บทที่ 7

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 บทสรุป

ตัวควบคุมคงทนที่ศึกษาประกอบด้วย 2 วิธี คือ วิธีการควบคุมเอชอินฟินิตี้และวิธีการสังเคราะห์มิว ข้อดีของวิธีการควบคุมเอชอินฟินิตี้คือ ตัวควบคุมจะมีอันดับต่ำกว่าตัวควบคุมที่ได้จากวิธีการสังเคราะห์มิว ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้จริงได้ง่ายกว่า เพราะไม่เกิดปัญหาค่าผิดพลาดเชิงตัวเลข (numerical error) ระหว่างทำการทดลอง แต่ข้อเสียคือ ตัวควบคุมจะมีความอนุรักษ์สูง ทำให้ระบบมีสมรรถนะที่เลวกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการสังเคราะห์มิวซึ่งเป็นวิธีที่มีความอนุรักษ์น้อยกว่า ในกรณีที่ระบบมีอันดับไม่สูงนัก วิธีการสังเคราะห์มิวจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่าวิธีการควบคุมเอชอินฟินิตี้สำหรับระบบที่ควบคุมคือ ระบบแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียว ซึ่งเป็นระบบ SISO ที่มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไม่ซับซ้อน ดังนั้นวิธีการสังเคราะห์มิวจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับวิทยานิพนธ์นี้

ในการออกแบบตัวควบคุมคงทน การสังเคราะห์ตัวควบคุมให้สอดคล้องกับเงื่อนไขเสถียรภาพคงทนและสมรรถนะคงทนต้องทำในโดเมนความถี่ ในวิทยานิพนธ์นี้ได้กล่าวถึงแนวทางการกำหนดฟังก์ชันน้ำหนักสมรรถนะเพื่อให้ระบบมีสมรรถนะที่ดีโดยสังเกตจากลักษณะผลตอบเชิงความถี่และเชิงเวลาของระบบอันดับสอง และการออกแบบตัวควบคุมที่ประกันเงื่อนไขเชิงความถี่และเชิงเวลา เงื่อนไขเชิงความถี่คือ ความกว้างแถบความถี่ เงื่อนไขเชิงเวลาคือ ค่าผิดพลาดที่สถานะอยู่ตัวและขนาดสัญญาณตัวขับเร้า

จากผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ แสดงให้เห็นว่าผลที่ได้สอดคล้องกับทฤษฎีการควบคุม โดยวิธีการควบคุมเอชอินฟินิตี้มีสมรรถนะของระบบทั้งเชิงเวลาและเชิงความถี่ที่เลวกว่าวิธีการสังเคราะห์มิว เราแสดงให้เห็นว่าวิธีการสังเคราะห์มิวให้ตัวควบคุมที่สอดคล้องกับเงื่อนไขเชิงเวลาที่กำหนดได้ เมื่อเรานำตัวควบคุมคงทนมาประยุกต์ใช้กับระบบจริง ผลที่ได้จากการทดลองจริงสอดคล้องและมีลักษณะใกล้เคียงกับผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ อย่างไรก็ตามความไม่เป็นเชิงเส้นหรือความไม่แน่นอนที่ไม่ได้คาดการณ์ไว้มีผลทำให้ผลตอบระหว่างการจำลองผลทางคอมพิวเตอร์กับผลจากการทดลองจริงแตกต่างกันบ้าง

7.2 ข้อเสนอแนะในงานวิจัยนี้

สำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้ ส่วนใหญ่เป็นปัญหาที่เกิดจากการนำตัวควบคุมไปประยุกต์ใช้จริง ซึ่งมีแนวทางการแก้ปัญหาและข้อเสนอแนะที่สำคัญดังนี้

1. ในการทดลองจริงกับระบบทุกครั้ง ควรมีการปรับตั้งชุดกล้อง (calibrate) ทุกครั้งที่มีการเลื่อนตำแหน่งมวล และควรอ่านข้อควรปฏิบัติในการใช้ชุดทดลองแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียว เพื่อเป็นการรักษาชุดทดลองให้มีอายุการใช้งานได้ยาวนาน
2. ในการทดลองจริงควรระวังการปัดเลขทศนิยม ซึ่งอาจทำให้ผลการทดลองผิดพลาด หากเกิดปัญหา

ดังกล่าวขึ้น ควรตั้งให้โปรแกรมทำงานละเอียดที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ เช่น กำหนดให้ตัวแปรในการคำนวณเป็นตัวแปรแบบ double

3. สำหรับตัวควบคุมที่มีอันดับสูงๆ การแปลงตัวควบคุมในโดเมนเวลาต่อเนื่องเป็นตัวควบคุมในโดเมนเวลาชักตัวอย่าง อาจทำให้เกิดความผิดพลาดในการคำนวณเชิงเลข ทางแก้ทางหนึ่งคือแปลงตัวควบคุมให้อยู่ในรูปสมการสถานะแบบสมดุล (balance realization) ก่อนประยุกต์ใช้กับระบบจริง

7.3 ข้อเสนอแนะอื่นๆ

เป็นที่ทราบกันดีว่าการนำตัวควบคุมไปประยุกต์ใช้กับระบบจริง แตกต่างจากการจำลองทางคอมพิวเตอร์ ความแตกต่างเพียงเล็กน้อยอาจทำให้ระบบขาดเสถียรภาพ มีสมรรถนะไม่ตรงตามที่คาดไว้ หากเราต้องการให้ระบบมีสมรรถนะที่ดี เราควรออกแบบตัวควบคุมโดยคำนึงถึงความแตกต่างหรือปัญหาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในการทดลองจริง จากหัวข้อ 7.2 ได้กล่าวถึงแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้ อันเนื่องมาจากความแตกต่างระหว่างระบบจริงกับการจำลองทางคอมพิวเตอร์มาบ้าง อย่างไรก็ตามยังมีนักวิจัยหลายท่านพบว่า มีปัญหาอีกหลายประการที่เกิดขึ้นกับระบบจริง ในวิทยานิพนธ์นี้จึงนำประสบการณ์ที่เกิดขึ้นนี้มาเผยแพร่ และหวังว่าจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ทำงานวิจัยต่อไป

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับการออกแบบตัวควบคุมระหว่างการทดลองจริง อาจเกิดขึ้นจากสาเหตุต่อไปนี้ [39]

1. ตัวควบคุมชั้นสูงนำไปประยุกต์ใช้ได้ยาก เนื่องจากการวิเคราะห์ระบบควบคุมจริงเป็นเรื่องยาก และมักมีผลกระทบจากการคำนวณเชิงเลข

2. ในการออกแบบตัวควบคุมจะมีการสมมติและประมาณแบบจำลองของระบบ ทำให้เกิดปัญหาเวลานำไปประยุกต์ใช้กับระบบจริง การศึกษาระบบอย่างถ่องแท้มีความจำเป็นมาก ถึงแม้ว่าจะมีวิธีการควบคุมบางวิธีที่พยายามออกแบบตัวควบคุมโดยไม่สนใจความแม่นยำในการจำลองระบบทางคณิตศาสตร์ อาทิเช่น การควบคุมคงทน แต่วิธีการควบคุมนี้จำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับความไม่แน่นอน นั่นคือเราจำเป็นต้องศึกษาระบบให้ดีนั่นเอง มิฉะนั้นเมื่อนำตัวควบคุมไปทดลองกับระบบจริง จะทำให้สมรรถนะของระบบไม่เป็นไปตามที่ต้องการ หรืออาจทำให้ระบบขาดเสถียรภาพ

3. ในการแปลงระบบในโดเมนเวลาต่อเนื่องเป็นโดเมนเวลาชักตัวอย่าง นักวิจัยส่วนใหญ่มักคิดว่า หากกำหนดให้คาบเวลาชักตัวอย่างมีค่าน้อยๆ ระบบทั้งสองโดเมนจะใกล้เคียงกันจนไม่มีความแตกต่าง ในความเป็นจริงการแปลงนี้มีความแตกต่างกัน เช่น การจำกัดความกว้างแถบความถี่ด้วยคาบเวลาชักตัวอย่างในระบบโดเมนเวลาชักตัวอย่าง หรือเวลาประวิงในระบบต่อเนื่องไม่สามารถเขียนให้อยู่ในรูปเศษส่วนได้ แต่เวลาประวิงในระบบชักตัวอย่างสามารถเขียนได้ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีปัญหาการแปลงจากระบบเวลาชักตัวอย่างเป็นระบบเวลาต่อเนื่อง ทำให้เกิดฮาร์มอนิกอันเนื่องมาจากการคงค่าอันดับศูนย์ และการเคลือบแฝง (aliasing) ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ผู้วิจัยส่วนใหญ่มักละเลยไม่สนใจ ทำให้ไม่สามารถนำตัวควบคุมไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. การออกแบบตัวควบคุมควรระลึกไว้เสมอว่า ในการทดลองจริงตัวขับเร้าสามารถเกิดการอิ่มตัวเนื่องจากสัญญาณควบคุม นอกจากนี้สัญญาณรบกวนก็เป็นตัวการที่ทำให้ระบบมีสมรรถนะไม่ตรงตามที่ต้องการ ทางแก้ที่ง่ายที่สุดคือการจำกัดความกว้างแถบความถี่ของระบบให้แคบลง เพื่อป้องกันการรบกวนของสัญญาณรบกวนที่ความถี่สูง

7.4 สิ่งที่ควรทำในการทำงานวิจัยต่อไป

1. การนำวิธีการควบคุมคงทนในวิทยานิพนธ์นี้ไปประยุกต์ใช้กับระบบที่มีความซับซ้อนมากขึ้น อาทิเช่น ระบบหอกลั่น ระบบแขนกลอ่อนตัวหลายข้อต่อ เป็นต้น
2. ศึกษาการควบคุมคงทนวิธีอื่นๆ เพื่อการออกแบบตัวควบคุมคงทนที่ประกันช่วงเวลาขึ้น ช่วงเวลาเข้าที่ และส่วนพุ่งเกิน โดยบอกการประกันช่วงเวลาขึ้น ช่วงเวลาเข้าที่ และส่วนพุ่งเกินเป็นตัวเลขที่ชัดเจน
3. ศึกษาการลดความอนุรักษ์ของฟังก์ชันน้ำหนักสมรรถนะ w_u สำหรับเงื่อนไขสมรรถนะสัญญาณควบคุม
4. ศึกษาการหาคำตอบวงกว้างและการประกันการลู่เข้าของคำตอบที่ได้จากการสังเคราะห์มิว
5. ศึกษาวิธีการออกแบบตัวควบคุมคงทนวิธีอื่น ที่มีความอนุรักษ์น้อยกว่าวิธีการควบคุมเอชอินฟินิตี้ อาทิเช่น ตัวควบคุมคงทนแบบผสม H_2/H_∞ หรือตัวควบคุม LTR เพื่อปรับปรุงสมรรถนะของระบบ