การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 44

The 44th Electrical Engineering Conference (EECON-44)

17-19 พฤศจิกายน 2564

ณ โรงแรม ดิ อิมเพรส น่าน อำเภอเมืองน่าน จังหวัดน่าน

- ไฟฟ้ากำลัง (PW)
- โฟโตนิกส์ (PH)
- คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)
- วิศวกรรมชีวการแพทย์ (BE)
- ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)
- การประมวลผลสัญญาณดิจิตอล (DS)
- ระบบควบคุมและการวัดคุม (CT)
- อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
- พลังงานหมุนเวียน (RE)
- อิเล็กทรอนิกส์ (EL)

EECON XLI

EECON-44

Electrical Engineering Conference

EEAAT Electrical Engineering Academic Association (Thailand)

IEEE PES Power & Energy Society®

TOPS Thailand Optics & Photonics Society

RMUTP

การศึกษาการแกว่งขึ้นของเพนดูลัมผกผันด้วยเทคนิคซีพีจีร่วมกับพีไอดี

Study of Inverted Pendulum Swing-up with CPG - PID Technique

สุธี โสมาเกตุ [1], นิธิพัฒน์ อิ๋วสกุล [2]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร sutee.s@rmutp.ac.th,

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร nitiphat.e@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอแนวคิดและศึกษาการออกแบบการแกว่งขึ้นของเพนดูลัมด้วยเทคนิค Central Pattern Generator (CPG) ซึ่งแบ่งเป็นสองส่วนหลักโดย ส่วนแรกเป็นการศึกษาและจำลองระบบควบคุมการแกว่งขึ้นของเพนดูลัมด้วยการใช้ Neural oscillator network ซึ่งทำหน้าที่เป็น CPG เพื่อนำสัญญาณไปควบคุมมอเตอร์เพื่อทำการแกว่งแกนเพนดูลัมจนกระทั่งแกนเพนดูลัม สามารถขึ้นไปอยู่ในช่วงที่กำหนดในแนวตั้ง ส่วนที่สองเป็นการออกแบบและสร้างระบบการเลี้ยงให้เพนดูลัมตั้งตรง การควบคุมในช่วงนี้ใช้ตัวควบคุม PID ซึ่งโครงสร้างทางกลเพนดูลัมผกผันประกอบด้วยรางเลื่อนแรงเสียดทานต่ำ ขับเคลื่อนด้วยดีซีมอเตอร์แบบมีเอ็นโคเดอร์ และตัวเพนดูลัมถูกติดตั้งอยู่บนโพเทนชิโอมิเตอร์ซึ่งทำหน้าที่ตรวจจับการมุมเอียงของเพนดูลัมโดยองศาการเอียงจะแปรผันตามแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไป ผลการจำลองในส่วนแรกด้วยเทคนิค CPG แสดงให้เห็นว่าแนวคิดการออกแบบการแกว่งขึ้นของเพนดูลัมด้วยเทคนิค CPG สามารถจำลองสัญญาณ โดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink ได้ และผลการทดลองในส่วนควบคุม PID พบว่าระบบสามารถเลี้ยงให้เพนดูลัมตั้งตรงอยู่ได้แม้มีแรงกระทำจากภายนอก ซึ่งผลการจำลองนี้แสดงให้เห็นความเป็นไปได้ถึงการนำเอาเทคนิค CPG ร่วมกับ PID มาประยุกต์ใช้งานร่วมกันสำหรับงานวิจัยเพนดูลัมผกผันในอนาคต

คำสำคัญ: เพนดูลัมผกผัน, ซีพีจี, พีไอดี

Abstract

This research presents the concept and studies the design of pendulum upward swing using the Central Pattern Generator (CPG) technique, which is divided into two main parts: The first part is to study and simulate a pendulum oscillating control system by using a Neural oscillator network acting as a CPG to direct the signal to control the motor to oscillate sequentially until the pendulum. Lum can go up within the specified range vertically The second part is about designing and building an upright pendulum rearing system. The controls in this range use a PID controller. The inverse pendulum mechanical structure consists of a low friction slide rail. Driven by a built-in encoder DC motor The pendulum is mounted on a potentiometer that detects the angle of inclination of the pendulum. The angle of inclination varies with the change in pressure. The results of the simulation in the first part CPG demonstrate that the CPG pendulum upward swing design concept can be simulated signal using MATLAB Simulink, The simulation results of the first part with CPG showed that the oscillatory design concept of the pendulum by CPG technique could be simulated using Simulink. The pendulum can stand upright despite external forces. Demonstrates the feasibility of future inverse pendulum research in the integration of CPG and PID techniques.

Keywords: Inverted Pendulum, CPG, PID

1. บทนำ

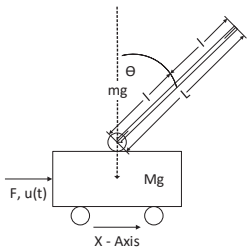
การควบคุมเพนดูลัมผกผัน เป็นตัวอย่างที่ได้รับความนิยมอย่างมากในวิชาระบบควบคุม โดยตัวเพนดูลัมนั้นเป็นระบบที่มีความไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear system) [1] และเสถียรภาพของการตั้งอยู่ในแนวตั้งมีความแม่นยำไม่สูงมากนัก และระบบจะขาดเสถียรภาพหากไร้การควบคุมในกรณีการทิ้งตัวแบบทันที ดังนั้นเพนดูลัมผกผันจึงจำเป็นต้องอาศัยการควบคุมที่แม่นยำและเสถียร เพื่อประคองแกนเพนดูลัมยังคงตั้งตรงอยู่ได้แม้มีแรงกระทำจากภายนอกก็ตาม การรักษาตำแหน่งเพนดูลัมให้ตั้งตรงอยู่ได้นั้น จำเป็นต้องมีตัวควบคุมเสมอ โดยตัวควบคุมที่นิยมคือตัวควบคุมแบบพีไอดี PID สำหรับควบคุมให้ระบบมีเสถียรภาพตั้งตรงอยู่ได้ อย่างไรก็ตามก่อนที่จะเข้าสู่การควบคุมให้เพนดูลัมตั้งตรงได้นั้น จำเป็นต้องมีขั้นตอนการแกว่งให้เพนดูลัมจากจุดทิ้งตัวธรรมชาติไร้การควบคุมกลับขึ้นไปด้านบนก่อน ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาการแกว่งขึ้นของเพนดูลัม โดยการศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำเอาเทคนิค Neural oscillator network ซึ่งทำหน้าที่เป็น Central Pattern Generator (CPG)) [2] สำหรับสร้างสัญญาณเพื่อนำไปควบคุมการแกว่งของเพนดูลัมเข้ามาในงานวิจัยนี้ การแกว่งเพนดูลัมขึ้นจากด้านล่างให้ขึ้นมาอยู่ด้านบนนั้นที่ผ่านมาพบว่างานวิจัยส่วนใหญ่ใช้เทคนิคการสะสมพลังงานจลน์ [3] เพื่อทำให้เพนดูลัมแกว่งแรงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเคลื่อนที่มาอยู่ด้านบน ซึ่งการใช้เทคนิคนี้ต้องมีการคำนวณทางคณิตศาสตร์มาก จึงส่งผลให้ตัวประมวลผลที่ใช้ต้องมีประสิทธิภาพสูงและมีราคาสูงตามไปด้วย งานวิจัย

นี้ใช้เทคนิค CPG เป็นตัวกำเนิดสัญญาณการแกว่งแทนเทคนิคการสะสมพลังงาน ซึ่งสามารถคำนวณได้บนตัวประมวลผลขนาดเล็ก ที่เป็น Arduino uno เมื่อเพนดูลัมแกว่งกลับขึ้นมาอยู่ด้านบนแล้ว ตัวควบคุมจะหยุดการทำงานของ CPG เมื่อมุมของเพนดูลัมอยู่ในช่วงที่กำหนด และเริ่มการทำงานของตัวควบคุม PID ที่ควบคุมมุมของเพนดูลัมให้ตั้งตรง ส่วนกำเนิดสัญญาณ CPG ได้ถูกจำลองบนคอมพิวเตอร์เพื่อศึกษารูปแบบของสัญญาณ และได้นำแนวคิดดังกล่าวมาเขียนเป็นโปรแกรมภาษาซีบน Arduino uno ทั้งนี้งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นไปที่กลไกการแกว่งขึ้นของเพนดูลัม ส่วนกลไกการควบคุมเพนดูลัมให้ตั้งตรงนั้น สามารถทำได้อย่างสมบูรณ์อยู่ก่อนแล้ว

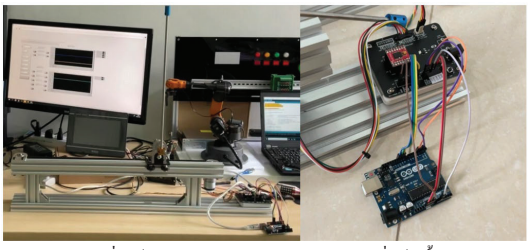
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เพนดูลัมผกผัน

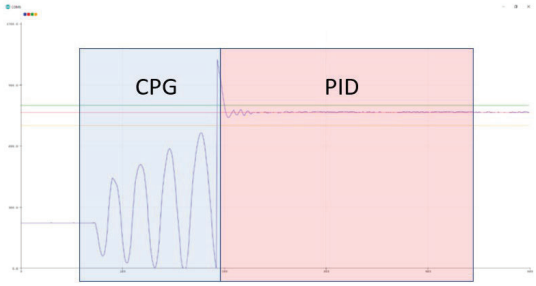
เพนดูลัมผกผันเป็นปัญหาพื้นฐานที่ใช้ในการเรียนการสอนและในการสาธิตการประยุกต์ทฤษฎีระบบควบคุม Inverted Pendulum เป็นระบบที่มีจุดสมดุลอยู่รอบแท่งหมุนด้วยกันสองจุด ได้แก่จุดที่เพนดูลัมตั้งตรงอยู่ในแนวดิ่ง และจุดที่เพนดูลัมอยู่ทิ้งตัวลงในดิ่ง จุดที่มีเสถียรภาพเมื่อไม่มีตัวควบคุมนั้นจะมีจุดเดียวคือ จุดที่แท่งทิ้งตัวลงเท่านั้น ไม่ว่าจะปล่อยเพนดูลัมที่จุดใดก็ตามเพนดูลัมจะตกลงสู่จุดนี้เสมอ F : แรงกระทำ การออกแบบและสร้างชุดทดลองเพนดูลัมผกผัน [4] เพื่อใช้ในการเรียนการสอนวิชาระบบควบคุม ตัวประมวลผลใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8 บิต ที่พัฒนาบนแพลตฟอร์ม Arduino IDE ด้วยภาษา C โครงสร้างทางกลของระบบใช้รางเลื่อนแรงเสียดทานต่ำ ทำหน้าที่รองรับเพนดูลัมที่ถูกเลี้ยงให้ตั้งตรงโดยมีตัวโพเทนชิโอมิเตอร์เป็นตัวตรวจจับตำแหน่งการเอียงของเพนดูลัม ออกแบบมาให้ผู้ใช้สามารถเรียนรู้การปรับจูนตัวควบคุม PID เพื่อศึกษาเสถียรภาพของระบบ, หาช่วงเวลาขึ้น, เวลาเข้าที่, ค่าโอเวอร์ชูต (Overshoots) และค่าแกว่งของระบบ (Oscillation) , โดยมีการประมาณและสมมติตัวแปรตั้งต้นดังนี้ เมื่อ F คือแรงกระทำ Force, M คือ มวลของ Cart (0.2 kg), m คือมวล Pendulum (0.05 kg), J คือ ความเฉื่อยของ Pendulum, moment of inertia 0.006 kg.m^2, x คือตำแหน่งการเคลื่อนที่ (Cart position 0 – 20000), N คือ แรงปฏิสัมพันธ์ระหว่างเพนดูลัมและรางเลื่อน coefficient of friction 0.1 N/m/sec, l คือความยาวของเพนดูลัม length center of mass 40 ซม, θ คือมุมของเพนดูลัมตามแนวแกน y ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพแบบจำลองของเพนดูลัมผกผัน



รูปที่ 2 ต้นแบบระบบควบคุมเพนดูลัมผกผันที่สร้างขึ้น



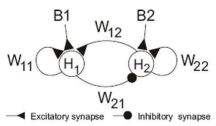
รูปที่ 3 การสังเกตุพฤติกรรมการแกว่งขึ้นของเพนดูลัมจากต้นแบบปฏิบัติการที่สร้างขึ้น

จากการศึกษาพฤติกรรมการแกว่งขึ้นของเพนดูลัมดังรูปที่ 3 ในช่วงเริ่มต้นพบว่ามีลักษณะที่สอดคล้องกับรูปคลื่นไซน์ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำโมเดล CPG มาใช้ในการแก้ปัญหาการแกว่งขึ้นของเพนดูลัม อย่างไรก็ตามสัญญาณ CPG ที่ได้จากการจำลองอยู่ในรูปแบบเชิงมุม จำเป็นต้องมีการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเชิงเส้นและเชิงมุมหากจะนำไปใช้กับการควบคุมมอเตอร์

2.2 ตัวกำเนิดรูปแบบสัญญาณแบบศูนย์กลาง

หลักของวิธีการควบคุม Central Pattern Generator (CPG) [5] ที่ผ่านมา การแกว่งขึ้นของระบบเพนดูลัมกลับหัว มักใช้เทคนิค การสะสมพลังงานจลน์ ทำการแกว่งเพนดูลัมจากด้านล่างจนกระทั่ง กลับขึ้นมาด้านบน แต่การทำลักษณะดังกล่าว ต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความสามารถในการประมวลผลสูง เพราะมีการคำนวณจำนวนมาก เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว เทคนิคการแกว่งขึ้นด้วย CPG ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถทำงานได้บนไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต โดยมีโค้ดภาษาซีเพื่อสร้างสัญญาณ CPG เป็นดังรูป สัญญาณเอาต์พุตH1 และ H2 เมื่อนำมาพล็อตได้เป็นกราฟ ดังรูป ซึ่งสอดคล้องกับกราฟที่ได้จากโปรแกรม Simulink

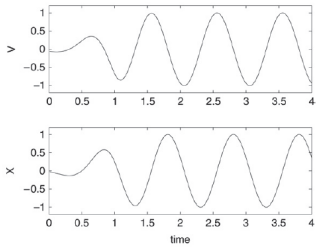
```
WeightH1_H1  =  alph*cos(phi);
WeightH2_H2  =  alph*cos(phi);
WeightH1_H2  =  alph*sin(phi);
WeightH2_H1  = -alph*sin(phi);

BiasH1       = 0.0;
BiasH2       = 0.0;
```




```
activityH1 = (WeightH1_H1*outputH1+WeightH1_H2*outputH2+BiasH1);
activityH2 = (WeightH2_H2*outputH2+WeightH2_H1*outputH1+BiasH2);
outputH1 = (tanh(activityH1));
outputH2 = (tanh(activityH2));
```

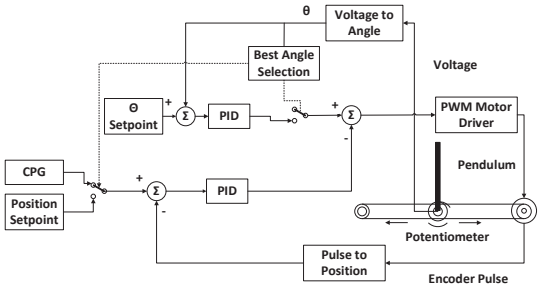
รูปที่ 4 ตัวกำเนิดรูปแบบสัญญาณแบบศูนย์กลาง Central Pattern Generator Neural สองตัวที่เชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์

ปัจจุบันงานวิจัยการใช้ CPG ร่วมกับหุ่นยนต์ ได้เริ่มมีจำนวนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เช่นการใช้โมเดล CPG กับหุ่นยนต์ Hexapod และ Octopod



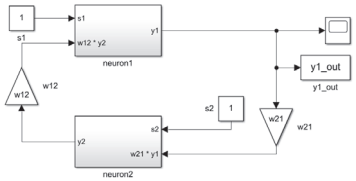
รูปที่ 5 กำเนิดรูปแบบ CPG ที่ไม่เชิงเส้นโดยมีเงื่อนไขเริ่มต้นแบบสุ่มที่ต่างกันพลอต ในแกนเวลา

การประยุกต์ใช้ CPG ในศาสตร์ด้านชีววิทยา, คณิตศาสตร์ และหุ่นยนต์รวมเข้าด้วยกัน CPG ถือได้ว่าเป็นงานวิจัยที่มีประโยชน์และน่าสนใจ [6-7] จึงเป็นที่มาของการนำ CPG เข้ามาใช้ในงานวิจัยนี้ โดยในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวคิดใช้สัญญาณออสซิลเลเตอร์จาก CPG แกว่งเพนดูลัมในช่วงต้นดังรูปที่ 6

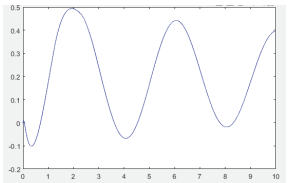


รูปที่ 6 กรอบแนวคิดใช้สัญญาณออสซิลเลเตอร์จาก CPG แกว่งเพนดูลัมในช่วงต้น

การทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ ขณะแกว่งขึ้นของเพนดูลัมด้วยการใช้ CPG ที่เหมาะสม โดยการทดลองเปลี่ยนค่าตัวแปร W11, W12, W21, W22, H1 ตามลำดับ ด้วยการจำลองการสร้างสัญญาณ CPG [8] ดังรูปที่ 7



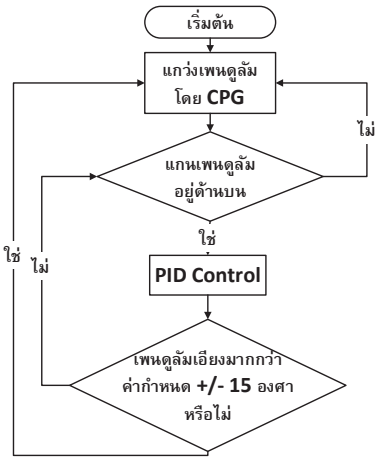
(a) การจำลองสัญญาณ CPG ใช้ Simulink



(b) สัญญาณ CPG ที่ได้จากการจำลอง Simulink อยู่ในรูปแบบเชิงมุม

รูปที่ 7 การจำลองสัญญาณ CPG ขณะแกว่งขึ้นของเพนดูลัมด้วย Simulink

จากผังผังแนวคิดขั้นตอนการควบคุมเพนดูลัมผกผันนั้นสามารถแยกขั้นตอนออกเป็น 2 ส่วนหลักดังนี้คือ 1. (CPG) เพื่อสร้างสัญญาณและนำไปควบคุมการแกว่งขึ้นของเพนดูลัม และ 2. PID เพื่อการควบคุมระบบให้มีเสถียรภาพตั้งตรงอยู่ได้



รูปที่ 8 ผังแนวคิดขั้นตอนการควบคุมเพนดูลัมผกผัน

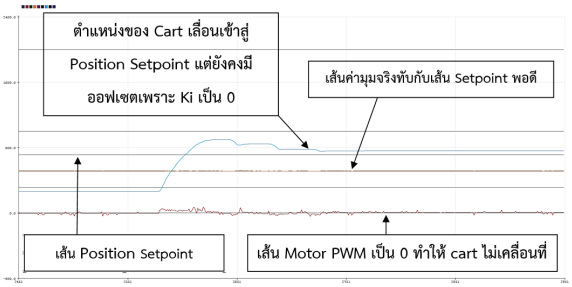
2.3 การปรับค่าพารามิเตอร์ Kp, Ki, Kd ใน PID

หลักการปรับค่าพารามิเตอร์ Kp, Ki, Kd ของงานวิจัยนี้เป็นแบบการลองผิดลองถูก (trial and error) ซึ่งมีขั้นตอน 3 ขั้นตอนดังนี้ 1. ปรับค่า Ki, Kd เป็นศูนย์ จากนั้นค่อยๆ เพิ่มค่า Kp 2. เมื่อเพิ่มค่า Kp จนกระทั่งระบบเริ่มแกว่งจนเห็นได้ชัด จึงจะลดค่า Kp จนระบบแกว่งน้อยลงหรือหยุดแกว่ง 3. จากนั้นเพิ่มค่า Kd เพื่อต้านทานการเปลี่ยนแปลงช่วงขณะจนกระทั่งเพนดูลัมตั้งตรงตามได้ต้องการ ระบบนี้ไม่มีการใช้ Ki คือจะให้ค่า Ki เป็นศูนย์ เนื่องจากต้องการการตอบสนองที่รวดเร็ว หากตรวจจับได้ว่าเพนดูลัมเอียงออกนอกช่วงที่กำหนดตัวควบคุมจำเป็นต้องส่งค่า PWM Output ไปชดเชยให้รางเลื่อนเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้ามอย่างทันทีทันใด จึงทำให้เทอม Ki ซึ่งปกติใช้ในการลดค่า error ให้เข้าใกล้ ศูนย์ เมื่อระบบอยู่ในสภาวะ steady state กระบวนการอินทิเกรตหรือการสะสมค่าของเทอม Ki เป็นการเกิดช้า เนื่องจากจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาช่วงหนึ่ง Ki จึงไม่เหมาะกับระบบที่ต้องการการตอบสนองอย่างรวดเร็วเช่นในกรณีเพนดูลัมนี้

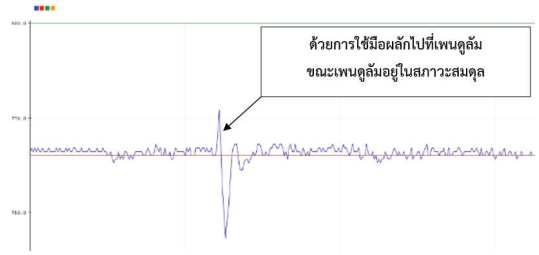
2.4 ผลตอบสนอง

การควบคุม PID ซึ่งผู้ทดลองจะได้ทดลองค่าแกน Kp, Kd ให้เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้เพนดูลัมตั้งตรงอยู่ได้ โดยจะเห็นว่า เส้นค่ามุมจริงทับกับ มุม Setpoint ค่าอยู่ในช่วง (0-1023) พอดี และตำแหน่งของ Cart เคลื่อนเข้าใกล้ Position Setpoint ค่าอยู่ในช่วง (0-2,000) เป็นผลให้เส้น Motor PWM (+/- 255) เป็น 0 และหน่วยทั้ง 3 ตัวแปร ของ เป็น Digital Count ดังรูปที่ 9 โดยแกนเวลาจะส่งค่าออกมาทุกๆ 0.05 วินาที ค่า

เกนที่เหมาะสมนี้ สามารถตอบสนองต่อการรบกวนจากแรงกระทำภายนอก (df, disturbance force) ใช้มือผลัก ดังรูปที่ 10



รูปที่ 9 ผลตอบสนอง Parameter Gain



รูปที่ 10 ผลตอบสนองตัวควบคุม PID ที่ใส่แรงกระทำภายนอกรบกวน (Disturbance) ด้วยการใช้มือผลักไปที่เพนดูลัม ขณะอยู่ในสภาวะสมดุล

3 สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบทางกลของระบบเพนดูลัมผกผันแนวคิดใหม่ในการออกแบบการแกว่งขึ้นของเพนดูลัม โดยส่วนแรกเทคนิค CPG สามารถจำลองระบบโดยใช้ MATLAB Simulink ได้ จากส่วนจำลองพบว่าสัญญาณ CPG นั้นมีส่วนช่วยในการศึกษารูปแบบการแกว่งขึ้นของเพนดูลัม ก่อนเข้าสู่การควบคุมแบบ PID ได้อย่างง่ายขึ้น อย่างไรก็ตามส่วนที่สองเป็นการสร้างและทดลองการควบคุม PID จากต้นแบบจริง ตั้งแต่การสร้างชิ้นงาน รวมไปถึงเทคนิคการจูนค่าพารามิเตอร์ Kp, Ki, Kd ด้วยวิธี Trial and error พบว่าระบบสามารถเลี้ยงให้เพนดูลัมตั้งตรงอยู่ได้แม้มีแรงกระทำจากภายนอก แสดงถึงความเป็นไปได้ ที่จะผสานแนวคิดการออกแบบการแกว่งขึ้นของเพนดูลัมด้วยเทคนิค CPG ร่วมกับ PID กับงานวิจัยในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] JITENDRA SINGH, INVERTED PENDULUM (Model-Based Control Design for Swing-up & Balance the Inverted Pendulum) Energy-Based Collocated Partial Feedback Linearization Control for Swing up

[2] Manoonpong, P., Pasemann, F., and Fischer, J. (2004). Neural processing of auditory-tactile sensor data to perform reactive behavior of walking machines. Proceedings of the IEEE International Conference on Mechatronics and Robotics, Vol. 1, pp. 189–194.

[3] Åström , K.J. - Furuta, K. : Swinging Up a Pendulum by Energy Control. Proceedings of the 1996 IFAC World Congress, (San Francisco, CA). July, 1996

[4] สุธี โสมาเกตุ, การออกแบบชุดทดลองระบบควบคุมเพนดูลัมผกผันใช้ตัวควบคุม PID, 12th Conference of Electrical Engineering Network 2020, 26-28 สิงหาคม พ.ศ. 2563 รอยัลฮิลล์ กอล์ฟ รีสอร์ทแอนด์ สปา จังหวัดนครนายก, pp374 – 378, 2020.

[5] Manoonpong, P.; Pasemann, F.; Woergoetter, F. (2008). Sensor-Driven Neural Control for Omnidirectional Locomotion and Versatile Reactive Behaviors of Walking Machines. Robotics and AutonomousSystems,doi:10.1016/j.robot.2007.07.004,Elsevier Science, Vol 56(3), pp.265-288.

[6] Arena, P. The central pattern generator: A paradigm for artificial locomotion. Soft Computing, 4(4), pp.251–266. 2000.

[7] Crespi, A., & Ijspeert, A. J. AmphiBot II: An amphibious snake robot that crawls and swims using a central pattern generator. In Proceedings of the 9th international conference on climbing and walking robots, pp.19–27, 2006.

[8] Xu, W.; Fang, F. C.; Bronlund, J. & Potgieter, J. Generation of rhythmic and voluntary patterns of mastication using Matsuoka oscillator for a humanoid chewing robot Mechatronics, pp.205 – 217, 2009.

เกี่ยวกับผู้เขียน

สุธี โสมาเกตุ การศึกษา วศ.ม. / วิศวกรรมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พ.ศ. 2560 ปัจจุบันทำงานอาจารย์ประจำคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, งานวิจัยที่สนใจ Control System, Automation Control

ผศ. นิธิพัฒน์ อิ่วสกุล การศึกษา วศ.ม. / วิศวกรรมไฟฟ้า ปัจจุบันทำงานอาจารย์ประจำคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, งานวิจัยที่สนใจ Control System, Power Electronics