

การจำลองและการควบคุมแบบ PID ของอุปกรณ์เขย่า

Simulation and PID Control of Shaker

ณัฐรัตน์ ปานานนท์¹ และ ธนู จุญฉาย²

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

โทร. 0-5389-2780 โทรสาร 0-5321-3183 อีเมล nuttarut@yahoo.com

² คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

โทร 0-2913-2500 โทรสาร 0-2586-9541

Nuttarut Panananda¹ and Thanu Chouychai²

¹ Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Muang, Chiangmai 50300, Thailand,

Tel: 0-5389-2780, Fax: 0-5321-3183 E-mail: nuttarut@yahoo.com

² Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok, Bangsue, Bangkok 10800, Thailand,

Tel: 0-2913-2500, Fax: 0-2586-9541

บทคัดย่อ : อุปกรณ์เขย่าเป็นอุปกรณ์หนึ่งที่ใช้กระตุ้นการสั่นสะเทือนในการทดสอบโมดัล การกระตุ้นด้วยสัญญาณไซน์แบบกวาดความถี่ เป็นการหาความถี่ธรรมชาติของระบบ โดยกวาดความถี่ในช่วงความถี่ที่สนใจเพื่อให้ได้ตำแหน่งการเกิดความถี่พ้อง ในทางปฏิบัติ เมื่อแปลงฟูเรียร์สัญญาณการสั่นสะเทือนจากอุปกรณ์เขย่า ค่าที่ได้ไม่คงที่ตลอดช่วงการกวาดความถี่ ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมระดับสัญญาณป้อนเข้าระบบให้คงที่ตลอดช่วงความถี่ที่ใช้ในการทดสอบ งานวิจัยนี้นำเสนอการจำลองการควบคุมระดับสัญญาณป้อนเข้าด้วยการควบคุมแบบ PID ในช่วงความถี่ 10 Hz – 1 kHz ค่า PID พารามิเตอร์ ได้จากวิธีการปรับแต่งค่าแบบการกวาดแบบหนึ่งโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการวิเคราะห์โมดัลระบบหนึ่งองศาอิสระการเคลื่อนที่ โดยได้นำเสนอการหาโมดัลพารามิเตอร์ไว้ 4 วิธี และได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของตัวควบคุมอุปกรณ์เขย่าใน 3 กรณี ซึ่งผลการทดสอบที่ได้ปรากฏว่าสามารถควบคุมระดับการสั่นสะเทือนสำหรับโครงสร้างที่มีระดับการสั่นสะเทือนที่ความถี่พ้องไม่สูงมาก แต่สำหรับโครงสร้างที่มีการสั่นสะเทือนที่ความถี่พ้องมีค่าสูงจะไม่สามารถควบคุมได้ เนื่องจากแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากความถี่พ้องของโครงสร้างกระทำต่อการเคลื่อนที่ของอาร์เมเจอร์ของอุปกรณ์เขย่า ทั้งนี้ได้เสนอแนะถึงแนวทางในการพัฒนาการควบคุมที่เหมาะสมเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการควบคุมที่ดีขึ้นในครั้งต่อไป

Abstract : Electrodynamics shaker is one of equipment used to generate vibration force as input to system in the modal testing. Sweep sine input is normally used to determine the natural frequency of system, frequency is varied continuously through the range of interest to find the location of resonance frequency. In practice, the Fourier transform of the vibration signal from shaker is not constant along the range of interest frequency. So, it need to control the level of input signal (vibration amplitude from shaker) along the test frequency. This research presented the simulation of shaker controller with PID controller in the range of 10 Hz – 1 kHz. The PID parameters determined from the Damped Oscillation method by used mathematic model from SDOF modal analysis. This thesis presented the SDOF modal analysis in 4 method and the test of controller performance in 3 case. The test result is found that the controller can control the level of vibration for structure that have small reaction at resonance frequency. But can not control the level of vibration for structure that have large reaction at resonance frequency. Because the interaction with structure and armature of electrodynamics shaker. It had suggest to develop the optimize shaker controller for the better performance in the next time.

