) ก็มี แบบ มอเตอร์ไร้แปรงถ่านก็มี แถมมีหลากหลายวิธีการควบคุม แต่ข้อที่แตกต่างที่สำคัญคือข้อดีของ Servo motor ได้แก่

- สามารถให้ค่าทอร์กที่สูง
- สามารถเคลื่อนที่ความเร็วสูง
- ใช้งานกับการควบคุมความเร็วได้ดี
- มีหลากหลายขนาดให้เลือก (มากกว่า Stepper motor)

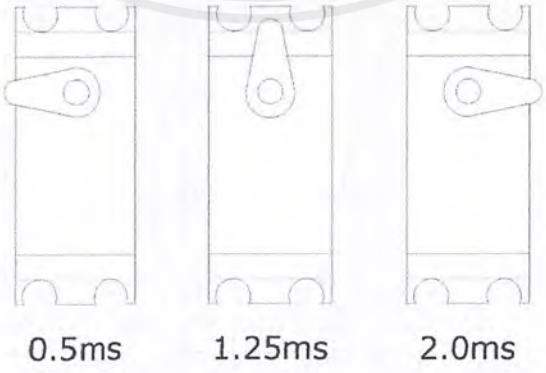
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เงียบ ไม่เหมือน Stepper motor
- ควบคุมได้ดีกว่า Stepper และไม่มีการสะดุดจังหวะเหมือนที่ Stepper motor เป็นในกรณีที่เจอกับทอร์กต้านสูงๆ
- แพงว่า Stepper motor
- ไม่สามารถทำงานโดยการควบคุมแบบเปิด
- ต้องมีการจูนค่าในการควมคุม (สำหรับ Servo ที่มีราคาสูงกว่าแบบที่ใช้กับมือสมัครเล่น)
- ในกรณีที่ใช้ DC motor ต้องมีการบำรุงรักษา เนื่องจากแปรงถ่านอาจสึก

ที่ว่ามาทั้งหมดก่อนหน้าเป็นทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับ Servo motor ต่อไปจากนี้จะพูดถึงเฉพาะ Servo motor ขนาดเล็ก แบบที่เห็นด้านบน เราจะใช้ Servo motor แบบนี้กันมากในงานอดิเรก เช่น เครื่องบินบังคับ รถบังคับ แนวๆนี้ แต่หลักการที่ใช้จะคล้ายกับ Servo motor แบบอื่นๆ และที่เป็นการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control) โดยการควบคุมแบบป้อนกลับนั้นจะอยู่ภายในวงจร ซึ่งจะมีการตรวจสอบ State ของการควบคุมตลอดเวลาโดยใช้ Encoder แบบต่างๆ (แบบใช้แสง ใช้ potentiometer หรือ อื่นๆ แล้วแต่ผู้ผลิต) เพื่อป้อนค่า State (ตำแหน่ง มุม ความเร็ว ระยะ) ปัจจุบัน ให้วงจรควบคุมตัดสินใจการทำงานของ DC motor

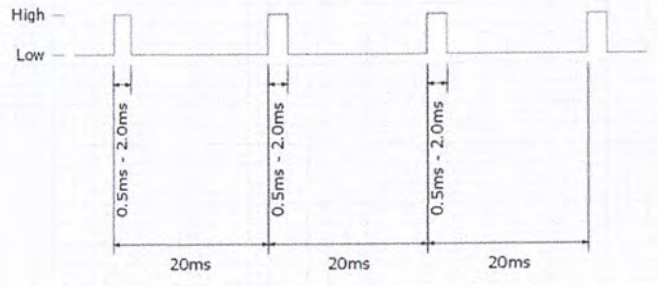
สำหรับมอเตอร์แบบที่ใช้เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่เชิงมุมของมอเตอร์ (หมุนไปกี่องศา) เช่น การควบคุมข้อพับของแขนหุ่นยนต์ ควบคุมมุมของปีกเครื่องบิน เราใช้ Servo motor ที่มีการควบคุมโดยใช้ Pulse Width Modulation (PWM)

Servo motor จะต้องมีการส่งพัลส์ไปให้มันทุกๆ 20 มิลลิวินาที (คาบ) โดยความกว้างของพัลส์จะใช้ในการควบคุมมุมที่มันจะเคลื่อนที่)และพัลส์จะมีช่วงเวลาเปิด (ton) 0.5 ถึง 2 มิลลิวินาที โดยจะมอเตอร์จะแปรความเป็นมุมที่ผู้ใช้งานสั่งไปดังรูป



รูปที่ 2.9 การควบคุมการเคลื่อนที่เชิงมุมของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

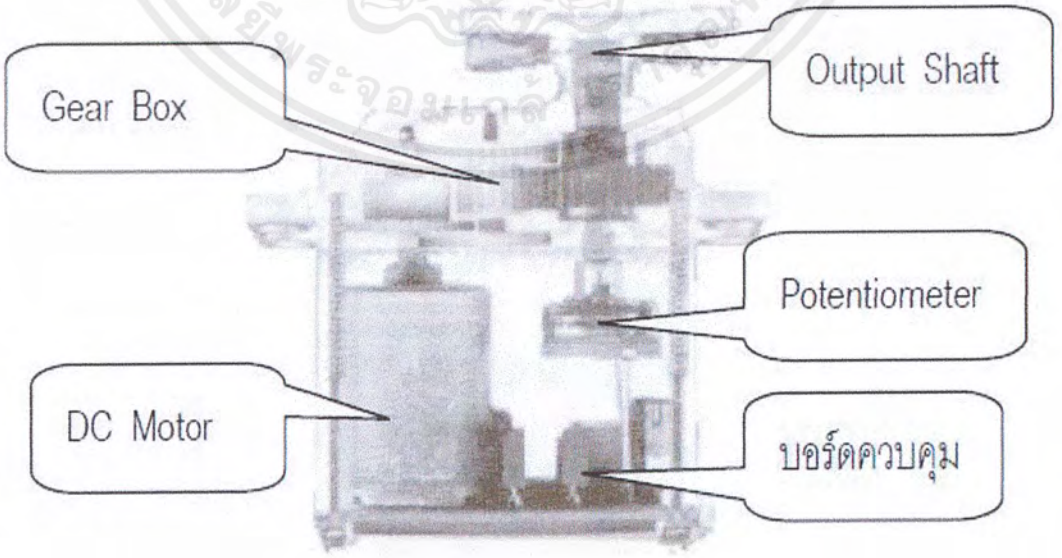


รูปที่ 2.10 การควบคุมการเคลื่อนที่เชิงมุมของมอเตอร์

คุณสมบัติของ Servo Motor ได้แก่

- มีอัตราเร่งที่ดี
- ตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว
- ย่านการควบคุมกว้าง

ความเร็วในการหมุนต้องคงที่ เนื่องจากการควบคุมการทำงาน Servo motor เป็นการควบคุมแบบป้อนกลับดังนั้นตัว Servo motor ต้องมีตัวนับรอบ (Encoder) ติดอยู่กับตัว Servo motor ด้วยทุกตัว



รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของเซอร์โวมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

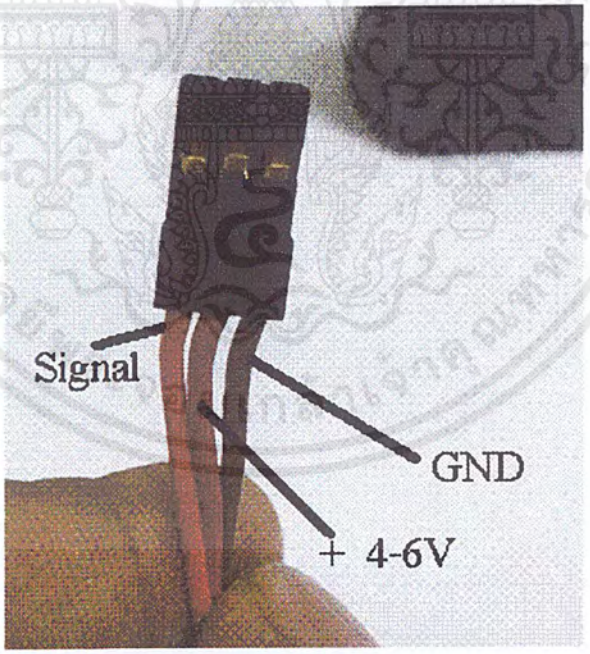
ชนิดของ Servo Motor แบ่งออกได้ ดังนี้

1. DC Servo Motor
2. AC Servo Motor
3. Stepping Motor ปัจจุบันนิยมใช้ AC Servo ที่เป็นแบบ Synchronous Servo Motor กันมากที่สุด เพราะการใช้งาน และการบำรุงรักษาทำได้ง่าย ซึ่งขนาดของมอเตอร์มีตั้งแต่ 30 W ถึง 5.5 kW

<u>การทำงานของ Servo Motor</u>

การทำงานของ Servo Motor ภายในจะประกอบไปด้วยชุดมอเตอร์ ชุดเกียร์ และชุดควบคุม สามารถควบคุมให้หมุนไปตำแหน่งองศาที่ต้องการได้ โดยการป้อนสัญญาณ พัลส์ แต่สามารถควบคุมการหมุนได้ประมาณ 180 องศา เซอร์โวมอเตอร์จะมีสายเชื่อมต่อทั้งหมด 3 เส้น ได้แก่

1. เส้นสีส้ม จะเป็นสายสัญญาณที่ใช้ควบคุมตำแหน่งแกนของ Servo Motor
2. เส้นสีแดง จะเป็นสายไฟเลี้ยง โดยสามารถต่อแรงดันอยู่ระหว่าง 4-6V
3. เส้นสีดำหรือน้ำตาลจะเป็นสายกราวด์



รูปที่ 2.12 สายเชื่อมต่อของเซอร์โวมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

เมื่อขดลวดปฐมภูมิได้รับแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ จะทำให้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นตามกฎของฟาราเดย์ ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้ขึ้นอยู่กับ จำนวนรอบของขดลวด พื้นที่แกนเหล็ก และความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับ เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดจะทำให้มีเส้นแรงแม่เหล็กในขดลวด เส้นแรงแม่เหล็กนี้เปลี่ยนแปลงตามขนาดของรูปคลื่นไฟฟ้าที่ได้รับ เส้นแรงแม่เหล็กเกือบทั้งหมดจะอยู่รอบแกนเหล็ก เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กผ่านขดลวด จะทำให้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นที่ขดลวดทุติยภูมินี้

รูปที่ 2.13 หม้อแปลงไฟฟ้า(Transformer)

2.6 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์เต็มคลื่น (Bridge Full Wave Rectifier)

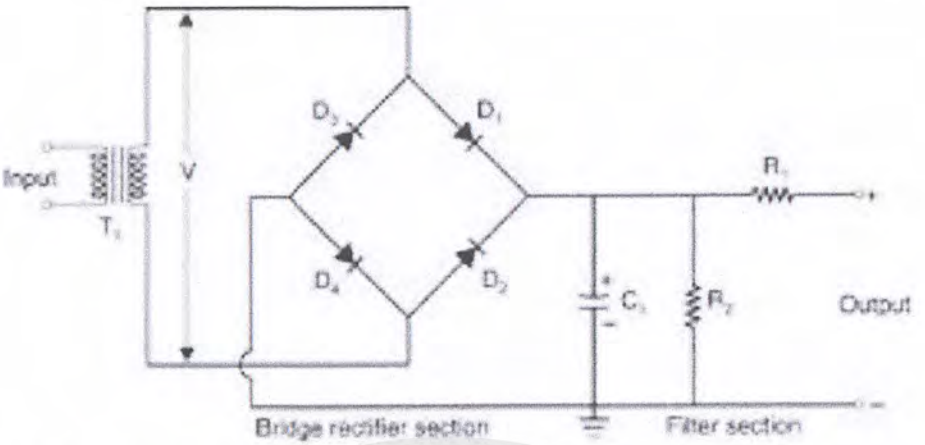
วงจรเรียงกระแสแบบสะพานใช้ไดโอด 4 ตัว และหม้อแปลงที่ไม่มี center tap หลักการทำงานคือเมื่อขาบนเป็นบวก ขาล่างเป็นลบ กระแสไหลผ่านไดโอด 2 ตัวนอก เมื่อคลื่นลบ ขาบนเป็นลบ ขาล่างเป็นบวก กระแสไหล ไดโอด 2 ตัวกลาง ได้กระแสไฟเต็มที่ ไม่ต้องแบ่งสองส่วนเหมือนเต็มคลื่นธรรมดา

ค่าเฉลี่ยและค่า root-mean-square ของ output voltage ของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นที่ no-load ตามทฤษฎี คือ :

$$V_{\mathrm{dc}} = V_{\mathrm{av}} = \frac{2V_{\mathrm{peak}}}{\pi}$$

$$V_{\mathrm{rms}} = \frac{V_{\mathrm{peak}}}{\sqrt{2}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

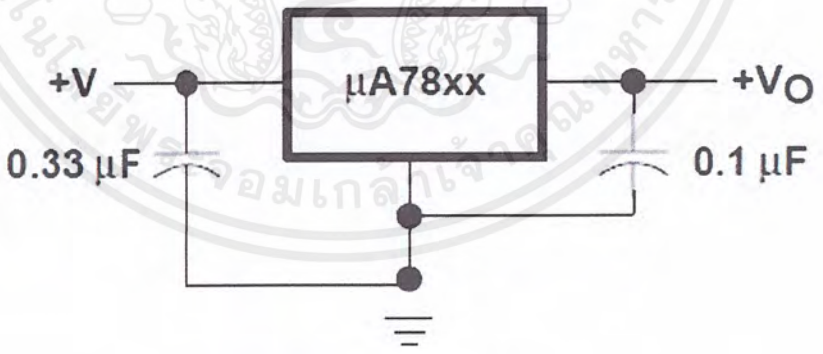


รูปที่ 2.14 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์เต็มคลื่น (Bridge Full Wave Rectifier)

2.6.1. วงจรเรกกูเลเตอร์ที่ใช้

1. วงจรเรกกูเลเตอร์โดยใช้ IC ตระกูล MC 78XX และ 79XX

IC ตระกูล MC 78XX และ 79XX เป็นอุปกรณ์รักษาแรงดันแบบคงที่ โดยตระกูล 78XX ให้แรงดันแบบ บวกคงที่ และตระกูล 79XX ให้แรงดันแบบลบคงที่ มีค่าตามหลัง XX คือขนาดแรงดันที่กำหนดไบน IC เช่น 7805 ให้แรงดันไฟบวกคงที่ขนาด 5 โวลท์



รูปที่ 2.15 วงจรเรกกูเลเตอร์

ในขณะที่วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น และแบบเต็มคลื่น สามารถผลิตกระแสทิศทางเดียวแต่แรงดันไฟฟ้าที่ได้ยังไม่คงที่. เพื่อผลิต DC มั่นคง, ต้องใช้วงจรที่ทำแรงดันไฟฟ้านี้ให้เรียบ หรือที่เรียกว่าวงจร filter. ในรูปแบบง่ายที่สุด filter นี้จะเป็นเพียงแค่ตัวเก็บประจุสำรองพลังงานที่ต่ออยู่ที่ DC เอาต์พุตเท่านั้น แต่จะยังคงมีส่วนประกอบของระลอกคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ที่มีความถี่เท่ากับแหล่งจ่ายไฟสำหรับวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น, หรือสองเท่าของความถี่นั้น สำหรับแบบเต็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

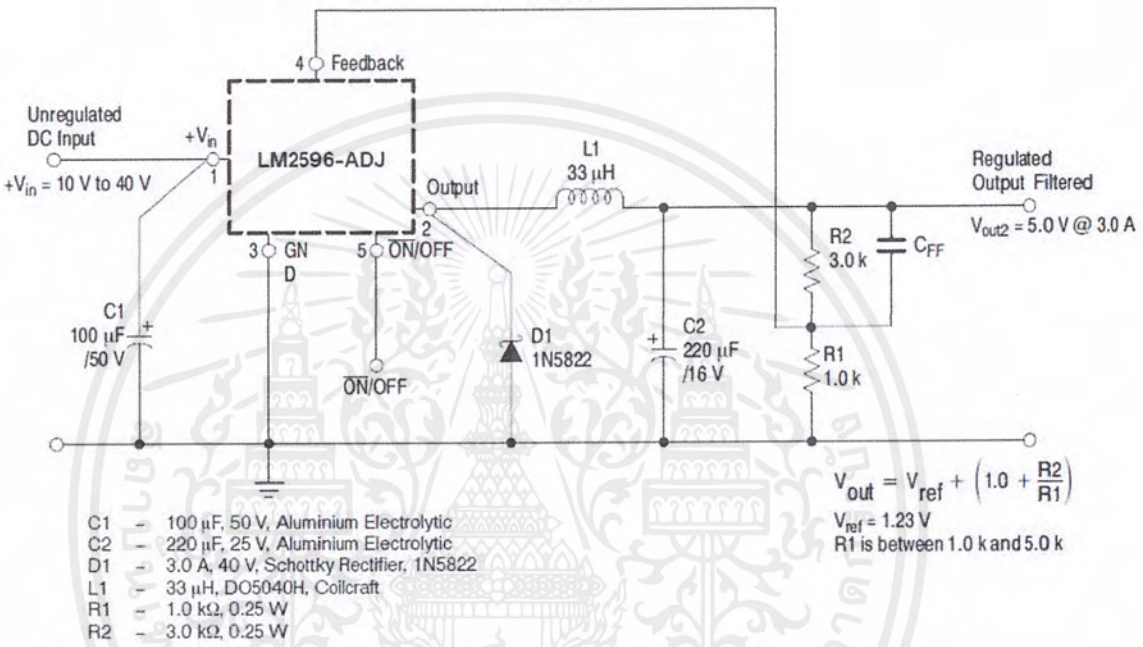
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

คลื่น, ซึ่งแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจะยังไม่ได้เรียบอย่างสมบูรณ์ขนาดของตัวเก็บประจุสำรองพลังงานมีข้อดีข้อเสีย ถ้าตัวเก็บประจุมีขนาดใหญ่ จะช่วยลดการกระเพื่อม แต่จะ เสียค่าใช้จ่ายมากขึ้นและจะสร้างกระแสพีคที่สูงขึ้นในหม้อแปลงของแหล่งจ่ายไฟหลัก กระแสพีคตามหลักการถูกกำหนดโดยอัตราการเพิ่มของแรงดันจ่ายบนขอบที่กำลังเพิ่มของคลื่นไซน์ขาเข้า, แต่ในทางปฏิบัติมันจะถูกทำให้ลดลงโดยความต้านทานของขดลวดหม้อแปลง ในกรณีสุดขีด ที่วงจรเรียงกระแสจำนวนมากจ่ายโหลดเข้าสู่วงจรกระจายพลังงาน กระแสสูงสุดอาจก่อให้เกิด ความยากลำบากในการรักษาแรงดันรูปไซน์อย่างถูกต้องในแหล่งจ่าย ACเพื่อจำกัดการกระเพื่อมให้มีค่าที่ต้องการ ขนาดของตัวเก็บประจุสำรองพลังงานที่ใช้จะเป็นสัดส่วนกับกระแสในโหลด และแปรผกผันกับความถี่แหล่งจ่ายและจำนวนยอดเอาต์พุตของ rectifier ต่อ input cycle. กระแสโหลดและความถี่แหล่งจ่ายโดยทั่วไปมักจะอยู่นอกเหนือการควบคุมของนักออกแบบระบบ rectifier แต่จำนวนยอดต่อรอบอินพุทได้รับผลกระทบโดยทางเลือกของการออกแบบวงจรเรียงกระแสวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น จะให้หนึ่งยอดต่อรอบ และด้วยเหตุผลนี้ มันจึงถูกใช้เฉพาะกับแหล่งจ่ายไฟขนาดเล็กมาก วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นจะมีสองยอดคลื่นต่อรอบ ซึ่งดีที่สุดที่เท่าที่เป็นไปได้สำหรับอินพุตเฟสเดียว สำหรับอินพุทสามเฟส สะพานสามเฟสจะให้หกยอดต่อรอบ จำนวนยอดสามารถทำให้มากขึ้นได้ โดยการใช้เครือข่ายหม้อแปลง วางไว้ก่อน rectifier เพื่อแปลงเฟสให้เป็นลำดับที่สูงขึ้นเพื่อลดการกระเพื่อมต่อไปอีก, ตัวกรองแบบตัวเหนี่ยวนำสามารถนำมาใช้ อุปกรณ์นี้ต่อหลังตัวเก็บประจุสำรองพลังงาน และตามด้วยตัวเก็บประจุตัวที่สอง ตัวเหนี่ยวนำให้อิมพีแดนซ์สูงกับกระแส ripple ซึ่งจะกั้นไม่ให้กระแส ripple ที่มีความถี่สูงผ่าน กระแสโหลดที่เป็น DC สามารถไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำนี้ได้เพราะอิมพีแดนซ์เป็น 0 ใน DC สำหรับการใช้งานกับความถี่ของไฟฟ้า ตัวเหนี่ยวนำจำเป็นต้องมีแกนเป็นเหล็ก หรือวัสดุแม่เหล็กอื่นๆ ซึ่งเพิ่มน้ำหนักและขนาด เพราะฉะนั้นการใช้งานของมันในแหล่งจ่ายไฟสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จึงลดลงในความโปรดปรานของวงจรสารกึ่งตัวนำ เช่น voltage regulatorsทางเลือกที่ดีกว่าการกรองปกติ, และเป็นสิ่งสำคัญถ้า DC โหลดต้องการ ripple ที่ต่ำมาก, คือวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่เรียกว่า regulator ต่อหลังตัวเก็บประจุสำรองพลังงาน ตัวเก็บประจุสำรองพลังงานจะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะป้องกันไม่ให้ระลอกคลื่นแรงดันไฟฟ้า ตกต่ำกว่าแรงดันขั้นต่ำที่กำหนดโดยตัว regulator ในการผลิตแรงดันเอาต์พุตที่ต้องการ ตัว regulator ให้บริการทั้งลดการกระเพื่อม และการจัดการกับการเปลี่ยนแปลงในแหล่งจ่ายไฟหลัก และในโหลด ที่สุดขีดของวิธีการ นี้ คือการไม่ใช้ตัวเก็บประจุสะสมพลังงานทั้งหมดและป้อนคลื่นที่เรียงกระแสแล้วตรงเข้าไปในตัวกรองเหนี่ยวนำเลย ความได้เปรียบของวงจรนี้ก็คือรูปแบบของคลื่นกระแสจะเรียบเนียนกว่า และเป็นผลให้วงจรเรียงกระแสไม่ต้องปฏิสัมพันธ์กับกระแสที่เป็นพัลส์ขนาดใหญ่อีกต่อไป แต่กระแสจะไหลแผ่กระจายไปทั่วทั้งวงจรแทน ข้อเสียที่นอกเหนือจากขนาดและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นแล้ว คือ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจะต่ำลงมาก - เฉลี่ยแล้วประมาณ ครึ่งรอบ AC ไม่ใช่ค่า peak

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
139923

2. การแปลงแรงดันโดยใช้ระบบ Switching Regulator

ซึ่งใช้เทคนิคในการออกแบบขั้นสูงที่จะทำให้เกิดความร้อนน้อยมาก ความสูญเสียน้อยมากเมื่อเทียบกับระบบ Linear ที่สูญเสียพลังงานที่ลดทอนแรงดันลงมาในรูปแบบของความร้อน แต่ระบบสวิตชิ่งต้องการอุปกรณ์หลายชิ้น ต้องอาศัยความรู้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ในการออกแบบและคำนวณ หากออกแบบไม่ดีแล้ว อาจจะสร้างสัญญาณรบกวนอุปกรณ์ต่อพ่วงอื่นได้



รูปที่ 2.16 วงจรแปลงแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบ และการสร้างแขนกล

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบแขนกลเป็นแบบ Articulated Arm

3.1 การออกแบบโครงสร้างแขนกล

ในการศึกษา และเก็บข้อมูลได้เลือกการออกแบบแขนกลเป็นแบบ Articulated Arm ทุกแกนการเคลื่อนที่เป็นแบบหมุน รูปแบบการเคลื่อนที่คล้ายกับแขนคน ซึ่งประกอบด้วยช่วงเอว ท่อนแขนบน ท่อนแขนล่าง และข้อมือ การเคลื่อนที่ทำให้ได้พื้นที่การทำงานคล้ายรถ Backhoe เพียงแต่จะให้ปลายของแขนกลเป็นมือคีบ ที่สามารถใช้หยิบส่งของหรือชิ้นงานขึ้นมาได้

การออกแบบแขนกล ประกอบไปด้วยขั้นตอนใหญ่ๆ 2 ขั้นตอน

- ขั้นตอนแรกคือการออกแบบและจำลองแบบโดยการวาดรูปลงบนกระดาษแข็ง จากนั้นตัดเป็นชิ้นส่วน แต่ละส่วนเพื่อนำมาประกอบกันให้ได้เป็นรูปร่างของแขนกลที่ต้องการ โดยในส่วนนี้จะใช้เวลาค่อนข้างมากเนื่องจากต้องลองผิดลองถูกหลายครั้งในการที่นำแต่ละชิ้นของแขนกลมาประกอบให้เข้ากันได้ในแต่ละส่วน

- ขั้นตอนที่สองการสร้างโครงสร้าง 3 มิติของแขนกลโดยใช้โปรแกรม Solid Work ในการเขียนแบบจำลองเพื่อให้ได้ขนาดและรูปแบบตามที่ออกแบบไว้ก่อนหน้า

3.2ขั้นตอนในการออกแบบแขนกล

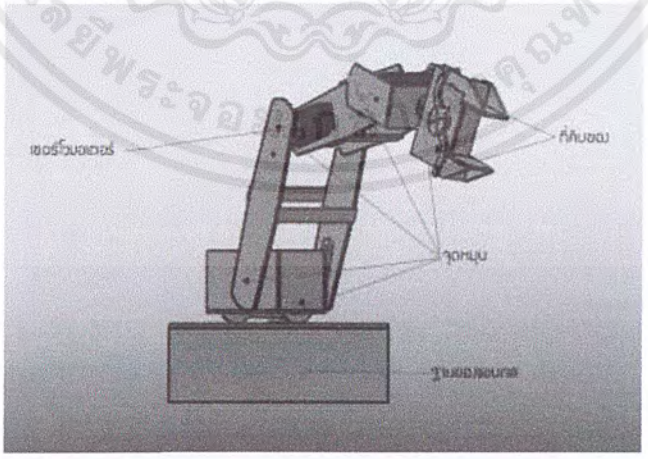
หลังจากที่ได้ศึกษาการทำแขนกลอย่างคร่าวๆจากบทความและเว็ปไซต์ทางกลุ่มก็เริ่มลงมือทำโปรเจค โดยเริ่มจากการศึกษาการทำแขนกลจากบทความต่าง(http://www.arrickrobotics.com) ที่เคยได้มีคนทำมาแล้วซึ่งเริ่มจากการคำนวณทอร์คในข้อต่อต่างๆ ทั้ง6ข้อต่อเพื่อที่จะสามารถหามอเตอร์ที่มีแรงบิดส่งได้ตาม น้ำหนักที่ต้องแบกรับในแต่ละข้อต่อหลังจากที่คำนวณทอร์คได้แล้วจึงออกแบบ แบบจำลอง(Prototype)เพื่อดู ลักษณะการหมุนในแต่ละข้อต่อและความเป็นไปได้ที่จะหาอุปกรณ์มาทำโครงสร้างจากนั้นจึงลงมือสร้าง โครงสร้างแขนกลจริงเมื่อได้โครงสร้างก็ออกแบบวงจรสำหรับควบคุมมอเตอร์ให้มอเตอร์ไม่ได้รับความเสียหาย และทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสุดท้ายเมื่อโครงสร้างเสร็จสมบูรณ์จึงทำการเขียนโปรแกรมควบคุม มอเตอร์ผ่านบอร์ดไมรโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งในส่วนการออกแบบและการทดลองทำได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การออกแบบโครงสร้าง

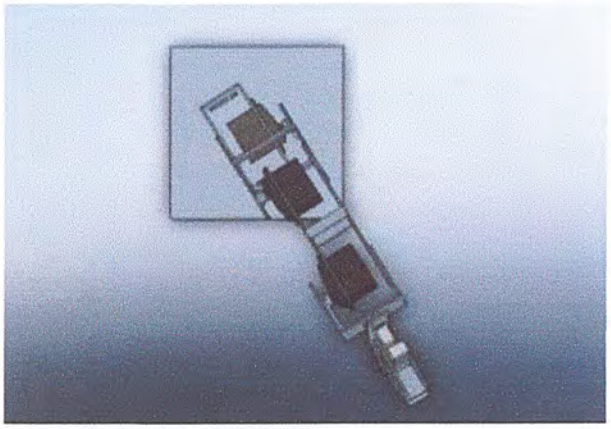
การออกแบบเราใช้แผ่นอะคลิลิคมีความหนา 2 mm ในการใช้เป็นตัวโครงของแขนกลทั้งหมด รูปแบการออกแบบได้แนวความคิดมาจากมือของรถ Backhoe ทั้งช่วงเอว ท่อนแขนบน ท่อนแขนล่าง และข้อมือ

รูปที่ 3.1 ชิ้นส่วนต่างๆของแขนกลที่ตัดแล้ว



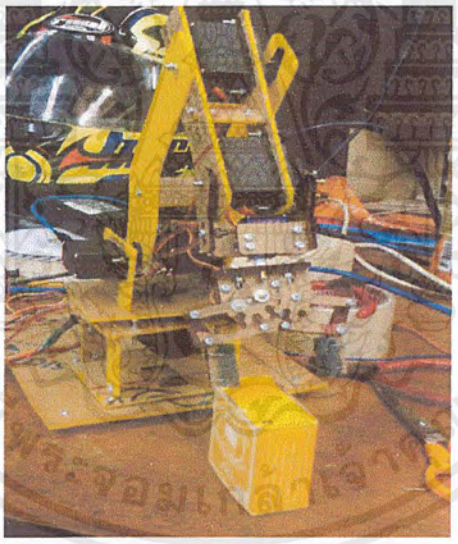
รูปที่ 3.2 ที่ได้จากการออกแบบใน Solid Work แบบ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 รูปแขนกลจาก Solid Work มุม Top view

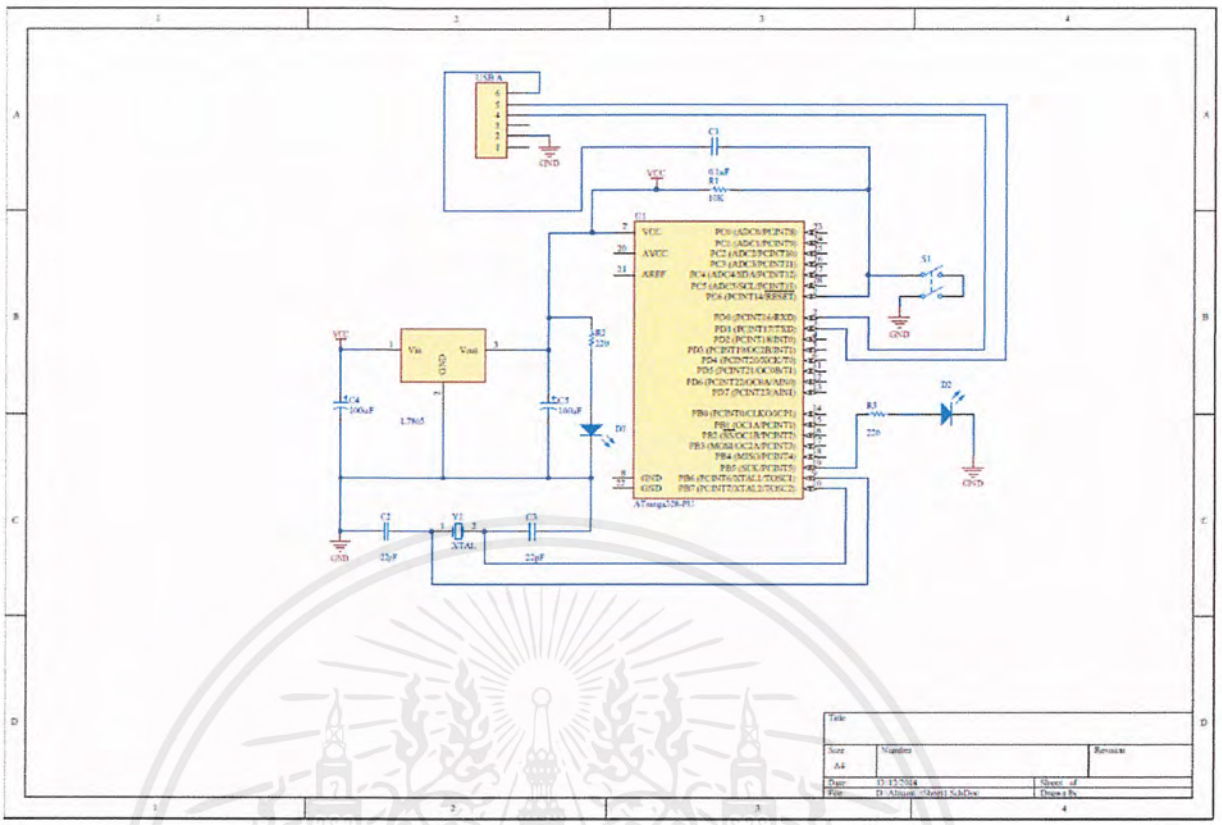
โดยในการทดลองนั้นได้ทดลองการหยิบวัสดุที่มีน้ำหนัก 0.2 กิโลกรัม ซึ่งสามารถหยิบได้ตามที่ต้องการ การตอบสนองของเซอร์โวที่ใช้สามารถใช้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 3.4 การใช้งานโดยหยิบจับวัสดุ

และได้ทดลองให้แขนกลได้หยิบวัสดุแล้วหมุนไปวางในตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ โดยหมุนในทิศทางรอบทิศซ้ายและขวา 180 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 Schematic ATmega328

3.2.2 Servo Motor

ส่วนประกอบที่สำคัญอีกอย่างคือServo Motor ซึ่งใช้เป็นตัวกลางในการหมุนของแขนกล ซึ่งมีทั้งหมด6ข้อต่อ จึงใช้Servo Motor 7 ตัว เป็นตัวหมุนหมุนของแขนกล โดยที่จุดตรงต้นแขน (ไหลของแขนกล) จะใช้ Servo Motor2 ตัวในการยกส่วนแขนกลท่อนบนทั้งหมด

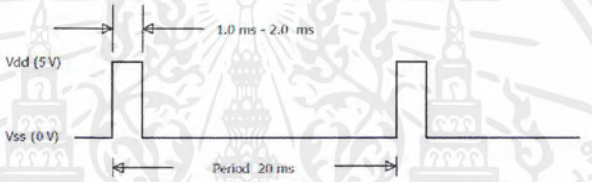
เซอร์โวมอเตอร์ คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC motor) ที่ถูกประกอบรวมกับชุดเกียร์ และ ส่วนควบคุม ต่างๆ ไว้ในโมดูลเดียวกัน โดยจะมีสายต่อใช้งาน 3 เส้น คือ VCC,GND และ สายสัญญาณ ควบคุม (Control Line) ซึ่งสามารถควบคุมให้มอเตอร์หมุนซ้าย ขวาได้จาก สายสัญญาณ โดยสัญญาณที่ใช้ ควบคุมเป็นสัญญาณการมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation, PWM) แบบ TTL Level ระดับ แรงดันจะอยู่ในช่วง 4 ถึง 6 โวลต์ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ ของมอเตอร์แต่ละตัว มีข้อดีคือ ขนาดเล็กน้ำหนักเบา, แรงบิดสูง ,ใช้พลังงานน้อย และ สามารถ ควบคุม ด้วยแรงดันลอจิกที่เป็น TTL ได้โดยตรงไม่จำเป็นต้องต่อ วงจรขับ เพราะ วงจรควบคุมอยู่ ภายในแล้ว ซึ่งสามารถควบคุมให้หมุนไปในตำแหน่งที่ต้องการได้ โดย อาศัยสัญญาณความกว้างพัลส์ แต่จะหมุนได้ในช่วงประมาณ 180° แต่ บางรุ่นหมุนได้ 210° แต่ไม่สามารถ หมุนเป็นวงรอบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

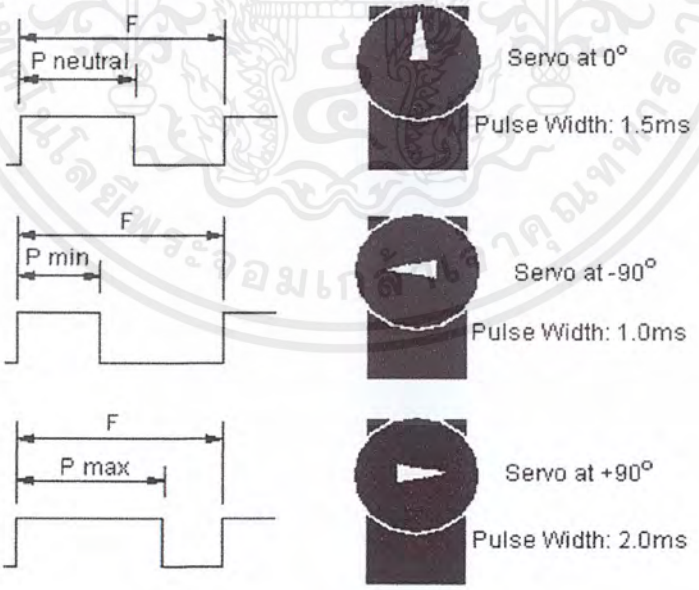
เนื่องจากโครงสร้างภายในมีตัวต้านทานปรับค่าได้ (VR) ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่ง การหมุนของมอเตอร์ และ ตัวต้านทานยึดติดกับแกนหมุนของมอเตอร์ ซึ่งจากการที่ตัวต้านทานปรับค่าได้นี้ไม่สามารถหมุนเป็นวงรอบได้ ดังนั้นจึงถูกออกแบบให้หมุนได้ประมาณ 180o เพื่อป้องกันไม่ให้ตัวต้านทานปรับค่าได้เสียหาย แต่ถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนได้ 360° ตองทำการปรับแต่ง (Modify) ดัดแปลง ชิ้นส่วนบางอย่างของมอเตอร์

การควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

ทำได้โดยการป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ให้กับมอเตอร์ซึ่งตำแหน่งและทิศทางการหมุนของ มอเตอร์จะขึ้นอยู่กับขนาดของความกว้างของพัลส์นั้นๆโดยทั่วไปแล้วความกว้างของสัญญาณพัลส์จะมี จุดให้อ้างอิง3 จุด ดังรูปคือ



รูปที่3.6การป้อนสัญญาณพัลส์เพื่อควบคุมเซอร์โวมอเตอร์



รูปที่3.7 การป้อนสัญญาณพัลส์เพื่อควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด1.5msจะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม 0°C

- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด1msจะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม –90°C

- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด2msจะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม 90°C

หมายเหตุ ค่าความกว้างพัลส์ และระยะองศาการหมุนของมอเตอร์ที่อธิบายด้านบน นั้นเป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้นทั้งนี้ระยะการหมุนและขนาดของพัลส์ที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ในแต่ละยี่ห้อ อาจจะไม่เท่ากัน ดังนั้นในการใช้งานจึงควรศึกษารายละเอียดของมอเตอร์ในแต่ละรุ่นที่นำมาใช้ซึ่งโดย ปกติแล้วรายละเอียดต่างๆของมอเตอร์มักจะมีติดมากับตัวมอเตอร์นั้นๆอยู่แล้วสำหรับ Servo Motor ยี่ห้อ GWS และ HITEC นั้น จะใช้ระบบเฟืองที่ต่างกันทำให้มีทิศทางการหมุนที่ต่างกันโดยจะตรงข้ามกัน เช่น ส่งสัญญาณพัลส์ 1 ms มอเตอร์ GWS จะหมุนทวนเข็มนาฬิกา ส่วนมอเตอร์ของ HITEC จะหมุนในทิศทาง ตามเข็มนาฬิกา เป็นต้น

ส่วนการที่จะควบคุมให้มอเตอร์หมุนเป็นมุมอื่นๆ นั้นก็สามารถทำได้โดยการป้อนสัญญาณพัลส์ เป็นระดับความกว้างต่างๆ โดยอ้างอิงจากจุด ทั้ง 3 จุดที่กล่าวมานี้ ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุน ไปที่มุม -45 องศา เราก็จะต้องป้อนสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้าง 1.25 ms เป็นต้น และสัญญาณพัลส์นี้จะต้องจ่ายให้มอเตอร์ทุกๆ 20 ms (Period) เพื่อรักษาสภาพตำแหน่งของมอเตอร์ไว้ โดยหลักการก็คือจะอาศัยการเปรียบเทียบช่วงเวลาของความกว้างพัลส์ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ทางขาสัญญาณควบคุมกับค่าเวลาของวงจร RC ภายในบอร์ดควบคุมในตัวของมอเตอร์ ซึ่งค่าเวลาของวงจร RC นี้จะมีการเปลี่ยนแปลงตามการหมุนของมอเตอร์เนื่องจากตัวต้านทานปรับค่าจะถูกยึดติดอยู่กับแกนหมุนของมอเตอร์ซึ่งการหมุนของมอเตอร์จะทำให้ค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่า (VR) เปลี่ยนแปลงไป เป็นผลทำให้ค่าเวลาของวงจร RC เปลี่ยนแปลงตามไปด้วยโดยในขณะที่เราป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ให้กับมอเตอร์ทางขาสัญญาณควบคุม สัญญาณนี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าเวลาของวงจร RC หากค่าทั้ง 2 ไม่เท่ากัน มอเตอร์ก็จะหมุนทำให้ค่าเวลาของวงจร RC เปลี่ยนแปลงจนกระทั่งค่าเวลาความกว้างพัลส์ของวงจร RC เปลี่ยนแปลงจนเท่ากับสัญญาณพัลส์ทางขาควบคุม (Control line) มอเตอร์จึงจะหยุดหมุน

จุดหมุนของแขนกลจะใช้ Servo Motor ในการหมุน หรือยก-ขึ้นลงของแขนกล สำหรับเบอร์ที่เลือกใช้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Servo Motor Tower Pro SG-5010

รูปที่3.8 Servo Motor Tower Pro SG-5010

Servo Motor Tower Pro SG-5010 เป็นเซอร์โวในขนาดมาตรฐาน สามารถใส่ทั้งรถ และเรือ และ เครื่องบินขนาดใหญ่ คุณสมบัติเทียบเท่ากับ รุ่น ดังๆอย่าง Futaba S3003 และ S3001

<u>คุณสมบัติของ Servo Motor Tower Pro SG-5010</u>

- ความเร็วในการดำเนินงาน (4.8V) : 0.14sec/60 องศา
- ความเร็วในการดำเนินงาน (6.0v) : 0.11sec/60 องศา
- แรงบิดทอร์ค (4.8V) : (8kg/cm) (110oz/in.)
- แรงบิดทอร์ค (6.0v) : (11kg/cm) (156oz/in.)
- ช่วงอุณหภูมิ : -30 ถึง +60 ℃
- แรงดันการดำเนินงาน: 3.5 8.4V
- เซอร์โวนี้จะใช้สำหรับรูปแบบอุปกรณ์เครื่องบินจะมีขนาดเล็กและพกพาสะดวกมากในการดำเนินการ
- ลักษณะขนาดเล็กและประณีตจะอำนวยความสะดวกในการพกพาเสียงรบกวนน้อยกว่าน้ำหนักเบา
- มอเตอร์ coreless และแบกลูกสองที่ใช้สำหรับอุปกรณ์แบบเครื่องบิน
- เสถียรภาพในการทำงานและหลักฐานช็อต
- ระยะเวลาในการเชื่อมต่อสายไฟ: 28.3cm
- น้ำหนักรายการ: 55g
- แพคเกจน้ำหนัก: 62 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- SG91R Tower Pro SG90

รูปที่3.9SG91R Tower Pro SG90

ข้อมูลของผู้ใช้ทั่วไปถือว่า SG91R โดย SG91R ดูเหมือนจะมีลักษณะเหมือน SG90 มีน้ำหนัก 9g ที่เป็นที่นิยมมากที่สุดในโลก RC แต่มีความแตกต่าง8nv 91R เป็น classed ที่สูงกว่า เป็น Servo Motor grade A นิยม Heli และ Aero SG91R จะแตกต่างจาก SG90 ในเรื่องความละเอียดและแรงบิด

<u>คุณสมบัติของ Servo Motor SG91R Tower Pro SG90</u>

- Dimensions: 22x 11.5 x 27mm
- Operating Speed (4.8V no load): 0.12sec/60 degrees
- Operating Speed (6V no load): 0.11sec/60 degrees
- Stall Torque (4.8V): 17.5 oz/in (1.2 kg/cm)
- Stall Torque (6V): 21 oz/in (1.6 kg/cm)
- Temperature Range: -30 to +60 Degree C
- Dead Band Width: 7usec
- Operating Voltage: 3.0 - 7.2 Volts
- Weight: 9g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดง Datasheet Servo Motor ของรุ่นต่างๆ

TOWER PRO SERVO SPECIFICATION									
Type	Dimension	Weight	Stall torque	Operating speed	Operating voltage	Temperature rang	Dead band width	Gear type	apply for
SG50	21.5x11.7x25.1mm	5	0.6kg/cm(4.8V)	0.1sec/60degree(4.8v)	4.8V	0℃_55℃	10μs	nylon	Helicopter,3D-flyer,F3A
SG51R	21.5x11.7x25.1mm	5	0.7kg/cm(4.8V)	0.1sec/60degree(4.8v)	4.8V	0℃_55℃	10μs	nylon	
SG90	23x12.2x29mm	9g	1.8kg/cm(4.8V)	0.1sec/60degree(4.8v)	4.8V	0℃_55℃	10μs	nylon	
SG91R	23x12.2x29mm	9g	1.8kg/cm(4.8V)	0.1sec/60degree(4.8v)	4.8V	0℃_55℃	10μs	nylon	
SG5010	40.2x20.2x43.2mm	38g	5.5kg/cm(4.8V) 6.5kg/cm(6V)	0.2sec/60degree(4.8v) 0.16sec/60degree(6v)	4.8-6V	0℃_55℃	10μs	nylon	cars&airplane
MG945	40.7*19.7*42.9mm	55g	10kg/cm(4.8V), 12kg/cm(6V)	0.23sec/60degree(4.8v) 0.2sec/60degree(6.0v)	4.8-7.2V	0℃_55℃	5μs	metal	1/8 buggy, cars
MG945R	40.7*19.7*42.9mm	55g	10kg/cm(4.8V), 12kg/cm(6V)	0.23sec/60degree(4.8v) 0.2sec/60degree(6.0v)	4.8-7.2V	0℃_55℃	5μs	metal	
MG995	40.7*19.7*42.9mm	55g	8.5kg/cm(4.8V), 10kg/cm(6V)	0.20sec/60degree(4.8v) 0.16sec/60degree(6.0v)	4.8-7.2V	0℃_55℃	5μs	metal	1/10 buggy, cars
MG995R	40.7*19.7*42.9mm	55g	8.5kg/cm(4.8V), 10kg/cm(6V)	0.20sec/60degree(4.8v) 0.16sec/60degree(6.0v)	4.8-7.2V	0℃_55℃	5μs	metal	
9805BB	66x30.2x64.4mm	160g	20kg/cm(4.8V), 25kg/cm(6V)	0.20sec/60degree(4.8v) 0.16sec/60degree(6v)	4.8-7.2V	0℃_55℃	5μs	nylon	Cars
MG16R	29*11.2*29mm	18.8g	2.7kg.cm(4.8v) ,2.9kg/cm(6.0)	0.10sec/60degree(4.8v) 0.08sec/60degree(6v)	4.8v-6V	0℃_55℃	5μs	metal	Helicopter
MG946R	40.7*19.7*42.9mm	55g	10.5kg/cm(4.8V), 13kg/cm(6V)	0.20sec/60degree(4.8v) 0.17sec/60degree(6.0v)	4.8-7.2V	0℃_55℃	5μs	metal	Gasoline engine plane, train-flyer
MG996R	40.7*19.7*42.9mm	55g	9.4kg/cm(4.8V), 11kg/cm(6V)	0.17sec/60degree(4.8v) 0.14sec/60degree(6v)	4.8-7.2V	0℃_55℃	5μs	metal	
MG955H	40.7*19.7*42.9mm	55g	7.0kg/cm(4.8V), 8.5kg/cm(6V)	0.17sec/60degree(4.8v) 0.14sec/60degree(6v)	4.8-7.2V	0℃_55℃	5μs	metal	Helicopter
MG956R	40.7*19.7*42.9mm	55g	7.5kg/cm(4.8V), 9kg/cm(6V)	0.15sec/60degree(4.8v) 0.12sec/60degree(6v)	4.8-7.2V	0℃_55℃	5μs	metal& 1 nylon gear	
Marks: "R" means RoHS, It is a material standard for European area, means non-toxic,non-leaded,no harm to enviroment									

3.3 วงจรที่ใช้ควบคุม

3.3.1 การทำงานของวงจร

1 .ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR รุ่น ATmega 328 สถาปัตยกรรมชั้นสูงแบบ RISC(Reduce Instruction Set Computer)

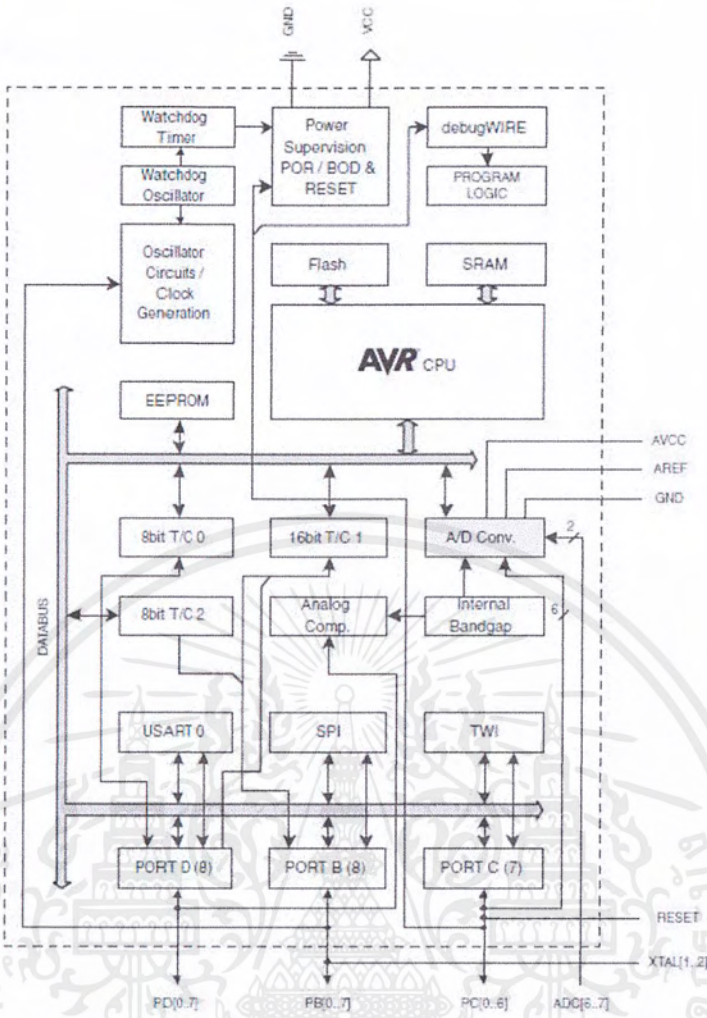
- RISC คือตัวทำให้การประมวลผลมีความเร็ว 1 คำสั่ง/1 clock หรือ CPU สามารถประมวลคำสั่งได้ 1 MIPS/MHz

- ชุดคำสั่ง 131 คำสั่งต่อ 1 รอบนาฬิกา

- รีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต 32 ตัว

- ความเร็วในการประมวลผลมากกว่า 20 ล้านคำสั่งต่อวินาที (MIPS) ที่ 20 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10บล็อกไดอะแกรมของ ATmega328

โดยมีคุณสมบัติต่างๆดังต่อไปนี้

<u>หน่วยความจำ</u>

- แบบ 32 Kbyte สามารถเขียนลบโปรแกรมได้ 10,000 ครั้ง

- แบบ EPROM 1Kbyte สามารถเขียนและลบโปรแกรมได้ 100,000 ครั้ง

- แบบ SRAM 2 Kbyte

<u>ไฟเลี้ยง</u>

- ระหว่าง 5 v

<u>ความถี่สัญญาณนาฬิกา</u>

- ระหว่าง 0 ถึง 4 MHz

- มีการรองรับอุปกรณ์ต่อพ่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุปกรณ์สื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมแบบ I2C และ USART อื่นๆ

- มีระบบ Reset แบบอัตโนมัติเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์

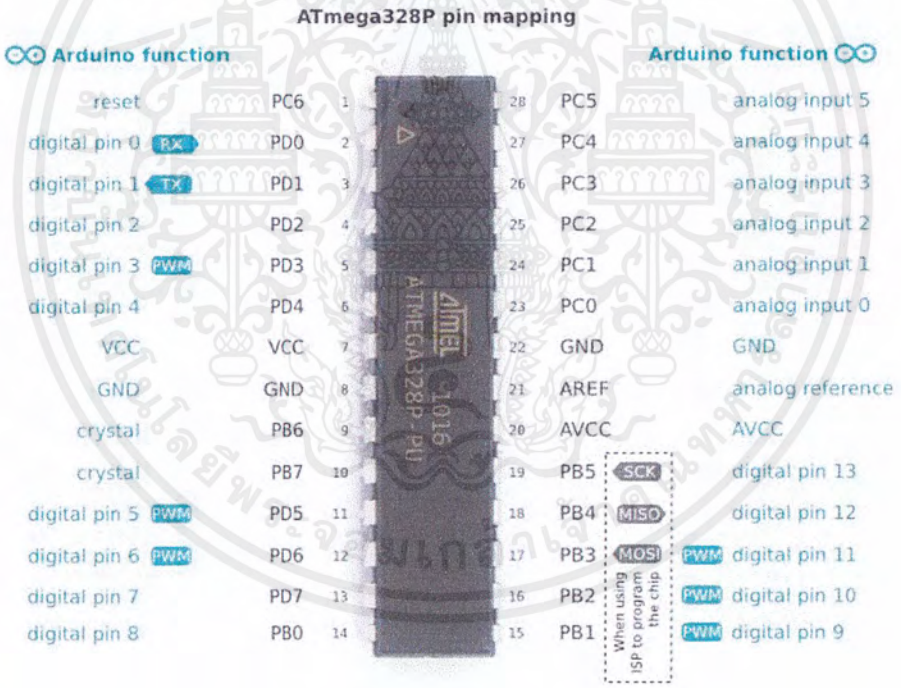
- มีฟังก์ชั่นตรวจสอบแรงดัน

- มีระบบการขัดจังหวะทั้งภายในและภายนอก

- มีระบบตรวจจับความผิดพลาดของ CPU

-มีโหมดอนุรักษ์พลังงาน 5 mode ได้แก่ dle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Stand-by

2. ส่วนประกอบต่างๆของไอซี ATmega 328



รูปที่ 3.11ส่วนประกอบต่างๆของไอซี ATmega 328

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

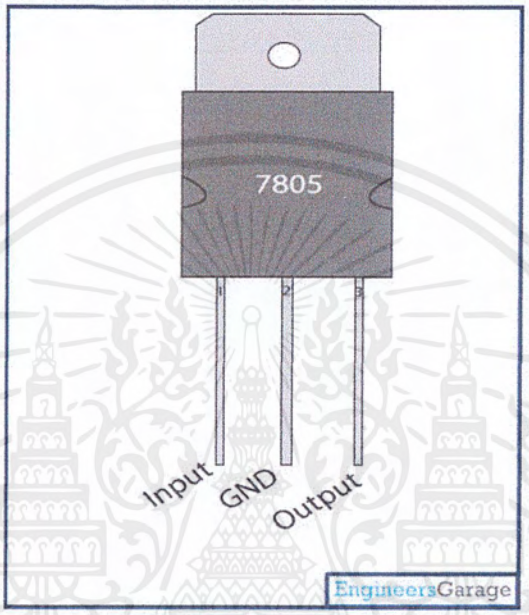
ตารางที่ 3.2 รายละเอียดส่วนประกอบต่างๆของไอซี ATmega 328

ชื่อ	รายละเอียด	ขา
GND	ขากราวด์ต่อสายดิน	8,22
VCC	ไฟเลี้ยง 1.8 ถึง 5.5v	7
Port B(PB 7:0) XTAL1/XTAL2/TOSC1/TOSC2	- เป็นพอร์ต 2 ทิศทาง ขนาด 8 บิต โดยสามารถ กำหนดให้ขาของแต่ละพอร์ตสามารถตั้งค่าให้ Pull up Resistor ได้(ภายในเป็นอิสระแยกจากกันเพื่อดึงแรงดันของลอจิก 1 ให้เท่ากับ 5 v) - สามารถใช้งานพิเศษตามความต้องการของ ATmega 328 โดยขึ้นอยู่กับการตั้งค่าสัญญาณนาฬิกาที่ขา PB6 ที่ใช้เป็นแรงดัน Oscillator และขาอินพุตของวงจรสัญญาณ Clock Oscillator	9,10,14-19
PC6/RESET	ขา Reset	1
Port D (PD7:0)	- เป็นพอร์ตสองทิศทางขนาด 8 บิต โดยสามารถ กำหนดให้ขาของแต่ละพอร์ตสามารถตั้งค่าให้Pull up Resistor ได้ - สามารถใช้งานพิเศษตามความต้องการของ ATmega 328	1-6,11-13
AVCC	ใช้จ่ายไฟให้กับวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล มักจะต่อเข้ากับขา VCC	20
AREF	แรงดันอ้างอิงที่ใช้งานในส่วนของวงจรแปลง สัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลมักต่อกับ VCC	21
ADC7:6	ขากำลังงานใช้แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็น ดิจิตอล	23-28
Port C (PC5:0)	- เป็นพอร์ตสองทิศทางขนาด 8 บิต โดยสามารถกำหนดให้ขาของแต่ละพอร์ตสามารถตั้งค่าให้ Pull up Resistor ได้ - สามารถใช้งานพิเศษตามความต้องการของ ATmega 328	23-28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. IC L7805

เป็นไอซีเร็กกูเรเตอร์ (Regulate) ขนาด 5 โวลท์ ซึ่งจะทำหน้าที่รักษาระดับของแรงไฟให้มีค่าคงที่ 5 โวลท์



รูปที่ 3.12 IC L7805

ตารางที่ 3.3 แสดงข้อมูลขาของ L7805

Pin No	Function	Name
1	Input voltage (5V-18V)	Input
2	Ground (0V)	Ground
3	Regulated output; 5V (4.8V-5.2V)	Output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรจ่ายไฟแรงดัน

เลือกใช้หม้อแปลงCenterTabแปลงไฟฟ้า 220V เป็น 12V และ 9V ที่มีกระแสสูงสุดที่ 4A ต่อกับ Bridge Full Wave Rectifier ซึ่งทำหน้าที่แปลงไฟฟ้า AC to DC โดยเมื่อจ่ายไฟฟ้าและกระแสไหลผ่านไดโอด ไดโอดจะเรียงกระแสไฟฟ้าให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นผ่านตัวเก็บประจุ ซึ่งจะทำการกรองแรงดันให้เรียบขึ้นแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุประมาณ 12*1.414=16.9Vซึ่งยังไม่เรียบเท่าที่ควรยังมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆลงๆในลักษณะคล้ายสัญญาณฟันเลื่อยเพราะว่าตัวเก็บประจุจะเก็บ และคายประจุอยู่ตลอดเวลา จึงจำเป็นต้องใช้วงจรRegulator เข้ามาช่วยในการรักษาระดับแรงดันและกระแสให้คงที่ในการจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์และวงจรอื่นๆในระบบ คือ

1.Voltage Regulator L7805 เพื่อที่จะแปลงไฟฟ้าจาก 12V ที่ได้จากหม้อแปลงไฟฟ้าให้เป็นแรงดันไฟบวกคงที่ขนาด5โวลท์ เพราะไฟที่ได้จากBridge Full Wave Rectifier นั้นยังไม่เรียบและคงที่มากนัก แต่เมื่อผ่าน Regulator โดยวงจร Regulator จะทำหน้าที่ปรับแต่งแรงดันให้เรียบ ขึ้นและรักษาระดับแรงดันให้คงที่ตลอดการใช้งานแรงดันขาออกประมาณ 5 V สำหรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับ Controller Broad ที่ใช้ไฟเลี้ยงในการทำงาน 5V ทำหน้าที่ในการประมวลผลคำสั่งในการทำงานต่างๆ ของแขนกล

2.DC-to-DC Step Down LM2596 Module (3A)ซึ่งทำหน้าที่เหมือนกับVoltage Regulator L7805 แต่ต่างกันที่ DC-to-DC Step Down LM2596 Module (3A) นี้จะสามารถรักษาระดับแรงดันและกระแสได้ด้วย คือวงจรนี้จะรักษาระดับการจ่ายกระแสให้กับ Servo Motor ที่ใช้แรงดัน 7V และกระแส 1A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองโปรแกรมสร้างสัญญาณควบคุม servo motor

4.1.1 การทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ *การควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ ทำได้โดย* การป้อน สัญญาณความกว้างพัลส์ให้กับมอเตอร์ซึ่งตำแหน่งและทิศทางการหมุนของมอเตอร์นี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของ ความกว้างของพัลส์นั้นๆโดยทั่วไปแล้วความกว้างของสัญญาณพัลส์จะมีจุดอ้างอิง 3 จุดคือ

- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 0.5 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา หรือจุดกึ่งกลางของมอเตอร์

- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1.5 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่ง 90 องศาหรือในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 2.5 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่ง 180 องศาหรือในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

ส่วนการที่จะควบคุมให้มอเตอร์หมุนเป็นมุมอื่นๆนั้นก็สามารถทำได้โดยการป้อนสัญญาณพัลส์ระดับความ กว้างต่างๆ โดยอ้างอิงจากจุดที่กล่าวมานี้ ตัวอย่างเช่นถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนไปที่มุม 45 องศาจะต้องป้อนสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้าง 1 ms เป็นต้น และสัญญาณพัลส์นี้ต้องจ่ายให้มอเตอร์ทุกๆ 20 ms (Frame Period) เพื่อรักษาสภาพตำแหน่งของมอเตอร์ไว้

โดยหลักการก็คือ จะอาศัยการเปรียบเทียบช่วงเวลาของความกว้างพัลส์ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ทางขาของสัญญาณควบคุมกับค่าเวลาของวงจร RC ภายในบอร์ดควบคุมในตัวของมอเตอร์ ซึ่งค่าเวลาของวงจร RC นี้ จะมีการเปลี่ยนแปลงตามโปรแกรมที่ได้เขียนไว้ในคอมพิวเตอร์แล้วนำมาใส่ลงบอร์ดควบคุมอีกที เป็นผลทำให้ค่าเวลาของวงจร RC เปลี่ยนแปลงตาม Source code ที่กลุ่มผู้จัดทำได้เขียนไว้ โดยในขณะที่ป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ให้กับมอเตอร์ ทางขาสัญญาณควบคุม สัญญาณนี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าเวลาของวงจร RC หากค่าทั้ง 2 ไม่เท่ากัน มอเตอร์ก็จะหมุนทำให้ค่าเวลาของวงจร RC เปลี่ยนแปลงจนกระทั่งค่าเวลาความกว้างพัลส์ของวงจร RC เปลี่ยนแปลงจนเท่ากับสัญญาณพัลส์ทางขาควบคุม (Control line) มอเตอร์จึงหยุดหมุน

4.1.2 การทดลอง

1.สร้างสัญญาณ PWM ผ่าน Microcontroller ATMEGA 32 ให้ได้ความกว้าง 0.5,1.5 และ 2.5ms

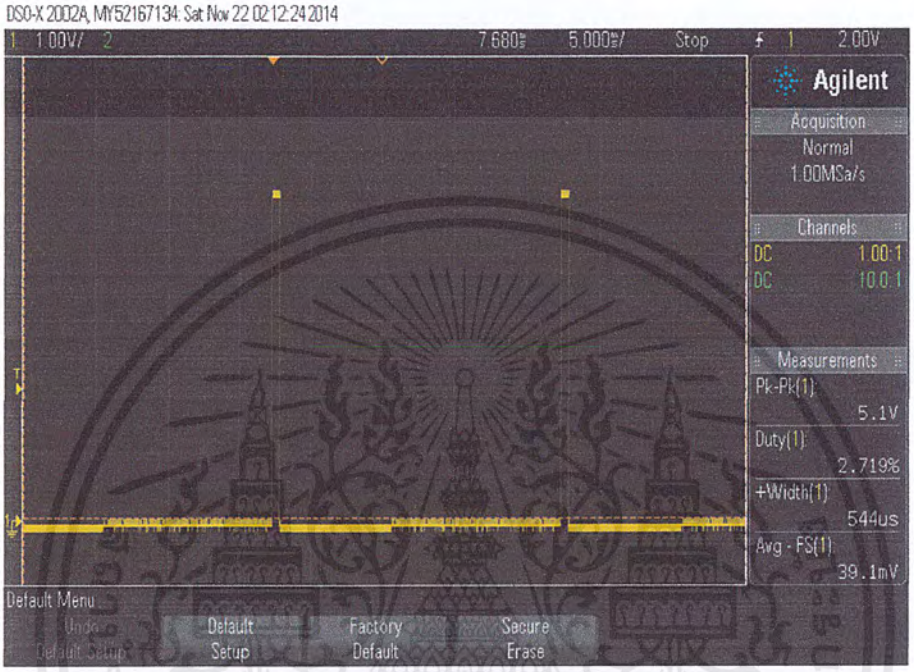
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.สังเกตผลจาก Oscilloscope

4.1.4 ผลการทดลอง

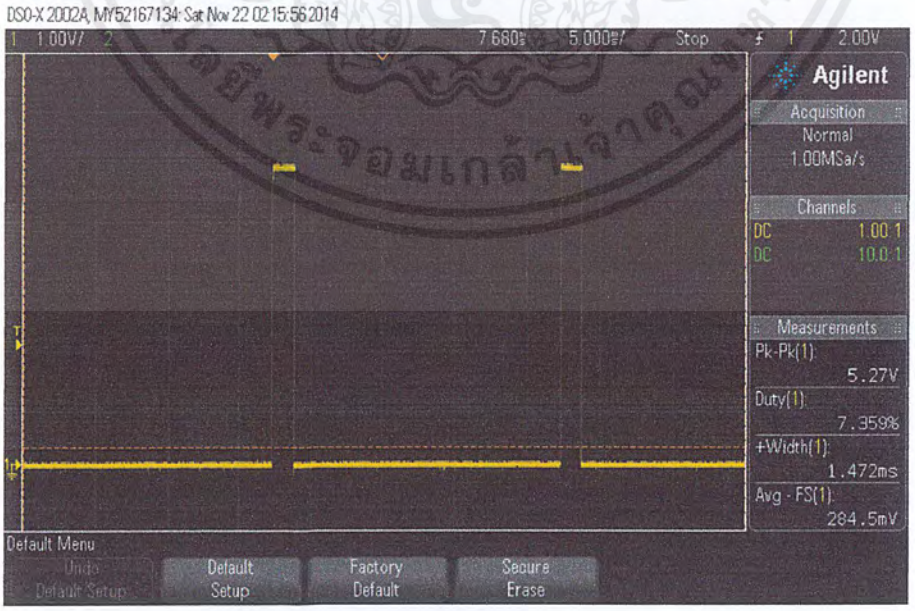
เมื่อเขียนโปรแกรมสร้างสัญญาณ PWM ให้ได้ความกว้าง 0.5, 1.5 และ 2.5 ms แล้วได้ผลดังนี้

- ทดลองเขียนโปรแกรมให้สร้างสัญญาณ PWM ความกว้าง 0.5 m



รูปที่ 4.1 สัญญาณ PWM ความกว้าง 0.5 m

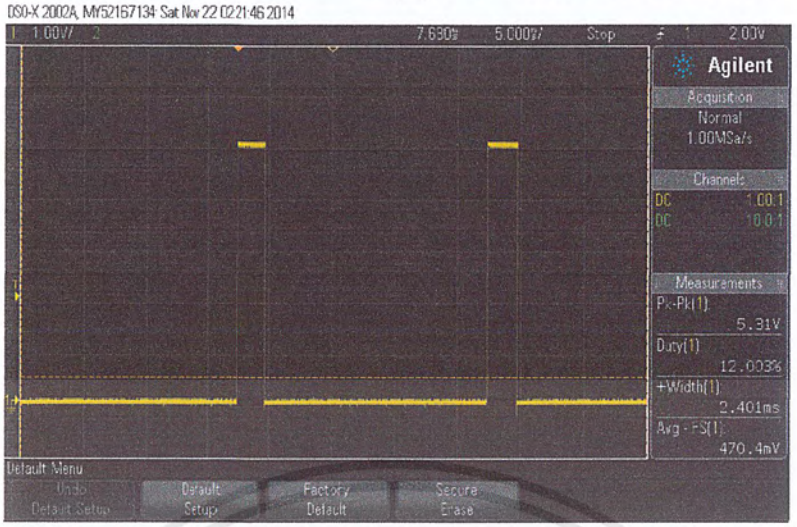
- ทดลองเขียนโปรแกรมให้สร้างสัญญาณ PWM ความกว้าง 1.5 ms



รูปที่ 4.2 สัญญาณ PWM ความกว้าง 1.5 m

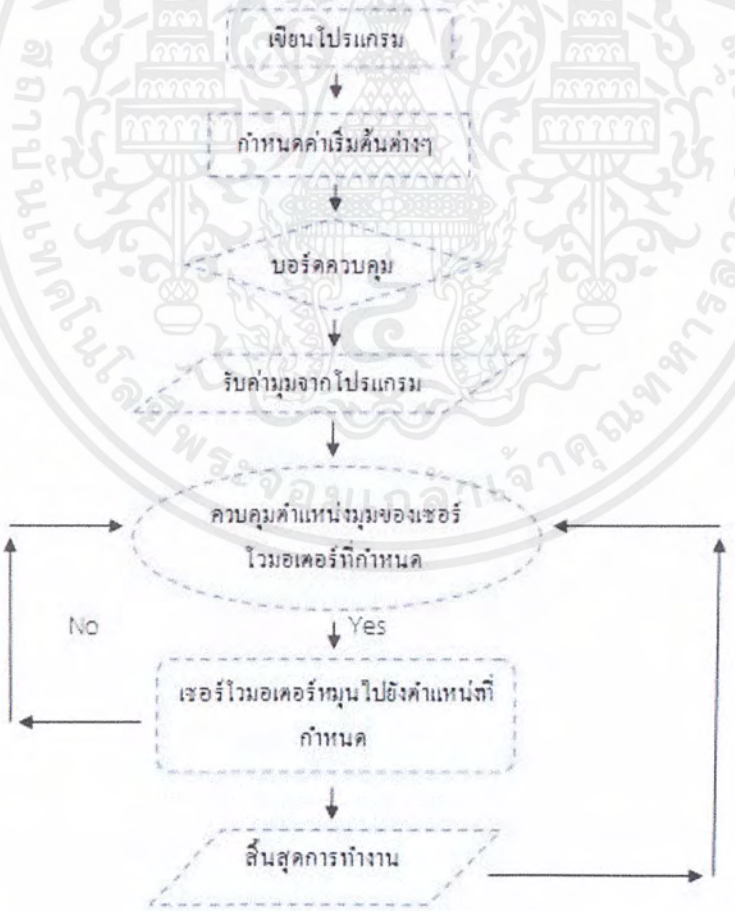
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทดลองเขียนโปรแกรมให้สร้างสัญญาณ PWM ความกว้าง 2.5 ms



รูปที่ 4.3 สัญญาณ PWM ความกว้าง 2.5 m

4.2 แผนภูมิการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 4.4 แผนภูมิการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มต้นจากเขียน Source code ที่เขียนขึ้นจากคอมพิวเตอร์ จากนั้นกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆที่ต้องการจะใช้งานแล้ว Burn Source code ลงในบอร์ดควบคุม เพื่อที่จะใช้ในการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ตัวต่างๆที่มุมใดๆ เมื่อเซอร์โวมอเตอร์ตัวหนึ่งๆได้รับค่าตำแหน่งที่จะต้องทำงานแล้วก็จะหมุนไปยังตำแหน่งที่ได้กำหนดไว้ แต่ถ้าหากเซอร์โวมอเตอร์ตัวนั้นไม่สามารถไปยังตำแหน่งที่กำหนดไว้ได้ หรือไปที่ตำแหน่งใดๆที่ไม่ใช่ตำแหน่งที่ถูกกำหนดไว้ การทำงานในขั้นต่อไปจะยังไม่ไปต่อจนกว่าเซอร์โวมอเตอร์ตัวนั้นจะไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง (เป็นการรับ-ส่ง Feed back ของเซอร์โวมอเตอร์กับบอร์ดควบคุม) และเมื่อเซอร์โวมอเตอร์ตัวใดๆได้หมุนไปยังตำแหน่งที่ถูกต้องแล้วก็จะสิ้นสุดการทำงานและกลับมาทำงานตาม Step เดิมอีกครั้ง

4.3 ค่าทอร์คที่เซอร์โวมอเตอร์ตัวใดๆ

ตารางที่ 4.1 ทอร์คที่เซอร์โวมอเตอร์ตัวใดๆ

Servo No.	Length (cm)	Weight (Kg)	Toque (Kg/cm)	Object (Kg)	Toque with Object (Kg/cm)	Movement
Servo 1 ที่มือหนีบ	9.5	0.014	0.133	0.1	1.083	X-Y , X-Z , Y-Z
Servo 2 ข้อมือหนีบ ใช้หมุน	10	0.02	0.2	0.1	1.2	X-Y
Servo 3 ข้อมือหนีบ ใช้ยกขึ้น-ลง	15	0.038	0.57	0.1	2.07	X-Z , Y-Z
Servo 4 ข้อศอก	24.5	0.086	2.107	0.1	4.557	X-Z , Y-Z
Servo 5 ฐานไหล่	39	0.139	5.421	0.1	9.321	X-Z , Y-Z
Servo 6 ฐานไหล่	1	0.23	0.23	0.1	0.33	X-Y

- Servo 1 จะใช้ในการหนีบจับสิ่งของซึ่งเปรียบเสมือนกับนิ้วมือของมนุษย์ในการควบคุมจะใช้คำสั่งสัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 0.5 ms ให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปที่ 0 องศา เพื่อที่จะกางนิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกมาเพื่อที่จะเอาไว้หยิบ จับวัตถุที่ต้องการ และเมื่อต้องการจะหยิบวัตถุก็ให้สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1.5 ms ให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปที่ 90 องศา เพื่อให้นิ้วที่กางออกนั้น หุบหรือหนีบกลับเข้ามา ซึ่งค่า Toque ในจุดนี้จะคำนวณจากระยะของวัตถุ (0.1 Kg) ที่หนีบมาถึง Servo ตัวที่ 1 ซึ่งจะมีค่าประมาณ 1.083 kg/cm

- Servo 2 จะใช้ในการหมุนของข้อมือที่หนีบวัตถุเปรียบเสมือนข้อมือของมนุษย์แต่สามารถหมุนได้ 180 องศาในการควบคุมการทำงานในส่วนนี้จะใช้คำสั่งสัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1.5 ms ให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปที่ 90 องศา เพื่อให้ข้อมืออยู่ในแนวเดียวกันกับพื้น และให้สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 0.5 หรือ 2.5 ms เพื่อให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปที่ 0 หรือ 180 องศา แล้วแต่ผู้ควบคุมซึ่งค่า Toque ในจุดนี้จะคำนวณจากระยะของวัตถุ (0.1 Kg) ที่หนีบมาถึง Servo ตัวที่ 2 ซึ่งจะมีค่าประมาณ 1.2 kg/cm

- Servo 3 จะใช้ในการยกขึ้น-ลงของข้อมือที่หนีบวัตถุเปรียบเสมือนข้อมือของมนุษย์ที่สามารถงอขึ้น-ลงได้ ในการควบคุมการทำงานในส่วนนี้จะใช้คำสั่งสัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1.5 ms ให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปที่ 90 องศา เพื่อให้ข้อมืออยู่ในแนวเดียวกันกับพื้น (แนวเส้นตรง) และให้สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 0.5 หรือ 2.5 ms เพื่อให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปที่ 0 หรือ 180 องศา แล้วแต่ผู้ควบคุมซึ่งค่า Toque ในจุดนี้จะคำนวณจากระยะของวัตถุ (0.1 Kg) ที่หนีบมาถึง Servo ตัวที่ 3 ซึ่งจะมีค่าประมาณ 2.07 kg/cm

- Servo 4 จะใช้ในการยกขึ้น-ลง ของ Servo Motor ทั้ง 3 ตัวที่ได้กล่าวมา โดยในส่วนนี้จะเปรียบเสมือนข้อศอกของมนุษย์ที่สามารถงอขึ้น-ลงได้ ในการควบคุมการทำงานในส่วนนี้จะใช้คำสั่งสัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1.5 ms ให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปที่ 90 องศา เพื่อให้ข้อศอกอยู่ในแนวเดียวกันกับพื้น (แนวเส้นตรง) และให้สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 0.5 หรือ 2.5 ms เพื่อให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปที่ 0 หรือ 180 องศา แล้วแต่ผู้ควบคุมซึ่งค่า Toque ในจุดนี้จะคำนวณจากระยะของวัตถุ (0.1 Kg) ที่หนีบมาถึง Servo ตัวที่ 4 ซึ่งจะมีค่าประมาณ 4.557 kg/cm

- Servo 5 and 6 ในส่วนนี้จะใช้เซอร์โวมอเตอร์ช่วยกันยก 2 ตัวเนื่องจากเป็นจุดที่มีค่า Toque สูงที่สุด เพราะจะต้องยก Servo Motor ทั้ง 4 ตัวที่ได้กล่าวมา โดยในส่วนนี้จะเปรียบเสมือนไหล่ของมนุษย์ที่สามารถยกขึ้น-ลงได้ ในการควบคุมการทำงานในส่วนนี้จะใช้คำสั่งสัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1.5 ms ให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปที่ 90 องศา เพื่อให้ไหล่อยู่ในแนวตั้งฉากกับพื้น (แนวดิ่ง) และให้สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 0.5 หรือ 2.5 ms เพื่อให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปที่ 0 หรือ 180 องศา แล้วแต่ผู้ควบคุมซึ่งค่า Toque ในจุดนี้จะคำนวณจากระยะของวัตถุ (0.1 Kg) ที่หนีบมาถึง Servo ตัวที่ 5 และ 6 ซึ่งจะมีค่าประมาณ 9.321 kg/cm

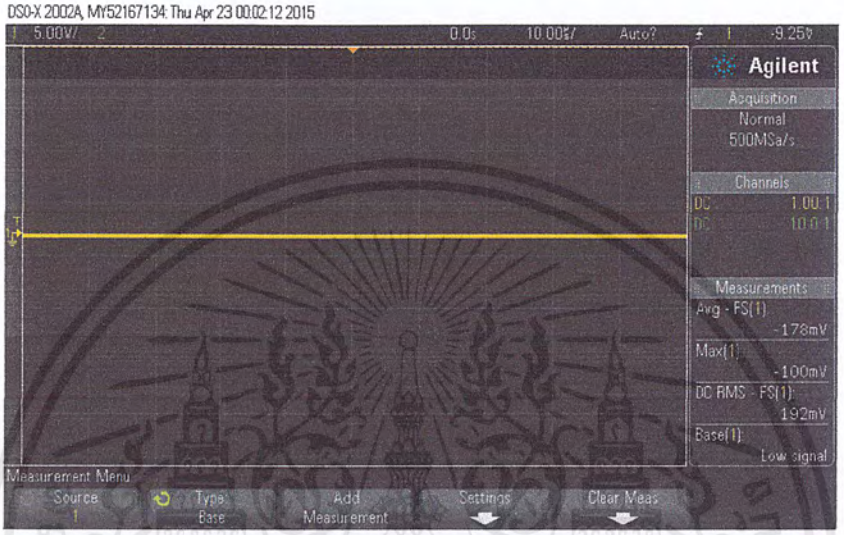
- Servo 7 ส่วนนี้จะไม่ได้อยู่ในตารางของการคำนวณหาค่า Toque เพราะส่วนนี้จะใช้เพียงการหมุนไปมาของฐานซึ่งมีค่า Toque ไม่มากนักจึงไม่ได้นำมาคิดในส่วนนี้ ส่วนนี้จะเปรียบเสมือนเอวของมนุษย์ที่สามารถหมุนไปมาซ้าย-ขวาได้ในการควบคุมการทำงานในส่วนนี้จะใช้คำสั่งสัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1.5 ms ให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปที่ 90 องศา เพื่อให้ฐานอยู่ในแนวตรง (แนวเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายตาขณะใบหน้าตรง) และให้สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 0.5 หรือ 2.5 ms เพื่อให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปที่ 0 หรือ 180 องศา เพื่อหมุนไปทางซ้าย-ขวา แล้วแต่ผู้ควบคุม

4.4 การทดลองวัดค่าสัญญาณต่างๆ

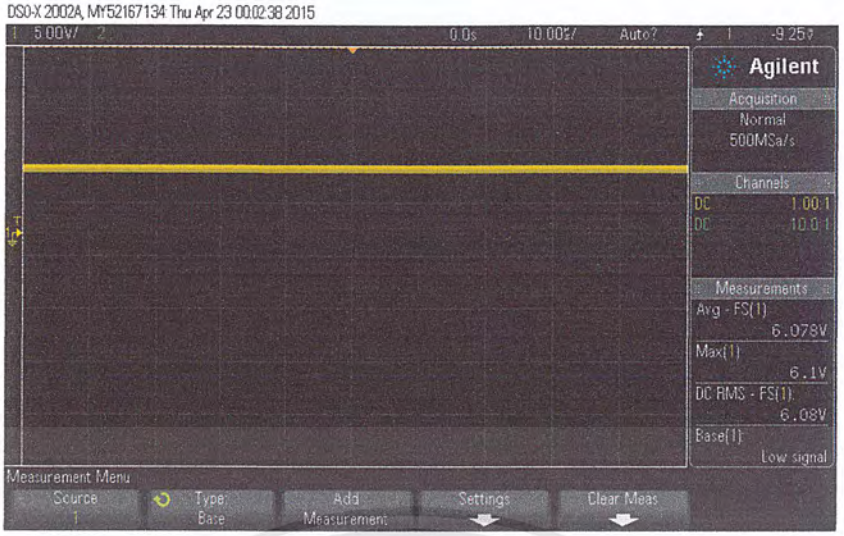
4.4.1 สัญญาณอินพุทจากตัวควบคุมที่ 0°C, 45°C และ90°C



รูปที่ 4.5 สัญญาณอินพุทจากตัวควบคุมที่ 0 °C

รูปที่ 4.6 สัญญาณอินพุทจากตัวควบคุม ที่ 45 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

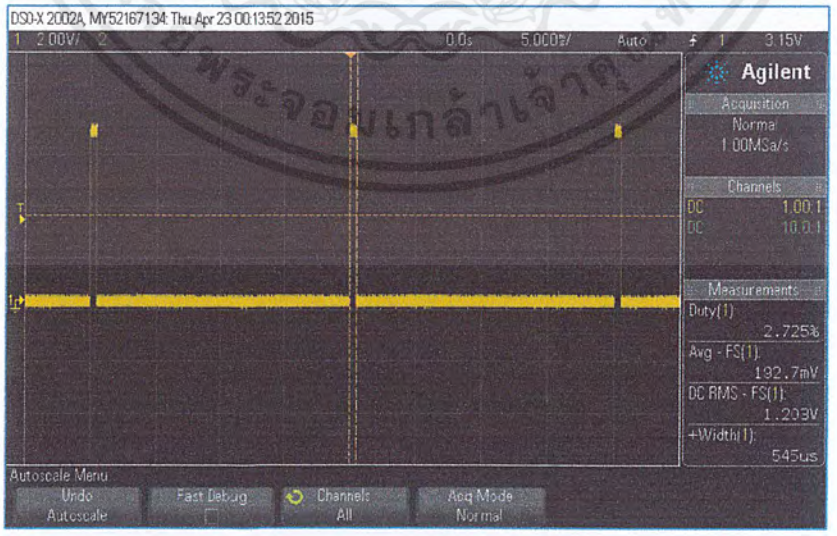


รูปที่ 4.7 สัญญาณอินพุทจากตัวควบคุมที่ 90 °C

ตารางที่ 4.2 ค่าที่วัดได้ของสัญญาณอินพุทจากตัวควบคุมที่ 0°C, 45°C และ90°C

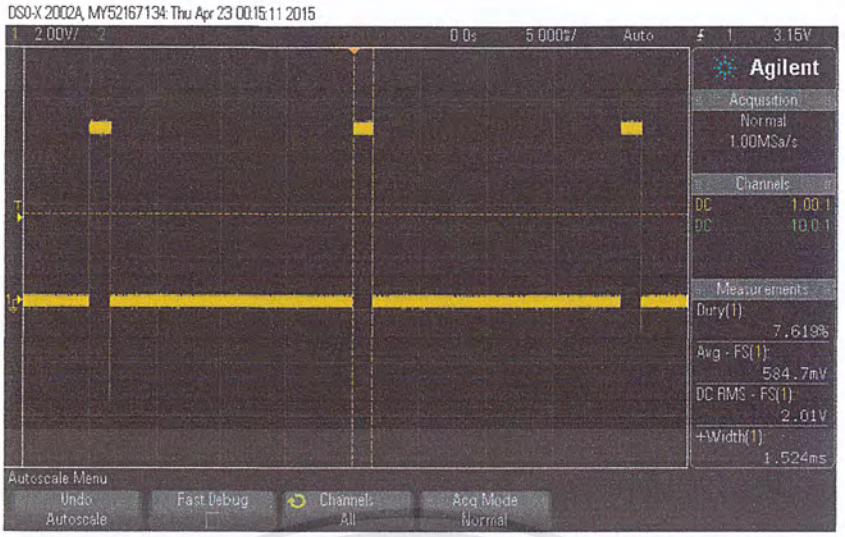
Phase (°C)	V_{Max}(V)	V_{DC}(V)	V_{Avg}(V)
0	-100m	192m	-178m
45	2.90	2.93	2.72
90	6.10	6.08	6.08

4.4.2 สัญญาณเอาท์พุทที่ออกจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ 0°C, 45°C และ 90°C



รูปที่4.8 สัญญาณเอาท์พุทที่ออกจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ 0°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.9 สัญญาณเอาท์พุทที่ออกจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ 45°C

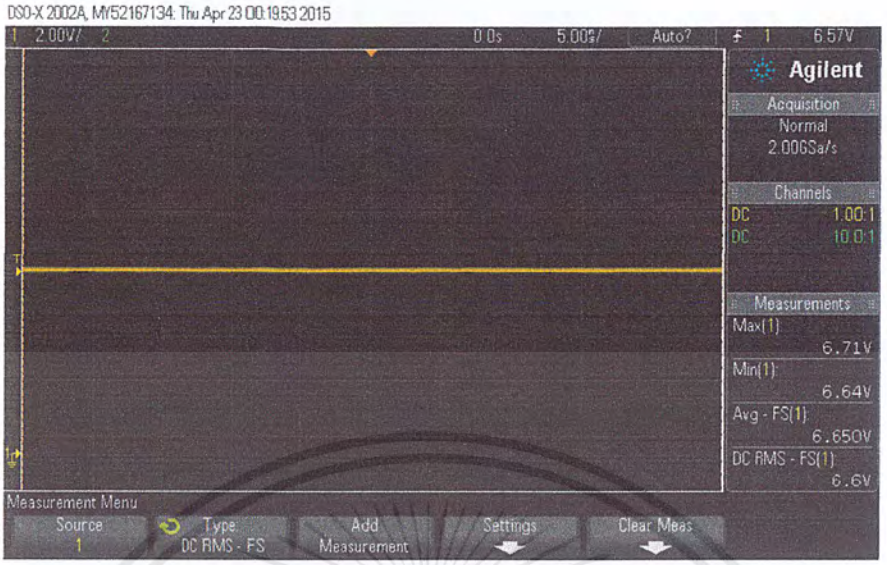
รูปที่4.10 สัญญาณเอาท์พุทที่ออกจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ 90°C

ตารางที่4.3 ค่าที่วัดได้ของสัญญาณเอาท์พุทที่ออกจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่0°C,45°Cและ90°C

Phase(°C)	V_{DC}(V)	V_{Avg}(V)	+Width(ms)	Duty(%)
0	1.20	0.19	0.55	2.73
45	2.01	0.58	1.52	7.62
90	2.52	0.94	2.40	12.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 สัญญาณไฟเลี้ยงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

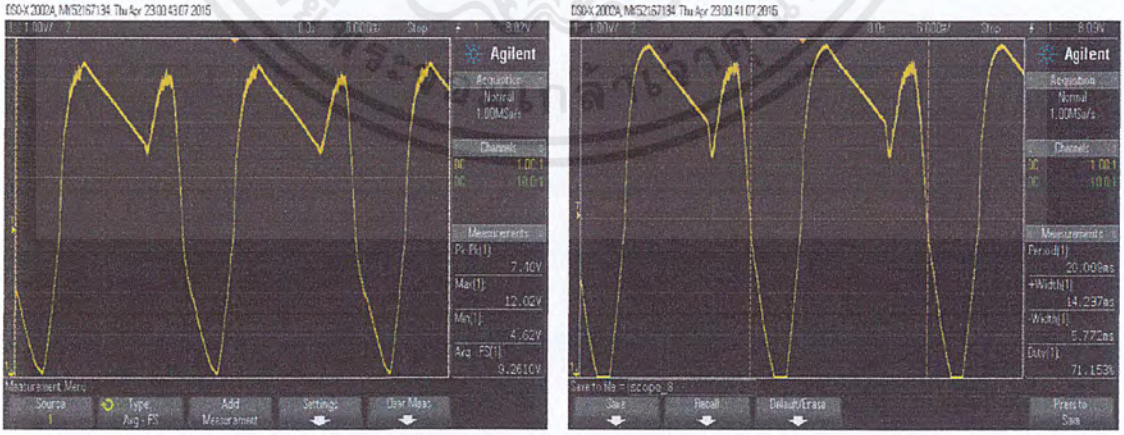


รูปที่4.11 สัญญาณไฟเลี้ยงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

ตารางที่ 4.4 ค่าที่วัดได้ของสัญญาณไฟเลี้ยงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

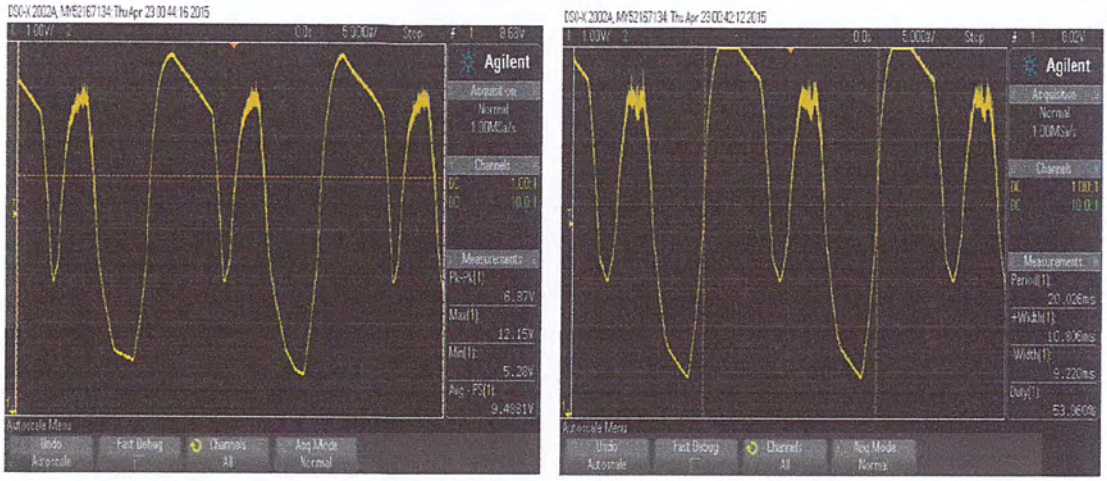
V_{Max}(V)	V_{Min}(V)	V_{Avg}(V)	V_{DC}(V)
6.71	6.64	6.65	6.60

4.4.4สัญญาณไฟเลี้ยงบอร์ด DC to DC step down ที่ขณะ charge และ discharge



รูปที่4.12 สัญญาณไฟเลี้ยงบอร์ด DC to DC step down ที่ขณะ charge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13สัญญาณไฟเลี้ยงบอร์ด DC to DC step down ที่ขณะ discharge

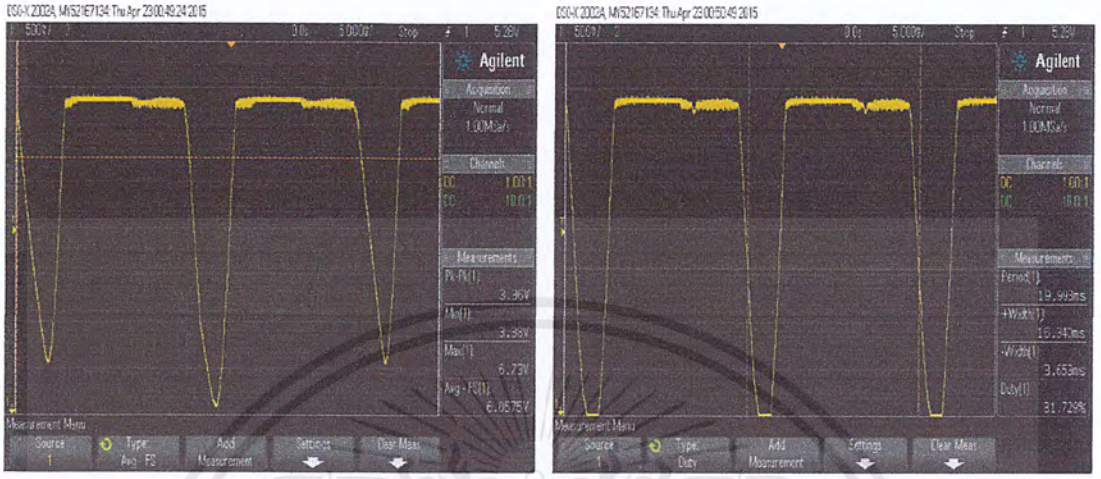
ตารางที่ 4.5 ค่าที่วัดได้ของสัญญาณไฟเลี้ยงบอร์ด DC to DC step down ที่ขณะ charge และ discharge

	V_{p-p}(V)	V_{Max}(V)	V_{Min}(V)	V_{Avg}(V)
Charge	7.40	12.02	4.62	9.26
Discharge	6.87	12.15	5.28	9.49

	Period(ms)	+Width(ms)	-Width(ms)	Duty(%)
Charge	20.01	14.24	5.77	71.15
Discharge	20.03	10.81	9.22	53.96

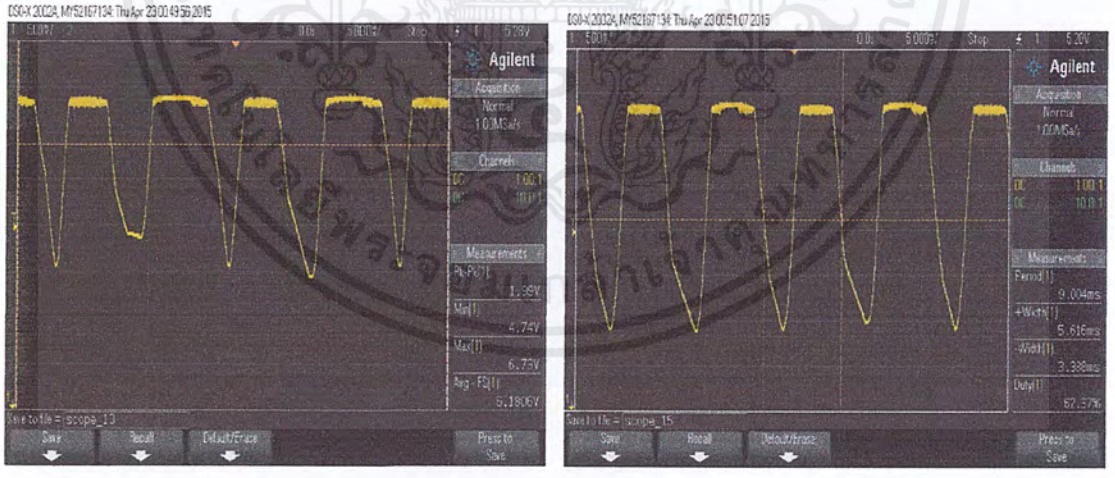
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.5 สัญญาณไฟที่ออกจากบอร์ด DC to DC step down สำหรับไปเลี้ยง Servo motor ที่ขณะ charge และ discharge



รูปที่4.14 สัญญาณไฟที่ออกจากบอร์ด DC to DC step down

สำหรับไปเลี้ยง Servo motor ที่ขณะ charge



รูปที่4.15 สัญญาณไฟที่ออกจากบอร์ดDC to DC step down

สำหรับไปเลี้ยงServo motor ที่ขณะ discharge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ค่าที่วัดได้ของสัญญาณไฟที่ออกจากบอร์ด DC to DC step down สำหรับไปเลี้ยง Servo motor ที่ขณะ charge และ discharge

	V_{p-p}(V)	V_{Max}(V)	V_{Min}(V)	V_{Avg}(V)
Charge	3.36	3.38	6.73	6.06
Discharge	1.99	4.74	6.73	6.10

	Period(ms)	+Width(ms)	-Width(ms)	Duty(%)
Charge	19.99	16.34	3.65	81.73
Discharge	9.00	5.62	3.39	62.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

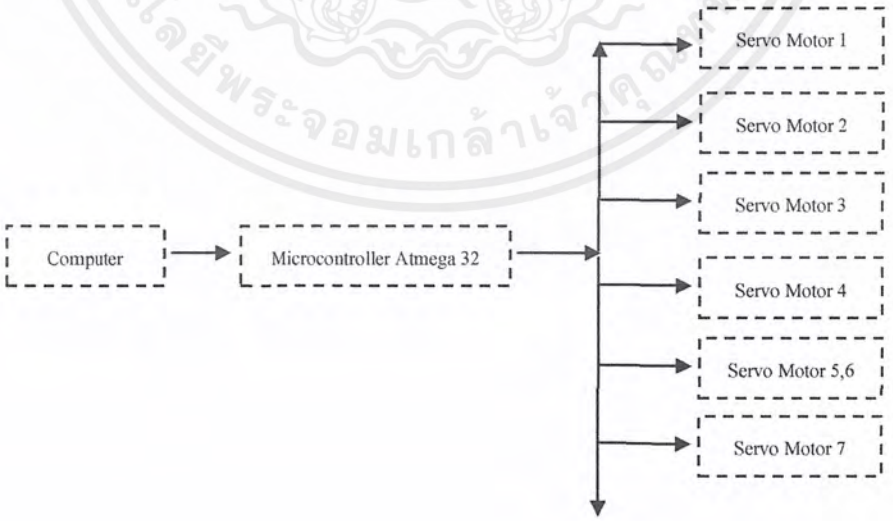
บทที่5
สรุปและวิจารณ์

การจัดทำโครงงานแขนกลที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรเลอร์นี้ สามารถสรุปและวิจารณ์ได้ดังนี้

5.1สรุปการทำงานของโครงงาน

หุ่นยนต์แขนกลที่สร้างมีความยาวไม่เกิน 35 cm น้ำหนัก 0.8kg การควบคุมหุ่นยนต์แขนกลด้วยเซอร์โวมอเตอร์นั้นสามารถทำตามที่ได้กำหนดไว้ตรงกับขอบเขตวัตถุประสงค์ตามที่ต้องการ โดยหุ่นยนต์แขนกลนี้สามารถหยิบจับยกสิ่งของได้และวัตถุที่มีขนาดเล็กน้ำหนักเบา เส้นผ่านศูนย์กลางที่แขนกลสามารถจะจับวัตถุได้นั้นประมาณ 4-5cm สามารถเคลื่อนที่ในแนวขึ้นลงและแนวแกนหมุนได้ตามคำสั่งชุดควบคุม โดยการสั่งจะมีสองระบบ คือการทำงานได้โดยอัตโนมัติ ด้วยการป้อนค่าตำแหน่งต่างๆที่ต้องการลงไปในคอมพิวเตอร์แล้วส่งไปให้ชุด controller broad ซึ่งเป็นชุดที่ใช้ในการประมวลผลอีกที และการควบคุมอีกรูปแบบหนึ่งคือใช้ชุดควบคุมแบบจอยสติ๊กเป็นตัวควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลในแต่ละข้อต่อ ซึ่งสามารถควบคุมไปในตำแหน่งต่างๆได้ตามที่ต้องการ แขนกลที่จัดทำนี้เป็นแขนกล 5 ข้อหมุน (5 Join) 1 มือจับ (Gripper) โดยการทำงานของแขนใช้สัญญาณ PWM ที่ได้จาก output ของชุด controller broad ป้อนเข้าสู่เซอร์โวมอเตอร์แล้วเซอร์โวมอเตอร์ก็จะแปลงสัญญาณที่ได้รับออกมาเป็นค่ามุมต่างๆ ตามค่าความกว้างของ PWM

การควบคุมแขนกลสามารถสรุปเป็นหลักการทำงานได้ดังนี้



รูปที่5.1 การแสดงโครงสร้างการทำงานของแขนกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.Catch (ที่จับ)

2.Evole (ข้อหมุน)

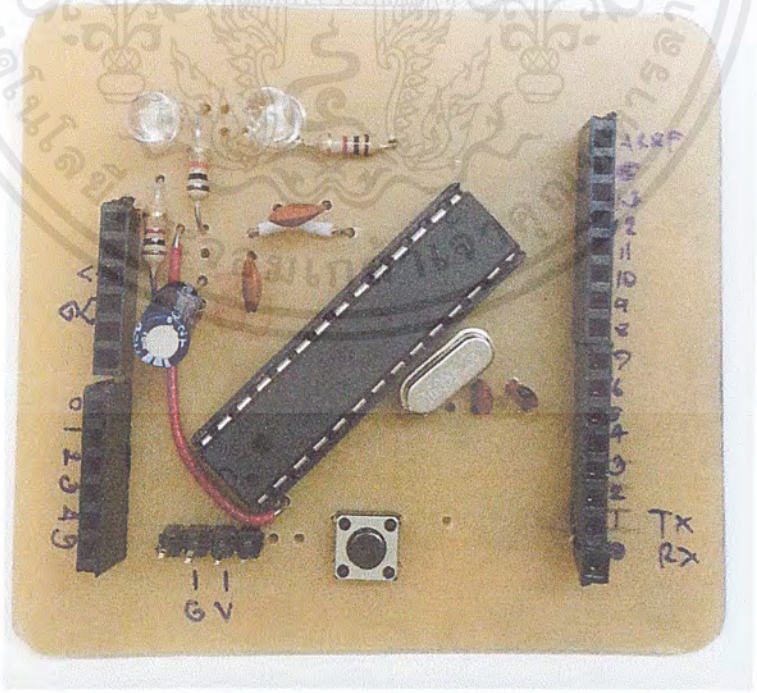
3.Wrist (ข้อมือ)

4.Elbow (ศอก)

5.Shoulder (ไหล่)

6.Base (ฐาน)

รูปที่ 5.2 แสดงตำแหน่งจุดหมุนของแขนกล



รูปที่ 5.3 บอร์ดควบคุม Atmega 328U

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่5.1 ช่วงการเคลื่อนที่ของแขนกล

ในการทำงานจริงโดยทั่วไป

	จุดหมุนที่ 1 catch	จุดหมุนที่ 2 evole	จุดหมุนที่ 3 wrist	จุดหมุนที่ 4 elbow	จุดหมุนที่ 5 shoulder	จุดหมุนที่ 6 base
เคลื่อนที่ต่ำสุด	0 องศา	0 องศา	90 องศา	0 องศา	30 องศา	0 องศา
เคลื่อนที่สูงสุด	90 องศา	180 องศา	160 องศา	90 องศา	90 องศา	180 องศา

ในตารางข้างต้นจะบอกถึงตำแหน่งองศาการทำงานของ servo motor แต่ละตัว โดยจะถูกจำกัดมุมในการทำงานเพื่อให้ servo motor แต่ละตัวทำงานได้ในค่าทอร์คที่กำหนด เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากที่สุด และเพื่อป้องกันการเสียหายของตัว servo motor ที่อาจทำงานหนักเกินค่าทอร์คที่สามารถทำได้ โดยมุมต่างๆที่จำกัดขึ้นจะเป็นค่าทั่วไปที่สามารถทำงานได้เมื่อหยิบวัตถุที่มีความหนักไม่เกิน 0.3 kg ซึ่งหากเกินนี้จะทำให้ค่าทอร์ครวมของการทำงานของแขนกลเกินค่าที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งอาจจะทำให้ servo motor เสียหายได้

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลในการทำแขนกลในช่วงแรกมีปัญหาที่เกิดขึ้น คือการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำเร็จรูปและเซอร์โวที่ยังไม่คุ้นเคยกับการใช้งานของวงจรกับเซอร์โวชนิดนี้มาก่อน จึงเกิดปัญหาในการเขียนโปรแกรมป้อนข้อมูลลงไปทำให้แขนกลไม่สามารถทำงานได้ตามต้องการ ต่อมาจึงได้ศึกษาข้อมูลและทดลองเขียนโปรแกรมแบบต่างๆ เพื่อที่จะหาคำสั่งที่สามารถควบคุมเซอร์โวได้ดีที่สุดและเกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด นอกจากนั้นโครงสร้างที่สร้างขึ้นจากอะริลิคซึ่งมีความแข็งแรงค่อนข้างต่ำ ทำให้ค่อนข้างเสียหายได้ง่ายและได้ทำการหาจุดสมดุลของแขนและมือจับให้ได้ดีที่สุด เพื่อช่วยให้แขนกลนั้นสามารถจับวัตถุได้แม่นยำที่สุด นอกจากนี้อาจทำการเปลี่ยนเซอร์โวให้มีคุณภาพสูงขึ้นและคุณสมบัติเหมาะกับงานที่ต้องนำมาใช้สร้างแขนกลชนิดเดิม

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากโครงงานแขนกลที่ใช้แผ่นอะคริลิคเป็นส่วนประกอบของโครงสร้าง ซึ่งเป็นวัสดุไม่คงทน ดังนั้นในการสร้างส่วนประกอบโครงสร้างแขนกลนั้นควรเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงทนทานต่อแรงรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่กระทำเช่น อลูมิเนียม สเตนเลส และเราควรศึกษาว่าควรจะใช้เซอร์โวชนิดใดขนาดใดจึงจะเหมาะสมกับงบประมาณที่เรามีและสามารถทำให้แขนกลทำงานได้ดีเหมาะสมที่เราต้องการ และข้อเสนอแนะแบ่งเป็นหลายๆส่วนดังนี้

1.ควรที่จะมีการประยุกต์นำไปต่อยอด เช่นมีเซนเซอร์ต่างๆ มีกล้อง และมีล้อ เข้ามามีบทบาทด้วย

2.ใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงในการทำโครงสร้างของชิ้นงาน

3.ควรศึกษาและคำนวณการเลือกใช้เซอร์โวมอเตอร์ในแต่ละแกน

4.สามารถนำไปใช้ในด้านงานอุตสาหกรรมที่มีการทำงานแบบหยิบจับ หรือยกชิ้นงานแบบเดิมซ้ำๆ

5.ให้เขียนชุดโปรแกรมดีเลยใช้งานร่วมกันทั้งระบบเพื่อที่จะทำให้เซอร์โวมอเตอร์ทำงานได้อย่างต่อเนื่องและราบรื่น

6.ควรมีการใช้อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกล เช่น รีโมตคอนโทรลเลอร์ คอมพิวเตอร์ และแอพพลิเคชั่น

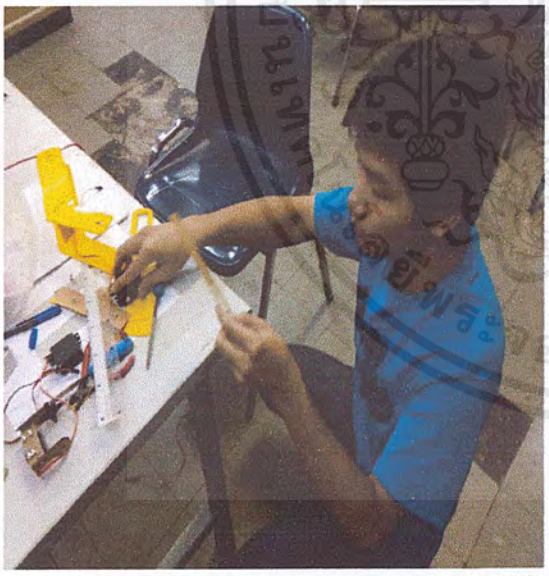
7.ควรที่จะสามารถยกหรือหยิบสิ่งของที่มีน้ำหนักมากกว่านี้

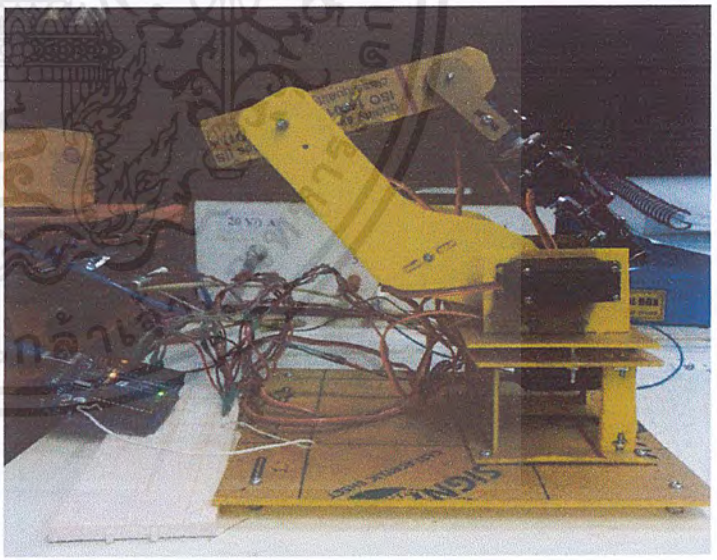
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

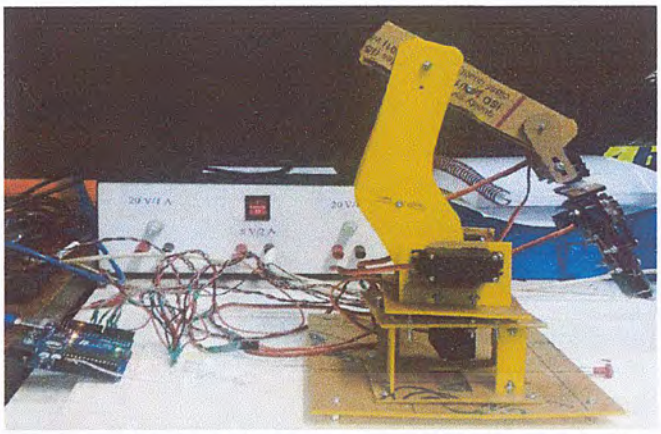
- เจาะแผ่น PCB เพื่อใส่อุปกรณ์ลงใน Broad Microcontroller -
- Wiring สายไฟที่จุดต่างๆ ของตัวแขนกลกับชุด Broad Microcontroller

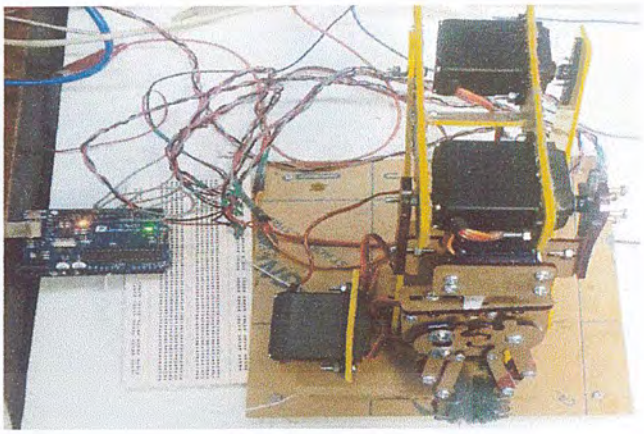




- ทำส่วนประกอบของชุดแขนกลโดยใช้แผ่นอะคลิลิค 2 mm.
- หลังจากประกอบเป็น robot arm

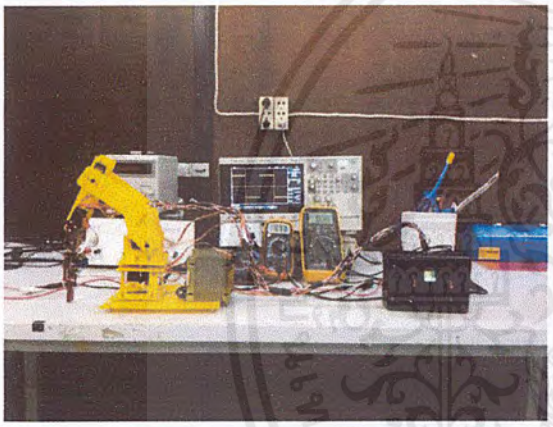
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

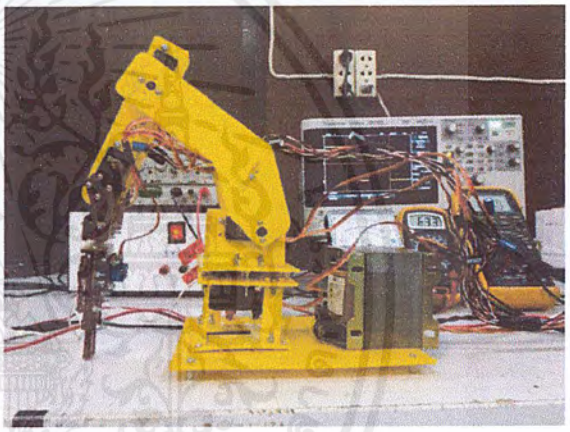




- Test การทำงานของ servo motor แต่ละตัว

-Test การทำงานของ servo motor แต่ละตัว





- Test การควบคุมด้วยชุดควบคุม

- Test และบันทึกผลการทำงานในส่วนต่างๆของ robot arm

- คณะผู้จัดทำ robot arm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Source code

Source code in manual mode

```
#include <Servo.h>

 Servo myservo0;  // create servo object to control a servo
 Servo myservo1;
 Servo myservo2;
 Servo myservo3;
 Servo myservo4;
 Servo myservo5;
 Servo myservo6;

 int potpin0 = 0; // analog pin used to connect the potentiometer
 int potpin1 = 1;
 int potpin2 = 2;
 int potpin3 = 3;
 int potpin4 = 4;
 int potpin5 = 5;

 int val;        // variable to read the value from the analog pin


  void setup()
  {


      myservo0.attach(8); // attaches the servo on pin to the servo object
      myservo1.attach(9);
      myservo2.attach(10);
      myservo3.attach(11);
      myservo4.attach(12);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        myservo5.attach(13);
        myservo6.attach(7);


    }

        void loop()

          {


              val = analogRead(potpin0);        // reads the value of the
potentiometer (value // between 0 and 1023)
              val = map(val, 0, 1023, 0, 180);  // scale it to use it with the servo
(value between 0 and 180)
              myservo0.write(val);              // sets the servo position according to the
                                                // scaled value
              val = analogRead(potpin1);
              val = map(val, 0, 1023, 0, 180);
              myservo1.write(val);

              val = analogRead(potpin2);
              val = map(val, 0, 1023, 0, 80);
              myservo2.write(val);

              val = analogRead(potpin3);
              val = map(val, 0, 1023, 120, 180);
              myservo3.write(val);

              val = analogRead(potpin4);
              val = map(val, 0, 1023, 60, 100);
              myservo4.write(val);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        val = analogRead(potpin4);
        val = map(val, 0, 1023, 60, 100);
        myservo5.write(val);

        val = analogRead(potpin5);
        val = map(val, 0, 1023, 0, 180);
        myservo6.write(val);


}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Source code in automatic mode

```
#include <Servo.h>

 Servo myservo0;

 Servo myservo1;

 Servo myservo2;

 Servo myservo3;

 Servo myservo4;

 Servo myservo5;

 Servo myservo6;


int pos = 0;


  void setup()

   {


      myservo0.attach(7);

      myservo1.attach(8);

      myservo2.attach(9);

      myservo3.attach(10);

      myservo4.attach(11);

      myservo5.attach(12);

      myservo6.attach(13);

   }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void loop()
 {

    myservo0.write(20); //catch
    myservo4.write(160); //wrist
    myservo5.write(60); //shoulder
    myservo6.write(60); //shoulder
    myservo2.write(80);
    myservo3.write(60);
    delay(100);
    myservo1.write(85);
    delay(100);

    for(pos = 60; pos <= 90; pos += 2)
      {
        myservo5.write(pos); myservo6.write(pos);  delay(200);
      }

   for(pos = 20; pos <= 60; pos += 10)
      {
        myservo0.write(pos); delay(200);
      }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
for(pos = 80; pos >= 60; pos -= 2)
  {
      myservo5.write(pos); myservo6.write(pos);  delay(200);
  }

for(pos = 85; pos >= 0; pos -= 5)
  {
      myservo1.write(pos); delay(200);
  }

for(pos = 60; pos <= 80; pos += 2)
  {
     myservo5.write(pos); myservo6.write(pos);  delay(200);
  }

for(pos = 60; pos >= 20; pos -= 10)
  {
     myservo0.write(pos); delay(200);
  }

for(pos = 80; pos >= 60; pos -= 2)
  {
      myservo5.write(pos); myservo6.write(pos);  delay(200);
  }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
for(pos = 0; pos <= 160; pos += 5)
  {
      myservo1.write(pos); delay(200);
  }

for(pos = 60; pos <= 80; pos += 2)
  {
      myservo5.write(pos); myservo6.write(pos);  delay(200);
  }

 for(pos = 20; pos <= 60; pos += 10)
  {
     myservo0.write(pos); delay(200);
  }

 for(pos = 80; pos >= 60; pos -= 2)
  {
      myservo5.write(pos); myservo6.write(pos);  delay(200);
   }

for(pos = 160; pos >= 0; pos -= 5)
  {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            myservo1.write(pos); delay(200);
        }

    for(pos = 60; pos <= 80; pos += 2)
      {
            myservo5.write(pos); myservo6.write(pos);  delay(200);
      }

    for(pos = 60; pos >= 20; pos -= 10)
        {
            myservo0.write(pos); delay(200);
        }

    for(pos = 80; pos >= 60; pos -= 2)
        {
            myservo5.write(pos); myservo6.write(pos);  delay(200);
        }

    for(pos = 0; pos <= 90; pos += 5)
        {
            myservo1.write(pos); delay(200);
        }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] http://www.engineersgarage.com/electronic-components/7805-voltage-regulator-ic

[2] http://www.semi-shop.com/shopping/imageproduct/datasheet/MC78XX-ON.pdf

[3] http://www.adisak51.com/power.html

[4] http://www.neutron.rmutphysics.com/teaching-glossary/index.php?option=com_content&task=view&id=7387&Itemid=12

[5] http://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php?bookID=1004&pageid=3&read=true&count=true

[6] http://www.research.rmutt.ac.th/wp-content/uploads/2014/01/132415.pdf

[7] http://www.cp.eng.chula.ac.th/~attawith/class/mani.pdf

[8] http://www.northcm.ac.th/~naret/part3.doc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้