การออกแบบและสร้างระบบควบคุมตำแหน่งชิ้นงานเคลื่อนที่ได้ 3 แกนแบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

The Design and Construction of Automatic 3-Axis Movable Workpiece Position Control System Controlled by Programmable Logic Controller

วิชาญ ศรีสุวรรณ์[1] และ ชัยพร อัดโดดดร[2]
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ[1]
199/19 ถ.มิตรภาพ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000
E-mail: chaiporn.add@neu.ac.th[2]

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบควบคุมตำแหน่งชิ้นงานเคลื่อนที่ได้ 3 แกนแบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ โดยทำเป็นชุดสาธิตการทำงาน ใช้ระบบนิวเมติกส์ในการหยิบจับชิ้นงานที่มีน้ำหนักอยู่ที่ 300-600 กรัม วางชิ้นงานตามตำแหน่งที่กำหนดโดยมีคำสั่งการทำงานอยู่ 3 โหมด การเคลื่อนที่ใช้ชุดขับสเต็ปมอเตอร์แกน X และแกน Y การทำงานชุดนิวเมติกส์จับและปล่อยชิ้นงานด้วยการสร้างระบบสุญญากาศแกน Z ใช้ความดันลมตามมาตรฐานอุตสาหกรรม คือ 6 บาร์ ความเร็วในการทำงานสามารถปรับได้ตามที่ออกแบบชุดคำสั่งไว้ จากการทดสอบ จะพบว่า การควบคุมการเคลื่อนที่ของชุดขับสเต็ปมอเตอร์แกน X และแกน Y สามารถทำงานตามชุดคำสั่งที่ป้อนไปยังโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ การย้ายตำแหน่งเกิดค่าความผิดพลาดอยู่ที่ประมาณ 1-2 % เมื่อทดสอบการทำงานชุดนิวเมติกส์จับและปล่อยชิ้นงานด้วยการสร้างระบบสุญญากาศแกน Z สามารถจับชิ้นงานได้ถึง 600 กรัม ส่วนการควบคุมผ่านหน้าจอ HMI Touch screen ก็สามารถแสดงผลและใช้งานได้ตามโปรแกรมที่กำหนดไว้ ซึ่งประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากชุดทดสอบการหยิบจับชิ้นงานควบคุมด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์นี้ สามารถนำไปใช้งานได้จริงในโรงงานอุตสาหกรรมต่อไปได้

Abstract

This paper presents the design and construction of automatic 3-axis movable workpiece positioning control system controlled by a programmable logic controller by making a working demonstration. The pneumatic system is used to hold the workpieces with 300-600 grams of weight place the workpiece in the specified position with 3 operating modes. The movement uses the X-axis and Y-axis step motor drive. Pneumatic actuator clamps and releases the workpiece by creating a Z-axis vacuum system. It uses the industry standard air pressure of 6 bar. The working speed can be adjusted according to the designed instruction set. From the test, it was

found that the motion control of the X- axis and Y-axis stepper motor drives can be performed according to the instructions fed to the programmable logic controller. The misplacement error is about 1-2%. When testing the operation of the pneumatic clamping and releasing unit with Z-axis vacuum construction, it can hold up to 600 grams of workpieces. The HMI Touch screen can be displayed and used according to the specified program which expected benefits of workpiece position control system controlled by programmable logic controller can be used in the future in the industrial plant.

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม มีการพัฒนาระบบควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือกระบวนการผลิตที่ทดแทนการสร้างฟังก์ชันควบคุมด้วยอุปกรณ์รีเลย์ที่มีชื่อว่าโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ เป็นการเขียนโปรแกรมเพื่อสร้างฟังก์ชันการทำงานเพื่อควบคุมการทำงานของระบบ จะมีข้อได้เปรียบกว่าการใช้ระบบของรีเลย์ (Relay) ซึ่งจำเป็นจะต้องเดินสายไฟฟ้า หรือที่เรียกว่า Hard- Wired ฉะนั้นเมื่อมีความจำเป็นที่ต้องเปลี่ยนกระบวนการผลิต หรือลำดับการทำงานใหม่ ก็ต้องเดินสายไฟฟ้าใหม่ ซึ่งเสียเวลาและเสียค่าใช้จ่ายสูง แต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์แล้ว การเปลี่ยนกระบวนการผลิตหรือลำดับการทำงานใหม่นั้นทำได้โดยการเปลี่ยนโปรแกรมใหม่เท่านั้น ทำให้สะดวกต่อการเปลี่ยนแปลงและแก้ไข ขนาดกระทัดรัด และทนทานต่อสัญญาณไฟฟ้าได้ดี ทำงานได้รวดเร็วและแม่นยำ ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมรถยนต์ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ มีการนำโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์มาใช้ ซึ่งสามารถลดแรงงานของคนงาน ทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการผลิตได้ เนื่องจากปัจจุบันการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือสายการผลิตที่เป็นลำดับขั้นตอนมีการทำงานวนซ้ำไปมาอย่างแม่นยำ ซึ่งมีความต้องการเป็นอย่างมากทั้งในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กและโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ที่จะประหยัดแรงงานเพราะว่าการใช้แรงงานของคนจะเกิดความเมื่อยล้าจึงส่งผลต่อความแม่นยำในแต่ละรอบที่ไม่เท่ากัน ความแม่นยำจึงลดลงเมื่อความเมื่อยล้าเพิ่มขึ้น โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์จะเป็นคำตอบที่เหมาะสมสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการการทำงานของเครื่องจักรหรือสายการผลิตที่ทำงานเป็นลำดับขั้นตอนที่มีความแม่นยำทุกรอบการผลิตที่เท่ากัน เนื่องจากไม่มีความเมื่อยล้าในการทำงานเหมือนแรงงานคน ดังนั้น จึงมีความต้องการที่จะสร้างแบบจำลองระบบควบคุมตำแหน่งชิ้นงานที่มีการทำงานเป็นลำดับขั้นตอนอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ผู้ที่มาศึกษาเข้าใจการทำงานของโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ และสามารถใช้โปรแกรมในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือสายการผลิตในรูปแบบอื่น ๆ ที่ใช้จริงในโรงงานอุตสาหกรรมต่อไปได้

2. ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (Programmable logic Controller : PLC) [1] เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือกระบวนการทำงานต่างๆ โดยภายในมี Microprocessor เป็นมันสมองสั่งการที่สำคัญ PLC จะมีส่วนที่เป็นอินพุตและเอาต์พุตที่สามารถต่อออกไปใช้งานได้ทันที ตัวตรวจวัดหรือสวิตช์ต่างๆ จะต่อเข้ากับอินพุต ส่วนเอาต์พุตจะใช้ต่อออกไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่เป็นเป้าหมาย เราสามารถสร้างวงจรหรือแบบของการควบคุมได้โดยการป้อนเป็นโปรแกรมคำสั่งเข้าไปใน PLC นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น เครื่องอ่านบาร์โค๊ด (Barcode Reader) เครื่องพิมพ์ (Printer) ซึ่งในปัจจุบันนอกจากเครื่อง PLC จะใช้งานแบบเดี่ยว (Standalone) แล้วยังสามารถต่อ PLC หลายๆ ตัวเข้าด้วยกัน (Network) เพื่อควบคุมการทำงานของระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นด้วย จะเห็นได้ว่าการใช้งาน PLC มีความยืดหยุ่นมาก ดังนั้น ในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ จึงเปลี่ยนมาใช้ PLC มากขึ้น PLC เป็นอุปกรณ์ชนิดโซลิด - สเตท (Solid State) ที่ทำงานแบบลอจิก (Logic Functions) การออกแบบการทำงานของ PLC จะคล้ายกับหลักการทำงานของคอมพิวเตอร์ จากหลักการพื้นฐานแล้ว PLC จะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า Solid-State Digital Logic Elements เพื่อให้ทำงานและตัดสินใจแบบลอจิก PLC ใช้สำหรับควบคุมกระบวนการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม การใช้ PLC สำหรับควบคุมเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมจะมีข้อได้เปรียบกว่าการใช้ระบบของรีเลย์ (Relay) [2] นอกจากนี้แล้ว PLC ยังใช้ระบบโซลิด - สเตท ซึ่งน่าเชื่อถือกว่าระบบเดิม การกินกระแสไฟฟ้าน้อยกว่า และสะดวกกว่าเมื่อต้องการขยายขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักร PLC เป็นอุปกรณ์คอมพิวเตอร์สำหรับใช้ในงานอุตสาหกรรม PLC ประกอบด้วย หน่วยประมวลผลกลาง หน่วยความจำ หน่วยรับข้อมูล หน่วยส่งข้อมูล และหน่วยป้อนโปรแกรม ส่วนประกอบทั้งหมดของ PLC จะรวมกันเป็นเครื่องเดียว แต่ถ้าเป็นขนาดใหญ่สามารถแยกออกเป็นส่วนประกอบย่อยๆ ได้ หน่วยความจำของ PLC ประกอบด้วย หน่วยความจำชนิด RAM และ ROM หน่วยความจำชนิด RAM ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมของผู้ใช้และข้อมูลสำหรับใช้ในการปฏิบัติงานของ PLC ส่วน ROM ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมสำหรับใช้ในการปฏิบัติงานของ PLC ตามโปรแกรมของผู้ใช้

2.2 สเต็ปมอเตอร์แบบยูนิโพล่าร์

2.2.1 ลักษณะการพันขดลวดของมอเตอร์มีด้วยกัน 2 แบบ [3, 4] คือ แบบ 5 สายและ 6 สาย บางครั้งเรียกสเต็ปมอเตอร์แบบนี้ว่าเป็นสเต็ปมอเตอร์แบบ 4 เฟส การขับจะต้องป้อนสัญญาณเข้าที่ขั้วหรือเฟสของมอเตอร์ให้เรียงลำดับอย่างถูกต้อง มอเตอร์จึงจะสามารถหมุนได้อย่างราบรื่น สเต็ปมอเตอร์แบบนี้มีการพันขดลวด 2 ขดบนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ แต่ละขดแบ่งเป็น 2 เฟส รวมมอเตอร์ทั้งตัวจะมี 4 เฟส คือ เฟส 1, 2, 3 และ 4 มีการต่อสายออกมาจากขดลวดแต่ละขดเพื่อจ่ายไฟเลี้ยงทำให้สเต็ปมอเตอร์แบบนี้มีทั้งแบบ 5 สายและ 6 สาย ถ้าเป็นแบบ 5 สาย

จะเป็นการนำสายไฟเลี้ยงของขดลวดทั้งสองมาต่อรวมกันเป็นสายเดียว สำหรับในบทความนี้จะเน้นหนักไปที่สเต็ปมอเตอร์แบบยูนิโพล่าร์ เนื่องจากสามารถหาได้ง่ายกว่าและใช้วงจรขับที่มีความซับซ้อนน้อยกว่ามาก

2.2.2 การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์แบบยูนิโพล่าร์ [5, 6] เป็นการกระตุ้นและควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปแต่ละสเต็ปทำได้โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละขดบนสเตเตอร์ ซึ่งต้องป้อนเป็นแบบซีเควนเชียลในรูปแบบที่ถูกต้องด้วย สามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ คือ แบบเวฟ (wave) หรือแบบฟูลเต็ป 1 เฟส (full step 1-phase), แบบฟูลสเต็ป 2 เฟส และแบบครึ่งสเต็ป (half step) การหมุนของชุดสเต็ปมอเตอร์จะเป็นการหมุนแบบที่สามารถกลับทิศทางได้เช่นเดียวกับการหมุนของมอเตอร์ทั่วไป แต่ในการหมุนของชุดสเต็ปมอเตอร์จะมีองศาในการหมุนที่ไม่เท่ากัน เช่น การเริ่มมีการหมุนตั้งแต่ 0.36°, 0.72°, 0.9° จนถึง1.8° และมีการควบคุมการทำงานแบบคลื่นสัญญาณพัลส์ในการกำหนดค่าของระบบสำหรับการวางตำแหน่งในการเคลื่อนที่ได้อย่างแม่นยำและสามารถแสดงการหมุนของสเต็ปมอเตอร์และแสดงค่าในการกำหนดค่าของความเร็วรอบในการหมุนโดยการควบคุมการทำงานผ่านสัญญาณพัลส์ในการควบคุมการทำงานของสเต็ปมอเตอร์

2.2.3 การสร้างแรงบิดของสเต็ปมอเตอร์สามารถสร้างแรงบิดสูงที่มีขนาดกะทัดรัดและคุณสมบัติในการทำงานที่สามารถสร้างอัตราเร่งของการหมุนได้ตามสัญญาณพัลส์ที่ป้อนให้กับสเต็ปมอเตอร์ ส่วนการตอบสนองเหมาะสำหรับการใช้งานแรงบิดของสเต็ปมอเตอร์จะสามารถเร่งความเร็วรอบได้ตั้งแต่จุดเริ่มต้นของคำสั่งการทำงานและสามารถหยุดการทำงานได้ สามารถออกแบบการทำงานที่สร้างแรงบิดมากขึ้นที่ความเร็วต่ำ โดยใช้ระบบการทำงานแบบโอเรียนเต็ปมอเตอร์ในการควบคุมการทำงานขณะที่ต้องการแรงบิดที่สูงขึ้น

2.3 ระบบนิวเมติกส์

ระบบนิวเมติกส์ คือ ระบบที่ใช้การอัดอากาศเพื่อส่งไปตามท่อที่ประกอบร่วมกับเครื่องจักร ทำให้เกิดพลังงานกลในการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งหลักการทำงานของระบบนิวเมติกส์สามารถนำประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายมาก ตั้งแต่ระบบกระบอกสูบลม ระบบมอเตอร์ไปจนถึงสามารถทำงานร่วมกับเครื่องจักรขนาดใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีระบบการทำงานอัตโนมัติ ทำให้สามารถประยุกต์ใช้งานร่วมกับเครื่องจักรที่มีความทันสมัยในสมัยนี้ได้เป็นอย่างดี ซึ่งมีส่วนประกอบ ดังนี้

2.3.1 เครื่องอัดลม (Air Compressor) มีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานเครื่องยนต์ให้เป็นพลังงานลมอัดที่มีความดันสูง

2.3.2 เครื่องระบายความร้อนลมอัด (Heat Exchanger) มีหน้าที่ระบายความร้อนของลมอัดที่ได้จากหลักการทำงานของระบบนิวเมติกส์ก่อนนำไปใช้งาน

2.3.3 เครื่องทำลมแห้ง (Air Dryer) มีหน้าที่ป้องกันการเกิดความชื้นหรือหยดน้ำกลั่นในระบบ เพื่อไม่ให้อุปกรณ์ต่าง ๆ เกิดความเสียหาย

2.3.4 อุปกรณ์กรองลม (Air Filter) หรือ ตัวกรองอากาศ มีหน้าที่กรองลมให้สะอาดและดักความชื้นที่

ได้จากหลักการทำงานของระบบนิวเมติกส์ก่อนนำไปใช้งาน

2.3.5 ชุดควบคุมและปรับคุณภาพลมอัด (Service Unit) ประกอบไปด้วยวาล์วลดความดัน อุปกรณ์สำหรับจ่ายน้ำมันหล่อลื่น และอุปกรณ์สำหรับกรองลม มีหน้าที่กรองความชื้น ปรับความดันลมอัด และผสมน้ำมันหล่อลื่นเพื่อให้อุปกรณ์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