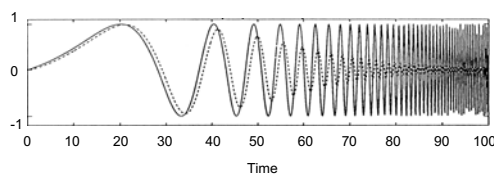
Keywords: Electrodynamics Shaker, Modal, PID Control

การวิเคราะห์โมดัลเป็นกระบวนการสำหรับหาคุณลักษณะทางพลศาสตร์ของระบบ(Dynamic characteristics) ซึ่งอยู่ในรูปของความถี่ธรรมชาติ, อัตราส่วนตัวหน่วง และรูปร่างโหมด เพื่อนำไปสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบสำหรับพฤติกรรมทางพลศาสตร์เรียกว่า แบบจำลองโมดัล (modal model)[1]

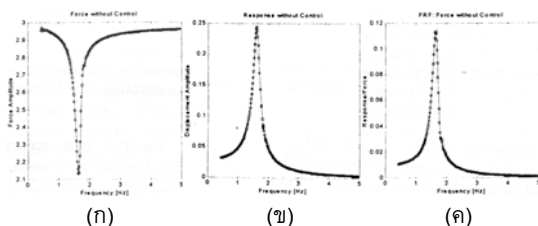
การทดสอบโมดัล (modal testing) เป็นวิธีการทดลองที่ใช้หาแบบจำลองโมดัลของระบบเชิงเส้นไม่แปรผันตามเวลา การทดสอบโมดัลใช้ความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองต่อการสั่นสะเทือนที่จุดหนึ่งของโครงสร้าง และการกระตุ้นการสั่นสะเทือนที่จุดเดียวกันหรือจุดอื่นบนโครงสร้าง โดยทั้งสองเป็นฟังก์ชันของความถี่ ความสัมพันธ์นี้มักถูกเรียกว่า ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ (Frequency Response Function : FRF)[2]

การกระตุ้นโครงสร้างให้เกิดการสั่นสะเทือนสามารถทำได้ 2 ลักษณะคือ การใช้ค้อนเคาะ หรือการกระตุ้นด้วยอุปกรณ์เขย่า การกระตุ้นด้วยอุปกรณ์เขย่าสามารถกำหนดรูปแบบสัญญาณการสั่นสะเทือนได้หลายรูปแบบ สัญญาณไซน์แบบกวาดความถี่เป็นรูปแบบหนึ่งที่ใช้ในการทดสอบโมดัล การทดสอบด้วยสัญญาณแบบนี้ใช้เวลาในการทดสอบนาน เพื่อเก็บข้อมูลให้ครบ ทุกความถี่ ซึ่งจะทำให้การกวาดความถี่ในช่วงที่สนใจเพื่อหาตำแหน่งการเกิดความถี่พ้อง วิชานพพจน์นี้ นำเสนอการทดสอบในช่วง 10 Hz – 1 kHz

โดยทั่วไปเมื่อแปลงฟูเรียร์สัญญาณป้อนเข้าในการทดสอบโมดัล จะต้องมียค่าเท่ากับหนึ่ง หรือเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งตลอดช่วงความถี่ที่ทดสอบ เพื่อให้ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ที่ได้ ได้จากการตอบสนองของระบบอย่างแท้จริง แต่ในทางปฏิบัติพบว่าเมื่อกระตุ้นโครงสร้างด้วยการกวาดความถี่รูปคลื่นไซน์ สัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์เขย่าจะเปลี่ยนไปดังแสดงในภาพที่ 1 ทำให้ค่าการแปลงฟูเรียร์ของสัญญาณป้อนเข้าไม่คงที่ตลอดช่วงดังแสดงในภาพที่ 2 (ก) ทำให้ได้ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ที่ผิดเพี้ยนไปดังแสดงในภาพที่ 2 (ค)



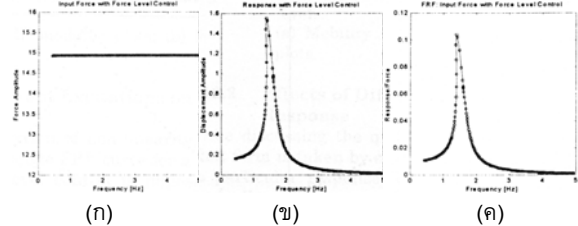
ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณไซน์เมื่อความถี่สูงขึ้น



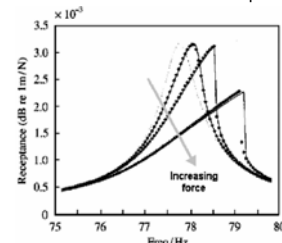
ภาพที่ 2 การตอบสนองของระบบที่ไม่ได้ควบคุมระดับของแรงป้อนเข้า

ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมระดับของสัญญาณป้อนเข้าให้คงที่ตลอดช่วงความถี่ที่ใช้ทดสอบ เพื่อให้ได้ฟังก์ชันการตอบสนองที่ถูกต้องตามภาพที่ 3 และการควบคุมระดับ

สัญญาณป้อนเข้ายังสามารถนำไปใช้ในการทดสอบระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ โดยเมื่อเพิ่มระดับของสัญญาณป้อนเข้า เทอมที่ไม่เป็นเชิงเส้นจะมีฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ที่เปลี่ยนไป ดังแสดงในภาพที่ 4 อีกทั้งการทดสอบการสั่นสะเทือนของอุปกรณ์บางประเภทจำเป็นต้องรักษาระดับการสั่นสะเทือนในการทดสอบตามการกำหนดของอุปกรณ์นั้นๆ



ภาพที่ 3 แสดงการตอบสนองของระบบที่ควบคุมระดับของแรงป้อนเข้า



ภาพที่ 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ FRF เมื่อเพิ่มแรงกระตุ้นในการทดสอบ

หาค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์เขย่าด้วยการวิเคราะห์โมดัลของระบบหนึ่งองศาอิสระการเคลื่อนที่ ซึ่งนำเสนอไว้ 4 วิธีคือ วิธีเก็บค่าจุดยอด, วิธีเขียนวงกลม, วิธีส่วนกลับ FRF และวิธีของ Dobson [1][2] จากทั้ง 4 วิธีสามารถหาค่าโมดัลพารามิเตอร์ของอุปกรณ์เขย่าได้ดังนี้

$$\omega_r = 202.633 \text{ rad/sec}$$

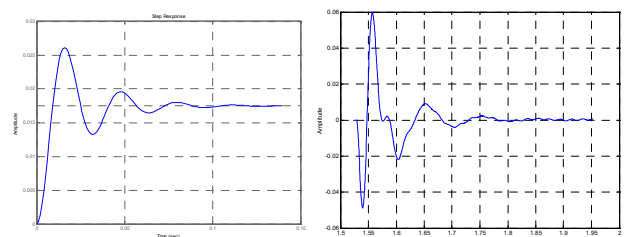
$$\zeta_r = 0.2189$$

$$A_r = 717.9754$$

นำพารามิเตอร์ที่ได้ไปเขียนฟังก์ชันถ่ายโอนดังสมการ (1)

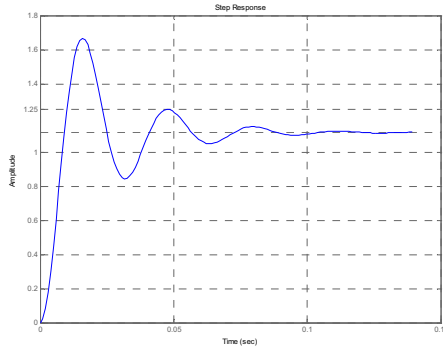
$$\begin{aligned} TF(j\omega) &= \frac{A_r}{s^2 + 2\zeta_r \omega_r s + \omega_r^2} \\ &= \frac{717.9754}{s^2 + 88.713s + 202.633^2} \end{aligned} \quad (1)$$

จากฟังก์ชันถ่ายโอนที่ได้ จำลองพฤติกรรมเมื่อมีสัญญาณป้อนเข้าแบบขั้นบันไดหนึ่งหน่วย ได้ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 เปรียบเทียบการตอบสนองของระบบวงเปิดต่อสัญญาณเข้าแบบขั้นบันไดหนึ่งหน่วย

นำฟังก์ชันถ่ายโอนไปหาค่า PID พารามิเตอร์ด้วยวิธี Damped Oscillation โดยเพิ่มค่าอัตราขยายแบบสัดส่วนให้กับระบบวงเปิด จนกระทั่งระบบมีอัตราเสื่อม 25% [3] ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การตอบสนองของระบบเมื่อมีอัตราเสื่อม 25% จะได้อัตราขยายมีค่าเท่ากับ 63.785 นำค่าอัตราขยายนี้ไปคำนวณหาค่า PID พารามิเตอร์ดังนี้

$$K_P = \frac{K_P}{4} = \frac{63.785}{4} = 15.946$$

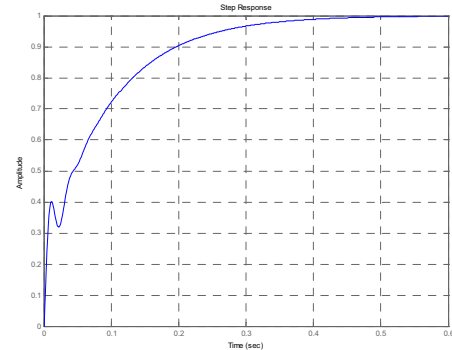
$$T_I = \frac{P}{1.5} = \frac{0.0317}{1.5} = 0.0211 \text{ วินาที}$$

$$K_I = \frac{K_P}{T_I} = \frac{0.0317}{0.0211} = 755.7441$$

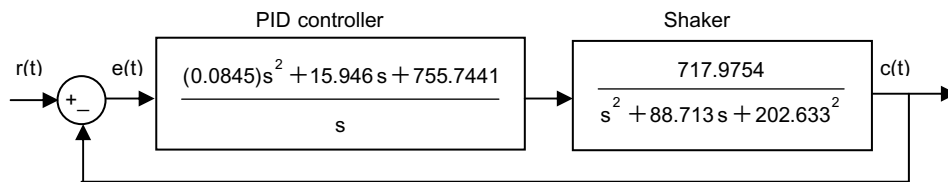
$$T_D = \frac{P}{6} = \frac{0.0317}{6} = 0.0053 \text{ วินาที}$$

$$K_D = K_P T_D = (15.946)(0.0053) = 0.0845$$

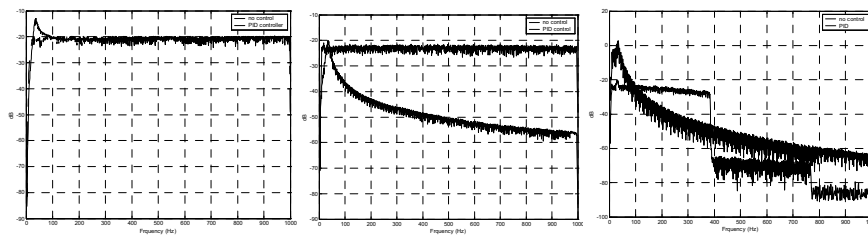
นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไปเขียนแผนภาพบล็อกการควบคุมวงปิดดังภาพที่ 7 จากผลการทดสอบด้วยการป้อนสัญญาณแบบขั้นบันไดหนึ่งหน่วย ได้ผลดังภาพที่ 8



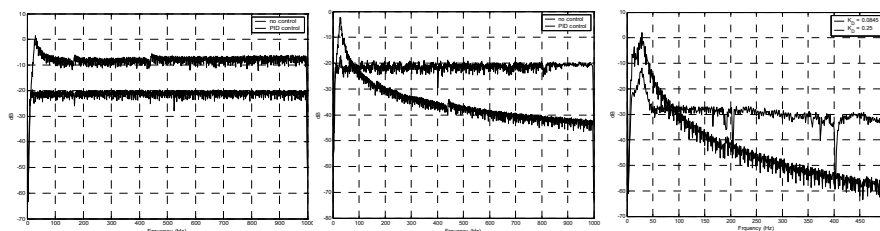
ภาพที่ 8 การตอบสนองต่อสัญญาณแบบขั้นบันไดหนึ่งหน่วย ทดลองค่า PID พารามิเตอร์ที่ได้ไปควบคุมระบบจริง โดยทำการทดลองควบคุมใน 3 กรณีคือ เมื่ออุปกรณ์เข้าไม่มีภาระ, มีภาระรูปคานขนาดเล็ก และโครงสร้างรูปปริมาตรขนาดใหญ่ โดยในแต่ละกรณีจะทำการป้อนกลับสัญญาณใน 3 รูปแบบคือ การป้อนกลับแบบความเร่ง, การป้อนกลับแบบความเร็ว และการป้อนกลับแบบระยะทาง ผลการควบคุมในรูปของขนาดในโดเมนความถี่ดังภาพที่ 9 – ภาพที่ 11



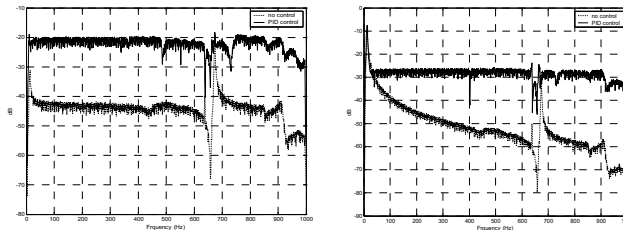
ภาพที่ 7 แผนภาพบล็อกการควบคุมวงปิด



สัญญาณป้อนกลับแบบความเร่ง สัญญาณป้อนกลับแบบความเร็ว สัญญาณป้อนกลับแบบระยะทาง
ภาพที่ 9 เปรียบเทียบการตอบสนองเมื่อมีการควบคุมและไม่ควบคุมเมื่ออุปกรณ์เข้าไม่มีภาระ



สัญญาณป้อนกลับแบบความเร่ง สัญญาณป้อนกลับแบบความเร็ว สัญญาณป้อนกลับแบบระยะทาง
ภาพที่ 10 เปรียบเทียบการตอบสนองเมื่อมีการควบคุมและไม่ควบคุมเมื่ออุปกรณ์เข้าต่อกับคานขนาดเล็ก



สัญญาณป้อนกลับแบบความเร่ง สัญญาณป้อนกลับแบบความเร็ว
ภาพที่ 11 เปรียบเทียบการตอบสนองเมื่อมีการควบคุมและไม่ควบคุมเมื่ออุปกรณ์เข้าต่อกับโครงสร้างรูปประมิต

จากการทดลองทั้ง 3 กรณีต่อสัญญาณป้อนกลับทั้ง 3 แบบ จะเห็นว่าพารามิเตอร์ของระบบจะเปลี่ยนไปเมื่อทำการต่อกับ โครงสร้าง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับค่า PID พารามิเตอร์ ตลอดเวลา และจากการออกแบบอุปกรณ์ควบคุม กำหนดให้กับ ค่าสูงสุดของสัญญาณป้อนกลับ จึงทำให้การควบคุมเกิดความผิดพลาด เมื่อสัญญาณป้อนกลับมีสัญญาณรบกวน ดังนั้นเพื่อให้เกิดความ เหมาะสม จะต้องพิจารณาการใช้ชนิดของตัวควบคุมให้เป็นแบบปรับตัว เองได้ และจะต้องพิจารณาการออกแบบอุปกรณ์ควบคุมให้หลีกเลี่ยง ปัญหาจากสัญญาณรบกวน เพื่อให้การควบคุมมีประสิทธิภาพมากขึ้นใน ลำดับต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ewins, D.J. "Modaltesting : Theory, Practice and Aplication." Control Engineering Practice, Vol.4, No.
- [2] He, Jimin. and Zhi-Fang Fu. Modal analysis. Oxford : Butterworth-Heineman, c2001.
- [3] สุมาลี อุณหวนิชย์, รศ. "การปรับค่าพารามิเตอร์ในกระบวนการ ควบคุมแบบฟีดแบ็ค" Electrical and Control. 1 (มี.ค. - เม.ย. 2546) : 58-65.
- [4] Ogata, Katsuhiko. Modern control engineering. 2nd ed. Englewood cliffs, N.J. : Pretice-Hall, c1990.
- [5] Lang, George Fox. Electrodynamics Shaker Fundamentals [online]. 1997. Available from : http://www.foxlang.com/PDF%20files/Apr97_ShakerFundamentals.pdf.