

การพัฒนาชุดสาธิตการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงมุม โดยใช้โปรแกรมแลปวิว

The Development of Demonstration DC Motor Angular Position Control Set using LabVIEW Program

สมศักดิ์ ปาวรรณ^{1*} และสันติ หุตะมาน²

Somsak Pawan^{1*} and Santi Hutamarn²

¹แผนกช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคลพบุรี สถาบันการอาชีวศึกษาภาคกลาง 2 ลพบุรี 15000

²สาขาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800

¹Department of Electrical power, Lopburi Technical College, Institute of Vocational Education Center Region2, Lopburi 15000

²Program in Mechatronics Engineering and Robotics, Faculty of Technical Education, KMUTNB, Bangkok 10800

Received : December 7, 2021

Revised : December 13, 2021

Accepted : December 15, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดสาธิตการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงมุมโดยใช้โปรแกรมแลปวิว เพื่อประเมินความเหมาะสมสำหรับการใช้งานชุดสาธิตการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงมุมโดยใช้โปรแกรมแลปวิว

ชุดสาธิตการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงมุมที่สร้างขึ้นนี้ ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดพิกัด 60 วัตต์ 24 โวลต์เป็นตัวขับเคลื่อน ควบคุมโดยใช้บอร์ดขับเคลื่อนที่มีมอเตอร์กำลังเป็นส่วนประกอบและใช้เอ็นโคเดอร์ 100 พัลส์ต่อรอบ ป้อนกลับสัญญาณตำแหน่งไปยังการ์ด myRIO ใช้การควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดี ด้วยโปรแกรมแลปวิว เมื่อทำการสร้างและทดสอบระบบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ประเมินความเหมาะสม จากนั้นจึงนำไปทดลองใช้สาธิตกับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคลพบุรี จำนวน 30 คน แล้วจึงให้ผู้เรียนประเมินความเหมาะสมผลการวิจัยพบว่า

* สันติ หุตะมาน

E-mail : santi.h@fte.kmutnb.ac.th

ชุดสาธิตการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงมุม โดยใช้โปรแกรมแลปวิวมีผลตอบสนองสอดคล้องกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และผลการประเมินความเหมาะสมโดยผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับดี ($\bar{x} = 4.24, SD. = 0.58$) และผลการประเมินความเหมาะสมโดยนักศึกษายู่ในระดับดีมาก ($\bar{x} = 4.75, SD. = 0.15$) เช่นกัน สรุปได้ว่าชุดสาธิตการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงมุม โดยใช้โปรแกรมแลปวิว มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการเรียนการสอน

คำสำคัญ : ชุดสาธิต, การควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงมุม, โปรแกรมแลปวิว

Abstract

This research aimed to develop the demonstration set for DC motor angular position control using LabVIEW Program, and the propriety for the application instructions in college in vocational education commission.

The demonstration set for DC motor angular position control was developed by using the driven - 24 volt 60 watt DC motor, controlled by driven board with Power Mosfet and Encoder 100 pulses per revolution, and sent feedback position signal to myRIO card by *PID* Controller with LabVIEW Program. When the development and system testing were finished and presented to 3 experts to evaluate the propriety. Moreover, the demonstration set was taken to experiment with the sample group consisted of 30 undergraduates who study in the electrical technology program of Lopburi Technical College to evaluate the propriety.

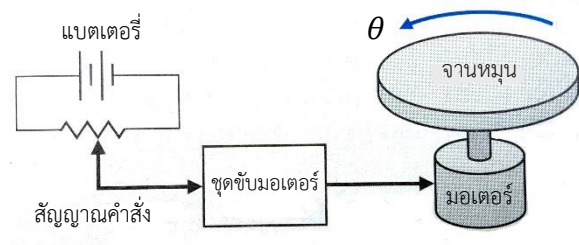
The research findings shown that the demonstration set for DC motor angular position control using LabVIEW Program responded to relate theories and the resulting evaluation of the propriety by experts was at a high level ($\bar{x} = 4.24, SD. = 0.58$), and the propriety by undergraduates was at the highest level ($\bar{x} = 4.75, SD. = 0.15$). Overall, the demonstration set for DC motor angular position control using LabVIEW Program is appropriate for applying in the instructions.

Keywords : Demonstration Set, Angular Position Control, LabVIEW Program.

1. บทนำ

ปัจจุบันการจัดการเรียนการสอนด้านช่างอุตสาหกรรม มีการปรับปรุงหลักสูตรให้สอดคล้องกับเทคโนโลยีที่สูงขึ้น และสอดคล้องกับการเป็นประเทศไทย 4.0 ที่เน้นเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติและหุ่นยนต์เป็นหลัก แต่ขณะเดียวกันการจะปรับเปลี่ยนให้เป็นประเทศไทย 4.0 จำเป็นจะต้องมีการเตรียมความพร้อมทั้งด้านการเรียนการสอนที่รวมถึงสื่อการสอนที่จะต้องจัดเตรียมให้มีความสอดคล้องกับเนื้อหา ซึ่งโดยส่วนใหญ่ สื่อการสอนด้านช่างอุตสาหกรรมมักจะอยู่ในรูป

ของชุดฝึก ชุดทดลอง หรือชุดสาธิต ซึ่งหากต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศมักจะมีราคาแพง ดังนั้นหนทางหนึ่งในการลดงบประมาณในการสั่งซื้อคือ การจัดสร้างขึ้นใช้เอง นอกจากนี้ได้สื่อประกอบการสอนที่ตรงตามความต้องการของผู้สอนแล้ว หากสื่อการสอนดังกล่าวขาด ผู้สอนสามารถซ่อมแซมใช้งานได้ด้วยตนเอง รวมถึงใช้งบประมาณในการซ่อมบำรุงน้อยกว่า ชุดสื่อการสอนที่นำเข้าจากต่างประเทศอีกด้วย หุ่นยนต์โดยทั่วไป จะเคลื่อนที่ได้จำเป็นต้องใช้ต้นกำลังที่อาศัยการหมุนเป็นหลัก ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวคือ มอเตอร์ ที่มีจุดเด่นคือสามารถควบคุมตำแหน่งของการหมุน (θ) ได้ง่าย ด้วยการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ภาพการควบคุมตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้า

ฟังก์ชันถ่ายโอนของการควบคุมตำแหน่งที่เกิดจากการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรง กรณีไม่คิดค่าคงตัวทางไฟฟ้า ($\tau_a = L_a/R_a = 0$) มีค่าดังสมการที่ 1

$$\frac{\theta(s)}{U_a(s)} = \frac{[K_m/(R_a \cdot b + K_b K_m)]}{s[\tau_1 s + 1]} \quad (1)$$

โดยที่

$$\tau_1 = R_a \cdot J / (R_a b + K_b K_m)$$

$\theta(s)$ หมายถึง ตำแหน่งมุมที่จานหมุนเคลื่อนที่ไป

$U_a(s)$ หมายถึง แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้อาร์เมเจอร์

K_m หมายถึง ค่าคงตัวของมอเตอร์

K_b หมายถึง ค่าคงตัวที่ทำให้เกิดแรงดันต้านกลับ

R_a หมายถึง ความต้านทานของอาร์เมเจอร์

J หมายถึง ค่าโมเมนต์แรงเฉื่อยของเพลลา

b หมายถึง ค่าความเสียดทานของเพลลา

ภาพที่ 1 เป็นการควบคุมตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูบเปิด ซึ่งเมื่อป้อนสัญญาณคำสั่งที่เป็นแรงดันไฟฟ้าจะทำให้มอเตอร์หมุน แต่ไม่สามารถควบคุมตำแหน่งในการหมุนตามสัญญาณคำสั่งได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้การควบคุมแบบลูบปิดเข้ามาแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งการควบคุมแบบลูบปิดนี้จะใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีเป็นหลัก ดังนั้นผู้ใช้งาน สามารถใช้การควบคุมได้ทั้งแบบแอนะล็อกที่มีอุปกรณ์หลักเป็นออปแอมป์ แต่มีข้อด้อยคือ จะมีสัญญาณรบกวนสูง แต่หากเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมก็จะพบว่าการเขียนโปรแกรมยากต่อการทำความเข้าใจ ดังนั้นวิธีที่ดีวิธีหนึ่งคือเลือกใช้การ์ด DAQ ที่เชื่อมต่อกับซอฟต์แวร์จำพวกแลปวิวก็สามารถทำได้ ซึ่งมีข้อดีคือผู้ใช้งานสามารถเข้าใจได้ง่าย เพราะการเขียนโปรแกรมคำสั่งจะใช้การลากวางไอคอนที่อยู่ในไลบรารี (Kumar, Singh & Kulkarni, 2014) การเชื่อมต่อนี้ระหว่างคำสั่งจะใช้การโยงสาย ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเห็นการไหลของข้อมูลในระหว่างการตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมได้ง่าย แต่มีข้อด้อยคืออุปกรณ์การ์ด DAQ และโปรแกรมแลปวิวมีราคาสูงกว่า การนำโปรแกรมแลปวิวมาใช้ควบคุมระบบโดยเฉพาะงานด้านควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าสามารถควบคุมได้ทั้งลูบเปิดและลูบปิด การแสดงผลและปรับตั้งพารามิเตอร์ของตัวควบคุมจากตัวโปรแกรมได้ทันที นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานผ่านระบบอินเทอร์เน็ตเพื่อควบคุมและแสดงผลระยะไกลได้สามารถนำไปควบคุมงานที่สลับซับซ้อน เช่นระบบจำลองการทำงานของลิฟต์โดยสารได้ โดยผ่านการ์ด NI CompactRIO ช่วยให้เห็นภาพและการทำงานของระบบได้เป็นอย่างดี (Ye, He, Wang, & Sheng, 2016) ขณะเดียวกันการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไม่ได้มีเพียงตัวควบคุมพีไอดี แต่ยังสามารถใช้การควบคุมแบบอื่นมาวิเคราะห์ผ่านโปรแกรมแลปวิวได้ อาทิเช่นการควบคุมแบบ LQR ซึ่งผู้ใช้งานต้องเข้าใจหลักการของปริภูมิสเตตมาก่อน ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการนำโปรแกรมแลปวิวมาต่อร่วมกับการ์ด DAQ สามารถประยุกต์ใช้เป็นชุดสาธิตได้กับผู้เรียนหลายระดับ ตั้งแต่การควบคุมแบบคลาสสิกไปจนถึงการควบคุมแบบสมัยใหม่ ที่อาศัยปัญญาประดิษฐ์ช่วยในการปรับตั้งค่าอัตโนมัติ แต่บางครั้งการ์ด DAQ ยังมีราคาแพง โปรแกรมแลปวิวเปิดโอกาสให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ราคาถูกเช่น

Arduino Uno มาแทนการ์ด DAQ ได้โดยสามารถต่อร่วมกับโปรแกรมแลปวิวได้เช่นกัน จากการใช้ประโยชน์ของไดรเวอร์ NI-VISA และ LINX ที่อยู่ในโปรแกรมแลปวิว ทำให้ผู้ใช้งานที่มีงบประมาณจำกัด ก็สามารถสร้างชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ (Asha, Tasleem, Kumar, Swamy & Rekha, 2017) แม้อาจจะมีข้อจำกัดบางประการ เช่นไม่สามารถป้อนกลับโดยใช้เอ็นโค้ดเดอร์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมได้เนื่องจากมีค่าความถี่สูงเกินที่บอร์ด Arduino Uno จะรับได้ ทำให้เกิดค่าความผิดพลาดกับโปรแกรมเกิดขึ้น ผู้ใช้งานจึงต้องพึงระมัดระวังข้อจำกัดของไมโครคอนโทรลเลอร์ไว้ด้วย แต่ข้อดีของบอร์ด Arduino Uno คือสามารถสร้างสัญญาณ PWM ได้ง่าย ทำให้การออกแบบบอร์ดมอเตอร์ลดความยุ่งยากไปได้มากแต่อย่างไรก็ตามคณะผู้วิจัยมองเห็นประโยชน์ของการสร้างชุดสาธิตการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงมุมโดยใช้โปรแกรมแลปวิว เป็นประโยชน์ในการเรียนการสอนทางด้านที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมเพื่อตอบสนองนโยบาย ประเทศไทย 4.0 ได้เป็นอย่างดี

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาชุดสาธิตการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงมุม โดยใช้โปรแกรมแลปวิว

2.2 เพื่อประเมินความเหมาะสมในการใช้งานชุดสาธิตการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงมุม โดยใช้โปรแกรมแลปวิว

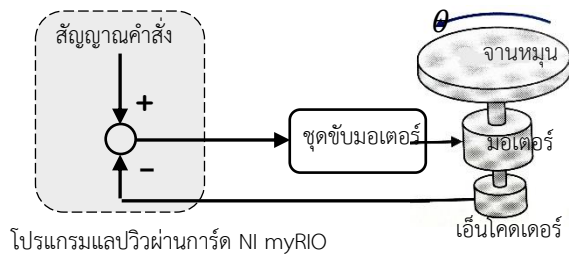
3. สมมติฐานของการวิจัย

ผลการประเมินความพึงพอใจผลการประเมินความเหมาะสมในการใช้งานชุดสาธิตการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงมุม โดยใช้โปรแกรมแลปวิวอยู่ในระดับดีขึ้นไป (ค่าเฉลี่ยของระดับความพึงพอใจ $\bar{x} \geq 3.5$ ตามมาตรวัดประเมินค่าของลิเคิร์ท)

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

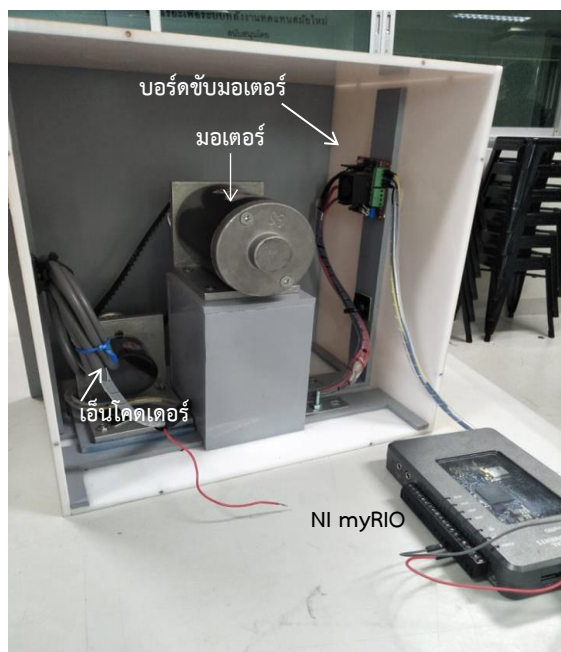
การดำเนินการวิจัยเริ่มต้นจากศึกษาข้อมูลของการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงมุมจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากนั้นจึงออกแบบพลานต์ที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดพิกัด 60 วัตต์ 24 โวลต์ เป็นตัวขับเคลื่อนและเชื่อมเข้ากับเอ็นโค้ดเดอร์ขนาด 100 พัลส์ต่อ

รอบเชื่อมโยงเข้ากับเฟลาโดยใช้สายพาน เพื่อเป็นตัวป้อนกลับสัญญาณตำแหน่งการหมุนของเฟลามอเตอร์ ผ่านการ์ด NI myRIO และโปรแกรมแลปวิวรับสัญญาณไปประมวลผลแล้วส่งผ่านเอาต์พุตพอร์ตของการ์ด NI myRIO เพื่อส่งสัญญาณไปยังชุดขับเคลื่อนสำหรับขับเคลื่อนต่อไปจากแนวคิดดังกล่าว แสดงเป็นแผนภาพ ดังภาพที่ 2 และนำมาสร้างเป็นพลาเน็ต ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 2 ภาพการควบคุมการหมุนของมอเตอร์แบบปิด

หลังจากที่จัดสร้างพลาเน็ตเสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปจึงทดสอบระบบด้วยการเขียนโปรแกรมแลปวิวทั้งในส่วนของ

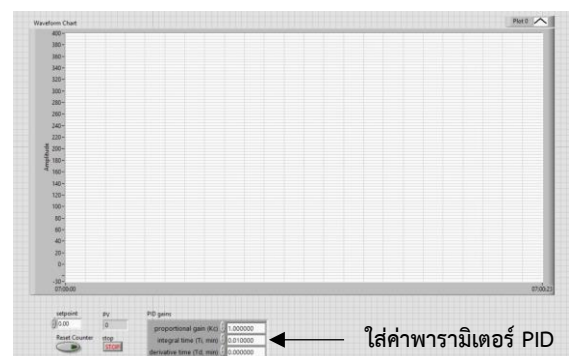


ภาพที่ 3 ภาพพลาเน็ตการควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ของมอเตอร์

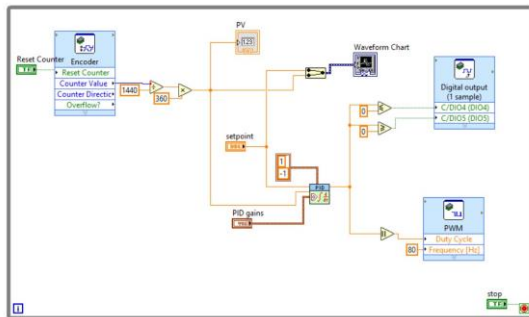
ลูปเปิดและลูปปิด เมื่อทดสอบการทำงานจนเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน ประเมินความเหมาะสม แล้วจึงนำไปทดลองใช้สาธิตการทำงานให้ผู้เรียนที่เป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรีเทคโนโลยีไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคสุพรรณบุรีปีการศึกษา 2562 จำนวน 30 คน และให้ผู้เรียนทำการประเมินความเหมาะสมในการนำไปใช้ประกอบการจัดการเรียนรู้

5. ผลการวิจัย

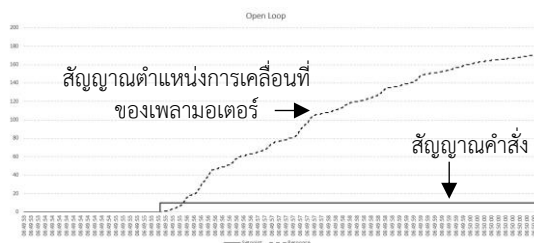
หลังจากที่ทำการสร้างพลาเน็ตเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก่อนที่จะนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมิน ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการทำงานโดยป้อนคำสั่งเป็นสัญญาณขึ้น แล้วจึงวัดผลตอบสนองต่อสัญญาณขึ้นในแต่ละมุมมองที่แกนเฟลาหมุนไป ผู้ใช้งานสามารถดูได้จากโปรแกรมแลปวิวได้ทันทีแบบเวลาจริง (Real Time) โดยมีส่วนที่แสดงผลของผลตอบสนองหรือที่เรียกว่า Front Panel ดังภาพที่ 4 และการเขียนโปรแกรมจะซ่อนอยู่ด้านหลัง Front Panel ดังภาพที่ 5 การเขียนโปรแกรมจะใช้การลากแล้ววาง (Drag and Drop) ไอคอนของเครื่องมือการเชื่อมโยงเครื่องมือจะใช้การลากสายเชื่อมโยงให้เชื่อมต่อกัน เมื่อทำการทดสอบการทำงานในลักษณะลูปเปิดพบว่า มีผลตอบสนองที่สอดคล้องกับทฤษฎี ซึ่งระบบจะมีผลตอบสนองในลักษณะของการอินที่เกรตดังภาพที่ 6



ภาพที่ 4 ภาพ Front Panel ของโปรแกรมแลปวิว



ภาพที่ 5 ภาพ Block Diagram
สำหรับเขียนโปรแกรมแลปวิว

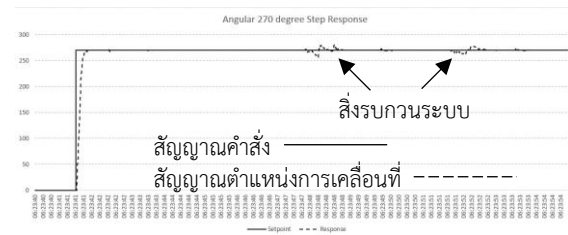


ภาพที่ 6 ภาพผลตอบสนองต่อสัญญาณขึ้นขณะลูปเปิด

จากภาพที่ 6 ทำการป้อนสัญญาณคำสั่งที่ 10 องศา ระบบไม่สามารถควบคุมตำแหน่งได้ตามต้องการ จึงต้องทำการควบคุมแบบลูปปิดแทน ในที่นี้เลือกใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี การปรับค่าพารามิเตอร์ของพีไอดีใช้วิธีปรับค่าตามผลตอบสนองที่เกิดขึ้น โดยเริ่มจากการปรับให้ค่าพีไอ และดีมีค่าน้อยๆ แล้วจึงปรับค่า K_p ให้เพิ่มสูงขึ้นทีละน้อย



ภาพที่ 7 ภาพผลตอบสนองขณะลูปปิดที่มุม 90 องศา



ภาพที่ 8 ภาพผลตอบสนองขณะลูปปิดที่มุม 270 องศา

หากมีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้นจึงเพิ่มค่าของ T_i และหากมีค่าพุ่งเกินเกิดขึ้นจึงปรับค่าของ T_d ตามลำดับจนกระทั่งระบบมีผลตอบสนองตามที่ต้องการแล้วจึงทำการทดสอบด้วยการป้อนสัญญาณคำสั่งเป็นสัญญาณขึ้น พบว่าเมื่อทำการควบคุมแบบลูปปิด สามารถควบคุมตามตำแหน่งได้ตามต้องการ แสดงดังภาพที่ 7 และ 8 ขณะเดียวกันเมื่อแทรกสิ่งรบกวนให้แก่ระบบด้วยการขยับตำแหน่งของเฟลอมอเตอร์ด้วยมือไปมา จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าระบบก็ยังสามารถรักษาตำแหน่งไว้ได้ตามสัญญาณคำสั่ง ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของระบบควบคุม

หลังจากทดสอบการทำงานของระบบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปจึงให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน และนักศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาลัยเทคนิคพลบุรีจำนวน 30 คน ทำการประเมินความเหมาะสม จากผลการประเมินในส่วนของผู้เชี่ยวชาญพบว่าอยู่ในระดับดี ($\bar{x} = 4.24, SD. = 0.58$) และผลประเมินจากนักศึกษา พบว่าอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{x} = 4.75, SD. = 0.15$) ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐาน

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความเหมาะสม

โดยผู้เชี่ยวชาญ

ลำดับ	รายละเอียด	$\bar{x}$	S.D.
1	มีขนาดเหมาะสมที่ใช้เป็นชุด สาธิต	4.67	0.58
2	ปลอดภัยขณะใช้สาธิตการ สอน	4.33	0.58
3	การจัดวางตำแหน่งอุปกรณ์ เหมาะสม	3.67	0.58
4	ชุดสาธิตมีความแข็งแรง	4.67	0.58
5	สะดวกในการติดตั้งและจัดเก็บ	5.00	0.00
6	การบำรุงรักษาทำได้ง่าย	3.67	0.58
7	วัสดุที่ใช้หาได้ตามท้องตลาด	3.67	0.58
ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจทั้งหมด		4.24	0.58

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความเหมาะสมโดยนักศึกษา

ลำดับ	รายละเอียด	$\bar{x}$	S.D.
1	โครงสร้างมีความแข็งแรง ทนทาน	4.70	0.48
2	มีความปลอดภัยในการใช้งาน	4.90	0.32
3	การออกแบบมีความสวยงาม	4.50	0.71
4	การใช้งานมีความแม่นยำตรง ตามเป้าหมาย	4.80	0.63
5	ขั้นตอนในการใช้งานไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน	4.70	0.48
6	มีความเหมาะสมสำหรับเป็นสื่อ การเรียนการสอน	4.90	0.32
ค่าเฉลี่ย S.D. ความพึงพอใจทั้งหมด		4.75	0.15

6. สรุปผลการวิจัย

ชุดสาธิตการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงมุมโดยใช้โปรแกรมแลปวิวที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นนี้ จากการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญและนักศึกษา สรุปได้ว่ามีความเหมาะสมในการนำไปใช้ประกอบประกอบการเรียนการสอนโดยเฉพาะในระดับปริญญาตรีสายปฏิบัติการ

7. อภิปรายผลการวิจัย

เนื่องจากชุดสาธิตดังกล่าวทำให้ผู้เรียนเข้าใจปรากฏการณ์พร้อมทั้งแสดงผลตอบสนองที่สอดคล้องกับทฤษฎีได้อย่างชัดเจน ประกอบกับชุดสาธิตที่พัฒนาขึ้นมีราคาที่ไม่แพงจนเกินไป ผู้สอนในสถานศึกษาด้านอาชีวศึกษาสามารถจัดสร้างขึ้นเองได้ เป็นการประหยัดงบประมาณในการจัดซื้อชุดสาธิตหรือชุดทดลอง ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงหวังว่างานวิจัยนี้ จะเป็นประโยชน์กับสถาบันการศึกษาที่เปิดสอนด้านช่างอุตสาหกรรม ที่เกี่ยวกับการควบคุมอัตโนมัติ อาทิ เช่น ช่างแมคคาทรอนิกส์, ช่างอิเล็กทรอนิกส์ และช่างไฟฟ้ากำลัง เป็นต้น

8. เอกสารอ้างอิง

- Asha, K.R., Tasleem, P. S., Kumar, A.V. R. S., Swamy. M., & Rekha, K.R. (2017). Real Time Speed Control of a DC motor by Temperature Variation using LabVIEW and Arduino. In *Proceedings of International Conference on Recent Advances in Electronics and Communication Technology (ICRAECT)*. (16-17 March). India: Bangalor.
- Chotai, J., & Narwekar, K. (2017). Modelling and Position control of Brushed DC motor. In *Proceedings of International Conference on Advances in Computing, Communication and Control (ICAC3)*. (1-2 December). India: Mumbai.
- Dorf, R. C., & Bishop, R. H. (2005). *Modern Control System*. (10th ed.). India: Mumbai.

- Gasparesc, G. (2016). PID Control of a DC Motor Using Labview Interface for Embedded Platforms. In **Proceedings of 12th International Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC)**. (27-28 October). Romania: Timisoara.
- Kumar, N., Singh, N., & Kulkarni, A. (2014). LabVIEW Based Online Monitoring and Control of PMDC MotorSpeed. In **Proceedings of the 6th IEEE Power IndiaInternational Conference (PIICON 2014)**. (5 -7 December). India: New Delhi.
- Ye, J., Hu, H., Wang, Z., & Sheng, R. (2016). Design of Model Elevator Control System Based on NI CompactRIO and LabVIEW. In **Proceedings of the9th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID 2016)**. (10-11 December). China: Hangzhou.