2.3.6 อุปกรณ์ควบคุมทิศทางลม ประกอบไปด้วยวาล์วควบคุมทิศทางลม มีหน้าที่เปลี่ยนทิศทางลมผ่านการควบคุมลูกสูบเคลื่อนที่เข้าหรือเคลื่อนที่ออก และวาล์วบังคับความเร็ว มีหน้าที่ควบคุมปริมาณลมอัดเพื่อปรับระดับความเร็วของลูกสูบ

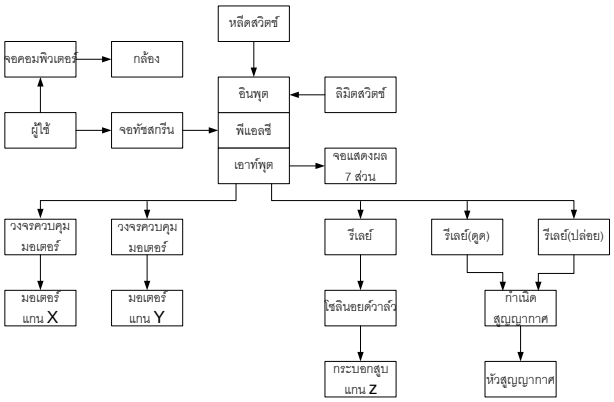
2.3.7 อุปกรณ์เก็บเสียง (Air Silencer) มีหน้าที่กรองเสียงลมไม่ให้เกิดเสียงดังในขณะที่ระบายทิ้งออกสู่บรรยากาศ

2.3.8 กระบอกสูบ (Air Cylinder) มีหน้าที่เปลี่ยนจากพลังงานลมให้เป็นพลังงานกลให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้

3. การออกแบบและสร้างระบบควบคุมตำแหน่งชิ้นงานเคลื่อนที่ได้ 3 แกนแบบอัตโนมัติ

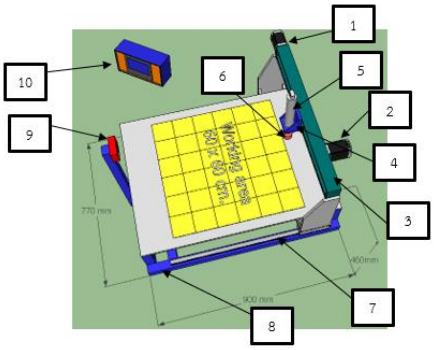
3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน

จากบล็อกไดอะแกรมการทำงานรูปที่ 1 คำสั่งควบคุมของผู้ใช้งานจะถูกส่งมาโดยผ่านการกดสัมผัสที่จอ HMI Touch screen แล้วส่งต่อไปยัง PLC ที่อยู่ในตู้ควบคุม เพื่อให้ PLC รับคำสั่งแล้วมาประมวลผลและส่งคำสั่งไปยัง Driver เพื่อไปควบคุมการทำงานของมอเตอร์ แกน X และ แกน Y ซึ่งใช้เป็นตัวทำให้ Air cylinder ในแกน Z เคลื่อนที่ลงมาหาชิ้นงาน จากนั้น Air vacuum จะทำหน้าที่ดูดชิ้นงานติดขึ้นมาแล้วนำไปปล่อยในจุดที่โปรแกรมกำหนดไว้

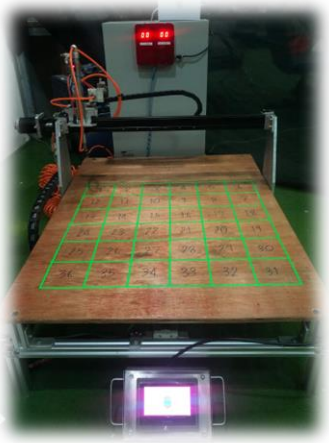


รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานระบบควบคุมตำแหน่งชิ้นงานเคลื่อนที่ได้ 3 แกน

3.2 โครงสร้างระบบควบคุมตำแหน่งชิ้นงานเคลื่อนที่ได้ 3 แกน



รูปที่ 2 โครงสร้างระบบควบคุมตำแหน่งชิ้นงานเคลื่อนที่ได้ 3 แกน



รูปที่ 3 ระบบควบคุมตำแหน่งชิ้นงานเคลื่อนที่ได้ 3 แกน ที่ควบคุมด้วย PLC ที่ถ่ายจากภาพจริง

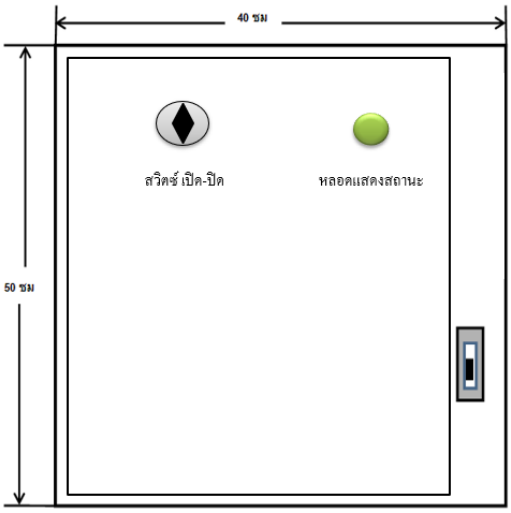
3.2.1 ระบบควบคุมตำแหน่งชิ้นงานด้วย PLC ประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆ ดังนี้

1) สเต็ปมอเตอร์แกน Y
2) สเต็ปมอเตอร์แกน X
3) คานรับน้ำหนักแขนจับ
4) ตำแหน่งยึดติดของแขนจับ
5) กระบอกสูบ
6) หัวจับสุญญากาศ
7) ลิเนียร์ไกด์
8) ตัวโครงสร้างของชิ้นงาน
9) กล้อง
10) กล่องจอ HMI

3.2.2 ส่วนประกอบหลักของแต่ละส่วน

1) ชุดคานเคลื่อนที่ในแนวแกน X มีขนาดความยาวของชิ้นงาน 70 เซนติเมตร
2) ชุดคานเคลื่อนที่ในแนวแกน Y มีขนาดความยาวของชิ้นงาน 70 เซนติเมตร
3) โครงสร้างคานรับน้ำหนักแขนจับความยาวอยู่ที่ 70 เซนติเมตร x ความสูงอยู่ที่ 46 เซนติเมตร
4) โครงสร้างตำแหน่งยึดติดของแขนจับนาด 60 x 70 x 90 มิลลิเมตร
5) กระบอกสูบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 มิลลิเมตร
6) หัวจับสุญญากาศ
7) ลิเนียร์ไกด์ขนาดยาว 70 เซนติเมตร
8) ตัวโครงสร้างของชิ้นงาน 770 x 900 x 46 เซนติเมตร
9) กล้อง
10) จอ HMI 4.3 นิ้ว

