

เสถียรภาพไม่เป็นเชิงเส้นของระบบที่มีการปรับแก้ริโซแนนซ์การบิด

Nonlinear Stability of a System Precompensated for Torsional Resonance

กองพัน อารีรักษ์ และสราวุฒ สุจิตจร
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า: สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000
 โทร : (044) 224400 Email : sarawut@ccs.sut.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลงานวิจัยที่ดำเนินการเพื่อตรวจสอบความเสถียรภาพของระบบเมื่อมีการขยายย่านปฏิบัติงาน ในระบบสองมวลเฉื่อยที่มีการปรับแก้ริโซแนนซ์การบิดไว้แล้ว[3] การขยายย่านปฏิบัติงานจะช่วยให้สามารถใช้งานระบบให้เกิดประโยชน์ได้สูงสุด สมรรถนะของระบบถูกจำกัดด้วยความไม่เป็นเชิงเส้นภายใน การระบุเอกลักษณ์ลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นใช้วิธีการค้นหาแบบตาบู่ ซึ่งเป็นเทคนิคการค้นหาแบบเพื่อนุ่มชนิดหนึ่งที่ทรงประสิทธิภาพ เพื่อให้มั่นใจในเสถียรภาพของระบบขยายย่าน จึงได้ตรวจสอบเสถียรภาพและเปรียบเทียบกับผลด้วยวิธีฟังก์ชันพหุนาม เกณฑ์ของโพพอฟ และเกณฑ์วงกลม

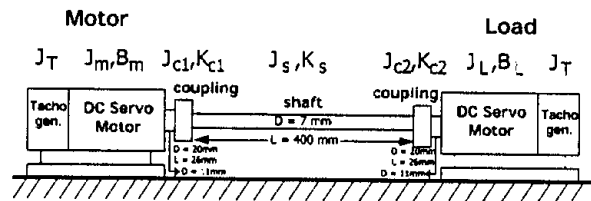
Abstract

This article presents the stability investigation of a system of which operating point is extended to a certain limit for the maximal utilization. This two-inertia system has been compensated for torsional resonance [3]. The extended performance is limited by system's nonlinearity. The nonlinearity is identified via Tabu search which is an efficient stochastic search method. To obtain valid results, stability investigation is conducted using the describing function method, Popov's criterion, and circle criterion.

Keywords : nonlinear, identification, stability, Tabu search

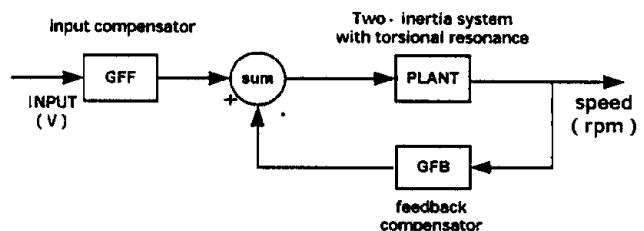
1. คำนำ

ระบบพลวัตแบบหมุนที่มีเพลายาว เป็นสิ่งที่พบเห็นกันกว้างขวางในอุตสาหกรรม เช่น ระบบการผลิตขนาดใหญ่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงกล เป็นต้น ระบบพลวัตเช่นนี้มีก่อบรรยากาศริโซแนนซ์การบิด (torsional resonance) ส่งผลให้สมรรถนะพลวัตทางความเร็วด้วยคุณภาพ นอกจากนี้ยังจะทำให้ชิ้นส่วนทางกลต่างๆ เช่น แบริ่ง ตัวคู่ควบฯ มีอายุการใช้งานสั้นลง ระบบพลวัตดังกล่าวแสดงได้ดังแผนภาพรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพระบบสองมวลที่ปรากฏริโซแนนซ์การบิด

ความพยายามแก้ไขปัญหาริโซแนนซ์การบิดมีมานาน เช่นที่นำเสนอโดย เวแกน [1] ให้ใช้การปรับคุณลักษณะของชิ้นส่วนทางกล เพื่อเปลี่ยนค่าความถี่ริโซแนนซ์ของระบบให้สูงขึ้นมากๆ อย่างเช่นการเพิ่มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพลลา การลดความยาวเพลลา วิธีการดังกล่าวเป็นการเพิ่มภาระให้มอเตอร์ และยังสิ้นเปลืองพลังงานขับเคลื่อน ทาลและถูโอ [2] เสนอวิธีการลดความเฉื่อยของระบบประกอบด้วยใช้ตัวกรองนอทซ์ แนวทางลดความเฉื่อยเป็นแนวคิดดั้งเดิม ที่อาศัยการออกแบบชิ้นส่วนทางกลใหม่ นั้นหมายความว่า ระบบพลวัตดังกล่าวมิใช่ระบบเดิมอีกต่อไป ส่วนการใช้ตัวกรองนอทซ์นั้นอาจไม่ประสบผลดี เมื่อระบบทำงานไประยะหนึ่ง โอกาสที่ความถี่ริโซแนนซ์จะเลื่อนมีสูง ในระยะไม่นานมานี้ ริโซแนนซ์การบิดกลับมาเป็นหัวข้อวิจัยพัฒนาที่สนใจของกลุ่มคนอีกครั้งหนึ่ง ผู้วิจัยต่างๆพยายามใช้เทคโนโลยีขั้นสูง ซึ่งให้ผลที่ดีในการกำจัดริโซแนนซ์การบิด แต่ก็เท่ากับเป็นการผลักภาระให้กับผู้ใช้เทคโนโลยีเป็นผู้แบกรับค่าใช้จ่าย



รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมของระบบพลวัตสองมวล [3]

คณะผู้วิจัยไทย [3] ได้เสนอแนวทางแก้ปัญหาด้วยการชดเชยทางพลวัตบนรากฐานทางทฤษฎีระบบควบคุมคงทน ออกแบบด้วยการกำหนดตำแหน่งโพล-ซีโร ภาพรวมของระบบดังกล่าวแสดงไว้ดังแผนภาพในรูปที่ 2 ซึ่งองค์ประกอบต่างๆอธิบายได้ด้วยฟังก์ชันถ่ายโอนต่อไปนี้

$$G_p(s) = \frac{1.325 \cdot 10^6}{s^3 + 13.388s^2 + 16.297 \cdot 10^4s + 73.117 \cdot 10^4} \quad (1)$$

$$G_{FF}(s) = 15.093 \frac{s^3 + 6 \cdot 10^3s^2 + 1.2 \cdot 10^7s + 8 \cdot 10^9}{s^3 + 7.186 \cdot 10^3s^2 + 19.160 \cdot 10^6s} \quad (2)$$

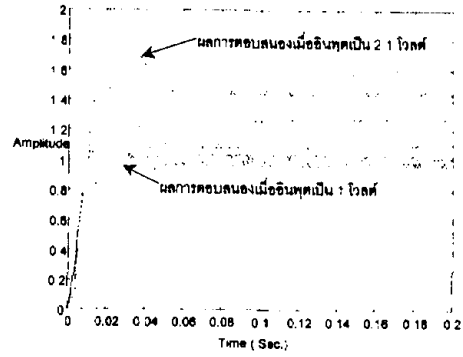
$$G_{FB}(s) = \frac{16.84 \cdot 10^3s^3 + 69.67 \cdot 10^5s^2 + 14.98 \cdot 10^8s + 12.07 \cdot 10^6}{s^3 + 7.18 \cdot 10^3s^2 + 19.160 \cdot 10^6s} \quad (3)$$

ตัวชดเชยดังกล่าว (2) และ (3) ให้สมรรถนะการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์และการปิดและให้การตอบสนองที่รวดเร็วมาเพียงพอ แต่การใช้งานของระบบดังกล่าวจำกัดไว้ที่ความเร็วรอบ 143 rpm ซึ่งเป็นระดับที่ระบบก่อนชดเชยยังคงความเป็นเชิงเส้น แต่ให้สมรรถนะที่มีคุณภาพต่ำสุด แม้ว่าการชดเชยเพื่อแก้ไขปัญหาคาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดปฏิบัติงานเดิมคือที่ 143 rpm หากเราสามารถขยายช่วงการทำงานของระบบโดยยังคงใช้ชุดการชดเชยเดิม ก็จะเป็นการใช้งานระบบอย่างคุ้มค่า ความพยายามขยายช่วงการทำงานดังกล่าวจำเป็นต้องมีหลักประกันด้านสมรรถนะและเสถียรภาพของระบบ

ดังนั้น บทความนี้จึงนำเสนอผลงานวิจัย ที่แสดงการทดสอบสมรรถนะของระบบที่มีการปรับแก้โพล-ซีโรในการปิด เมื่อขยายช่วงการทำงานโดยรอบจุดปฏิบัติการเดิม จึงปรากฏลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น และนำเสนอการตรวจสอบเสถียรภาพไม่เป็นเชิงเส้นของระบบ

2. ความไม่เป็นเชิงเส้นในการตอบสนอง

การทดสอบระบบพลวัตสองมวลที่มีการชดเชยเพื่อแก้ไขปัญหาคาร์บอนไดออกไซด์อยู่แล้ว ดำเนินการทดสอบหาค่าตอบสนองชั่วคราวต่ออินพุตแบบขั้นบันได มีระดับสัญญาณอินพุต 1, 1.1, 1.3, 1.5, 1.7, 1.9 และ 2.1 โวลต์ ตามลำดับ พร้อมทั้งวัดความเร็วที่ระดับอินพุตต่างๆ เพื่อดูผลกระทบจากลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์ในระบบ มีผลการตอบสนองดังที่แสดงในรูปที่ 3 และอัตราเร็ววงตัวที่วัดได้จากการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 1 อาจสังเกตจากผลการทดสอบได้ว่าระบบมีความไม่เป็นเชิงเส้นค่อนข้างสูง การระบุเอกลักษณ์ลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นจึงเป็นความจำเป็น ความไม่เป็นเชิงเส้นเกิดขึ้นจากสมบัติการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ และระบบมีภัยในตัวของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ การระบุเอกลักษณ์ได้ประยุกต์วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ที่เรียกว่า การค้นหาแบบตาบ (Tabu search) ซึ่งนับว่าเป็นกระบวนการค้นหาแบบหนึ่งที่ทำให้ผลแม่นยำและใช้เวลาค้นหาสั้น เมื่อ

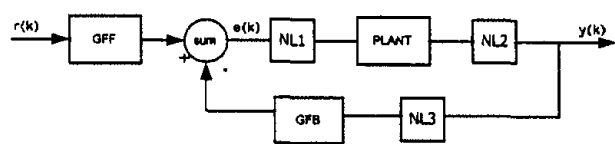


รูปที่ 3 รูปสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการทดสอบ

ตารางที่ 1 ความเร็วที่วัดได้จากการทดสอบ

อินพุต (โวลต์)	ความเร็ว (rpm)
1.0	143
1.1	144
1.3	146
1.5	150
1.7	179
1.9	201
2.1	223

เปรียบเทียบกับวิธีการค้นหาแบบอื่นๆ เช่น เทคนิคการโปรแกรมกำลังสองตามลำดับ (Sequential Quadratic Programming) การโปรแกรมวิวัฒนาการ (Evolutionary Programming) เป็นต้น [5] เทคนิคการค้นหาแบบตาบได้รับการอธิบายพอสังเขปอยู่ในภาคผนวกของบทความนี้



รูปที่ 4 สมมุติฐานที่ใช้ในการค้นหาแบบตาบ

วิธีการค้นหาแบบตาบเป็นวิธีการค้นหาที่ต้องการสมมุติฐานแบบจำลองของระบบรวมก่อนดำเนินการค้นหาคำตอบทุกครั้ง ถ้าตั้งสมมุติฐานไม่เหมาะสม โอกาสที่วิธีการดังกล่าวจะทำการค้นหาคำตอบให้ค่าที่ดีที่สุดก็ไม่อาจเกิดขึ้นได้ สมมุติฐานที่ใช้ประกอบการดำเนินการค้นหาพารามิเตอร์ของลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นของงานวิจัยนี้อาจทำความเข้าใจได้โดยพิจารณาแผนภาพในรูปที่ 4 ประกอบการอธิบาย ได้สมมุติให้ลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นอาจปรากฏได้ใน 3

ตำแหน่ง ซึ่งใช้สัญลักษณ์ NL1, NL2 และ NL3 ที่ปรากฏในแผนภาพตำแหน่งและรูปลักษณะของความไม่เป็นเชิงเส้น พิจารณาตามเหตุผลที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ที่ต่อขึ้นเป็นระบบที่ตำแหน่งต่างๆ ซึ่งอาจสรุปรวมเป็นสมมุติฐาน 4 กรณีดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 2

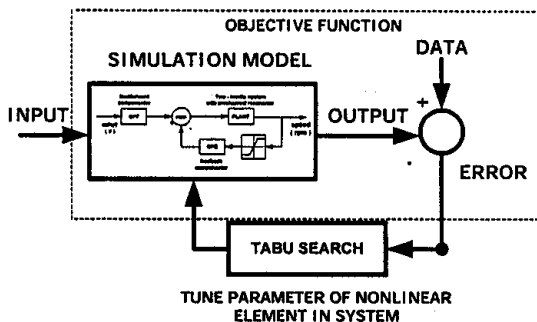
ตารางที่ 2 สมมุติฐานที่ใช้ในการค้นหาแบบตาบ

สมมุติฐาน กรณี	NL1	NL2	NL3
กรณี 1			
กรณี 2			
กรณี 3			
กรณี 4			

3. การระบุเอกลักษณ์ลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น

การค้นหาพารามิเตอร์ของลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นดำเนินการด้วยวิธีตาบ พิจารณาแต่ละกรณีที่แสดงไว้ในตารางที่ 2 เมื่อพิจารณา รูปที่ 5 อาจสังเกตเห็นว่าการค้นหาแบบตาบ ทำการปรับแต่งพารามิเตอร์ของลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น ดังที่ปรากฏอยู่ในแบบจำลองสำหรับการจำลองสถานการณ์ (simulation model) เมื่อการจำลองสถานการณ์ดำเนินไปก็จะนำผลที่เป็นค่าเชิงเลข มาเปรียบเทียบกับคำตอบสองที่บันทึกไว้ และประเมินค่าความคลาดเคลื่อนที่อาจแสดงด้วยค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$$J = \sum e^2(t), 0 < t < \infty \quad (4)$$



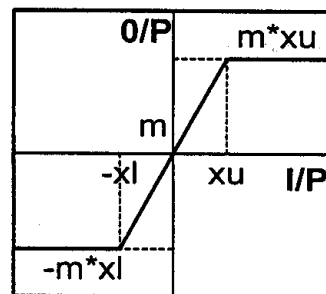
รูปที่ 5 แผนภาพอธิบายการดำเนินงานระบุเอกลักษณ์

เราจะยอมรับผลการค้นหาว่าแม่นยำพอ และยุติการค้นหาที่ต่อเมื่อ $J_{min} \leq \mu$ ค่า μ ในที่นี้เท่ากับ 0.5 ซึ่งได้มาจากการคำนวณซ้ำๆ เพื่อศึกษาพลวัตของระบบ

จากการระบุเอกลักษณ์ด้วยวิธีค้นหาแบบตาบพบว่าการใช้แบบจำลองความไม่เป็นเชิงเส้นปรากฏตำแหน่งเดียวในวิถีป้อนกลับ ให้ผลการใช้แบบจำลองที่ดีที่สุด กล่าวคือ แม่นยำที่สุดในจำนวนสมมุติฐานต่างๆ 4 กรณี ซึ่งปรากฏผลการระบุเอกลักษณ์ในรูปตระกูลของลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น ค่าพารามิเตอร์ต่างๆกำหนดดังที่แสดงด้วยรูปที่ 6 โดยมีค่าตัวเลขรวบรวมไว้ในตารางที่ 3

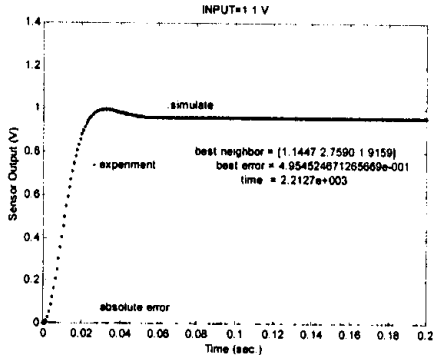
ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ของลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นที่ได้จากวิธีการค้นหาแบบตาบ

อินพุต (โวลต์)	ค่าพารามิเตอร์		
	m	xu	xl
1.1	1.1447	2.7590	1.9159
1.3	1.2698	1.3402	1.6716
1.5	1.3581	1.9137	0.5482
1.7	1.3128	2.4456	2.1646
1.9	1.3018	1.8827	0.2553
2.1	1.2849	2.2356	1.7925

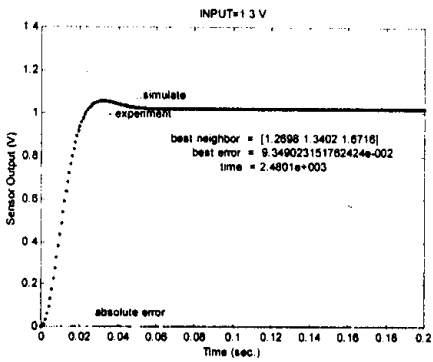


รูปที่ 6 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ

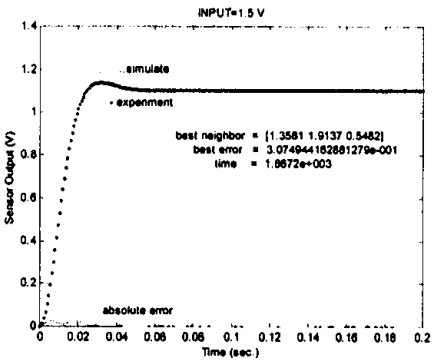
ผลการทดลองที่ได้จากวิธีการค้นหาแบบตาบ พบว่าแบบจำลองที่ได้สามารถอธิบายพฤติกรรมของระบบได้สมจริง เนื่องจากผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ของระบบตามสมมุติฐานกรณีที่ 4 มีความใกล้เคียงกับผลการทดสอบจริงเป็นอย่างมาก ซึ่งอาจสังเกตได้ถึงความใกล้เคียงกันของความเร็วในมวลหมุนที่บันทึกไว้กับผลการจำลองสถานการณ์ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 7 ก) ถึง 7 ค)



ก) ระดับอินพุต 1.1 โวลต์



ข) ระดับอินพุต 1.3 โวลต์



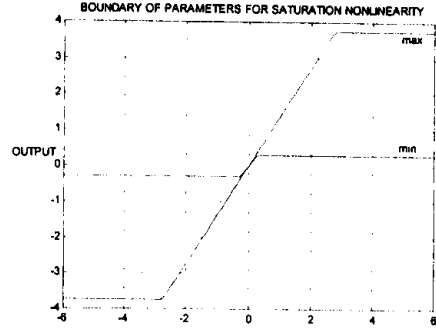
ค) ระดับอินพุต 1.5 โวลต์

รูปที่ 7 ผลการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่ระดับอินพุตต่างๆ

4. การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไม่เป็นเชิงเส้น

เนื่องจากแบบจำลองความไม่เป็นเชิงเส้นปรากฏเป็นตระกูลเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบจึงกำหนดขอบเขตล้อมรอบกลุ่มของลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น เป็นขอบเขตบนและขอบเขตล่างดังรูปที่ 8 และมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4 การวิเคราะห์เสถียรภาพต่อไปนี้จะพิจารณาช่วงของค่าความชันลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นชนิดอิมตัว (K_{SAT}) ดังนี้

$$1.1447 \leq K_{SAT} \leq 1.3581 \quad (5)$$



รูปที่ 8 พารามิเตอร์ที่ได้จากวิธีการค้นหาแบบตาข่ายที่ระดับอินพุตต่างๆ

ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดขอบเขตของลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น

ขอบเขต	m	Xu=Xl
ขอบเขตบน	1.3581	2.7590
ขอบเขตล่าง	1.1447	0.2553

4.1 วิธีฟังก์ชันพหุคูณ

วิธีฟังก์ชันพหุคูณ เป็นวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพที่ดำเนินการในโดเมนความถี่ นำมาใช้ประมาณและคาดเดาถึงพฤติกรรมของลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นที่เกิดขึ้นในระบบ โดยกำหนดให้ความไม่เป็นเชิงเส้นเปรียบเสมือนอัตราขยายสมมูล (equivalent gain) แต่อย่างไรก็ตามอัตราขยายสมมูลมิได้มีพฤติกรรมเป็นเชิงเส้น ค่าต่างๆของเอาต์พุตยังคงขึ้นอยู่กับค่าของอินพุต กฎเกณฑ์สำคัญที่นำมาใช้ในการพิจารณาเสถียรภาพ คือ เกณฑ์เสถียรภาพของโคเชนเบอร์เกอร์ (Kochenberger stability criterion) [7-8]

การดำเนินการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบด้วยวิธีการนี้กระทำได้โดยทำการพล็อตกราฟระหว่างกราฟทางเดินฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบวงรอบเปิดกับกราฟทางเดินของ $-1/N(a)$ เมื่อ $N(a)$ คือ ฟังก์ชันพหุคูณของลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นแบบอิมตัว [9] แสดงได้ดังสมการที่ (6) ผลการวิเคราะห์ที่แสดงได้ดังรูปที่ 9

$$N(a) = \frac{2K_{SAT}}{\pi} \left[\sin^{-1} \left(\frac{\delta}{a} \right) + \left(\frac{\delta}{a} \right) \sqrt{1 - \left(\frac{\delta}{a} \right)^2} \right] \quad (6)$$

