ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ การควบคุมแบบแอคทีฟสำหรับตัวแยกการสั่นสะเทือนแบบนิวเมติกส์

ผู้เขียน นายภัคเกษม ชะตาคำ

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต(วิศวกรรมเครื่องกล)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร. แมทธิว โคล

บทคัดย่อ

การสั่นสะเทือนเป็นสิ่งที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ในชีวิตประจำวัน สามารถส่งผลกระทบไปยังเครื่องมือเครื่องใช้ที่มีความละเอียดสูง ตัวอย่างเช่นกล้องจุลทรรศน์ความละเอียดสูง หากการสั่นสะเทือนจากสิ่งแวดล้อมเช่นลมหรือเครื่องจักร ส่งผลต่อตัวกล้องจุลทรรศน์ย่อมส่งผลให้ภาพที่ได้จากการขยายด้วยความละเอียดสูงนั้น มีตำแหน่งเปลี่ยนไปจากสิ่งที่สังเกตุอยู่อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ หากสามารถลดผลกระทบจากการสั่นสะเทือนเหล่านี้ได้ย่อมทำให้เครื่องมือเครื่องใช้ถูกใช้ด้วยประสิทธิภาพสูงสุด

ตัวแยกการสั่นสะเทือนแบบนิวเมติกส์ (air mount) เป็นอุปกรณ์ที่มีราคาย่อมเยาว์ สามารถแยกการสั่นสะเทือนได้ดีที่ช่วงความถี่สูง โซลินอยด์วาล์วเป็นอุปกรณ์นิวเมติกส์ที่ควบคุมทางเดินของของไหล มีราคาไม่แพงมากและใช้กันอย่างแพร่หลาย หากสามารถนำอุปกรณ์ทั้งสองอย่างทำงานร่วมกันเพื่อลดข้อจำกัดในการรแยกการสั่นสะเทือนของตัวแยกการสั่นสะเทือนแบบนิวเมติกส์ในช่วงความถี่ต่ำได้ จะทำให้ได้ระบบแยกการสั่นสะเทือนที่มีหลักการไม่ซับซ้อนและราคาต่ำเมื่อเทียบกับระบบแยกการสั่นสะเทือนเชิงพานิชย์ โดยระบบที่ได้เป็นการควบคุมแบบแอคทีฟควบคุมด้วยสัญญาณ Pulse Width Modulation ทำงานร่วมกับตัวแยกการสั่นสะเทือนแบบนิวเมติกส์