3.3 การออกแบบโครงสร้างของตู้ควบคุมการทำงาน

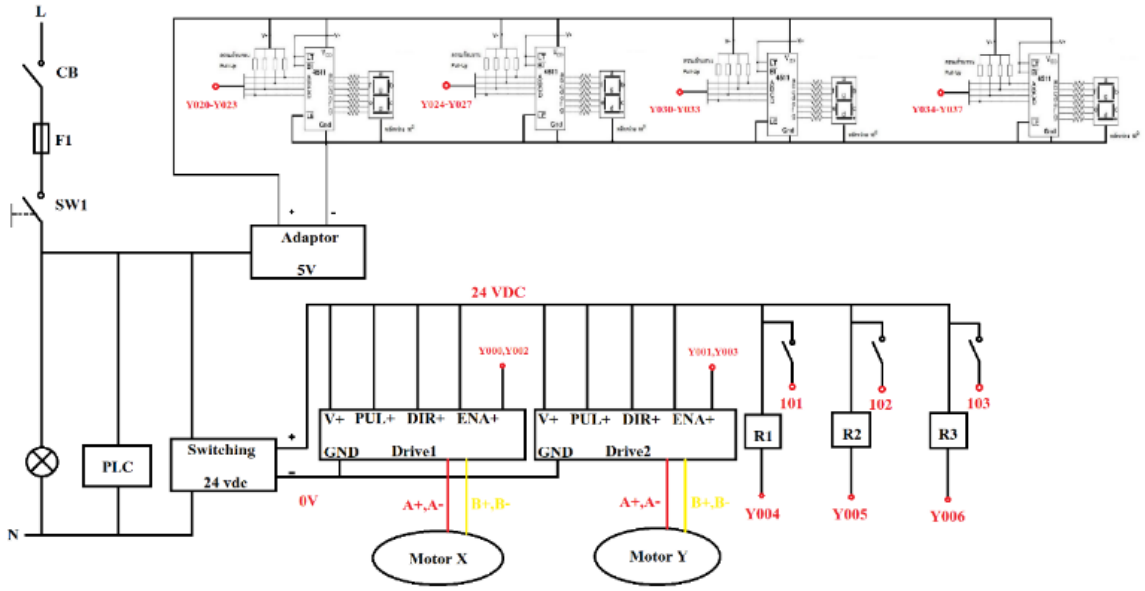


รูปที่ 4 โครงสร้างตู้ควบคุมการทำงาน

รายละเอียดโครงสร้างของตู้ควบคุมการทำงาน

1) ชุดสวิตช์ เปิด - ปิดไฟฟ้าขนาด 220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์
2) ชุดช่องลงโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่อง PLC
3) ชุดช่องลงโปรแกรมควบคุมการทำงานของชุดขับสเต็ปมอเตอร์

3.4 การออกแบบวงจรภายในตู้ควบคุมการทำงาน



รูปที่ 5 วงจรตู้ควบควบคุมการทำงาน

3.5 การคำนวณหาค่าพัลส์

จำนวนรอบที่มอเตอร์หมุนเป็นสัดส่วนกับจำนวนของสัญญาณคลื่นเป็นจำนวนพัลส์ให้กับการหมุนของมอเตอร์ ความสัมพันธ์ของการหมุนของมอเตอร์ (มุมการหมุนของเพลาส่งออกที่มอเตอร์) และจำนวนพัลส์จะสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

เส้นผ่าศูนย์กลางของบอลสกรูแกน X และแกน Y

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของบอลสกรู (1.8 เซนติเมตร)

r = รัศมีของเส้นผ่าศูนย์กลางของเฟืองมอเตอร์ (0.9 เซนติเมตร)

มอเตอร์หมุน 1 รอบ จะได้

ระยะ = $2\pi r$

= 2π x 0.9

= 5.8875 เซนติเมตร

ต้องการความเร็วในการเคลื่อนที่ของชุดจับชิ้นงาน 10 เซนติเมตรต่อ 1 วินาที

คิดเป็นความเร็วในการหมุนของมอเตอร์

= 10 / 5.88754

= 1.6985 รอบต่อวินาที

มอเตอร์มีขนาดสเต็ป = 1.8 องศา

ซึ่งมอเตอร์หมุน 1 รอบ = (360 องศา) / (1.8 องศา)

= 200 สเต็ป

ดังนั้น มอเตอร์หมุน 1 รอบ= 200 สเต็ป x 32 องศา

= 6400 พัลส์

จาก 1 รอบการหมุนจะได้ระยะ = 5.8875 เซนติเมตร

หากคิดเป็นจำนวนพัลส์ต่อระยะทางจะได้

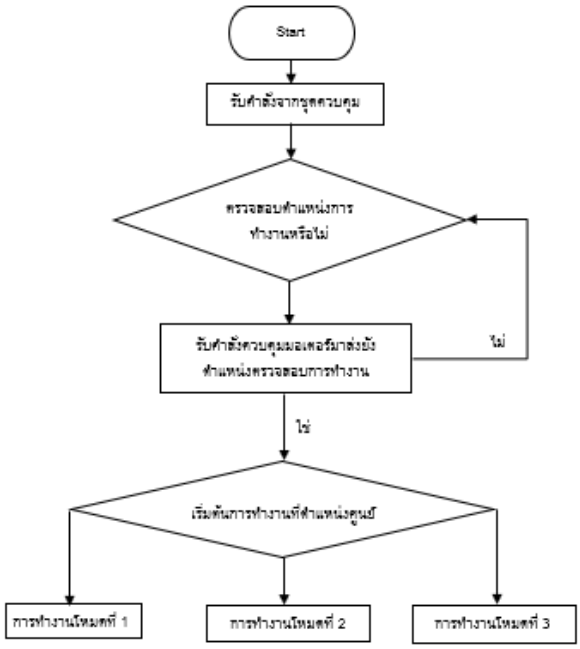
= (6400พัลส์) / (5.8875เซนติเมตร)

= 1087 พัลส์ต่อเซนติเมตร

ซึ่งสามารถใช้จำนวนพัลส์ต่อระยะทาง (1087 พัลส์ต่อเซนติเมตรต่อ1รอบ) ในการเขียนโปรแกรม PLC เพื่อระบุระยะที่ต้องการให้กับชุดจับชิ้นงาน

เคลื่อนที่ได้ตามตำแหน่งที่โปรแกรมไว้ในชุดคำสั่งการทำงาน

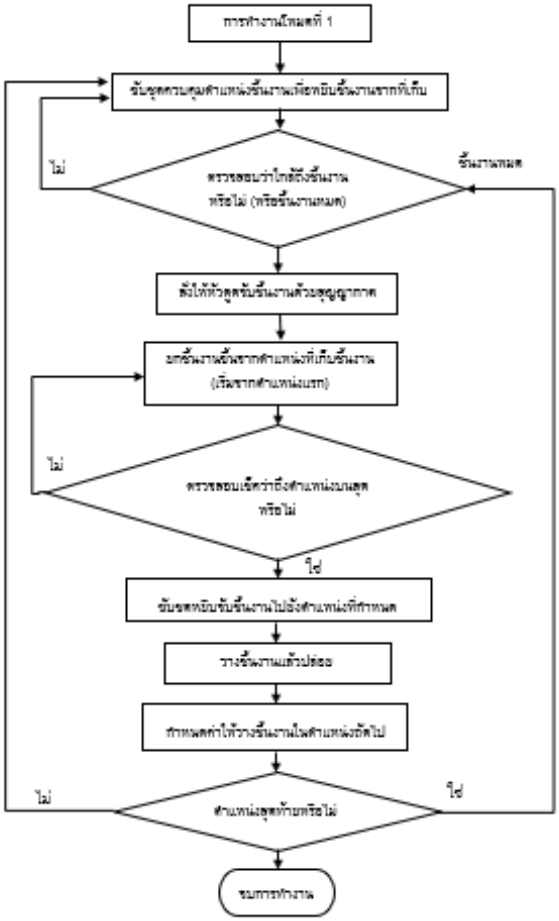
3.6 แผนภาพแสดงโหมดการทำงานของระบบควบคุมตำแหน่งชิ้นงาน



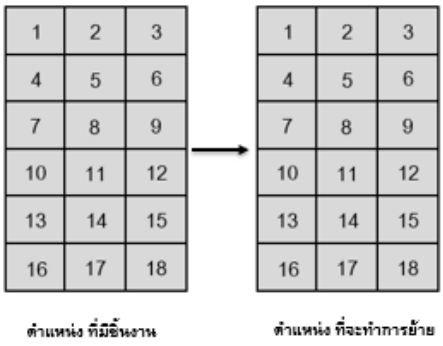
รูปที่ 6 โหมดการทำงานของระบบควบคุมการหยิบจับชิ้นงาน

หลักการทำงานของชุดคำสั่ง เริ่มต้นที่จุด Start แล้วส่งคำสั่งการทำงานมาอยู่ตำแหน่งศูนย์แต่ถ้าไม่เป็นตามเงื่อนไขของตำแหน่งศูนย์จะรับคำสั่งแล้วส่งไปยังคำสั่ง Step motor แล้วส่งคำสั่งการทำงานไปยังตำแหน่งยัง Start แล้วจึงเริ่มต้นกาทำงานใหม่อีกครั้ง อธิบายถึงหลักการทำงานของตำแหน่งเช็คโหมดการทำงานของชุดคำสั่งที่ส่งมาจากชุดตำแหน่งศูนย์แล้วจึงส่งข้อมูลเข้าสู่โหมดที่ 1 โหมดที่ 2 และโหมดที่ 3 แล้วจึงทำงานตามเงื่อนไขของแต่ละโหมดที่กำหนดไว้ในชุดคำสั่งการทำงาน

3.6.1 แผนภาพแสดงการทำงานระบบควบคุมในโหมดที่ 1



รูปที่ 7 การทำงานระบบควบคุมในโหมดที่ 1

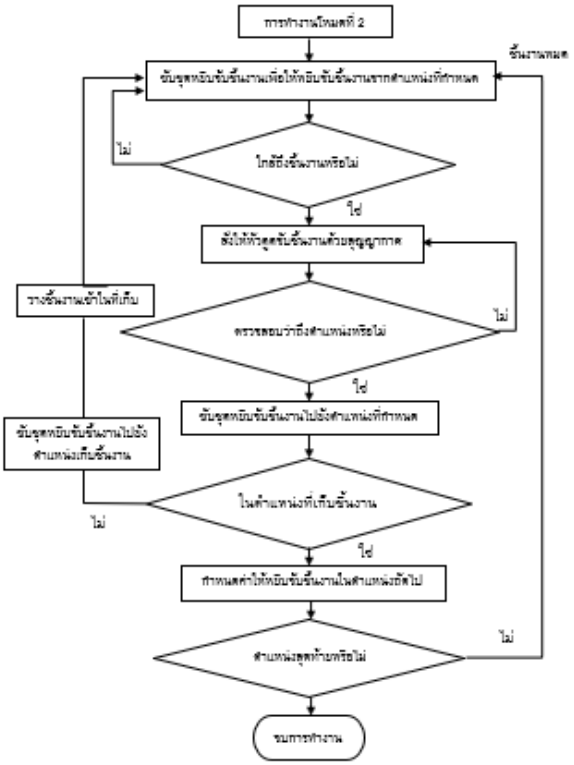


รูปที่ 8 การทำงานของชุดคำสั่งในโหมดที่ 1

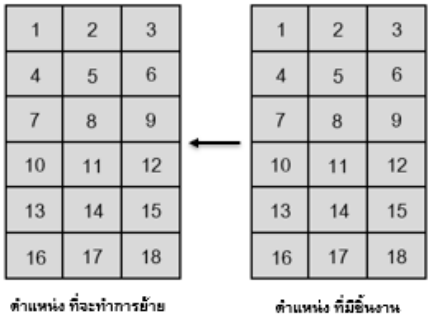
การทำงานเมื่อกดสวิตช์โหมดการทำงานที่ 1 ในชุดคำสั่งในโหมดการทำงานที่1 จะส่งคำสั่งการ

ทำงานการวางเรียงชิ้นงานตำแหน่งชิ้นงานตั้งแต่ 1-18 ตามลำดับจับชิ้นงาน โดยการใช้คำสั่งการทำงานไปยังชุดขับสเต็ปมอเตอร์เพื่อหยิบจับชิ้นงานจากตำแหน่งที่วางไว้คือ 18 ช่องทางด้านซ้าย โดยสั่งไปยังชุดขับสเต็ปมอเตอร์ให้ทำงานตามโปรแกรมที่กำหนดไว้ก็จะสั่งให้หยิบจับชิ้นงานไปยังตำแหน่งที่กำหนดแล้ววางชิ้นงาน กำหนดค่าให้วางชิ้นงานในตำแหน่ง ถ้าถึงตำแหน่งสุดท้ายให้จบการทำงานของระบบ แต่ถ้าทำงานไม่ถึงตำแหน่งสุดท้ายสั่งให้ขับชุดหยิบจับชิ้นงานเคลื่อนที่ไปยังที่เก็บชิ้นงานที่โหมดการทำงานที่ 1 แล้วจึงจบการทำงานของโหมดการทำงานที่ 1 ของชุดคำสั่งในโหมดที่ 1

3.6.2 แผนภาพแสดงการทำงานระบบควบคุมในโหมดที่ 2



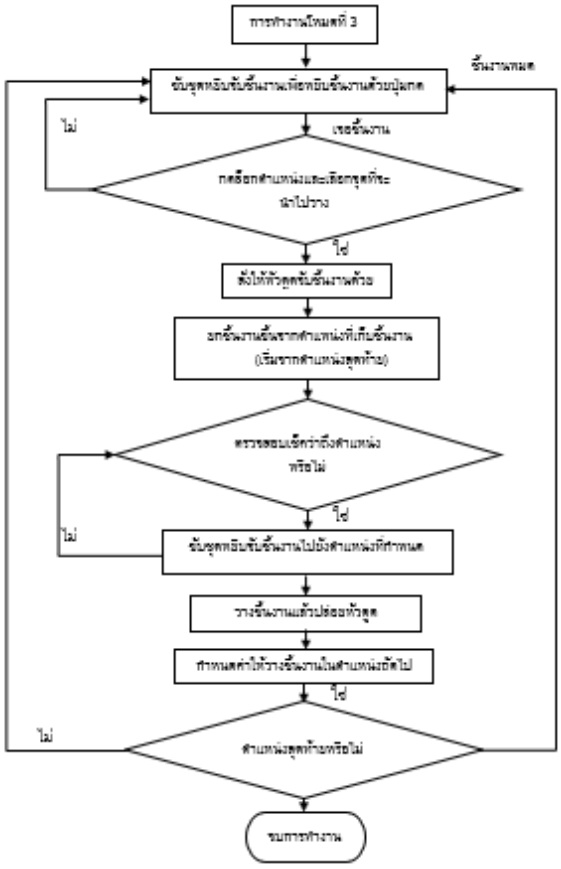
รูปที่ 9 การทำงานระบบควบคุมในโหมดที่ 1



รูปที่ 10 การทำงานของชุดคำสั่งในโหมดที่ 2

การทำงานเมื่อกดสวิตช์ในโหมดที่ 2 ในชุดคำสั่งในโหมดการทำงานที่ 2 จะส่งคำสั่งการทำงานการเก็บชิ้นงานเรียงตำแหน่งชิ้นงานตั้งแต่ 1-18 ตามลำดับ จับชิ้นงานโดยการใช้คำสั่งการทำงานไปยังชุดขับสเต็ปมอเตอร์เพื่อหยิบจับชิ้นงานจากขวาไปซ้าย แล้วตรวจสอบว่าใกล้ถึงชิ้นงานหรือไม่ (หรือชิ้นงานหมด) ถ้าเจอชิ้นงานสั่งให้ดูดชิ้นงานแล้วเคลื่อนที่ไปยกชิ้นงานขึ้นจากตำแหน่งที่เก็บชิ้นงาน (เริ่มจากตำแหน่งแรก) แล้วตรวจสอบเช็คว่าถึงตำแหน่งบนสุดหรือไม่ ถ้าถึงตำแหน่งสุดท้ายจะส่งคำสั่งไปยังชุดขับสเต็ปมอเตอร์ก็จะสั่งให้หยิบจับชิ้นงานไปยังตำแหน่งที่กำหนดแล้ววางชิ้นงานแล้วปล่อย กำหนดค่าให้วางชิ้นงานในตำแหน่ง ถ้าถึงตำแหน่งสุดท้ายให้จบการทำงานของระบบ แต่ถ้าทำงานไม่ถึงตำแหน่งสุดท้ายก็จะสั่งให้ขับชุดหยิบจับชิ้นงานเคลื่อนที่ไปยังที่เก็บชิ้นงานที่โหมดการทำงานที่ 2 แล้วจึงจบการทำงานของโหมดการทำงานที่ 2 ของชุดคำสั่งในโหมดที่ 2

3.6.3 แผนภาพแสดงการทำงานระบบควบคุมในโหมดที่ 3



รูปที่ 11 การทำงานระบบควบคุมในโหมดที่ 3

1	?	?	?	?	?
?	?	?	?	?	?
?	?	?	?	?	?
?	?	?	?	?	?
?	?	?	?	?	?
?	?	?	?	?	?

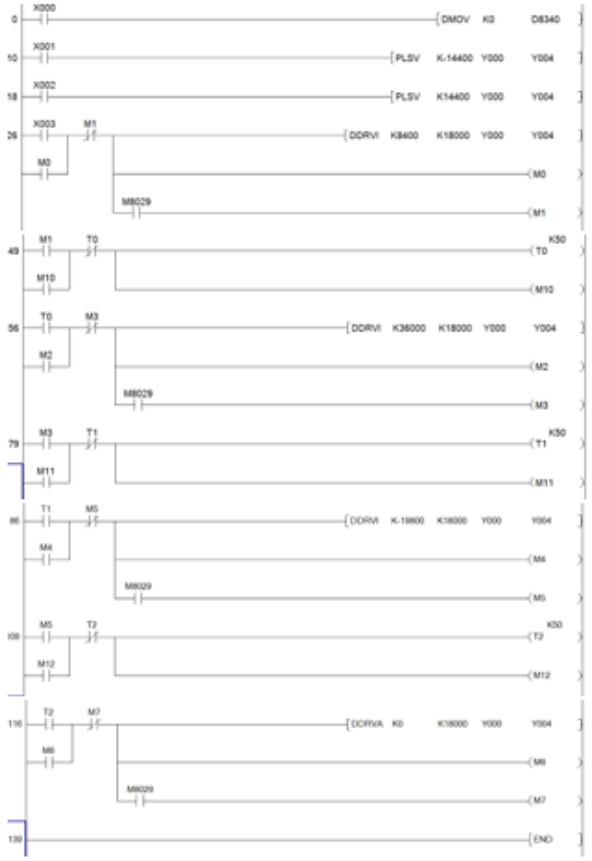
รูปที่ 12 การทำงานของชุดคำสั่งในโหมดที่ 3

การทำงานเมื่อกดสวิตช์ในโหมดที่ 3 ในชุดคำสั่งในโหมดการทำงานที่ 3 จะเป็นการล็อคตำแหน่งการจับและวางตามตำแหน่งชิ้นงานที่ต้องการจะนำไปวางโดยการโดยการควบคุมด้วยมือมายังชิ้นงานในช่องที่ต้องการและกดล๊อคตำแหน่ง ในการที่จะเคลื่อนย้ายไปวางนั้นจะต้องไปล๊อคตำแหน่งที่จะวางโดยการควบคุมด้วยมือ จากนั้นกดเริ่มการทำงานชุดขับสเต็ปมอเตอร์จะทำงานเพื่อหยิบจับชิ้นงานจากที่ล๊อคตำแหน่ง สั่งให้จับชิ้นงานแล้วเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการวางชิ้นงาน สุดท้ายให้จบการทำงานชุดคำสั่งในโหมดที่ 3

3.7 การควบคุมสเต็ปมอเตอร์ด้วย PLC มีการทำงานดังนี้

1) ในขณะที่แทนสกรูอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์เมื่อกดปุ่ม X3 สเต็ปมอเตอร์จะเริ่มทำงานตามขั้นตอน
2) มอเตอร์จะหมุนเดินหน้าขับแท่นสกรูให้เคลื่อนที่ไปทางขวาเป็นระยะทาง 1 เซนติเมตร ด้วยความเร็ว รอบ 2 รอบ/วินาที
3) จากนั้นมอเตอร์จะหยุดนิ่งประมาณ 5 วินาที
4) มอเตอร์จะหมุนเดินหน้าด้วยความเร็ว 1 รอบต่อวินาทีเป็นจานวน 10 รอบ
5) จากนั้นมอเตอร์จะหยุดนิ่งประมาณ 5 วินาที
6) มอเตอร์จะหมุนถอยหลังเป็นจำนวน 5.5 รอบ ด้วยความเร็ว 1 รอบ/วินาที
7) จากนั้นมอเตอร์จะหยุดนิ่งประมาณ 5 วินาที
8) มอเตอร์จะหมุนขับแท่นสกรูวิ่งกลับไปที่ตำแหน่งศูนย์ด้วยความเร็ว 4 รอบ/วินาที
9) สิ้นสุดการทำงาน

*** ก่อนเริ่ม ให้ทำการ JOG มอเตอร์ด้วย X1 หรือ X2 เพื่อเลื่อนแท่นสกรูมาที่ตำแหน่งด้านซ้ายใกล้กับมอเตอร์ แต่ยังไม่ชนกับลิมิตสวิตช์ จากนั้นทำการกด X0 เพื่อตั้งค่าเป็นตำแหน่งศูนย์ (Zero) (กดครั้งแรกและครั้งเดียวเท่านั้น) ดังแสดงในรูปที่ 13 ดังนี้



รูปที่ 13 การควบคุมสเต็ปมอเตอร์ด้วย PLC

3.8 การควบคุมจอแสดงผลแอลอีดี 7 ส่วนด้วย PLC มีการทำงานดังนี้

1) เมื่อ PLC ทำงาน M8000 จะ ON ทันทีและตัวเลข 5273 จะถูกย้ายเข้าไปเก็บในดาต้ารีจิสเตอร์ D100

2) คำสั่ง BCD ในบรรทัดที่สองจะเปลี่ยนตัวเลข 5273 ใน D100 ให้กลายเป็นตัวเลข BCD 4 บิตจำนวน 4 ชุด โดยข้อมูล BCD นี้จะถูกจัดเก็บเข้าในรีเลย์ช่วย M0 – M15 (ซึ่งเขียนแทนด้วยK4M0) M0 – M3 เก็บตัวเลข 3 ในรูป BCD

M4 – M7 เก็บตัวเลข 7 ในรูป BCD

M8 – M11 เก็บตัวเลข 2 ในรูป BCD

M12 – M15 เก็บตัวเลข 5 ในรูป BCD

3) คำสั่ง MOV ในบรรทัดที่สามถึงบรรทัดที่หกจะย้ายข้อมูล BCD ใน M0 – M15 ไปเก็บไว้ในดาต้ารีจิสเตอร์ D101 – D104

ข้อมูลใน M0 – M3 ย้ายไปเก็บใน D101

ข้อมูลใน M4 – M7 ย้ายไปเก็บใน D102

ข้อมูลใน M8 – M11 ย้ายไปเก็บใน D103

ข้อมูลใน M12 – M15 ย้ายไปเก็บใน D104

4) คำสั่ง WXOR ในบรรทัดที่เจ็ดถึงบรรทัดที่สิบจะเปลี่ยนบิตของข้อมูลใน D101 - D104 ให้กลายเป็นตรงกันข้าม (0 กลายเป็น 1 และ 1 กลายเป็น 0) เพื่อให้ PLC ขับพอร์ตเอาต์พุตแบบ Active high จากนั้นจึงส่งข้อมูลออกทางพอร์ต Y0 - Y3, Y4 - Y7, Y10 - Y13, Y14 - Y17

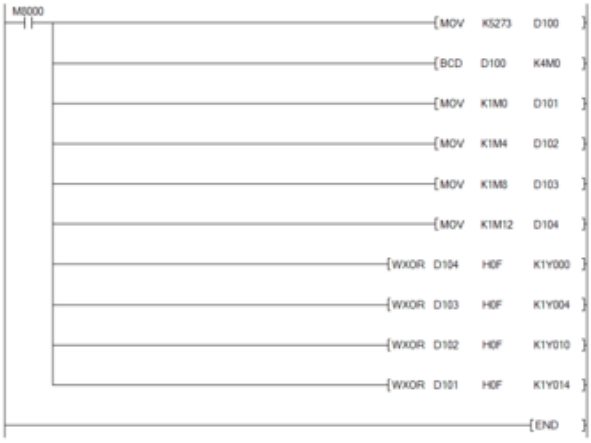
K1Y000 มีค่าเท่ากับ Y0 – Y3

K1Y004 มีค่าเท่ากับ Y4 – Y7

K1Y010 มีค่าเท่ากับ Y10 – Y13

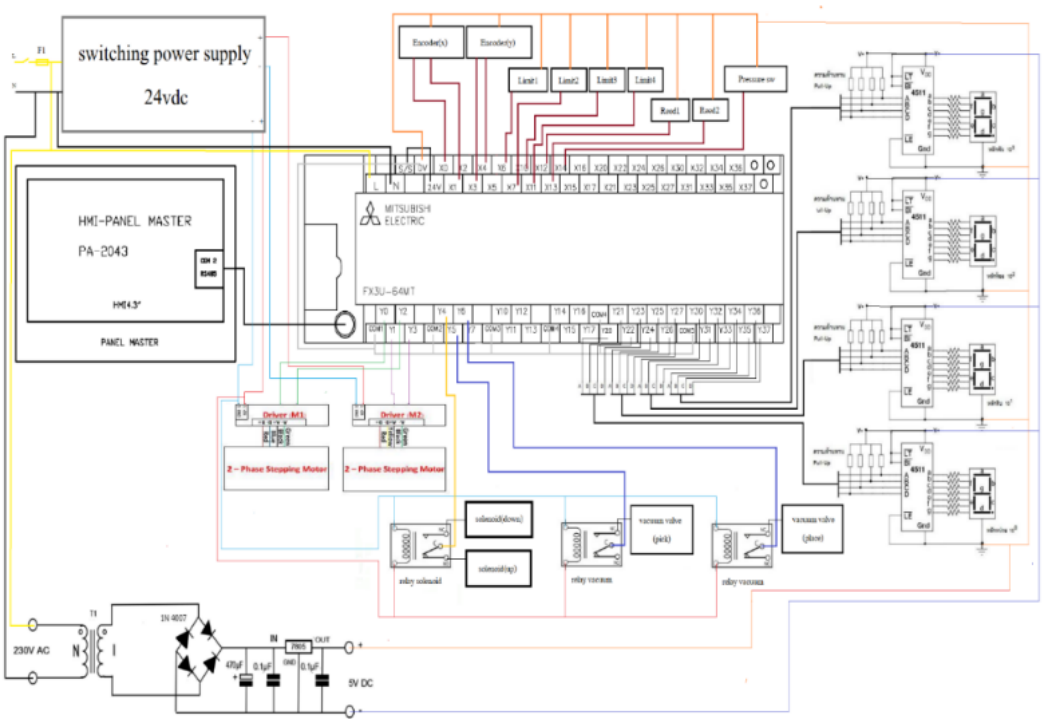
K1Y014 มีค่าเท่ากับ Y14 – Y17

ดังแสดงในรูปที่ 14 ดังนี้



รูปที่ 14 การควบคุมจอแสดงผลแอลอีดี 7 ส่วนด้วย PLC

3.9 วงจรรวมของระบบไดร์ฟที่ใช้ควบคุมการทำงาน



รูปที่ 15 วงจรรวมของระบบไดร์ฟที่ใช้ควบคุมการทำงาน

วงจรรวมทั้งหมดประกอบไปด้วยส่วนหลักๆ อยู่ 4 ส่วน ดังนี้

1) วงจร PLC

2) วงจรแปลงแรงดัน 230 Vac เป็น 5 Vdc

3) วงจรจอแสดงผลแอลอีดี 7 ส่วน

4) วงจรควบคุมระบบนิวเมติกส์

4. ผลการทดสอบ

4.1 ทดสอบการทำงานชุดวงจรขับสเต็ปมอเตอร์

การทดสอบความเร็วในการขับสเต็ปมอเตอร์ตามตารางที่ 1 ในแกน X จะสามารถจ่ายสัญญาณพัลส์ได้สูงสุดที่ 2500 พัลส์ ต่ำสุดที่ 2000 พัลส์ ถ้าสูงหรือต่ำกว่านี้สเต็ปมอเตอร์จะไม่ทำงานได้เต็มที่ ทำให้ตำแหน่งที่ล็อกไว้ผิดเพี้ยน ส่วนในแกน Y สามารถจ่ายสัญญาณพัลส์ได้สูงสุดที่ 5000 พัลส์ ต่ำสุดที่ 4000 พัลส์ ถ้าหากปรับค่าให้สูงหรือต่ำกว่านี้จะเป็นเหมือนแกน X

ตารางที่ 1 การทดสอบความเร็วในการขับสเต็ปมอเตอร์

การทดสอบความเร็วในการขับสเต็ปมอเตอร์ (พัลส์)											
ครั้งที่	แกน X				แกน Y						
	1500	2000	2500	3000	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
1	x	/	/	x	x	x	x	x	/	/	/
2	x	/	/	x	X	X	X	x	/	/	/
3	x	/	/	x	x	X	X	X	/	/	/
4	x	/	/	x	X	X	X	X	/	/	/
5	x	/	/	x	x	X	x	X	/	/	/

4.2 ทดสอบการทำงานชุดหยิบจับชิ้นงานแกน Z

ตารางที่ 2 การทดสอบชุดหยิบจับชิ้นงานแกน Z

การทดสอบชุดหยิบจับชิ้นงานแกน z					
ครั้งที่	ความดันลม (บาร์)				
	2	3	4	5	6
1	x	x	/	/	/
2	x	x	/	/	/
3	x	x	/	/	/
4	x	x	/	/	/
5	x	x	x	/	/

การทดสอบชุดหยิบจับชิ้นงานตามตารางที่ 2 สามารถใช้ความดันลมได้ต่ำสุดที่ 4 บาร์ ถ้าความดันลมต่ำกว่านี้จะไม่สามารถจับชิ้นงานได้ ถ้าความดันลมสูงกว่า 7 บาร์จะทำให้กระบอกสูบทำงานเร็วขึ้นและจับชิ้นงานแรงขึ้น ดังนั้น จึงเลือกใช้ความดันลมที่ 6 บาร์ตามมาตรฐานที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

การทดสอบชุดหยิบจับชิ้นงานตามตารางที่ 3 สามารถจับชิ้นงานที่มีน้ำหนักสูงสุดที่ 600 กรัม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับความดันลมในการจับชิ้นงาน ถ้าลมต่ำกว่า 5 บาร์ แล้วจับที่ชิ้นงานที่มีน้ำหนักมากอาจจะทำให้ชิ้นงานหลุดได้

ตารางที่ 3 การทดสอบหยิบจับชิ้นงานที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น

การทดสอบหยิบจับชิ้นงานที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น						
ครั้งที่	100 กรัม	200 กรัม	400 กรัม	500 กรัม	600 กรัม	800 กรัม
1	/	/	/	/	/	x
2	/	/	/	/	/	x
3	/	/	/	/	/	/
4	/	/	/	/	/	/
5	/	/	/	/	/	x

4.3 ทดสอบการทำงานโปรแกรมชุดควบคุมในโหมดที่ 1

การทดสอบการทำงานในโหมดที่ 1 โดยใช้แรงดันลมขนาด 6 บาร์ ใช้ความเร็วในแกน X = 2000 พัลส์ และแกน Y = 5000 พัลส์ ซึ่งเป็นความถี่มอเตอร์ที่แม่นยำที่สุด ใช้เวลาในการทำงานตั้งแต่เริ่มกด Start จนสิ้นสุดขั้นตอนสุดท้าย เวลา 5.35 นาที ความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานไม่เกิน 0.5 เซนติเมตร

ตารางที่ 4 การทดสอบในโหมดที่ 1

ครั้งที่	ความคลาดเคลื่อนของชิ้นงาน (cm)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 16 ตำแหน่งของชิ้นงานในโหมดที่ 1 เมื่อทำงานเสร็จสิ้น

4.4 ทดสอบการทำงานโปรแกรมชุดควบคุมในโหมดที่ 2

การทดสอบการทำงานในโหมดที่ 2 โดยใช้แรงดันลมขนาด 6 บาร์ ใช้ความเร็วในแกน X = 2000 พัลส์ และแกน Y = 5000 พัลส์ ซึ่งเป็นความถี่มอเตอร์ที่แม่นยำที่สุด ใช้เวลาในการทำงานตั้งแต่เริ่มกด Start จนสิ้นสุดขั้นตอนสุดท้าย เวลา 5.50 นาที ความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานไม่เกิน 0.3 เซนติเมตร

ตารางที่ 5 การทดสอบในโหมดที่ 2

ครั้งที่	ความคลาดเคลื่อนของชิ้นงาน (cm)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 17 ตำแหน่งของชิ้นงานในโหมดที่ 2 เมื่อทำงานเสร็จสิ้น

4.5 ทดสอบการทำงานโปรแกรมชุดควบคุมในโหมดที่ 3

การทดสอบการทำงานในโหมดที่ 3 โดยใช้แรงดันลมขนาด 6 บาร์ ใช้ความเร็วในแกน X = 2000 พัลส์ และแกน Y = 5000 พัลส์ ซึ่งเป็นความถี่มอเตอร์ที่แม่นยำที่สุด ใช้เวลาในการทำงานตั้งแต่เริ่มกด Start จนสิ้นสุดขั้นตอนสุดท้าย 6.08 นาที ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0

ตารางที่ 6 ข้อมูลตำแหน่งที่ต้องจะให้จับไปวาง

1 ไป 31	10 ไป 15
2 ไป 33	11 ไป 13
3 ไป 35	12 ไป 11
4 ไป 29	13 ไป 17
5 ไป 27	14 ไป 9
6 ไป 25	15 ไป 7
7 ไป 19	16 ไป 5
8 ไป 21	17 ไป 3
9 ไป 23	18 ไป 1

ตารางที่ 7 การทดสอบในโหมดที่ 3

ครั้งที่	ความคลาดเคลื่อนของชิ้นงาน (cm)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 18 ตำแหน่งของชิ้นงานในโหมดที่ 3 เมื่อทำงานเสร็จสิ้น

5. บทสรุป

จากการทดสอบระบบควบคุมตำแหน่งชิ้นงานเคลื่อนที่ได้ 3 แกนแบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ โดยทำเป็นชุดสาธิตการทำงาน จะพบว่า การทดสอบการทำงานในโหมดที่ 1 โดยใช้แรงดันลมขนาด 6 บาร์ ใช้ความเร็วในแกน X = 2000 พัลส์ และแกน Y = 5000 พัลส์ ซึ่งเป็นความถี่มอเตอร์ที่แม่นยำที่สุด ใช้เวลาในการทำงานตั้งแต่เริ่มกด Start จนสิ้นสุดขั้นตอนสุดท้าย เวลา 5.35 นาที ความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานไม่เกิน 0.5 เซนติเมตร การทดสอบการทำงานในโหมดที่ 2 โดยใช้แรงดันลมขนาด 6 บาร์ ใช้ความเร็วในแกน X = 2000 พัลส์ และแกน Y = 5000 พัลส์ ซึ่งเป็นความถี่มอเตอร์ที่แม่นยำที่สุด ใช้เวลาในการทำงานตั้งแต่เริ่มกด Start จนสิ้นสุดขั้นตอนสุดท้าย เวลา 5.50 นาที ความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานไม่เกิน 0.3 เซนติเมตร การทดสอบการทำงานในโหมดที่ 3 โดยใช้แรงดันลมขนาด 6 บาร์ ใช้ความเร็วในแกน X = 2000 พัลส์ และแกน Y = 5000 พัลส์ ซึ่งเป็นความถี่มอเตอร์ที่แม่นยำที่สุด ใช้เวลาในการทำงานตั้งแต่เริ่มกด Start จนสิ้นสุดขั้นตอนสุดท้าย 6.08 นาที ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0 และเมื่อทดสอบการทำงานชุดนิวเมติกส์จับและปล่อยชิ้นงานด้วยการสร้างระบบสุญญากาศแกน Z ใช้ความดันลมได้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม คือ 6 บาร์ สามารถจับชิ้นงานได้ถึง 600 กรัม ส่วนการควบคุมผ่านหน้าจอ HMI Touch screen ก็สามารถแสดงผลและใช้งานได้ตามโปรแกรมที่กำหนดไว้

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ควรใช้ PLC รุ่นที่มีกระแสไฟฟ้าเลี้ยงระบบการทำงานต่างๆ ภายในเครื่อง PLC ได้ และสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้ตามต้องการที่ขา Input และที่ขา output

6.2 ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเกิดจากการวางตำแหน่งแรกไม่ตรงจุดศูนย์กลาง จึงทำให้ตอนวางมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย

เอกสารอ้างอิง

[1] John R. Hackworth and Frederick D. Hackworth, Jr. Programmable Logic Controllers: Programming Methods and Applications. textbook related to programmable controllers.

[2] พิพัฒน์ ดุรงค์ดำรงชัย และชัยพร อัดโดดดร, แบบจำลองระบบไอโอทีสำหรับฟาร์มไก่อัตโนมัติที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์, Journal of Energy and Environment Technology, ISSN 2392-5701, JEET 2020; 7(2): 73-86.

[3] Kanchan Pandita, Yamini Sharma, Vijaykumar Kamble. STEPPER MOTOR DRIVEN THREE AXIS ROBOT USING PLC. International Journal of Engineering Research and General Science, vol. 4, issue 2, March- April, 2016. ISSN 2091-2730.

[4] H. M. N. Fiyad, H. M. B. Metwally, M. A. El-Hameed. Application of Micro-controllers for Stepper Motors Position and Speed Control: A review. International Journal of Scientific & Engineering Research vol. 10, issue 8, August-2019. ISSN 2229-5518.

[5] Amer Ali Ammar Dr. Mohamed. K. Julboub Dr.Ahmed. A. Elmghairbi. Step Motor Control by Using (PLC) Programmable Logic Controllers. University Bulletin – issue no.16- vol. (2) April- 2014.

[6] Hussein Sarhan. PLC-controlled stepper motor drive for NC positioning system. International Journal of Engineering & Technology, 3 (3) (2014) 298-307.