เมื่อ

$N(a)$ = ฟังก์ชันพหุคูณของลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นแบบอิมตัว

K_{SAT} = ความชันของลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นแบบอิมตัว

a = ขนาดอินพุตขาเข้าที่เข้าสู่ลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น

δ = จุดที่เริ่มเกิดการอิมตัวของลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นแบบอิมตัว

อาจารย์ธันชัช กุลรวานิชพงษ์ ที่ให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์เกี่ยวกับวิธีการค้นหาแบบตาบ และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่เอื้ออำนวยสถานที่ปฏิบัติงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] H. Waagan, "Reduce Torsional Resonance in incremental Motion Servos", Control Engineering, Vol.16, No.14., pp. 85-88, 1969.
- [2] J. Tal, and B. C. Kuo, "Incremental Motion Control : Torsional Resonance in High-Performance Incremental Motion System", S.R.L. Publ., vol.1, pp.110-128, 1978.
- [3] S. Sujitjorn, C. U-Thaiwasin, and Y.Prempraneerat, " Torsional Resonance Suppression Via Pole-Zero Assignment , " Proc.19th IASTED Int. Conf. on Modelling, Identification, and Control, pp. 288-292, 2000.
- [4] J A Bland G P Dawson, " Tabu Search and Design Optimization," IEEE Trans. on IE, Vol.23, No.3, pp.195-201, 1991.
- [5] S. Sujitjorn, and T. Kulworawanichpong, " Optimal Power Flow Using Tabu Search," IEEE Power Engineering Review (submitted).
- [6] A. H. Mantawy, Y. L. Abdel-Magid, and S. Z. Selim, " Unit Commitment by Tabu Search, " IEEE Trans. On Distrib, Vol.142, No.1, pp.56-64, 1998.
- [7] D. P.Atherton , Nonlinear Control Engineering , Van Nostrand Reinhold, New York, 1982.
- [8] U. E. Eronini , System Dynamic & Control , PWS Publishing Company, Pacific Grove, 1999.
- [9] M. Vidyasagar , Nonlinear Systems Analysis , Prentice-Hall , London, 1993.
- [10] S. Lefschetz , Stability of Nonlinear Control Systems , Academic Press, New York, 1965.
- [11] W. M. Haddad , E.G. Collins, Jr., and D.S. Bernstein , " Robust Stability Analysis Using the Small Gain, Circle, Positivity, and Popov Theorems : A Comparative Study , " IEEE Trans. on Control Systems Technology, Vol.1, No.4., pp.290-293, 1993

ภาคผนวก

อธิบายกลไกการทำงานของวิธีการค้นหาแบบตาบ

ขั้นตอนที่ 1 โหลดข้อมูลจริงที่ได้จากการทดสอบ

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดค่าเริ่มต้น (S0) ซึ่งเป็นค่าตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่อยู่ใน overall_search_space โดยทำการหาค่าเริ่มต้นจากการสุ่มค่าตอบ

ขั้นตอนที่ 3 เริ่มต้นจากค่าตอบที่มีอยู่ โดยกำหนดให้ค่าตอบที่มีอยู่เป็นค่าตอบที่ดีที่สุด best_neighbor = S0 และค่า cost ของค่าตอบที่ดีที่สุด กำหนดให้เป็น best_error ซึ่งค่าดังกล่าวได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในงานวิจัยนี้ ค่า cost คือ ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างข้อมูลที่ได้จากการทดสอบกับข้อมูลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงว่าการค้นหาค่าตอบจะทำได้เรื่อยๆ ไล่ค่า cost น้อยที่สุดตามที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 4 จากจุดเริ่มต้นดำเนินการเคลื่อนย้ายในลักษณะสุ่ม ในขั้นตอนนี้จะทำการเคลื่อนย้ายในส่วนของพื้นที่การค้นหาจนได้จำนวนค่าใกล้เคียงของจุดเริ่มต้นมีจำนวนเท่ากับ number_neighbor

ขั้นตอนที่ 5 ดำเนินการคำนวณค่า cost ของสมาชิกแต่ละตัวที่ได้จากการสุ่มและเลือกค่าที่ดีที่สุด หมายความว่าค่า cost จะต้องมีย่านน้อยกว่าค่า cost ของจุดเริ่มต้น ถ้าไม่สามารถหาค่าตอบได้ให้ข้ามไปทำในขั้นตอนที่ 7 ถ้าสามารถหาค่าตอบได้ให้ทำในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 6 กำหนดให้ค่าที่ดีที่สุดจากขั้นตอนที่ 6 เป็นค่าเริ่มต้น จากนั้นเริ่มทำขั้นตอนที่ 3 ใหม่

ขั้นตอนที่ 7 ใช้เกณฑ์ความปรารถนา (aspiration criterion) กำหนดค่าเริ่มต้น จากนั้นเริ่มทำขั้นตอนที่ 3 ใหม่

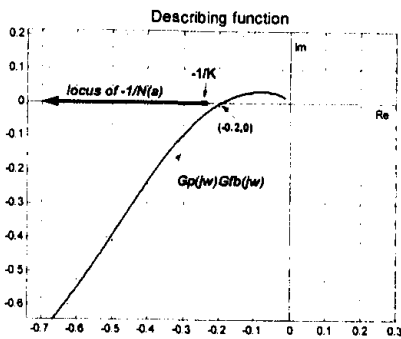


นายกองพัน อารีรักษ์ สำเร็จปริญญาตรีในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อ พ.ศ.2543 ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาโทที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และเป็นผู้ช่วยวิจัยทางด้านระบบควบคุมยกคน โดยได้รับทุนอุดหนุนวิจัยประจำปี 2544 จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



นาวาอากาศโท สราวุฒิ สูดิจจร สำเร็จปริญญาตรีและปริญญาเอกในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากโรงเรียนนายเรืออากาศ และมหาวิทยาลัยเบอร์มิงแฮม ประเทศอังกฤษ เมื่อ พ.ศ.2527 และ 2530 ตามลำดับ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์และหัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ดำเนินงานวิจัยทางด้านระบบควบคุมเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น การคำนวณกระบวนการทางสัญญาณ การอนุรักษ์พลังงาน และการประยุกต์เทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์ อาจารย์สราวุฒิเป็นสมาชิกวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ สมาคมเทคโนโลยีที่เหมาะสมและ IEEE อีกทั้งได้รับการจารึกชื่อไว้ใน Who's Who in the World และ Who's Who in Science and Engineering

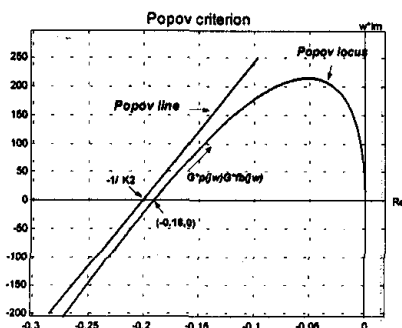
จากรูปที่ 9 สังเกตได้ว่ากราฟทางเดินของ $-1/N(a)$ จะเริ่มที่จุด $-1/K$ ไปจนถึงอนันต์ ส่วนกราฟทางเดินฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบวงรอบเปิดจะตัดแกน x ที่จุด $(-0.2, 0)$ การวิเคราะห์เสถียรภาพโดยอาศัยกฎเกณฑ์เสถียรภาพของโคเซนเบอเกอร์ จะต้องมึเงื่อนไข คือ $-1/K > -0.2$ หรือ $K < 5$ ดังนั้นจากเงื่อนไขดังกล่าวสามารถที่จะกำหนดช่วงของค่าความชัน K (ค่าความชันของลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นชนิดอิมตัว) ที่ทำให้ระบบเสถียร ได้คือ $0 < K < 5$



รูปที่ 9 การวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธีฟังก์ชันพหรรณา

4.2 วิธีเกณฑ์ของโพพอฟ (Popov's criterion)

