ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ การออกแบบตัวควบคุมโดยวิธีลูพเชพพิงแบบเอชอินฟินิตี สำหรับการควบคุมการสั่นสะเทือนของโครงสร้างยืดหยุ่น

ผู้เขียน นายวิชญ์พล ฟักแก้ว

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต(วิศวกรรมเครื่องกล)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. ธีระพงษ์ ว่องรัตนะไพศาล

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการออกแบบตัวควบคุมโดยวิธีลูพเชพพิงแบบเอชอินฟินิตีโดยอ้างอิงแบบจำลอง เพื่อควบคุมการสั่นสะเทือนในโครงสร้างยืดหยุ่น ผลการศึกษาอ้างอิงจากระบบที่ใช้ทดลองซึ่งมีลักษณะเป็นเพลาสี่เหลี่ยมหัวท้ายยึดแน่น มีมวลแท่งเกร็ง45 แท่งยึดตรงกลางติดกับเพลาเพื่อเพิ่มความเฉื่อย ระบบที่สร้างขึ้นมีความถี่ธรรมชาติที่ต่ำสุดสี่ค่าแรกเท่ากับ 24.4, 49.0, 73.1 และ 97.6 rad/s อุปกรณ์กำเนิดแรงรบกวนและแรงควบคุมสร้างจากคอยล์เสียง การวัดมุมบิดอาศัยการตรวจจับการเบี่ยงเบนของแสงสะท้อนจากลำแสงเลเซอร์ การควบคุมโดยใช้เวลาจริงอาศัยระบบ xPC target โดยใช้ A/D และ D/A จากบอร์ด PCI-6024E

แบบจำลองระบบพลศาสตร์ซึ่งสร้างโดยวิธี system identification มีขนาด 240 อันดับ แต่แบบจำลองที่ใช้ในการออกแบบเป็นแบบจำลองที่ผ่านการลดอันดับแล้วมีขนาด 12 อันดับ การออกแบบตัวควบคุมอ้างอิงจากการกำหนดสมรรถนะเชิงโรบัสท์แบบ mixed sensitivity ในรูปฟังก์ชัน $\|\mathbf{W}_1(s)\mathbf{S}(s)+\mathbf{W}_2(s)\mathbf{T}(s)\|_\infty < 1$ ในการออกแบบได้ศึกษาอิทธิพลของฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักเชิงสมรรถนะ $\mathbf{W}_1(s)$ และ ฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักเชิงโรบัสท์ $\mathbf{W}_2(s)$ ที่มีต่อสมรรถนะและเสถียรภาพของระบบ โดยที่กำหนด $\mathbf{W}_2(s)$ เป็นขอบเขตความไม่แน่นอนแบบไม่มีโครงสร้าง (unstructured uncertainty) ของแบบจำลองอันเนื่องมาจากการลดอันดับซึ่งมีอัตราขยายที่ความถี่สูงและความถี่ต่ำที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ $\mathbf{W}_1(s)$ ถูกเลือกให้มีการตอบสนองความถี่ที่แตกต่างกัน 5 รูปแบบ เพื่อลด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การสั่นสะเทือนจากแรงรบกวน ตัวควบคุมสังเคราะห์โดยวิธี model matching บนโดเมนของฟังก์ชันถ่ายโอน

สมรรถนะของตัวควบคุมแบบเอชอินฟินิตีถูกประเมินจากการทดลองและพบว่าระบบป้อนกลับมีเสถียรภาพและสามารถกำจัดการรบกวนที่ความถี่ต่ำได้ เมื่อกำหนด $W_1(s)$ ให้มีลักษณะคล้ายฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบเปิดจากตำแหน่งที่มีแรงรบกวนกระทำ ถ้า $W_2(s)$ ครอบคลุมระดับความไม่แน่นอนของแบบจำลองแล้ว อัตราขยายของ $W_2(s)$ จะมีผลน้อยมากต่อสมรรถนะและเสถียรภาพของระบบ การเพิ่มอันดับของแบบจำลองที่ใช้ในการออกแบบเป็น 16 อันดับไม่สามารถปรับปรุงสมรรถนะของระบบได้ เนื่องจากพบข้อจำกัดของการออกแบบโดยวิธีนี้คือความผิดพลาดเชิงตัวเลข

ในการเปรียบเทียบวิธีการออกแบบ แบบจำลองขนาด 12 อันดับถูกใช้ในการออกแบบตัวควบคุมแบบ LQG ซึ่งสามารถออกแบบได้ง่ายโดยการเลือกเมตริกซ์ถ่วงน้ำหนัก **Q** และ **R** และกำหนดความแปรปรวนร่วมของแรงรบกวนและสัญญาณรบกวนที่เซ็นเซอร์ ถึงแม้ว่าตัวควบคุมแบบ LQG จะมีสมรรถนะที่ดีจากการทดสอบกับระบบโครงสร้างยืดหยุ่นที่สร้างขึ้นแต่การออกแบบโดยการกำหนดเพียงค่าของ **Q** และ **R** ไม่สามารถรับประกันได้ว่าระบบควบคุมจะมีเสถียรภาพเสมอไป ในการทดลองพบว่าหากตั้งค่า **Q/R** มากเกินไประบบจะไม่มีเสถียรภาพ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Thesis Title Design of H_∞ Loop Shaping Controller for Vibration Control of Flexible Structure.

Author Mr. Wichaphon Fakkaew

Degree Master of Engineering (Mechanical Engineering)

Thesis Advisor Asst. Prof. Theeraphong Wongratanaphisan

ABSTRACT

This research considers model-based H_∞ Loop shaping controller design for vibration control of flexible structures. The study is based on experimental rig comprised of a torsion beam with 45 transverse rigid rods that increase inertia such that the four lowest natural frequencies are 24.4, 49.0, 73.1 and 97.6 rad/s. Disturbance and control force actuation is achieved using voice coils, while position (torsional angle) sensing is based on optical detection of a reflected laser beam. Real-time controller implementation is based on an xPC target system with PCI-6024E A/D and D/A card.

The full-order dynamic model, based on system identification, has 240 states but a reduced order (12 states) model is used for the controller design. The controller design is based on the mixed-sensitivity robust performance criterion: $\|\mathbf{W_1(s)S(s)+W_2(s)T(s)}\|_\infty < 1$. The influence of the performance weighting function $\mathbf{W_1(s)}$ and the robustness weighting function $\mathbf{W_2(s)}$ on the performance and the stability are presented. $\mathbf{W_2(s)}$ is designed to specify a bound on the unstructured modeling uncertainty arising from the model reduction process. Its gain is designed in three different ways. The five of different frequency responses of $\mathbf{W_1(s)}$ is selected to compensate for disturbance amplification effects. Controllers were numerically synthesised in the transfer function domain using a model matching method.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

The H_∞ controller was assessed experimentally and found to achieve stable operation and expected levels of vibration suppression for low frequency excitation when $\mathbf{W_1(s)}$ was designed similarly to the open loop transfer function from the disturbance force input. The gain of $\mathbf{W_2(s)}$ has very small influence on the performance and the stability as long as $\mathbf{W_2(s)}$ covers the uncertainty bound. Increasing the order of the model used in the controller synthesis to 16 states did not improve performance as the limiting factor was found to be numerical errors in the design procedure.

For comparison, the 12 states model was also used to design LQG controllers of which the performance can be specified easily by choosing quadratic weighting matrices **R** and **Q** that specify the co-variance (mean square value) of expected disturbance forces and sensor noise. Although the LQG controllers gave good performance, the stability can not be guaranteed by choosing only **Q** and **R** parameters. Selecting the ratio Q/R too high can cause system instability as was observed in the experiment.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved