

ST-006

การออกแบบและพัฒนาชุดทดลองตัวควบคุมพีไอดีสำหรับควบคุมตำแหน่งและการหมุนของ
มอเตอร์ที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

Design and Development of Experimental PID Controller for Motor Position
and Rotation Control using Microcontroller

ธนัช เอกเกื้อกุล^{1,*} วิชาญ ศรีสุวรรณ² และกฤษกร สมบัติมาก³

Tanut Aekkuerkul^{1,*} Wichan Srisuwan² and Kritsakorn Sombatmak³

^{1,2}สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ขอนแก่น 40000

³บริษัท เคเค เอ็นเนอร์จี รีซอร์สเซส จำกัด (สำนักงานใหญ่)

*Corresponding author's e-mail: tanut.aek@neu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาชุดทดลองตัวควบคุมแบบพีไอดีสำหรับควบคุมตำแหน่งและการหมุนของมอเตอร์ โดยอาศัยการประยุกต์ใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมองศาการหมุนของมอเตอร์พร้อมกับจอแสดงผล สามารถแสดงเวลาและสัญญาณการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ได้ ในส่วนของการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์แปลงสัญญาณแอนะล็อกจากวงจรควบคุมพีไอดีเป็นสัญญาณความกว้างของพัลส์ไปสั่งงานวงจรขับมอเตอร์ให้เคลื่อนที่และมีตัวตรวจจับสัญญาณป้อนกลับเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบสัญญาณให้มอเตอร์หยุดที่ตำแหน่งที่ต้องการ จากการทดสอบพบว่า ชุดทดลองตัวควบคุมแบบพีไอดีที่พัฒนาขึ้นมีอัตราขยาย $K_p=10$ $K_i=5$ และ $K_d=0$ มีค่าเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินของระบบของระบบ เท่ากับ 4.654 % และเปอร์เซ็นต์การเข้าสู่สภาวะคงตัว เท่ากับ 0.513 % และที่อัตราขยาย $K_p=10$ $K_i=5$ และ $K_d=9$ มีค่าเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินของระบบของระบบ เท่ากับ 0.044 % และเปอร์เซ็นต์การเข้าสู่สภาวะคงตัว เท่ากับ 0.062 % ตามลำดับ

คำสำคัญ: ตัวควบคุมพีไอดี การหมุนของมอเตอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์

ABSTRACT

This article presents design and development of an experimental PID controller for controlling the rotational angle of a motor by using electronic circuits with microcontrollers to control the rotation angle of the motor along with the display of angles, time and movement waveforms of the motor for controlling the position of the motor, a microcontroller

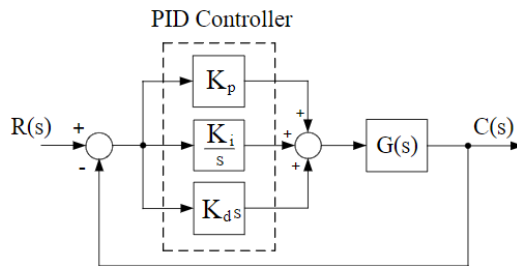
was used to convert the analog signal from the PID control circuit into a pulse width signal to command the motor drive circuit to move and had a feedback signal detector to control the position of the motor. Used to compare signals to stop the motor at the desired position. From the test, it was found that the PID controller experiment set with gain $K_p=10$ $K_i=5$ and $K_d=0$ had a percentage value of system overshoot of the system equal to 4.654 % and the percentage reaching steady state was equal to 0.513 % and at gain rates $K_p=10$ $K_i=5$ and $K_d=9$, the percentage overshoot of the system was equal to 0.044 % and the percentage reaching steady state was equal to 0.062 % respectively.

Keywords: PID Controller, rotational control for motor, microcontroller.

บทนำ

ในปัจจุบันการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมสมัยใหม่ ด้วยความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยีทางอิเล็กทรอนิกส์และไมโครคอนโทรลเลอร์ (กำจัด ใจตรง, 2564 และอนุชา ดี ผาง, 2565) ทำให้การออกแบบระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นเรื่องง่าย ไม่ซับซ้อน ซึ่งพบเห็นได้ตั้งแต่การใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน การใช้ในหุ่นยนต์ตลอดจนเครื่องจักรกลที่ทำงานแบบอัตโนมัติในอุตสาหกรรมต่างๆ และด้วยความก้าวหน้าของไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ (กำจัด ใจตรง, 2564) การควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในกระบวนการผลิต ระบบควบคุมจึงมีความสำคัญอย่างมาก โดยตัวควบคุมแบบป้อนกลับแบบพีไอดีเป็นที่นิยมใช้งาน (S. Reeba Rex, 2018 และ Said Mahmut Cinar, 2019) ซึ่งตัวควบคุมดังกล่าวจะถูกประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์ต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์ สมอ กลฝั่งตัว เป็นต้น โดยจะออกแบบให้เหมาะสมกับการควบคุมในงานแต่ละประเภท การควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนิยมใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีที่สร้างจากไอซีออปแอมป์เพื่อควบคุมแบบวงปิดโดยใช้ตัวตรวจจับความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงป้อนกลับไปเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอดีสำหรับการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบปิด โดยใช้การสั่งการไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลอาดูโน้ เพื่อประยุกต์ใช้เป็นตัวประมวลผลด้านการควบคุมระบบ เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์มีขนาดที่เล็กกะทัดรัด และยังมีฟังก์ชันการใช้งานที่หลากหลาย และยังสามารถควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้อย่างแม่นยำทั้งในขณะที่ไม่มีการะและมีภาระ ตัวควบคุมแบบพีไอดีเป็นตัวควบคุมที่ทำงานโดยการนำค่าความผิดพลาดระหว่างสัญญาณอ้างอิงกับค่าปัจจุบันที่ได้จากระบบการมาสร้างสัญญาณเอาต์พุตใหม่ด้วยการขยายความผิดพลาดของสัญญาณดังกล่าว

ด้วยค่าเกน โครงสร้างการทำงานของตัวควบคุมแบบพีไอดีดังแสดงในภาพที่ 1 (Amarapini Divya, 2020) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเอาต์พุตของตัวควบคุมจะเกิดจากสามองค์ประกอบ คือ ตัวควบคุมแบบสัดส่วน ตัวควบคุมแบบปริพันธ์ และตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ ซึ่งทั้ง 3 ส่วนของตัวควบคุมจะนำค่าเอาต์พุตไปคูณกับค่าเกนของตัวควบคุมแต่ละชนิดโดยค่าเกนดังกล่าวจะเป็นตัวกำหนดผลตอบสนองของระบบ



ภาพที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบพีไอดี

วัตถุประสงค์

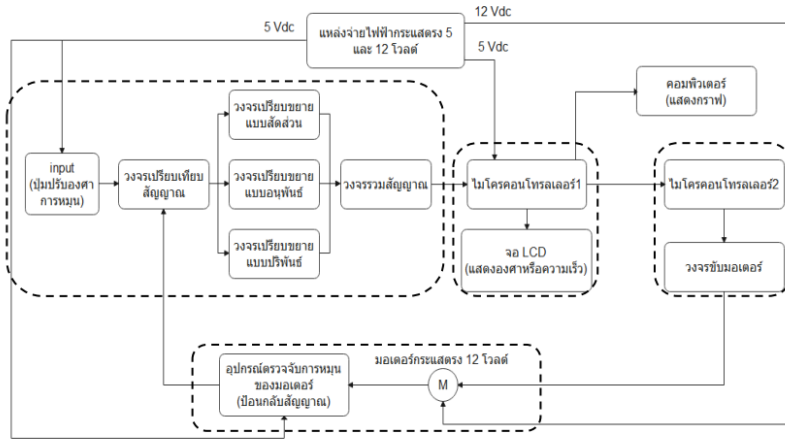
1. ออกแบบและสร้างชุดทดลองตัวควบคุมแบบพีไอดีสำหรับควบคุมการหมุนของมอเตอร์ โดยอาศัยการประยุกต์ใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมองศาการหมุนของมอเตอร์พร้อมกับจอแสดงผลของมุม สามารถแสดงเวลาและกราฟการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ได้
2. เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดทดลองตัวควบคุมแบบพีไอดีสำหรับควบคุมการหมุนของมอเตอร์ที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ อันได้แก่ การทดสอบการปรับค่า K_p , K_i , K_d และการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ที่ตำแหน่ง 90 องศา ถึง 270 องศา

วิธีดำเนินการวิจัย

1. บล็อกไดอะแกรมการทำงาน

เมื่อมีการป้อนแรงดันจากปุ่มปรับองศาการหมุน (0-5 โวลต์) ระบบเริ่มทำงาน อุปกรณ์ ตรวจจับองศาการหมุนของมอเตอร์ จะนำองศาที่มอเตอร์หมุนไปเปลี่ยนเป็นแรงดันขาออกมา เปรียบเทียบกับแรงดันขาเข้าในวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ จากนั้นแรงดันจะถูกส่งไปยังวงจรควบคุม พีไอดีที่สามารถปรับค่าได้ ช่วยให้ความเร็ว และตำแหน่งของมอเตอร์ ใช้เวลาน้อยและได้ตำแหน่ง ใกล้เคียงกับองศาที่ปรับไว้มากที่สุด โดยมีชุดแสดงองศาการหมุนบนหน้าจอ LCD และการแสดงผล ของสัญญาณจากวงจรพีไอดีเป็นกราฟบนคอมพิวเตอร์ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ 1 เพื่อดูว่า อัตราขยายของพีไอดีมีความเหมาะสมหรือไม่ จากนั้นจะส่งแรงดันที่ผ่านการเปรียบเทียบสัญญาณ และระบบควบคุมพีไอดีแล้ว เป็นแรงดันไปไมโครคอนโทรลเลอร์ 2 ซึ่งสามารถ

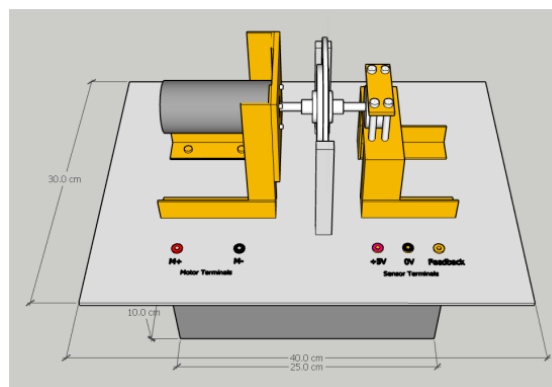
เป็นได้ทั้งแรงดันบวก และลบในการสร้างสัญญาณ PWM เพื่อสั่งวงจรถับมอเตอร์ ควบคุมให้มอเตอร์หมุนทวน
เข็มนาฬิกา ตาม เข้ม หรือหยุด ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน

2. โครงสร้างชุดมอเตอร์และอุปกรณ์ตรวจจับวัดตำแหน่ง

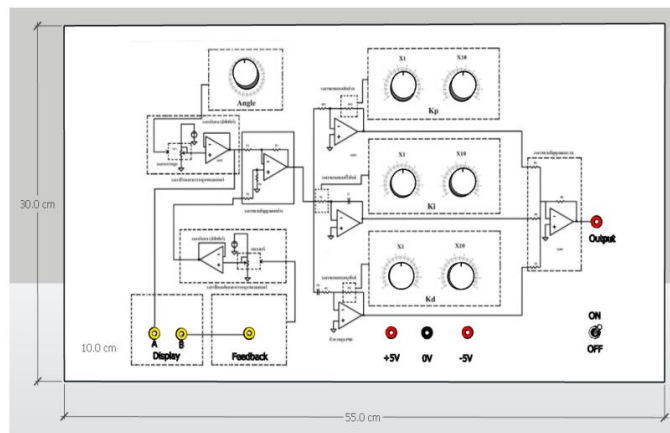
ในการออกแบบโครงสร้างชุดมอเตอร์และอุปกรณ์ตรวจจับวัดตำแหน่ง ใช้แผ่นคอมโพสิต ทั้งหมด 6 ส่วน นำมาประกอบกันเป็นกล่องโดยมีแผ่นบนสุดเป็นแท่นวางอุปกรณ์ มีขนาดความกว้าง 30 เซนติเมตร และมีขนาดความยาว 40 เซนติเมตร แผ่นฐานรองพื้น มีขนาดความกว้าง 25 เซนติเมตร และมีขนาดความยาว 25 เซนติเมตร และแผ่นด้านข้าง 4 ส่วน มีขนาดความกว้าง 10 เซนติเมตร และมีขนาดความยาว 25 เท่ากัน ทั้งหมด และทำการเจาะรูในการทำช่องการเชื่อมต่อ ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 โครงสร้างของชุดมอเตอร์และอุปกรณ์ตรวจจับวัดตำแหน่ง

3. โครงสร้างชุดทดลอง PID

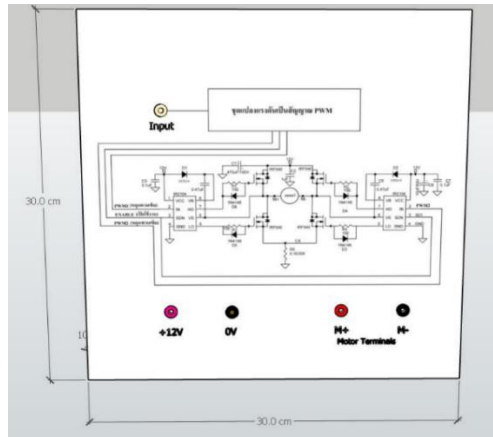
ในการออกแบบโครงสร้างชุดทดลอง PID ใช้แผ่นคอมโพสิตทั้งหมด 6 ส่วน นำมา ประกอบกันเป็นกล่อง โดยมีแผ่นบนสุดเป็นส่วนแสดงผังวงจรต่างๆ มีขนาดความกว้าง 30 เซนติเมตร และมีขนาดความยาว 55 เซนติเมตร แผ่นฐานรองพื้น มีขนาดความกว้าง 25 เซนติเมตร และมี ขนาดความยาว 50 เซนติเมตร แผ่น ด้านข้าง 2 ส่วน มีขนาดความกว้าง 10 เซนติเมตร และมีขนาด ความยาว 25 เท่ากันทั้ง 2 ส่วน และแผ่น ด้านข้าง 2 ส่วน ขนาดความกว้าง 10 เซนติเมตร และมี ขนาดความยาว 50 เท่ากันทั้ง 2 ส่วน และทำการเจาะ รูในการทำช่องการเชื่อมต่อ ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 โครงสร้างของชุดทดลอง PID ที่ออกแบบ

4. โครงสร้างชุดขับมอเตอร์

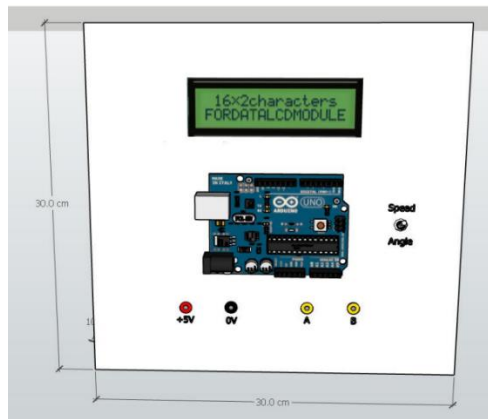
ในการออกแบบโครงสร้างชุดขับมอเตอร์ ใช้แผ่นคอมโพสิตทั้งหมด 6 ส่วน นำมา ประกอบกันเป็นกล่อง โดยมีแผ่นบนสุดเป็นส่วนแสดงผังวงจรต่างๆ มีขนาดความกว้าง 30 เซนติเมตร และมีขนาดความยาว 30 เซนติเมตร แผ่นฐานรองพื้น มีขนาดความกว้าง 25 เซนติเมตร และมี ขนาดความยาว 25 เซนติเมตร แผ่น ด้านข้าง 4 ส่วน มีขนาดความกว้าง 10 เซนติเมตร และมีขนาด ความยาว 25 เท่ากันทั้งหมด และทำการเจาะ รูในการทำช่องการเชื่อมต่อ ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 โครงสร้างของชุดขับมอเตอร์ที่ออกแบบ

5. โครงสร้างชุดแสดงผลองศาและความเร็วการหมุน

ในการออกแบบโครงสร้างแสดงผลองศาและความเร็วการหมุน ใช้แผ่นคอมโพสิต ทั้งหมด 6 ส่วน นำมาประกอบกันเป็นกล่องโดยมีแผ่นบนสุดเป็นส่วนแสดงผังวงจรต่างๆ มีขนาด ความกว้าง 30 เซนติเมตร และมีขนาดความยาว 30 เซนติเมตร แผ่นฐานรองพื้น มีขนาดความกว้าง 25 เซนติเมตร และมีขนาดความยาว 25 เซนติเมตร แผ่นด้านข้าง 4 ส่วน มีขนาดความกว้าง 10 เซนติเมตร และมีขนาดความยาว 25 เท่ากันทั้งหมด และทำการเจาะรูในการทำช่องการเชื่อมต่อ ดังแสดงในภาพที่ 6

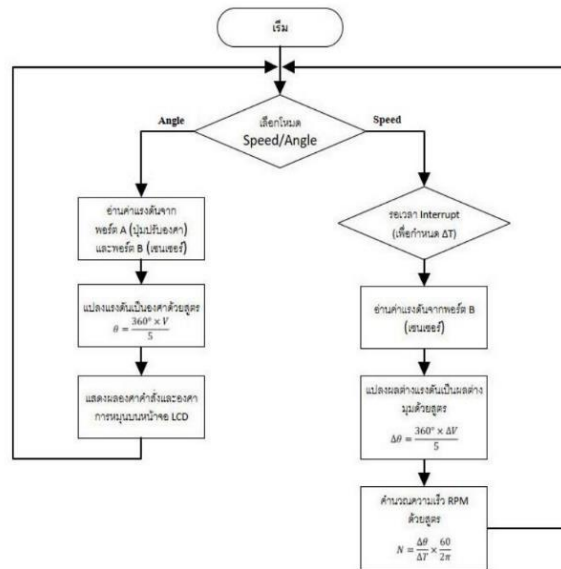


ภาพที่ 6 โครงสร้างของชุดแสดงผลองศาและความเร็วการหมุนที่ออกแบบ

6. โปรแกรมควบคุมการทำงาน

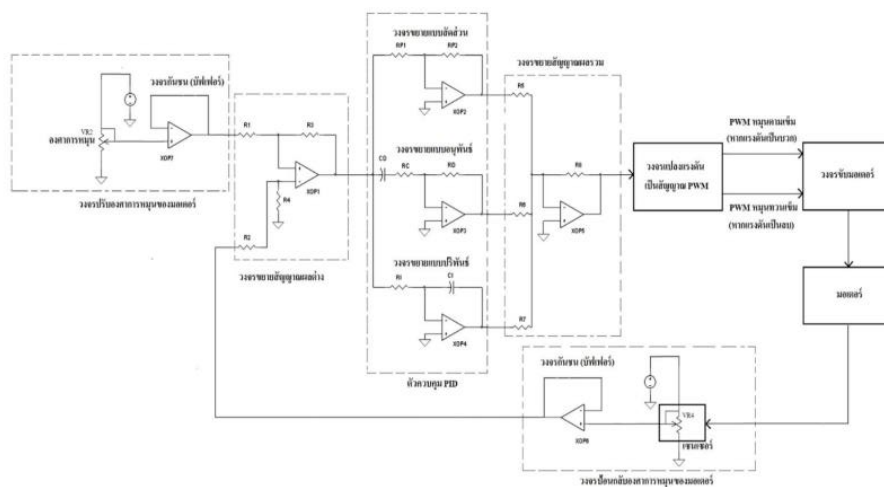
จากภาพที่ 7 เป็นโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ในชุดแสดงผล จะแบ่งออกเป็น 2 โหมดการทำงาน ดังนี้ โหมดของ Angle จะอ่านค่าแรงดันจากพอร์ต A และพอร์ต B ที่ได้จากปุ่มปรับองศา และอุปกรณ์ตรวจจับ นำไปแปลงแรงดันเป็นองศา จากนั้นจะแสดงผลองศาคำสั่งและองศาการหมุนบนหน้าจอ

LCD โหมดของ Speed จะรอเวลา Interrupt เพื่อกำหนดค่า T และอ่านค่าแรงดันที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับ
เข้า พอร์ต B นำไปแปลงผลต่างของแรงดันเป็นผลต่างมุมด้วยสมการ จากนั้นนำค่าที่ได้ทั้งหมดไปคำนวณ
ความเร็ว



ภาพที่ 7 โปรแกรมควบคุมการทำงาน

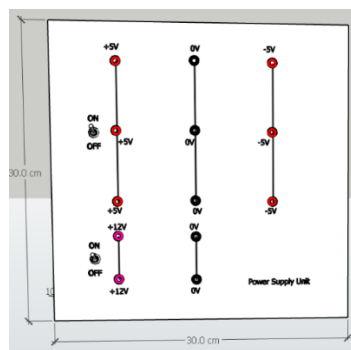
7. วงจรควบคุมการทำงาน



ภาพที่ 8 วงจรควบคุมการทำงานที่ออกแบบ

8. โครงสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า

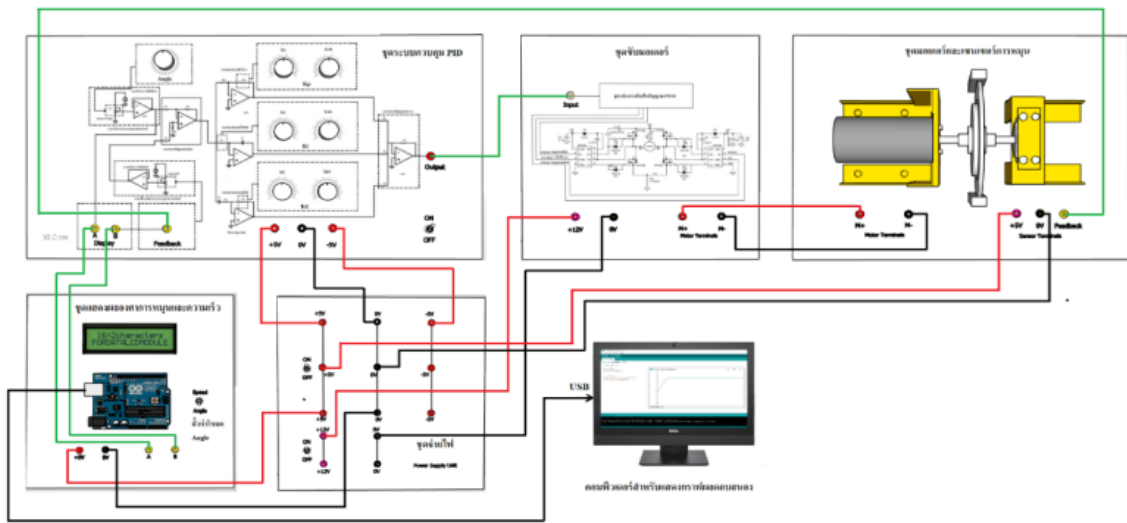
ในการออกแบบโครงสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า ใช้แผ่นคอมโพสิตทั้งหมด 6 ส่วน นำมาประกอบ กันเป็น ก่อ่งโดยมีแผ่นบนสุดเป็นส่วนแสดงผังวงจรต่างๆ มีขนาดความกว้าง 30 เซนติเมตร และมี ขนาดความยาว 30 เซนติเมตร แผ่นฐานรองพื้น มีขนาดความกว้าง 25 เซนติเมตร และมีขนาดความ ยาว 25 เซนติเมตร แผ่น ด้านข้าง 4 ส่วน มีขนาดความกว้าง 10 เซนติเมตร และมีขนาดความยาว 25 เท่ากันทั้งหมด และทำการเจาะรู ในการทำช่องการเชื่อมต่อ ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 โครงสร้างของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า

ผลการวิจัย

ทำการทดสอบหาระยะเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนตำแหน่งของระบบควบคุมแบบพีไอดี (PID-Controller) ที่ตำแหน่ง 90 องศา ถึง 270 องศา และหาค่าเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินและค่าเปอร์เซ็นต์สภาวะคงตัว ดังแสดงในภาพที่ 10



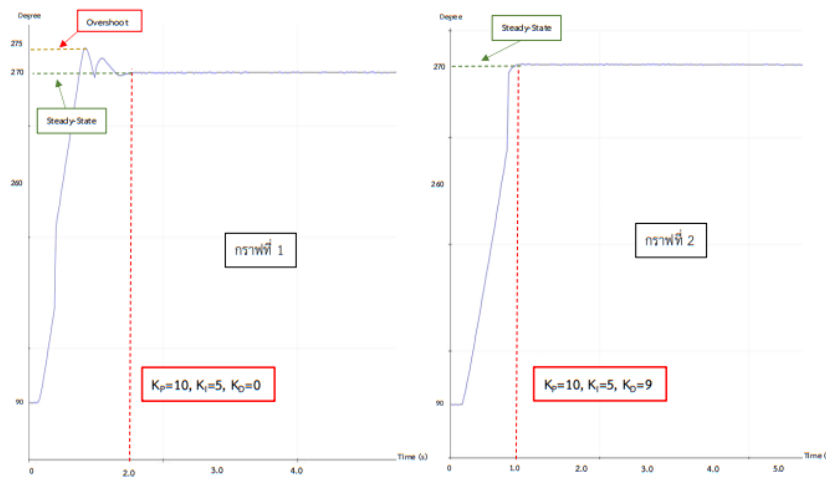
ภาพที่ 10 การเชื่อมต่อชุดทดลองของระบบควบคุมพีไอดี

1. ผลการทดสอบการปรับค่า Kp, Ki, Kd

ตารางที่ 1 ค่าเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินและค่าเปอร์เซ็นต์สภาวะคงตัว

Kp	Ki	Kd	Avg. Time (s)	% Overshoot	% Steady-State Error
10	5	0	2.015	4.654	0.513
10	5	1	2.273	3.644	0.429
10	5	2	2.371	2.011	0.310
10	5	3	2.416	0.961	0.085
10	5	4	2.557	0.610	0.033
10	5	5	0.745	0.376	0.142
10	5	6	0.805	0.254	0.095
10	5	7	0.882	0.203	0.067
10	5	8	0.971	0.159	0.066
10	5	9	1.053	0.044	0.062

จากตารางที่ 1 ในการทดสอบนี้จะใช้ค่าอัตราขยาย $K_p=10$, $K_i=5$ และเปลี่ยนค่าอัตราขยาย K_d จากการทดสอบ จะพบว่า เมื่อปรับค่าอัตราขยาย K_d เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัวมีค่าน้อยลงและมีค่าพุ่งเกินลดย่อย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 กราฟแสดงการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ที่ตำแหน่ง 90 องศา ถึง 270 องศา

จากภาพที่ 11 ในการทดสอบนี้ทำการเปรียบเทียบกราฟ 2 กราฟ จะเห็นว่าปรับอัตราขยาย $K_p=10$, $K_i=5$, $K_d=0$ มอเตอร์จะเข้าสู่สภาวะคงตัวได้ที่เวลา 2.0 วินาที และมีอัตราพุ่งเกินที่ 275 องศา และเมื่อปรับอัตราขยาย $K_p=10$, $K_i=5$, $K_d=9$ มอเตอร์จะเข้าสู่สภาวะคงตัวได้ที่เวลา 1 วินาที จะเห็นได้ว่ากราฟที่ 2 จะเข้าสู่สภาวะคงตัวได้เร็วกว่ากราฟที่ 1 แต่จะมีอัตราพุ่งเกินที่น้อยมากๆ

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดสอบในการหาเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินของระบบและเปอร์เซ็นต์การเข้าสู่สภาวะคงตัวของระบบที่มอเตอร์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ทำการทดสอบทำให้ทราบว่าชุดทดลองระบบควบคุมแบบพีไอดีที่อัตราขยาย $K_p=10$ $K_i=5$ และ $K_d=0$ มีค่าเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินของระบบของระบบ เท่ากับ 4.654 % และเปอร์เซ็นต์การเข้าสู่สภาวะคงตัว เท่ากับ 0.513 % และที่อัตราขยาย $K_p=10$ $K_i=5$ และ $K_d=1$ มีค่าเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินของระบบของระบบ เท่ากับ 3.644 % และเปอร์เซ็นต์การเข้าสู่สภาวะคงตัว เท่ากับ 0.429 % และที่อัตราขยาย $K_p=10$ $K_i=5$ และ $K_d=5$ มีค่าเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินของระบบของระบบ เท่ากับ 0.376 % และเปอร์เซ็นต์การเข้าสู่สภาวะคงตัว เท่ากับ 0.142 % และที่อัตราขยาย $K_p=10$ $K_i=5$ และ $K_d=9$ มีค่าเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินของระบบของระบบ เท่ากับ 0.044 % และเปอร์เซ็นต์การเข้าสู่สภาวะคงตัว เท่ากับ 0.062 % ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

- กำจัด ใจตรง, สงกรานต์ ภารกุล และณรงค์ฤทธิ์ ยิ้มเจริญพรสกุล. (2563). การควบคุมความเร็วรอบของเซอร์โวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดีโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.สุวรรณภูมิ*, 5(1), 78-86.
- กำจัด ใจตรง, สงกรานต์ ภารกุล และณรงค์ฤทธิ์ ยิ้มเจริญพรสกุล. (2564). การควบคุมความเร็วรอบของเซอร์โวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยตัวควบคุมแบบพีซีแอลจิก. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.สุวรรณภูมิ*, 5(ฉบับเพิ่มเติม), 13-23.
- อนุชา ดีผาง และชัยพร อัฒโตดดร. (2022). การออกแบบและสร้างเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ความเร็ว 3 ระดับแบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์. *JEET*, 9(1), 56-69.
- Amarapini Divya, Prasadarao Bobbili. (2020). Comparison and speed control of DC motor and DC servomotor using IMC based PID controller. *International Journal for Modern Trends in Science and Technology*. 2020, pp.493-501.
- S. Reeba Rex, Mary Synthia Regis Prabha. (2018). A speed control of DC motor with PWM using microcontroller in hardware in loop. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018, pp.116-119.
- Said Mahmut Cinar, Zekeriya Balci, Ismail Yabanova. (2019). Performing speed control of a DC motor with auto-tuning PID. *Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering*. 2019, pp.690-696.