

การควบคุมแรงบิดของเครื่องขันสกรูอัตโนมัติโดยการควบคุมแบบโครงข่ายประสาทเทียม (Torque Control of Auto-Screwdriver Machine by Neural Network Controller)

กฤติยา พาอิม¹, ชัยยากร จันทร์สุวรรณ¹, ชนะ รัชศิริ², และ คุณยุต เอี่ยมสะอาด¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

² ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

* ติดต่อ: โทรศัพท์: 086 884 4987

E-mail: krittiya.pa@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเทคนิคการควบคุมแบบโครงข่ายประสาทเทียมมาทำการควบคุมแรงบิดของเครื่องขันสกรูอัตโนมัติในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยการจำลองด้วยโปรแกรม Matlab เพื่อทำการออกแบบระบบควบคุมแรงบิดของเครื่องขันสกรูอัตโนมัติใหม่ จากการศึกษากระบวนการทำงานแบบเดิมพบว่า ระบบควบคุมการขันสกรูเป็นแบบเปิดหรือไม่มีระบบการควบคุมแบบป้อนกลับของแรงบิด ทำให้ผลการควบคุมแรงบิดมีความผิดพลาดจากค่ามาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นระบบควบคุมที่นำเสนอในบทความนี้เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงบิด มาใช้ส่งสัญญาณป้อนกลับให้กับระบบควบคุมโครงข่ายประสาทเทียม โดยระบบควบคุมนี้จะใช้เทคนิคระบบควบคุมโครงข่ายประสาทเทียมร่วมกับระบบควบคุมแบบพีไอดี ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมนี้จะนำมาทำการเรียนรู้โครงข่ายเป็นข้อมูลป้อนเข้าป้อนเข้าเป็นสัญญาณป้อนเข้าระบบ, สัญญาณที่ออกจากระบบ และค่าความผิดพลาดระหว่างสัญญาณป้อนเข้ากับสัญญาณออกจากระบบ และข้อมูลผลลัพธ์คือค่าพารามิเตอร์อัตราขยายระบบควบคุมพีไอดี สำหรับการทดลองจะทำการเรียนรู้โครงข่ายประสาทเทียม โดยจะนำผลการเรียนรู้ที่ได้ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดมาประยุกต์ใช้ในการปรับค่าอัตราขยายของตัวแปรขยายพี, ไอและดีของการควบคุมแรงบิดสำหรับการขันสกรู ซึ่งผลการทดสอบพบว่าระบบควบคุมแรงบิดแบบใหม่สามารถปรับค่าอัตราขยายของพี, ไอและดีได้โดยอัตโนมัติ และสามารถควบคุมการทำงานให้เป็นไปตามที่ต้องการได้ตามการเปลี่ยนแปลงของสภาวะการทำงาน

คำสำคัญ: การควบคุมแรงบิด, การควบคุมแบบโครงข่ายประสาทเทียม, การขันสกรู, อุปกรณ์วัดแรงบิด

Abstract

This article has introduced a control technique for artificial neural networks to Torque Control of Auto-Screwdriver Machine of screw in hard disk industrial using the Matlab Software. To design the control torque system of automatic screw machine. Form the traditional system, the screw control is open loop or non-feedback system of torque. The result of the torque control is error more than standard value. This article as a feedback control system is installing to a torque transducer. The feedback signal to

control the neural network. The control system is using a technical neural network control with a PID controller. The input neural network system are reference signal, output signal and the error and gain control parameters of PID controller result. For the experiment to learn the results the lowest error was applied to adjust gain PID of the control torque for screws. The results showed that the new torque control system can adjust gain P, I and D can be automated and can be controlled according to demand.

Keywords: Torque control, Neural network control, Screwdriver, Torque transducer.

1.บทนำ

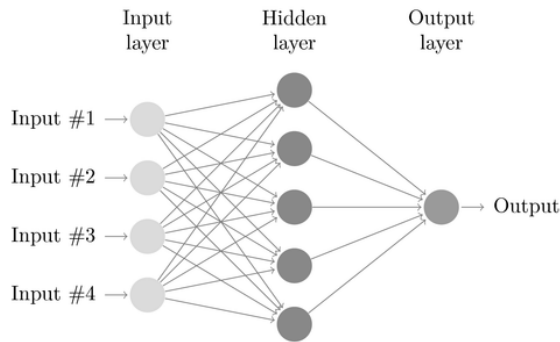
ในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสไดรฟ์การประกอบนั้น ถือว่าเป็นสิ่งสำคัญมากส่วนหนึ่ง เพราะว่าอุปกรณ์ที่สำคัญทุกตัวไม่ว่าจะเป็นหัวอ่านเขียนข้อมูล (Slider or Read/Write Head) หรือแผ่นบันทึกข้อมูล (Media) จะมีการยึดด้วยการขันสกรู และทั้งหมดจะถูกบรรจุอยู่ในกล่องปกคลุม (Case) ทั้งหมด[9] โดยการปิดกล่องปกคลุมนั้นจะใช้การขันสกรูเช่นเดียวกัน ดังนั้นการขันสกรูจึงสำคัญมาก ถ้าหากขันหลวมไปฝุ่นผงอาจจะเข้าไปในกล่องฮาร์ดดิสได้ หรือถ้าขันสกรูแน่นเกินไปก็อาจจะทำให้ชิ้นงานเสียหายได้ ดังนั้นจำเป็นต้องมีการขันสกรูในการแรงบิดที่เหมาะสมซึ่งการขันสกรูแต่ละจุดนั้นจะใช้แรงบิดไม่เท่ากัน เครื่องที่ใช้ในการขันสกรูจึงต้องมีความแม่นยำสูงเพื่อให้ชิ้นงานจะได้ไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากการขันสกรู การขันสกรูเพื่อประกอบฮาร์ดดิสเป็นกระบวนการที่สำคัญต้องการความแม่นยำมาก ยิ่งฮาร์ดดิสที่มีขนาดเล็กยิ่งต้องระมัดระวังมากขึ้น เนื่องจากในฮาร์ดดิสตัวเล็กต้องใช้แรงบิดในการขันสกรูน้อยกว่าในฮาร์ดดิสตัวใหญ่ทำให้ยากต่อการควบคุม

จากการศึกษาระบบการทำงานของเครื่องขันสกรู พบว่าระบบควบคุมของเครื่องขันสกรูหลายๆเครื่องส่วนใหญ่เป็นระบบควบคุมแบบเปิดหรือไม่มีระบบการควบคุมแบบป้อนกลับของแรงบิด ซึ่งถ้าระบบของเครื่องเปลี่ยนไปอาจส่งผลให้เครื่องทำงานได้ไม่ตรงกับความต้องการ ได้ค่าผลลัพธ์ของการทำงานที่เปลี่ยนไป [8] จึงทำให้เกิดการศึกษาเพื่อพัฒนาระบบควบคุมแบบปิดของการขันสกรูซึ่งมีหลายวิธี โดยจุดประสงค์ที่สำคัญคือ เพื่อควบคุมแรงบิดให้แม่นยำที่สุด

วิธีการในการออกแบบระบบควบคุมจะทำการควบคุมแรงบิดของระบบ โดยในบทความนี้ได้ทำการออกแบบสัญญาณควบคุมเพื่อบังคับการทำงานของมอเตอร์แกนอาร์ (R-Axis) ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่ใช้ในการขันสกรู โดยให้อินพุตเข้ามอเตอร์แกนอาร์เป็นค่าความเร็วและสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากมอเตอร์แกนอาร์เป็นค่าแรงบิด ซึ่งใช้อุปกรณ์วัดแรงบิด (Torque Transducer) เป็นตัววัดสัญญาณป้อนกลับ ส่วนตัวควบคุมระบบนั้นจะใช้ระบบควบคุมพีไอดีร่วมกับเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม [6]

2.โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบด้วยโหนดในแต่ละชั้นและการเชื่อมต่อกันภายในระหว่างชั้น ชั้นแรกจะเป็นชั้นอินพุต จะมีเพียงชั้นเดียวจำนวนโหนดจะมีเท่ากับจำนวนของข้อมูลป้อนเข้าชั้นซ่อน โดยทั่วไปจำนวนชั้นและจำนวนโหนดจะเป็นเท่าใดไม่มีข้อจำกัดแน่นอนตายตัว แต่ถ้ามีจำนวนชั้นและจำนวนโหนด มากๆ จะทำให้ช้ามากในการคำนวณ (Overfitting) และผลที่ได้ดีหรือไม่ดีไม่อาจจะทราบได้ และ ถ้ามีจำนวนชั้นและจำนวนโหนดน้อยเกินไป จะทำให้ผลการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนไม่ลู่เข้าจุดต่ำสุด (Convergent) และผลลัพธ์ที่ได้จะไม่ถูกต้อง ชั้นเอาต์พุต จะมีชั้นเดียวและจะมีจำนวนโหนดเท่ากับจำนวนผลลัพธ์ที่ต้องการ[7]



รูปที่ 1 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

ค่าอินพุต (p) ถูกส่งผ่าน นำไปคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก (w) เป็นปริมาณสเกลาร์ กำหนดอยู่ในแต่ละการเชื่อมต่อ ผลคูณที่ได้อยู่ในรูป wp นำค่าที่ได้นี้ไปรวมกับค่าไบแอสจะได้ผลรวมกันของค่าที่ได้เรียกว่าค่า Net Input (n) จากนั้นถูกส่งผ่านไปยังฟังก์ชันการถ่ายโอนหรือฟังก์ชันการกระตุ้น (Transfer or Activation Function) ผลลัพธ์ที่ได้ออกมาเป็นค่าเอาต์พุต (a) เป็นปริมาณสเกลาร์ สามารถเขียนสมการของค่าอินพุตและเอาต์พุตได้ [9]

$$a = f(wp + b) \quad (1)$$

$$n = w_{1,1}p_1 + w_{1,2}p_2 + \dots + w_{1,R}p_R + b \quad (2)$$

หรือ

$$n = wp + b \quad (3)$$

$$a = f(n) \quad (4)$$

การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการเรียนรู้และขั้นตอนการทดสอบ ซึ่งขั้นตอนการเรียนรู้จะเรียนรู้จากข้อมูลอินพุต และข้อมูลเอาต์พุต แล้วทำการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อหารูปแบบและความสัมพันธ์ภายในของข้อมูลอินพุต และเอาต์พุต ส่วนขั้นตอนการทดสอบ จะนำโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ออกแบบและฝึกสอนแล้ว มาใช้งานต่อไปโดยจะใช้อินพุตชุดใหม่ใส่เข้าไปเพื่อหาเอาต์พุตที่ต้องการ [10]

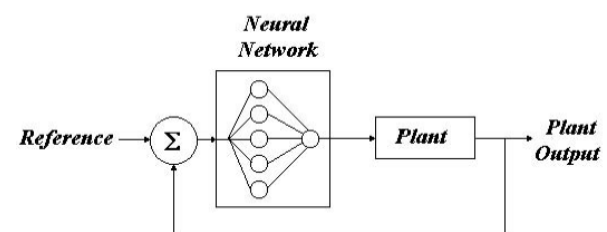
3.การควบคุมโดยโครงข่ายประสาท

หมายถึงวิธีการควบคุมโดยใช้โครงข่ายประสาท และวิธีการออกแบบระบบอยู่ในพื้นฐานโครงข่ายประสาทของแพลนท์ โดยทั่วไปของโครงข่ายประสาทคือการประมาณหน้าที่ของอุปกรณ์ โดยเฉพาะเมื่อเราไม่ทราบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแพลนท์

โครงข่ายประสาทจะทำให้สามารถออกแบบตัวควบคุมได้ โดยเราต้องมีข้อมูลเกี่ยวกับระบบในรูปแบบของข้อมูลอินพุต เอาต์พุต ในอีกแง่หนึ่งคือ โครงข่ายประสาทสามารถเปรียบเสมือนกล่องดำ (Black box) ของแบบจำลองระบบ ดังนั้นตัวควบคุมโครงข่ายประสาทจะได้จากการเรียนรู้โครงข่ายประสาท และความสามารถที่เหมาะสมสำหรับการปรับตัวควบคุมต้องปรับให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม การประมาณแบบจำลองของระบบ เรียกว่า Identified Model เมื่อเราป้อนข้อมูลอินพุต เอาต์พุตของระบบเพื่อฝึกโครงข่ายประสาทให้แบบจำลองประมาณของระบบ เราจะได้รับ Neural Network Identified Model ของระบบ ซึ่งวิธีนี้มีการใช้ในการควบคุมโดยโครงข่ายประสาททางอ้อม

3.1 การควบคุมโดยโครงข่ายประสาททางตรง

การออกแบบทางตรง หมายความว่าโครงข่ายประสาทดำเนินการโดยตรงกับตัวควบคุม โครงข่ายประสาทจะต้องผ่านการฝึกเป็นตัวควบคุมตามบางคุณสมบัติ โดยใช้ข้อมูลอินพุต เอาต์พุตที่เป็นข้อมูลตัวเลข หรือใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบก็ได้

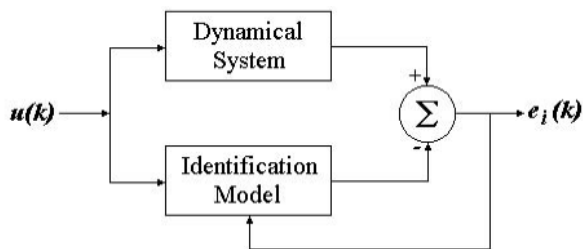


รูปที่ 2 ตัวควบคุมโครงข่ายประสาทโดยตรง

3.2การควบคุมโดยโครงข่ายประสาททางอ้อม

การออกแบบตัวควบคุมโครงข่ายประสาททางอ้อมจะเกี่ยวข้องข้อกับสองส่วน ส่วนแรกประกอบด้วยกระบวนการเปลี่ยนแปลงระบบโดยโครงข่ายประสาทจากข้อมูลการฝึก ที่เรียกว่า System Identification ในส่วนที่สอง การออกแบบการควบคุมค่อนข้างจะง่าย แม้ตัวควบคุมที่ได้มานั้นไม่ใช่มาจากมาตรฐานแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ แต่จะมาจาก Neural Network Identified Model ซึ่ง Neural

Network Identified Model ของระบบนั้นจะไม่ได้เป็นแบบเชิงเส้น



รูปที่ 3 System Identification Model

จากรูปที่ 2 ปัญหาทั่วไปของ System Identification ในระบบไม่เชิงเส้น พารามิเตอร์ของ Identified Model จะถูกประมาณเป็นแบบจำลองที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เพื่อให้เกิดความแตกต่างระหว่างเอาต์พุตของระบบกับแบบจำลองเอาต์พุตตลอดเวลาให้น้อยที่สุด โครงข่ายประสาทจะเหมาะสมสำหรับ System Identification ที่ไม่ทราบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และทราบแค่การทำงานของระบบในรูปแบบของข้อมูลตัวอย่างอินพุตเอาต์พุต [7]

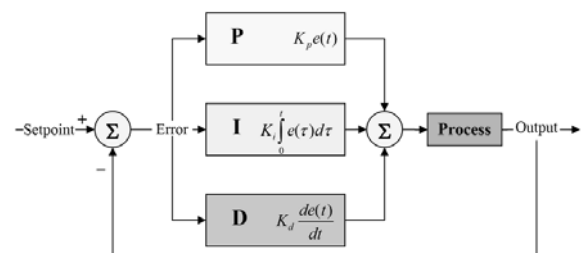
โครงข่ายประสาทเทียมมีการใช้ในงานอุตสาหกรรมหลายชนิดสำหรับการปรับการควบคุม การหาเอกลักษณ์ การจดจำรูปแบบ และการตรวจสอบความผิดพลาด สาเหตุของการใช้โครงข่ายประสาทเทียมคือ

- สามารถเรียนรู้รูปแบบจากข้อมูลเดิม
- สามารถสร้างค่าป้อนเข้าไปยังผลลัพธ์จากข้อมูลดิบโดยไม่จำเป็นต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่างกัน
- การดำเนินการในคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียมเป็นเรื่องง่าย
- มีหลายหลายวิธีการเรียนรู้ทั้งออนไลน์และออฟไลน์ ซึ่งสามารถปรับให้เข้ากับปัญหา

โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในบทความนี้การควบคุมโครงข่ายประสาทเทียมแบบทางอ้อม[7] ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้หลังจากการเรียนรู้โครงข่ายประสาทเทียมแล้วจะถูกนำมาใช้ในการปรับค่าอัตราขยายของพีไอและดีแบบอัตโนมัติ

4.การปรับค่าตัวควบคุมพีไอดีโดยโครงข่ายประสาทเทียม

เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณเป็นค่าความผิดพลาดที่หามาจากความแตกต่างของตัวแปรในกระบวนการและค่าที่ต้องการ ตัวควบคุมจะพยายามลดค่าผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการ ค่าตัวแปรของ PID ที่ใช้จะปรับเปลี่ยนตามธรรมชาติของระบบ วิธีคำนวณของ PID ขึ้นอยู่กับสามตัวแปรคือค่าสัดส่วน (Proportional), ปริพันธ์ (Integral) และอนุพันธ์ (Derivative) ค่าสัดส่วนกำหนดจากผลของความผิดพลาดในปัจจุบัน, ค่าปริพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของผลรวมความผิดพลาดที่ซึ่งพ่วงผ่านไป, และค่าอนุพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด น้ำหนักที่เกิดจากการรวมกันของทั้งสามนี้จะใช้ในการปรับกระบวนการ [8]



รูปที่ 4 ระบบการควบคุมแบบพีไอดี [5]

โดยการปรับค่าคงที่ใน PID ตัวควบคุมสามารถปรับรูปแบบการควบคุมให้เหมาะกับที่กระบวนการต้องการได้ การตอบสนองของตัวควบคุมจะอยู่ในรูปของการไหวตัวของตัวควบคุมจนถึงค่าความผิดพลาดค่าโอเวอร์ชูต (overshoots) และ ค่าแกว่งของระบบ (oscillation) วิธี PID ไม่รับประกันได้ว่าจะเป็นระบบควบคุมที่เหมาะสมที่สุด หรือสามารถทำให้กระบวนการมีความเสถียรแน่นอน

การประยุกต์ใช้งานบางครั้งอาจใช้เพียงหนึ่งถึงสองรูปแบบ ขึ้นอยู่กับกระบวนการเป็นสำคัญ พีไอดีบางครั้งจะถูกเรียกว่าการควบคุมแบบ PI, PD, P หรือ I ขึ้นอยู่กับว่าใช้รูปแบบใดบ้าง

การควบคุมแบบ PID เป็นการรวมกันของเทอมของตัวแปรทั้งสามตามสมการ

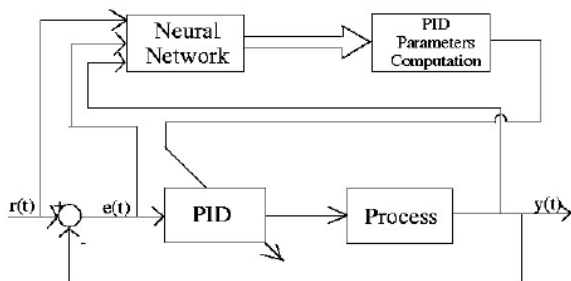
$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (5)$$

เทอมสัดส่วน, ปริพันธ์, และอนุพันธ์ จะนำมารวมกัน

เป็นสัญญาณขาออกของการควบคุมแบบ PID

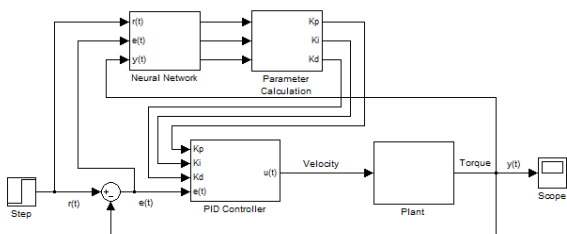
กำหนดให้ $u(t)$ เป็นสัญญาณขาออกของตัวควบคุม

การปรับตัวควบคุมในบทความนี้ประกอบด้วย โครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้เกณฑ์การปรับค่า อัตราขยายของ PID เพื่อลดข้อผิดพลาดที่สำคัญ [7] ในรูปที่ 5 แสดงให้เห็นถึงการควบคุมที่มีโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการปรับพารามิเตอร์การควบคุม โดยข้อมูลป้อนเข้าโครงข่ายประสาทเทียมคือ สัญญาณป้อนเข้าระบบ (Reference, $r(t)$), สัญญาณที่ออกจากระบบ (Output, $y(t)$) และค่าความผิดพลาดระหว่างสัญญาณป้อนเข้ากับสัญญาณออกจากระบบ (Error, $e(t)$) ส่วนผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมคือ ค่าพารามิเตอร์สำหรับการปรับแบบจำลองของระบบ โดยค่าพารามิเตอร์ถูกใช้เพื่อการคำนวณค่า สัดส่วน, ปริพันธ์ และ อนุพันธ์ ของระบบควบคุม



รูปที่ 5 การปรับค่า PID อัตโนมัติโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

การใช้คอมพิวเตอร์จำลองผลการปรับค่าอัตโนมัติ ถูกใช้ในโปรแกรม Matlab/Simulink ดังแสดงในรูปที่ 6

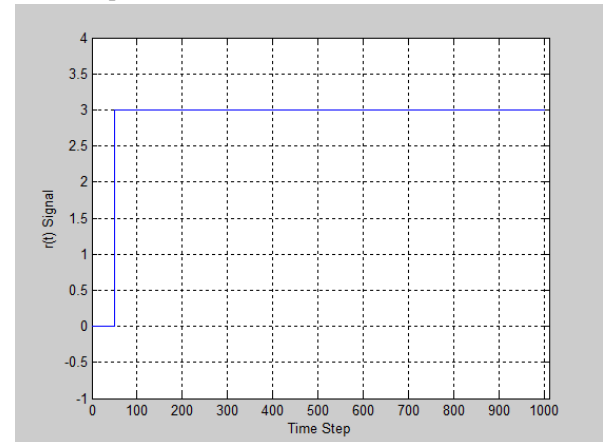


รูปที่ 6 การจำลองระบบใน Matlab/Simulink

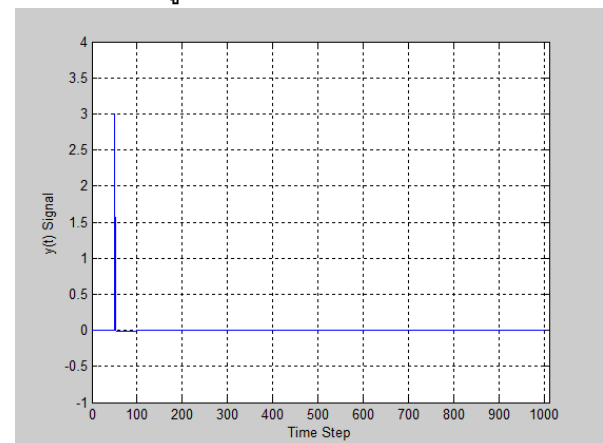
5.วิธีการและผลการทดสอบ

การออกแบบระบบควบคุมโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมนั้น จะเริ่มจากการเรียนรู้โครงข่าย

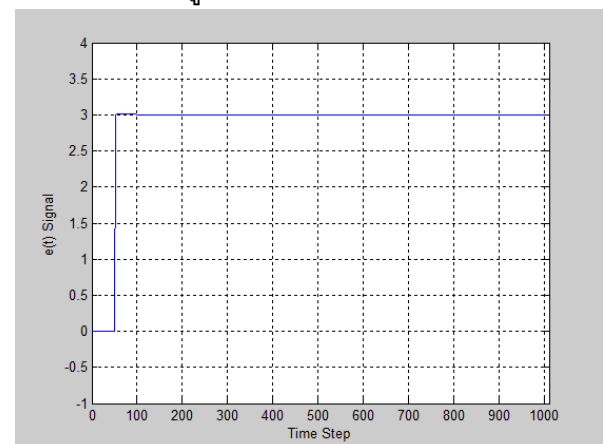
ประสาทโดยนำค่าข้อมูลของ $r(t)$, $y(t)$ และ $e(t)$ จาก ระบบมาเป็นข้อมูลป้อนเข้าสำหรับการเรียนรู้ โดยแสดงในรูปที่ 7-9



รูปที่ 7 Reference Signal



รูปที่ 8 Output Signal



รูปที่ 9 Error Signal

โดยการเรียนรู้โครงข่ายประสาทรุ่น ได้กำหนดค่าตัวแปรต่างๆในการเรียนรู้ดังนี้

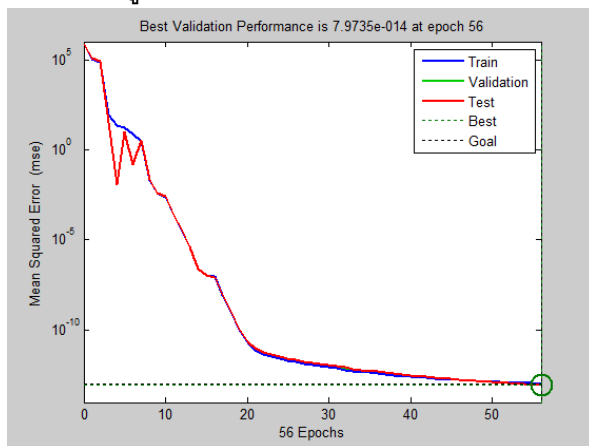
จำนวนโหนด ชั้นอินพุต : 3 โหนด

ชั้นฮอน : 180 โหนด

ฟังก์ชันถ่ายโอนในการเรียนรู้ : Tangent Sigmoid

ฟังก์ชันการเรียนรู้ : Levenberg-Marquardt

โดยผลของการเรียนรู้จะดูได้จากประสิทธิภาพของ
โครงข่ายประสาท(MSE) ซึ่งประสิทธิภาพของ
โครงข่ายที่ทำการทดสอบนั้น อยู่ที่ประมาณ $7.97\text{e-}14$
ซึ่งแสดงในรูปที่ 10



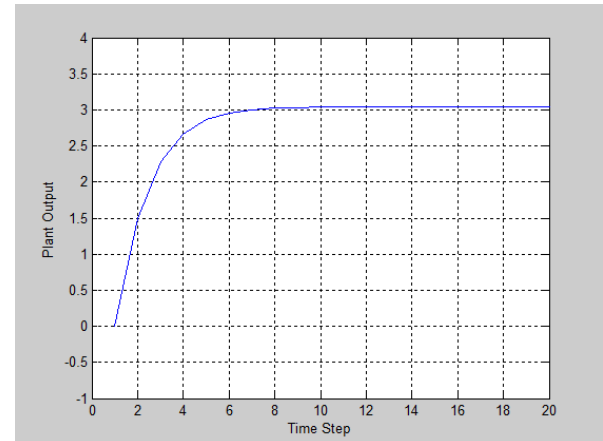
รูปที่ 10 Performance of training

เมื่อได้ค่าโครงข่ายที่พอใจแล้วจะนำโครงข่ายที่ได้นี้ไป
ใช้ในระบบในรูปที่ 6

การทดสอบระบบที่นำโครงข่ายประสาทเทียมไป
ใช้นั้น จะทำการทดสอบโดยการเปลี่ยนค่าแบบจำลอง
ของระบบมอเตอร์ขั้นสูง เพื่อดูว่าโครงข่ายประสาท
เทียมที่ใช้ร่วมกับระบบควบคุมพีไอดีสามารถปรับ
อัตราขยาย PID ได้อัตโนมัติและผลลัพธ์ของระบบ
เป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่ โดยจะทำการ
เปรียบเทียบระบบควบคุมก่อนการเรียนรู้กับระบบ
ควบคุมหลังจากเรียนรู้ใหม่ โดยสัญญาณป้อนเข้าเป็น
แบบสเต็ปที่มีค่าเท่ากับ 3 และแบบจำลองของระบบ
มอเตอร์ขั้นสูงเป็น

$$T.F. = \frac{0.723}{0.055s^2 + 9.15s + 1} \quad (6)$$

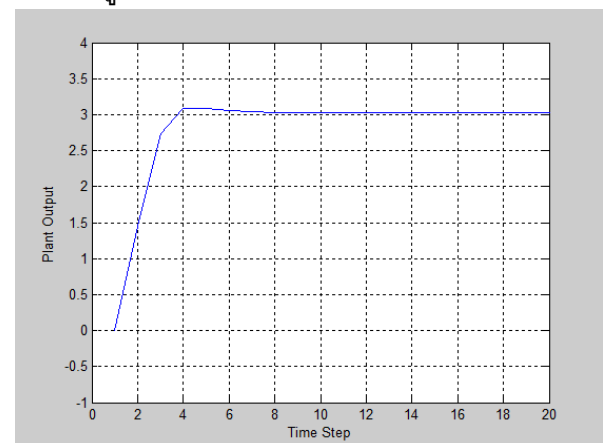
โดยผลลัพธ์ที่แสดงในรูปที่ 11 เป็นการแสดงผลลัพธ์ที่
แบบจำลองของระบบมอเตอร์เป็นดังสมการที่ 6



รูปที่ 11 แสดงผลลัพธ์ของแบบจำลองสมการที่ 6
เมื่อแบบจำลองของระบบมอเตอร์ขั้นสูงเปลี่ยนไป
เล็กน้อย ดังสมการที่ 7

$$T.F. = \frac{1}{0.5s^2 + 9.5s + 1} \quad (7)$$

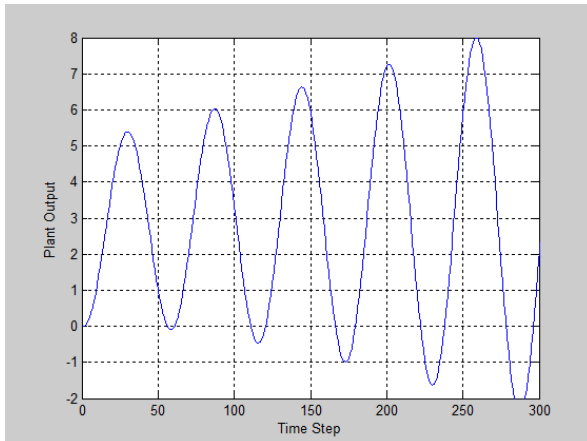
พบว่าผลลัพธ์ของระบบยังอยู่ในเกณฑ์ที่พอรับได้
แสดงในรูปที่ 12



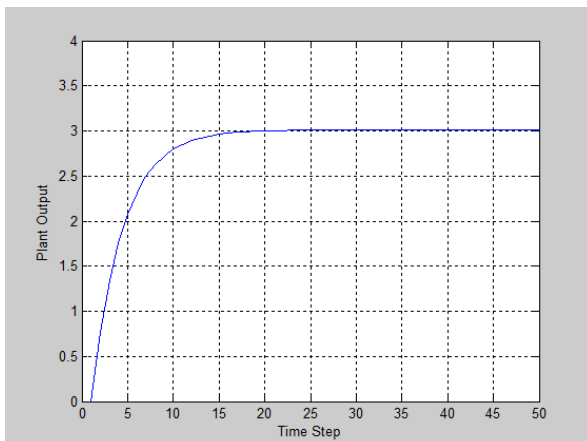
รูปที่ 12 แสดงผลลัพธ์ของแบบจำลองสมการที่ 7
เมื่อแบบจำลองของระบบมอเตอร์ขั้นสูงเปลี่ยน
เปลี่ยนมาก ดังสมการที่ 8

$$T.F. = \frac{0.5}{5s^2 + 1.5s + 1} \quad (8)$$

จะเห็นว่าระบบไม่สามารถควบคุมผลลัพธ์ได้แล้ว ดัง
แสดงในรูปที่ 13 ดังนั้นจะต้องทำการเรียนรู้โครงข่าย
ประสาทเทียมใหม่ซึ่งเป็นการเรียนรู้แบบออฟไลน์ และ
นำโครงข่ายใหม่ไปใส่ในระบบควบคุม และรูปที่ 14
เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการเรียนรู้ใหม่เมื่อแบบจำลอง
ของระบบมอเตอร์ขั้นสูงเปลี่ยนไป



รูปที่ 13 แสดงผลลัพธ์ของแบบจำลองสมการที่ 8 เมื่อระบบมีการเปลี่ยนแปลงมาก



รูปที่ 14 แสดงผลลัพธ์ของแบบจำลองสมการที่ 8 ที่ได้จากการเรียนรู้โครงข่ายประสาทใหม่แล้ว

5.สรุปผลการทดสอบ

จากการทดลองพบว่าระบบควบคุมแบบฟัฟซี่ที่ใช้ร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียมนั้น เมื่อแบบจำลองของระบบมอเตอร์มีค่าเปลี่ยนไปแต่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ระบบควบคุมฟัฟซี่เดิมพอรับได้ระบบก็ยังสามารถควบคุมได้อยู่ แต่เมื่อแบบจำลองของระบบมอเตอร์มีค่าเปลี่ยนแปลงไปมากๆแล้ว ระบบควบคุมใหม่นี้จะไม่สามารถควบคุมระบบให้เป็นไปตามต้องการได้ โดยต้องมีการตรวจสอบว่าค่าความผิดพลาดของระบบจากเดิมต่างมากหรือไม่ ถ้ามีค่าความผิดพลาดมาก จะต้องทำการเรียนรู้โครงข่ายประสาทเทียมใหม่ นำโครงข่ายที่เรียนรู้ใหม่ไปแทนที่โครงข่ายเก่า

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, สถาบัน

ค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม ที่ได้เอื้อเพื่อเอกสารและข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานการจัดประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 25

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Rivas-Echeverris, F., Rios-Bolivas, A. and Casales- Echeverris, J. *Neural Network-based Auto-Tuning for PID Controllers*, paper presented in Universidad de Los Andes Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería de Sistemas Dpto. de Sistemas de Control Mérida 5101, Vanezuela.
- [2] Han, W. Y., Han, J. W. and Lee, C. G. *Development of Self-tuning PID Controller based on Neural Network for Nonlinear Systems*, Proceeding of the 7th Mediterranean Conference on Control and Automatic (MED99) Haifa, Israel – June 28-30, 1999
- [3] Ang, K.H., Chong, G.C.Y., and Li, Y. (2005). *PID control system analysis, design, and technology*, IEEE Trans Control Systems Tech, 13(4), pp.559-576.
- [4] Hung T. Nguyen. (2002). *A First Course in Fussy and Neural Control*. CHAPMAN&HALL/CRC.
- [5] Radhesh Weblog (2008). *PID Controller Simplified*, URL: <http://radhesh.wordpress.com/2008/05/11/pid-controller-simplified>, on 30/6/2011
- [6] ชวพงษ์ สิงห์แพทย์ (2531). *การควบคุมอัตโนมัติ*. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [7] นวภัค เอื้ออนันต์ (2546). *เอกสารประกอบการเรียนวิชาวงจรขั้วนิวรอลเทียม*. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น
- [8] เดอะพีซีไกด์ (2547). *Hard Disk Read/Write Head Technologies. Hard Disk Drive*. แหล่งที่มา : <http://www.pcguide.com/ref/hdd/op/over.htm>, เข้าดูเมื่อวันที่ 14/05/2554.

[9] วิทยา พรพัชรพงศ์ (2551).โครงข่ายประสาทเทียม
แหล่งที่มา : [http://gotoknow.org/blog/business
intelligence/163433](http://gotoknow.org/blog/business_intelligence/163433), เข้าดูเมื่อวันที่ 4/06/2554.