ในการศึกษานี้ได้ทำการออกแบบและสร้างชุดแยกการสั่นสะเทือนต้นแบบที่มี 3 องศาอิสระ โดยมีตัวแยกการสั่นสะเทือนแบบนิวเมติกส์เป็นส่วนประกอบหลักเพื่อทดสอบการควบคุมด้วยเทคนิคดังกล่าว จากการศึกษาทางทฤษฎีพบว่าสามารถลดการสั่นสะเทือนได้โดยมวลที่ถูก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ควบคุมมีการกระเพื่อมตามจังหวะการเปิด-ปิดของโซลินอยด์วาล์วในระดับไมครอน จากการทดลองพบว่าการกระเพื่อมที่เกิดขึ้นนั้นอยู่ในระดับไมครอนจริง ในเบื้องต้นได้ทำการออกแบบตัวควบคุมแบบ continuous จากแบบจำลองคณิตศาสตร์ชนิด continuous ด้วยหลักการ pole placement พบว่าตัวควบคุมที่มีรูปแบบเป็น $K(s) = k(s^2 + bs + c)$ มีความสามารถลดความถี่ธรรมชาติและเพิ่มความหน่วงให้กับระบบได้ตามการวิเคราะห์ในทางทฤษฎี อย่างไรก็ตามเมื่อทำการทดลองพบว่าตัวควบคุมดังกล่าวไม่สามารถปรับปรุงพฤติกรรมของระบบให้เป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ได้ เนื่องจากในขั้นตอนเก็บข้อมูลเพื่อประมวลผลมีการเก็บสัญญาณเป็นลักษณะ discrete ดังนั้นเมื่อทำการเปลี่ยนตัวควบคุมแบบ continuous นี้ให้อยู่ในลักษณะของ discrete time พบว่าประสิทธิภาพแย่ลงจากที่ได้ออกแบบไว้เบื้องต้น อีกทั้งผลทางพลศาสตร์ที่ความถี่ธรรมชาติของระบบใกล้เคียงกับความถี่ทำงานของโซลินอยด์วาล์วมากเกินไป ทำให้เสถียรภาพจากการควบคุมค่อนข้างแย่ ด้วยเหตุผลนี้การออกแบบตัวควบคุมแบบ discrete จากแบบจำลองคณิตศาสตร์ชนิด discrete จึงถูกนำมาใช้ จากการทดลองพบว่าตัวควบคุมแบบ $K(z) = k(A_1 + A_2 z^{-1} + A_3 z^{-2})$ สามารถตอบสนองต่อการรบกวนได้เป็นที่น่าพอใจมากที่สุด สามารถยืนยันแนวโน้มการลดความถี่ธรรมชาติและเพิ่มความหน่วงต่อระบบได้ ด้วยข้อจำกัดของโซลินอยด์วาล์วที่ขาดเสถียรภาพทำให้คุณภาพของการตอบสนองไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นหากสามารถพัฒนาโซลินอยด์วาล์วให้มีกำลัง, ความเป็นเชิงเส้นและความถี่ทำงานให้ดีขึ้นได้ การควบคุมแบบแอคทีฟสำหรับตัวแยกการสั่นสะเทือนแบบนิวเมติกส์ด้วยสัญญาณ PWM จะสามารถนำมาใช้ได้จริงตามที่ได้วิเคราะห์ไว้ตามทฤษฎีเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการแยกการสั่นสะเทือน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Thesis Title Active Control of a Pneumatic Vibration Isolator

Author Mr. Phakasem Chatakham

Degree Master of Engineering (Mechanical Engineering)

Thesis Advisor Assoc. Prof. Dr. Matthew O.T. Cole

ABSTRACT

At present, vibration is unavoidable in daily life and can disturb sensitive machines and equipment. An air mount is a low cost solution for vibration isolation that can achieve reasonable vibration reduction of a payload in high frequency range. However, it suffers from low damping and cannot achieve the performance of more expensive active systems. Hence, the idea of this research is to study the feasibility of using a combination of a pneumatic isolator and a switching valve with Pulse Width Modulation technique to improve the isolation characteristics of the pneumatic isolator through active control techniques. A solenoid operated switching valve is a mass-produced low-cost item used in industrial applications to direct flow of air to a desired path. The proposed vibration isolation technique is not complicated, in terms of hardware set-up, and is inexpensive.

A three degree-of-freedom vibration isolation prototype is designed and built to test the proposed technique. Experimental results confirmed that the vibration ripple of the payload due to valve switching can be kept at low levels (a few microns), suggesting that the method could work well if an appropriate feedback controller can be designed. First, a controller is designed based on a continuous-time model. A controller $K(s) = k(s^2 + bs + c)$ is obtained by the poled placement approach with a

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

simple target of reducing the natural frequency and increasing the damping of the system. However, the actual system behavior does not match well with this theory. It is shown that the PWM process involves a signal sampling effect that should also be accounted for, and means that the continuous-time model must be converted to discrete time. This transformed model gives predicted characteristics that are worse than the previous continuous model. This effect is largely due to the natural frequency of the system being too close to the operating frequency of the switching valve. To overcome this problem a discrete time controller is designed. A controller with form $K(z) = k(A_1 + A_2 z^{-1} + A_3 z^{-2})$ is implemented and tuned by experimental testing. With this controller, the natural frequency can only be slightly changed but the measured isolation performance is improved for frequencies close to the natural frequency.

In order to get better results and further develop this approach the switching valve design has to be improved in terms of power, linearity and working frequency. The active control of pneumatic vibration isolator with switching control will be possible according to the theoretical analysis and may be an attractive option for low cost vibration isolation applications.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved