



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การปรับปรุงประสิทธิภาพของซีเอ็นซี 3 แกน

Efficiency Improvement of 3-axis Computer Numerical Control
(CNC) Machine

นายเทพจิตร์ เขยโกคา

นายวันชัย รี้วรุจา

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การปรับปรุงประสิทธิภาพของซีเอ็นซี 3 แกน

Efficiency Improvement of 3-axis Computer Numerical Control
(CNC) Machine

นายเทพจิตร์ เขยโกคา

นายวันชัย รี้วรุจา

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อโครงการ การปรับปรุงประสิทธิภาพของซีเอ็นซี 3 แกน

แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้

ประจำปีงบประมาณ 2555 **จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน** 72,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2554 ถึง 30 กันยายน พ.ศ. 2555

หัวหน้าโครงการ นายเทพจิตร เขยโกคา

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

ผู้ร่วมโครงการวิจัย นายวันชัย ธีรจุจา

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเครื่องซีเอ็นซีที่ใช้ในการเรียนการสอนปัจจุบันให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยการเปลี่ยนเพลาคับเคลื่อนทั้ง 3 แกนจากสกรูนำเป็นบอลสกรูเพื่อให้การเคลื่อนที่มีความละเอียดมากขึ้น และเกิดระยะรุนที่น้อยลง อีกทั้งยังเปลี่ยนตัวขับเร้าจากสเต็ปมอเตอร์เป็นเซอร์โวมอเตอร์เพื่อให้งานของเครื่องซีเอ็นซีมีความเร็วสูงขึ้นและความผิดพลาดต่ำลง ซึ่งได้มีการพัฒนาชุดขับมอเตอร์และซอฟต์แวร์ประมวลผลในส่วนเชื่อมต่อระหว่างส่วนรับคำสั่งควบคุมและส่วนควบคุมมอเตอร์ในแต่ละแกนให้สอดคล้องกับส่วนที่ปรับปรุงขึ้น

คำสำคัญ : เครื่องซีเอ็นซี บอลสกรู เซอร์โวมอเตอร์ เพลาคับเคลื่อน

Research Title: Efficiency Improvement of 3-axis Computer Numerical Control (CNC) Machine

Researcher: Mr. Thepjit Cheypoca

Faculty: Engineering **Department:** Instrumentation and Control Engineering

Co-Researcher: Mr. Vanchai Riewruja

Faculty: Engineering **Department:** Instrumentation and Control Engineering

ABSTRACT

The aim of this research is to improve 3-axis computer numerical control machine (CNC) for learning in the class. The change of 3 driving shafts (X, Y and Z axes) from lead screw to ball screw is the first of improvement to obtain increase resolution and decrease backlash. Second improvement is for changing from stepping motor to servo motor to achieve high speed and low error. The motor drive and processing software are developed for support new hardware.

Keywords : computer numerical control machine, ball screw, servo motor, driving shaft

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย และสาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุมที่เอื้อเพื่อเครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ในการทำโครงการวิจัยครั้งนี้

เทพจิตร์ เชยโกคา

วันชัย รุ่งรุจา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
1.5 แผนการดำเนินงานโครงการวิจัย.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 องค์ประกอบหลักของเครื่องซีเอ็นซี.....	5
2.2 เซอร์โวมอเตอร์.....	6
2.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	6
2.2.2 เอนโค้ดเดอร์.....	12
2.2.3 หน่วยประมวลผล.....	14
2.2.4 พูลบริดจ์.....	15
2.3 สกรู.....	17
บทที่ 3 การออกแบบและการทำงานของระบบ.....	20
3.1 โครงสร้างของเครื่องซีเอ็นซีที่ปรับปรุงประสิทธิภาพ.....	20
3.2 ดีซีเซอร์โวมอเตอร์ และเอนโค้ดเดอร์.....	20
3.3 ตัวขับเคลื่อนแกน.....	22
3.4 ชุดแผงควบคุมระบบ.....	23
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	26
4.1 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องซีเอ็นซี.....	26
4.2 ทดสอบการกัดชิ้นงาน.....	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 บทสรุป.....	29
บรรณานุกรม.....	30
ภาคผนวก ก โปรแกรมควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ในแต่ละแกน.....	31
ประวัตินักวิจัย.....	40

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การส่งสัญญาณควบคุม DC MOTOR.....	16
4.1 การเปรียบเทียบเวลาในการเคลื่อนที่ของเครื่องซีเอ็นซี.....	26
4.2 การเปรียบเทียบเวลาในการก่ดชิ้นงานของเครื่องซีเอ็นซี.....	26
5.1 การเปรียบเทียบเครื่องซีเอ็นซีก่อนและหลังปรับปรุง.....	29

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 เครื่องซีเอ็นซีที่ใช้ในการเรียนการสอนปัจจุบัน.....	1
1.2 ห้องเรียนภาคปฏิบัติที่ใช้ในการเรียนการสอนปัจจุบัน.....	2
1.3 เพลาขับเคลื่อน.....	2
2.1 ตัวอย่างเครื่องซีเอ็นซี.....	5
2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสแบบแม่เหล็กถาวร.....	7
2.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดสนาม.....	7
2.4 การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้ง 4 ย่านการทำงาน.....	9
2.5 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร.....	10
2.6 คุณสมบัติของแรงบิด - ความเร็วรอบ $V_{11} > V_{12} > V_{13} > V_{14}$ โดยที่ V_{T4} คือแรงดันไฟฟ้าที่พิกัด.....	10
2.7 สมรรถนะของแรงบิด - ความเร็วแบบต่อเนื่อง.....	11
2.8 มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรที่ใช้ในโรงงาน.....	11
2.9 ลักษณะชนิดจานหมุนที่ใช้ทำเอนโค้ดเดอร์โดยทั่วไป.....	12
2.10 สัญญาณ A, B และ Z ของเอนโค้ดเดอร์.....	12
2.11 เอนโค้ดเดอร์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมทั่วไป.....	13
2.12 ดีซีมอเตอร์ที่ต่อแกนร่วมกับเอนโค้ดเดอร์.....	13
2.13 รูปแสดงบอร์ด ET-EASY168 STAMP.....	14
2.14 แผงวงจรฟูแลบริดจ์ รุ่น ET-OPTO DC MOTOR DRIVER 6-24V.....	16
2.15 วงจรที่ใช้ควบคุม DC MOTOR ด้วยพาวเวอร์มอสเฟส.....	17
2.16 ตัวอย่างสกรูนำ.....	18
2.17 ตัวอย่างบอลสกรู.....	19
3.1 โครงสร้างโดยรวมทั้งระบบ.....	20
3.2 ดีซีมอเตอร์แกน X.....	21
3.3 ดีซีมอเตอร์แกน Y.....	21
3.4 ดีซีมอเตอร์แกน Z.....	22
3.5 บอลสกรู.....	22
3.6 ระบบรวมทั้ง 3 แกน.....	23
3.7 ไดอะแกรมการทำงานของดีซีเซอร์โวมอเตอร์.....	23
3.8 จุดเชื่อมต่อรับสัญญาณจาก PC ด้วยพอร์ตปรีนเตอร์.....	24
3.9 จุดเชื่อมต่อรับสัญญาณจากเอนโค้ดเดอร์และ PC.....	24
3.10 แผงวงจรทั้งระบบ.....	25

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 โปรแกรม CNC.....	27
4.2 ผลงานที่ได้จากการออกแบบ.....	28

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

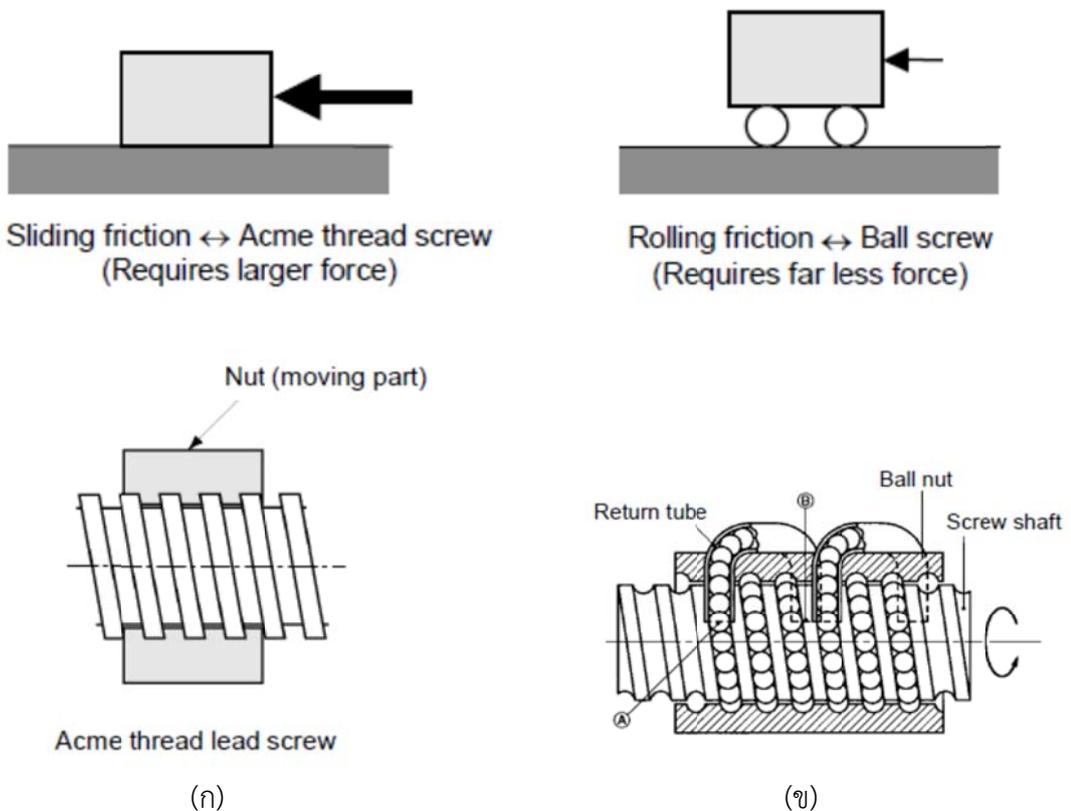
เครื่องซีเอ็นซี (Computer Numerical Control Machine, CNC) ที่ใช้ในการเรียนการสอนในปัจจุบันเป็นเครื่องจักรที่พัฒนาและจัดสร้างขึ้นมาเองดังรูปที่ 1.1 และ 1.2 เนื่องจากเครื่องซีเอ็นซีทางอุตสาหกรรมมีราคาแพงมาก โดยได้ใช้ในการเรียนการสอนทั้งภาคทฤษฎีและปฏิบัติตลอดทั้ง 2 ภาคการศึกษาในแต่ละปี รายวิชาที่เกี่ยวข้องและมีการใช้งานเครื่องซีเอ็นซีได้แก่วิชา 01084243 เครื่องจักรควบคุมเชิงเลข, 01086013 การทดลองทางวิศวกรรมระบบควบคุม, 01244146 คอมพิวเตอร์ช่วยการออกแบบและคอมพิวเตอร์ช่วยการผลิต, 01246014 การทดลองวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ 2 ของสาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม หลักสูตรวิศวกรรมระบบควบคุม และหลักสูตรวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ ตลอดจนบางโครงการในวิชาโครงการงานของนักศึกษาชั้นปีที่ 4 โดยเฉพาะงานนิทรรศการทุกครั้งเครื่องซีเอ็นซีชุดนี้ได้รับความสนใจจากบุคคลต่างๆ เป็นจำนวนมาก ปัจจุบันเครื่องซีเอ็นซีชุดดังกล่าวได้ถูกใช้งานมาแล้วกว่า 6 ปีตั้งแต่ปีพ.ศ. 2548 ซึ่งจะมีค่าผิดพลาดที่เกิดจากการสึกหรอของชิ้นส่วนประกอบและส่วนขับเคลื่อน สกรูนำ (Lead screw) ดังรูปที่ 1.3(ก) ซึ่งข้อดีคือมีราคาถูกหาซื้อได้ง่าย ข้อเสียคือมีระยะร่นมาก ความเที่ยงตรงแม่นยำน้อย มีความเสียดทานสูงและอายุการใช้งานสั้น ส่วนตัวขับเคลื่อนใช้เป็นมอเตอร์แบบสแต็ป ทำให้เคลื่อนที่ได้ช้าและมีความผิดพลาดมากเมื่อเกิดแรงต้าน ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการเรียนการสอนและการทดลองปฏิบัติมาโดยตลอด โดยเฉพาะปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านนี้ได้มีการพัฒนาอย่างก้าวกระโดด มีการนำซอฟต์แวร์เข้ามาช่วย ทำให้สามารถขึ้นรูปทรงต้นแบบได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ แต่ข้อจำกัดของเครื่องซีเอ็นซีที่มีอยู่ไม่สามารถตอบสนองต่อความก้าวหน้านี้ได้เต็มที่และเกิดข้อจำกัดในทางปฏิบัติเป็นอย่างมากต่อการเรียนการสอนที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนมีทักษะในทางปฏิบัติ



รูปที่ 1.1 เครื่องซีเอ็นซีที่ใช้ในการเรียนการสอนปัจจุบัน



รูปที่ 1.2 ห้องเรียนภาคปฏิบัติที่ใช้ในการเรียนการสอนปัจจุบัน



รูปที่ 1.3 เฟลาขับเคลื่อน

(ก) แบบสกรูนำ

(ข) แบบบอลสกรู

ทางคณะผู้วิจัยจึงมีความประสงค์ที่จะพัฒนาปรับปรุงเครื่องซีเอ็นซีที่มีอยู่ให้สามารถรองรับต่อเทคโนโลยีใหม่ได้และมีความแม่นยำเที่ยงตรงสูง โดยจะปรับปรุงเฟลาขับเคลื่อนทุกแกนเป็นแบบ บอลสกรู (Ball screw) ดังรูปที่ 1.3(ข) ซึ่งมีความละเอียดสูงมาก ระยะร่นน้อยมากถึงไม่มีระยะร่น มีอายุการใช้งานยาวนานการสึกหรอต่ำ และสามารถเคลื่อนที่ได้เร็ว ส่วนตัวขับเคลื่อนจะเปลี่ยนจากมอเตอร์เป็นเซอร์โวมอเตอร์ โดย

จะต้องพัฒนาชุดขับเคลื่อนมอเตอร์และซอฟต์แวร์ประมวลผลในส่วนเชื่อมต่อระหว่างส่วนรับคำสั่งควบคุมและส่วนควบคุมมอเตอร์ในแต่ละแกน (Post-processor) ให้สอดคล้องกับส่วนที่ปรับปรุงขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. การออกแบบ และสร้าง ซีเอ็นซี 3 แกนขับเคลื่อนด้วยบอลสกรู
2. ส่งเสริมให้เกิดการศึกษา และ การวิจัยในสาขาวิศวกรรมระบบควบคุมและแมคคาทรอนิกส์
3. ส่งเสริมให้มีการร่วมมือทำงานทางวิชาการและการวิจัยร่วมกันของหน่วยงานการศึกษา กับ หน่วยอุตสาหกรรม
4. เพื่อพัฒนาและสร้าง บุคลากร นักศึกษา นักวิจัย วิศวกร ที่มีความรู้ความเข้าใจ และ มีความเชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมระบบควบคุมและแมคคาทรอนิกส์กับภาคของอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. พัฒนาระบบและสร้างซีเอ็นซี 3 แกนขับเคลื่อนด้วยบอลสกรูเพื่อนำไปใช้ในการเรียนการสอนและการทำวิจัย
2. ซีเอ็นซี 3 แกนขับเคลื่อนด้วยบอลสกรูที่สร้างสามารถประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปได้
3. พัฒนาการขับเคลื่อนและควบคุมการเคลื่อนที่ของแกนด้วยบอลสกรูที่มีความละเอียดแม่นยำในระดับไมโครเมตร

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
2. สร้างและประกอบอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
3. ทดสอบระบบทั้งหมด
4. สรุปและทำรายงาน

1.5 แผนการดำเนินงานโครงการวิจัย

การดำเนินงาน	(เดือนที่)												หมายเหตุ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
ศึกษาและค้นหาข้อมูล	←→												
ออกแบบและประกอบบอลสกรู		←→											
นำบอลสกรูที่ติดตั้งขึ้นไปทดสอบ					←→								

การดำเนินงาน	(เดือนที่)												หมายเหตุ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
ปรับปรุงบอลสกรู ต้นแบบและ ออกแบบตัวข้อรับ							←	→					
นำบอลสกรูที่ปรับ ปรุงแล้วและตัวข้อรับ ไปติดตั้งทดสอบ										←	→		
ทำรายงาน												←	→

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เครื่องซีเอ็นซี 3 แกนที่มีประสิทธิภาพและรวดเร็วทำงานถูกต้องแม่นยำ
2. สามารถประหยัดเงินตราของประเทศ ด้วยการลดการพึ่งพาเทคโนโลยีและการนำเข้าของอุปกรณ์จากต่างประเทศ
3. เกิดความร่วมมือทางวิชาการระหว่างสถานศึกษาและภาคอุตสาหกรรมเพื่อพัฒนาอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องขึ้นใช้งานได้เองภายในประเทศ
4. สนับสนุนการค้นคว้าวิจัยของนักศึกษาและอาจารย์ เพื่อพัฒนาวิศวกรรุ่นใหม่ ตรงความต้องการของภาคอุตสาหกรรม

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โครงการวิจัยชิ้นนี้เป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องซีเอ็นซี 3 แกน ซึ่งเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องซีเอ็นซีได้ทำการเปลี่ยนเพลลาขับเคลื่อนจากสกรูนำเป็นบอลสกรู และเปลี่ยนสเต็ปมอเตอร์เป็นเซอร์โวมอเตอร์เพื่อให้การเคลื่อนที่ของเครื่องซีเอ็นซีมีความแม่นยำและความละเอียดที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาทฤษฎีในเรื่องของ องค์ประกอบหลักของเครื่องซีเอ็นซี บอลสกรู รวมถึงเซอร์โวมอเตอร์

2.1 องค์ประกอบหลักของเครื่องซีเอ็นซี

องค์ประกอบของเครื่องซีเอ็นซีประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ ด้วยกัน คือ

1. ตัวเครื่องจักร (Machine body) คือ โครงสร้างที่ประกอบเป็นรูปร่างที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานตามประเภทของเครื่องจักรนั้นๆ ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก เช่น แท่นเครื่อง (Machine Bed) โต๊ะวางชิ้นงานสำหรับกัด (Table) แท่นติดตั้งสปินเดิล (Spindle head) และมอเตอร์สปินเดิล (Spindle motor) เป็นต้น

2. ระบบกลไกในการเคลื่อนที่ (Drive mechanisms) ได้แก่ ฟีดมอเตอร์ (Feed motor) ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของแกนต่าง ๆ โดยใช้สกรู (Screw) ทำหน้าที่แปลงการเคลื่อนที่เชิงมุม (Angular motion) เป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้น (Linear motion) โดยตำแหน่งหรือระยะทางการเคลื่อนที่และความเร็วถูกควบคุมด้วยชุดควบคุมการทำงาน นอกจากนี้จะมีรางนำทาง (Guide way) รองรับการเคลื่อนที่ในแต่ละแกนของตัวเครื่องจักร

3. ชุดควบคุมการทำงาน (Controller) เป็นการเขียนชุดคำสั่งเพื่อสั่งงานให้เครื่องจักรทำงานได้ตามต้องการ โดยใช้การควบคุมการเคลื่อนที่ของแต่ละแกนเป็นซอฟต์แวร์ (Software) ที่ใช้กับตัวควบคุม โดยผ่านพอร์ตพริ้นเตอร์ (Printer port)



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างเครื่องซีเอ็นซี

2.2 เซอร์โวมอเตอร์

เซอร์โวมอเตอร์คือ มอเตอร์ที่มีการควบคุมแบบป้อนกลับ เพื่อใช้ในการควบคุมตำแหน่ง ความเร็ว แรงบิด โดยเซอร์โวมอเตอร์มี 2 แบบคือ

1. ดีซีเซอร์โวมอเตอร์
2. เอซีเซอร์โวมอเตอร์

ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ดีซีเซอร์โวมอเตอร์ จึงขอกล่าวอธิบายเฉพาะดีซีเซอร์โวมอเตอร์ ซึ่งประกอบด้วย

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC motor) เป็นต้นกำลังที่ใช้สำหรับขับเคลื่อนโหลด หรือ เครื่องจักร
2. เอนโค้ดเดอร์ (Encoder) เป็นเซนเซอร์ใช้สำหรับตรวจจับตำแหน่ง ความเร็ว
3. หน่วยประมวลผล (Microcontroller) เป็นตัวประเมินผลเพื่อใช้ควบคุมตำแหน่งของเพลา มอเตอร์
4. พูลบริดจ์ (Full bridge) เป็นตัวสวิตช์เพื่อขับเคลื่อนดีซีมอเตอร์ โดยโครงการวิจัยนี้ใช้ มอสเฟส

2.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องจักรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทำหน้าที่แปลงรูปพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานทางกล โดยที่เครื่องจักรทำงานโดยการหมุนเมื่อมีการเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นพลังงานทางกลแล้ว จึงเรียกว่า “มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง” จะมีแรงบิดในขณะหมุนสูงเพราะตำแหน่งที่มุมระหว่าง สนามแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กกับสนามแม่เหล็กจากอาร์เมเจอร์ทำมุม 90 องศาทางไฟฟ้า ซึ่งมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสสลับทั่วไปไม่สามารถทำได้ในตำแหน่งนี้

ในเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงมีซีคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) แปรงถ่าน (Carbon brush) ทำหน้าที่จัดเรียงกระแสจากไฟฟ้าสลับ ในขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ออกจากตัวเครื่องจึงเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง แต่เมื่อศักดาไฟฟ้าที่ขั้วมีค่าสูงกว่าศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ภายใน จะทำให้กระแสจากภายนอกเข้าตัวเครื่องจักร ซึ่งคอมมิวเตเตอร์จะทำหน้าที่จัดเรียงกระแสที่อยู่ ภายใต้อั้วแม่เหล็กที่แตกต่างกัน ก็จะมีกระแสไหลในทิศทางตรงข้ามกันทำให้เกิดแรงบิดเสริมกัน จะเห็นได้ว่า ในเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงตัวหนึ่งนั้นสามารถเป็นได้ทั้งมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ประเภทของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

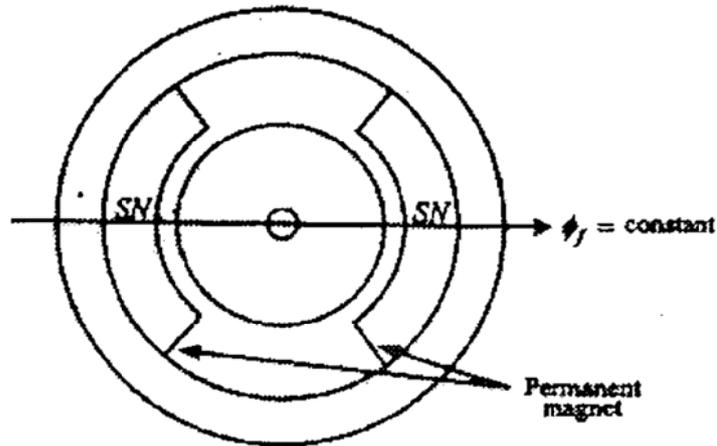
มอเตอร์กระแสตรงสามารถแบ่งออกได้หลายประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะการสร้าง สนามแม่เหล็กของตัวมอเตอร์ และขึ้นอยู่กับพื้นฐานการออกแบบโครงสร้างของอาร์เมเจอร์

การแบ่งประเภทตามการจ่ายสนามแม่เหล็ก แยกออกได้เป็น 2 แบบ [1] คือ

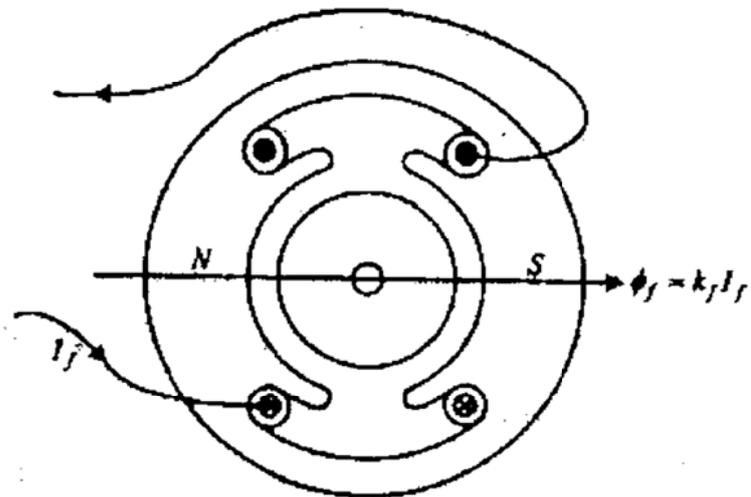
1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเส้นแรงแม่เหล็กคงที่
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้

2.2.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเส้นแรงแม่เหล็กคงที่

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเส้นแรงแม่เหล็กคงที่หรือแม่เหล็กถาวร (Permanent magnet) ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งค่าเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากแม่เหล็กถาวรจะมีค่าคงที่สม่ำเสมอจากขดลวดสนาม (Filed winding) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 2.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดสนาม

กระแสฟิลด์ (Field current, I_f) จะเป็นตัวควบคุมเส้นแรงแม่เหล็ก ถ้ากำหนดให้สเตเตอร์ที่ทำหน้าที่ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็กไม่เกิดการอิ่มตัวจะได้

$$\phi_f = k_f \cdot I_f \quad (2.1)$$

โดยที่ k_f หมายถึง ค่าคงที่ของเส้นแรงแม่เหล็ก
 ϕ_f หมายถึง ค่าฟลักซ์แม่เหล็ก

สำหรับโรเตอร์ (Rotor) จะมีขดลวดพันรอบตัวโรเตอร์ซึ่งขดลวดดังกล่าว เรียกว่า ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature winding) ซึ่งจะทำหน้าที่ในการรับพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่มอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงโดยผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์

แรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะเกิดความสัมพันธ์ระหว่าง เส้นแรงแม่เหล็ก และกระแสอาร์เมเจอร์ (i_a) ดังสมการที่ 2.2

$$T_{em} = k_t \cdot \phi_f \cdot i_a \quad (2.2)$$

โดยที่ k_t หมายถึง ค่าคงที่แรงบิดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับ (back emf) ในส่วนของอาร์เมเจอร์จะเกิดจากการ หมุนตัวของอาร์เมเจอร์ด้วยความเร็ว ω_m ตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ_f

$$e_a = k_e \cdot \phi_f \cdot \omega_m \quad (2.3)$$

โดยที่ k_e หมายถึง ค่าคงที่ของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

อย่างไรก็ตามในหน่วย SI ค่า k_t และ k_e จะมีค่าเท่ากันซึ่งสามารถพิสูจน์ได้จาก สมการสมดุลของพลังงาน โดยกำลังไฟฟ้า ($e_a \cdot i_a$) เท่ากับกำลังไฟฟ้าทางกล ($\omega_m \cdot T_{em}$) จะได้

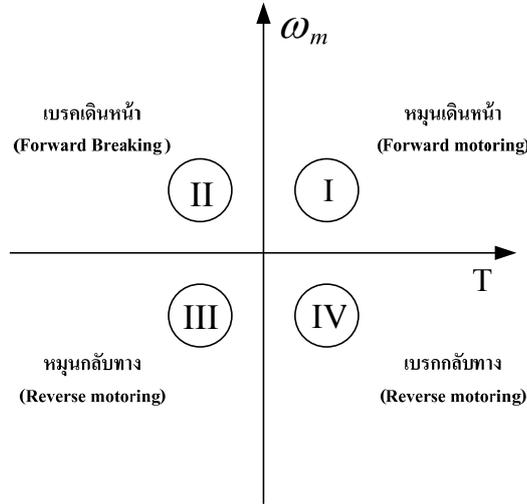
$$P_e = e_a \cdot i_a = k_e \cdot \phi_f \cdot \omega_m \cdot i_a \quad (2.4)$$

และกระแสไฟฟ้าทางกลเท่ากับ

$$P_m = \omega_m \cdot T_{em} = \omega_m \cdot k_t \cdot \phi_f \cdot i_a \quad (2.5)$$

เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงนั้น สามารถทำงานหรือเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กระแสตรงได้ แต่โดยทั่วไปจะไม่นิยมนำมาใช้งานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แต่อย่างไรก็ตามในขณะที่ทำการ เบรกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้น ก็จะทำให้เกิดสถานะเสมือนเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงในขณะ ที่ความเร็วลดลง ดังนั้นขณะที่มอเตอร์เบรกจำเป็นต้องพิจารณาเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยกำหนดให้ค่า เส้นแรงแม่เหล็กคงที่และมอเตอร์กำลังขับโหลดคงที่มีความเร็วเท่ากับ ω_m และเพื่อที่จะลดความเร็วของ

มอเตอร์เพื่อที่จะให้ค่าแรงดันไฟฟ้า V_t มีค่าต่ำกว่าค่าแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับ e_a จะส่งผลให้ i_a ไหลกลับทิศทาง ค่าแรงบิด T_{em} จะกลับทางเช่นกัน นอกจากนั้นพลังงานจลน์ที่เกิดจากแรงเฉื่อยของโหลดก็จะแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยพลังงานที่ได้จะจ่ายไปแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า V_t หรืออยู่ในรูปของความร้อนโดยใช้ตัวต้านทาน



รูปที่ 2.4 การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้ง 4 ย่านการทำงาน

ขณะที่มอเตอร์ทำการเบรคนั้น ขั้วของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับ e_a ไม่เปลี่ยนแปลง เพราะทิศทางการหมุนยังคงเหมือนเดิม ยังคงใช้สมการเดิมได้ ในการหาค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำย้อนกลับได้และเมื่อของโรเตอร์ลดลงเป็นผลให้แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับลดลง (ϕ_f มีค่าคงที่) จนกระทั่งมอเตอร์หยุดหมุนและถ้าขั้วของแหล่งจ่ายเปลี่ยนไปก็จะมีผลทำให้ทิศทางการหมุนของมอเตอร์เปลี่ยนไป

ดังนั้นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะสามารถทำงานได้ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง และเมื่อทำการเบรกแรงบิดของตัวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงก็สามารถกลับทิศทางได้ จากรูปที่ 2.4 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบสำหรับย่านการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้ง 4 ย่านการทำงาน

2.2.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแม่เหล็กถาวร

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร นิยมใช้เป็นมอเตอร์กระแสตรงขนาดเล็ก โดยที่สเตเตอร์จะใช้แม่เหล็กถาวรในการสร้างสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กคงที่

สำหรับสภาวะอยู่ตัว กำหนดให้ค่าเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่ พิจารณาวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและสมการ

$$T_{em} = k_t \cdot i_a \quad (2.6)$$

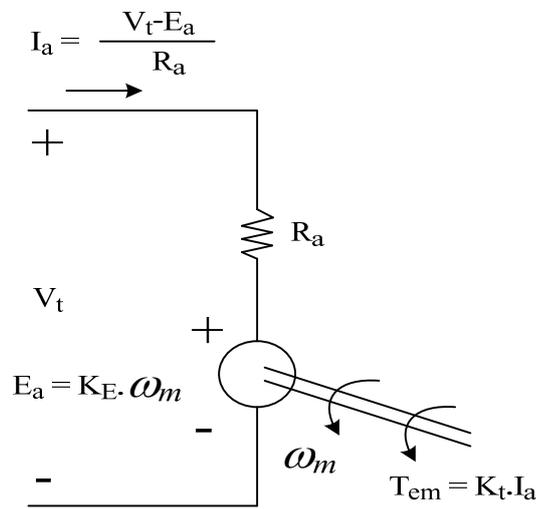
$$E_a = k_E \cdot \omega_m \tag{2.7}$$

$$V_t = E_a + R_a i_a \tag{2.8}$$

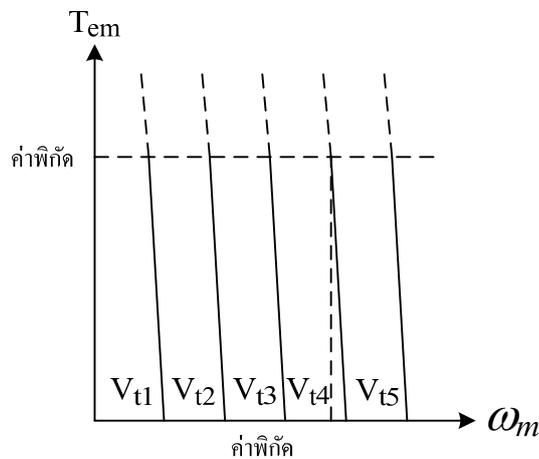
โดยที่ $k_T = k_t \cdot \phi_t$ และ $k_E = k_e \cdot \phi_t$

และจากสมการที่ 2.6 -2.8 จะสามารถหาค่าความเร็วรอบ ω_m ที่สภาวะอยู่ตัวเมื่อทราบค่าแรงดัน V_t และเป็นฟังก์ชันของ T_{em} จะได้สมการที่ 2.9

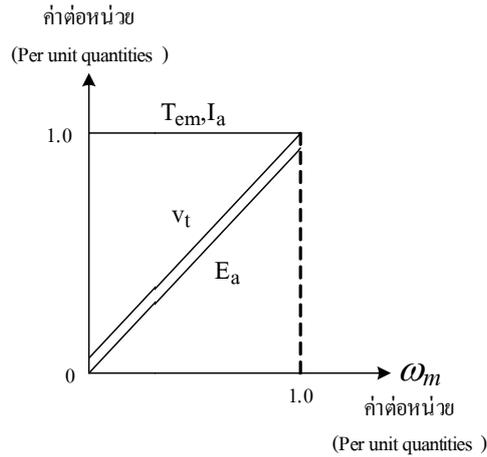
$$\omega_m = 1/K_E [V_t - (R_a / K_t) \cdot T_{em}] \tag{2.9}$$



รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

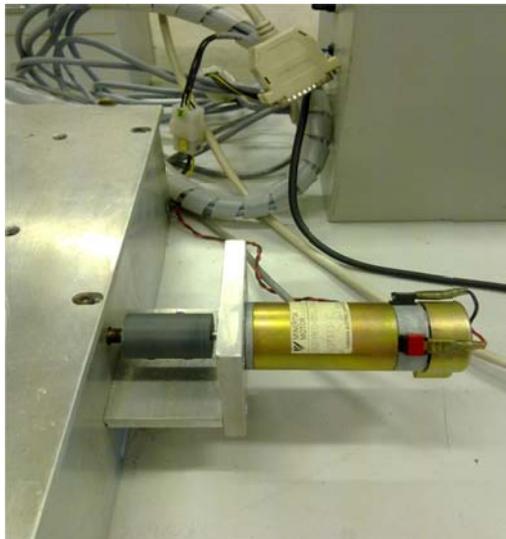


รูปที่ 2.6 คุณสมบัติของแรงบิด - ความเร็วรอบ $V_{t1} > V_{t2} > V_{t3} > V_{t4}$ โดยที่ V_{t4} คือแรงดันไฟฟ้าที่พิกัด



รูปที่ 2.7 สมรรถนะของแรงบิด - ความเร็วแบบต่อเนื่อง

สมการที่นำมาวาดกราฟได้ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าขณะที่แรงบิดมีค่าเพิ่มขึ้น คุณลักษณะของแรงบิด - ความเร็วรอบที่ค่าความเร็วรอบที่แรงดันคงที่ V_t ที่กำหนดจะมีรูปร่างเกือบเป็นเส้นตรงขนานกับแรงบิด T_{em} โดยความแตกต่างเพียงเล็กน้อยที่เกิดขึ้น จะเกิดจากแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมค่าความต้านของอาร์เมเจอร์ในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง $I_a \cdot R_a$ นอกจากนั้นคุณลักษณะของแรงบิด - ความเร็วสามารถเลื่อนไปมาได้ในแนวแกนนอนได้โดยการควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้า V_t ดังนั้น ความเร็วรอบของโหลดที่คุณลักษณะของแรงบิดต่อความเร็วรอบใดๆ โดยจะสามารถควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร



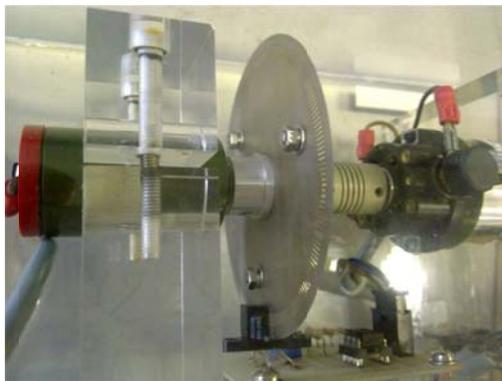
รูปที่ 2.8 มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรที่ใช้ในโครงการ

อย่างไรก็ตาม ค่ากระแสอาร์เมเจอร์และแรงบิดไม่ควรสูงเกินกว่าค่ากระแสและแรงบิดที่พิกัดค่าที่เกินกว่าค่าที่ได้แสดงไว้ด้วยเส้นประ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเพิ่ม

ความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าให้สูงกว่าค่าที่พิกัด จะเป็นผลให้ต้องเพิ่มพิกัดของมอเตอร์ไฟฟ้าสูงกว่าค่าที่พิกัด
จะเป็นผลให้ต้องเพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้า V_1 สูงขึ้นกว่าค่าที่พิกัดของมอเตอร์ไฟฟ้า

2.2.2 เอนโค้ดเดอร์ (Encoder)

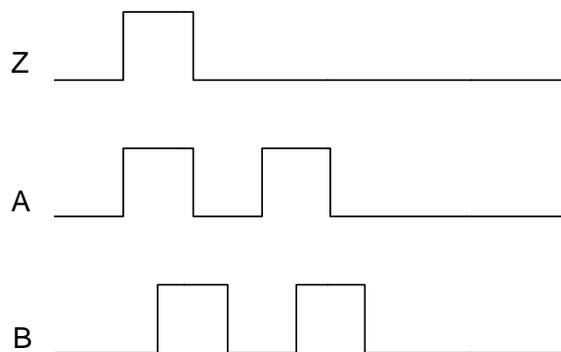
ในการตรวจสอบตำแหน่งของมอเตอร์จะใช้เอนโค้ดเดอร์เป็นตัวตรวจสอบตำแหน่ง โดยที่เอนโค้ดเดอร์จะสร้างพัลส์ที่แปรผันตรงกับการหมุนของเพลา จะทำให้สามารถตรวจสอบความเร็วและตำแหน่งของเพลามอเตอร์ขณะทำงานในรูปของจำนวนพัลส์ได้ โดยผลที่ได้จากการป้อนกลับมาประมวลผลผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ [2]



รูปที่ 2.9 ลักษณะชนิดงานหมุนที่ใช้ทำเอนโค้ดเดอร์โดยทั่วไป

โครงสร้างจะประกอบด้วย ตัวกำเนิดแสง ตัวจับแสงที่ถูกคั่นกลางด้วยแผ่นจานกลมๆ ที่มีการทำรูเจาะไว้รอบๆ แผ่น จำนวนรูจะขึ้นอยู่กับความละเอียดของ incremental encoder และหน้ากากแยกช่องของสัญญาณพัลส์ A, B และ Z ดังรูปที่ 2.9

สัญญาณพัลส์ที่ได้มาจากเอนโค้ดเดอร์ชนิดนี้จะประกอบด้วย 3 แพทท คือ A, B และ Z ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 สัญญาณ A, B และ Z ของเอนโค้ดเดอร์

พัลส์ที่เกิดจากการแทรก A และ B จะเกิดการเหลื่อมกัน มีความต่างเฟสกัน 90 องศา เพื่อทำหน้าที่รายงานผลของความเร็วและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ให้คอนโทรลเลอร์ ดังนี้

กรณีพัลส์ A เกิดขึ้นก่อน B คอนโทรลเลอร์จะรับรู้ว่ามีมอเตอร์กำลังหมุนด้วยทิศทางตามเข็มนาฬิกา แต่ถ้าหากพัลส์ B เกิดขึ้นก่อน A คอนโทรลเลอร์จะรับรู้ว่ามีมอเตอร์กำลังหมุนด้วยทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

ส่วนแทรก Z หรือพัลส์อ้างอิง จะเกิดขึ้น 1 พัลส์ในการหมุน 1 รอบ ทำหน้าที่ใช้อ้างอิงตำแหน่งโรเตอร์

ความละเอียดของอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งแบบโรเตอร์แบบ incremental ความละเอียดของ เอนโค้ดเดอร์ คือ จำนวนคาบของสัญญาณเอาต์พุตต่อการหมุนของเพลลา 1 รอบ ซึ่งจะบอกมาเป็นจำนวนพัลส์ต่อรอบ หรือจำนวนไซเคิล ต่อ 360 องศา มุมทางกลหรือไซเคิล ต่อ องศา ของเอนโค้ดเดอร์ที่ใช้กันทั่วไปจะมีค่าความละเอียดตั้งแต่ 15 ถึง 10,000 พัลส์



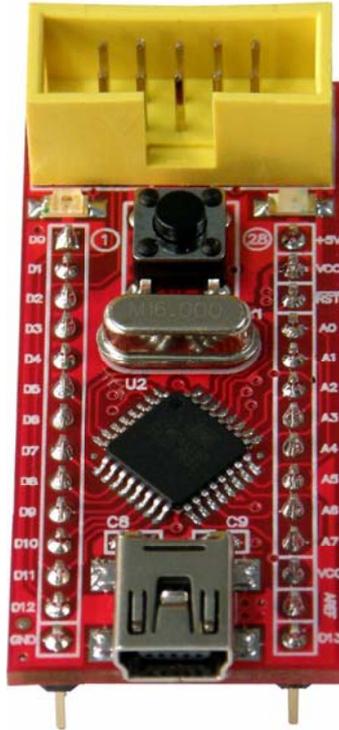
รูปที่ 2.11 เอนโค้ดเดอร์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมทั่วไป



รูปที่ 2.12 ดีซีมอเตอร์ที่ต่อแกนร่วมกับเอนโค้ดเดอร์

2.2.3 หน่วยประมวลผล

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) คือ อุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำที่รวบรวมฟังก์ชันการทำงานต่างๆ ไว้ภายในตัวของมันเอง โดยมีโครงสร้างใกล้เคียงกับคอมพิวเตอร์ คือ ภายในประกอบด้วยหน่วยรับข้อมูลและโปรแกรม หน่วยประมวลผล หน่วยความจำ หน่วยแสดงผล ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้มีความสมบูรณ์ในตัวของมันเอง ทำให้มีขนาดเล็กและสามารถที่จะเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เชื่อมต่อกับตัวมัน ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้



รูปที่ 2.13 รูปแสดงบอร์ด ET-EASY168 STAMP

ET-EASY168 STAMP เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล AVR8 ขนาดเล็กจิ๋ว โดยมีขนาดของบอร์ดเพียง 2cm x 5cm เท่านั้น ซึ่งขนาดบอร์ดประมาณเท่ากับตัวถังของไอซี 28 DIP 300 โดยเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR8 เบอร์ ATmega168 ของ ATMEL เป็น MCU ประจำบอร์ด โดยเลือกใช้ MCU ที่มีรูปร่างตัวถังแบบ 32 TQFP พร้อมวงจรรอบนอกที่จำเป็นอย่าง Oscillator และ Reset รวมไว้ด้วยภายในบอร์ด นอกจากนี้แล้วภายในตัวบอร์ดยังได้รวมเอาไอซี USB Bridge ของ FTDI เบอร์ FT232R เพื่อใช้ติดต่อสื่อสารแบบอนุกรมด้วย RS232 กับคอมพิวเตอร์ PC ผ่านทางพอร์ต USB ได้โดยตรง

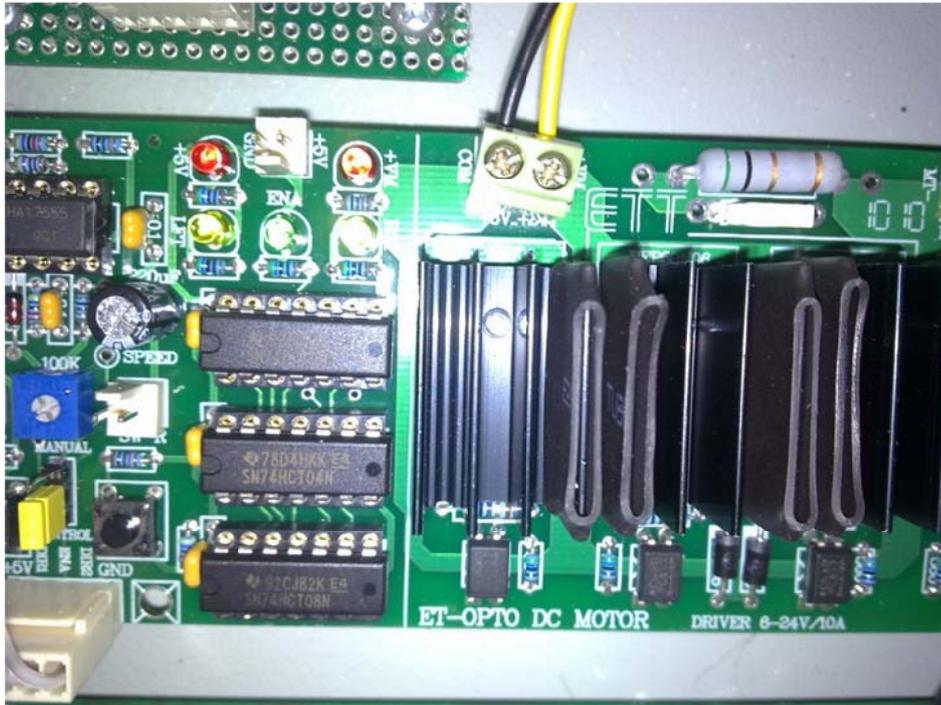
ทำให้บอร์ด ET-EASY168 STAMP เป็นบอร์ดทดลองขนาดเล็กที่เพียบพร้อมไปด้วยวงจรพื้นฐานที่จำเป็นต่อการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR8 อย่างแท้จริง เพียงแค่เสียบสาย USB จากพอร์ต USB ของเครื่องคอมพิวเตอร์ PC เข้ากับหัว USB ของบอร์ด ET-EASY168 STAMP ก็สามารถทำการเขียนโปรแกรม และ Download Code ให้กับ MCU เพื่อทำการทดลองได้ทันที

คุณสมบัติของบอร์ด

- เลือกใช้ MCU ตระกูล AVR8 เบอร์ ATmega168 ของ ATMEL Run ความถี่ 16.00 MHz
 - มีหน่วยความจำ Flash สำหรับเขียนโปรแกรม 16 Kbyte ถ้าใช้การพัฒนาโปรแกรมผ่านระบบ AVRISP หรือ 14 Kbyte เมื่อใช้การพัฒนาโปรแกรมผ่านระบบ Boot Loader RS232
 - มี SRAM ใช้งานขนาด 1 Kbyte และ EEPROM ใช้งานขนาด 512 Byte
 - มี GPIO ใช้งานจำนวน 22 บิต
 - Digital GPIO จำนวน 14 บิต
 - Analog Input (ADC) ขนาดความละเอียด 10 บิต จำนวน 8 ช่อง
- ใช้งานกับแรงดันไฟตรงขนาด +5VDC โดยใช้ได้ทั้งกับแหล่งจ่าย +5VDC/500mA จากพอร์ต USB และจากแหล่งจ่าย +5VDC จากภายนอกได้ด้วย พร้อม LED Power แสดงสถานะของแหล่งจ่าย
- มีวงจร External Reset แบบ RC Reset และ Switch Reset พร้อมภายในบอร์ด
- ขั้วต่อใช้งานวางตัวบน Pin Header ระยะห่าง 2.54 mm (100 mil) ขนาด 28 Pin (ด้านละ 14 Pin) ระยะห่าง 600 mil (1.5 cm) ง่ายต่อการนำไปต่อประยุกต์ใช้งาน และขยายวงจร I/O สามารถใช้กับ Project Board และ PCB เอนกประสงค์ได้โดยง่าย
- มีขั้วต่อ USB สำหรับเชื่อมต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ PC ผ่าน USB Bridge ของ FTDI ในรูปแบบของการสื่อสารอนุกรม RS232 สำหรับใช้งานสื่อสารและ Download Code ให้กับ MCU ภายในบอร์ดกรณีไม่ต้องการใช้การพัฒนาโปรแกรมผ่านทาง Boot Loader
- มี LED แสดงสถานะ โดยต่อกับ PB5 ของ AVR (Digital-13 ของ Arduino Project) สำหรับใช้เป็นอุปกรณ์ทดลองการทำงานอย่างง่าย

2.2.4 ฟูลบริดจ์

เป็นวงจรที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์โดยในโครงงานนี้ใช้บอร์ดสำเร็จรูปของ ETT รุ่น ET-OPTO DC MOTOR DRIVER 6-24V พาวเวอร์มอสเฟสแบบ เอ็น ชาแนล เบอร์ RFP50N06 ขนาด 60 V / 50 A จำนวน 4 ตัว ใ้การใช้งาน แผงวงจรดังแสดงรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แผงวงจรฟูลบริดจ์ รุ่น ET-OPTO DC MOTOR DRIVER 6-24V

ตารางที่ 2.1 การส่งสัญญาณควบคุม DC MOTOR

ENA/PWM	DIR1	DIR2	STATUS DC MOTOR
0	X	X	SLOW STOP
1	0	0	SLOW STOP
1	0	1	ROTATE RIGHT
1	1	0	ROTATE LEFT
1	1	1	FAST STO[

การทำงานของวงจร

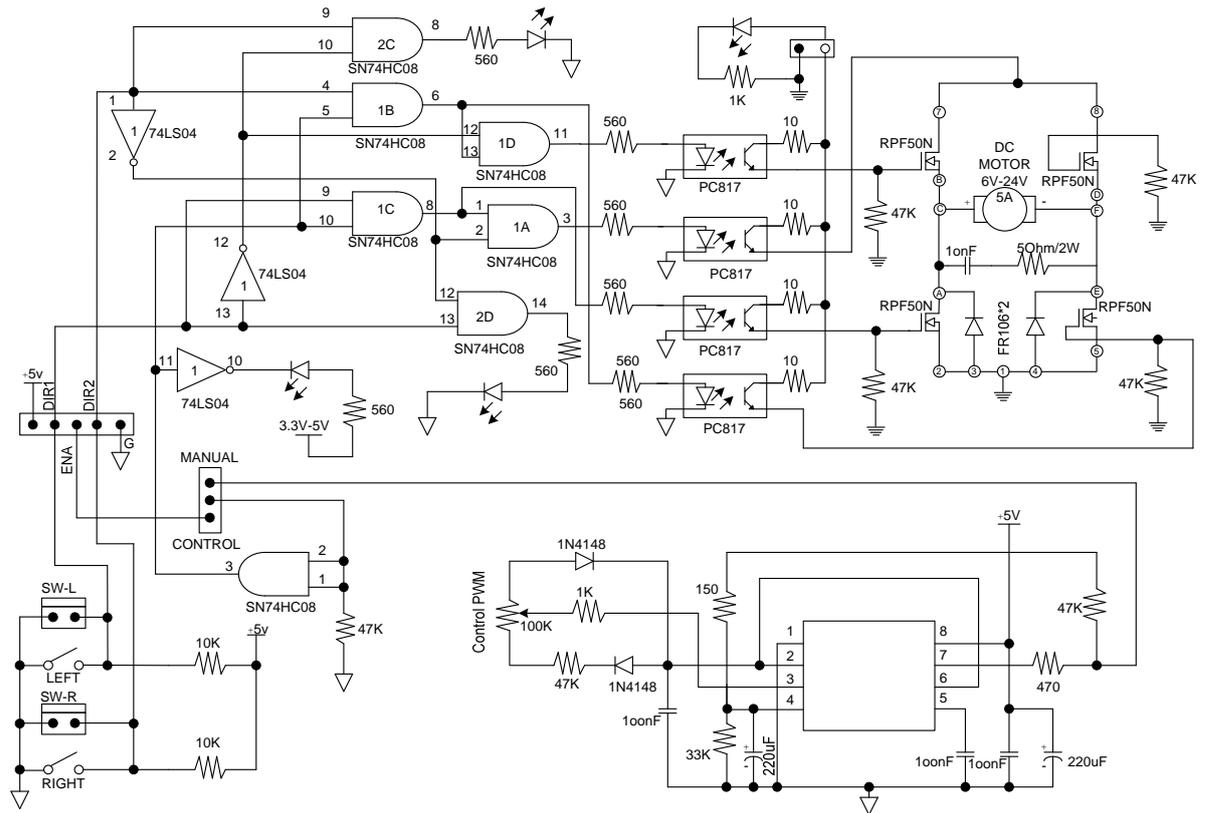
เมื่อ ENA = 0 จะไม่สนใจสถานะของ DIR 1 และ DIR 2 ทำให้ OPTO ทั้ง 4 ตัวไม่ทำงาน จึงไม่มีแรงดันไปไบอัสให้กับขา Gate ของมอสเฟส ทั้ง 4 ตัว ทำให้มอสเฟสไม่ทำงาน มอเตอร์ก็จะไม่หมุนหรือถ้าหมุนอยู่ก็จะหยุดแบบ SLOW

เมื่อ ENA = 1 ส่วน DIR 1 และ DIR 2 = 0 แล้ว จะมีลักษณะการทำงานเหมือนกับเงื่อนไขแรก

เมื่อ ENA = 1 ส่วน DIR 1 = 0 ,DIR 2 = 1 จะทำให้ OPTO ตัวที่ 1 กับ 4 ทำงาน ส่วนตัวที่ 2 และ 3 ไม่ทำงาน ส่งผลให้มีแรงดันไบอัสที่ขา GATE ของ Q1 และ Q4 ทำให้มอสเฟสคู่นี้ ON มีกระแสไหลจาก Q1 ผ่าน DC MOTOR ครบวงจรที่ Q4 ลงกราวด์ ทำให้มอเตอร์หมุนขวา (ตามเข็มนาฬิกา)

เมื่อ ENA = 1 ส่วน DIR 1 = 0 ,DIR 2 = 0 จะทำให้ OPTO ตัวที่ 2 กับ 3 ทำงาน ส่วนตัวที่ 1 และ 4 ไม่ทำงาน ส่งผลให้มีแรงดันไบอัสที่ขา GATE ของ Q2 และ Q3 ทำให้มอสเฟสคู่นี้ ON มีกระแสไหลจาก Q2 ผ่าน DC MOTOR ครบวงจรที่ Q3 ลงกราวด์ ทำให้มอเตอร์หมุนซ้าย (ทวนเข็มนาฬิกา)

เมื่อ ENA = 1 ส่วน DIR 1 = 1 ,DIR 2 = 1 จะทำให้ OPTO ตัวที่ 3 กับ 4 ทำงาน ส่วนตัวที่ 1 และ 2 ไม่ทำงาน ส่งผลให้มีแรงดันไบอัสที่ขา GATE ของ Q3 และ Q4 ทำให้มอสเฟสคู่นี้ ON ดึงกระแสที่ไหลผ่าน DC MOTOR อยู่ลงกราวด์ทันที ทำให้มอเตอร์ STOP แบบ FAST คือ หยุดทันที



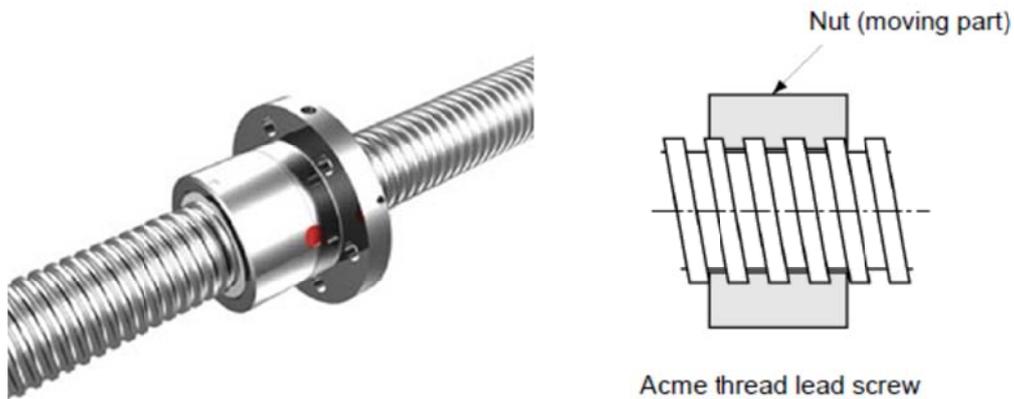
รูปที่ 2.15 วงจรที่ใช้ควบคุม DC MOTOR ด้วยพาวเวอร์มอสเฟส

2.3 สกรู

สกรู (Screw) คือ อุปกรณ์ที่ช่วยในการแปลงการเคลื่อนที่แบบเชิงมุมเป็นการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้นของเครื่องซีเอ็นซี ที่เคลื่อนที่ของแกนอิสระอย่างน้อย 3 แกนด้วยกัน คือ X, Y และ Z โดยตัวขับเคลื่อนให้แต่ละแกนเคลื่อนที่ได้จะใช้มอเตอร์ โดยทั่วไปในเครื่องซีเอ็นซีจะใช้สกรูอยู่ 2 แบบ คือ

- สกรุนำ (Lead screw)
- บอลสกรู (Ball screw)

สกรูนำ มีข้อเสีย คือ มีความผิดมาก เพราะมีการเสียดสีกันระหว่างโลหะของนอตตัวเมียกับแท่งเกลียว แต่มีข้อดี คือ ราคาที่ถูก เพื่อแก้ไขปัญหาด้านความผิดที่เกิดขึ้นในสกรูนำ จึงได้นำหลักการของตลับลูกปืนมาใช้ โดยนำเอาลูกปืนเม็ดเล็กมากๆ มาใส่ระหว่างเกลียวกับนอตตัวเมีย เทคนิคนี้ทำให้บอลสกรูสามารถแก้ไขปัญหของสกรูนำได้ทั้งหมด แต่มีราคาค่อนข้างสูง



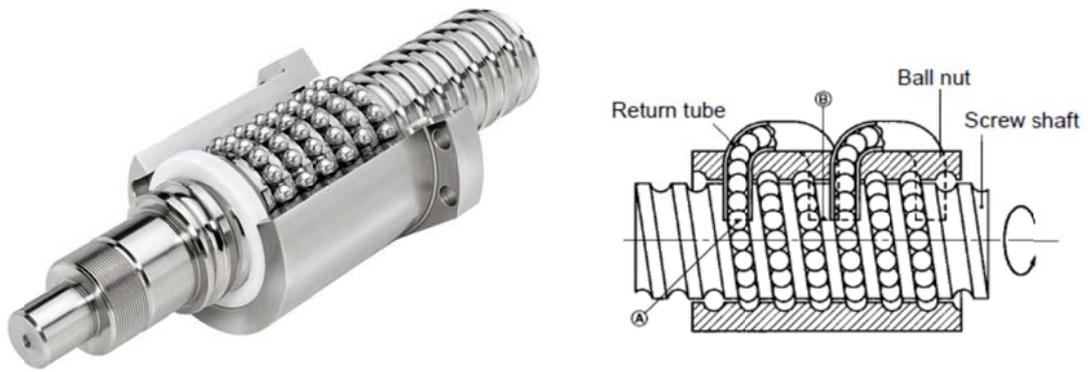
รูปที่ 2.16 ตัวอย่างสกรูนำ

ประเภทของบอลสกรู

บอลสกรู เป็นเพลาขับมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ เพลาเกลียว (Shaft) และ ตลับลูกปืน (Nut) ซึ่งมีเม็ดลูกปืนกลม (Ball) เป็นตัวรับน้ำหนักและลดแรงเสียดทาน มีข้อดี คือ สามารถผลิตตามความต้องการได้ มีส่วนประกอบน้อยไม่ซับซ้อน และมีความแข็งแรงทนทาน สามารถแบ่งบอลสกรูได้ออกเป็น 2 ชนิดหลักๆ คือ

บอลสกรูแบบรีด (Rolled ball screw) ผลิตโดยการรีดเพลาออกมาเป็นเกลียว ซึ่งสามารถผลิตได้ความละเอียด หรือค่าความผิดเพี้ยน (Lead Error) ในระดับหนึ่งและจะสะสมไปตามความยาว และจำนวนครั้งที่รีด ข้อสังเกต คือ ที่สันของเพลาเกลียวจะมีร่องเล็กๆ และสีจะหมองกว่า บอลสกรูชนิดนี้เหมาะสำหรับการส่งกำลังหรือไม่ต้องการความเที่ยงตรงสูง โดยจะมีราคาถูกกว่าและผลิตได้เร็วกว่า

บอลสกรูแบบเจียร (Grounded or precision ball screw) ผลิตโดยการนำเพลาที่ชุบแข็งแล้ว (Case hardening) มาเจียรทางวิ่ง โดยสามารถควบคุมการเจียรให้ได้ความละเอียดตามความต้องการ ซึ่งค่าความผิดเพี้ยนที่เกิดขึ้น จะอยู่ในช่วงหนึ่ง และไม่สะสมเหมือนกับแบบรีด ทำให้เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความละเอียดสูง เช่น เครื่อง CNC / NC และต้องสั่งผลิตทุกครั้ง



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างบอลสกรู

บทที่ 3

การออกแบบและการทำงานของระบบ

3.1 โครงสร้างของเครื่องซีเอ็นซีที่ปรับปรุงประสิทธิภาพ

ในโครงการนี้ได้นำดีซีเซอร์โวมาแทนสเต็ปมอเตอร์ทั้ง 3 แกนของเครื่องซีเอ็นซีที่ควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ และเพลาคับเคลื่อนถูกเปลี่ยนจากสกรูนำเป็นบอลสกรู โดยโครงสร้างของระบบทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 3.1



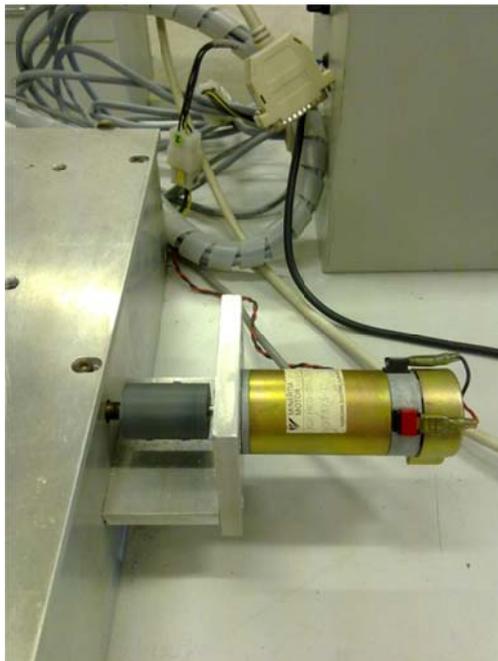
รูปที่ 3.1 โครงสร้างโดยรวมทั้งระบบ

3.2 ดีซีเซอร์โวมอเตอร์ และเอนโค้ดเดอร์

ในโครงการนี้ใช้ดีซีมอเตอร์ขนาด 12 V 30 W โดยมีเอนโค้ดเดอร์พิกัด 1,000 พัลส์ ต่อ รอบ โดยได้นำมาเชื่อมต่อ (Coupling) ด้วยพลาสติกกึ่งแข็งขึ้นรูปเพื่อนำมาจับแกนเพลาคับแบบบอลสกรู ขนาด 10 มม. ระยะพิท 4 มม. เพื่อจับแกนของซีเอ็นซีทั้ง 3 แกน ดังแสดงในรูปที่ 3.2 -3.4



รูปที่ 3.2 ดีไซน์มอเตอร์แกน X



รูปที่ 3.3 ดีไซน์มอเตอร์แกน Y



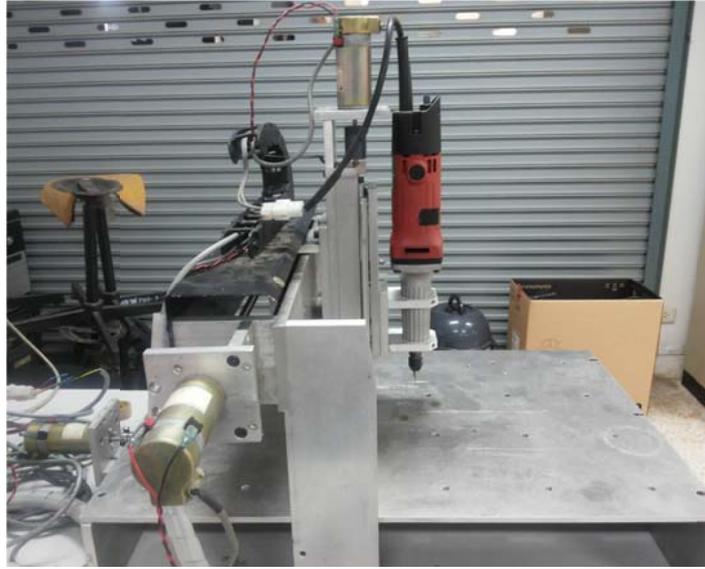
รูปที่ 3.4 ดีซีมอเตอร์แกน Z

3.3 ตัวขับเคลื่อนแกน

ในโครงการนี้ใช้ตัวขับเคลื่อนแกนแบบบอลสกรู ซึ่งทำให้การเคลื่อนที่ของแต่ละแกนมีความละเอียดที่สูงขึ้นและมีค่าความผิดพลาดที่น้อยลง



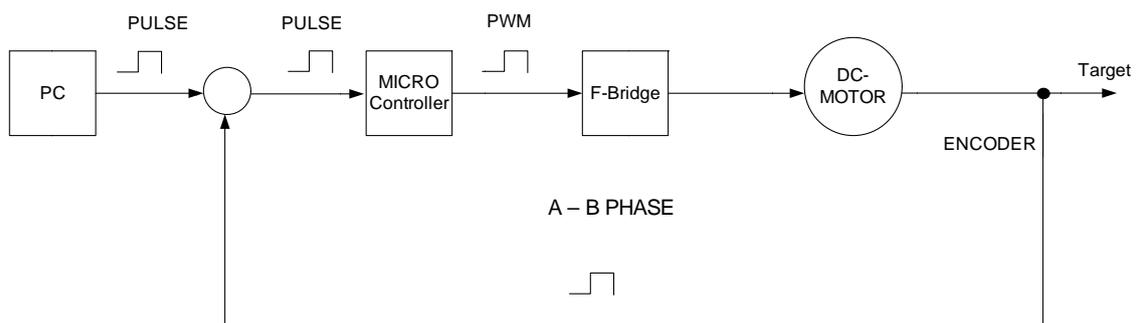
รูปที่ 3.5 บอลสกรู



รูปที่ 3.6 ระบบรวมทั้ง 3 แกน

3.4 ชุดแผงควบคุมระบบ

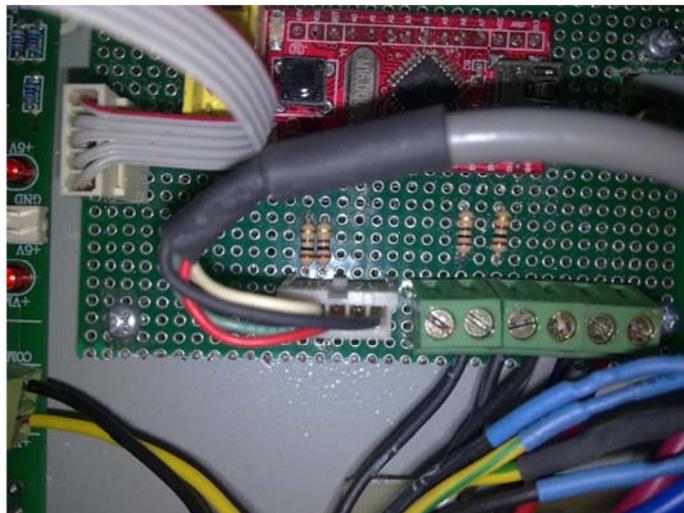
ชุดแผงควบคุมระบบการทำงานประกอบด้วย การรับข้อมูลจากโปรแกรม CNC จากคอมพิวเตอร์ PC ผ่านทางพอร์ตขนาน เพื่อส่งสัญญาณให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์รับสัญญาณนำมาประมวลผลเทียบกับสัญญาณจากเอนโค้ดเดอร์ ผลที่ได้ส่งเป็นสัญญาณพัลส์วิตมอดูเลชั่น (Pulse width modulation, PWM) ให้กับบอร์ดฟูลบริดจ์มอสเฟสขับเซอร์โวมอเตอร์หมุน ระยะทางที่ได้ถูกป้อนกลับด้วยเอนโค้ดเดอร์แล้วนำมาประมวลผลซ้ำอีกครั้งเพื่อให้ได้ตำแหน่งตามที่เครื่อง PC ระบุ



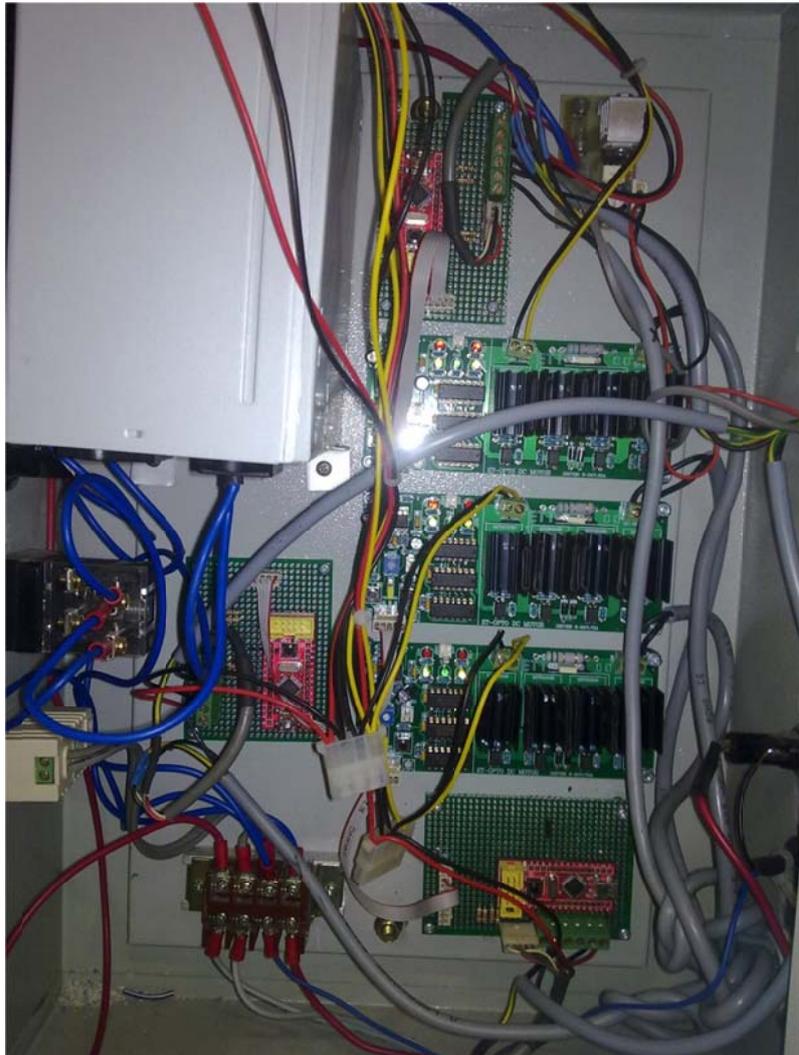
รูปที่ 3.7 ไตอะแกรมการทำงานของดีซีเซอร์โวมอเตอร์



รูปที่ 3.8 จุดเชื่อมต่อรับสัญญาณจาก PC ด้วยพอร์ตปรีนเตอร์



รูปที่ 3.9 จุดเชื่อมต่อรับสัญญาณจากเอนโค้ดเดอร์และ PC



รูปที่ 3.10 แผงวงจรทั้งระบบ

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องซีเอ็นซี

ในโครงการวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องซีเอ็นซีที่มีอยู่แล้ว ดังนั้นในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องนั้น ได้ทำการทดสอบความเร็วในการทำงานของเครื่องซีเอ็นซีที่ปรับปรุงประสิทธิภาพแล้วโดยการเปรียบเทียบความเร็วในการเคลื่อนที่และการกัดชิ้นงานของเครื่องซีเอ็นซีระหว่างเครื่องที่ยังไม่ได้ปรับปรุงกับเครื่องที่ทำการปรับปรุงแล้ว โดยแสดงการเปรียบเทียบเวลาในการเคลื่อนที่และการกัดชิ้นงานดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบเวลาในการเคลื่อนที่ของเครื่องซีเอ็นซี

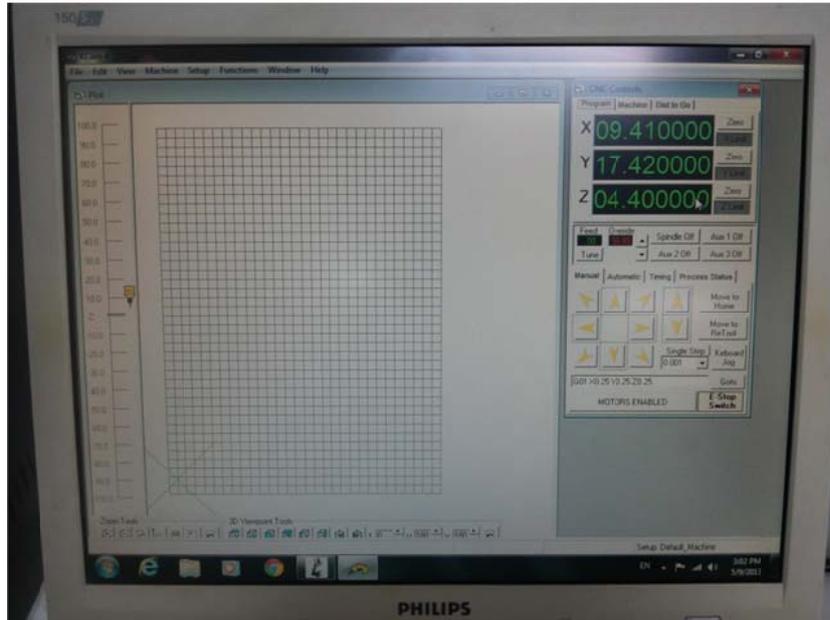
ระยะการเคลื่อนที่	เวลาที่ใช้ (วินาที)	
	เครื่องที่ไม่ได้ปรับปรุง	เครื่องที่ปรับปรุงแล้ว
แกน X 10cm.	30	2
แกน Y 10cm.	30	2
แกน Z 10cm.	30	2
แกน X-Y 10cm.	30	2
แกน X-Z 10cm.	30	2
แกน Y-Z 10cm.	30	2

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบเวลาในการกัดชิ้นงานของเครื่องซีเอ็นซี

ระยะการกัดชิ้นงาน	เวลาที่ใช้ (วินาที)	
	เครื่องที่ไม่ได้ปรับปรุง	เครื่องที่ปรับปรุงแล้ว
แกน X 5cm.	30	3
แกน Y 5cm.	30	3

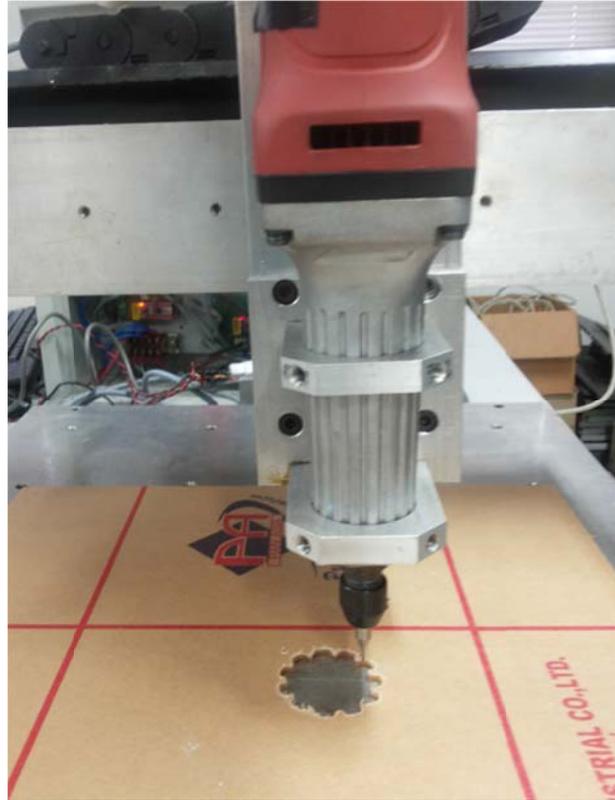
4.2 ทดสอบการกัดชิ้นงาน

ได้ทำการทดสอบกัดชิ้นงานด้วยเครื่องซีเอ็นซีที่ปรับปรุง โดยเริ่มจากออกแบบชิ้นงานที่ต้องการกัดในโปรแกรมโซลิดเวิร์ค ซึ่งชิ้นงานที่เลือกมาเป็นรูปเฟือง และทำเส้นทางการวิ่งของชิ้นงานเพื่อให้ได้จีโค้ด (G code) และจำลองการทำงานของเส้นทางการวิ่งในการทดลองของโครงการนี้



รูปที่ 4.1 โปรแกรม CNC

เมื่อได้แบบจำลองของเส้นทางการวิ่งดอกกัตนำมาคอมพิวเตอร์ให้ได้จีโค้ดเพื่อส่งต่อไปยังโปรแกรม CNC สั่งให้เครื่องกัดทำงานตามโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้ เมื่อโปรแกรม CNC ได้เส้นทางการวิ่งของดอกกัตจะส่งสัญญาณควบคุมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสั่งให้ดีซีมอเตอร์ขับเคลื่อนแกนยบอลสกรูทั้ง 3 แกน โดยมีเอนโค้ดเดอร์คอยตรวจสอบระยะพิกัดที่ได้จากแกนเพลลาที่เชื่อมต่อกันส่งสัญญาณกลับมายังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลตำแหน่งตรงกับระยะพิกัดที่มาจากเครื่อง PC จนได้ชิ้นงานตามที่ได้ออกแบบไว้



รูปที่ 4.2 ผลงานที่ได้จากการออกแบบ

บทที่ 5 บทสรุป

โครงการวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องซีเอ็นซีที่ใช้ในการเรียนการสอนอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งได้ทำการเปลี่ยนเพลาคับจากสเต็ปมอเตอร์เป็นดีซีเซอร์โวมอเตอร์ และตัวขับเคลื่อนแกนจากสกรูนำเป็นบอลสกรู ซึ่งทำให้ความเร็วในการทำงานของเครื่องซีเอ็นซีที่ปรับปรุงขึ้นมีค่าสูงขึ้นโดยสามารถเปรียบเทียบกับเครื่องซีเอ็นซีก่อนปรับปรุงได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบเครื่องซีเอ็นซีก่อนและหลังปรับปรุง

การทำงาน	ความเร็ว (มิลลิเมตรต่อนาที)	
	เครื่องซีเอ็นซีก่อนปรับปรุง	เครื่องซีเอ็นซีที่ปรับปรุงแล้ว
การเคลื่อนที่ในแต่ละแกน	200	3,000
การกัดชิ้นงานประเภทอะคริลิก	100	1,000

สำหรับปัญหาที่พบในการทำโครงการวิจัยนี้เป็นปัญหาจากระบบกลไกในส่วนของระบบเชื่อมต่อ (Coupling) ซึ่งโครงการนี้ใช้พลาสติกกึ่งขึ้นรูปไม่มียืดหยุ่น ทำให้แกนเพลาลงและแกนมอเตอร์ไม่ได้ศูนย์มีผลต่อการส่งกำลังไปยังแกนเพลาลงทำให้เกิดโหลดที่มีค่าไม่คงที่ แนวทางแก้ไขสำหรับกรณีนี้คือ เปลี่ยนระบบเชื่อมต่อเป็นแบบสปริงซึ่งให้ตัวได้ทำให้มีความยืดหยุ่น จากการปรับปรุงเครื่องซีเอ็นซีในโครงการวิจัยนี้ ทำให้สามารถนำแนวทางไปปรับปรุงเครื่องภายในห้องปฏิบัติการได้สำหรับการเรียนการสอนในภาคการศึกษาต่อไป

บรรณานุกรม

- [1] ธนะศักดิ์ โล่ห์สุวรรณ และคณะ. “การขับเคลื่อนดีซีมอเตอร์ แบบ 4 คอร์ดแตรนทีโดยใช้วิซวลเบสิกควบคุมผ่านางไมโครคอนโทรลเลอร์” ปรินญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548
- [2] ประพันธ์ ลีกุล. “การออกแบบการเข้ารหัสและถอดรหัสพาริตีเช็คความหนาแน่นต่ำแบบควอไซไซคลิก” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2551
- [3] S.-H. Suh, J.-J Lee and S.-K. Kim, “Multiaxis Maching with Additional-Axis NC system: theory and development” *Int. J Adv Manuf Technol*, Springer-Verlag, London, pp. 865-875, 1998.
- [4] I. Zeid, *CAD/CAM theory and practice*, McGraw-Hill, 1990.

ภาคผนวก ก
โปรแกรมควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ในแต่ละแกน

โปรแกรมควบคุมเซอร์โวมอเตอร์สำหรับแกน X

```
#define encoder0PinA 2
#define encoder0PinB 4

#define encoder1PinA 3
#define encoder1PinB 5

#define SpeedPin 6
#define DirectionPinCW 7
#define DirectionPinCCW 8

volatile long encoder0Pos = 0;
volatile long encoder1Pos = 0;

long target = 0;

float KP = 2.5 ;
float KI = .25;
float KD = 1.5;

int lastError = 0;
int sumError = 0;

int iMax = 100;
int iMin = 0;

long previousTarget = 0;
long previousMillis = 0;
long interval = 5;

void setup() {

  pinMode(encoder0PinA, INPUT);
  pinMode(encoder0PinB, INPUT);

  pinMode(encoder1PinA, INPUT);
  pinMode(encoder1PinB, INPUT);

  pinMode(DirectionPinCW, OUTPUT);
  pinMode(DirectionPinCCW, OUTPUT);
  pinMode(SpeedPin, OUTPUT);

  attachInterrupt(0, doEncoderMotor0, CHANGE);
  attachInterrupt(1, doEncoderMotor1, CHANGE);

  Serial.begin (19200);
  Serial.println("start");

}
```

```

void loop(){

  if (millis() - previousTarget > 1000)
  {
    Serial.print ( encoder0Pos );
    Serial.print ( " , " );
    Serial.println ( encoder1Pos );

    previousTarget = millis();

  }

  target = encoder1Pos;
  docalc();
}

void docalc() {

  if (millis() - previousMillis > interval)
  {
    previousMillis = millis();

    long error = encoder0Pos - target ;

    long ms = KP * error + KD * (error - lastError) +KI * (sumError);

    lastError = error;
    sumError += error;

    if(sumError > iMax) {
      sumError = iMax;
    } else if(sumError < iMin){
      sumError = iMin;
    }

    if(ms > 0){
      digitalWrite ( DirectionPinCW ,HIGH );
      digitalWrite ( DirectionPinCCW ,LOW );
    }
    if(ms < 0){
      digitalWrite ( DirectionPinCW , LOW );
      digitalWrite ( DirectionPinCCW ,HIGH );
      ms = -1 * ms;
    }

    int motorSpeed = map(ms,0,1024,15,255);

    analogWrite ( SpeedPin, motorSpeed );
  }
}

void doEncoderMotor0(){
  if (digitalRead(encoder0PinA) == HIGH) {
    if (digitalRead(encoder0PinB) == HIGH) {

      encoder0Pos = encoder0Pos - 1;
    }
  }
}

```

```
    else {
        encoder0Pos = encoder0Pos + 1;
    }
}
else
{
    if (digitalRead(encoder0PinB) == LOW) {

        encoder0Pos = encoder0Pos + 1;
    }
    else {
        encoder0Pos = encoder0Pos - 1;
    }
}
}

void doEncoderMotor1()
{
    if (digitalRead(encoder1PinB) == HIGH) {

        if (digitalRead(encoder1PinA) == LOW) {
            encoder1Pos = encoder1Pos + 1;
        }
        else
        {
            encoder1Pos = encoder1Pos - 1;
        }
    }
    else {
        if (digitalRead(encoder1PinA) == LOW) {
            encoder1Pos = encoder1Pos - 1;
        }
        else {
            encoder1Pos = encoder1Pos + 1;
        }
    }
}
}
```

โปรแกรมควบคุมเซอร์โวมอเตอร์สำหรับแกน Y

```

#define encoder0PinA 2
#define encoder0PinB 4

#define encoder1PinA 3
#define encoder1PinB 5

#define SpeedPin 6
#define DirectionPinCW 7
#define DirectionPinCCW 8

volatile long encoder0Pos = 0;
volatile long encoder1Pos = 0;

long target = 0;

float KP = 3.4 ;
float KI = .25;
float KD = 1.5;

int lastError = 0;
int sumError = 0;

int iMax = 100;
int iMin = 0;

long previousTarget = 0;
long previousMillis = 0;
long interval = 5;

void setup() {

  pinMode(encoder0PinA, INPUT);
  pinMode(encoder0PinB, INPUT);

  pinMode(encoder1PinA, INPUT);
  pinMode(encoder1PinB, INPUT);

  pinMode(DirectionPinCW, OUTPUT);
  pinMode(DirectionPinCCW, OUTPUT);
  pinMode(SpeedPin, OUTPUT);

  attachInterrupt(0, doEncoderMotor0, CHANGE);
  attachInterrupt(1, doEncoderMotor1, CHANGE);

  Serial.begin (19200);
  Serial.println("start");

}

void loop(){

  if (millis() - previousTarget > 1000)
  {
    Serial.print ( encoder0Pos );
    Serial.print ( " , " );
  }
}

```

```

    Serial.println ( encoder1Pos );
    previousTarget = millis();

}

target = encoder1Pos;
docalc();
}

void docalc() {

if (millis() - previousMillis > interval)
{
    previousMillis = millis();

    long error = encoder0Pos - target ;

    long ms = KP * error + KD * (error - lastError) +KI * (sumError);

    lastError = error;
    sumError += error;

    if(sumError > iMax) {
        sumError = iMax;
    } else if(sumError < iMin){
        sumError = iMin;
    }

    if(ms > 0){
        digitalWrite ( DirectionPinCW ,HIGH );
        digitalWrite ( DirectionPinCCW ,LOW );
    }
    if(ms < 0){
        digitalWrite ( DirectionPinCW , LOW );
        digitalWrite ( DirectionPinCCW ,HIGH );
        ms = -1 * ms;
    }

    int motorSpeed = map(ms,0,1024,30,255);

    analogWrite ( SpeedPin, motorSpeed );
}
}

void doEncoderMotor0(){
if (digitalRead(encoder0PinA) == HIGH) {
    if (digitalRead(encoder0PinB) == HIGH) {

        encoder0Pos = encoder0Pos - 1;
    }
    else {
        encoder0Pos = encoder0Pos + 1;
    }
}
else
{
    if (digitalRead(encoder0PinB) == LOW) {

```

```
    encoder0Pos = encoder0Pos + 1;
  }
  else {
    encoder0Pos = encoder0Pos - 1;
  }
}
}

void doEncoderMotor1(){

  if (digitalRead(encoder1PinB) == HIGH) {

    if (digitalRead(encoder1PinA) == LOW) {
      encoder1Pos = encoder1Pos + 1;
    }
    else
    {
      encoder1Pos = encoder1Pos - 1;
    }
  }

  else {

    if (digitalRead(encoder1PinA) == LOW) {
      encoder1Pos = encoder1Pos - 1;
    }
    else {
      encoder1Pos = encoder1Pos + 1;
    }
  }
}
```

โปรแกรมควบคุมเซอร์โวมอเตอร์สำหรับแกน Z

```

#define encoder0PinA 2
#define encoder0PinB 4

#define encoder1PinA 3
#define encoder1PinB 5

#define SpeedPin 6
#define DirectionPinCW 7
#define DirectionPinCCW 8

volatile long encoder0Pos = 0;
volatile long encoder1Pos = 0;

long target = 0;

float KP = 11.9 ;
float KI = .25;
float KD = 1.5;

int lastError = 0;
int sumError = 0;

int iMax = 100;
int iMin = 0;

long previousTarget = 0;
long previousMillis = 0;
long interval = 5;

void setup() {

  pinMode(encoder0PinA, INPUT);
  pinMode(encoder0PinB, INPUT);

  pinMode(encoder1PinA, INPUT);
  pinMode(encoder1PinB, INPUT);

  pinMode(DirectionPinCW, OUTPUT);
  pinMode(DirectionPinCCW, OUTPUT);
  pinMode(SpeedPin, OUTPUT);

  attachInterrupt(0, doEncoderMotor0, CHANGE);
  attachInterrupt(1, doEncoderMotor1, CHANGE);

  Serial.begin (19200);
  Serial.println("start");
}

void loop(){

  if (millis() - previousTarget > 1000)
  {
    Serial.print ( encoder0Pos );
  }
}

```

```

    Serial.print ( " , " );
    Serial.println ( encoder1Pos );

    previousTarget = millis();
}

target = encoder1Pos;
docalc();
}

void docalc() {

    if (millis() - previousMillis > interval)
    {
        previousMillis = millis();

        long error = encoder0Pos - target ;

        long ms = KP * error + KD * (error - lastError) +KI * (sumError);

        lastError = error;
        sumError += error;

        if(sumError > iMax) {
            sumError = iMax;
        } else if(sumError < iMin){
            sumError = iMin;
        }

        if(ms > 0){
            digitalWrite ( DirectionPinCW ,HIGH );
            digitalWrite ( DirectionPinCCW ,LOW );
        }
        if(ms < 0){
            digitalWrite ( DirectionPinCW , LOW );
            digitalWrite ( DirectionPinCCW ,HIGH );
            ms = -1 * ms;
        }

        int motorSpeed = map(ms,0,1024,80,255);

        analogWrite ( SpeedPin, motorSpeed );
    }
}

void doEncoderMotor0(){
    if (digitalRead(encoder0PinA) == HIGH) {
        if (digitalRead(encoder0PinB) == HIGH) {

            encoder0Pos = encoder0Pos - 1;
        }
        else {
            encoder0Pos = encoder0Pos + 1;
        }
    }
}
else

```

```
{
  if (digitalRead(encoder0PinB) == LOW) {

    encoder0Pos = encoder0Pos + 1;
  }
  else {
    encoder0Pos = encoder0Pos - 1;
  }
}
}

void doEncoderMotor1(){

  if (digitalRead(encoder1PinB) == HIGH) {

    if (digitalRead(encoder1PinA) == LOW) {
      encoder1Pos = encoder1Pos + 1;
    }
    else
    {
      encoder1Pos = encoder1Pos - 1;
    }
  }

  else {

    if (digitalRead(encoder1PinA) == LOW) {
      encoder1Pos = encoder1Pos - 1;
    }
    else {
      encoder1Pos = encoder1Pos + 1;
    }
  }
}
}
```

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล นาย เทพจิตร์ เขยโสภา
2. หน่วยงานและสถานที่อยู่
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทรศัพท์ 02-3264221 โทรสาร 02-3264225
e-mail kcthepji@kmitl.ac.th
3. ประวัติการศึกษา
 - ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชา วิศวกรรมระบบควบคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 - ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
4. ประสบการณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
งานวิจัยที่สนใจ
 - การประยุกต์ใช้งาน อิเล็กทรอนิกส์กำลัง
 - ระบบควบคุม
 - เครื่องจักร 3 แกนในงานอุตสาหกรรมประสบการณ์การสอน
 อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ
 - สอนวิชา COMPUTER AIDED DESIGN, NUMERICAL CONTROL
 - เป็นอาจารย์ที่ปรึกษานักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์

ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล นาย วันชัย ธีรรัฐจา
2. หน่วยงานและสถานที่อยู่
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทรศัพท์ 02-739-0758 โทรสาร 02-739-0758
e-mail kvanchai@kmitl.ac.th

3. ประวัติการศึกษา

- ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วศ.ด.) สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า 2536
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า 2531
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า 2526
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

4. ประสบการณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่สนใจ

- การประยุกต์ใช้งานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในงานอุตสาหกรรม
- ระบบควบคุมแบบแอนะล็อก
- เครื่องจักรซีเอ็นซี

ประสบการณ์การสอน

- อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ
- สอนวิชา

ปริญญาเอก 01018403 NUMERICAL OPTIMIZATION

ปริญญาโท 01087310 LOGIC DESIGN OF DIGITAL SYSTEMS

ปริญญาตรี 01084265 ELECTRONICS CONTROL ENGINEERING