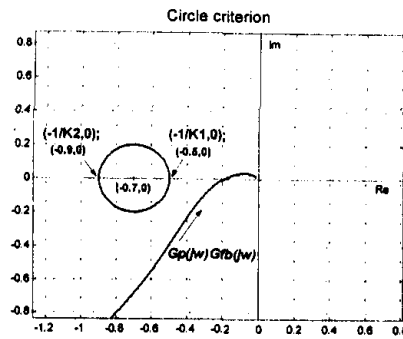
การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบด้วยวิธีการนี้ ขั้นตอนแรกจะกำหนดให้ลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นของระบบอยู่ในเซกเตอร์ $[0, K2]$ จากนั้นดำเนินการพล็อตโลกัสโพพอฟในระนาบเชิงซ้อน ซึ่งโลกัสโพพอฟคือ $X(jw)+jY(jw)$ โดยที่ $X(jw) = \text{Re}\{Gp(jw)Gfb(jw)\}$ และ $Y(jw) = w \cdot \text{Im}\{Gp(jw)Gfb(jw)\}$ กราฟที่ได้ปรากฏดังรูปที่ 10 เสถียรภาพพิจารณาตามเงื่อนไขที่ว่า “ระบบจะเสถียรก็ต่อเมื่อสามารถหาเส้นตรงที่ตัดแกน x ที่จุด $-1/K$ ได้โดยที่โลกัสโพพอฟอยู่ทางฝั่งขวาของเส้นตรงเส้นนั้น” [10-11] อาจสังเกตได้จากรูปที่ 10 ว่าโลกัสโพพอฟตัดแกน x ที่จุด $(-0.18, 0)$ ถ้าพิจารณาเสถียรภาพของระบบตามเงื่อนไขของวิธีการนี้ค่า K ควรจะมีค่าไม่เกิน $1/0.18 = 5.56$ ซึ่งหมายความว่าค่าความชันของลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นจะต้องอยู่ในช่วงของเซกเตอร์ $[0, 5.56]$ หรือ $0 < K < 5.56$ ระบบจึงจะรักษาเสถียรภาพไว้ได้



รูปที่ 10 การวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธีเกณฑ์ของโพพอฟ

4.3 วิธีเกณฑ์วงกลม (Circle criterion)

วิธีการนี้ต้องกำหนดให้ลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นของระบบอยู่ในเซกเตอร์ $[K1, K2]$ การดำเนินการงานมีลักษณะคล้ายคลึงกับฟังก์ชันพหรรณา โดยพล็อตกราฟฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบวงรอบเปิดเช่นเดียวกันแตกต่างกันตรงที่วิธีการนี้ไม่จำเป็นต้องพล็อตกราฟทางเดินของ $-1/N(a)$ แต่ทำการกำหนดวงวิกฤต (critical disk) แทน ซึ่งมีเงื่อนไขการพิจารณาดังนี้ “ถ้ากำหนดให้ค่าความชันของลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นอยู่ในเซกเตอร์ $[K1, K2]$ ระบบจะเสถียรก็ต่อเมื่อกราฟฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบวงรอบเปิดไม่สัมผัสหรืออยู่ในวงวิกฤต ซึ่งมีจุดตัดแกน x ในระนาบเชิงซ้อนที่จุด $-1/K1$ และ $-1/K2$ ตามลำดับ” [10-11] ซึ่งผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 11 จากรูปสังเกตได้ว่าวงวิกฤตตัดแกน x ที่จุด $(-0.9, 0)$ และ $(-0.5, 0)$ ดังนั้นค่า K ควรจะมีค่าอยู่ในช่วง $1/0.9$ ถึง $1/0.5$ ซึ่งหมายความว่าค่าความชันของลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นที่ระบบยังคงเสถียรจะต้องอยู่ในช่วงของเซกเตอร์ $[1.11, 2]$ หรือ $1.11 < K < 2$



รูปที่ 11 การวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธีเกณฑ์วงกลม

5. สรุป

จากผลการทดสอบเสถียรภาพทั้ง 3 วิธี สามารถกำหนดช่วงค่าความชันของลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นแบบอิมตัวที่ทำให้ระบบมีเสถียรภาพได้ดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว เมื่อพิจารณาค่าความชันของลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นชนิดอิมตัวที่ได้จากวิธีการค้นหาแบบตาคูบุงสมการที่ (5) พบว่าค่าความชันของระบบดังกล่าวสอดคล้องกับเงื่อนไขที่ได้จากวิธีการตรวจสอบเสถียรภาพทั้ง 3 วิธี ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าระบบสามารถขยายย่านการทำงานให้กว้างขึ้นได้โดยมีระดับของสัญญาณอินพุตเพิ่มขึ้นเป็น 2.1 โวลต์หรืออีกนัยหนึ่งคือสามารถควบคุมระบบในย่านของความเร็วได้เพิ่มขึ้นจากเดิม 143 rpm ไปเป็น 223 rpm ขณะที่มีการประกันเสถียรภาพของระบบได้เป็นอย่างดี และระบบตอบสนองต่ออินพุตได้อย่างรวดเร็ว

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้ประพันธ์ขอขอบคุณ รศ.ดร.โยธิน เปรมปรมาริรัชต์ ในคำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัยชิ้นนี้ ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว