

การศึกษาการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลมด้วยวิธีการควบคุมแบบ ฟัซซี่ พี-ไอโดย
ปรับค่าในตัวเอง

Study of Pneumatic Cylinder Pressing Control Using Self – Tuning Fuzzy PI
Control

สุพิพัฒน์ พานิชธนาคม
Supipat Panichtanakom

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Electrical Engineering
Prince of Songkla University

2554

๑

เลขที่	ดุษฎีบัณฑิต
TS 955 573 2554 ค.2	
Key	352914
	21 พ.ย. 2554

ชื่อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมด้วยวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง
ผู้เขียน	นายสุพิพัฒน์ พานิชรนาคม
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา	2553

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาและทดลองจำลองวิธีการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง เปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบพี-ไอ เริ่มต้นโดยการศึกษาและทดลองจำลองวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง ต่อมาทำการศึกษาและทดลองจำลองสมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวเมติกส์รวมถึงการทวนสอบสมการคณิตศาสตร์กับชุดทดลองนิวเมติกส์ไฟฟ้าพื้นฐานในห้องปฏิบัติการ หลังจากนั้นทำการจำลองวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองร่วมกับอุปกรณ์นิวเมติกส์ ผลที่ได้จากการจำลองนำมาเปรียบเทียบค่าของเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูท ช่วงเวลาในการเกิดสัญญาณจนถึงค่าเป้าหมาย และช่วงเวลาในการเกิดสัญญาณจนถึงค่าที่สัญญาณเข้าสู่เสถียรภาพรวมถึงเวลาในการประมวลผลสัญญาณ โดยออกแบบการจำลองให้สัญญาณอินพุตเป็นแบบต่อเนื่องเมื่อยังไม่มี การปรับค่าตัวคูณและมีการปรับค่าตัวคูณ และการจำลองให้สัญญาณอินพุตเป็นแบบคาบเวลาที่ความถี่ต่างๆเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบพี-ไอ ผลการศึกษาวิจัยพบว่าวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองไม่เหมาะกับการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบพี-ไอ โดยผลการจำลองเมื่อกำหนดให้สัญญาณอินพุตเป็นแบบต่อเนื่องเมื่อมีการปรับค่าตัวคูณ พบว่าสัญญาณการตอบสนองของวิธีการควบคุมทั้งสองเหมือนกันต่างกันตรง การควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองจะใช้เวลาในการประมวลผลสัญญาณนานกว่า ซึ่งหมายถึงจะต้องใช้เครื่องประมวลผลสัญญาณที่มีสมรรถนะสูงกว่ามาก อีกทั้งเมื่อให้สัญญาณอินพุตเป็นคาบเวลา การควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองจะให้ผลการตอบสนองที่เกิดการแกว่งของสัญญาณขึ้นและจะเพิ่มความรุนแรงขึ้นไปเรื่อยๆเมื่อเวลาผ่านไป นอกจากนี้ยังมีความซับซ้อนยุ่งยากของการเขียนคำสั่งซึ่งวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองจะมีความซับซ้อนและยุ่งยากมากกว่า

Thesis Title Study of Pneumatic Cylinder Pressing Control Using Self-Tuning Fuzzy PI Control

Author Mr. Supipat Panichtanakom

Major Program Electrical Engineering

Academic Year 2010

ABSTRACT

This thesis presents a study and simulations of pneumatic cylinder pressing control using self-tuning fuzzy PI control compared to the conventional PI control. Firstly, a study and simulations of self-tuning fuzzy PI control were performed in Matlab program. Then, a study and simulations of the pneumatic actuator mathematic model were verified with a basic electropneumatic test set. Afterwards, the pneumatic actuator control was simulated using self-tuning fuzzy PI control. The simulation results show the comparison in terms of overshoot percentage, rise time, settling time, and the signal processing time taken by the simulators. The simulation inputs were continuous signals without and with tuning factor, and pulse signals with various frequencies. The results show that the self-tuning fuzzy PI control is unsuitable for pneumatic cylinder pressing control when compared to the PI control. The simulation results when taken the continuous signals with tuning factor show the same response of both controls, but the self-tuning fuzzy PI control took much more processing time than the PI control. This indicates the requirement of the much higher performance processor. For the pulse signals, the self-tuning fuzzy PI control had slow response time and violent damping when running for long time. Moreover, the self-tuning fuzzy PI control Matlab coding is more complicated than the PI control.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐฐา จินดาเพ็ชร ประธานกรรมการที่ปรึกษางานวิจัย ที่ได้เสียสละเวลาในการให้คำปรึกษา แนวคิดในการทำวิจัย รวมถึงการช่วยเหลือแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างลุล่วงสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุสุมาลย์ เถлимยานนท์ ที่ได้เสียสละเวลาในการให้คำปรึกษา แนวคิดในการทำวิจัย คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือในงานวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างลุล่วงสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนุวัตร ประเสริฐสิทธิ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย พฤกษ์ภัทรานนท์ ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ ที่กรุณาเสียสละเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อีกทั้งตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยและให้ความช่วยเหลือด้านการประสานงานต่างๆ

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ เอื้อเฟื้อ ห้องปฏิบัติการ ชุดทดลองระบบนิวมิติกส์ไฟฟ้า รวมถึงเครื่องมือวัด

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ บุคลากร และนักศึกษาปริญญาโทภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกคนที่ได้ให้คำปรึกษา และกำลังใจในการทำงานเป็นอย่างดีเสมอมา

และสุดท้าย ข้าพเจ้าขอโน้มรำลึกถึงพระคุณของ บิดามารดา และครอบครัว ที่ส่งเสริมและสนับสนุนข้าพเจ้าในทุกๆ เรื่องตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

สุพิพัฒน์ พานิชชนาคม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(9)
รายการภาพประกอบ	(10)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย	1
1.2 การตรวจเอกสาร	2
1.3 วัตถุประสงค์	4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.5 ระเบียบวิธีวิจัย	4
1.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
2. ทฤษฎีและหลักการควบคุมอุปกรณ์นิวเมติกส์	6
2.1 บทนำ	6
2.1.1 ระบบเชิงเส้น (Linear system)	6
2.1.2 ระบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear system)	7
2.1.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	8
2.1.4 แบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบเชิงกล	8
2.1.4.1 ระบบการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง	8
2.1.5 ผลการตอบสนองเชิงเวลา	11
2.1.5.1 สัญญาณเข้าทดสอบมาตรฐาน	11
2.1.5.2 คุณลักษณะของผลตอบสนองเชิงเวลา	13
2.2 ระบบควบคุมอัตโนมัติ	20
	(6)

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.1 ระบบควบคุมแบบสัดส่วน(Proportional Control)	20
2.2.2 ระบบควบคุมแบบปริพันธ์(Integral Control)	23
2.2.3 การควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์(Proportional plus integral Control)	25
2.3 ฟิชซี	27
2.3.1 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟิชซีลอจิก	28
2.3.2 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟิชซีลอจิก	29
2.4 หลักการควบคุมด้วยฟิชซีพีไอ โดยปรับค่าในตัวเอง	32
2.4.1 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก(Membership Function)	32
2.4.2 ตัวคูณเพิ่มค่า (Scaling Factors)	34
2.4.3 การใช้กฎ(The rule-bases)	35
2.4.4 การปรับค่าสำหรับตัวคูณค่า	36
2.5 อุปกรณ์นิวเมติกส์ (Pneumatic Actuators)	43
2.5.1 กระบอกลูกสูบแบบ 2 ทิศทาง(Double Acting Cylinder)	43
2.5.2 สมการทางคณิตศาสตร์ของกระบอกลูกสูบแบบ 2 ทิศทาง	43
2.5.3 วาล์วบังคับทิศทางลมควบคุมด้วยไฟฟ้า(Electropneumatic Control Valves)	52
2.5.4 สมการคณิตศาสตร์ของวาล์วควบคุมไฟฟ้า	55
2.5.4.1 ระบบกลไกล้อย	58
2.5.4.2 ความสามารถในการไหลของวาล์ว	60
3. ระเบียบวิธีการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบโดยวิธีการควบคุมแบบฟิชซี พีไอ โดยปรับค่าในตัวเอง	68
3.1 การออกแบบการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบ	68
3.1.1 ศึกษาและจำลองสมการคณิตศาสตร์ของกระบอกลูกสูบแบบ 2 ทิศทาง	69
3.1.2 ศึกษาและจำลองสมการคณิตศาสตร์ของวาล์วบังคับทิศทาง 5/3 แบบสัดส่วน	74

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.3 ศึกษาและจำลองสมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวเมติกส์	76
3.1.4 ศึกษาและทวนสอบสมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวเมติกส์ด้วยชุดทดลองนิวเมติกส์ไฟฟ้าพื้นฐาน	82
3.2 การควบคุมแบบฟัซซี่ พีไอโดยปรับค่าในตัวเอง	85
3.2.1 การจำลองฟังก์ชันการเป็นสมาชิก(Membership Function)	85
3.2.2 การเขียนกฎ(Rules)	86
3.2.3 การเขียนฟังก์ชันการประมวลผลที่ได้รับจากการใช้กฎ (Fuzzification)	87
3.2.4 การประมวลผลสมการทางคณิตศาสตร์(Defuzzification)	88
3.3 การจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ พีไอโดยปรับค่าในตัวเอง	89
4. ผลการวิจัย	92
4.1 การทดลองจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ พีไอโดยปรับค่าในตัวเองเมื่อกำหนดตัวคูณค่าทั้งหมดเท่ากับ 1	92
4.2 การทดลองจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ พีไอโดยปรับค่าในตัวเองเมื่อมีการปรับตัวคูณค่า	96
4.3 การทดลองจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ พีไอโดยปรับค่าในตัวเองเมื่อมีการปรับสัญญาณอินพุตเป็นคาบเวลา	99
4.4 การทดลองจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ พีไอโดยปรับค่าในตัวเองเมื่อมีการปรับสัญญาณอินพุตเป็นคาบเวลาเมื่อมีการปรับตัวคูณค่า	106
4.5 การทดลองจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ พีไอโดยปรับค่าในตัวเองเมื่อมีการปรับระดับของสัญญาณอินพุต	113
5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ	119
5.1 บทสรุป	119
5.2 ข้อเสนอแนะ	120

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	121
ภาคผนวก ก	123
ภาคผนวก ข	130
ประวัติผู้เขียน	136

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2-1 ค่าของแรงเสียดทานสถิตและแรงเสียดทานขณะเคลื่อนที่ และค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานของกระบอกสูบลม 2 ทิศทางแบบมาตรฐาน	51
2-2 การคำนวณหาพื้นที่วาล์วที่ให้ผลดี	63
3-1 คำอธิบายตัวแปร	78
4-1 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซีซีพีไอ โดยปรับค่าในตัวเองเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบพีไอเมื่อกำหนดตัวคูณค่าทั้งหมดเท่ากับ 1	95
4-2 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซีซีพีไอ โดยปรับค่าในตัวเองเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบพีไอเมื่อมีการปรับตัวคูณค่า	98

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
2-1 เส้นแสดงคุณลักษณะของระบบไม่เป็นเชิงเส้น	7
2-2 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง	9
2-3 ระบบการเคลื่อนที่ มวล-สปริง-ตัวหน่วง	10
2-4 แรงทั้งหมดที่กระทำต่อมวล	11
2-5 สัญญาณเข้าทดสอบ	12
2-6 ผลตอบสนองต่อสัญญาณเข้าหนึ่งหน่วยของระบบอันดับสองกรณีหน่วงต่ำกว่าวิกฤต	14
2-7 การกำหนดมุม β	16
2-8 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกินสูงสุดกับอัตราส่วนการหน่วง	18
2-9 ผลตอบสนองของระบบที่มีค่า ζ_{0n} เท่ากัน	19
2-10 ผลตอบสนองของระบบที่มีค่า ζ เท่ากัน	19
2-11 ผลตอบสนองของระบบที่มีค่า ω_n เท่ากัน	20
2-12 การกำหนดช่วงจำกัดของเอาต์พุต	21
2-13 การตอบสนองของคอนโทรลเลอร์แบบ Proportional control	22
2-14 ระบบควบคุมแบบ Proportional control	22
2-15 ลักษณะการตอบสนองของคอนโทรลเลอร์แบบ integral control	23
2-16 ระบบควบคุมแบบ integral control	24
2-17 แผนภาพบล็อกที่ประกอบด้วย Proportional plus Integral	25
2-18 การตอบสนองของ PI controller	25
2-19 ทรานส์เฟรแบบแท้จริง(บูลีนลอจิก)กับทรานส์เฟรแบบพีซซี(พีซซีลอจิก)	27
2-20 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบพีซซีลอจิก	28
2-21 ขั้นตอนการประมวลผลแบบพีซซีลอจิก	29
2-22 วิธีการหาจุดศูนย์ถ่วง	30
2-23 แผนผังแสดงการทำงานของระบบควบคุมแบบพีซซี พีไอ โดยปรับค่าในตัวเอง	32
2-24 แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิก $e, \Delta e$ และ Δu	33
2-25 แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกตัวคูณแบบปัจจุบัน (α)	33

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า	
2-26	กฎการควบคุมแบบพีชชีสำหรับการคำนวณค่า Δu	34
2-27	กฎของพีชชีสำหรับการคำนวณค่า α	34
2-28	การเปลี่ยนแปลงของตัวคูณค่าแบบเป็นปัจจุบัน(α)กับค่าผิดพลาด(e)และค่าผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง(Δe)	37
2-29	พื้นที่ของการควบคุมแบบพีชชีพีโอ	38
2-30	พื้นที่การควบคุมแบบพีชชีพีโอโดยปรับค่าตัวเอง	39
2-31	ส่วนประกอบภายในของกระบอบอกสูบลม 2 ทิศทาง	43
2-32	แผนผังการทำงานของห้องลม	44
2-33	แผนผังกลไกของกระบอบอกสูบลม 2 ทิศทางแบบมาตรฐาน	48
2-34 ก)	โครงสร้างภายใน	52
2-34 ข)	กราฟคุณลักษณะของแรง	52
2-35 ก)	โครงสร้างโดยทั่วไป	58
2-35 ข)	โครงสร้างการทำงานของวาล์วอาศัยความสมดุลของแรง	58
2-36	โครงสร้างกลไกการทำงานของวาล์วแบบเลื่อนไปมา	59
2-37	แผนผังการวัดอัตราการไหล	61
2-38	คุณลักษณะภาวะคงตัวของวาล์วชนิดระบุตำแหน่ง	64
2-39 ก)	การออกแบบให้ปลอกมีขนาดเท่ากับพื้นที่หน้าตัดรูลม	66
2-39 ข)	การออกแบบให้ปลอกมีขนาดสั้นกว่าพื้นที่หน้าตัดรูลม	66
2-39 ค)	การออกแบบให้ปลอกมีขนาดยาวกว่าพื้นที่หน้าตัดรูลม	66
3-1	การควบคุมแรงกดจากกระบอบอกสูบลม	68
3-2	แผนผังการควบคุมแรงกดจากกระบอบอกสูบ	69
3-3	กระบอบอกสูบแบบ 2 ทิศทาง Bosch รุ่น 0822010857	70
3-4	กล้องแสดงการเชื่อมโยงการทำงานจากสมการ(3-9)	72
3-5	กล้องแสดงการเชื่อมโยงการทำงานจากสมการ(3-10)	72
3-6	กล้องแสดงการเชื่อมโยงการทำงานจากสมการ(3-11)	73
3-7	กล้องแสดงการเชื่อมโยงการทำงานของกระบอบอกสูบ 2 ทิศทาง	73

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3-8 วาล์วบังคับทิศทาง 5/3 แบบสัดส่วน Festo รุ่น MPYE-5-1/8HF-010-B	74
3-9 กล้องแสดงการเชื่อมโยงการทำงานของวาล์วบังคับทิศทาง 5/3 แบบสัดส่วน	76
3-10 กล้องแสดงการเชื่อมโยงการทำงานระหว่างวาล์วบังคับทิศทาง 5/3 แบบสัดส่วนกับ กระบอกสูบลม 2 ทิศทาง	77
3-11 การจำลองอุปกรณ์นิวเมติกส์ลงบน โปรแกรม Matlab	79
3-12 ส่วนประกอบการจำลองวาล์วบังคับทิศทาง 5/3 แบบสัดส่วนและกระบอกสูบลม 2 ทิศทาง	79
3-13 ส่วนประกอบภายในกล่องการทำงานของวาล์วบังคับทิศทาง 5/3 แบบสัดส่วน	80
3-14 ส่วนประกอบภายในของกระบอกสูบลม 2 ทิศทาง	80
3-15 ส่วนประกอบของห้องลม 1	81
3-16 ส่วนประกอบของห้องลม 2	81
3-17 ส่วนประกอบภายในของสมการการเคลื่อนที่ของลูกสูบ	81
3-18 ประกอบอุปกรณ์นิวเมติกส์เพื่อใช้ในการทดลองในห้องปฏิบัติการ	82
3-19 เปรียบเทียบผลการทดลองในห้องปฏิบัติการกับผลการจำลองที่ระดับแรงดัน กระแสตรง $10 V_{dc}$	83
3-20 เปรียบเทียบผลการทดลองในห้องปฏิบัติการกับผลการจำลองเมื่อมีการปรับค่าตัว แปรที่ระดับแรงดันกระแสตรง $10 V_{dc}$	83
3-21 เปรียบเทียบผลการทดลองในห้องปฏิบัติการกับผลการจำลองที่ระดับแรงดัน กระแสตรง $8 V_{dc}$	84
3-22 กล่องการทำงานของตัวควบคุมฟิชซี	85
3-23 การฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวควบคุมฟิชซีตัวที่ 1	86
3-24 การฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวควบคุมฟิชซีตัวที่ 2	86
3-25 การเขียนกฎเพื่อใช้ในการตัดสินใจของตัวควบคุมฟิชซีตัวที่ 1	87
3-26 การเขียนกฎเพื่อใช้ในการตัดสินใจของตัวควบคุมฟิชซีตัวที่ 2	87
3-27 การเขียนฟังก์ชันการประมวลผลจากการใช้กฎของตัวควบคุมฟิชซีตัวที่ 1	88
3-28 การเขียนฟังก์ชันการประมวลผลจากการใช้กฎของตัวควบคุมฟิชซีตัวที่ 2	88

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3-29 ผลการจำลองวิธีการควบคุมแบบฟิชชีที่ 1	89
3-30 ผลการจำลองวิธีการควบคุมแบบฟิชชีที่ 2	89
3-31 การจำลองการควบคุมแรงกดจากการกระบอกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบฟิชชี พีไอ โดยปรับค่าในตัวเอง	90
3-32 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากการกระบอกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบฟิชชี พีไอ โดยปรับค่าในตัวเอง	90
4-1 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากการกระบอกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบฟิชชี พีไอ โดยปรับค่าในตัวเอง เมื่อกำหนดตัวคูณค่าทั้งหมดเท่ากับ 1	93
4-2 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากการกระบอกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบฟิชชี พีไอ เมื่อกำหนดตัวคูณค่าทั้งหมดเท่ากับ 1	93
4-3 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากการกระบอกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบพีไอ เมื่อกำหนดตัวคูณค่าทั้งหมดเท่ากับ 1	94
4-4 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากการกระบอกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบฟิชชี พีไอ โดยปรับค่าในตัวเองเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบฟิชชี พีไอและการ ควบคุมแบบ พีไอ เมื่อกำหนดตัวคูณค่าทั้งหมดเท่ากับ 1	94
4-5 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากการกระบอกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบฟิชชี พีไอ โดยปรับค่าในตัวเอง เมื่อมีการปรับตัวคูณค่า	96
4-6 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากการกระบอกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบฟิชชี พีไอ เมื่อมีการปรับตัวคูณค่า	97
4-7 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากการกระบอกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบพีไอ เมื่อมีการปรับตัวคูณค่า	97
4-8 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากการกระบอกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบฟิชชี พีไอ โดยปรับค่าในตัวเองเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบฟิชชี พีไอและการ ควบคุมแบบ พีไอ เมื่อมีการปรับตัวคูณค่า	98

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4-26 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซซี พี-ไอ เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 6 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลาเมื่อปรับค่าตัวคูณ	109
4-27 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบ พี-ไอ เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 6 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลาเมื่อปรับค่าตัวคูณ	110
4-28 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซซี พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบพีซซี พี-ไอและการควบคุมแบบ พี-ไอ เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 6 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลาเมื่อปรับค่าตัวคูณ	110
4-29 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซซี พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 5 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลาเมื่อปรับค่าตัวคูณ	111
4-30 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซซี พี-ไอ เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 5 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลาเมื่อปรับค่าตัวคูณ	111
4-31 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบ พี-ไอ เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 5 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลาเมื่อปรับค่าตัวคูณ	112
4-32 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซซี พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบพีซซี พี-ไอและการควบคุมแบบ พี-ไอ เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 5 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลาเมื่อปรับค่าตัวคูณ	112

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
4-33	ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง เมื่อมีการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าขนาด $6 V_{dc}$ พิมพ์ 6 แผ่น ในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา	114
4-34	ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอ เมื่อมีการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าขนาด $6 V_{dc}$ พิมพ์ 6 แผ่น ในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา	114
4-35	ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบ พี-ไอ เมื่อมีการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าขนาด $6 V_{dc}$ พิมพ์ 6 แผ่น ในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา	115
4-36	ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองเปรียบเทียบกับการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอและการควบคุมแบบ พี-ไอ เมื่อมีการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าขนาด $6 V_{dc}$ พิมพ์ 6 แผ่น ในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา	115
4-37	ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง เมื่อมีการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าขนาด $10 V_{dc}$ พิมพ์ 6 แผ่น ในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา	116
4-38	ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอ เมื่อมีการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าขนาด $10 V_{dc}$ พิมพ์ 6 แผ่น ในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา	116
4-39	ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบ พี-ไอ เมื่อมีการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าขนาด $10 V_{dc}$ พิมพ์กระดาด 6 แผ่น ในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา	117
4-40	ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองเปรียบเทียบกับการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอและการควบคุมแบบ พี-ไอ เมื่อมีการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าขนาด $10 V_{dc}$ พิมพ์กระดาด 6 แผ่น ในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา	117

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย

ปัจจุบันระบบนิเวศน์ได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในเรื่องของการช่วยอำนวยความสะดวก ช่วยทุ่นแรง รวมถึงเทคโนโลยีทางด้านหุ่นยนต์ ด้วยคุณสมบัติของระบบนิเวศน์ที่มีความเร็ว น้ำหนักเบา เป็นระบบที่สะอาด บำรุงดูแลรักษาง่ายและราคาไม่สูงมาก จึงเป็นที่สนใจของนักวิจัยหลายๆท่าน ดังจะให้เห็นจากบทความต่างประเทศหลายๆบทความโดยได้ศึกษาและทำการวิจัยเกี่ยวกับระบบนิเวศน์ในหลายๆรูปแบบการใช้งาน เช่น การควบคุมการเคลื่อนที่ การควบคุมความดันอากาศ แต่ด้วยข้อจำกัดและความซับซ้อนของตัวแปรในระบบนิเวศน์ จึงทำให้เกิดความยากลำบากในการควบคุมการทำงานของระบบนิเวศน์ให้มีความแม่นยำ

มีหลายบทความจากต่างประเทศได้กล่าวถึงวิธีการควบคุมระบบนิเวศน์ให้เกิดความแม่นยำ มีนักวิจัยได้นำเสนอบทความเรื่องวิธีการควบคุมแบบพีไอดี โดยนำโครงข่ายประสาทเทียมมาเป็นตัวปรับค่าของตัวคูณค่า เมื่ออินพุตมีการเปลี่ยนแปลง[1] แต่ปัญหาคือยังไม่มีวิธีการกำหนดค่าเริ่มต้นของตัวคูณค่าที่เหมาะสม จึงมีการนำเสนอการควบคุมแบบพีซีพี-ไอ แบบปรับค่าโดยใช้เอาท์พุตเป็นตัวป้อนกลับ[2] ปัญหาที่เกิดขึ้นคือเมื่ออินพุตมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาควบคุมจะเข้าสู่เสถียรภาพช้า ซึ่งต่อมาให้นักวิจัยได้นำเสนอวิธีการควบคุมแบบพีซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง[3] ซึ่งให้ผลเป็นที่น่าพอใจ และการควบคุมไม่ซับซ้อนมาก อีกทั้งมีความยืดหยุ่นสูง และได้ยกตัวอย่างในการนำไปควบคุมระบบอื่น[4]ที่ไม่ใช่ระบบนิเวศน์

แนวคิดในการทำวิจัยโดยเป็นการศึกษาการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมด้วยวิธีการควบคุมแบบพีซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่ลักษณะใกล้เคียงกันเช่น การควบคุมแรงกดแม่พิมพ์บนกระดาษ การควบคุมแรงกดในการอัดจุกขวดหรืองานอื่นๆที่ต้องการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลม

1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 Non-Linear PID Controller Using Neural Network [1]

บทความนี้กล่าวถึงการควบคุมตำแหน่งของกระบอกสูบลมขณะขับเคลื่อนภาระที่มวลต่างๆ โดยใช้ การควบคุมแบบ PID และวิธีการของโครงข่ายประสาทเทียมในการปรับตัวคุณค่าของการควบคุม PID เพื่อลดค่าผิดพลาดของตำแหน่งที่ต้องการควบคุม ผลที่ได้รับคือ โครงข่ายประสาทเทียมจะต้องอาศัยช่วงเวลาในการเรียนรู้เพื่อจะคำนวณตัวคุณค่าของการควบคุมแบบ PID แล้วจึงป้อนให้กับตัวควบคุมทำให้ค่าผิดพลาดของตำแหน่งค่อยๆลดลงเมื่อมีภาระงานซ้ำๆ ปัญหาของบทความนี้คือ จะต้องมีการกำหนดค่าเริ่มต้นของตัวคุณค่าสำหรับตัวควบคุมแบบ PID

1.2.2 Fuzzy adaptive output tracking control of nonlinear systems [2]

บทความนี้กล่าวถึงการปรับปรุงระบบควบคุมแบบฟัซซี่โลจิกเดิมที่มีอยู่ให้สามารถนำไปใช้ได้กว้างขวางมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบการทำงานที่ไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งจะมีตัวแปรที่ไม่ทราบค่า โดยบทความนี้จะใช้ส่วนของอินทิกรัลคอนโทรลเพิ่มเข้าไปในระบบและใช้วิธีการป้อนกลับสำหรับค่าตัวคุณของอินทิกรัลเพื่อทำให้การควบคุมทำได้ดีขึ้น และไม่ต้องสมมุติค่าตัวแปรที่ไม่ทราบค่า แต่จะใช้วิธีการประมาณค่าจากการสังเกตการป้อนกลับทำให้สามารถนำระบบนี้ไปใช้ควบคุมระบบอื่นๆได้อย่างกว้างขวาง

1.2.3 A self-tuning fuzzy PI controller [3]

บทความนี้กล่าวถึงวิธีการปรับค่าผิดพลาดจากการคำนวณค่าแบบเป็นปัจจุบัน โดยใช้หลักการง่ายๆของการควบคุมรูปสามเหลี่ยมของฟัซซี่โลจิก เปรียบเทียบค่า โอเวอร์ชูท การตั้งค่าเวลา ผลรวมจริงของค่าผิดพลาด กับการควบคุมแบบพี-ไอเดิมๆ โดยได้มีการสมมุติการนำไปใช้กับระบบการทำงานที่ลำดับคำสั่งที่หนึ่ง $G_p(s) = e^{-Ls} / (5s + 1)$ ที่ ค่า $L=0.1$ การควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองมีค่าโอเวอร์ชูทน้อยกว่าการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอแบบเดิมๆถึง 20% ใช้เวลาในการเข้าสู่เสถียรภาพน้อยกว่า 1.6 วินาที และได้ทดลองสมมุติการนำไปใช้งานกับระบบการทำงานที่ลำดับคำสั่งที่สองที่สามพบว่าระบบการควบคุมแบบใหม่นี้ยังคงให้ผลดีกว่าแบบเดิม

1.2.4 A self-tuning fuzzy PI controller for TCSC to improve power system stability[4]บทความนี้กล่าวถึงการใช้ตัวควบคุมแบบ Self-tuning fuzzy PI ควบคุมการทำงานของทรานซิสเตอร์อนุกรมกับตัวเก็บประจุเพื่อปรับค่าไดนามิกซ์ของระบบกำลังให้ดีขึ้นโดยมีการปรับค่าอย่างต่อเนื่อง ตัวแปรที่ทำการปรับจะได้จากการคำนวณภายใต้กฎของ Fuzzy จะได้ค่าผิดพลาดและทำการเปลี่ยนแปลงค่าผิดพลาดเดิม บทความนี้ได้จำลองการเชื่อมต่อของระบบไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผลที่ได้รับเมื่อมีการเชื่อมระบบทั้งสองเข้าด้วยกันและทดลองให้มี

การเพิ่มขึ้นของภาระที่ 75% ของระบบใดระบบหนึ่ง พบว่าวิธีการควบคุมแบบ ฟัซซี่ พี-ไอ โดยมีการปรับค่าในตัวเองมีการทำงานดีกว่าการใช้ตัวควบคุมแบบ Fuzzy PI ซึ่งเป็นแบบเดิมโดยทำการเปรียบเทียบเรื่องของ โอเวอร์ชูทและระยะเวลาในการเข้าสู่เสถียรภาพ

1.2.5 Dynamic Behavior of Pneumatic Systems for Lower Extremity Extenders

[5]

บทความนี้ได้พิจารณาถึงต้นแบบของกระบอกสูบทิศทางเดียวหรือกระบอกสูบ 2 ทิศทางและเซอร์โววาล์วที่มีจุดมุ่งหมายให้เข้าใจอย่างลึกซึ้งซึ่งภายใต้เงื่อนไขการออกแบบนิวเมติกส์และความต้องการควบคุม ต้นแบบจะใช้วิธีการหลักเทอร์โมไดนามิกส์ของพลังงานและการกักเก็บมวล มีการสาธิตให้ถึงผลกระทบของระบบนิวเมติกส์จากสองกรณีคือ เมื่อไม่คิดไดนามิกส์จากการอัดตัวของอากาศและความไม่ต่อเนื่องภายในเซอร์โววาล์วจากการไหลที่ติดขัด ซึ่งได้สรุปเป็นสมการที่สำคัญและได้นำมาใช้ในงานออกแบบระบบนิวเมติกส์

1.2.6 Pneumatic Force Control for Robotic Systems [6]

บทความนี้กล่าวถึงการพัฒนาวิธีการควบคุมอุปกรณ์ขับเคลื่อนนิวเมติกส์ให้เป็นอุปกรณ์สร้างแรง ซึ่งแรงที่ได้เป็นการสร้างขึ้นของอุปกรณ์สร้างแรงและการแทนที่ของลูกสูบ โดยวิธีการวัดอย่างละเอียดของการแทนที่ลูกสูบและการควบคุมอย่างมุ่งมั่นของอุปกรณ์กำลัง ทำให้สามารถควบคุมแรงอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งอันดับแรกๆของบทความนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองให้ถูกต้องของระบบนิวเมติกส์ประกอบด้วยกระบอกสูบสองทางและเซอร์โววาล์ว จุดมุ่งหมายภายใต้เงื่อนไขเพื่อความเข้าใจอย่างแท้จริงในการออกแบบและต้องการควบคุมอุปกรณ์ของระบบนิวเมติกส์ โดยใช้แบบจำลองที่ได้มาของกระบวนการควบคุมอุปกรณ์นิวเมติกส์ไปยังอุปกรณ์กำเนิดแรง เป็นการกล่าวถึงสำหรับประยุกต์ในการควบคุมหุ่นยนต์ อย่างหนึ่งสำหรับความยากของอุปกรณ์นิวเมติกส์คือเรื่องการอัดตัวของอากาศภายใน ซึ่งสาเหตุเกิดจากการไหลของอากาศที่เป็นคุณสมบัติเฉพาะผ่านเซอร์โววาล์วเป็นอย่างไรอย่างใดอย่างหนึ่งระหว่างการไหลที่ติดขัดและไม่ติดขัด บทความนี้ได้นำไปใช้กับหุ่นยนต์และการได้มาของต้นแบบโดยใช้การควบคุมมอเตอร์ลมและเซอร์โววาล์วไปสู่การกำเนิดแรง วิธีการออกแบบควบคุมให้มีความหลากหลายของแบบจำลองที่ง่ายเมื่อพิจารณาเอาท์พุทเป็นกำลัง ฉะนั้นกำลังที่ได้มาจากอุปกรณ์นิวเมติกส์ให้เป็นตัวสร้างแรงและการแทนที่ของลูกสูบโดยการวัดให้ถูกต้องของการแทนที่ลูกสูบและความมุ่งมั่นควบคุมของกำลัง ทำให้สามารถควบคุมแรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการทดลองได้จากย่านสัญญาณที่ความถี่ 10 Hz โดยใช้กับอุปกรณ์ที่เป็นเชิงเส้น

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อศึกษาการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมด้วยวิธีการควบคุมแบบ ฟีดแบ็ค ฟีด-โวลต์ โดยปรับค่าในตัวเอง

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ศึกษาและจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมด้วยวิธีการควบคุมแบบฟีดแบ็ค ฟีด-โวลต์ โดยปรับค่าในตัวเองและการควบคุมแบบ ฟีด-โวลต์ ลงบนโปรแกรม MATLAB เพื่อเปรียบเทียบค่าของ %Overshoot (%OS), rise time (t_r), settling time (t_s)

1.4.2 ศึกษาและทดลองสร้างต้นแบบการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมด้วยวิธีการควบคุมแบบฟีดแบ็ค ฟีด-โวลต์ โดยปรับค่าในตัวเองเพื่อหาค่าของ Overshoot (%OS), rise time (t_r), settling time (t_s)

1.5 ระเบียบวิธีวิจัย

1.5.1 ออกแบบการประยุกต์ใช้งานแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบฟีดแบ็ค ฟีด-โวลต์โดยปรับค่าในตัวเอง โดยออกแบบให้ควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมในการพิมพ์ลายนูนบนกระดาษ

1.5.2 ศึกษาและเขียนสมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวเมติกส์

1.5.3 จำลองสมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวเมติกส์ลงบนโปรแกรม

MATLAB

1.5.4 ทวนสอบสมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวเมติกส์กับชุดทดลองนิวเมติกส์ไฟฟ้าพื้นฐานในห้องปฏิบัติการเพื่อกำหนดค่าตัวแปรให้ถูกต้อง

1.5.5 ศึกษาและจำลองวิธีการควบคุมแบบฟีดแบ็ค ฟีด-โวลต์ โดยปรับค่าในตัวเองลงบนโปรแกรม MATLAB

1.5.6 ตรวจสอบความถูกต้องผลการจำลองวิธีการควบคุมแบบฟีดแบ็ค ฟีด-โวลต์ โดยปรับค่าในตัวเองเทียบกับบทความที่อ้างอิง

1.5.7 จำลองสมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวเมติกส์ร่วมกับการควบคุมแบบฟีดแบ็ค ฟีด-โวลต์ โดยปรับค่าในตัวเอง

1.5.8 กำหนดการทดลองประยุกต์ใช้งานในรูปแบบต่างๆเพื่อเป็นข้อมูลในการศึกษา เปรียบเทียบและสรุปผลการทำงานโดยทำการเปรียบเทียบการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองกับ การควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอ และการควบคุมแบบ พี-ไอ

1.5.9 สรุปและเสนอแนะผลการศึกษากการควบคุมแรงกดจากระบบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอโดยปรับค่าในตัวเอง

1.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

1.6.1 รวบรวมและศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมา

1.6.2 ศึกษาและจำลองการทำงานของตัวควบคุมแบบ ฟัซซี่ พี-ไอโดยปรับค่าในตัวเอง ลงบนโปรแกรม MATLAB ควบคู่กับการควบคุมแบบ พี-ไอ

1.6.3 เปรียบเทียบค่าตัวแปรที่ต้องการควบคุมระหว่างการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง กับ การควบคุมแบบ พี-ไอ

1.6.4 สรุปผลการจำลอง

1.6.5 ศึกษาและสร้างต้นแบบตัวควบคุม

1.6.6 สร้างต้นแบบสำหรับกดชิ้นงานจากระบบอกสูบลม

1.6.7 ทดลองและปรับปรุงการทำงานชุดควบคุม

1.6.8 เปรียบเทียบค่าตัวแปรที่ต้องการควบคุมระหว่างการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง กับ การควบคุมแบบ พี-ไอ

1.6.9 สรุปผลการทดลอง

1.6.10 จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 บทสรุปผลการศึกษากการควบคุมแรงกดจากระบบอกสูบลมด้วยวิธีการควบคุมแบบ ฟัซซี่ พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง

1.7.2 สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานที่ต้องการควบคุมแรงกดที่ไม่ต้องการความแม่นยำมากได้ เช่น การควบคุมการอัดอุกขเวด การพิมพ์ลายบนกระดาษ การพิมพ์ลายบนขนม

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการควบคุมอุปกรณ์นิวเมติกส์

ในบทนี้อธิบายถึงทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์นิวเมติกส์โดยยกตัวอย่างการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยพิมพ์ลายบนกระดาษ ซึ่งจะแบ่งหัวข้อออกเป็น 4 ส่วนคือ ทฤษฎีการควบคุม หลักการทำงานของฟิชเช์ลอคจิก หลักการควบคุมด้วยวิธีการพีชชี พี-ไอโดยปรับค่าในตัวเอง และหลักการทำงานของอุปกรณ์นิวเมติกส์

2.1 บทนำ

ปัจจุบันระบบควบคุมได้เข้ามามีบทบาทที่สำคัญเพิ่มมากขึ้น การใช้ชีวิตประจำวันของเราก็มักจะเกี่ยวข้องกับระบบควบคุมประเภทต่างๆ ตัวอย่างของระบบควบคุมที่พบเห็นกันโดยทั่วไปในชีวิตประจำวันได้แก่ ระบบควบคุมอุณหภูมิภายในบ้าน ตู้เย็น รถยนต์ เป็นต้น ระบบควบคุมมีความสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับระบบอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น ระบบควบคุมคุณภาพของการผลิตสินค้า ระบบควบคุมเครื่องมือเครื่องจักรภายในโรงงาน สำหรับตัวอย่างของระบบควบคุมอื่นๆ ได้แก่ ระบบไฟฟ้า ระบบขนส่ง ระบบควบคุมหุ่นยนต์ ระบบควบคุมจรวด เป็นต้น นอกจากนี้ระบบทางเศรษฐกิจและสังคมก็จัดว่าเป็นระบบควบคุมได้เช่นกัน

2.1.1 ระบบเชิงเส้น(Linear systems)[7]

ระบบเชิงเส้นเป็นระบบที่สามารถจะใช้ทฤษฎีการทับซ้อน(Superposition theorem)ได้ หลักการของการทับซ้อนคำตอบหาได้โดย การหาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นพร้อมกันของทั้งสองฟังก์ชันที่แตกต่างกัน ดังนั้นสำหรับระบบเชิงเส้น คำตอบจากหลายอินพุตสามารถคำนวณหาได้โดยพิจารณาอินพุตที่หนึ่งทีละเวลาหนึ่งและรวมกับผลที่ได้รับ เป็นหลักการคิดเริ่มต้นของวิธีการที่ซับซ้อนของสมการเชิงอนุพันธ์แบบเชิงเส้นจากวิธีการที่ง่าย ในการทดลองของระบบไดนามิกส์ถ้าเหตุกับผลที่ได้รับได้สัดส่วนกันแสดงให้เห็นว่าเป็นหลักการของการทับซ้อน ดังนั้นอาจพิจารณาได้ว่าเป็นระบบเชิงเส้น

2.1.2 ระบบไม่เป็นเชิงเส้น(Nonlinear system)

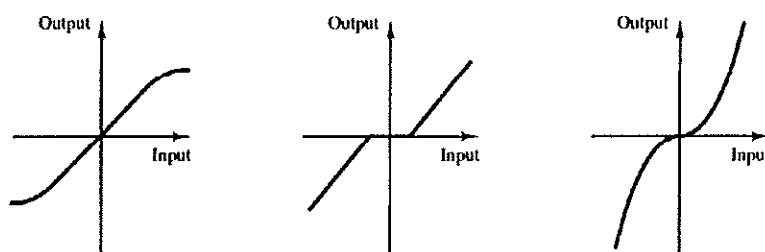
ระบบไม่เป็นเชิงเส้นเป็นระบบที่ไม่สามารถใช้ทฤษฎีการทับซ้อน (Superposition theorem) ได้ ดังนั้นสำหรับการหาคำตอบของระบบไม่เป็นเชิงเส้นสองอินพุตไม่สามารถคำนวณหาได้โดยการแทนค่าที่อินพุตหนึ่งซึ่งเวลาหนึ่งและนำมาบวกกับผลลัพธ์ ตัวอย่างของสมการอนุพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + x = A \sin \omega t \quad (2-1)$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + (x^2 - 1)\frac{dx}{dt} + x = 0 \quad (2-2)$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{dx}{dt} + x + x^3 = 0 \quad (2-3)$$

อย่างไรก็ตามในทางกายภาพส่วนใหญ่จะแทนด้วยสมการเชิงเส้นเป็นส่วนใหญ่ ในกรณีส่วนใหญ่ของความสัมพันธ์ทางกายภาพจะไม่เป็นเชิงเส้น ถึงแม้ว่าถ้าทำการศึกษา ระบบทางกายภาพอย่างลึกซึ้งก็ยังสามารถเรียกว่าเป็นระบบเชิงเส้นได้ในช่วงขอบเขตของย่านการทำงาน ในทางปฏิบัติ ระบบเครื่องกลที่ทำงานด้วยไฟฟ้า ระบบไฮดรอลิกส์ ระบบนิวแมติกส์ ที่กล่าวมาทั้งหมดจะมีความสัมพันธ์ของตัวแปรที่แบบไม่เป็นเชิงเส้น สำหรับตัวอย่างให้องค์ประกอบของเอาต์พุตที่สำหรับสัญญาณอินพุตที่ใหญ่ สัญญาณขนาดเล็กที่มีผลต่อพื้นที่ที่ไม่ทำงาน บางองค์ประกอบอาจเป็นกฎกำลังสองของการไม่เป็นเชิงเส้น ตัวอย่างเช่น การแกว่งในระบบกายภาพอาจจะเป็นเชิงเส้นสำหรับการทำงานที่ความเร็วต่ำๆแต่จะไม่เป็นเชิงเส้นที่ความเร็วสูงๆ ตัวอย่างแสดงเส้นคุณลักษณะของระบบไม่เป็นเชิงเส้นดังภาพประกอบ



การอ้อมตัวแบบไม่เป็นเชิงเส้น พื้นที่ไม่ทำงานแบบไม่เป็นเชิงเส้น กฎกำลังสองแบบไม่เป็นเชิงเส้น

ภาพประกอบ 2-1 เส้นแสดงคุณลักษณะของระบบไม่เป็นเชิงเส้น

2.1.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) เป็นชุดของสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในระบบควบคุม ระบบควบคุมระบบหนึ่งอาจจะมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้หลายรูปแบบ โดยปกติจะบรรยายลักษณะของพลวัต (Dynamic characteristic) ของระบบควบคุมได้ด้วยสมการเชิงอนุพันธ์ (Differential equation) ซึ่งสมการเชิงอนุพันธ์ดังกล่าวจะได้นมาจากเกณฑ์ความสัมพันธ์ของตัวแปรในระบบนั้นๆ ตัวอย่างเช่น อาจจะใช้กฎของเคอร์ชอฟ (Kirchhoff's Law) เป็นพื้นฐานสำหรับเขียนสมการเชิงอนุพันธ์แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรในวงจรไฟฟ้า (Electric circuit) หรือใช้กฎของนิวตัน (Newton's law) เป็นพื้นฐานสำหรับเขียนสมการเชิงอนุพันธ์เพื่อแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรในระบบเชิงกล (Mechanical systems) เป็นต้น

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะต้องแสดงลักษณะทางพลวัตของระบบได้อย่างถูกต้อง หรือใกล้เคียงกับระบบจริง อย่างไรก็ตามแบบจำลองตามคณิตศาสตร์ที่มีความถูกต้องมากก็นักจะมีความซับซ้อนขึ้นตามไปด้วย ทำให้การวิเคราะห์ระบบจะทำได้ยาก แต่ถ้าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความเรียบง่ายจนเกินไปก็จะเป็นการเกิดความคลาดเคลื่อนไปจากระบบจริงมาก ทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่สามารถนำมาใช้กับระบบจริงได้ ดังนั้นในการเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะต้องพิจารณาให้มีความสำคัญทั้งความถูกต้องและความเรียบง่ายของแบบจำลองควบคู่กันไปด้วย

2.1.4 แบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบเชิงกล

การเขียนแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของระบบเชิงกล จะใช้กฎข้อที่สองของนิวตัน (Newton's second law) เป็นพื้นฐาน โดยจะแบ่งการเคลื่อนที่ของระบบเชิงกลออกเป็น 2 ลักษณะได้แก่

1. ระบบการเคลื่อนที่เป็นเส้น (Translational system)
2. ระบบการเคลื่อนที่แบบหมุน

2.1.4.1 ระบบการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง

ตัวแปรหลักที่จะใช้สำหรับบรรยายการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงได้แก่ ระยะขจัด (Displacement) ความเร็ว (Velocity) และความเร่ง (Acceleration) ระบบเคลื่อนที่ที่เป็นเส้นตรงประกอบไปด้วยองค์ประกอบพื้นฐานได้แก่ มวล (Mass) สปริง (Spring) และตัวหน่วง

(Damper)หรือความเสียดทานหน่วง(Viscous friction) โดยสัญลักษณ์ขององค์ประกอบพื้นฐานดังกล่าวแสดงดังภาพประกอบ 2-2 แรงที่กระทำต่อมวล (M) กับระยะกระจัดของการเคลื่อนที่ ($y(t)$) จะมีความสัมพันธ์ตามกฎของนิวตันดังนี้

$$f(t) = M \frac{d^2 y(t)}{dt^2} \quad (2-4)$$

สปริงเป็นองค์ประกอบที่เก็บสะสมพลังงานศักย์ โดยปกติแล้วสปริงจะมีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น อย่างไรก็ตามหากพิจารณาสปริงยืดหรือหดเป็นระยะสั้นๆ ก็อาจจะประมาณสปริงดังกล่าวให้มีคุณลักษณะเป็นเชิงเส้นได้แรงที่กระทำต่อสปริงจะมีค่าแปรตามระยะกระจัดของสปริงดังนี้

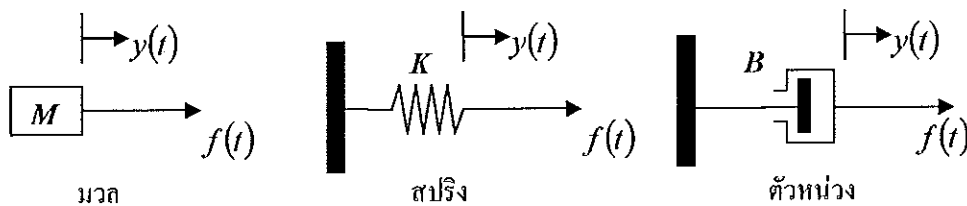
$$f(t) = Ky(t) \quad (2-5)$$

โดยที่ K เป็นค่าคงตัวของสปริง (Spring constant) มีหน่วยเป็น N/m

ตัวอย่างเป็นอุปกรณ์ที่ไม่สะสมพลังงาน แต่จะเกิดการสูญเสียพลังงานไปในรูปของความร้อน ความเสียดทานหน่วงที่เกิดขึ้นจากตัวหน่วงจะมีค่าแปรตามความเร็วของการเคลื่อนที่ดังนี้

$$f(t) = Bv(t) = B \frac{dy(t)}{dt} \quad (2-6)$$

โดยที่ B เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานหน่วง (Coefficient friction) มีหน่วยเป็น N/m/s

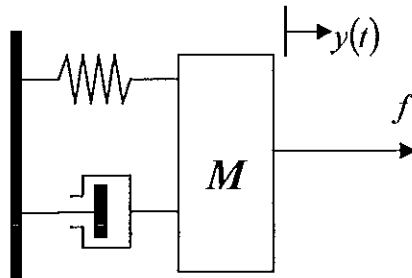


ภาพประกอบ 2-2 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง

การเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรในระบบเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง จะใช้กฎข้อที่สองของนิวตันเป็นพื้นฐานดังนี้

$$\sum F = M \frac{d^2 y}{dt^2} \quad (2-7)$$

ตัวอย่างการพิจารณาระบบเคลื่อนที่ซึ่งประกอบด้วย มวล สปริง และตัวหน่วง ดังภาพประกอบ 2-3 ทดลองหาฟังก์ชันการถ่ายโอนของระบบ โดยกำหนดให้แรงดึง f เป็นสัญญาณเข้าและระยะกระจัด y เป็นสัญญาณออก



ภาพประกอบ 2-3 ระบบการเคลื่อนที่ มวล-สปริง-ตัวหน่วง

ก่อนอื่นเขียนแผนแสดงแรงทั้งหมดที่กระทำต่อมวล (M) ได้ดังภาพประกอบ 2-4 ต่อมาใช้กฎข้อที่สองของนิวตัน

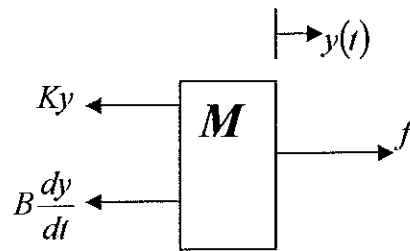
$$f - B \frac{dy}{dt} - Ky = M \frac{d^2 y}{dt^2} \quad (2-8)$$

$$f = M \frac{d^2 y}{dt^2} + B \frac{dy}{dt} + Ky \quad (2-9)$$

แปลงลาปลาซ โดยกำหนดให้เงื่อนไขเริ่มต้นเป็นศูนย์ จะได้

$$F(s) = (Ms^2 + Bs + K)Y(s) \quad (2-10)$$

จะได้ฟังก์ชันการถ่ายโอน
$$\frac{Y(s)}{F(s)} = \frac{1}{Ms^2 + Bs + K} \quad (2-11)$$



ภาพประกอบ 2-4 แรงทั้งหมดที่กระทำต่อมวล

2.1.5 ผลตอบสนองเชิงเวลา

การวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุม จะพิจารณาผลตอบสนองเชิงเวลา(Time response) ของระบบควบคุมต่อสัญญาณเข้าทดสอบมาตรฐานรูปแบบต่างๆ โดยจะแบ่งผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบควบคุมออกเป็น 2 ส่วนผลตอบสนองชั่วคราว (Transient response) และผลตอบสนองในสถานะอยู่ตัว (Steady-state response)

ผลตอบสนองชั่วคราวหมายถึงส่วนของผลตอบสนองเชิงเวลาที่จะมีค่าลดลงจนเป็นศูนย์ เมื่อเวลาผ่านไปนานมากๆ โดยปกติระบบควบคุมจะแสดงผลตอบสนองชั่วคราวในช่วงเวลาหนึ่งก่อนที่จะสถานะอยู่ตัว เนื่องจากระบบควบคุมโดยทั่วไปจะประกอบด้วยองค์ประกอบที่สะสมพลังงาน เช่น มวลและสปริงในระบบเชิงกลหรือตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้า เป็นต้น ทำให้ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบไม่สามารถที่จะติดตามการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดของสัญญาณเข้าได้ จึงเกิดผลตอบสนองชั่วคราวขึ้น

ผลตอบสนองในสถานะอยู่ตัวเป็นสัดส่วนของผลตอบสนองทั้งหมดที่ยังคงเหลือหลังจากผลตอบสนองชั่วคราวหมดไป ผลตอบสนองในสถานะอยู่ตัวจะแสดงถึงความแม่นยำของระบบ หากผลตอบสนองในสถานะอยู่ตัวของสัญญาณออกไม่สอดคล้องกับสัญญาณเข้า ก็จะมีค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัว (Steady state error) เกิดขึ้น

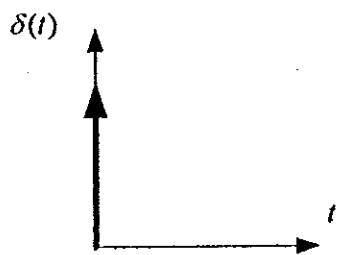
2.1.5.1 สัญญาณเข้าทดสอบมาตรฐาน

โดยปกติแล้ว ในขั้นตอนการวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมจะยังไม่ทราบค่าสัญญาณเข้าที่แน่นอนซึ่งระบบควบคุมจะได้รับขณะทำงาน หรือหากทราบก็จะเป็นการยากที่จะวิเคราะห์ได้โดยตรง ดังนั้นเพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมจะพิจารณา

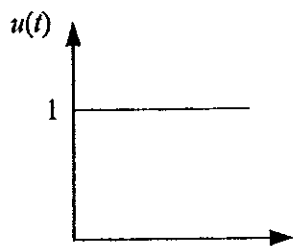
ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบเนื่องจากสัญญาณเข้าทดสอบมาตรฐานบางสัญญาณ หากเลือกสัญญาณเข้าทดสอบมาตรฐานที่เหมาะสม ก็จะสามารถทำนายผลตอบสนองเชิงเวลาเมื่อสัญญาณเข้าเป็นสัญญาณรูปแบบอื่นๆที่มีความซับซ้อนกว่าได้ โดยปกติสัญญาณเข้าทดสอบมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบระบบควบคุมในเชิงเวลาได้แก่

- สัญญาณเข้าแบบอิมพัลส์หนึ่งหน่วย(Unit-impulse function input)
- สัญญาณเข้าแบบขั้นหนึ่งหน่วย(Unit-step function input)
- สัญญาณเข้าแบบลาดเอียงหนึ่งหน่วย(Unit-ramp function input)
- สัญญาณเข้าแบบพาราโบลาหนึ่งหน่วย(Unit-parabolic function input)

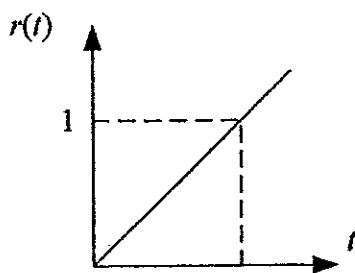
สัญญาณเข้าทดสอบมาตรฐานทั้ง 4 สัญญาณจะมีลักษณะดังภาพประกอบ 2-5



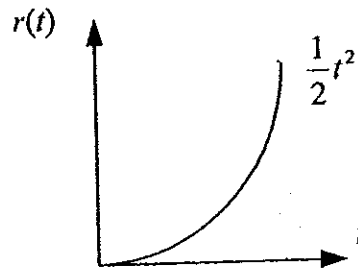
สัญญาณเข้าแบบอิมพัลส์หนึ่ง



สัญญาณเข้าแบบขั้นหนึ่งหน่วย



สัญญาณเข้าแบบลาดเอียงหนึ่งหน่วย



สัญญาณเข้าแบบพาราโบลาหนึ่งหน่วย

ภาพประกอบ 2-5 สัญญาณเข้าทดสอบมาตรฐาน

สัญญาณเข้าแบบอิมพัลส์หนึ่งหน่วย $\delta(t)$ จะมีค่าเป็นอนันต์ที่เวลา $t=0$ และจะมีค่าเท่ากับศูนย์ที่เวลาอื่นๆ โดยพื้นที่ใต้กราฟของฟังก์ชันจะมีค่าเท่ากับ 1 บรรยายได้ด้วยสมการ(2-12)และ (2-13)

$$\delta(t) = \begin{cases} \infty & , 0^- < t < 0^+ \\ 0 & , t \neq 0 \end{cases} \quad (2-12)$$

$$\int_{0^-}^{0^+} \delta(t) dt = 1 \quad (2-13)$$

สัญญาณเข้าแบบขั้นหนึ่งหน่วย $u(t)$ จะแสดงการเปลี่ยนแปลงสัญญาณเข้าอย่างทันทีทันใด ใช้เป็นสัญญาณเข้าเพื่อทดสอบความรวดเร็วของผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบควบคุมบรรยายได้ด้วยสมการ (2-14)

$$u(t) = \begin{cases} 1 & , t > 0 \\ 0 & , t < 0 \end{cases} \quad (2-14)$$

สัญญาณเข้าแบบลาดเอียงหนึ่งหน่วยจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าเพิ่มขึ้นอย่างคงที่เมื่อเทียบกับเวลาศึกษาว่าระบบจะตอบสนองต่อสัญญาณเข้าซึ่งเปลี่ยนแปลงเป็นเชิงเส้นกับเวลาอย่างไร บรรยายได้ด้วยสมการ(2-15)

$$f(t) = \begin{cases} t & , t > 0 \\ 0 & , t < 0 \end{cases} \quad (2-15)$$

สัญญาณเข้าแบบพาราโบลาหนึ่งหน่วย เป็นสัญญาณที่เพิ่มค่าขึ้นรวดเร็วกว่าสัญญาณเข้าแบบลาดเอียงหนึ่งหน่วย บรรยายได้ด้วยสมการ(2-16)

$$f(t) = \begin{cases} 0.5t^2 & , t > 0 \\ 0 & , t < 0 \end{cases} \quad (2-16)$$

2.1.5.2 คุณลักษณะของผลตอบสนองเชิงเวลา

ในการกำหนดคุณลักษณะของผลตอบสนองเชิงเวลา จะกำหนดได้จากผลตอบสนองเชิงเวลาต่อสัญญาณเข้าแบบขั้นหนึ่งหน่วย พิจารณาระบบควบคุมอันดับสองในกรณีหน่วยต่ำกว่าวิกฤตซึ่งมีฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

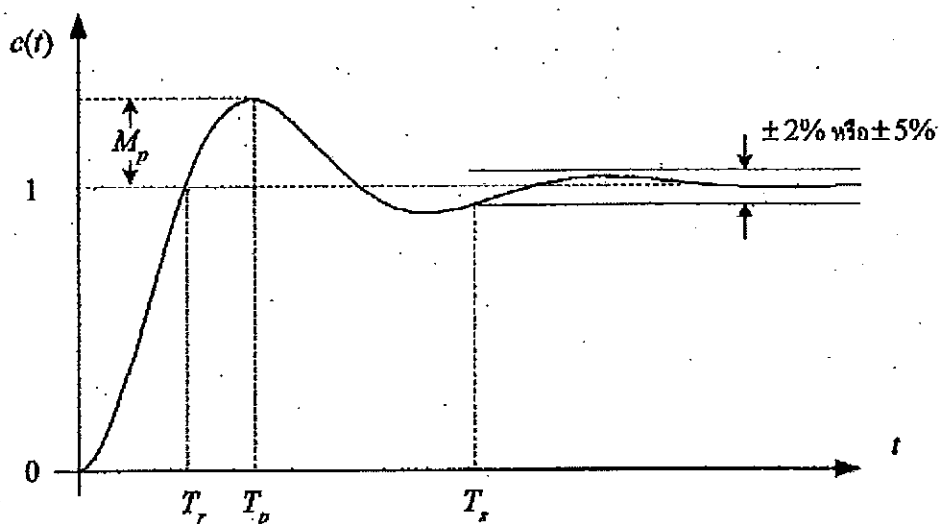
$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (2-17)$$

เมื่อมีสัญญาณเข้าแบบขั้นหนึ่งหน่วย จะได้ผลตอบสนองเชิงเวลาดังนี้

$$c(t) = 1 - \frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin\left(\omega_d t + \tan^{-1} \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}\right) \quad (t \geq 0) \quad (2-18)$$

ผลตอบสนองเชิงเวลาที่ได้จะมีการแกว่งแบบหน่วงก่อนที่จะเข้าสู่ค่าในสถานะอยู่
ตัวคิงภาพประกอบ 2-6 ซึ่งจะกำหนดคุณลักษณะของผลตอบสนองเชิงเวลาดังกล่าวได้จากค่า
กำหนดต่อไปนี้

1. เวลาขึ้น (Rise time): T_r
2. เวลาถึงค่ายอด (Peak time) T_p
3. ค่าพุ่งเกินสูงสุด (Maximum overshoot) M_p
4. เวลาเข้าที่ (Settling time) T_s



ภาพประกอบ 2-6 ผลตอบสนองต่อสัญญาณเข้าแบบขั้นหนึ่งหน่วยของระบบอันดับสองกรณีหน่วงต่ำ
กว่าวิกฤต[7]

เวลาขึ้นหมายถึงเวลาที่ผลตอบสนองเชิงเวลามีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0% เป็น 100% ของค่าสุดท้ายหรือจาก 5% เป็น 95% ของค่าสุดท้ายหรือจาก 10% เป็น 90% ของค่าสุดท้าย สำหรับในกรณีหนึ่งต่ำกว่าวิกฤตจะใช้เกณฑ์จาก 0% เป็น 100% ของค่าสุดท้าย ส่วนกรณีหนึ่งสูงกว่าวิกฤตจะใช้เกณฑ์จาก 10% เป็น 90% ของค่าสุดท้าย เวลาขึ้นจะแสดงความรวดเร็วของระบบที่จะตอบสนองต่อสัญญาณเข้า พิจารณาระบบอันดับสองกรณีต่ำกว่าวิกฤต สามารถหาเวลาขึ้นของผลตอบสนองได้โดยกำหนดให้ $c(T_r) = 1$ แล้วคำนวณค่า T_r ออกมา ซึ่งค่า T_r ที่ได้ก็คือเวลาขึ้นนั่นเอง

$$c(T_r) = 1 - \frac{e^{-\zeta\omega_n T_r}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin\left(\omega_d T_r + \tan^{-1} \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}\right) = 1$$

$$\text{จะได้ } \frac{e^{-\zeta\omega_n T_r}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin\left(\omega_d T_r + \tan^{-1} \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}\right) = 0$$

เนื่องจาก $\frac{e^{-\zeta\omega_n T_r}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \neq 0$ ดังนั้น

$$\sin\left(\omega_d T_r + \tan^{-1} \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}\right) = 0$$

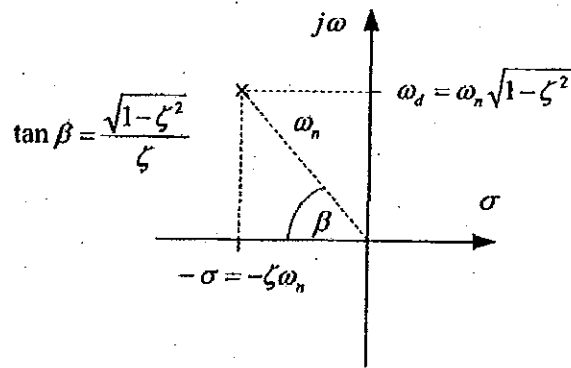
$$\omega_d T_r + \tan^{-1} \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta} = \pi$$

จะได้เวลาขึ้น ดังนี้

$$T_r = \frac{\pi - \beta}{\omega_d} \quad (2-19)$$

โดยมุม β จะมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งโพลของระบบอันดับสองดังภาพประกอบ 2-7 ดังนี้

$$\beta = \tan^{-1} \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta} = \tan^{-1} \frac{\omega_d}{\sigma} = \cos^{-1} \zeta \quad (2-20)$$



ภาพประกอบ 2-7 การกำหนดมุม β

ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบอันดับสองกรณีหน่วงต่ำกว่าวิกฤต จะมีลักษณะแกว่งตัวเกิดพุ่งเกินขึ้นหลายครั้งก่อนจะเข้าสู่สถานะอยู่ตัว โดยค่าพุ่งเกินที่เกิดขึ้นครั้งแรกจะมีค่าสูงสุดและจะมีค่าลดลงในครั้งต่อๆมา เวลาถึงค่ายอดหมายถึงเวลาที่ผลตอบสนองเชิงเวลามีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าพุ่งเกินสูงสุดเป็นครั้งแรก เนื่องจากที่ตำแหน่งซึ่งเกิดค่าพุ่งเกินสูงสุดจะมีความชันเป็นศูนย์ จึงคำนวณเวลาถึงค่ายอดได้โดยการหาอนุพันธ์ของ $c(t)$ แล้วกำหนดให้มีความชันเป็นศูนย์

$$\frac{dc(t)}{dt} = \frac{\zeta\omega_n e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin\left(\omega_d t + \tan^{-1} \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}\right) - \frac{\omega_d e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \cos\left(\omega_d t + \tan^{-1} \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}\right) = 0$$

จะได้

$$\tan\left(\omega_d t + \tan^{-1} \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}\right) = \frac{\omega_d}{\zeta\omega_n} = \frac{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta\omega_n} = \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}$$

แสดงว่าค่า $\omega_d t = 0, \pi, 2\pi, 3\pi, \dots$ จะทำให้อนุพันธ์ของ $c(t)$ มีค่าเท่ากับศูนย์ แต่เนื่องจากเวลาถึงค่ายอดจะเป็นเวลาที่ผลตอบสนองเชิงเวลามีค่าเพิ่มขึ้นถึงค่าพุ่งเกินครั้งแรก จึงกำหนดให้ $\omega_d t = \pi$ จะได้เวลาถึงค่ายอดดังนี้

$$T_p = \frac{\pi}{\omega_d} = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}} \quad (2-21)$$

เวลาถึงค่ายอดจะแปรผกผันกับความถี่ธรรมชาติหนึ่งซึ่งก็คือส่วนจินตภาพของตำแหน่งโพลนั่นเอง ดังนั้นระบบ 2 ระบบที่มีส่วนจินตภาพของตำแหน่งโพลเท่ากัน จะมีเวลาถึงค่ายอดที่เท่ากัน

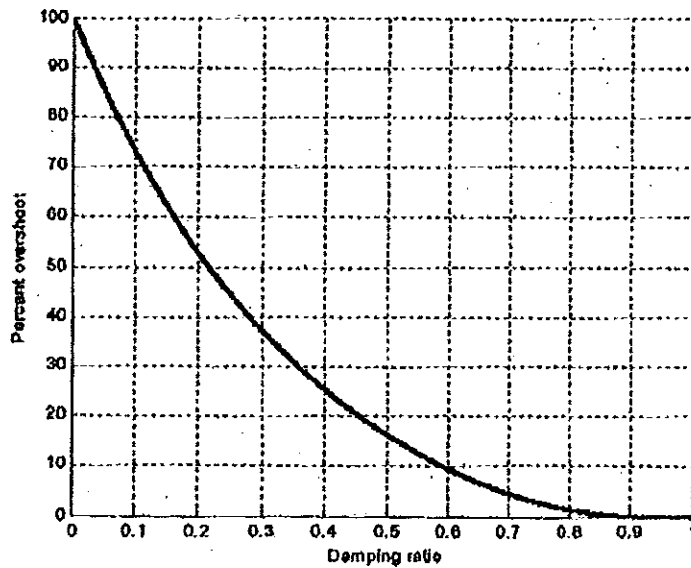
ค่าพุ่งเกินสูงสุดหมายถึงค่าสูงสุดของผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบ โดยปกติจะระบุเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าสุดท้ายในสถานะอยู่ตัว เนื่องจากค่าพุ่งเกินสูงสุดจะเกิดขึ้นที่เวลาถึงค่ายอด ดังนั้นจะหาค่าพุ่งเกินสูงสุดได้จากการแทนค่าเวลาในฟังก์ชัน $c(t)$ ด้วย $T_p = \pi/\omega_d$

$$\begin{aligned} M_p &= c(T_p) - 1 \\ &= -\frac{e^{-\zeta\omega_n(\pi/\omega_d)}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin\left(\omega_d\left(\frac{\pi}{\omega_d}\right) + \tan^{-1}\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}\right) \\ &= \frac{e^{-\zeta\omega_n(\pi/\omega_d)}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin\left(\tan^{-1}\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}\right) \\ &= e^{-\zeta\omega_n(\pi/\omega_d)} \\ &= e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}} \end{aligned}$$

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกินสูงสุดจะมีค่า

$$\%M_p = e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}} * 100\% \quad (2-22)$$

ค่าพุ่งเกินสูงสุดจะมีค่าขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการหน่วงเท่านั้น ดังภาพประกอบ หากอัตราส่วนการหน่วงมีค่าต่ำจนใกล้ศูนย์ ผลตอบสนองเชิงเวลาก็จะมีค่าพุ่งเกินสูงสุดเข้าใกล้ 100% ในกรณีที่อัตราส่วนการหน่วงมีค่าสูงกว่าหนึ่ง ผลตอบสนองเชิงเวลาจะไม่เกิดค่าพุ่งเกินแต่อย่างใด



ภาพประกอบ 2-8 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกินสูงสุดกับอัตราส่วนการหน่วง

เวลาเข้าที่หมายถึงเวลาที่ผลตอบสนองเชิงเวลามีค่าเข้าสู่ค่าสุดท้าย และจะยังคงอยู่ภายในช่วงรอบๆค่าสุดท้ายต่อไป โดยปกติจะใช้ค่า $\pm 2\%$ หรือ $\pm 5\%$ ของค่าสุดท้ายเป็นเกณฑ์ สมการที่ (2-23) และสมการ (2-24) จะแสดงเวลาเข้าที่โดยประมาณ เมื่อใช้เกณฑ์ $\pm 2\%$ และ $\pm 5\%$ ตามลำดับ

$$T_s = \frac{4}{\sigma} = \frac{4}{\zeta\omega_n} \quad (\text{กรณีที่ใช้เกณฑ์ } \pm 2\%) \quad (2-23)$$

$$T_s = \frac{3}{\sigma} = \frac{3}{\zeta\omega_n} \quad (\text{กรณีที่ใช้เกณฑ์ } \pm 5\%) \quad (2-24)$$

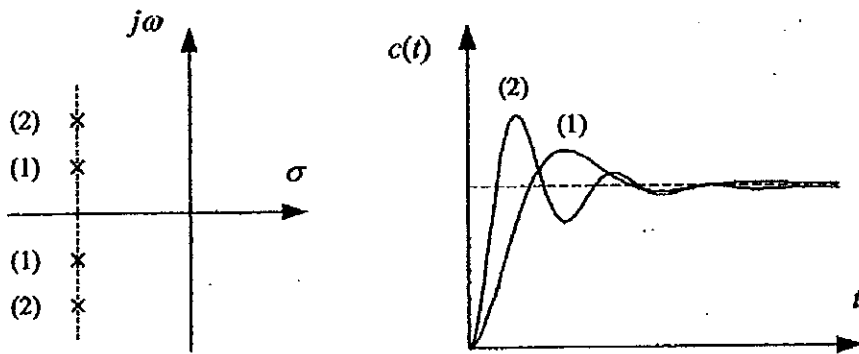
เวลาเข้าที่จะแปรผกผันกับค่า $\zeta\omega_n$ ซึ่งก็คือค่าลบของส่วนจริงของตำแหน่งโพลนั่นเอง ระบบ 2 ระบบที่มีส่วนจริงของตำแหน่งโพลเท่ากันจะมีเวลาเข้าที่เท่ากัน

จากค่ากำหนดของผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบอันดับสองกรณีหนึ่งต่ำกว่าวิกฤต สรุปได้ว่าเวลาถึงค่ายอดจะแปรผกผันกับส่วนจินตภาพของตำแหน่งโพล เวลาเข้าที่จะ

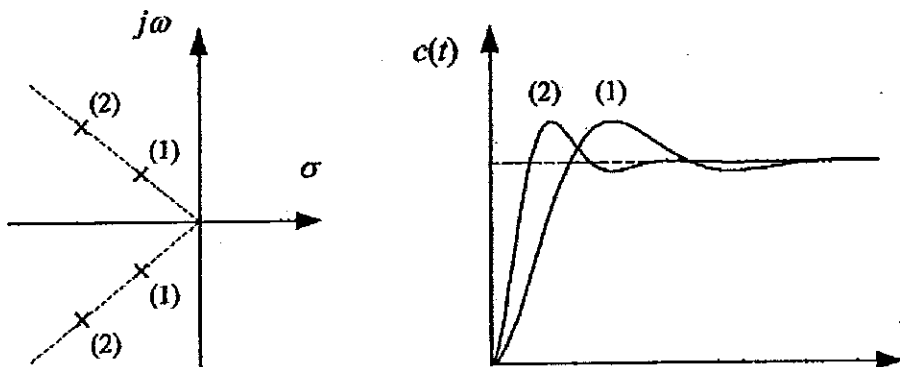
แปรผกผันกับส่วนจริงของตำแหน่งโพล ส่วนค่าพุงเกินสูงสุดจะขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนการหน่วงเท่านั้น

พิจารณาค่าแห่งของโพลในระนาบเชิงซ้อน จะได้ข้อสรุปดังนี้

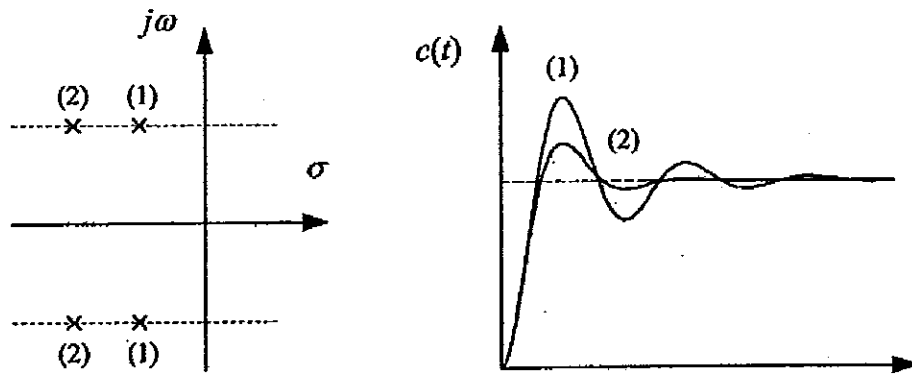
ระบบควบคุมที่มีค่าส่วนจริงของตำแหน่งโพลเท่ากัน จะให้ผลตอบสนองเชิงเวลาที่มีเวลาเข้าที่เท่ากัน ดังภาพประกอบ 2-9 ระบบควบคุมที่มีค่าอัตราส่วนการหน่วงเท่ากัน จะให้ผลตอบสนองเชิงเวลาที่มีค่าพุงเกินสูงสุดที่เท่ากันดังภาพประกอบ 2-10 ระบบควบคุมที่มีค่าส่วนจินตภาพของตำแหน่งโพลเท่ากัน จะให้ผลตอบสนองเชิงเวลาที่มีความถี่ของการแกว่งตัวที่เท่ากัน และจะมีเวลาถึงค่ายอดเท่ากันดังภาพประกอบ 2-11



ภาพประกอบ 2-9 ผลตอบสนองของระบบที่มีค่า $\zeta \omega_n$ เท่ากัน



ภาพประกอบ 2-10 ผลตอบสนองของระบบที่มีค่า ζ เท่ากัน



ภาพประกอบ 2-11 ผลตอบสนองของระบบที่มีค่า ω_d เท่ากัน

2.2 ระบบควบคุมอัตโนมัติ[8]

2.2.1 ระบบควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control)

ในระบบควบคุมแบบสัดส่วน เราจะได้ว่า เอาท์พุทของคอนโทรลเลอร์จะเป็นสัดส่วนกับอินพุทของคอนโทรลเลอร์ และถ้าเรากำหนดสัญญาณอินพุทที่ให้กับคอนโทรลเลอร์เป็น ค่าความผิดพลาด (e) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลา เราจะได้

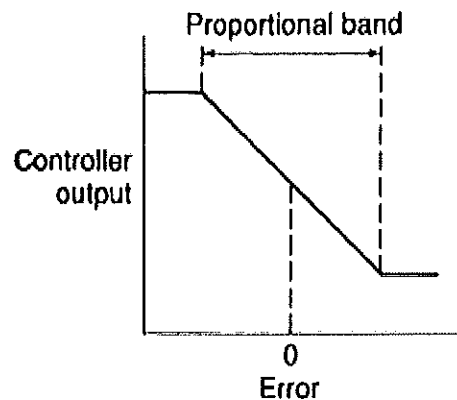
$$\text{output} = K_p e \quad (2-25)$$

เมื่อ K_p เป็นค่าคงที่เรียก proportional gain เราจะพบว่าเอาท์พุทที่ออกจากคอนโทรลเลอร์แบบ Proportional control จะขึ้นกับขนาดของความผิดพลาดในขณะที่เรากำลังพิจารณา ทำให้ฟังก์ชันถ่ายโอนของคอนโทรลเลอร์ $G_e(s)$ จะมีค่าเป็น

$$G_e(s) = K_p \quad (2-26)$$

ดังนั้นการควบคุมด้วยคอนโทรลเลอร์แบบนี้ก็จะเป็นเพียงการขยายสัญญาณความผิดพลาดเท่านั้น การที่เราได้สัญญาณความผิดพลาดขนาดใหญ่ที่เวลาหนึ่ง จะทำให้เกิดเอาท์พุทที่มีขนาดใหญ่จากคอนโทรลเลอร์ในเวลานั้น อย่างไรก็ตามการที่เรากำหนดให้ gain คงที่นั้นในทางปฏิบัติเราอาจจะกำหนดไว้ในบางช่วงของสัญญาณความผิดพลาดเท่านั้น เราอาจกำหนดให้คอนโทรลเลอร์ของเรามีค่าเอาท์พุทไม่น้อยกว่าค่าหนึ่งและไม่มากเกินไปกว่าค่าหนึ่งก็ได้ ซึ่งการ

กำหนดช่วงจำกัดของเอาต์พุตจะมีลักษณะดังภาพประกอบ 2-12 และการกำหนดเอาต์พุตแบบ proportional control ช่วงที่มีการกำหนดสัดส่วนนี้ เราจะเรียกว่า proportional band

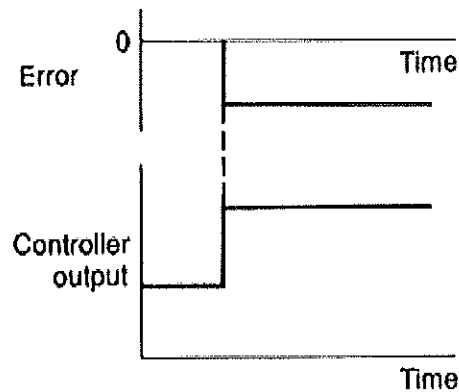


ภาพประกอบ 2-12 การกำหนดช่วงจำกัดของเอาต์พุต

การกำหนด proportional band นี้ จะช่วยให้สัญญาณเอาต์พุตมีค่าจำกัดไม่ไปสู่อันันต์ ทั้งทางด้านบวกและทางด้านลบ และเมื่อคอนโทรลเลอร์มีเอาต์พุตสูงที่สุดที่เป็นไปได้ค่าหนึ่งแล้ว เราก็นิยมที่จะกำหนดเอาต์พุตค่าใด ๆ เป็นร้อยละของค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าเอาต์พุตของคอนโทรลเลอร์ 100% ก็หมายถึงว่าเอาต์พุตจะเปลี่ยนจากค่าต่ำสุดที่เป็นไปได้ ไปเป็นค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ ซึ่งจะทำให้เราได้ว่า

$$K_p = \frac{100}{\text{proportional_band}} \quad (2-27)$$

เนื่องจากเอาต์พุตของคอนโทรลเลอร์จะเป็นสัดส่วนกับอินพุตดังนั้น ถ้าหากอินพุตมีลักษณะเป็น step เอาต์พุตที่ได้ก็จะมีลักษณะเป็น step เช่นกัน โดยลักษณะของกราฟแสดงอินพุตและเอาต์พุตจะมีสัดส่วนที่แน่นอนค่าหนึ่ง ตามภาพประกอบ 2-13 โดยภาพประกอบนี้แสดงถึงการตอบสนองของคอนโทรลเลอร์ เมื่ออินพุตอยู่ในช่วง proportional band

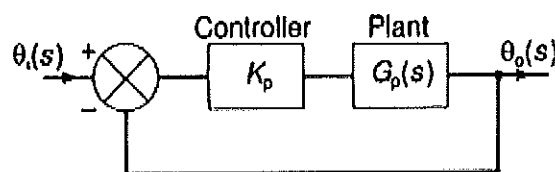


ภาพประกอบ 2-13 การตอบสนองของคอนโทรลเลอร์แบบ proportional control

ในทางปฏิบัติ proportional control นี้ จะมีลักษณะเหมือนกับเครื่องขยายสัญญาณรูปแบบหนึ่ง ซึ่งอาจจะเป็นในลักษณะของอุปกรณ์ไฟฟ้า หรืออาจจะเป็นเครื่องขยายสัญญาณเชิงกล เช่น คาน ก็ได้ ลักษณะของระบบที่ควบคุมแบบ proportional control จะมีลักษณะดังที่แสดงในภาพประกอบ 2-14 และจะทำให้ได้ฟังก์ชันถ่ายโอนระบบเปิดเป็น

$$G_o(s) = K_p G_p(s) \quad (2-28)$$

เมื่อ $G_p(s)$ เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบ



ภาพประกอบ 2-14 ระบบควบคุมแบบ proportional control

ข้อเสียประการสำคัญของระบบควบคุมที่คอนโทรลเลอร์คือ ไม่ได้มีการเพิ่มเทอม $\frac{1}{s}$ (หรือการเพิ่มปริพันธ์) ในส่วน forward path ซึ่งหมายความว่า ถ้าระบบเป็นระบบ type 0 คอนโทรลเลอร์จะไม่ได้เปลี่ยนแปลง type ของระบบ ทำให้ระบบเป็น type 0 เหมือนเดิม และทำให้เกิดความผิดพลาดที่สภาวะคงตัว เนื่องจากคอนโทรลเลอร์ไม่ได้ทำการเพิ่มโพลหรือศูนย์ใหม่ให้กับระบบเพียงแต่

เปลี่ยนตำแหน่งของโพลหรือศูนย์เท่านั้น เนื่องจากระบบควบคุมแบบป้อนกลับหนึ่งหน่วย ตามภาพประกอบ 2-14 จะมีฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบเป็น

$$G(s) = \frac{K_p G_p(s)}{1 + K_p G_p(s)} \quad (2-29)$$

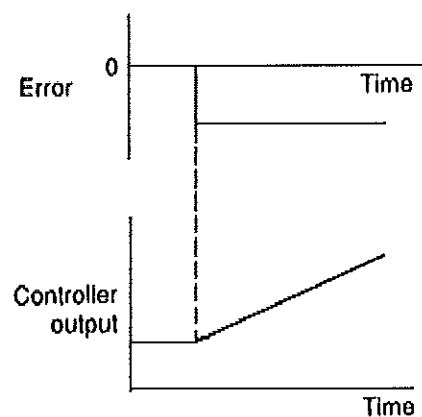
และสมการคุณลักษณะจะเป็น $(1 + K_p G_p(s))$ และมีรากเปลี่ยนไปตามค่าของ K_p

2.2.2 ระบบควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral Control)

ในระบบควบคุมแบบปริพันธ์เอาต์พุตของคอนโทรลเลอร์จะเป็นสัดส่วนกับปริพันธ์ของสัญญาณผิดพลาดเทียบกับเวลา หรือ

$$Output = K_i \int_0^t e dt \quad (2-30)$$

เมื่อ K_i เป็นค่าคงที่เรียกว่า (integral gain) ซึ่งจะมีหน่วยเป็น 1/sec ภาพประกอบ 2-16 แสดงลักษณะการตอบสนองของ (integral control) เมื่อได้รับสัญญาณความผิดพลาดแบบ step ค่าปริพันธ์ระหว่างเวลา t และ 0 จะหมายถึงพื้นที่ใต้กราฟของสัญญาณความผิดพลาดจากเวลา 0 ถึง t ดังนั้นเนื่องจากระบบเริ่มการมีสัญญาณความผิดพลาดแบบ step เอาต์พุตที่ออกจากคอนโทรลเลอร์จะมีค่ามากขึ้นเรื่อยๆ ด้วยอัตราที่คงที่ ทำให้เอาต์พุตที่เวลาใดๆ จะเป็นสัดส่วนกับความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

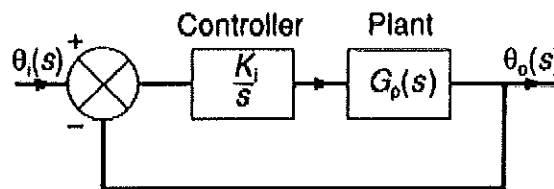


ภาพประกอบ 2-15 ลักษณะการตอบสนองของคอนโทรลเลอร์แบบ integral control

เปลี่ยนรูปลาปลาซของสมการ จะทำให้เราได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของคอนโทรลเลอร์เป็น

$$G_c(s) = \frac{\text{output}(s)}{e(s)} = \frac{K_i}{s} \quad (2-31)$$

ดังนั้นสำหรับระบบที่แสดงในภาพประกอบ 2-16 การควบคุมแบบ Integral control จะให้ forward-path transfer function เป็น $\frac{K_i}{s} G_p(s)$ และทำให้มี ฟังก์ชันถ่ายโอนระบบเปิดเป็น



ภาพประกอบ 2-16 ระบบควบคุมแบบ integral control

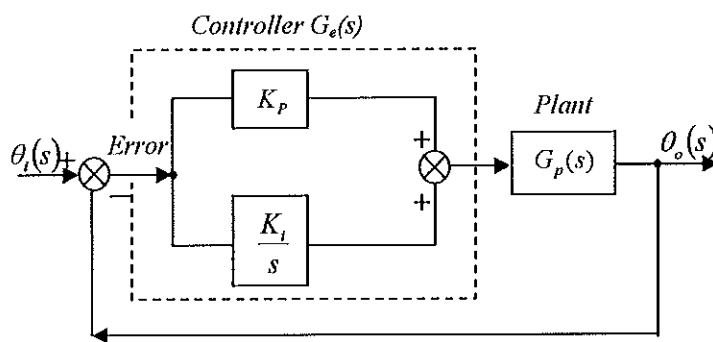
เราสามารถพิจารณาถึงข้อได้เปรียบของการควบคุมแบบ Integral control ได้จากสมการที่ (2-31) ซึ่งเราจะเห็นว่าระบบควบคุมแบบ Integral control จะเพิ่มจำนวนโพลให้กับระบบควบคุมและเพิ่ม type ของระบบ จาก type 0 เป็น type 1 ซึ่งทำให้ระบบมีความผิดพลาดที่สภาวะคงตัวเป็นศูนย์เทียบต่อ step input อย่างไรก็ตามการเพิ่มโพลที่ $s = 0$ และไม่มี การเพิ่มศูนย์ให้กับระบบควบคุม จะทำให้ความแตกต่างระหว่างจำนวนโพล (n) และจำนวนศูนย์ (m) เพิ่มขึ้นอีก 1 ซึ่งจะมีผลให้ asymptote angles ของทางเดินรากลดลง และจุดตัดจะเคลื่อนไปทางครึ่งขวาของ s -plane มากขึ้น มีผลทำให้ความเสถียรสัมพัทธ์ของระบบลดลง

$$\text{Asymptote_angle} = \pm \frac{\pi}{n-m}, \frac{3\pi}{n-m}, \dots \quad (2-32)$$

2.2.3 การควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์ (Proportional plus integral Control)

Control)

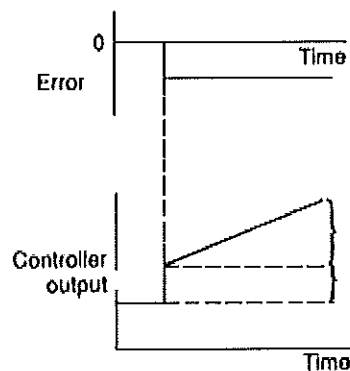
การที่ระบบควบคุมมีความเสถียรสัมพัทธ์ลดลง เมื่อเราใช้การควบคุมแบบปริพันธ์ สามารถที่จะแก้ไขได้ในระดับหนึ่ง โดยการใช้การควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับแบบปริพันธ์ (Proportional plus Integral, PI) ซึ่งลักษณะของระบบควบคุมจะเป็นตามภาพประกอบ 2-17



ภาพประกอบ 2-17 แผนภาพบล็อกที่ประกอบด้วย Proportional plus Integral

สำหรับระบบดังกล่าวจะมีเอาต์พุตของคอนโทรลเลอร์เป็น

$$\text{output} = K_p e + K_i \int_0^t e dt \quad (2-33)$$



ภาพประกอบ 2-18 การตอบสนองของ PI controller

ภาพประกอบ 2-18 เอาท์พุทของคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับเมื่อมีอินพุทเป็นสัญญาณความคิดพลาดแบบ step ถ้าเราเปลี่ยนรูปลักษณ์ของสมการ (2-33) เราจะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของคอนโทรลเลอร์แบบ PI เป็น

$$G_e(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (2-34)$$

$$G_e(s) = \frac{sK_p + K_i}{s} \quad (2-35)$$

$$G_e(s) = K_p \frac{(s + K_i/K_p)}{s} \quad (2-36)$$

เราให้ integral time constant τ_i เป็น

$$\tau_i = \frac{K_p}{K_i} \quad (2-37)$$

ดังนั้นเราจะได้

$$G_e(s) = \frac{K_p \left[s + \left(\frac{1}{\tau_i} \right) \right]}{s} \quad (2-38)$$

และจะทำให้เราได้ฟังก์ชันถ่ายโอนระบบเปิดเป็น

$$G_o(s) = G_e(s)G_p(s) \quad (2-39)$$

$$= \frac{K_p \left[s + \left(\frac{1}{\tau_i} \right) G_p(s) \right]}{s} \quad (2-40)$$

เราจะเห็นว่าเรามีศูนย์ที่ $s = -\frac{1}{\tau_i}$ และโพลที่ $s=0$ เพิ่มให้กับฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบเมื่อเราใช้

การควบคุมแบบ PI การที่เราเพิ่มตัวประกอบ s เข้ากับเทอมส่วนของฟังก์ชันถ่ายโอนก็เสมือนกับเราเพิ่มแบบของระบบขึ้นไป 1 จึงทำให้ระบบนี้จะไม่มีความคิดพลาดที่สภาพคงตัวสำหรับอินพุทแบบขั้นบันได นอกจากนั้นการที่เราเพิ่มศูนย์ให้กับระบบไปพร้อม ๆ กัน ก็จะทำให้ความแตกต่างระหว่างจำนวนโพล n และจำนวนศูนย์ m มีค่าคงที่ ดังนั้นมุมของ asymptote สำหรับทางเดินของรากมีค่าคงเดิม อย่างไรก็ตามจุดตัดของเส้น asymptotes บนแกนจริง จะเคลื่อนที่เข้าหาจุดกำเนิดมากขึ้น ยังผลให้ความเสถียรของระบบลดลงบ้าง

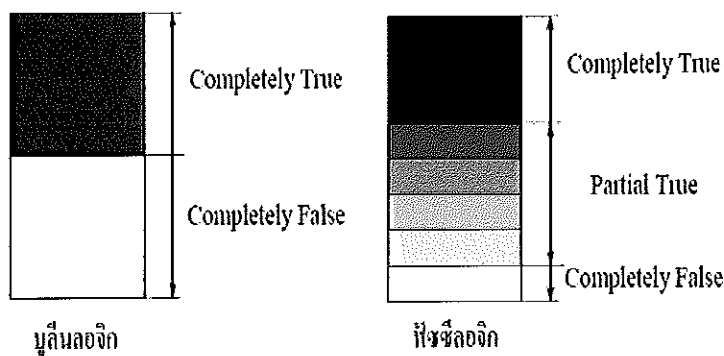
$$\text{Intersection/point} = (\text{ผลรวมของโพล} - \text{ผลรวมของศูนย์}) / (n-m)$$

การเพิ่มโพลที่ $S=0$ และศูนย์ที่ $s = -\frac{1}{\tau_i}$ จะทำให้จุดต้องเปลี่ยนไปเท่ากับ $\pm \frac{(1/\tau_i)}{(n-m)}$ ซึ่งจะทำให้มีค่าเป็นบวกมากขึ้น และจุดตัดจะเคลื่อนที่มาทางขวามือเข้าใกล้จุดกำเนิดมากขึ้น อย่างไรก็ตามการลดลงของความเสถียรสัมพัทธ์นี้จะน้อยกว่าการที่เราใช้การควบคุมแบบปรับพันธ์เพียงอย่างเดียว ค่าของ K_p และ K_i จะเป็นค่าที่ใช้กำหนดตำแหน่งของศูนย์และโพลของระบบ โดยตำแหน่งของศูนย์จะกำหนดด้วยค่า K_p ในขณะที่ K_i จะเป็นค่าที่ใช้กำหนดโพลระบบปิด

2.3 ฟัซซี่ (Fuzzy) [9]

ฟัซซี่ลอจิกเป็นตรรกะที่อยู่บนพื้นฐานความเป็นจริงที่ว่า "ทุกสิ่งบนโลกแห่งความเป็นจริงไม่ใช่มีเฉพาะสิ่งที่มีความแน่นอนเท่านั้น แต่มีหลายสิ่งหลายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่เที่ยงและ ไม่แน่นอน (Uncertain) อาจเป็นสิ่งที่คลุมเครือ (Fuzzy) และไม่ชัดเจน (Exact)"

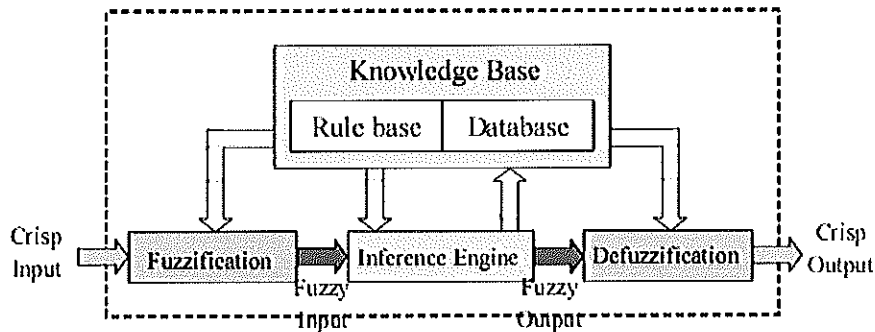
ตรรกะแบบฟัซซี่ (Fuzzy logic) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายในได้ความไม่แน่นอนของข้อมูล โดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ ใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเวียนแบบวิถีความคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ ฟัซซี่ลอจิกมีลักษณะที่พิเศษกว่าตรรกะแบบจริงเท็จ (Boolean logic) เป็นแนวคิดที่มีการต่อขยายในส่วนของความจริง (Partial true) โดยค่าความจริงจะอยู่ในช่วงระหว่างจริง (Completely true) กับเท็จ (Completely false) ส่วนตรรกศาสตร์เดิมจะมีค่าเป็นจริงกับเท็จเท่านั้น แสดงดังภาพประกอบ 2-19



ภาพประกอบ 2-19 ตรรกะแบบเท็จจริง (บูลีนลอจิก) กับตรรกะแบบฟัซซี่ (ฟัซซี่ลอจิก) [9]

2.3.1 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิก

โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี่ ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วนดังภาพประกอบ 2-20



ภาพประกอบ 2-20 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิก[9]

ส่วนที่แปลงการอินพุตทั่วไปเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี่ (Fuzzification) หรือในรูปแบบเซตฟัซซี่หรือเรียกว่าเป็นตัวแปรภาษา (Linguistic Variable)

ฐานความรู้ (Knowledge base) เป็นส่วนที่จัดเก็บรวบรวมข้อมูลในการควบคุม ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ฐานกฎ (Rule base) และฐานข้อมูล (Database)

ฐานกฎ (Rule base) ส่วนของการกำหนดวิธีการควบคุม ซึ่งได้จากผู้เชี่ยวชาญในรูปแบบของชุดข้อมูลแบบกฎของภาษา (Linguistic rule)

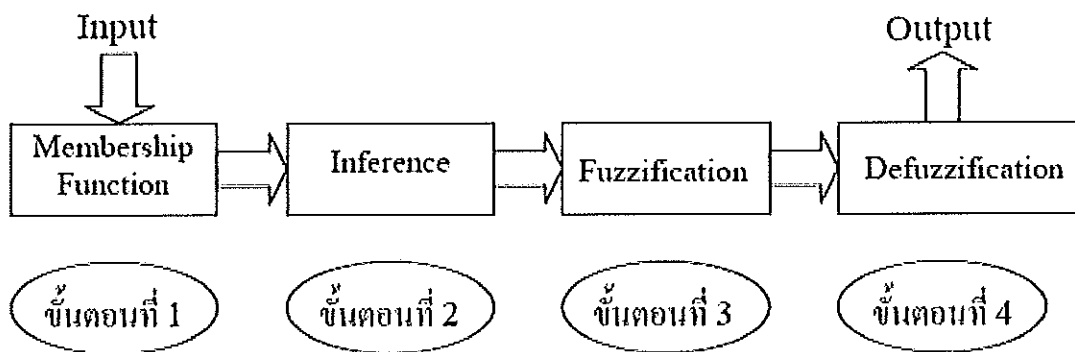
ฐานข้อมูล (Database) เป็นการจัดเตรียมส่วนที่จำเป็นเพื่อที่จะใช้ในการกำหนดกฎการควบคุม และการจัดการข้อมูลของตรรกศาสตร์ฟัซซี่

เครื่องอนุมานหรือการตีความ (Inference Engine) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ตรวจสอบข้อเท็จจริงและกฎ เพื่อใช้ในการตีความหาเหตุผล เหมือนกลไกสำหรับควบคุมการใช้ความรู้ในการแก้ไขปัญหา รวมทั้งการกำหนดวิธีการของการตีความเพื่อหาคำตอบ

ส่วนที่แปลงการเอาต์พุตให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม (Defuzzification) เป็นการทำการแปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบฟัซซี่ให้เป็นค่าที่สรุปผลหรือค่าการควบคุมระบบ

2.3.2 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิก

ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิกมีรูปแบบการทำงานเป็น 4 ส่วนจะแสดง
 ดังภาพประกอบ 2-21



ภาพประกอบ 2-21 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิก

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการแปลงอินพุตแบบทวินัยเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี่ โดยจะสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก โดยไม่จำเป็นต้องมีลักษณะเดียวกัน ขึ้นกับคุณลักษณะของแต่ละการอินพุต (Input) และความสำคัญต่อการเอาต์พุต (Output) ที่น่าสนใจโดยฟังก์ชันจะมีลักษณะเป็นการกำหนดภาษาสามัญ เพื่อให้เป็นฟัซซี่การอินพุต ดังภาพประกอบ 2-21

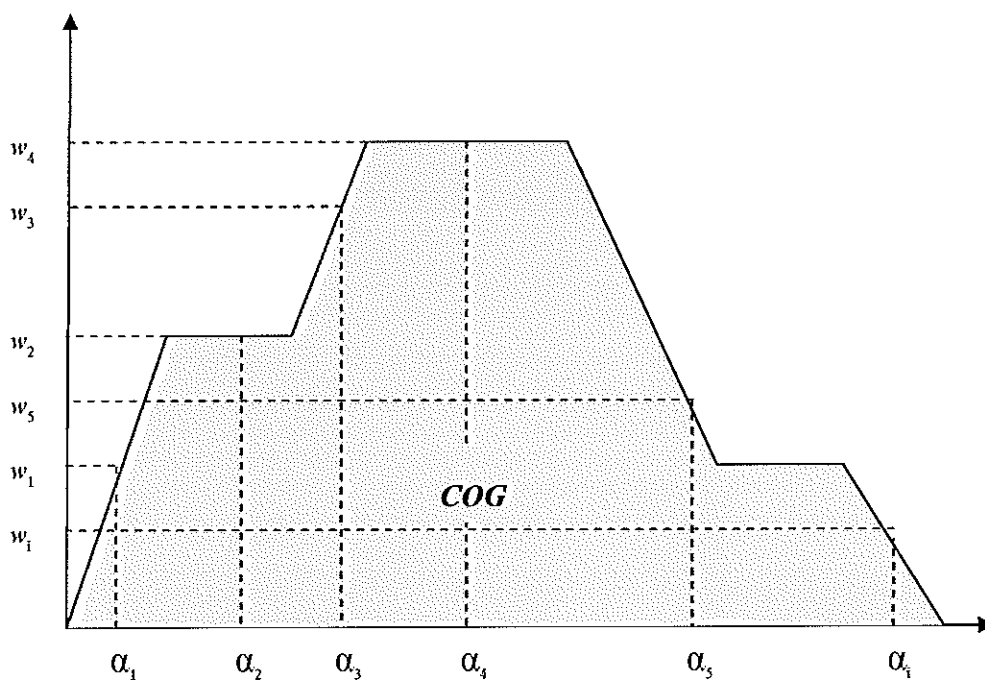
ขั้นตอนที่ 2 เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างการอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุตที่อาศัยหลักการของการหาเหตุและผล อาจจะสร้างการเก็บข้อมูล การคาดการณ์จากการตัดสินใจของมนุษย์ หรือค่าจากการทดลอง โดยเขียนเป็นกฎการควบคุมระบบ ซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปแบบ ถ้า (If) และ (And) หรือ (Or) ซึ่งเป็นภาษาสามัญ นำกฎทั้งหมดมาประมวลผลรวมกันเพื่อการหาคัดสินใจที่เหมาะสม ดังภาพประกอบ 2-21

ขั้นตอนที่ 3 เป็นการหาฟัซซี่เอาต์พุต โดยการนำกฎการควบคุมที่สร้างขึ้น ในขั้นตอนที่ 2 มาประมวลผลกับฟัซซี่อินพุต โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำค่าที่ได้ประมวลผล ดังภาพประกอบ 2-21

วิธีการทำเป็นค่าคลุมเครือ (Fuzzification) วิธีการที่นิยมใช้ในการตีความหาเหตุผล เลือกใช้ Max-Min method และ Max-Dot method

ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนสุดท้ายหรือขั้นตอนการสรุปเหตุผลฟัซซี่ โดยจะเปลี่ยนฟัซซี่เซตให้มาเป็นทวินัยเซตตามภาพประกอบ 2-21 และด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ เช่น วิธีการหาจุดศูนย์กลางถ่วง (Central of Gravity) เพื่อนำค่าที่ได้มาใช้ในการตัดสินใจเพื่อควบคุมระบบในสถานการณ์นั้นๆ

วิธีการทำค่าฟัซซี่ให้เป็นค่าปกติ (Defuzzification) วิธีการที่เป็นเทคนิคการเลือกค่าสูงสุดหรือสรุปหาเหตุผลจากหลาย ๆ เซตมาเพียงค่าเดียว ซึ่งเป็นการใช้ค่าสูงสุดของค่าระดับการเป็นสมาชิกจากการกระทำหลายๆ แบบ และเลือกกระทำเพียงรูปแบบเดียว



ภาพประกอบ 2-22 วิธีการหาจุดศูนย์กลางถ่วง

วิธีการหาจุดศูนย์กลางถ่วง (Central of Gravity: COG) เป็นวิธีการเฉลี่ยผลที่ได้จากการตีความหาเหตุผลที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ค่าที่ได้จะคำนวณจุดศูนย์กลางถ่วงโดยรวมจะหาได้จากการประมาณค่าจากสมการ

$$COG = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i w_i}{\sum_{i=1}^N \alpha_i} \quad (2-41)$$

โดยสมการ ได้กำหนดค่าของสมการดังนี้

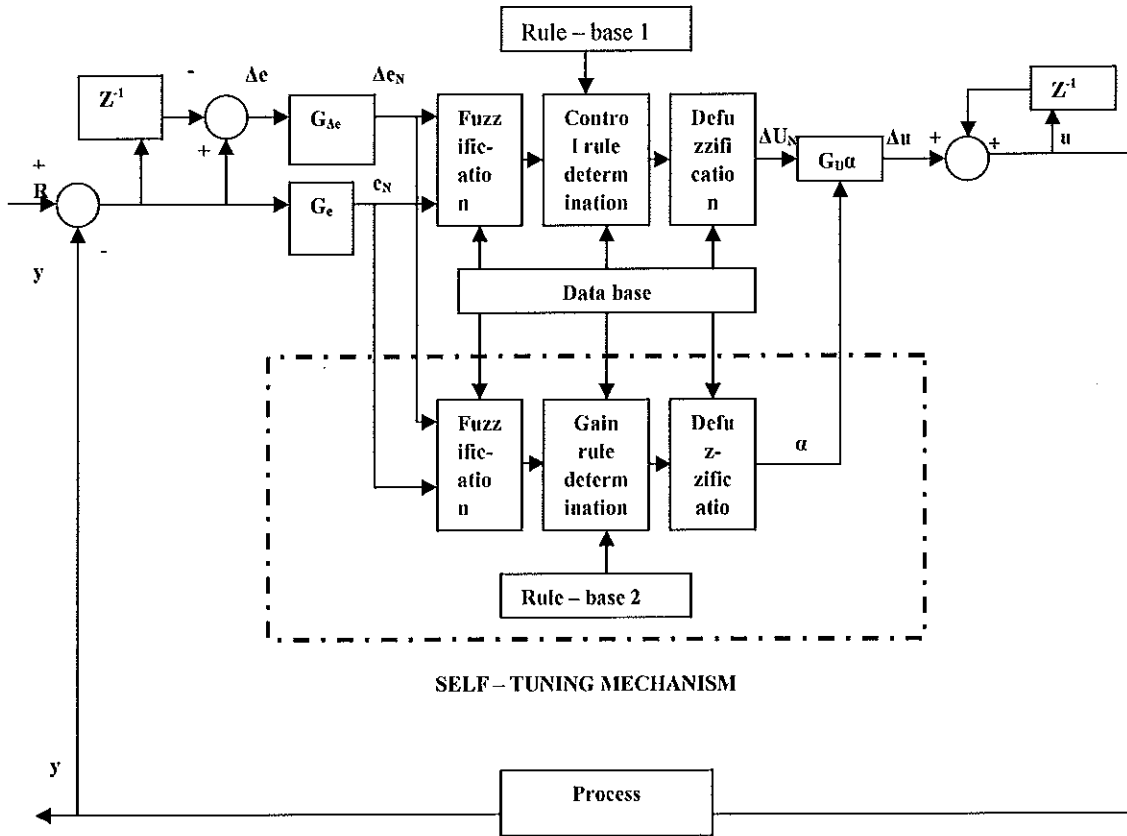
COG แทน ค่าของจุดศูนย์กลางถ่วง (Central of Gravity)

N แทน ค่าตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งที่ i

α_i แทน ค่าพีชชีของเอาท์พุทในเซตพีชชีตำแหน่งที่ i

w_i แทน พื้นที่ใต้โค้งของเซตพีชชีตำแหน่งที่ i

2.4 หลักการควบคุมด้วยวิธีการฟัซซี่พี-ไอโดยปรับค่าในตัวเอง[3]



ภาพประกอบ 2-23 แผนผังแสดงหลักการทำงานของระบบควบคุมแบบฟัซซี่ พี ไอ โดยการปรับค่าในตัวเอง

ภาพประกอบ 2-23 แสดงการควบคุมแบบฟัซซี่พี-ไอโดยปรับค่าในตัวเอง เอาท์พุทของตัวควบคุมได้จากตัวคูณค่าที่มีการปรับค่าโดยกระบวนการปรับในตัวเอง ซึ่งแสดงภายใต้กรอบเส้นประ ลักษณะความแตกต่างการพิจารณาออกแบบดังต่อไปนี้

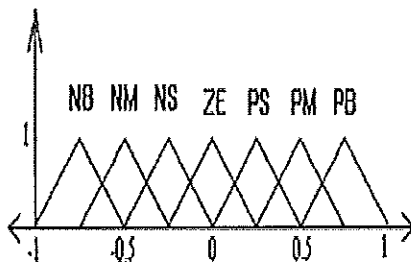
2.4.1 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก(Membership Function)

ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกทั้งหมดสำหรับอินพุทของตัวควบคุม คือ e และ Δe สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าที่เพิ่มขึ้น เอาท์พุทของตัวควบคุมคือ Δu หากค่าได้ในช่วงขอบเขตมาตรฐาน $[-1,1]$ ส่วนฟังก์ชันการเป็นสมาชิกหากค่าได้ในช่วงขอบเขตมาตรฐาน $[1,0]$ และเลือกใช้สามเหลี่ยมแบบสมมาตรซ้อนทับกัน 50% กับสามเหลี่ยมติดกัน ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแสดงดังภาพประกอบ 2-24 ตัวเลือกใช้รูปแบบธรรมชาติและไม่มีการกลับค่าของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกดัง

ภาพประกอบ 2-24 และ 2-25 แสดงแยกออกจากกันสำหรับเลือกค่าของฟังก์ชัน การจำลองฟังก์ชัน การเป็นสมาชิกของภาพประกอบ 2-24 เป็นตัวเริ่มต้น ส่วนภาพประกอบ 2-25 หาค่าได้จาก ภาพประกอบ 2-24

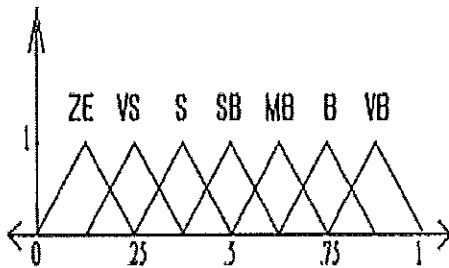
$$y = 0.5(x+1)$$

(2-42)



NB : Negative Big
 NM : Negative Medium
 NS : Negative Small
 ZE : Zero
 PS : Positive Small
 PM : Positive Medium
 PB : Positive Big

ภาพประกอบ 2-24 แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิก $e, \Delta e$ และ Δu



ZE : Zero
 VS : Very Small
 S : Small
 SB : Small Big
 MB : Medium Big
 B : Big
 VB : Very Big

ภาพประกอบ 2-25 แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิก ตัวคูณค่าแบบเป็นปัจจุบัน (α)

ค่าตัวแปร x จะเป็นทุกๆจุดบนแกนของภาพประกอบ 2-24 และค่าตัวแปร y ก็เหมือนกันบนจุดของภาพประกอบ 2-25 โดยการแปลงของฟังก์ชันการเป็นสมาชิก ดังนั้นข้อมูลพื้นฐานของการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกดังภาพประกอบ 2-23 จะได้จากฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของ ภาพประกอบ 2-24

2.4.2 ตัวคูณเพิ่มค่า (Scaling Factors)

ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสำหรับค่าอินพุต (e และ Δe) และเอาต์พุต (Δu_N) ของตัวควบคุมหลัก เป็นการหาค่าบนขอบเขตมาตรฐาน [-1,1] ความสัมพันธ์ระหว่างตัวคูณเพิ่มค่า ($G_e, G_{\Delta e}$ และ G_U) ของตัวแปรอินพุตและเอาต์พุตสำหรับการควบคุมแบบฟัซซี่พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง ดังนี้

$$e_N = G_e \cdot e \quad (2-43)$$

$$\Delta e_N = G_{\Delta e} \cdot \Delta e \quad (2-44)$$

$$\Delta u = (\alpha \cdot G_U) \cdot \Delta u_N \quad (2-45)$$

ซึ่งไม่เหมือนกับการควบคุมแบบฟัซซี่พี-ไอ (ใช้ตัวคูณ G_U อย่างเดียว) ค่าเอาต์พุต (Δu) สำหรับการควบคุมแบบฟัซซี่พี-ไอโดยปรับค่าในตัวเองได้มาจากตัวคูณเพิ่มค่า ($\alpha \cdot G_U$) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-23 เลือกค่าที่เหมาะสมสำหรับ G_e , $G_{\Delta e}$ และ G_U โดยใช้ความรู้ความเชี่ยวชาญทางด้านกรควบคุมและบางเวลาอาจใช้ผลของค่าผิดพลาด การนำเสนอวิธีการคำนวณ α แบบติดตามตลอดเวลาโดยใช้ค้นแบบกฎพื้นฐานที่เป็นอิสระของฟัซซี่หาค่า e และ Δe

$\Delta e \setminus e$	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NM	NS	NS	ZE
NM	NB	NM	NM	NM	NS	ZE	PS
NS	NB	NM	NS	NS	ZE	PS	PM
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZE	PS	PS	PM	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PM	PM	PB
PB	ZE	PS	PS	PM	PB	PB	PB

ภาพประกอบ 2-26 กฎการควบคุมแบบฟัซซี่สำหรับการคำนวณค่า Δu

$\Delta e \setminus e$	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	VB	VB	VB	B	SB	S	ZE
NM	VB	VB	B	B	MB	S	VS
NS	VB	MB	B	VB	VS	S	VS
ZE	S	SB	MB	ZE	MB	SB	S
PS	VS	S	VS	VB	B	MB	VB
PM	VS	S	MB	B	B	VB	VB
PB	ZE	S	SB	B	VB	VB	VB

ภาพประกอบ 2-27 กฎของฟัซซี่สำหรับการคำนวณค่า α

2.4.3 การใช้กฎ (The rule – bases)

การทำงานของตัวควบคุมแบบพีซซีพี-ไอสามารถอธิบายโดย

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k) \quad (2-46)$$

ในสมการ (2-46) k คือ การสุ่มตัวอย่างและ Δu คือ เอาท์พุทที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งได้จากการคำนวณโดยกฎจากรูปแบบ

$$\text{RPI : If } e \text{ is } E \text{ and } \Delta e \text{ is } \Delta E \text{ then } \Delta u \text{ is } \Delta U$$

การใช้กฎสำหรับการคำนวณ Δu แสดงดังภาพประกอบ (2-25) ซึ่งออกแบบสำหรับการควบคุมแบบพีซซีใน 2 มิติ จะใช้กฎเช่นนี้บ่อยๆ บางครั้งเรียกว่า วิธีการเลื่อนค่าของตัวคูณค่าแบบปัจจุบัน (α) ได้จากการคำนวณโดยกฎของพีซซีจากรูปแบบ

$$\text{R}\alpha : \text{If } e \text{ is } E \text{ and } \Delta e \text{ is } \Delta E \text{ then } \alpha \text{ is } \alpha$$

การใช้กฎดังภาพประกอบ 2-27 ใช้สำหรับการคำนวณค่า α เป็นการออกแบบร่วมกันกับกฎดังภาพประกอบ 2-26 ซึ่งเป็นการเน้นการหาค่า α โดยใช้กฎขึ้นอยู่กับตัวควบคุมตามภาพประกอบ 2-27 เป็นการออกแบบให้มีความสำคัญร่วมกันในการแสดงสมรรถนะการทำงานให้ครอบคลุมดังนี้

1. การทำให้โอเวอร์ชูรมีค่าต่ำและลดค่าเวลาในการควบคุมแต่ไม่ได้ลดค่าการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาในการเกิดของสัญญาณ การเลือกตัวคูณค่าอาจจะเลือกค่าน้อยเมื่อค่าผิดพลาดมีค่ามากอาจจะทำได้โดยกฎที่เหมือนกัน

$$\text{If } e \text{ is PB and } \Delta e \text{ is NS then } \alpha \text{ is VS}$$

ตัวคุณค่าน้อยๆเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อเป็นการลดปัญหาเมื่อมีการรวมค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (นั่นคือ การสะสมที่มากเกินไปของเอาท์พุทตัวควบคุมกับการกระทำแบบผลรวม)ตัวหลักของสมรรถนะตัวควบคุมจะต้องให้ภายในขอบเขตที่ยอมรับได้เมื่อการกำหนดค่าเวลา

2.ปัจจัยของตัวคุณค่าที่ทำให้ระบบอยู่ใกล้จุดอ้างอิงอาจจะเลือกให้กว้างเพื่อป้องกันการเกิดโอเวอร์ชูทและลดค่าโอเวอร์ชูท สำหรับตัวอย่างของกฎ

If e is ZE and Δe is NM then α is B

จะลดค่าโอเวอร์ชูทและอันเดอร์ชูทขนาดใหญ่ อาจหลีกเลี่ยงโดยใช้กฎจากรูปแบบ

If e is NS and Δe is PS then α is VS

เนื่องจากตัวคุณค่าที่เปลี่ยนแปลงอัตราการเข้าสู่ของกระบวนการสู่จุดอ้างอิงอาจจะเพิ่มขึ้น ซึ่งระบบอาจจะตอบสนองให้เกิดการแกว่งลดลง

3. การปรับปรุงสมรรถนะการควบคุมภายใต้ภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลง ควรเลือกให้ตัวคุณค่าคงที่มีค่าใหญ่ (เช่น If e is NS and Δe is ZE then α is MB)แต่ถ้าไม่ได้อยู่ภายใต้ภาวะการเปลี่ยนแปลงตัวคุณค่าคงที่อาจเลือกให้มีค่าเล็กมาก (เช่น If e is ZE and Δe is ZE then α is ZE)

ข้อสังเกต การใช้กฎสำหรับ α ขึ้นอยู่กับผลตอบสนองของระบบที่ต้องการควบคุม ดังภาพประกอบ 2-27 และค่าสำหรับตัวควบคุมโดยใช้กฎดังภาพแสดง 2-26 และถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในตัวควบคุมโดยกฎ การใช้กฎสำหรับ α อาจต้องเปลี่ยนให้ยอมรับได้

2.4.4 การปรับค่าสำหรับตัวคุณค่า

ในวิธีนี้ต้องการควบคุมระบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยสร้างเอาท์พุท (Δ_{USTFPC})จากการปรับค่าเอาท์พุทของพีซซีลอจิกแบบง่ายๆ(Δ_{UFPC})กับการปรับตัวคุณค่าตลอดเวลา α เช่น

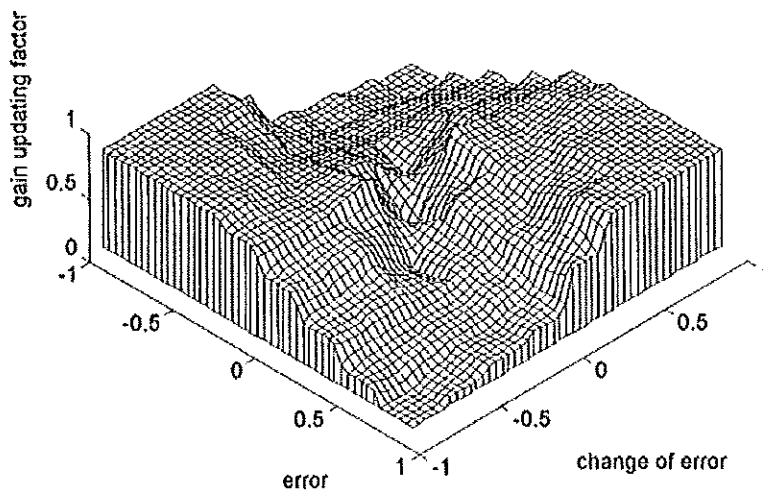
$$\Delta_{UPPIC} \propto \alpha \cdot (\Delta_{UPPIC})$$

หรือ

$$\Delta_{UPPIC} = k \cdot \alpha \cdot (\Delta_{UPPIC}) \quad (2-47)$$

เมื่อ k คือ สัดส่วนที่คงที่

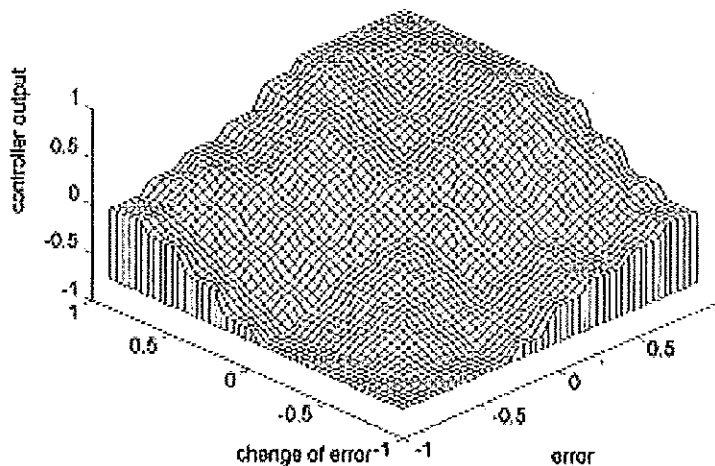
จากสมการ(2-47)เราสามารถบอกได้ว่าการควบคุมแบบพีซีพี-ไอโดยปรับค่าตัวเองเป็นส่วนหนึ่งของการควบคุมแบบพีซีพี-ไอกับตัวคูณค่า ค่าของ α กำหนดโดยอาศัยกฎตามภาพประกอบ 2-27 ซึ่งคือ e และ Δe และหาได้จากความรู้ทางด้านวิศวกรรมการควบคุม ภาพประกอบที่ 2-23 แสดงถึงการปรับตัวคูณค่าตลอดเวลาของตัวควบคุม ในทางตรงกันข้ามมันเป็นการปรับค่าในบางเวลาโดยตัวคูณค่าแบบติดตาม α ขึ้นอยู่กับแนวโน้มของกระบวนการ



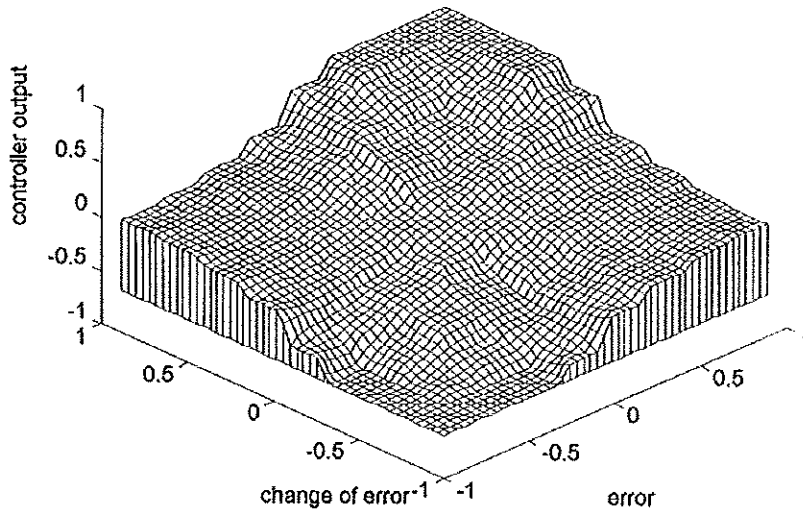
ภาพประกอบ 2-28 การเปลี่ยนแปลงของตัวคูณค่าแบบเป็นปัจจุบัน (α) กับค่าผิดพลาด (e) และค่าผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง (Δe)

เหตุผลในการให้ตัวคูณค่ามีการปรับค่าตลอดเวลาเพื่อให้ตัวควบคุมตอบสนองได้ตามต้องการตัวแปรที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง ของ α กับ e และ Δe ดังภาพประกอบ 2-28 ภาพประกอบ 2-28 สะท้อนให้เห็นคุณลักษณะเฉพาะที่ต้องการของ α ที่ฟังก์ชันของ e และ Δe สำหรับตัวอย่าง ถ้าค่าผิดพลาดเป็นค่าบวกไม่มากและค่าผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลงเป็นลบปานกลาง ดังนั้นเป็นไปได้ที่จะมีโอเวอร์ชูทขนาดใหญ่ ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการ การหลีกเลี่ยง ค่าโอเวอร์ชูทขนาดใหญ่ การเลือกค่า α อาจเลือกโดยดูจากภาพประกอบ 2-28 พื้นที่ส่วนบนของการควบคุม เช่น ตัว

ควบคุมเอาต์พุต (ΔU) เปรียบเทียบสองสิ่งระหว่าง e และ Δe สำหรับการควบคุมแบบฟัซซี่พี-ไอ และการควบคุมแบบฟัซซี่พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองซึ่งบรรยายในภาพประกอบ 2-29 และ 2-30 ตามลำดับ ข้อสังเกตทั้งสองภาพแสดงให้เห็นการควบคุมพื้นที่คำนวณของการควบคุมแบบฟัซซี่พี-ไอ (สังเกตได้จากส่วนพื้นที่ในส่วนที่สามของทั้งคู่) ดังนั้นภาพประกอบ 2-29 แสดงให้เห็นถึงขอบเขตจำนวนของกฎ IF-THEN โดยใช้พื้นฐานง่าย ๆ ของการเป็นสมาชิกและการกำหนดค่าตัวคูณเป็นสัดส่วนซึ่งไม่เพียงพอสอดคล้องการควบคุมตามความต้องการ ในวิธีการควบคุมเอาต์พุตจากตัวควบคุม(ภาพประกอบ 2-30) สร้าง โดยความต่อเนื่องและการเปลี่ยนแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้นของ α จุดสังเกตที่สำคัญมากคือ α ไม่ขึ้นอยู่กับสิ่งใดบนทุกตัวแปรของกระบวนการ ค่าของ α ขึ้นอยู่กับกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใด (e และ Δe) ดังนั้นวิธีการควบคุมกระบวนการจะเป็นอิสระ ขึ้นตอนต่อไปนี้จะใช้ในการปรับค่าตัวคูณของการควบคุมแบบฟัซซี่พี-ไอโดยปรับค่าในตัวเอง



ภาพประกอบ 2-29 พื้นที่ของการควบคุมแบบฟัซซี่พี-ไอ



ภาพประกอบ 2-30 พื้นที่การควบคุมแบบฟัซซี่พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง

ขั้นตอนที่ 1 ปรับสัดส่วนตัวคูณค่าของตัวควบคุมแบบฟัซซี่พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองสมมุติ $\alpha = 1$ (นั่นคือ การควบคุมแบบฟัซซี่พี-ไอ) สำหรับกระบวนการในการดำเนินการครั้งแรก G_c จะเลือกจากค่าขอบเขตมาตรฐานความผิดพลาด (e_n) ซึ่งจะครอบคลุมอาณาเขต $[-1, 1]$ ทำให้มีประสิทธิภาพโดยใช้กฎ ดังนั้น G_{Δ_c} และ G_{Δ} เป็นการปรับผลตอบแทนของสัญญาณขณะเกิดสัญญาณของระบบ ค่าตอบของขั้นตอนนี้จะได้ตัวควบคุมที่ได้นอกเหนือจากการควบคุมแบบฟัซซี่พี-ไอและนั่นคือจุดเริ่มต้นของการนำเอาตัวควบคุมแบบฟัซซี่พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองมาใช้ในขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 2 การปรับตั้งตัวคูณค่าของการควบคุมแบบฟัซซี่พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองจะให้ผลดีได้กว่าการควบคุมแบบฟัซซี่พี-ไอ โดยการกำหนดค่าของ G_c และ G_{Δ_c} ให้เหมือนกับการควบคุมแบบฟัซซี่พี-ไอซึ่งได้จากขั้นตอนที่ 1 สังเกตในขั้นตอนนี้ $\alpha \neq 1$ แต่ได้มาจากกฎดังภาพประกอบ 2-27 ทำการปรับค่าเล็กๆของ G_c ของการควบคุมแบบฟัซซี่พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง ถ้ามีความต้องการให้ค่าเวลาที่เพิ่มขึ้นของสัญญาณให้เหมือนกันการควบคุมแบบฟัซซี่พี-ไอซึ่งได้จากขั้นตอนที่ 1 ในคำสั่งหลักที่ต้องการค่าเวลาที่เพิ่มขึ้นของสัญญาณที่เหมือนกันสำหรับการควบคุมแบบฟัซซี่พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองกับควบคุมแบบฟัซซี่พี-ไอ การปรับค่าต่อไปนี้ของ G_c เป็นเหตุผลความต้องการของตัวแปร α ซึ่งซ่อนอยู่ใน $[0, 1]$ ซึ่งกล่าวถึงการแทนที่ของการเปลี่ยนแปลง G_c การนำเสนอในขั้นตอนนี้สามารถตอบสนองความต้องการถ้าเราทำให้ค่า

α ดีขึ้น โดยให้ค่าของ G_e , $G_{\Delta e}$ และ G_U คงที่ที่ค่าเดียวกันกับการควบคุมพีชชีพี-ไอ จะทำให้เข้าใจง่ายที่สุดจากสมการ (2-47) โดยกำหนดให้ $k = 3$ ในจุดต่อร่วมดังภาพประกอบ 2-23

ขั้นตอนที่ 3 ปรับค่าละเอียดของกฎสำหรับ α โดยอาศัยคำอธิบายในหัวข้อ 2.4.3 ขึ้นอยู่กับผลตอบแทนที่ต้องการ สำหรับตัวอย่าง ถ้าต่อไปต้องการลดค่าของโอเวอร์ชูทเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของเวลาจากสัญญาณ การปรับค่า e ให้มีขนาดกลาง ค่าของ α อาจจะถูกเลือกให้มีค่าเล็กมากและสามารถให้ผลตามความต้องการโดยรูปแบบของกฎ ถ้าค่าผิดพลาดเป็นบวกกลางและค่าผิดพลาดที่แตกต่างเป็นลบเล็กน้อยนั้นคือ α เป็นเล็กมาก (ไม่ใช่เล็กแสดงดังภาพประกอบ 2-27) การที่จะทำให้เข้าใจอย่างลึกซึ้งของวิธีการนี้ให้พิจารณาการควบคุมแบบพี-ไอและการควบคุมแบบพีชชีพีภายใต้ต้นแบบของ Takagi – Sugino (Ts) รูปแบบที่เพิ่มขึ้นสำหรับการควบคุมแบบพี-ไอแสดงได้เป็น

$$\Delta U_e = k_p [\Delta_e + (\Delta t / T_i) \cdot e] \quad (2-48)$$

เมื่อ $\Delta U_e =$ เป็นการเพิ่มขึ้นของการเปลี่ยนแปลงเอาต์พุต k_p คือ ตัวคูณค่าแบบสัดส่วน T_i เป็นผลรวมของเวลาและ Δt เป็นการสุ่มตัวอย่างของช่วงเวลาของตัวควบคุม ขณะนี้สำหรับต้นแบบ Ts ใช้กับกฎข้อที่ i_{th} ให้อยู่ในรูปแบบ

$$Ri: \text{ If } e \text{ is } E \text{ and } \Delta e \text{ is } \Delta E \text{ then } \Delta U_i = a_{i1} \cdot \Delta e + a_{i2} \cdot e$$

ดังนั้นผลลัพธ์ของเอาต์พุต (e , Δe) สามารถแสดงได้เป็น

$$\Delta_{UF} = \sum_i \mu_i (a_{i1} \cdot \Delta e + a_{i2} \cdot e) / \sum_i \mu_i \quad (2-49)$$

เมื่อ μ_i ค่าความสมาชิกของกฎข้อที่ i_{th} สมการที่ (2-49) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\Delta_{UF} = \left[\left(\sum_i w_i \cdot a_{i1} \right) \cdot \Delta_e + \left(\sum_i w_i \cdot a_{i2} \right) \cdot e \right]$$

เมื่อ

$$w_i = \left(\frac{\mu_i}{\sum_i \mu_i} \right)$$

หรือ

$$\Delta_{UF} = \left(\sum_i w_i \cdot a_{i1} \right) \left[\Delta_e + \left(\frac{\left(\sum_i w_i \cdot a_{i2} \right)}{\left(\sum_i w_i \cdot a_{i1} \right)} \right) \cdot e \right] \quad (2-50)$$

เขียนเป็น

$$K_{PF} = \sum_i w_i \cdot a_{i1} \quad \text{และ} \quad T_{IF} = \left[\left(\frac{\left(\sum_i w_i \cdot a_{i1} \right)}{\left(\sum_i w_i \cdot a_{i2} \right)} \right) \cdot \Delta \right]$$

แทนลงในสมการที่ (2-50)

$$\Delta_{UF} = K_{PF} \left[\Delta_e + \left(\frac{\Delta_e}{T_{IF}} \right) \cdot e \right] \quad (2-51)$$

เปรียบเทียบสมการที่ (2-51) กับสมการที่ (2-48) เราจะเห็นว่าสมการ (2-51) มีรูปแบบเดียวกับสมการที่ (2-48) ฉะนั้น K_{PF} และ T_{IF} อาจพิจารณาตามลำดับของพีชคณิตของ K_p และ T_1 ที่สัมพันธ์กับตัวควบคุมที่ไม่ใช่พีชคณิตอธิบายโดยสมการ (2-48) ดังนั้น $w_i = f(e, \Delta e)$ และ a_{i1} , a_{i2} ให้มีค่าคงที่สำหรับการใช้กฎค่า K_{PF} และ T_{IF} ทั้งสองเป็นฟังก์ชันที่บอกเป็นนัยของ e และ Δe จากสมการ (2-48) และ (2-51) เราจะเห็นข้อขัดแย้ง เอาท์พุทของการควบคุมแบบพีชคณิตไม่ใช่พี-ไอจะเป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้นธรรมชาติเนื่องจากค่าของตัวคูณค่าแบบสัดส่วน (K_{PF}) และตัวคูณค่าแบบปริพันธ์ (T_{IF}) มีการเปลี่ยนแปลงกับลำดับของกระบวนการ (นั่นคือ e และ Δe) แต่เอาท์พุทที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้จากการควบคุมแบบพีชคณิตล่อจิกกับการกำหนดค่าของสัดส่วนตัวแปรค่าการเป็นสมาชิกแบบไม่ซับซ้อน (เหมือนภาพประกอบ 2-26 ออกแบบโดยหลักการเลื่อนค่า) อาจจะไม่น่าสนใจในสมรรถนะ

สำหรับระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นหรือมีลำดับคำสั่งที่สูง ระบบที่พิเศษหรือกำหนดเวลาให้มาก ในการควบคุมแบบพีชชีลอจิก(ไม่มีการปรับค่า) การเกิดอย่างรวดเร็วอาจจะกำจัดไปได้โดย

1. เปลี่ยนค่าความเป็นสมาชิกค่าระยะมุมที่เกยกัน
2. เพิ่มจำนวนความเป็นสมาชิกหรือ
3. ปรับเปลี่ยนกฎ

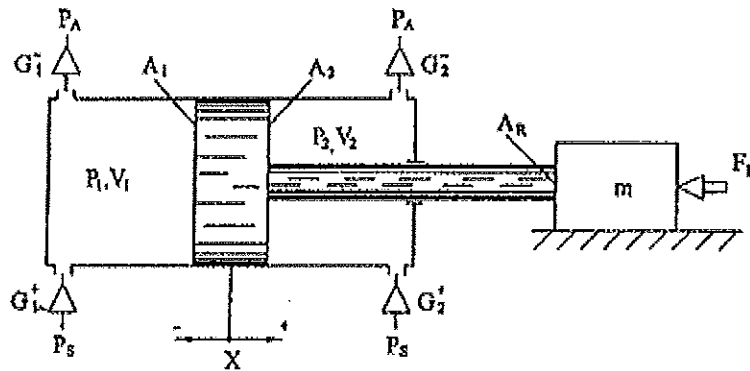
ซึ่งจะทำให้การออกแบบการควบคุมแบบพีชชีลอจิกมีความยากและดูเหมือนไม่ได้มาตรฐาน วิธีการที่นำเสนอเป็นรูปแบบที่ไม่ซับซ้อนในระดับความต้องการของระบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยตัวคูณค่าแบบปัจจุบันซึ่งคำนวณได้จากกฎในเทอมของ e และ Δe

วิธีการที่นำเสนอโดยใช้รูปแบบกฎคู่ขนานสองกฎเพื่อหา e และ Δe คำถามที่เกิดขึ้นคือสามารถทำงานแบบคู่ขนานได้หรือไม่ คำตอบที่เป็นไปได้คือ ใช่หนึ่งในแนวคิดโดยสามารถหาค่าจากความแตกต่างความเป็นสมาชิกของเอาท์พุทตัวควบคุมสำหรับแต่ละส่วนประกอบของค่าความเป็นสมาชิกสำหรับ แต่ละส่วนประกอบของค่าความเป็นสมาชิกสำหรับ Δe และ α ที่ทั่วไปโดยภาพประกอบ 2-26 และ 2-27 ทำให้แน่ใจ เมื่อ e เป็น NM และ Δe เป็น PS ดังนั้น Δu เป็น NS (ภาพประกอบ 2-26) และ α เป็น S (ภาพประกอบ 2-27) ดังนั้นแผง (NS,S) ให้ประกอบเข้าด้วยกัน และเราสามารถสรุปจากรูปแบบ IF e is NM and Δe is PS then Δu is NSS เมื่อ NSS เป็นค่าความเป็นสมาชิกใหม่ แต่นี้จะทำให้เกิดปัญหาค่าความเป็นสมาชิกอาจจะไม่มีในรูปสามเหลี่ยม ซึ่งจะทำให้การนำไปใช้งานจริงทำได้ยาก ยิ่งกว่านั้นตัวควบคุมที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง ไม่ได้ขึ้นอยู่กับสิ่งนี้อย่างเดียว (NS,S) แต่กฎที่อยู่ด้านข้างดังภาพประกอบ 2-26 และ 2-27 ในทางเลือกอื่นอาจจะใช้ในการพิสูจน์ระบบ (SI) ซึ่งเป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูล เมื่อเอาท์พุทของตัวควบคุมสำหรับความแตกต่าง $e, \Delta e$ ตัวแปรประกอบเข้าด้วยกัน แต่การพิสูจน์ค่าของระบบทั้งคู่อาจจะมีความยากกว่าการแยกระบบย่อยออกเป็นสองส่วนหาค่า โดยการใช้กฎทั้งสอง

2.5 อุปกรณ์นิวเมติกส์ (Pneumatic Actuators)[10]

2.5.1 กระบอกลูกสูบแบบ 2 ทิศทาง (Double Acting Cylinder)

กระบอกลูกสูบแบบ 2 ทิศทางประกอบด้วยห้องลม 2 ห้อง คือห้องลม 1 และห้องลม 2 ซึ่งกันด้วยลูกสูบที่มีพื้นที่หน้าตัดด้านห้องลม 1 เป็น A_1 และพื้นที่หน้าตัดด้านห้องลม 2 เป็น A_2 โดยลูกสูบด้านห้องลม 2 จะต่อเชื่อมกับแกนซึ่งใช้ในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ ระหว่างห้องลม 1 และห้องลม 2 จะมีรูสำหรับให้ลมไหลเข้าและไหลออกได้เพื่อเป็นการสร้างแรงให้ลูกสูบเคลื่อนที่ไปในระยะต่างๆที่ต้องการ



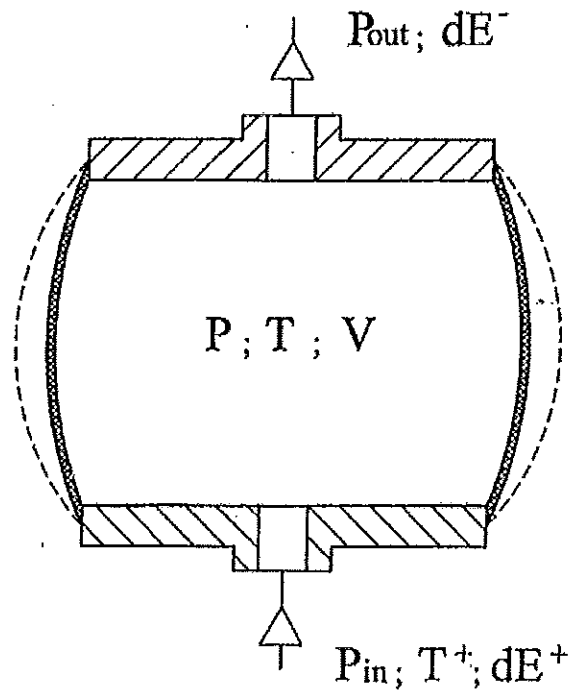
ภาพประกอบ 2-31 ส่วนประกอบภายในของกระบอกลูกสูบแบบ 2 ทิศทาง

2.5.2 สมการทางคณิตศาสตร์ของกระบอกลูกสูบแบบ 2 ทิศทาง

สมการคณิตศาสตร์จะอธิบายพลศาสตร์ของกระบอกลูกสูบประกอบด้วยสมการการเคลื่อนที่และสมการการเปลี่ยนความดันในห้องลม

กระบวนการสะสม การคายและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างห้องลมหาได้จาก การสะสมความดันในห้องลมกระบวนการนี้เราสมมติให้

1. ความดันของอากาศเป็นความดันสมบูรณ์
2. ความดันและอุณหภูมิระหว่างห้องลมมีค่าเท่ากัน



ภาพประกอบ 2-32 แผนผังการทำงานของห้องลม

กระบวนการสะสมความดันสามารถพิจารณาจากภาพประกอบ 2-32 ห้องลมที่ไม่แน่นอนและการเปลี่ยนแปลงของปริมาณนั้นคือห้องลมได้ต่อกับแหล่งจ่ายลมและปล่อยลมทั้งต้นแบบนี้ใช้พิจารณาอุปกรณ์นิวเมติกส์ได้ทุกประเภท โดยมีรายละเอียดดังนี้

กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ กระบวนการเปลี่ยนความดันภายในห้องลมของกระบอกสูบลม ความสมดุลย์ของพลังงานในการเปลี่ยนแปลงปริมาตรในห้องลมสามารถเขียนเป็น

$$dE^+ = dE_{CH} + dE_{AE} + dE^- \quad (2-52)$$

เมื่อ

E^+ = พลังงานอากาศด้านเข้า

E_{CH} = พลังงานอากาศภายในห้องลม

E_{AE} = งานที่ได้ขณะฉีดอากาศ

E^- = พลังงานอากาศด้านทางออก

พิจารณาต่อ

$$dE^+ = h_s^+ \cdot G^+, dE^- = h_s^- \cdot G^-, dE_{CH} = C_v \cdot m_A \cdot dT + C_v \cdot T \cdot dm_A$$

$$dE_{AE} = P \cdot dV, h_s^+ = C_p \cdot T^+, h_s^- = C_p \cdot T$$

T = อุณหภูมิอากาศในห้องลม

m_A = มวลอากาศในห้องลม

h_s = เอนทาลปีของอากาศ

$C_p = C_v$ = ค่าความร้อนจำเพาะของความดันคงที่และปริมาตรคงที่ตามลำดับ

เราจะได้

$$C_p \cdot T^+ \cdot G^+ - C_p \cdot T \cdot G^- = C_v \cdot m_A \cdot dT + C_v \cdot T \cdot dm_A + P \cdot dV \quad (2-53)$$

สมการเงื่อนไขอากาศ $P \cdot V = m_A \cdot R \cdot T$ เราสามารถเขียนได้เป็น

$$m_A \cdot dT = \frac{P \cdot dV + V \cdot dP - R \cdot T \cdot dm_A}{R} \quad (2-54)$$

เอาสมการที่ (2-54) แทนลงในสมการ (2-53) และกำหนดให้ $C_p/C_v = k$ และ $C_p - C_v = R$

จะได้

$$k \cdot R \cdot T^+ \cdot G^+ - k \cdot R \cdot T \cdot G^- = k \cdot P \cdot dV + V \cdot dP \quad (2-55)$$

อัตราการไหลของมวล G จะได้จากการคำนวณตามรูปแบบต่อไปนี้

$$G = A_v \cdot P_m \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{R \cdot T_m \cdot (k-1)}} \cdot \varphi(\sigma) \quad (2-56)$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของห้องลม, G คือ การไหลของมวลอากาศ, k คือ ค่าคงที่เมื่อไม่มีการสูญเสีย

(สำหรับอากาศ $k = 1.4$) R คือค่าคงที่ของก๊าซ(สำหรับอากาศ $R = 287 \text{ J/kg.K}$) $\sigma = P_{OUT}/P_m$

, P_m คือความดันด้านเข้า, P_{OUT} คือ ความดันด้านออกและ A_v คือ พื้นที่ของรูลม ฟังก์ชันการไหล $\varphi(\sigma)$ สามารถหาได้โดย

$$\begin{cases} \varphi(\sigma) = \sqrt{\sigma^{\frac{2}{k}} - \sigma^{\frac{(k+1)}{k}}} & \sigma \leq \sigma \leq 1 \\ \varphi(\sigma) = \varphi(\sigma \cdot) = \varphi \cdot = 0.295 & 0 < \sigma < \sigma \cdot \end{cases} \quad (2-57)$$

เมื่อ $\sigma = 0.528$

ในการคำนวณแต่ละส่วน ฟังก์ชันการไหล $\varphi(\sigma)$ สามารถคำนวณหาได้จากรูปแบบ

$$\begin{cases} \varphi(\sigma) = 2 \cdot \varphi \cdot \cdot \sqrt{\sigma(1-\sigma)} & 0.5 \leq \sigma \leq 1 \\ \varphi(\sigma) = \varphi \cdot = 0.295 & 0 < \sigma < 0.5 \end{cases} \quad (2-58)$$

สมการ (2-55) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\dot{P} = \frac{k}{V} \cdot (G^+ \cdot R \cdot T^+ - G^- \cdot R \cdot T - P \cdot \dot{V}) \quad (2-59)$$

ใช้สมการ และ $G = G^+ - G^-$, $m = \frac{PV}{RT}$ ดังนั้น

$$\dot{T} = \frac{T \cdot \dot{V}}{V} + \frac{T \cdot \dot{P}}{P} - \frac{R \cdot T^2 \cdot (G^+ - G^-)}{P \cdot V} \quad (2-60)$$

สมการที่ (2-59) และ สมการที่(2-60) หากค่าการเปลี่ยนความดัน P และอุณหภูมิ T ในห้องลม สำหรับกฎที่ไม่มีการสูญเสีย

ดังนั้นกระบวนการเทอร์โมไดนามิกส์ในห้องลมมีพฤติกรรมหลายรูปแบบและ สำหรับสมการกระบวนการเปลี่ยนความดันสามารถเขียนได้

$$\dot{P} = \frac{1}{V} \cdot (\alpha^+ \cdot G^+ \cdot R \cdot T^+ - \alpha^- \cdot G^- \cdot R \cdot T - \alpha \cdot P \cdot \dot{V}) \quad (2-61)$$

เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ α^+ , α^- , α มีค่าระหว่าง 1 และ k ขึ้นอยู่กับการส่งถ่ายความร้อนในกระบวนการ ในสมการ (2-61)ไม่ทำให้ทราบค่าคุณสมบัติของการแลกเปลี่ยนความร้อน แต่สามารถประมาณค่าสัมประสิทธิ์ α^+ , α^- , α ได้ สำหรับกระบวนการเปลี่ยน ค่าของ α^+ ใกล้เคียงค่า

k เป็นการแนะนำ ดังนั้นสำหรับการคายของห้องลม α^- จะเลือกให้มีค่าใกล้ 1 คุณสมบัติทางอุณหภูมิจของการอัดและกระบวนการฉีด จะเป็นการอธิบายได้ดีเมื่อเลือก $\alpha = 1.2$

ในส่วนนี้ พฤติกรรมการแลกเปลี่ยนความร้อนในอุปกรณ์นิวเมติกส์จะเกิดขึ้น ถ้าค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของแหล่งกำเนิดลมกับอุณหภูมิห้องมีค่ามาก เงื่อนไขในงานอุตสาหกรรม เมื่อค่าความแตกต่างมีค่าน้อย จะละไว้สำหรับการแลกเปลี่ยนพลังงานควบคู่การแลกเปลี่ยนความร้อน

ในงานอุตสาหกรรม ขอบเขตของการปรับความดันจากแหล่งกำเนิด บ่อยครั้งค่าความดันจากแหล่งกำเนิดสูงสุดมีค่า 1.2 MPa และอุณหภูมิประมาณ 290 K ภายใต้เงื่อนไข การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในการทำงานไม่มีความสำคัญมากสามารถละไว้ได้

ภายใต้สภาพ(นั่นคือการแลกเปลี่ยนความร้อนและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศภายในห้องลมของอุปกรณ์นิวเมติกส์ให้ละไว้)ค่าสูญเสียอุณหภูมิต่ำ($T = \text{คงที่}$)สามารถประยุกต์ได้และนั่นเป็นการเปลี่ยนความดันภายในห้องลมเพียงอย่างเดียว ในกรณีนี้ ค่าความดันสามารถหาได้โดย

$$\dot{P} = \frac{1}{V} \cdot (G^+ \cdot R \cdot T_s - G^- \cdot R \cdot T_s - P \cdot \dot{V}) \quad (2-62)$$

เมื่อ T_s เป็นอุณหภูมิจบบรรยากาศ ($T_s = 290 \text{ K}$) สมมุติฐานนี้เป็นเหตุผลมากพอสำหรับอุปกรณ์ส่วนใหญ่ของนิวเมติกส์ หลังจากนี้สมการ(2-62) ปรับเปลี่ยนสำหรับการอธิบายกระบวนการเปลี่ยนแปลงความดันในการทำงานห้องลม

กระบอกสูบลมมี 2 แหล่งสำหรับการไหลเข้าภายในห้องกระบอกสูบ

1. ท่อความดัน ต่อจากวาล์วควบคุมกับจุดต่อลม
2. ห้องลมที่อยู่ข้างเคียงถ้ามีความดันสูงกับการรั่วของซีลลูกสูบ

ความดันอากาศสามารถไหลเข้าสู่ความดันบรรยากาศเมื่อมีการต่อวาล์วควบคุมหรือซีลกระบอกสูบ หรือไปยังห้องลมที่สองถ้ามีความดันที่มีค่าต่ำ การรั่วซึมระหว่างห้องลมและจุดต่อขอบลูกสูบ สามารถละไว้สำหรับกระบอกสูบที่ใช้ขอบยาง

สำหรับกระบอกสูบแบบ 2 ทิศทางแบบมาตรฐาน (ภาพประกอบ 2-33) ปริมาณของแต่ละห้องลมสามารถแยกออกเป็น(จุดเริ่มต้นของลูกสูบอยู่ที่กึ่งกลางของกระบอกสูบ)

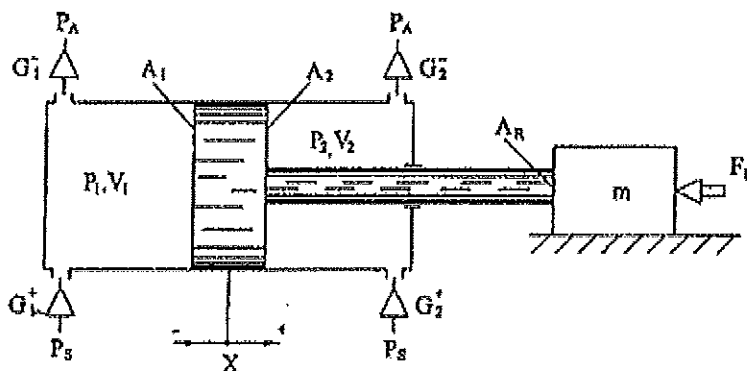
$$V_i = V_{oi} + A_i \cdot (0.5 \cdot L_s \pm x) \quad (2-63)$$

เมื่อ $i = 1, 2$ เป็นตัวชี้หมายเลขของห้องลม V_{oi} เป็นปริมาตรเริ่มต้นที่อยู่จุดท้ายสุดของกระบอกสูบ และเป็นทางเข้าของช่องลม, A_i คือ พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ, L_s ระยะเลื่อนของลูกสูบและ x เป็นตำแหน่งของลูกสูบ ความแตกต่างระหว่างการทำงานของพื้นที่หน้าตัดในแต่ละห้องลม A_1 และ A_2 คือ ก้านของลูกสูบ (พื้นที่ทำงานให้เป็น A_R) ดังนั้น แทนสมการ(2-63) ลงในสมการที่ (2-62) ค่าอนุพันธ์ย่อยของเวลาสำหรับความดันในห้องลมของกระบอกสูบได้จากสมการนี้

$$\dot{P}_i = \frac{1}{V_{oi} + A_i \cdot (0.5 \cdot L_s \pm x)} \cdot (G_i^+ \cdot R \cdot T_s - G_i^- \cdot R \cdot T_s \mp P_i \cdot A_i \cdot \dot{x}) \quad (2-64)$$

ในสมการนี้ ส่วนแรกจะแสดงกระบวนการสะสมภายในห้องลม

$$G_i^+ = A_i^+ \cdot P_s \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{R \cdot T_s \cdot (k-1)}} \cdot \phi(\sigma) \quad (2-65)$$



ภาพประกอบ 2-33 แผนผังกลไกของกระบอกสูบลม 2 ทิศทางแบบมาตรฐาน

ในส่วนที่ แสดงกระบวนการคาย สำหรับแต่ละ G_i^- สามารถเขียนได้เป็น

$$G_i^- = A_{vi}^- \cdot P_i \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{R \cdot T_s \cdot (k-1)}} \cdot \varphi \left(\frac{\sigma_A}{\sigma_i} \right) \quad (2-66)$$

และในส่วนที่สาม แสดงการอัดและฉีดของอากาศเมื่อลูกสูบมีการเคลื่อนที่ ในสมการ (2-65) และสมการ (2-66) สำหรับการหาค่าของตัวแปรในการไหล มี

$$\sigma = \frac{P_i}{P_s} \text{ และ } \sigma_A = \frac{P_A}{P_s}$$

เมื่อ P_s คือความดันของแหล่งกำเนิดและ P_A คือ ความดันบรรยากาศ

ในระบบเชิงกลสามารถเขียนเป็นต้นแบบคำสั่งลำดับสองกับแรงเสียดทาน สมการการเคลื่อนที่สำหรับภาระของลูกสูบสามารถอธิบายเป็น

$$m \cdot \ddot{x} + b_v \cdot \dot{x} + F_F + F_L = P_1 \cdot A_1 - P_2 \cdot A_2 - P_A \cdot A_R \quad (2-67)$$

เมื่อ m คือภาระภายนอก , ลูกสูบ , และมวลของก้านสูบเคลื่อนที่ ; b_v คือ สัมประสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของการเคลื่อนที่ ; และ F_L คือ แรงจากภายนอกในสมการ F_F แทนแรงเสียดทานลูกลมบีทาได้อย่างได้โดย

$$F_F = F_D \cdot \lambda \left(\dot{x} \right) + F_s \cdot \left[1 - \lambda \left(\dot{x} \right) \right] \quad (2-68)$$

เมื่อฟังก์ชัน $\lambda \left(\dot{x} \right)$ คือ

$$\begin{cases} \lambda \left(\dot{x} \right) = 1 & \left| \dot{x} \right| > 0 \\ \lambda \left(\dot{x} = 0 \right) & \left| \dot{x} \right| = 0 \end{cases} \quad (2-69)$$

นี้ F_s คือ แรงเสียดทานสถิตของลูกลมบี , F_D คือแรงเสียดทานขณะเคลื่อนที่ของลูกลมบี ซึ่งแทน

ได้โดย $F_D = F_D \cdot \text{sign} \left(\dot{x} \right)$

$$\text{sign}(\dot{x}) = \begin{cases} -1 & \text{if } \dot{x} < 0 \\ 0 & \text{if } \dot{x} = 0 \\ 1 & \text{if } \dot{x} > 0 \end{cases} \quad (2-70)$$

F_S แทนแรงเสียดทาน เมื่อ $|\dot{x}| = 0$ ในกรณีนี้ เมื่อค่าของแรงที่ใช้งานมีค่าน้อยกว่าขอบเขตของ F_S แรงเสียดทานมีค่าเท่ากับแรงที่ใช้งาน กล่าวโดยทั่วไป ขนาดของ F_D มีค่าน้อยกว่า F_S

กล่าวโดยสั้นๆ การทำแหวนของลูกสูบและก้านสูบของกระบอกสูบลมตามมาตรฐานสามารถทำจากยางบางชนิดยางชนิด Acrylonitrile – butadiene (NBR หรือ Perbunan) มีการใช้เป็นวัสดุวงแหวนโดยทั่วไปของการหยุดนิ่งและเคลื่อนที่, วัสดุที่ใช้ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะใช้กระบอกสูบลมประเภทนี้ ค่าของแรงเสียดทานสถิต (F_{S_0}) และแรงเสียดทานขณะเคลื่อนที่ (F_D) และสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานขณะเคลื่อนที่ (b_r) ของกระบอกสูบ 2 ทิศทางแบบมาตรฐานให้เน้นตามตาราง

การหาค่าแรงเสียดทานของกระบอกสูบลม (อยู่กับที่และขณะเคลื่อนที่) และสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานขณะเคลื่อนที่ได้จากการทดลอง 2 แบบ ทดลองที่หนึ่งให้ลูกสูบหยุดนิ่งและช่องลมให้ต่ออยู่กับความดันบรรยากาศ เพิ่มแรงที่ใช้งานตรงปลายของก้านสูบ แรงนี้วัดได้จากการใช้สแตนด์เกจ ในขณะเดียวกัน ขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ ความเร็วและความดันภายในห้องลม กระบอกสูบวัดระหว่างเคลื่อนที่สำหรับการเคลื่อนที่สำหรับการทดสอบแบบเปิด กับความแตกต่างของสัญญาณควบคุมว่าตัว ใช้สมการ (2-67) จนถึงสมการ(2-70) เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง เราได้แรงเสียดทานและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสำหรับเงื่อนไขที่แตกต่าง(สำหรับกระบอกสูบใหม่ ให้ทำประมาณ 100,000 ครั้ง ที่การเริ่มต้นการทำงานของกระบอกสูบและสำหรับกระบอกสูบลมที่ทำงานอย่างต่อเนื่องไปแล้ว 15 ถึง 20 นาที)

ตารางที่ 2-1 ค่าของแรงเสียดทานสถิตและแรงเสียดทานขณะเคลื่อนที่ และค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานของกระบอกสูบลมสองจังหวะแบบมาตรฐาน

เส้นผ่าศูนย์กลางของ ลูกสูบ(มม.)	แรงเสียดทานสถิต(N)	แรงเสียดทานขณะ เคลื่อนที่ (N)	สัมประสิทธิ์ของแรง เสียดทาน $\left(\frac{N \cdot s}{m}\right)$
10	3-4	1-2	8-25
12	4.5-6	1.5-2.5	10-35
16	6-8	2.5-4	15-35
20	12-19	8-12	15-40
25	20-28	10-16	20-50
32	25-35	12-20	25-60
40	30-50	15-25	30-70
50	40-60	18-30	45-90
63	45-75	22-40	50-100
80	55-95	28-48	60-110
100	65-110	32-55	70-140

โดยทั่วไปในการจำลองกระบวนการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์นิวเมติกส์ ค่าความเร็วของ ε ให้ปรับตั้งให้มีจำนวนเป็นบวกน้อยอย่างเดียวเพื่อความมั่นใจในเสถียรภาพของวิธีการผลรวมเชิงเลข ในกรณีนี้ฟังก์ชัน $\lambda(\dot{x})$ เป็นการอธิบายโดย

$$\begin{cases} \lambda(\dot{x}) = 1 & \text{for } |\dot{x}| > \varepsilon \\ \lambda(\dot{x}) = 0 & \text{for } |\dot{x}| \leq \varepsilon \end{cases} \quad (2-71)$$

2.5.3 วาล์วบังคับทิศทางลมควบคุมด้วยไฟฟ้า (Electropneumatic Control

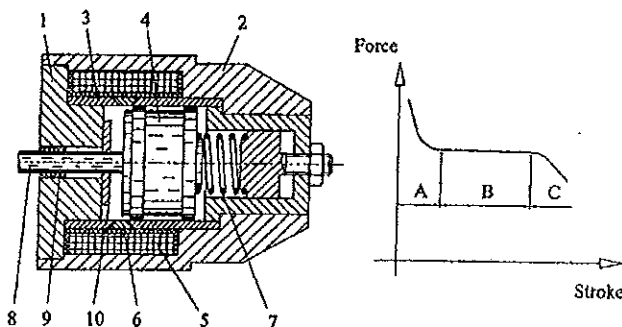
Valves)

การทำงานของวาล์วบังคับทิศทางแบบสัดส่วนใช้หลักการแรงสมดุลบนอาร์เมเจอร์ แรงสมดุลได้จากแรงเชิงกลโดยสปริงและแรงแม่เหล็ก โดยกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าขดลวดแรงทางกลจะมีค่าตรงกันข้ามกับแรงแม่เหล็กความแตกต่างระหว่างอุปกรณ์ที่ใช้การเปิด-ปิดกับอุปกรณ์ที่ทำงานแบบสัดส่วน

1. สปริงภายในขดลวดแบบสัดส่วนจะแข็งแรงกว่าสปริงที่ใช้ในโครงสร้างแบบเปิด-ปิด

2. อุปกรณ์แบบสัดส่วนจะสร้างแรงได้มากกว่าขดลวดแบบเปิด-ปิด

3. การออกแบบให้ทำงานแบบสัดส่วนจะใช้ขดลวดไฟฟ้ากระแสตรง



ภาพประกอบ 2-34 ก) โครงสร้างภายใน

ข) กราฟคุณลักษณะของแรง

ชุดขดลวดของอุปกรณ์แบบสัดส่วน ก) แผนผังโครงสร้าง ข) คุณลักษณะของแรง ภาพประกอบ 2-34 ก) โครงสร้างภายในของชุดขดลวดของอุปกรณ์แบบสัดส่วนจะประกอบด้วย ชิ้นส่วนข้อ (1), โครง (2), แกนกระบอก (3) และอาร์เมเจอร์ (4) ซึ่งทำจากวัสดุที่เป็นสื่อแม่เหล็ก แกนวงแหวน (6) ทำจากวัสดุที่ไม่เป็นแม่เหล็ก ใช้สร้างสนามแม่เหล็กรวมภายในช่องว่างระหว่างอาร์เมเจอร์ (4) และชิ้นส่วนข้อ (1) ให้เข้าใจง่ายขดลวดจะอยู่ในกระเปาะพลาสติกใส ตัวลวดที่ไม่เป็นโลหะ (10) ป้องกันอาร์เมเจอร์ (4) ติดกับชิ้นส่วนของข้อ (1) เมื่อขดลวดหมดพลังงาน แกนกลาง (8) เชื่อมต่อกับอาร์เมเจอร์ (4) สปริงของแกนกลางเชื่อมต่อกับลิ้นวาล์ว ตลับลูกปืน (9) ใช้สำหรับพยุงแกนกลาง

ฟังก์ชันการทำงานของขดลวดแบบสัดส่วน เราสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม

1. ชุดขดลวดควบคุมระยะแบบสัดส่วน
2. ชุดขดลวดควบคุมแรงแบบสัดส่วน

อุปกรณ์ในกลุ่มแรกให้การเคลื่อนที่ของแกนกลางเป็นสัดส่วนกับกระแสที่ได้จากขดลวด (5) ในโครงสร้างแกนกลางจะมีความยาว (ประมาณ 5 มม.) อัตราการยืดหยุ่นของสปริงคำนวณตามแรงแม่เหล็กสำหรับการทำให้อาร์เมเจอร์เคลื่อนที่ต่ำ โดยทั่วไปขดลวดชนิดนี้จะใช้ควบคุมโดยตรงแบบจังหวะเดียวและวาล์วควบคุมการไหล

อุปกรณ์ในกลุ่มสองให้การเปลี่ยนแปลงของแรงขึ้นอยู่กับแกนกลาง (8) แรงอาจจะเป็นสัดส่วนกับกระแสที่ผ่านมายังขดลวด ในกรณีนี้ อาร์เมเจอร์จะมีระยะการเคลื่อนที่ที่สั้น (น้อยกว่า 2 มม.) และสปริง (7) มีอัตราการยืดหยุ่น ชุดขดลวดนี้มักใช้วาล์วสองจังหวะ (แบบกำหนดทิศทาง) และในวาล์วระบายความดันแบบสัดส่วน

จากคุณลักษณะของชนิดแรง-ระยะแบ่งออกเป็นสามส่วน (ฟังก์ชันแรงของการเคลื่อนที่ของอาร์เมเจอร์) ของชุดขดลวดแบบสัดส่วน (ภาพประกอบ 2-34 ข) จากรูปคุณลักษณะการทำงานแบบเชิงเส้นของชุดขดลวดแบบสัดส่วนระหว่างแรงกับความยาวของระยะอยู่ในช่วง "B" ของการเคลื่อนที่ ให้เข้าใจง่ายมีพื้นที่การทำงานของอุปกรณ์แบบสัดส่วน สำหรับช่วงระหว่างเคลื่อนที่ "A" แรงของขดลวดจะเพิ่มขึ้นถ้าระยะห่างระหว่างอาร์เมเจอร์กับขั้วลวดลง ตัดส่วนพื้นที่ที่

ไม่เป็นเชิงเส้นจากช่วงการทำงานของขดลวด การเคลื่อนที่อาร์เมเจอร์ไปด้านซ้ายถึงขั้วถูกจำกัด โดยพื้นที่หน้าตัดของอาร์เมเจอร์กับตัวลึงโลหะ ในทั่วไป พื้นที่ "C" เส้นของแรง-ระยะจะพบว่า ขดลวดไม่ทำงาน ผลตอบสนองด้านเวลาของอุปกรณ์แบบสัดส่วนจะถึงจุดทำงานขึ้นอยู่กับปริมาณ แรงที่สร้างขึ้น โดยขึ้นส่วนปริมาณของแรงที่สร้างขึ้นสามารถเกิดโดยอุปกรณ์สัดส่วนชนิดนี้เป็น ความสัมพันธ์ของมิติแกนของขั้วแม่เหล็กและอาร์เมเจอร์จำนวนรอบของขดลวดและกระแสในชุด ขดลวด โดยทั่วไปขนาดของชุดขดลวดหาได้จากมิติของส่วนประกอบ เพราะชุดขดลวดเป็นร่อง บนขั้วแม่เหล็ก ดังนั้นวิธีการที่จะทำให้เกิดแรงสูงสุด โดยจัดส่วนประกอบให้เหมาะสมกับวงจร แม่เหล็ก ความถูกต้องและสมรรถนะของอุปกรณ์ชุดขดลวดแบบสัดส่วนขึ้นอยู่กับฟังก์ชันความ สมดุลของสปริงและความสามารถออกแบบให้ความไม่เป็นเชิงเส้นของสปริงมีค่าน้อยและความ ทนทานเชิงกลต่อการเปลี่ยนแปลง ปัญหาหนึ่งที่ต้องรู้เกี่ยวกับชุดขดลวดแบบสัดส่วนคือ ปปรากฏการณ์ของฮิสเทอรีซิส(ฮิสเทอรีซิสเป็นการเปลี่ยนแปลงของค่ากระแสภายในอุปกรณ์ที่ ต้องการสร้างเอาท์พุทที่ค่าเดียวกันที่อุปกรณ์ทำครบบอบอย่างซ้ำๆระหว่างค่าบวกและลบของ กระแส)ผลรวมของค่าฮิสเทอรีซิสมีสองส่วน ส่วนแรกเป็นการกลับขั้วของเส้นแรงแม่เหล็ก ส่วนที่ สองคือแรงเสียดทานในส่วนที่เคลื่อนที่ ในทางปฏิบัติสำหรับการลดค่าฮิสเทอรีซิสมีการใช้หลักทาง กายภาพของการเคลื่อนที่ของอาร์เมเจอร์ภายใน โพลงที่ขดลวดเคลื่อนที่โดยวิธีการใช้ดัดลูกปืน แบบแรงเสียดทานต่ำนั่นคือวงแหวน Teflon ส่วนที่เพิ่มเติม โครง , อาร์เมเจอร์ ,และบางเวลาการ ปรับปรุงดัดลูกปืนระหว่างอาร์เมเจอร์และตัวโครงทั้งหมดจะต้องเที่ยงตรง สำหรับแกนเลื่อนของ อาร์เมเจอร์ภายใน โครงให้มีความหนืดต่ำ เส้นผ่าศูนย์กลางและจุดศูนย์กลางของพื้นที่หน้าตัดดัด ลูกปืนจะมีความเที่ยงตรงสูงเพื่อความหนืดต่ำอีกทั้งตำแหน่งและความหนาของพื้นที่หน้าตัดดัด ลูกปืนจะพิจารณาให้มีผลกระทบข้างเคียงน้อยหรือไม่เป็นภาระ สิ่งที่ต้องการทั้งหมดคือส่วนสัมผัส กับพื้นผิวต้องถูกต้องและสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้คือค่าผิดพลาดซึ่งจะมีผลต่อสมรรถนะของขดลวด แม่เหล็ก อย่างไรก็ตามกับการเลือกใช้วัสดุที่มีความหนืดต่ำและความถูกต้องสูง ยังคงมีสัญญาณ "ย่าน ไม่ทำงาน"ของกระแส ซึ่งถูกจำกัดโดยการทำงานที่แมนยำของวาล์ว

วิธีการอื่นสำหรับความสัมพันธ์ทางกายภาพกับปัญหาฮิสเทอรีซิสที่เกิดขึ้นคือการ เอาส่วนที่รองรับกลไกของอาร์เมเจอร์ออกจากภายใน โพลงของวงขดลวดแม่เหล็ก(เมื่อไม่ต้องการ ความหนืดของดัดลูกปืนที่รองรับอาร์เมเจอร์)ตรงปลายท้ายสุดของขดลวดและส่วนที่รองรับอาร์

เมเจอร์สำหรับการเคลื่อนที่ภายในโพลง โดยวิธีเลื่อนที่ติดตั้งกลไกสปริงไว้ด้านนอกของชุดขดลวดแม่เหล็ก บางเวลาการปรับปรุงให้คุณลักษณะของฮีสเตอร์ซีสให้ดีขึ้นสามารถทำได้โดยใช้การสั้นสะพานนั้นคือลดการแกว่งของอาร์เมเจอร์ที่ความถี่สูงๆเพื่อเอาชนะแรงเสียดทานสถิต ในกรณีนี้ขนาดต่างๆ(ประมาณ 10 ถึง 15% จากค่าสูงสุดของสัญญาณควบคุม)ที่ความถี่สูง (ประมาณ 10 ถึง 15 ช่วงเวลาที่มากกว่าความถี่ทั่วไปที่ใช้ขดลวดแม่เหล็ก)เป็นช่วงสัญญาณที่เพิ่มเติมในสัญญาณกระแส

2.5.4 สมการคณิตศาสตร์ของวาล์วควบคุมลมโดยไฟฟ้า

วาล์วควบคุมลมด้วยไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนประกอบเชิงกลไฟฟ้า (ตัวแปรสภาพเชิงกลไฟฟ้า) โครงสร้างกลไกของระบบการหนีและโครงสร้างทางด้านลม ซึ่งหาได้จากอัตราการไหลของมวลของวาล์วการออกแบบส่วนประกอบของวาล์วควบคุมเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ได้ผลดีของกระบวนการควบคุมภายใต้เงื่อนไขของการเคลื่อนที่ สมการคณิตศาสตร์จะบอกถึงความหลากหลายของตัวแปรทางฟิสิกส์ที่มีผลต่อสมรรถนะ สามารถใช้ทำนายและปรับปรุงสมรรถนะเมื่อทำการออกแบบวาล์ว สมการเชิงคณิตศาสตร์สำหรับวาล์วควบคุมลมโดยไฟฟ้าสามารถแยกส่วนสำคัญออกเป็น

1. วงจรแม่เหล็กกับสมการสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
2. ระบบเชิงกล ซึ่งประกอบด้วยระบบสปริงกับแรงเสียดทาน
3. ส่วนของการไหลของอากาศซึ่งอธิบายถึงความสามารถของวาล์ว

วงจรแม่เหล็กตัวแปลงสัญญาณไฟฟ้าเชิงกลในวาล์วควบคุมแสดงให้เห็นถึงการเชื่อมต่อของระบบกลไกทางไฟฟ้า เมื่อกระแสไฟฟ้าถูกแปลงเป็นแรงแม่เหล็กไฟฟ้าบนอาร์เมเจอร์ซึ่งต่อกับตัววาล์ว

โดยทั่วไปสมการคณิตศาสตร์ของระบบเปิด-ปิดด้วยขดลวดไฟฟ้าจะไม่เป็นเชิงเส้นเพราะยังคงมีฮีสเตอร์ซีสอยู่และการอิมตัวของสื่อแม่เหล็ก อย่างไรก็ตามในส่วนนี้การคำนวณ

อย่างง่ายให้พิจารณาคุณลักษณะเป็นส่วนไม่สำคัญ ในการออกแบบกระบวนการของอุปกรณ์ ขดลวดไฟฟ้า เราจะใช้คุณลักษณะเฉพาะต่อไปนี้

1. คุณลักษณะแรงดึง (แรงหรือแรงบิด)การเปลี่ยนของสัญญาณควบคุมเป็นแรงแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วทำให้อาร์เมเจอร์เคลื่อนที่
2. คุณลักษณะการคงตัวความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ของไฟฟ้าและสัญญาณควบคุม
3. แรงแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำให้อาร์เมเจอร์เคลื่อนที่เป็ควาล้วสูงสุด

แรงแม่เหล็กไฟฟ้าต้องการพัฒนาฟลักแม่เหล็กที่โค้งงอภายในส่วนประกอบ สำหรับสื่อแม่เหล็กและช่องว่างระหว่างอาร์เมเจอร์และแกนของขดลวดไฟฟ้า อย่างไม่ต้องสงสัย วงจรสื่อแม่เหล็กที่สำคัญจะรวมตัวกันที่ช่องว่างอากาศ

แรงแม่เหล็กไฟฟ้าบนอาร์เมเจอร์สามารถหาได้จาก

$$F_M = \frac{B^2 \cdot A_g}{2 \cdot \mu_A} \quad (2-72)$$

เมื่อ B คือ ความเข้มของเส้นแรงแม่เหล็ก

A_g คือ พื้นที่หน้าตัดของช่องว่างอากาศ

μ_A คือ ค่าความเป็นสื่อแม่เหล็กของอากาศ

ให้พิจารณาภายในความเข้มของเส้นแรงแม่เหล็ก

$$B = \frac{\phi}{A_g} \text{ และ } \phi = \frac{\mu_A \cdot A_g \cdot I \cdot n_c}{L_M} \quad (2-73)$$

(เมื่อ ϕ คือฟลักแม่เหล็ก)รูปแบบของแรงแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$F_M = \frac{\mu_A \cdot A_g}{2 \cdot \phi_M} \cdot \left(\frac{I \cdot n_c}{L_M} \right)^2 \quad (2-74)$$

เมื่อ ϕ_M คือ สัมประสิทธิ์การกระจายของฟลักแม่เหล็ก

I คือ กระแสของสัญญาณควบคุม

n_c คือ จำนวนรอบของขดลวดเหนี่ยวนำ

L_M คือ ความยาวของวงจรแม่เหล็ก

ข้อเสียของวาล์วแบบเปิด-ปิดคือ คุณลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นทั้งการเคลื่อนที่ของอาร์เมเจอร์และแรงแม่เหล็กไฟฟ้าจากกระแสของสัญญาณควบคุม ในส่วนของอาร์เมเจอร์ที่มีระยะ (ภาพประกอบ 2-34 ข)) บนพื้นที่ B คุณลักษณะแรง-กระแสของการควบคุมสามารถเขียนได้เป็น

$$F_M = \frac{\partial F}{\partial I} \cdot (I - I_1) + \frac{\partial F}{\partial y} \quad (2-75)$$

เมื่อ $\frac{\partial F}{\partial I}$ คือ ความเข้มของเส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้า โดยกระแสสัญญาณควบคุม

$\frac{\partial F}{\partial y}$ คือ ความเข้มของเส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้า โดยการเคลื่อนที่ของอาร์เมเจอร์

I_1 คือ ค่าของกระแสสัญญาณควบคุมเมื่ออาร์เมเจอร์ของวาล์วเริ่มเคลื่อนที่

y คือ ระยะของอาร์เมเจอร์

ให้เข้าใจง่ายสำหรับขดลวดไฟฟ้าแบบสัดส่วนความเข้ม โดยกระแสสัญญาณควบคุมสามารถหาได้จาก

$$\frac{\partial F}{\partial I} = \frac{\mu_A \cdot n_c \cdot A_s}{2 \cdot \phi_E \cdot \phi_R} \quad (2-76)$$

เมื่อ ϕ_E คือ สัมประสิทธิ์สัมบูรณ์ของฟลักแม่เหล็กที่กระจาย (ϕ_E ประมาณ 250 ถึง 320)

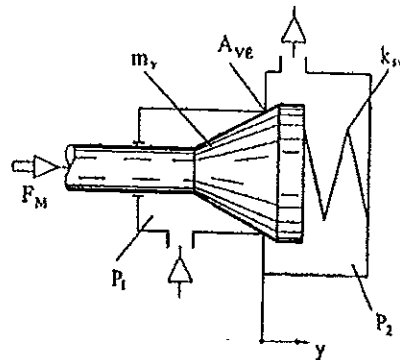
ϕ_R คือ ความสัมพันธ์ของฟลักแม่เหล็กที่กระจายตัวไปยังฟลักแม่เหล็กทั้งหมด

ความเข้มของเส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการเคลื่อนที่ของอาร์เมเจอร์ $\frac{\partial F}{\partial y}$ ขึ้นอยู่

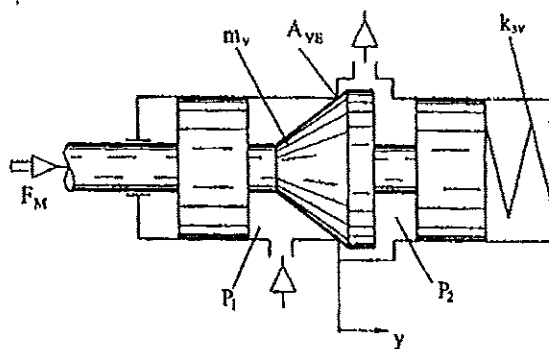
กับความแข็งของสปริง

2.5.4.1 ระบบกลไกย่อย

สมการคณิตศาสตร์ทั้งแบบการควบคุมวาล์วจังหวะเดียวและการควบคุมวาล์วสองจังหวะสามารถแทนเป็นคำสั่งอันดับสองกับความหนืด ภาพประกอบ 2-35 แสดงส่วนประกอบโครงสร้างกลไกของวาล์วควบคุมจังหวะเดียวในกรณีนี้ระยะของอุปกรณ์ขับเคลื่อนไฟฟ้าจะต่อโดยตรง สำหรับวาล์วที่ไม่สมดุล (ภาพประกอบ 2-35 ก) ความแตกต่างของความดัน (P_1-P_2) ลึนของวาล์วที่มีพื้นที่หน้าตัด A_{vE} อีกอย่างแรงที่เกิดขึ้นจะรวมกับแรงของสปริง แรงเสียดทานลูมบี แรงเสียดทานและแรงที่เกิดขึ้นโดยอุปกรณ์ขับเคลื่อนไฟฟ้า ให้เข้าง่าย ในวาล์วควบคุมโดยไฟฟ้า แรงที่ไหลไปยังจุดต่อเราสมมุติให้มีขนาดเล็ก



ภาพประกอบ 2-35 ก) โครงสร้างโดยทั่วไป



ภาพประกอบ 2-35 ข) โครงสร้างการทำงานของวาล์วอาศัยความสมดุลของแรง

สำหรับการเคลื่อนที่ในแกนลบ ($y \leq 0$) ลินวาล์วไม่ได้เคลื่อนที่และยังคงเชื่อมต่ออยู่นั้นคือ ถ้า $y \leq 0$ ดังนั้น $y = 0$ และ $\dot{y} = 0$ ภายใต้เงื่อนไขนี้ สมการสำหรับการเคลื่อนที่ของลินวาล์วกับ ขดลวดอาร์เมเจอร์จะไปด้วยกันสามารถเขียนได้เป็น

$$m_v \cdot \ddot{y} + b_{vv} \cdot \dot{y} + k_{sv} \cdot (y_0 + y) + F_{VF} = (P_1 - P_2) \cdot A_{vE} + F_M \quad (2-77)$$

เมื่อ y คือระยะการเคลื่อนที่ของลินวาล์ว

m_v คือ มวลของลินและอาร์เมเจอร์

b_{vv} คือ สัมประสิทธิ์ความหนืด

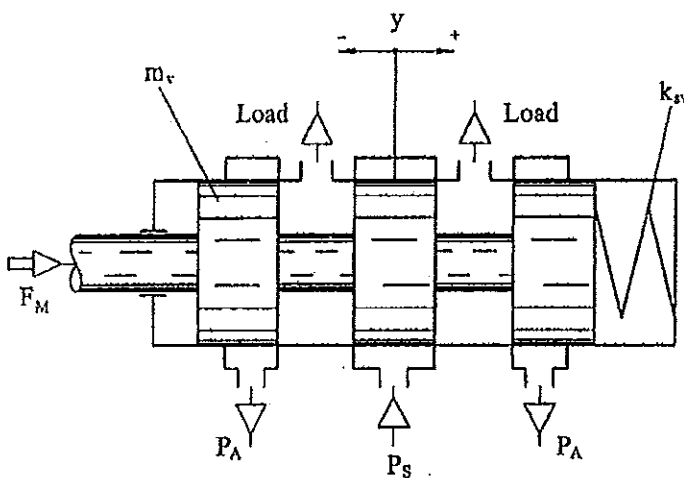
k_{sv} คือ ค่าคงที่ของสปริง

y_0 คือ ค่าแรงสปริงที่ทำให้วาล์วอยู่ในตำแหน่งปิด

F_{VF} คือ แรงเสียดทานถูกลมปัดซึ่งหาได้จาก F_F (สมการ 2-68)

A_{vE} คือ พื้นที่ที่ลินวาล์วทำงาน

F_M คือ แรงแม่เหล็กไฟฟ้า(สมการ 2-72)



ภาพประกอบ 2-36 โครงสร้างกลไกการทำงานของวาล์วแบบเลื่อนไปมา

สมการคณิตศาสตร์ของระบบกลไกย่อยสำหรับวาล์วควบคุมจังหวะเดียวกับกลไกแรงสมดุล (ภาพประกอบ 2-35 ข) สามารถเขียนเป็นสมการได้

$$m_v \cdot \ddot{y} + b_{vv} \cdot \dot{y} + k_{sv} \cdot (y_0 + y) + F_{IT} = F_M \quad (2-78)$$

จากสมการ (2-78) แรงของความแตกต่างของความดัน ($P_1 - P_2$) ไม่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของลิ้นวาล์วของการควบคุม รูป 2-36 แสดงโครงสร้างกลไกการทำงานของวาล์วควบคุมแบบจังหวะเดียวชนิดเลื่อนไปมา ในกรณีนี้พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของปลอกสามารถอธิบายโดยสมการ (2-78) จุดเริ่มต้นของปลอกจะอยู่ตรงกลางของระยะการเคลื่อนที่เต็ม รูปแบบนี้จะพบบ่อยของการควบคุมการประยุกต์ใช้เทคนิคการสัน ซึ่งจะขนาดที่มีน้อย (ประมาณ 10 ถึง 15% ของค่าสูงสุดของสัญญาณควบคุม) ช่วงสัญญาณความถี่ที่ใช้ค่อนข้างสูง (ประมาณ 10 ถึง 15 ช่วงเวลามากกว่าความถี่ทั่วไปที่ใช้กับขดลวดไฟฟ้า) เป็นสัญญาณที่ใส่เข้าไป ปลอกจะเลื่อนรอบตำแหน่งสมดุลและค่าแรงเสียดทานถูกลมปีจะลดลง ($F_{IT} \approx 0$)

2.5.4.2 ความสามารถในการไหลของวาล์ว

อีกตัวแปรหนึ่งที่สำคัญของการควบคุมวาล์วคือ ความสามารถในการไหลหรืออัตราการไหลของมวล โดยทั่วไปคุณลักษณะสามารถคำนวณค่าได้จากสมการ (2-56) อย่างไรก็ตามวาล์วควบคุมด้วยไฟฟ้าสามารถหาอัตราหาไหลของมวลโดย

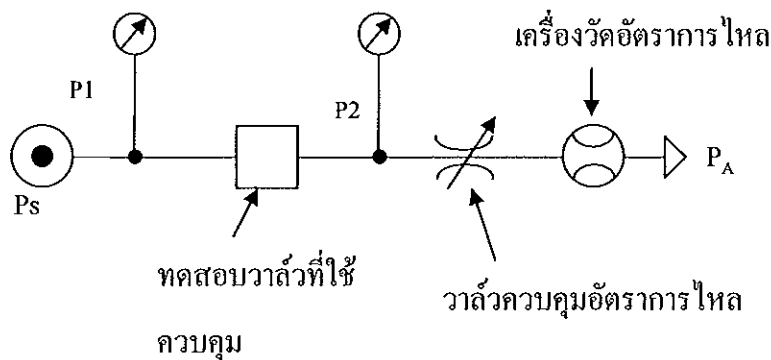
$$G = A_v \cdot \beta \cdot P_{in} \sqrt{\frac{2 \cdot k}{R \cdot T_M \cdot (k-1)}} \cdot \varphi(\sigma) \quad (2-79)$$

เมื่อ β คือ องศาของวาล์วที่เปิดและยังคงค่าตัวแปรที่เหมือนกับสมการ (2-56) เป็นเรื่องปกติสำหรับความดันตกของช่องทางไหลและการไหลจะทำให้เกิดความดันและความปั่นป่วน ถ้าอัตราของความดันด้านออกกับความดันด้านเข้ามีค่าต่ำ ดังนั้นค่าวิกฤติ ($\sigma = P_{out}/P_{in} < 0.5$) สำหรับการไหลจะเป็นความเร็วเหนือเสียง (การไหลที่สะดุค) และจะขึ้นอยู่กับความดันด้านเข้า (P_{in}) ถ้าอัตราความดันมีค่ามากกว่าจุดวิกฤติ มวลการไหลจะไม่เป็นเชิงเส้นกับความดันคู่ (สมการ 2-58) การคำนวณหาค่าความดันด้านเข้าและความดันด้านออกในสมการ (2-79) คือ ความแตกต่างของ

กระบวนการสะสมและคายของห้องลมสำหรับการสะสม ความดันในแหล่งจ่ายจะพิจารณาที่ความดันด้านเข้าและความดันในห้องลมจะเป็นความดันด้านออกสำหรับการคายความดันภายในห้องลมจะเป็นความดันด้านเข้าและความดันช่องระบายจะเป็นความดันด้านออก

หลายๆคนมีวิธีการหาอัตราการไหลของลมด้วยวิธีการต่างๆโดยปกติอัตราการไหลโดยมาตรฐานทั่วไป Q_n , อัตราการไหลของน้ำ K_v และสัมประสิทธิ์ของการไหล C_v วิธีการหาค่าตัวแปรเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการไหลของวาล์วแบบต่างๆ ในส่วนที่เพิ่มเติมเป็นหนทางหนึ่งในการกำหนดหาขนาดของวาล์วซึ่งในการเลือกขนาดวาล์วที่เหมาะสมกับการใช้งาน

ในยุโรปและญี่ปุ่นมาตรฐานทั่วไปของอัตราการไหล Q_n ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้เป็นคุณลักษณะของการไหลของลมและรวมถึงตัววาล์วควบคุม รูป 2-37 เป็นแผนผังวงจรใช้ในการวัดมาตรฐานการไหลโดยทั่วไปการวัดจะใช้เงื่อนไขโดยทั่วไป



ภาพประกอบ 2-37 แผนผังการวัดอัตราการไหล

1. ทดสอบที่อุณหภูมิปานกลางคือ $20 \pm 3^{\circ}$
2. ทดสอบวาล์วควบคุมที่อุณหภูมิห้อง
3. แรงดันด้านเข้าที่ใช้ (P_1) 0.6 MPa
4. แรงดันด้านออกที่ใช้ (P_2) 0.5 MPa

ในสหรัฐอเมริกา เพื่อความเหมาะสมและรวดเร็วคุณลักษณะการไหลของวาล์วควบคุมจะแสดงในเทอมของสัมประสิทธิ์การไหล C_v ซึ่งจะหาค่าได้จากการไหลของน้ำ 60 F° ในหน่วย U.S gallons ต่อ นาที (gal/min) ที่ความดันตกไป 1 lb/m^2 ที่ตัววาล์ว

ในทางทฤษฎีการคำนวณและการจำลองสิ่งสำคัญที่จะต้องทราบคือพื้นที่หน้าตัดของวาล์ว ตัวแปรนี้สามารถหาได้จากสมการ

$$A_v = \frac{G}{\beta \cdot P_m \cdot \varphi(\sigma)} \cdot \sqrt{\frac{R \cdot T_M \cdot (k-1)}{2 \cdot k}}$$

แทนค่า $G = Q_n \cdot \rho_{am}$ ลงในสมการ

$$A_v = \frac{Q_n \cdot \rho_{am}}{\beta \cdot P_m \cdot \varphi(\sigma)} \cdot \sqrt{\frac{R \cdot T_M \cdot (k-1)}{2 \cdot k}} \quad (2-80)$$

เมื่อ ρ_{am} คือ ความหนาแน่นของอากาศภายใต้เงื่อนไข ($\rho_{am} = 1.293 \text{ kg/m}^3$) และ $\sigma = P_2/P_1 = 0.833$, $\varphi(\sigma) = 0.193$ (ได้จากสมการที่ 2-58) $\beta = 1$ (วาล์วเปิดเต็มที่) $P_m = 0.6 \text{ MPa}$ $R = 287 \text{ joule/kg} \cdot K$, $T_m = 290 \text{ K}$ และ $k = 1.4$ พื้นที่ทำงานของ $A_v = 1.2 \times 10^{-3} \cdot Q_n$ อัตราการไหลของน้ำ k_v และสัมประสิทธิ์ของการไหล C_v สัมพันธ์กับค่าอัตราการไหลมาตรฐาน Q_n โดยรูปแบบต่อไปนี้ $k_v = 54.4 \cdot Q_n$ และ $C_v = 60.9 \cdot Q_n$

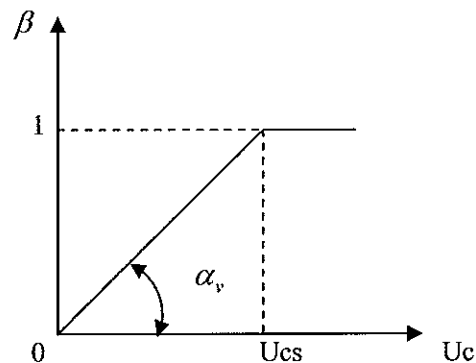
สุดท้ายตาราง 2-2 แสดงสูตรสำหรับการหาค่าพื้นที่ทำงานของวาล์วบางเวลา สำหรับหลักทฤษฎีและการทดลองไม่มีเงื่อนไขในการใช้สัมประสิทธิ์ของการสะสม โดยทั่วไป ตัวแปรนี้เป็นอัตราส่วนของพื้นที่การทำงานของวาล์วภายในพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดนั่นคือ $\mu_v = A_v/A_{vc}$ สัมประสิทธิ์การสะสมที่ไม่กล่าวถึงเป็นฟังก์ชันของตัวแปรทางคณิตศาสตร์ของวาล์วพื้นผิวสุดท้ายที่ผ่านวาล์วและจำนวน Reynolds ค่าสัมประสิทธิ์ได้จากการทดสอบโดยทั่วไป

ตาราง 2-2 การคำนวณหาพื้นที่วาล์วที่ได้ผลดี

	พื้นที่หน้าวาล์วที่ทำงาน $A_v [m^2]$
สำหรับอัตราการไหลทั่วไปตามมาตรฐาน $Q_n (m^3/s)$	$A_v = 1.2 \cdot 10^{-3} \cdot Q_n$
สำหรับการไหลของน้ำ $K_v (m^3/h)$	$A_v = 2.2 \cdot 10^{-5} \cdot K_v$
สัมประสิทธิ์ของไหล $C_v (gal/min)$	$A_v = 2.0 \cdot 10^{-5} \cdot C_v$

พลังงานโดยหลักการง่ายๆของความดันอากาศที่เปลี่ยนแปลงด้านบนของลูกสูบหรือใบพัดพื้นที่หน้าตัดของวาล์ว (A_v) ให้เป็นอัตราการไหลตามมาตรฐานทั่วไป (Q_n) หรือสัมประสิทธิ์การไหล (C_v) คือคุณสมบัติของวาล์วที่ใช้ในการคำนวณการไหลและความดันภายใต้เงื่อนไขทั้งหมด

พื้นที่หน้าตัดของวาล์วแบบสัดส่วนหรือเซอร์โวขึ้นอยู่กับฟังก์ชันของสัญญาณควบคุม (U_c) มันสะดวกสำหรับการจำลองพฤติกรรมของวาล์วมันจะอธิบายการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณของผลของพื้นที่หน้าตัดโดยเป็นองศาซึ่งวาล์วจะทำการเปิด (β) สำหรับตัวอย่างที่ 25% ของสัญญาณควบคุม มันจะเปิดผ่าน 25% มันจะเคลื่อนที่ ($\beta = 0.25$) สำหรับ $\beta = 0$ วาล์วควบคุมจะปิดและสำหรับ $\beta = 1$ วาล์วควบคุมจะเปิดออกสุด ในวิธีการที่ทำให้ขึ้นจุดหมาย คุณลักษณะการคงตัวของวาล์วคือการเปิดเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ เงื่อนไขในการทำงาน ปรากฏการณ์ในการตอบสนองอาจจะช้า, ช่วงระยะต้องห้าม, ฮิสเตอร์ซิส, อื่นๆ โดยทั่วไปคุณลักษณะนี้จะเลือกใช้พิจารณา อย่างไรก็ตามสำหรับการประมาณค่า คุณลักษณะการคงตัวของวาล์วสามารถปรับเปลี่ยนจากจุดที่แสดงอยู่วาล์วควบคุมจะใช้พลังงานในตัวมันเองในการขับเคลื่อนการเปิด ปิดลิ้นเพราะมันขับเคลื่อนโดยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในการขับเคลื่อน โดยการขยายสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ ขั้นตอนสุดท้ายในการใช้พลังงานเปิด ปิด กลไกลิ้นเป็นการอาศัยแรงดันของอากาศผ่านรูซึ่งสามารถควบคุมพื้นที่ได้และขั้นตอนสุดท้ายของการเปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 2-38 คุณลักษณะภาวะคงตัวของวาล์วชนิดระบุตำแหน่ง

ชนิดของคุณลักษณะการควบคุมวาล์วในภาวะคงตัวขึ้นอยู่กับชนิดของวาล์วและรูปทรงเรขาคณิตศาสตร์ภาพประกอบ 2-38 แสดงคุณลักษณะภาวะคงตัวของวาล์วชนิดตำแหน่งเมื่อสัญญาณควบคุมคือ U_c, U_{cs} คือ สัญญาณควบคุมที่มีค่าสูงสุด นี่เป็นส่วนหนึ่งของเส้นแผนผังกับแนวโน้ม α_v เมื่อสัมพันธ์ β เปิด และสัญญาณควบคุม U_c มีสัดส่วนโดยตรงกับสัมพันธ์ $K_{SL} = tg\alpha = \beta/U_c$ วาล์วจะมีอัตราการไหลสูงสุดถ้าสัมพันธ์ $\beta = 1$ สำหรับค่าสูงสุดของสัญญาณควบคุม $U_c = U_{cs}$ และวาล์วควบคุมทำงานเงื่อนไขสูงสุดซึ่งลำดับย่อยๆของการเพิ่มขึ้นของสัญญาณควบคุมไม่ได้ทำให้ค่าของพื้นที่ทำงานของวาล์วเปลี่ยน สำหรับกรณีนี้สมการคณิตศาสตร์จะมีรูปแบบดังนี้

$$\beta = \begin{cases} 1 & \text{if } U_c > U_{cs} \\ K_{SL} \cdot U_c & \text{if } 0 \leq U_c \leq U_{cs} \\ 0 & \text{if } U_c < 0 \end{cases} \quad (2-81)$$

คุณลักษณะการคงตัวของวาล์วควบคุมชนิดป้อนเลื่อนแสดงดังภาพประกอบ 2-39 วาล์วชนิดนี้จะใช้เส้นเอาท์พุทสองเส้น(ดูภาพประกอบ 2-36) สำหรับการออกแบบให้ป้อนพอดีที่ตำแหน่งปกติ ($U_c = 0$) แหล่งจ่าย การระบายและรูต่อลมจะปิด ถ้าป้อนมีการเลื่อนจากตำแหน่งนี้ ส่วนใดส่วนหนึ่งของรูต่อลมจะเชื่อมเข้ากับแหล่งจ่ายลมและที่เหลือจะเชื่อมกับช่องระบายลมทั้ง ในกรณีนี้สัมพันธ์การเปิดสำหรับช่องต่อลมจะเท่ากันนั่นเอง $\beta_1^+ = \beta_2^-$

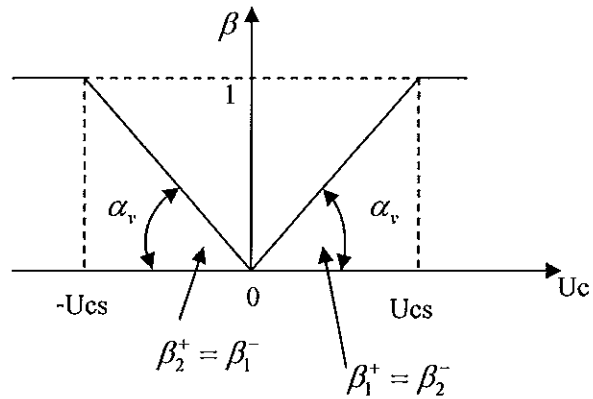
และ $\beta_2^+ = \beta_1^-$ (เมื่อ 1 และ 2 เป็นสัญลักษณ์ของช่องลม) สำหรับการออกแบบแบบนีสมีการคณิตศาสตร์คือ

$$\beta_1^+ = \beta_2^- = \begin{cases} 1 & \text{if } U_c > U_{cs} \\ K_{SL} \cdot U_c & \text{if } 0 \leq U_c \leq U_{cs} \\ 0 & \text{if } U_c < 0 \end{cases} \quad (2-82)$$

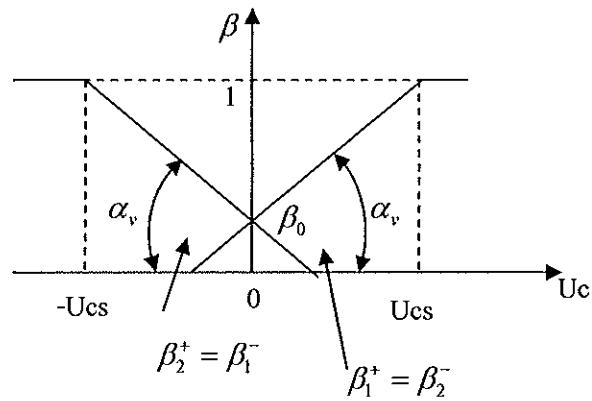
$$\beta_2^+ = \beta_1^- = \begin{cases} 1 & \text{if } U_c < -U_{cs} \\ -K_{SL} \cdot U_c & \text{if } -U_{cs} \leq U_c \leq 0 \\ 0 & \text{if } U_c > 0 \end{cases} \quad (2-83)$$

สำหรับการออกแบบให้ปลอกสั้นกว่าระยะช่องลม(ภาพประกอบ 2-39)ในตำแหน่งปกติของปลอก ($V_c = 0$) ช่องลมและระบายลมจะต่อต้านที่หันโคไปยังช่องลมออกใช้งาน ในกรณีนี้สมการคณิตศาสตร์จะมีรูปแบบต่อไปนี้

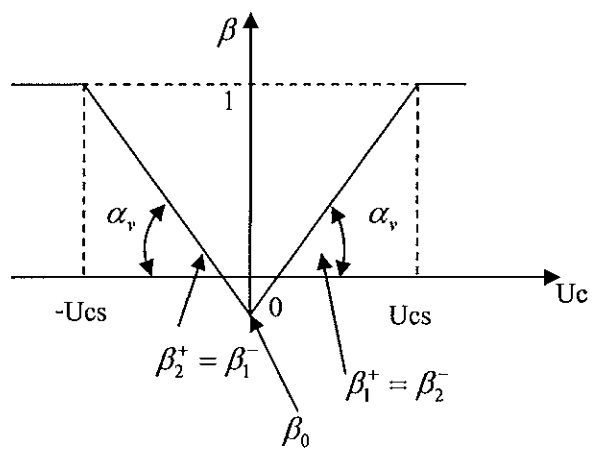
$$\beta_1^+ = \beta_2^- = \begin{cases} 1 & \text{if } U_c > U_{cs} \\ K_{SL} \cdot U_c + \beta_0 & \text{if } -\frac{\beta_0}{K_{SL}} \leq U_c \leq U_{cs} \\ 0 & \text{if } U_c < -\frac{\beta_0}{K_{SL}} \end{cases} \quad (2-84)$$



ภาพประกอบ 2-39 ก) การออกแบบให้ปลอกมีขนาดเท่ากับพื้นที่หน้าตัดรูลม



ภาพประกอบ 2-39 ข) การออกแบบให้ปลอกมีขนาดสั้นกว่าพื้นที่หน้าตัดรูลม



ภาพประกอบ 2-39 ค) การออกแบบให้ปลอกมีขนาดยาวกว่าพื้นที่หน้าตัดรูลม

$$\beta_2^+ = \beta_1^- = \begin{cases} 1 & \text{if } Uc < -Ucs \\ -K_{SL} \cdot Uc + \beta_0 & \text{if } -Ucs \leq Uc \leq \frac{\beta_0}{K_{SL}} \\ 0 & \text{if } Uc > \frac{\beta_0}{K_{SL}} \end{cases} \quad (2-85)$$

สำหรับการออกแบบให้ปลอกยาวกว่าระยะช่องลมคุณลักษณะขณะคงตัวมีย่านที่จะไม่ทำงานจาก
หนึ่งจุดที่แสดงมันเพิ่มเสถียรภาพการเคลื่อนที่และปรับปรุงประสิทธิภาพแต่จะต้องแลกกับอย่างอื่น
นั่นคือตามโครงสร้างของวาล์วจะลดความเที่ยงตรง ในกรณีนี้สมการคณิตศาสตร์จะมีรูปแบบ
ดังนี้

$$\beta_1^+ = \beta_2^- = \begin{cases} 1 & \text{if } Uc > Ucs \\ K_{SL} \cdot Uc - \beta_0 & \text{if } \frac{\beta_0}{K_{SL}} \leq Uc \leq Ucs \\ 0 & \text{if } Uc < \frac{\beta_0}{K_{SL}} \end{cases} \quad (2-86)$$

$$\beta_2^+ = \beta_1^- = \begin{cases} 1 & \text{if } Uc < -Ucs \\ -K_{SL} \cdot Uc - \beta_0 & \text{if } -Ucs \leq Uc \leq -\frac{\beta_0}{K_{SL}} \\ 0 & \text{if } Uc > -\frac{\beta_0}{K_{SL}} \end{cases} \quad (2-87)$$

ในกรณีนี้ ค่าสัมประสิทธิ์ K_{SL} คือ

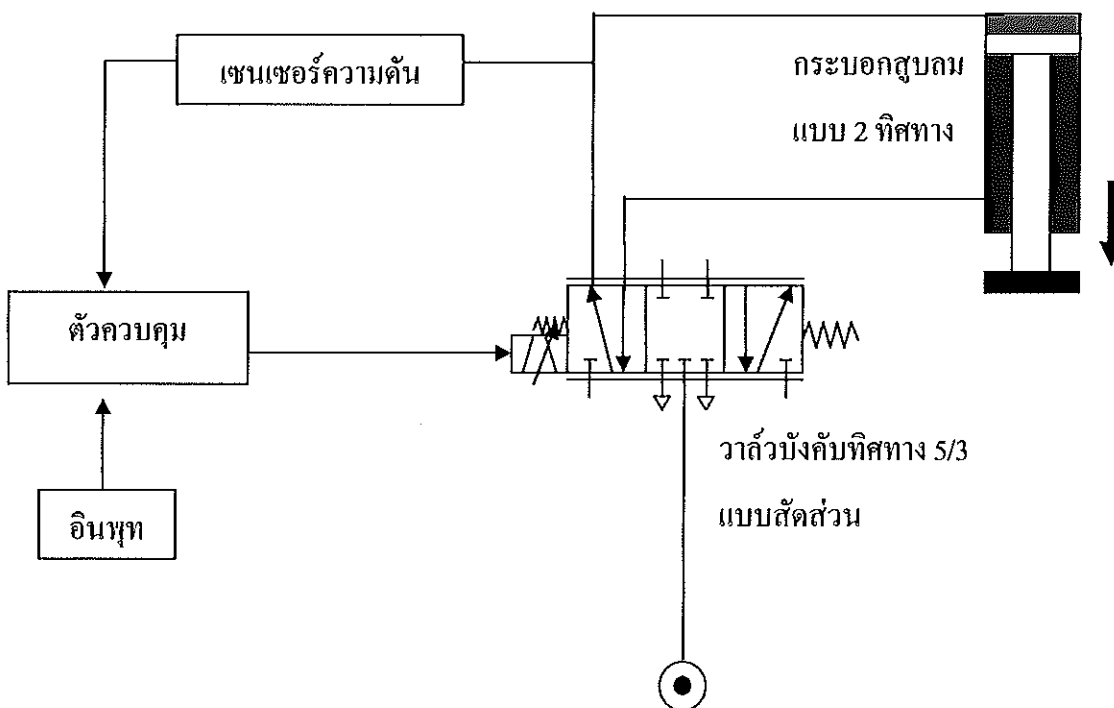
$$K_{SL} = \frac{1 - \beta_0}{U_{cs}} \quad (2-88)$$

บทที่ 3

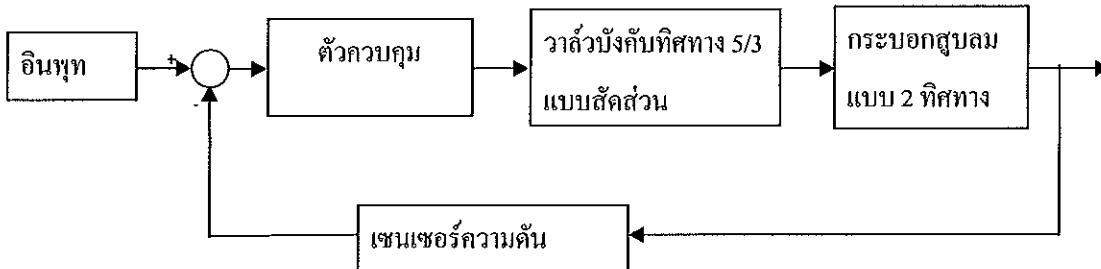
ระเบียบวิธีการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบโดยวิธีการควบคุมแบบพีซซี ที-ไอ โดยการปรับค่าในตัวเอง

ในบทนี้อธิบายถึงขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัยตั้งแต่การศึกษาวิธีการออกแบบการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบ วิธีการควบคุมแบบพีซซี ที-ไอ โดยการปรับค่าในตัวเอง ศึกษาการจำลองวิธีการควบคุมลงบนโปรแกรม MATLAB การทวนสอบสมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวเมติกส์ด้วยชุดทดลองนิวเมติกส์ไฟฟ้าพื้นฐาน การจำลองและเปรียบเทียบผลการทำงานของวิธีการควบคุมแบบต่างๆกับการใช้งานในลักษณะเดียวกัน ซึ่งกระบวนการทั้งหมดต้องมีการทำงานแบบซ้ำๆเพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของผลการทดลอง

3.1 การออกแบบการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบ



ภาพประกอบ 3-1 การควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบ



ภาพประกอบ 3-2 แผนผังการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบ

นิวมติกส์ไฟฟ้าสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนได้คือ

1. วงจรการขับเคลื่อนอุปกรณ์ด้วยความดันลม

วงจรการขับเคลื่อนอุปกรณ์ด้วยความดันลมประกอบด้วย กระบอกสูบลมแบบ 2 ทิศทางซึ่งจะเป็นตัวสร้างแรงผ่านก้านกระบอกสูบลมโดยความดันอากาศ ร่วมกับวาล์วบังคับทิศทาง 5/3 แบบสัดส่วนซึ่งจะควบคุมอัตราการไหลของลมที่จะไหลเข้าสู่ห้องลมของกระบอกสูบลมในแต่ละด้านเป็นสัดส่วนกัน เซนเซอร์ความดันจะใช้เป็นตัวตรวจจับความดันอากาศและแปลงสัญญาณเป็นแรงดันไฟฟ้าเพื่อส่งกลับมายังตัวควบคุมดังภาพประกอบ 3-1

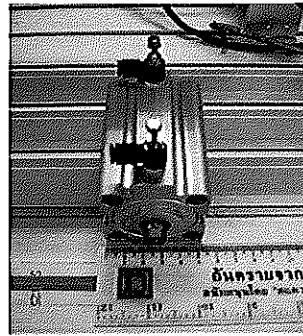
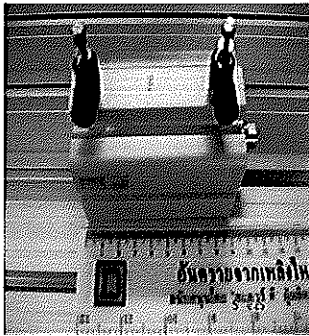
2. วงจรควบคุมการทำงานของวาล์วบังคับทิศทาง 5/3 แบบสัดส่วนด้วยไฟฟ้า

ภาพประกอบ 3-2 เป็นวงจรควบคุมการทำงานของวาล์วบังคับทิศทาง 5/3 แบบสัดส่วน ตัวควบคุมจะเป็นอุปกรณ์ขับเคลื่อนวาล์วโดยตรง ซึ่งจะรับสัญญาณอินพุทจากการเปรียบเทียบของสัญญาณอินพุทภายนอกกับสัญญาณอินพุทที่ได้มาจากเซนเซอร์ความดันแล้วเข้าสู่กระบวนการคำนวณค่าและประมวลผลส่งสัญญาณออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้าเพื่อให้ชุดขับเคลื่อนของวาล์วบังคับทิศทางทำการเลื่อนตัวก้านวาล์วให้เปิด

3.1.1 ศึกษาและจำลองสมการคณิตศาสตร์ของกระบอกสูบลมแบบ 2 ทิศทาง

จากการทดลองเบื้องต้นทำให้ทราบว่าแรงกดที่ต้องการสร้างจากกระบอกสูบอยู่ในช่วงระหว่าง 500 – 600 นิวตันแรง ดังนั้นจึงเลือกกระบอกสูบแบบ 2 ทิศทาง Bosch รุ่น

0822010857 ซึ่งมีระยะการเคลื่อนที่ขนาด 50 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 40 มิลลิเมตร มีความสามารถสร้างแรงขณะดึง 560 นิวตันแรงและมีความสามารถสร้างแรงผลัก 665 นิวตันแรงที่มีความดันลมขนาด 6 บาร์ดังภาพประกอบ 3-3



ภาพประกอบ 3-3 กระบอกลมแบบ 2 จังหวะ Bosch รุ่น 0822010857

เมื่อทำการเลือกกระบอกลมได้แล้วหลังจากนี้ทำการทดลองจำลองสมการคณิตศาสตร์กระบอกลมลงบนโปรแกรม MATLAB เพื่อใช้จำลองร่วมกับวาล์วบังคับทิศทาง รวมถึงเซนเซอร์ความดันและตัวควบคุม

จากบทที่ 2 สมการคณิตศาสตร์ของกระบอกลมแบบ 2 ทิศทางสามารถแบ่งออกได้เป็นสามส่วนคือ

จากสมการ (2-64) เป็นสมการสะสมพลังงานภายในห้องลมเมื่อแทนตัวแปร i เป็นหมายเลขของห้องลม 1 และห้องลม 2 ได้สมการใหม่เป็น

$$\dot{P}_1 = \frac{1}{V_{o1} + A_1 \cdot (0.5 \cdot L_s + x)} \cdot (G_1^+ \cdot R \cdot T_s - G_1^- \cdot R \cdot T_s - P_1 \cdot A_1 \cdot \dot{x}) \quad (3-1)$$

และ

$$\dot{P}_2 = \frac{1}{V_{o2} + A_2 \cdot (0.5 \cdot L_s - x)} \cdot (G_2^+ \cdot R \cdot T_s - G_2^- \cdot R \cdot T_s + P_2 \cdot A_2 \cdot \dot{x}) \quad (3-2)$$

สมการ (3-1) และ สมการ (3-2) เป็นสมการสะสมพลังงานในห้องลม 1 และห้องลม 2 ตามลำดับ โดยค่า $G_1 = G_1^+ - G_1^-$ และ $G_2 = G_2^+ - G_2^-$ ดังนั้นสามารถเขียนสมการ (3-1) และสมการ (3-2) ใหม่ได้เป็น

$$\dot{P}_1 = \frac{G_1 \cdot R \cdot T_s}{V_{01} + A_1(0.5 \cdot L_s + x)} - \frac{P_1 \cdot A_1 \cdot \dot{x}}{V_{01} + A_1(0.5 \cdot L_s + x)} \quad (3-3)$$

$$\dot{P}_2 = \frac{G_2 \cdot R \cdot T_s}{V_{02} + A_2(0.5 \cdot L_s - x)} + \frac{P_2 \cdot A_2 \cdot \dot{x}}{V_{02} + A_2(0.5 \cdot L_s - x)} \quad (3-4)$$

โดยสมการทั้งสองจะถูกเชื่อมเข้าด้วยกันโดยสมการการเคลื่อนที่ของลูกสูบตามสมการ (2-67) คือ

$$m \cdot \ddot{x} + b_v \cdot \dot{x} = P_1 \cdot A_1 - P_2 \cdot A_2 - P_A \cdot A_R - F_F - F_L \quad (3-5)$$

แปลงลาปลาซสมการ (3-3) ถึงสมการ(3-5) ได้ใหม่เป็นสมการ (3-6) ถึงสมการ (3-8) แล้วทดลองเขียนกล่องสำหรับใช้เชื่อมโยงการทำงานของอุปกรณ์และกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ตามลำดับ

$$sP_1 - P_1(0^-) = \frac{G_1 \cdot R \cdot T_s}{V_{01} + A_1(0.5 \cdot L_s + x)} - \frac{P_1 \cdot A_1 \cdot (sx - x(0^-))}{V_{01} + A_1(0.5 \cdot L_s + x)} \quad (3-6)$$

$$sP_2 - P_2(0^-) = \frac{G_2 \cdot R \cdot T_s}{V_{02} + A_2(0.5 \cdot L_s - x)} + \frac{P_2 \cdot A_2 \cdot (sx - x(0^-))}{V_{02} + A_2(0.5 \cdot L_s - x)} \quad (3-7)$$

$$m \cdot (s^2x - sx(0^-) - x(0^-)) + b_v \cdot (sx - x(0^-)) = P_1 \cdot A_1 - P_2 \cdot A_2 - P_A \cdot A_R - F_F - F_L \quad (3-8)$$

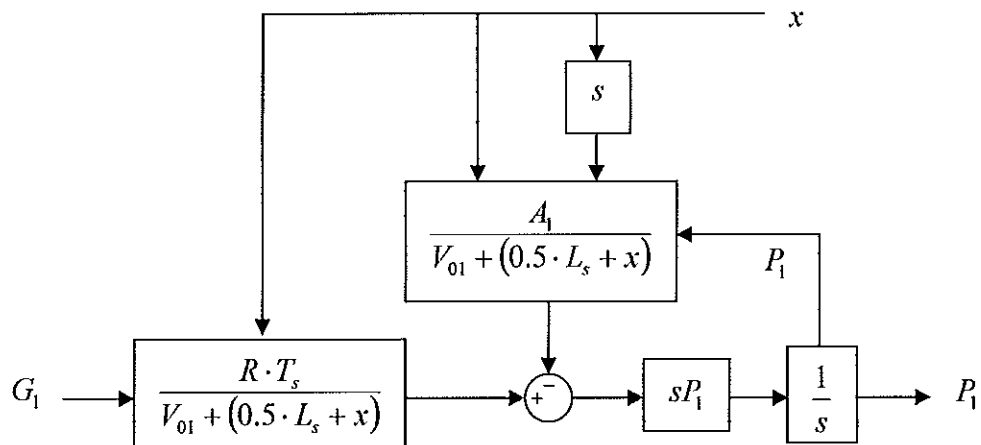
เมื่อกำหนดค่าเริ่มต้น $P_1(0^-), P_2(0^-), x(0^-) = 0$ ดังนั้นสมการ (3-6) ถึง สมการ(3-8)เขียนใหม่ได้เป็น

$$sP_1 = \frac{G_1 \cdot R \cdot T_s}{V_{01} + A_1(0.5 \cdot L_s + x)} - \frac{P_1 \cdot A_1 \cdot sx}{V_{01} + A_1(0.5 \cdot L_s + x)} \quad (3-9)$$

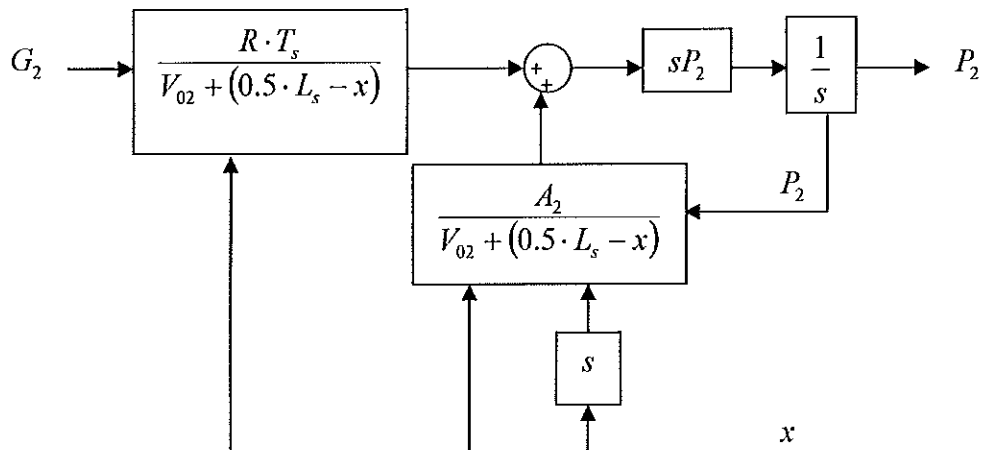
$$sP_2 = \frac{G_2 \cdot R \cdot T_s}{V_{02} + A_2(0.5 \cdot L_s - x)} + \frac{P_2 \cdot A_2 \cdot sx}{V_{02} + A_2(0.5 \cdot L_s - x)} \quad (3-10)$$

$$m \cdot s^2 x + b_v \cdot s x = P_1 \cdot A_1 - P_2 \cdot A_2 - P_A \cdot A_R - F_F - F_L \quad (3-11)$$

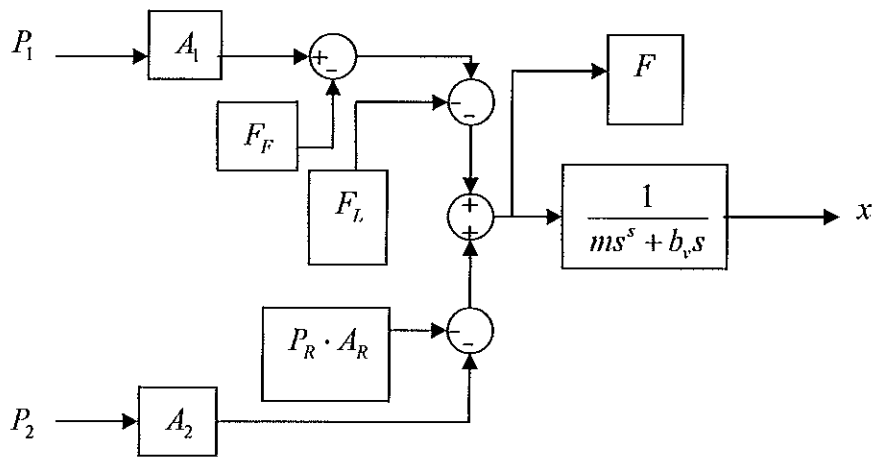
ทดลองเขียนกล่องแสดงความสัมพันธ์การทำงานโดยเริ่มจากสมการ (3-9) ได้ดัง
ประกอบ 3-4



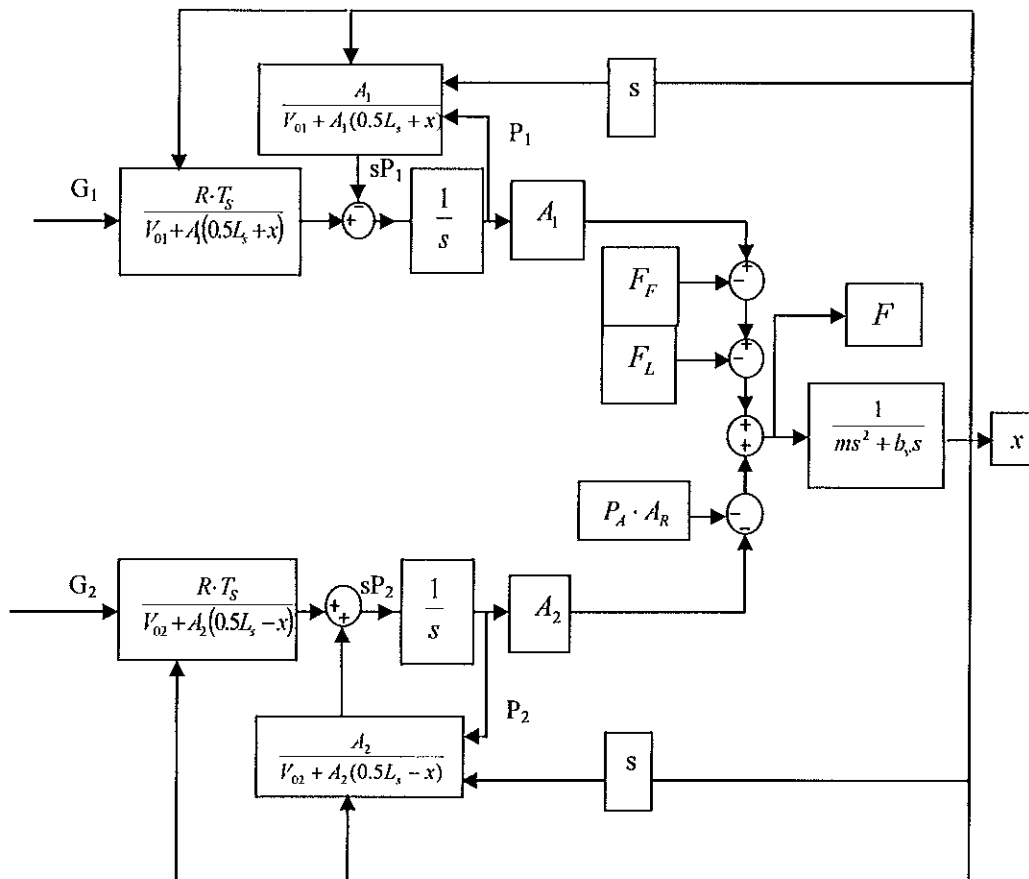
ภาพประกอบ 3-4 กล่องแสดงการเชื่อมโยงการทำงานจากสมการ(3-9)



ภาพประกอบ 3-5 กล่องแสดงการเชื่อมโยงการทำงานจากสมการ(3-10)



ภาพประกอบ 3-6 กล้องแสดงการเชื่อมโยงการทำงานจากสมการ(3-11)

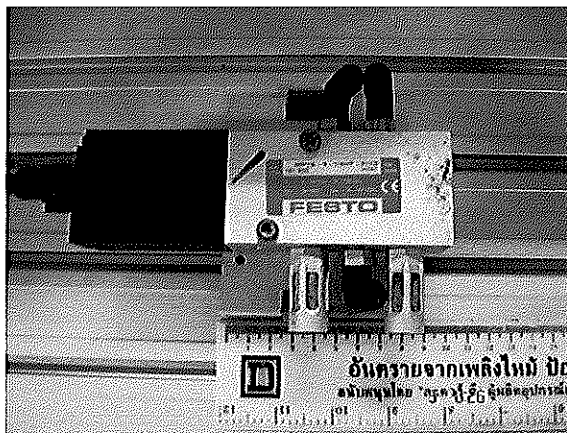


ภาพประกอบ 3-7 กล้องแสดงการเชื่อมโยงการทำงานของระบบออสซิลเลชันแบบ 2 ทิศทาง

ภาพประกอบ 3-7 เป็นการนำเอาภาพประกอบ 3-4 ถึงภาพประกอบ 3-6 รวมเข้าด้วยกันแสดงความสัมพันธ์การทำงานของแต่ละสมการ โดยอินพุทของสมการคณิตศาสตร์ของกระบอกสูบแบบ 2 ทิศทางคือ G ซึ่งได้รับจากสมการคณิตศาสตร์ของวาล์วบังคับทิศทาง 5/3 แบบสัดส่วนซึ่งจะกล่าวในลำดับถัดไป เอาท์พุทที่ได้รับจะเป็นแรงก่อนจะเข้าสู่สมการการเคลื่อนที่ซึ่งสุดท้ายจะออกมาเป็นระยะการเคลื่อนที่ของลูกสูบแล้วนำไปป้อนย้อนกลับให้กลับสมการที่มีตัวแปรการเคลื่อนที่ประกอบอยู่

3.1.2 ศึกษาและจำลองสมการคณิตศาสตร์ของวาล์วบังคับทิศทาง 5/3 แบบสัดส่วน

ผู้วิจัยเลือกวาล์วบังคับทิศทาง 5/3 แบบสัดส่วน Festo รุ่น MPYE-5-1/8HF-010-B โดยใช้ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในการควบคุมการทำงานช่วงระหว่าง 0- 10 Vdc และให้อัตราการไหลสูงสุด 700 ลิตรต่อนาทีดังภาพประกอบ 3-8



ภาพประกอบ 3-8 วาล์วบังคับทิศทาง 5/3 แบบสัดส่วน Festo รุ่น MPYE-5-1/8HF-010-B

จากนั้นศึกษาสมการคณิตศาสตร์ของวาล์วบังคับทิศทางโดยสมการคณิตศาสตร์ของวาล์วบังคับทิศทางแบบสัดส่วนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่คือสมการการเคลื่อนที่ของก้านวาล์วเพื่อให้วาล์วเปิดช่องลมและสมการอัตราการไหลของลมโดยใช้สมการที่ (2-78) เป็นสมการแสดงการเคลื่อนที่ของก้านวาล์วเพื่อให้วาล์วเปิดช่องลมคือ

$$m_v \cdot \ddot{y} + b_{sv} \cdot \dot{y} + k_{sv} \cdot (y_0 + y) + F_{VF} = F_M \quad (3-12)$$

และสมการ (2-79) แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการใช้ของอากาศกับการทำงานของวาล์วคือ

$$G = A_v \cdot \beta \cdot P_m \sqrt{\frac{2 \cdot k}{R \cdot T_M \cdot (k-1)}} \cdot \varphi(\sigma) \quad (3-13)$$

โดยค่า β หาได้จากสมการ (2-82) และ (2-83) คือ

$$\beta_1^+ = \beta_2^- = \begin{cases} 1 & \text{if } Uc > Ucs \\ K_{SL} \cdot Uc & \text{if } 0 \leq Uc \leq Ucs \\ 0 & \text{if } Uc < 0 \end{cases} \quad (3-14)$$

$$\beta_2^+ = \beta_1^- = \begin{cases} 1 & \text{if } Uc < -Ucs \\ -K_{SL} \cdot Uc & \text{if } -Ucs \leq Uc \leq 0 \\ 0 & \text{if } Uc > 0 \end{cases} \quad (3-15)$$

ในกรณีนี้ ค่าสัมประสิทธิ์ K_{SL} คือ

$$K_{SL} = \frac{1 - \beta_o}{U_{cs}} \quad (3-16)$$

แทนสมการ (3-16) ลงในสมการ(3-14) และ สมการ(3-15) เขียนใหม่ได้เป็น โดยค่า β_o คือค่าจุดเริ่มต้นของสัญญาณในที่นี้แทนค่าเป็นศูนย์

$$\beta_1^+ = \beta_2^- = \begin{cases} 1 & \text{if } Uc > Ucs \\ \left(\frac{1}{U_{cs}}\right) \cdot Uc & \text{if } 0 \leq Uc \leq Ucs \\ 0 & \text{if } Uc < 0 \end{cases} \quad (3-17)$$

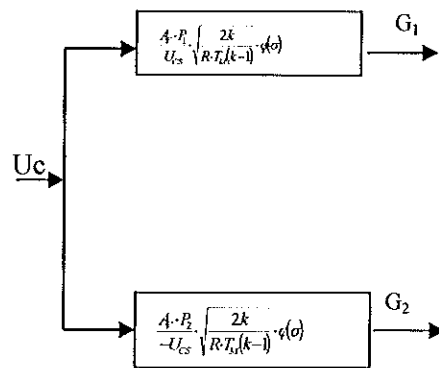
$$\beta_2^+ = \beta_1^- = \begin{cases} 1 & \text{if } Uc < -Ucs \\ -\left(\frac{1}{U_{cs}}\right) \cdot Uc & \text{if } -Ucs \leq Uc \leq 0 \\ 0 & \text{if } Uc > 0 \end{cases} \quad (3-18)$$

แทนค่าสมการ (3-17) และ (3-18) ลงในสมการ (3-13) เขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$G_1 = \frac{A_v \cdot P_1 \cdot U_c}{U_{cs}} \sqrt{\frac{2 \cdot k}{R \cdot T_M \cdot (k-1)}} \cdot \varphi(\sigma) \quad (3-19)$$

$$G_2 = -\frac{A_v \cdot P_2 \cdot U_c}{U_{cs}} \sqrt{\frac{2 \cdot k}{R \cdot T_M \cdot (k-1)}} \cdot \varphi(\sigma) \quad (3-20)$$

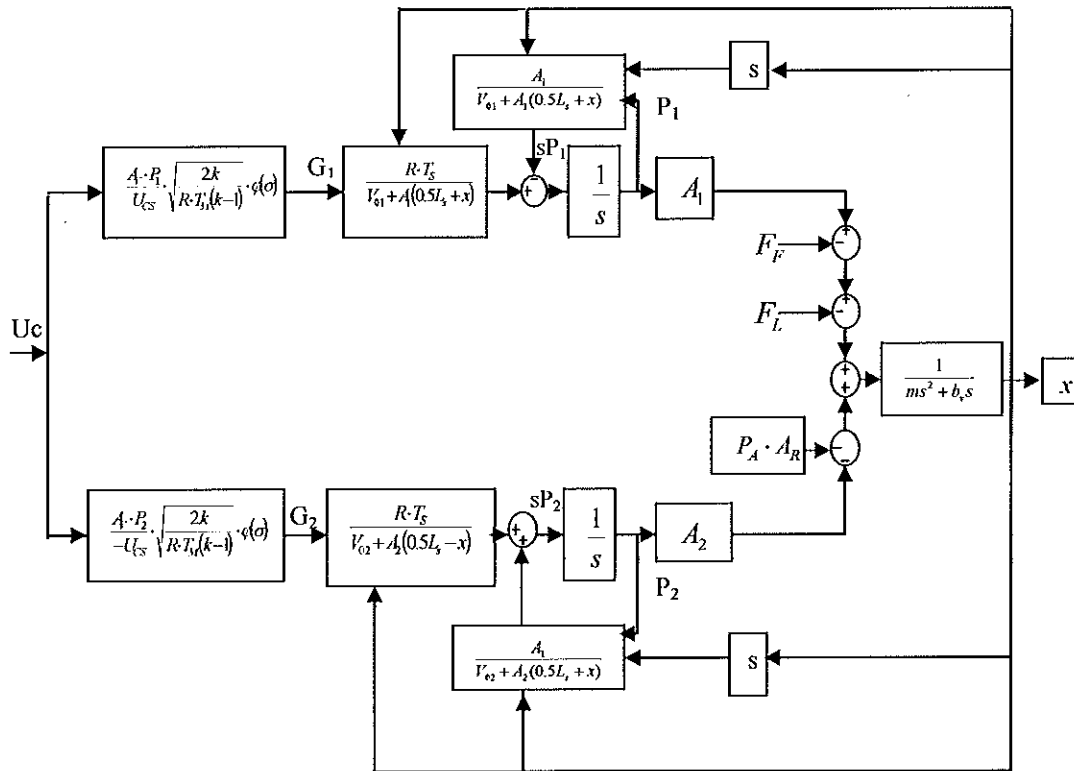
ทดลองเขียนกล่องเชื่อมโยงการทำงานของสมการทั้ง 2 ดังภาพประกอบ



ภาพประกอบ 3-9 กล่องแสดงการเชื่อมโยงการทำงานของวาล์วบังคับทิศทาง 5/3 แบบสัดส่วน

3.1.3 ศึกษาและจำลองสมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวเมติกส์

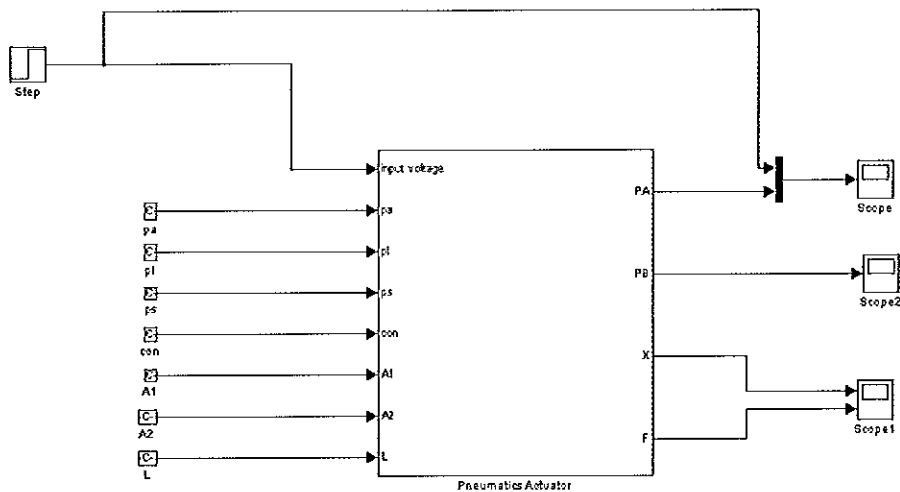
เมื่อทดลองเขียนกล่องแสดงการเชื่อมโยงการทำงานของกระบอกสูบลมแบบ 2 ทิศทางและวาล์วบังคับทิศทาง 5/3 แบบสัดส่วนแล้ว ทดลองนำทั้งสองส่วนมาเชื่อมเข้าด้วยกันและทดลองจำลองลงบนโปรแกรม MATLAB โดยกำหนดค่าตัวแปรต่างๆตามตาราง



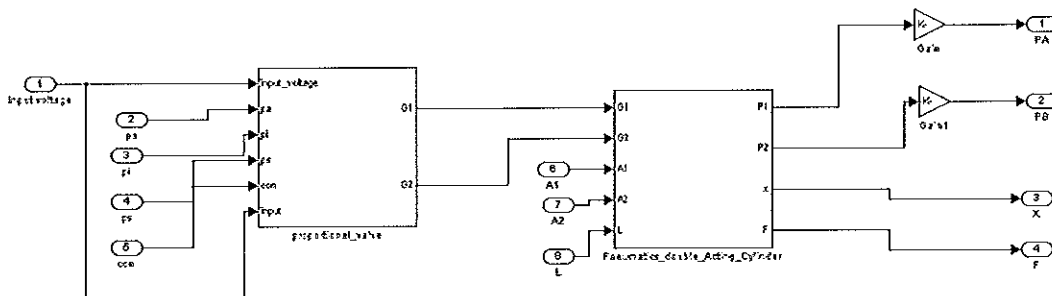
ภาพประกอบ 3-10 แสดงการเชื่อมโยงการทำงานระหว่างวาล์วบังคับทิศทาง 5/3 แบบสัดส่วน
กับกระบอกลูกสูบแบบ 2 ทิศทาง

ตาราง 3-1 คำอธิบายตัวแปร

ตัวแปร	ความหมาย
G^+, G^-	ปริมาณการไหลของลมเข้าและลมออกจากกระบอกสูบ
β	สัมประสิทธิ์การเปิดช่องลม
x	ระยะที่ลูกสูบเคลื่อนออกไป
A_1, A_2	พื้นที่หน้าตัดลูกสูบด้านห้องลม 1 และห้องลม 2 ของกระบอกสูบ
V_{o1}, V_{o2}	ปริมาตรของช่องว่างสำหรับห้องลม 1 และห้องลม 2 ขณะยังไม่เคลื่อนที่
P_1, P_2	ค่าความดันภายในห้องลม 1 และห้องลม 2 ของกระบอกสูบ
T_1, T_2	อุณหภูมิของก๊าซในห้องลม 1 และห้องลม 2 ของกระบอกสูบ
A_{v1}, A_{v2}	พื้นที่หน้าตัดของช่องลมเข้า 1 และช่องลมเข้า 2 สำหรับวาล์วควบคุมทิศทางแบบสัดส่วน 5/3
P_s, P_A	ค่าแรงดันจากแหล่งกำเนิดลม และค่าแรงดันบรรยากาศ
R	ค่าคงที่ของก๊าซ
$k = \frac{C_p}{C_v}$	ค่าคงที่
C_p	ค่าความร้อนจำเพาะขณะปริมาตรคงที่
C_v	ค่าความร้อนจำเพาะขณะความดันคงที่
C_c	ค่าความนำของวาล์ว
L_s	ความยาว ของกระบอกสูบ
U_{cs}	ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการควบคุม
m_v	สัมประสิทธิ์ของมวล
b_v	สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน
F_f, F_L	แรงเสียดทาน และแรงต้านทานจากภาวะภายนอก

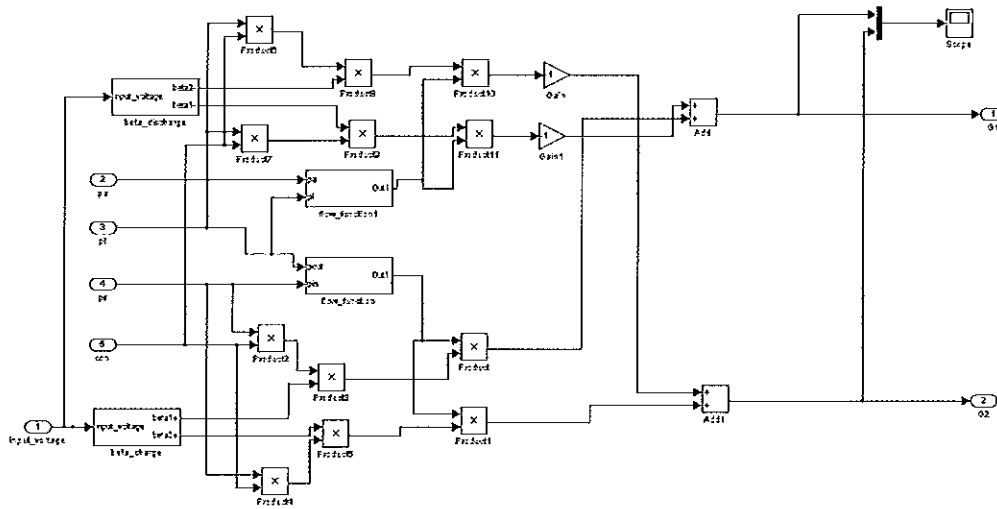


ภาพประกอบ 3-11 การจำลองอุปกรณ์นิวเมติกส์ลงบนโปรแกรม MATLAB



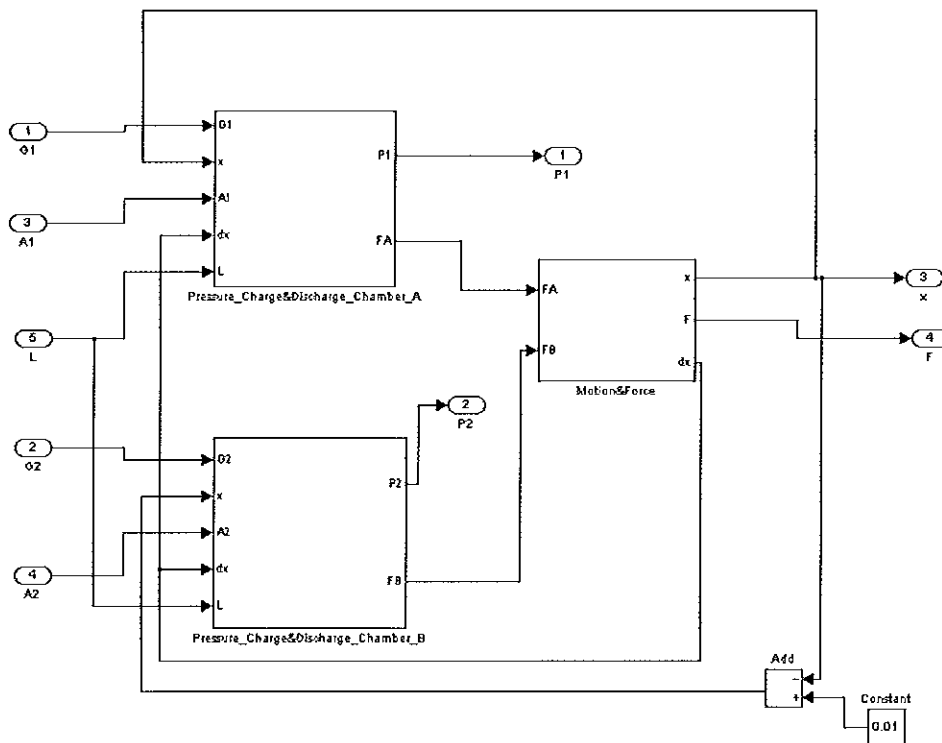
ภาพประกอบ 3-12 ส่วนประกอบการทำงานวาล์วบังคับทิศทาง 5/3 แบบสัดส่วนและกระบอกสูบ
ลม 2 ทิศทาง

ภาพประกอบ 3-11 เป็นส่วนประกอบของภาพประกอบ 3-12 ซึ่งสามารถแยกเขียนเป็นคำสั่งย่อยในโปรแกรม MATLAB โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนคือ ก่อสร้างการทำงานของวาล์วบังคับทิศทาง 5/3 แบบสัดส่วนซึ่งมีอินพุตเป็นระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 0-10 V_{dc} และเอาต์พุตเป็นอัตราการไหลของลมเชื่อมโยงกับการทำงานของกระบอกสูบ 2 ทิศทาง โดยมีอินพุตเป็นอัตราการไหลและเอาต์พุตได้เป็นระยะการเคลื่อนที่ แรง และความดันอากาศ

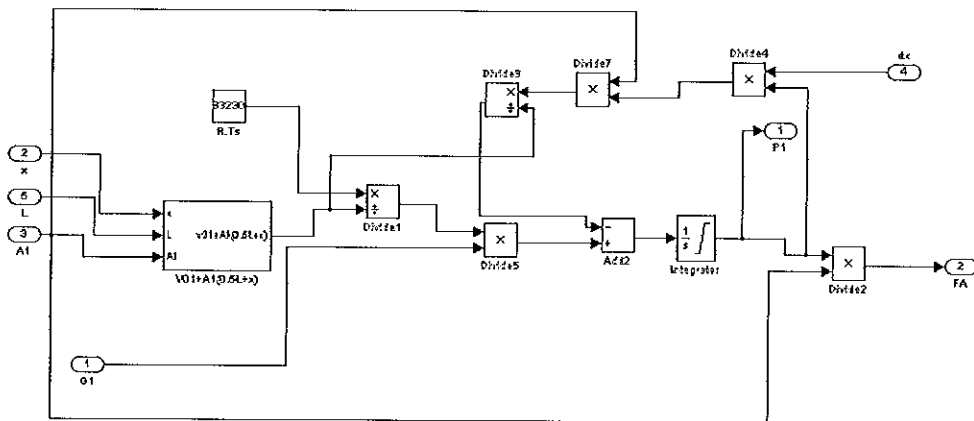


ภาพประกอบ 3-13 ส่วนประกอบภายในกล่องการทำงานของวาล์วบังคับทิศทาง 5/3 แบบสัดส่วน

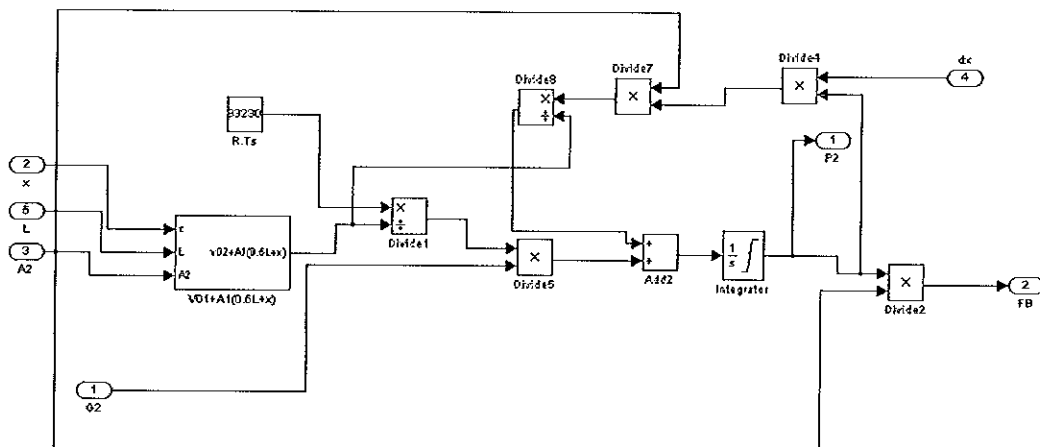
ภาพประกอบ 3-13 เป็นส่วนคำสังย่อยของกล่องการทำงานของวาล์วบังคับทิศทาง 5/3 แบบสัดส่วนจากภาพประกอบ 3-12 โดยใช้สมการ (3-13) ถึง สมการ(3-20)ในการเขียนคำสัง



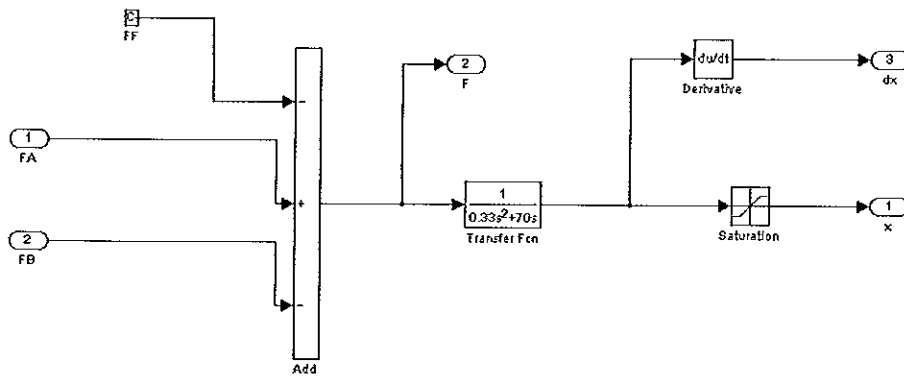
ภาพประกอบ 3-14 ส่วนประกอบภายในของกระบอกสูบลม 2 ทิศทาง



ภาพประกอบ 3-15 ส่วนประกอบภายในของห้องลม 1



ภาพประกอบ 3-16 ส่วนประกอบภายในของห้องลม 2

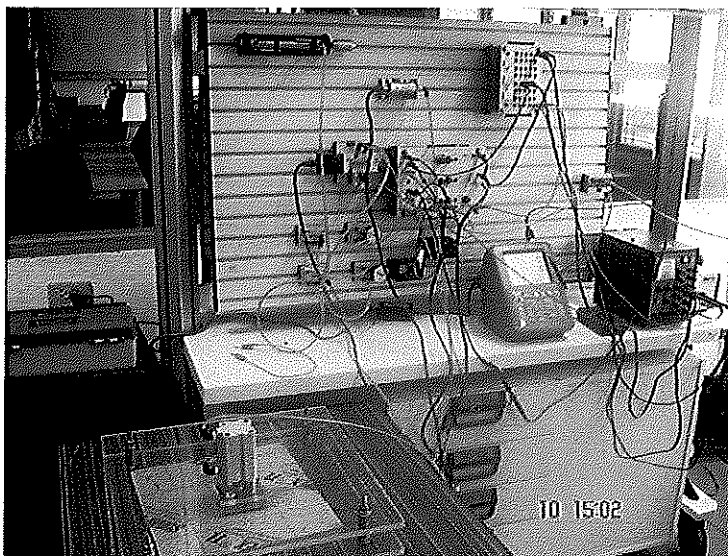


ภาพประกอบ 3-17 ส่วนประกอบภายในของสมการการเคลื่อนที่ของลูกสูบ

ภาพประกอบ 3-15 เป็นกล่องคำสั่งย่อยของการทำงานของกระบอกสูบลม 2 ทิศทางซึ่งจะประกอบคำสั่งย่อย เป็นคำสั่งการทำงานของห้องลม 1 และห้องลม 2 ดังภาพประกอบ 3-16 และ 3-17 ตามลำดับ แล้วคำสั่งย่อยของทั้งสองเชื่อมต่อโดยสมการการเคลื่อนที่ดังภาพประกอบ 3-18

3.1.4 ศึกษาและทวนสอบสมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวเมติกส์ด้วยชุดทดลองนิวเมติกส์ไฟฟ้าพื้นฐาน

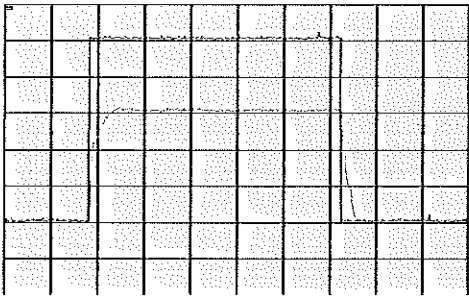
หลังจากที่ได้จำลองสมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวเมติกส์ลงบนโปรแกรม MATLAB แล้วเพื่อเป็นการพิสูจน์ความถูกต้องของสมการจำเป็นต้องมีการทดลองและเปรียบเทียบผลการทำงานในห้องปฏิบัติการ โดยทำการประกอบชุดอุปกรณ์นิวเมติกส์ซึ่งประกอบด้วย วาล์วบังคับทิศทาง 5/3 แบบสัดส่วน Festo รุ่น MPYE-5-1/8HF-010-B กระบอกสูบลม 2 ทิศทาง Bosch รุ่น 0822010857 เซนเซอร์ความดัน Festo รวมถึงอุปกรณ์ประกอบต่างๆดังภาพประกอบ



ภาพประกอบ 3-18 ประกอบอุปกรณ์นิวเมติกส์เพื่อใช้ในการทดลองในห้องปฏิบัติการ

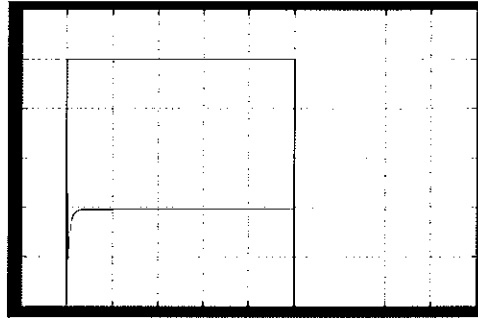
หลังจากที่ได้ประกอบชุดทดลองเสร็จเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ทำการทดลองโดยการให้สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด $10 V_{dc}$ เป็นเวลา 5 คาบเวลา ทดลองซ้ำๆจนกระทั่งสัญญาณที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง จากนั้นนำผลการจำลองจากโปรแกรม MATLAB มาเปรียบเทียบกับผลที่ได้รับจากการทดลอง แล้วจึงทำการปรับค่าของตัวแปรในสมการจนผลการทดลองมีสัญญาณที่ได้

เหมือนกัน แล้วทำการทดลองซ้ำ ไปมาที่ค่าแรงดันกระแสตรงขนาดต่างๆ เพื่อเป็นการตรวจสอบให้มั่นใจว่าสมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์มีความถูกต้อง



ช่องสัญญาณ 2 V/ช่อง เวลา 1 วินาที/ช่อง

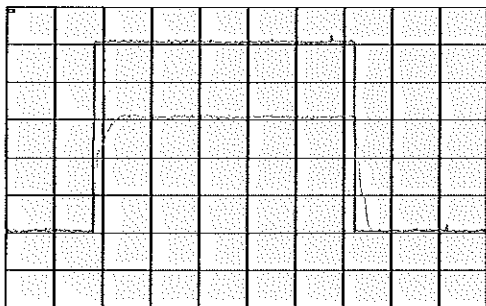
(ก)



ช่องสัญญาณ 2 V/ช่อง เวลา 1 วินาที/ช่อง

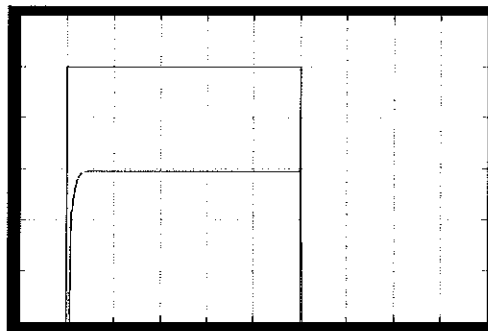
(ข)

ภาพประกอบ 3-19 เปรียบเทียบผลการทดลองในห้องปฏิบัติการกับผลการจำลองที่ระดับแรงดัน
กระแสตรง $10V_{dc}$



ช่องสัญญาณ 2 V/ช่อง เวลา 1 วินาที/ช่อง

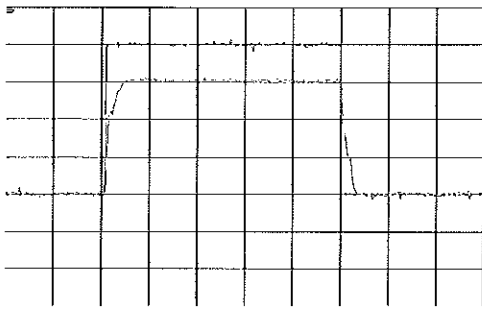
(ก)



ช่องสัญญาณ 2 V/ช่อง เวลา 1 วินาที/ช่อง

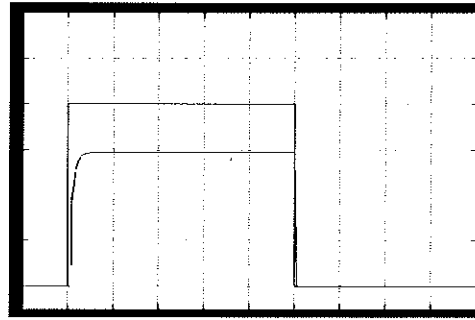
(ข)

ภาพประกอบ 3-20 เปรียบเทียบผลการทดลองในห้องปฏิบัติการกับผลการจำลองเมื่อมีการปรับ
ค่าตัวแปรที่ระดับแรงดันกระแสตรง $10V_{dc}$



ช่องสัญญาณ 2 V/ช่อง เวลา 1 วินาที/ช่อง

(ก)



ช่องสัญญาณ 2 V/ช่อง เวลา 1 วินาที/ช่อง

(ข)

ภาพประกอบ 3-21 เปรียบเทียบผลการทดลองในห้องปฏิบัติการกับผลการจำลองเมื่อมีการปรับระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ $8 V_{dc}$

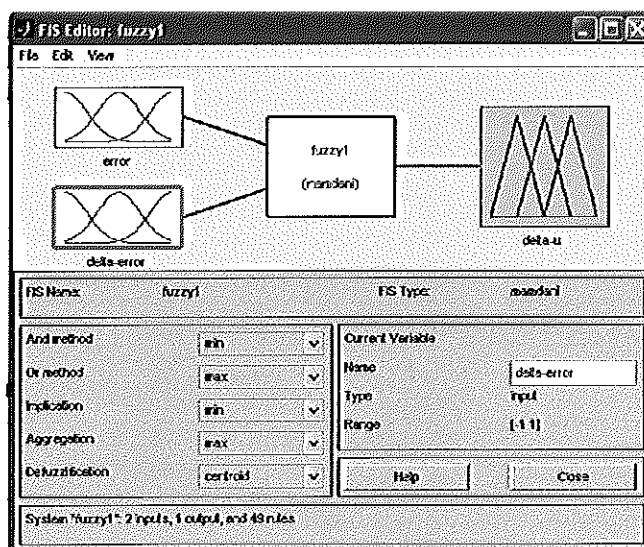
การทวนสอบสมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวเมติกส์โดยเปรียบเทียบกับผลการทดลองกับชุดทดลองพื้นฐานในห้องปฏิบัติการเพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของสมการคณิตศาสตร์ที่ได้ทำการจำลองลงบนโปรแกรม MATLAB เพื่อจะนำสมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวเมติกส์ไปใช้ในการควบคุมในรูปแบบใหม่และมีผลการทดลองที่สามารถเชื่อถือได้วิเคราะห์ผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยภาพประกอบ 3-19 เมื่อทำการเขียนโปรแกรมเสร็จเป็นที่เรียบร้อยกำหนดค่าตัวแปรจากตารางและบางส่วนได้จากการคำนวณ จากนั้นทำการจำลองและเปรียบเทียบกับผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ ครั้งแรกผลการทดลองพบว่าแนวโน้มของสัญญาณตอบสนองมีความใกล้เคียงกับผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยในช่วงแรกของการเกิดสัญญาณจากเกิดขึ้นในลักษณะของขั้นบันไดแล้วเกิดการลดลงเป็นจากการต้านกลับของความดันในห้องลมตรงข้าม จากนั้นจะใช้เวลาในการอัดตัวของอากาศเพื่อให้แรงตามที่ต้องการจะเป็นลักษณะการเพิ่มขึ้นของสัญญาณตอบสนองแบบลำดับหนึ่ง เมื่อระยะเวลาผ่านไปในการปล่อยลมออกจากห้องลมจะใช้เวลาในช่วงแรกในการปล่อยลมออกเร็วเนื่องจากมีความดันในห้องสูงและจะค่อยๆลดระดับความดันลงมาโดยสัมพันธ์เวลา ข้อสังเกตภาพประกอบ 3-19 การเกิดสัญญาณตอบสนองช่วงแรกจะมีโอเวอร์ชูทและขนาดของระดับแรงดันก็ยังไม่ถูกต้อง อันเนื่องมาจากค่าตัวแปรเกี่ยวกับเคลื่อนที่ยังไม่ถูกต้องดังนั้นจึงได้นำค่าตัวแปรจากตาราง 2-1 มาช่วยในการปรับค่าตัวแปรให้มีความถูกต้องโดยทำการปรับค่าตัวแปรและทำการจำลองซ้ำๆจนมีผลการจำลองใกล้เคียงกับผลการทดลองในห้องปฏิบัติการดังภาพประกอบ 3-20 เมื่อคาดว่าสมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวเมติกส์มีความถูกต้อง ทดลองเพิ่มเติมเพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องโดยปรับระดับแรงดันอินพุทเป็นค่าต่างๆ ตัวอย่างผลการปรับระดับแรงดันอินพุทดังภาพประกอบ 3-21

3.2 การควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอโดยปรับค่าในตัวเอง

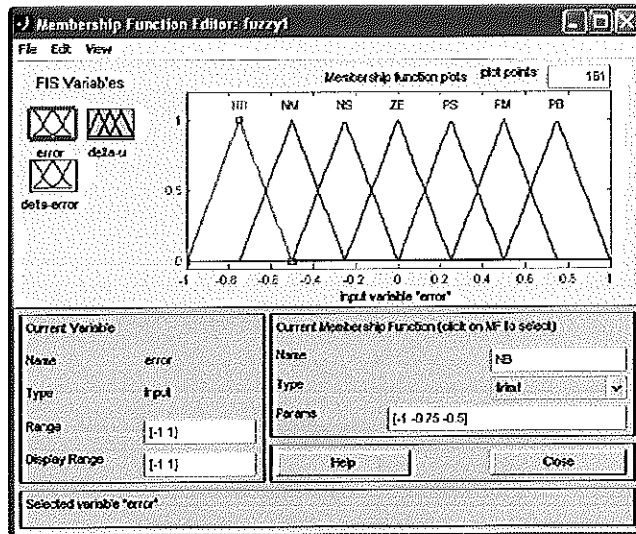
จากบทที่ 2 ได้นำเสนอแนวคิดการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง ขั้นตอนต่อไปเป็นการศึกษาและทดลองจำลองวิธีการดังกล่าวลงบน โปรแกรม MATLAB เพื่อใช้ในการจำลองการควบคุมอุปกรณ์นิวเมติกส์ และศึกษาผลการจำลองที่ได้รับ จากหลักการทํางานของการควบคุมในบทที่ 2 จะสังเกตเห็นได้ว่าจะต้องมีการควบคุมแบบฟัซซี่ทำงานคู่ขนานกัน โดยตัวควบคุมฟัซซี่ 1 จะเป็นตัวทำงานหลักและตัวควบคุมฟัซซี่ 2 จะใช้ในการปรับตัวคูณค่าเพื่อให้การควบคุมมีผลการทํางานเร็วขึ้นและถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยทั่วไปการควบคุมแบบฟัซซี่สามารถแบ่งการทํางานออกเป็น 4 ส่วนประกอบด้วย ส่วนที่ 1 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก ส่วนที่สองเป็นกฎ ส่วนที่ 3 เป็นส่วนการนำผลที่ได้จากส่วนที่ 2 มาประมวลโดยทางคณิตศาสตร์ และส่วนที่ 4 เป็นการสรุปผลที่ได้จากกระบวนการทั้งหมด

3.2.1 การจำลองฟังก์ชันการเป็นสมาชิก(Membership Function)

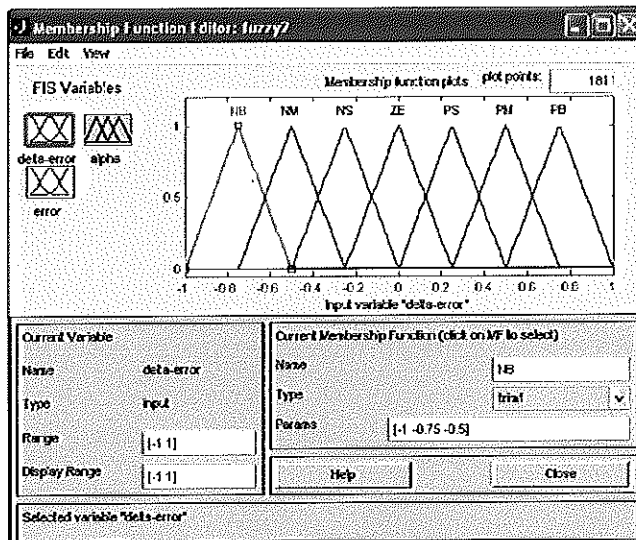
การจำลองฟังก์ชันการเป็นสมาชิกลงบนโปรแกรม MATLAB เลือกใช้ฟังก์ชันสามเหลี่ยมในการเขียนร่วมกับแนวคิดจากบทที่ 2 โดยฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอโดยปรับค่าในตัวเองจะแบ่งฟังก์ชันการเป็นสมาชิกออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของค่าผิดพลาด (Error)และส่วนของค่าความแตกต่างของค่าผิดพลาด (Delta Error) ดังภาพประกอบ



ภาพประกอบ 3-22 กล้องการทํางานของควบคุมแบบฟัซซี่



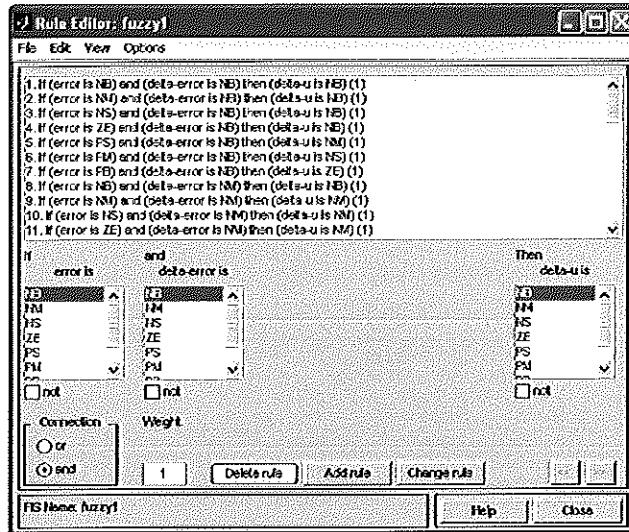
ภาพประกอบ 3-23 การเขียนฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวควบคุมฟัซซี่ตัวที่ 1



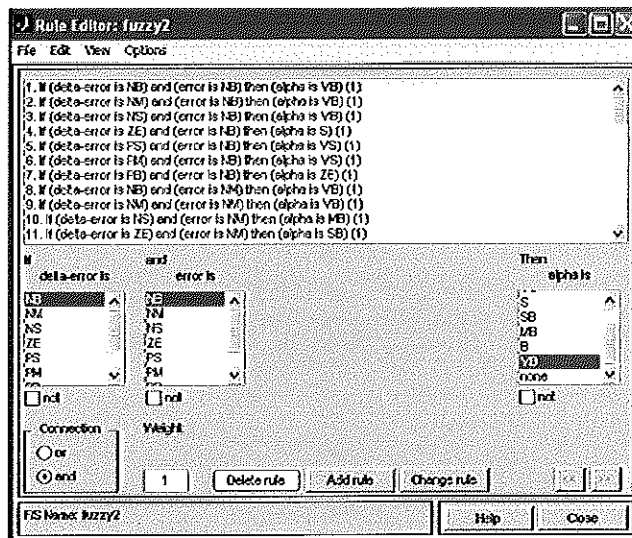
ภาพประกอบ 3-24 การเขียนฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวควบคุมฟัซซี่ที่ 2

3.2.2 การเขียนกฎ (Rules)

จากบทที่ 2 สามารถนำตารางแสดงความสัมพันธ์ของการทำงานมาเขียนเป็นกฎได้ 49 กฎ เพื่อใช้ในการตัดสินใจของการควบคุมได้ดังภาพประกอบ



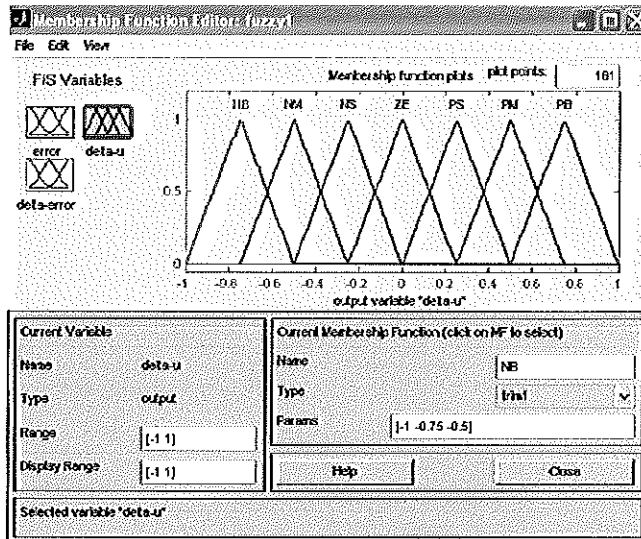
ภาพประกอบ 3-25 การเขียนกฎเพื่อใช้ในการตัดสินใจของตัวควบคุมฟัซซี่ที่ 1



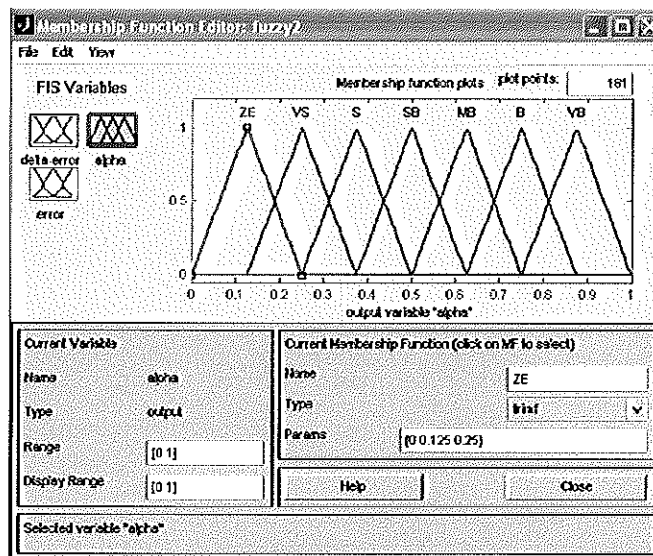
ภาพประกอบ 3-26 การเขียนกฎเพื่อใช้ในการตัดสินใจของตัวควบคุมฟัซซี่ที่ 2

3.2.3 การเขียนฟังก์ชันการประมวลผลที่ได้รับจากการใช้กฎ(Fuzzification)

ผลลัพธ์ที่ได้รับจากการใช้กฎในการตัดสินใจ จะเข้าสู่ฟังก์ชันการประมวลผลทางฟัซซี่ โดยยังคงใช้ฟังก์ชันรูปสามเหลี่ยมในการประมวลผล ดังภาพประกอบ



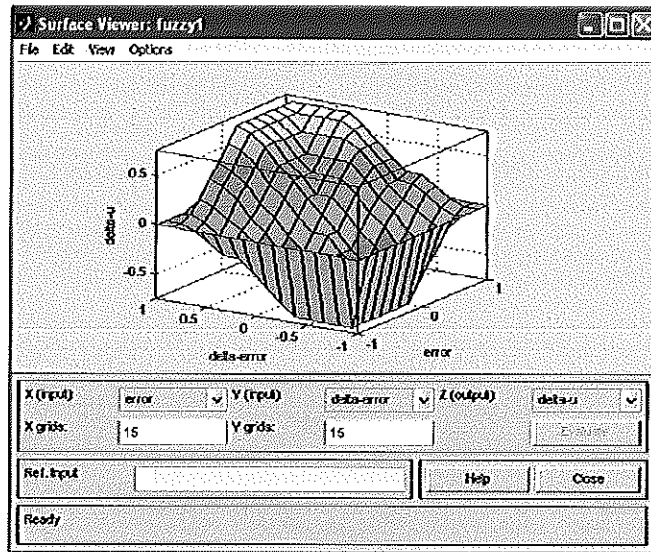
ภาพประกอบ 3-27 การเขียนฟังก์ชันการประมวลผลจากการใช้กฎของตัวควบคุมฟัซซี่ที่ 1



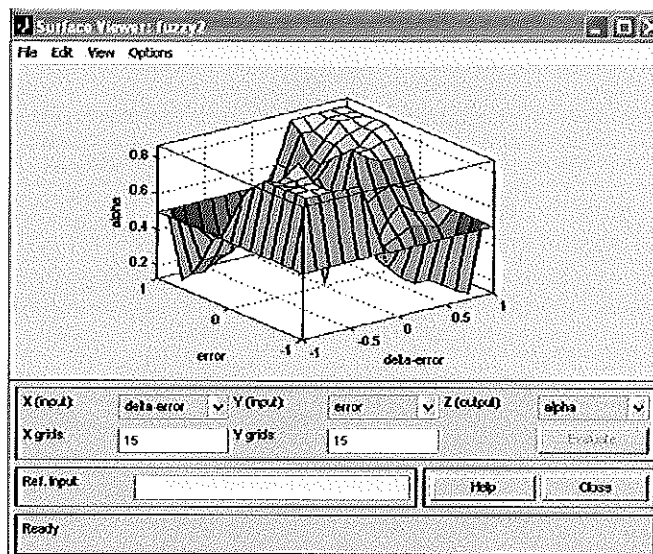
ภาพประกอบ 3-28 การเขียนฟังก์ชันการประมวลผลจากการใช้กฎของตัวควบคุมฟัซซี่ที่ 2

3.2.4 การประมวลผลสมการทางคณิตศาสตร์(Defuzzification)

เมื่อผ่านกระบวนการการประมวล โดยฟังก์ชันฟัซซี่แล้วก็จะเข้าสู่การสรุปผลการทำงานโดยส่วนใหญ่จะใช้วิธีการหาจุดศูนย์กลาง(Central Of Gravity:COG) โดยใช้สมการจากบทที่ 2 ในการหาค่าจุดศูนย์กลาง



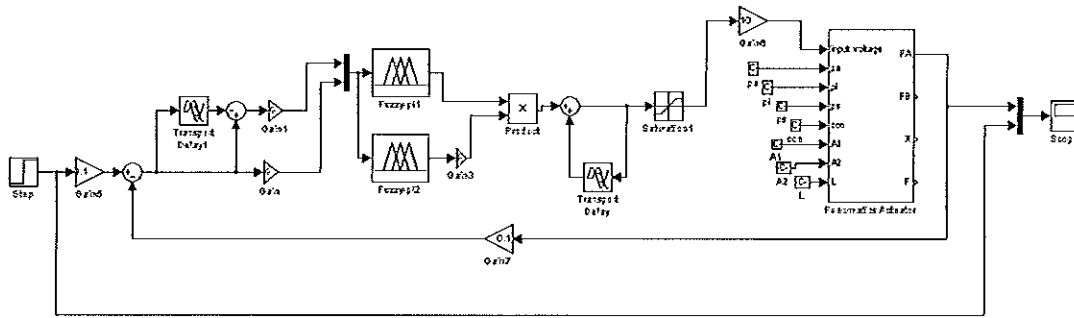
ภาพประกอบ 3-29 ผลจากการจำลองวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ที่ 1



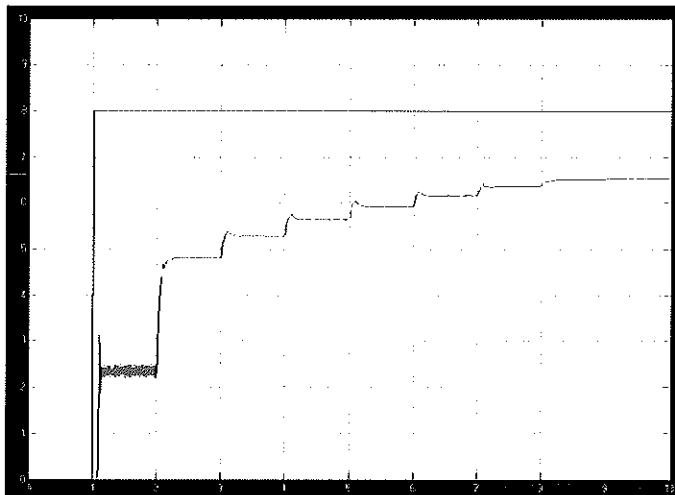
ภาพประกอบ 3-30 ผลจากการจำลองวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ที่ 2

3.3 การจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอโดยปรับค่าในตัวเอง

เมื่อทำการจำลองวิธีการควบคุมลงบนโปรแกรม MATLAB แล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการทดลองจำลองวิธีการควบคุมดังกล่าวกับอุปกรณ์นิวมติกส์ แล้วสังเกตผลลัพธ์ที่ได้



ภาพประกอบ 3-31 การจำลองการควบคุมแรงกดจากระบบออสซิลโลสโคป โดยวิธีการควบคุมแบบพีซีซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง



ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 1 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 3-32 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากระบบออสซิลโลสโคป โดยวิธีการควบคุมแบบพีซีซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง

ภาพประกอบ 3-32 เป็นผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากระบบออสซิลโลสโคป โดยวิธีการควบคุมแบบพีซีซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองซึ่งในการจำลองจะกำหนดตัวคูณเพิ่มค่า ($G_c, G_{\Delta c}$ และ G_u) ให้มีค่าเท่ากับ 1 ทั้งสามค่า เพื่อสังเกตผลการตอบสนองของการควบคุม โดยลักษณะผลการตอบสนองของตัวควบคุมภาพรวมจะมีลักษณะคล้ายขั้นบันไดที่ความชันไม่สม่ำเสมอ โดยในช่วงแรกพบว่าผลของค่าผิดพลาด (e) และค่าที่ผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง (Δe) จะมีค่าที่เท่ากันทำให้สัญญาณตอบสนองมีการแกว่งขึ้น เมื่อเวลาผ่านไปค่าผิดพลาดและค่าผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลงเริ่มมีความแตกต่างกันสัญญาณจะเริ่มราบเรียบมากขึ้น โดยความสูงของสัญญาณในแต่ละช่วงจะเกิดจากตัวคูณ

ค่า G_0 เพื่อช่วยให้สัญญาณเข้าสู่เป้าหมายให้เร็วขึ้น ผลการตอบสนองจะเป็นลักษณะค่อยๆเกิดขึ้น
เป็นขั้นไปเรื่อยๆซึ่งจะใช้เวลาในการเข้าสู่เป้าหมาย แต่ข้อดีคือจะไม่มีโอกาสเกิด โอเวอร์ชูท
ของสัญญาณซึ่งจะทำให้อุปกรณ์ไม่เสียหาย จากภาพประกอบ 3-32 จะต้องเวลาประมาณ 8
คาบเวลาจึงจะเข้าสู่เป้าหมาย

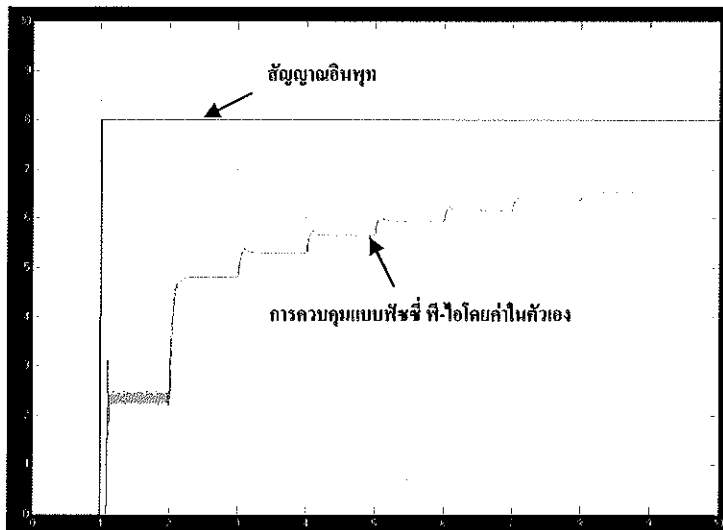
บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในบทนี้อธิบายผลการทดลองการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบพีซซี พี-ไอ โดยมีการปรับค่าในตัวเองเปรียบเทียบกับ การทดลองจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบ พีซซี พี-ไอ และแบบพี-ไอ โดยกำหนดรูปแบบการทดลองให้หลากหลาย เช่น การทดลองเปรียบเทียบ โดยให้สัญญาณอินพุตเป็นแบบต่อเนื่องโดยปรับค่าตัวคูณให้มีค่าเท่ากันทั้ง 2 วิธี หรือ การทดลองเปรียบเทียบโดยสัญญาณอินพุตเป็นแบบต่อเนื่องโดยปรับค่าตัวคูณให้มีผลการตอบสนองที่ดีที่สุดในแต่ละการควบคุม หรือ การทดลองเปรียบเทียบโดยสัญญาณอินพุตเป็นแบบคาบเวลาที่ความถี่ต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบค่าผลการทดลองในเรื่องของ เปอร์เซ็นต์การเกิดโอเวอร์ (%Overshoot) เวลาที่สัญญาณเพิ่มขึ้นจนถึงเป้าหมาย (Rise time) หรือเวลาที่ให้การเข้าสู่เสถียรภาพ (settling time) รวมถึงเวลาที่ใช้ในการประมวลผล ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลในการสรุปผลการศึกษาและวิจัย

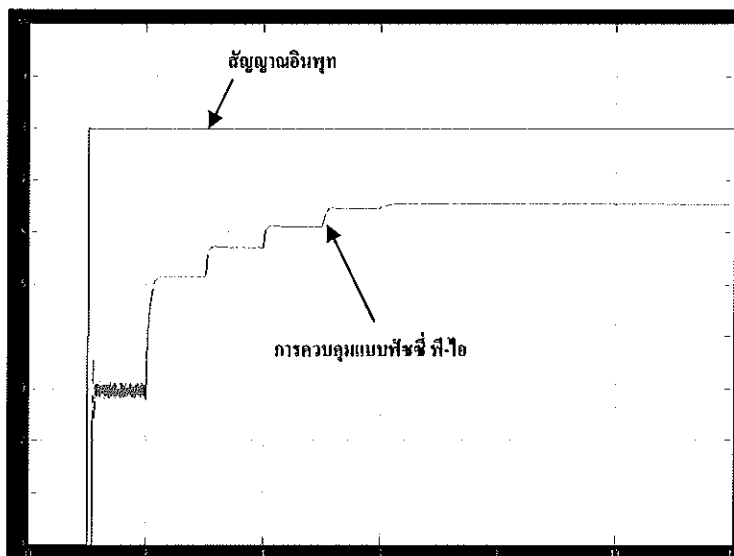
4.1 การทดลองจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซซี พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองเมื่อกำหนดตัวคูณค่าทั้งหมดเท่ากับ 1

การทดลองจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบพีซซี พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง ในอันดับแรกจะจำลองโดยป้อนอินพุตเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 8 โวลต์โดยไม่จำกัดคาบเวลา เพื่อสังเกตผลตอบสนองของอุปกรณ์นิวเมติกส์เปรียบเทียบกับ การจำลองวิธีการควบคุมแบบพีซซี พี-ไอและแบบพี-ไอซึ่งเป็นการควบคุมแบบพื้นฐาน โดยในอันดับแรกนี้ยังไม่มีการปรับตัวคูณค่าของการควบคุมทั้ง 2 วิธี ดังนั้นจึงกำหนดตัวคูณค่าให้มีค่าเท่ากับ 1 ทั้ง 2 วิธี ผลการจำลองแสดงดังภาพประกอบ



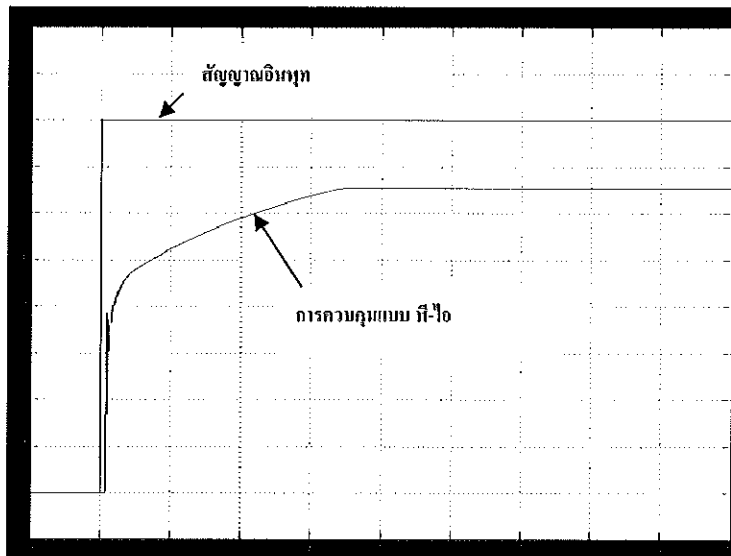
ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 1 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-1 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากระบบอกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง เมื่อกำหนดตัวคูณค่าทั้งหมดเท่ากับ 1



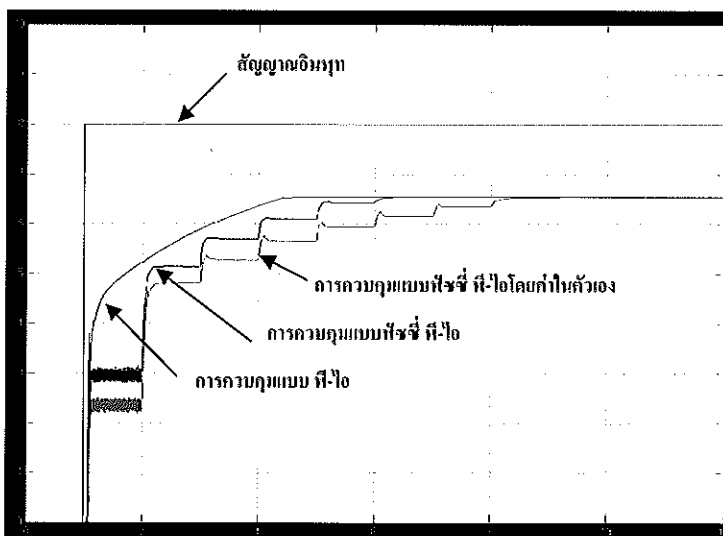
ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 1 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-2 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากระบบอกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอ เมื่อกำหนดตัวคูณค่าทั้งหมดเท่ากับ 1



ชองสัญญาณ 1 V/ชอง เวลา 1 วินาที/ชอง

ภาพประกอบ 4-3 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพี-ไอ
เมื่อกำหนดตัวคูณค่าทั้งหมดเท่ากับ 1



ชองสัญญาณ 1 V/ชอง เวลา 1 วินาที/ชอง

ภาพประกอบ 4-4 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบพีซีพี-ไอ และการควบคุมแบบ พี-ไอ
เมื่อปรับตัวคูณค่าทั้งหมดเท่ากับ 1

เมื่อทำการจำลองทั้งสามวิธีการควบคุมกับอุปกรณ์ชุดเดียวกันแล้วทำการบันทึกค่าจากกราฟแล้วนำมาบันทึกเป็นตารางเพื่อใช้ในการวิเคราะห์

ตาราง 4-1 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอโดยปรับค่าในตัวเองเปรียบเทียบกับการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอและการควบคุมแบบพี-ไอ เมื่อกำหนดตัวคูณค่าทั้งหมดเท่ากับ 1

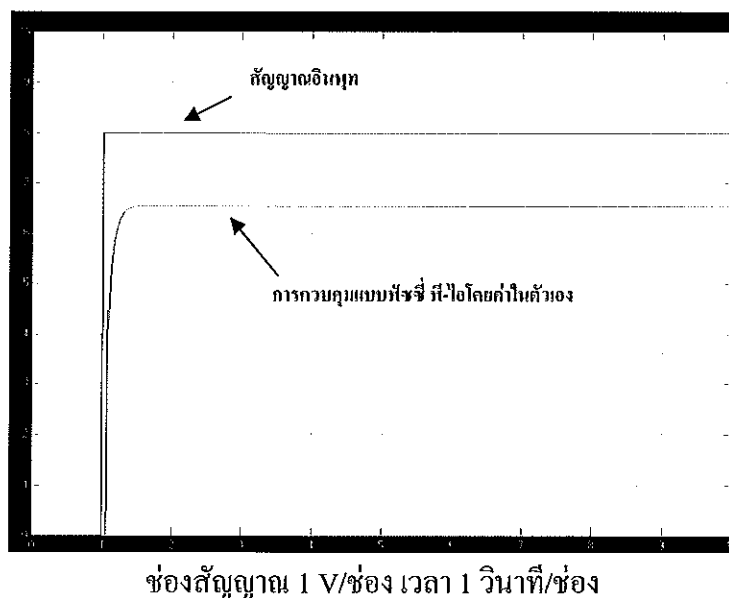
	PI Control	Fuzzy PI Control	Seft-Tuning Fuzzy PI Control
% Overshoot	0	0	0
Rise Time (Tr)	3.4 วินาที	6.2 วินาที	7.2 วินาที
Settling Time (Ts)	3.4 วินาที	6.2 วินาที	7.2 วินาที
เวลาที่ใช้ในการคำนวณ	1 วินาที	16.03 วินาที	30.92 วินาที

จากหัวข้อ 4.1 เป็นการทดลองจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองเมื่อกำหนดตัวคูณค่าทั้งหมดเท่ากับ 1 เพื่อสังเกตการตอบสนองของอุปกรณ์นิวเมติกส์ ภาพประกอบ 4-1 เป็นผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง เมื่อกำหนดตัวคูณค่าทั้งหมดเท่ากับ 1 พิจารณาจากกราฟจะสังเกตเห็นว่าในช่วง 1 วินาทีแรกการตอบสนองจะมีลักษณะของแกว่งเล็กน้อยอันเนื่องมาจากเมื่อให้ความดันอากาศภายในห้องลม 1 อย่างทันทีทันใด ความดันเดิมที่มีอยู่ในห้องลม 2 จะเกิดแรงดันย้อนกลับ ดูเหมือนจะเป็นลักษณะการช็อกของการไหลของอากาศ หลังจากนั้นการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองจะมีการแกว่งของสัญญาณเพื่อเป็นการปรับค่าตัวคูณประมาณ 1 วินาที (ช่วงเวลาที่ 1 -2) แล้วจะค่อยปรับสัญญาณเพิ่มขึ้นเหมือนขึ้นบันได โดยช่วงขึ้นล่างจะมีความสูงของสัญญาณสูงแล้วความสูงจะค่อยลดลง ใช้เวลาปรับค่าสัญญาณประมาณ 7 วินาที จึงได้ค่าเท่ากับเป้าหมายที่ต้องการ ผลการจำลองไม่มีโอเวอร์ชูท แต่ต้องใช้เวลานานกว่าเมื่อเทียบกับการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอและการควบคุมแบบ พี-ไอ อีกทั้งในการประมวลผลของการควบคุม การควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองจะใช้

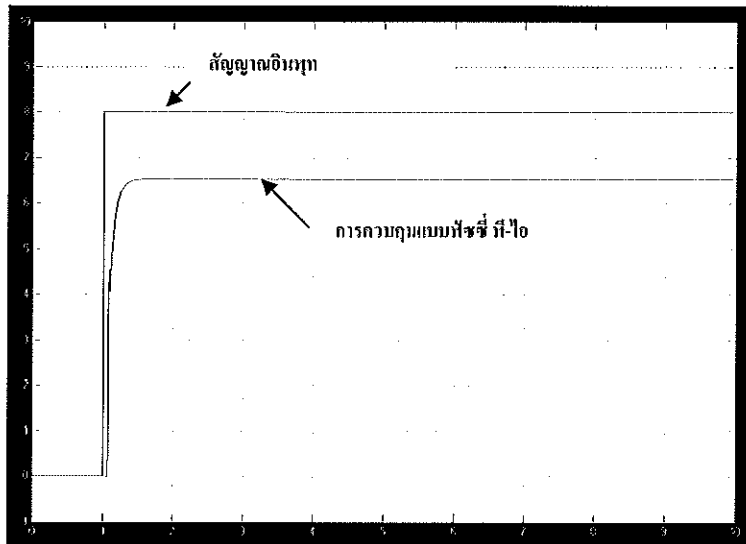
เวลาในการประมวลผลนานกว่า ซึ่งหมายถึงถ้าต้องการให้การประมวลผลมีเวลาที่น้อยลงจะต้องใช้เครื่องประมวลผลที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ค่าใช้จ่ายก็จะสูงตามขึ้นไป ต่างจากการควบคุมแบบ พี-ไอ ซึ่งในช่วงแรกจะมีการตอบสนองคล้ายกับการควบคุมแบบแรกคือจะมีลักษณะการช็อกของการไหลของอากาศ แล้วจึงปรับค่าเข้าสู่เป้าหมาย โดยเวลาที่ใช้การรู่เข้าสู่เป้าหมายจะใช้เวลาน้อยกว่า ไม่มีโอเวอร์ชูท เวลาที่ใช้ในการประมวลผลก็น้อยกว่า

4.2 การทดลองจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซี พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองเมื่อมีการปรับตัวคูณค่า

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.1 แสดงให้เห็นการตอบสนองของสัญญาณเมื่อกำหนดตัวคูณค่าที่มีค่าเท่ากับ 1 การปรับตัวคูณค่าเพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับการควบคุมมีนักวิชาการได้นำเสนอวิธีการปรับตัวคูณค่าหลากหลายวิธี Ziegler-Nichols[11] เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการปรับคูณค่าเพื่อให้การควบคุมมีประสิทธิภาพที่สุดอีกทั้งยังเป็นที่ยอมรับนำวิธีดังกล่าวมาใช้ในการปรับตัวคูณค่า ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกวิธีการปรับตัวคูณค่า โดย Ziegler-Nichols มาใช้ในการปรับตัวคูณค่า เมื่อทำการปรับตัวคูณค่าแล้วก็ทำการจำลองอีกครั้งภายใต้เงื่อนไขเดิมแล้วบันทึกผลการจำลองอีกครั้ง

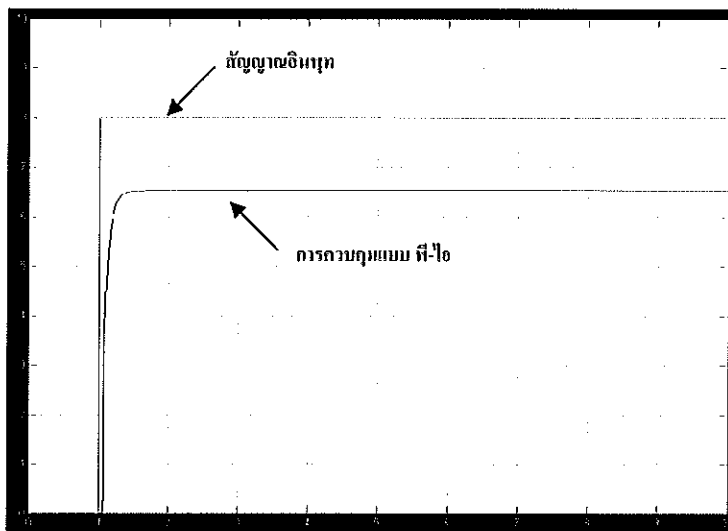


ภาพประกอบ 4-5 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซี พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง เมื่อมีการปรับตัวคูณค่า



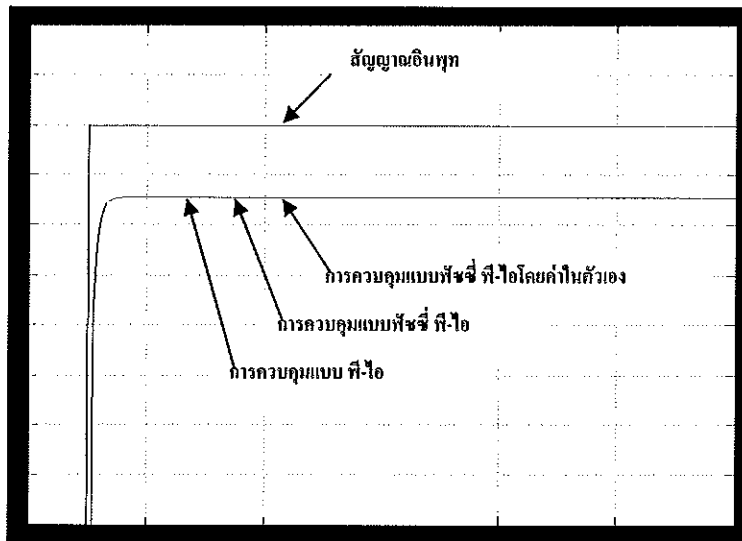
ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 1 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-6 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซี-ไอ เมื่อมีการปรับตัวคูณค่า



ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 1 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-7 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพี-ไอ เมื่อมีการปรับตัวคูณค่า



ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 1 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-8 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบพีซซีพี-ไอและการควบคุมแบบพี-ไอ เมื่อมีการปรับตัวคูณค่า

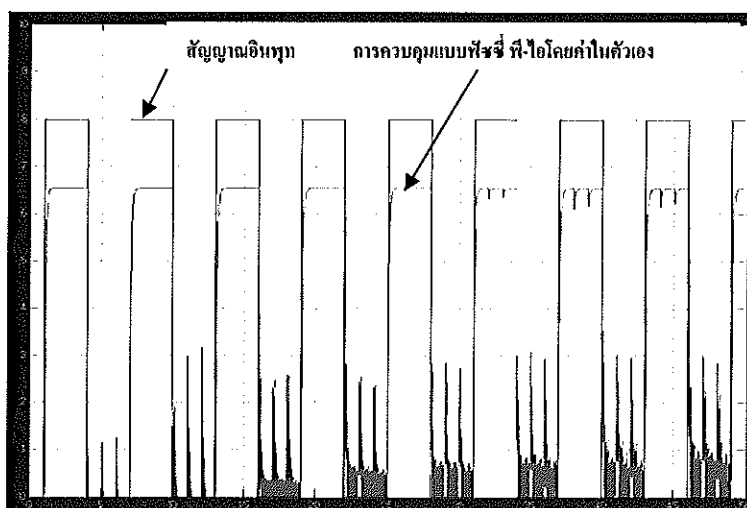
ตาราง 4-2 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบพีซซีพี-ไอและการควบคุมแบบพี-ไอ เมื่อมีการปรับตัวคูณค่า

	PI Control	Fuzzy PI Control	Self-Tuning Fuzzy PI Control
% Overshoot	0	0	0
Rise Time (Tr)	0.5 วินาที	0.5 วินาที	0.5 วินาที
Settling Time (Ts)	0.5 วินาที	0.5 วินาที	0.5 วินาที
เวลาที่ใช้ในการคำนวณ	1 วินาที	14.09 วินาที	23.74 วินาที

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.2 การทดลองจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองเมื่อมีการปรับตัวคุณค่า เป็นความต้องการให้ผลการตอบสนองของอุปกรณ์มีผลดีขึ้นจึงมีการปรับตัวคุณค่า ผลที่ได้จากการปรับคุณค่าเพื่อให้ผลของตอบสนองดีที่สุด การควบคุมพีซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง กกับการควบคุมแบบพีซีพี-ไอและการควบคุมแบบพี-ไอ ให้ผลตอบสนองเหมือนกัน โดยช่วงการซ็อกของการไหลของอากาศยังคงมีอยู่แต่ค่าจะน้อยลง เวลาที่ใช้ในการลู่เข้าสู่เป้าหมายน้อยลงโดยใช้เวลาประมาณ 0.5 วินาทีไม่มีการแกว่งของสัญญาณ ไม่มีโอเวอร์ชูทแต่การควบคุมแบบพีซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง ยังคงใช้เวลาในการประมวลผลนานกว่าการควบคุมแบบพีซีพี-ไอและการควบคุมแบบพี-ไอ

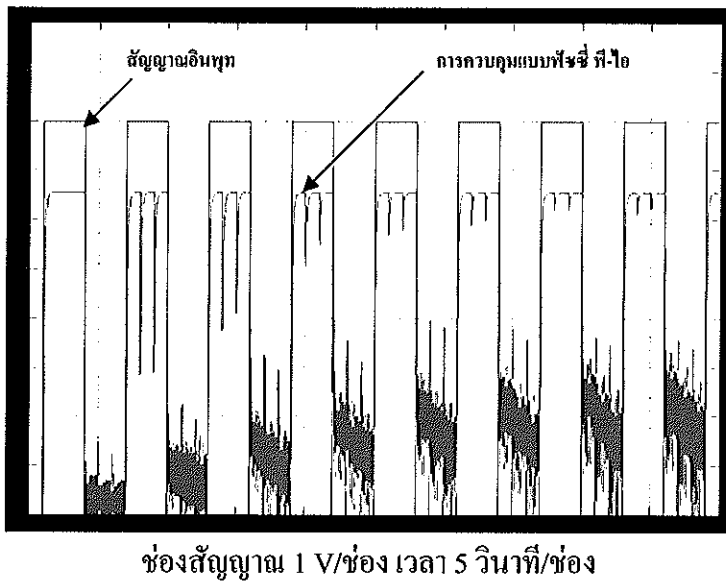
4.3 การทดลองจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองเมื่อมีการปรับสัญญาณอินพุทเป็นคาบเวลา

ผู้วิจัยได้ทำการจำลองสถานการณ์เมื่อนำกระบอกสูบลมไปใช้ในการกดแม่พิมพ์ ลายนูนบนกระดาษซึ่งจะต้องความดันอากาศประมาณ 6 บาร์ ในการกดแม่พิมพ์ ดังนั้นในการทดลองอันดับต่อไปจะเป็นการจำลองคาบเวลาในการควบคุมกระบอกสูบให้ทำงานเป็นจังหวะโดยกำหนดช่วงระยะเวลา 50 คาบเวลาและในการพิมพ์แต่ละครั้งจะกำหนดคาบเวลาย่อยๆเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลของการควบคุมเมื่อกำหนดการทำงานเป็นคาบเวลา

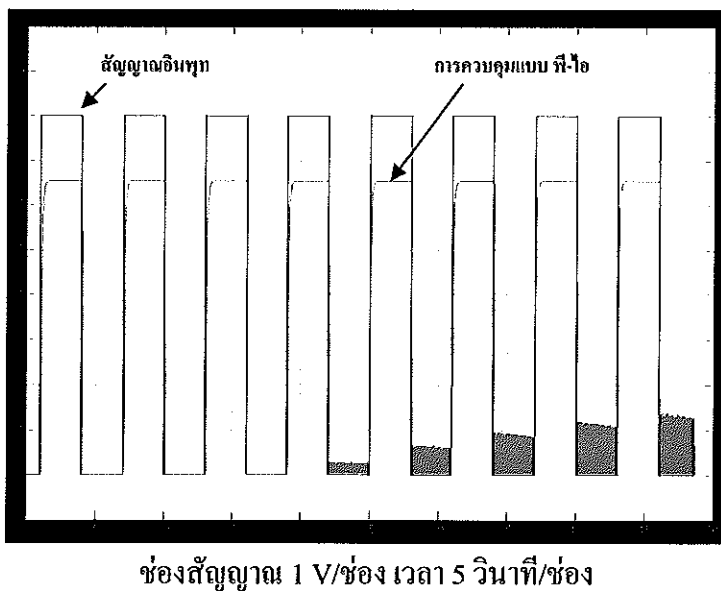


ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

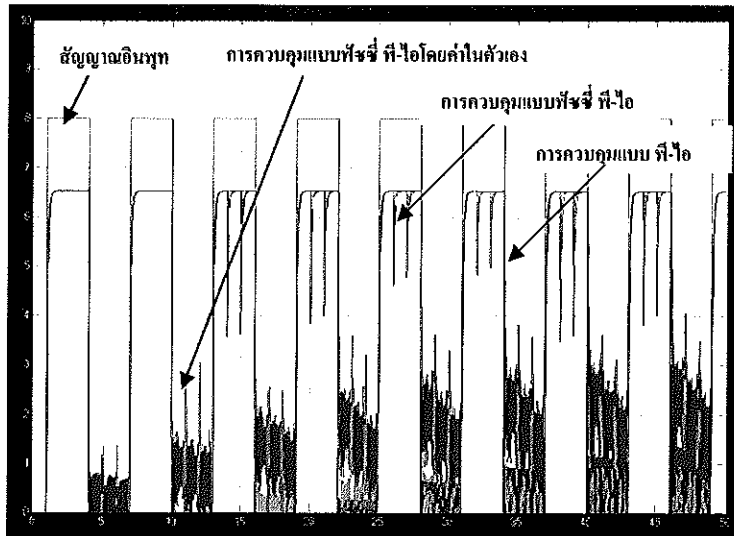
ภาพประกอบ 4-9 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบพีซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 8 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา



ภาพประกอบ 4-10 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซี พี-ไอ เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 8 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา

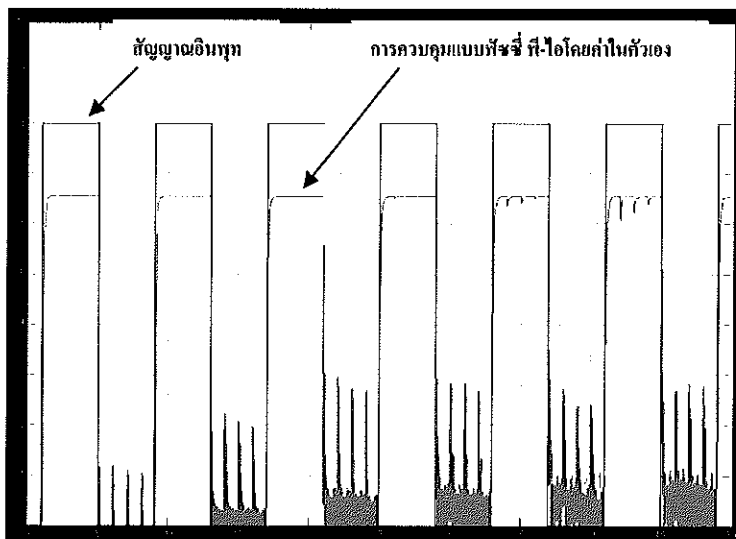


ภาพประกอบ 4-11 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบ พี-ไอ เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 8 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา



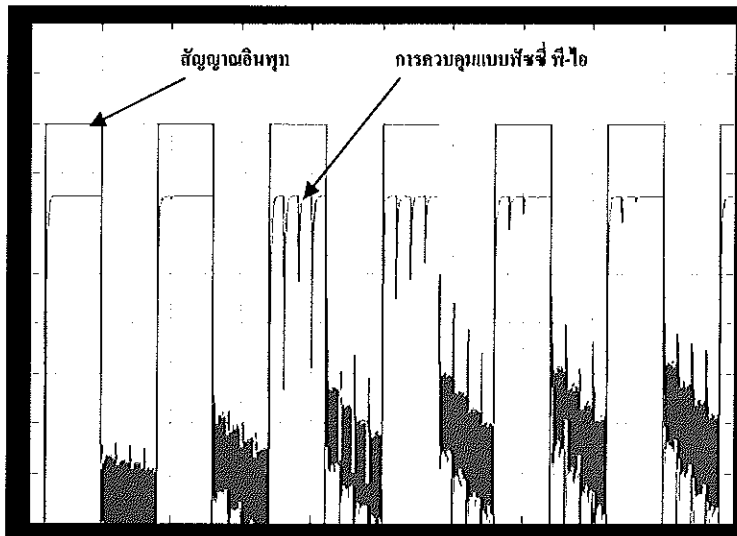
ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-12 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบพีซีพี-ไอและการควบคุมแบบ พี-ไอ เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 8 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา



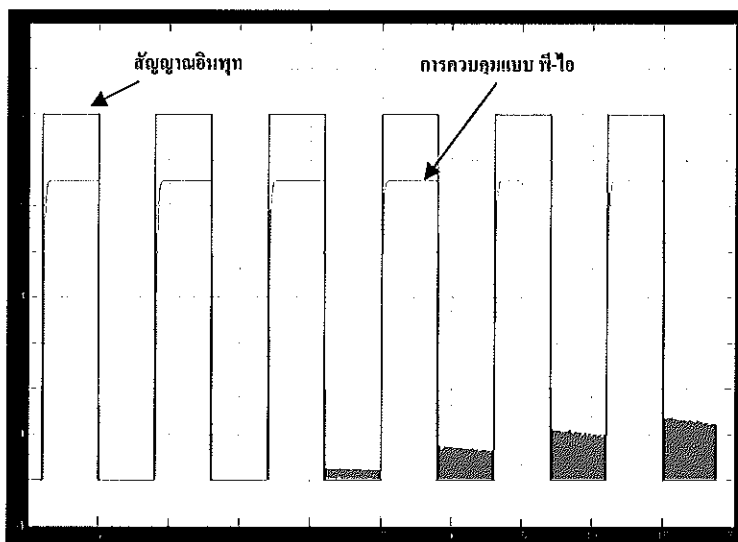
ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-13 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 6 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา



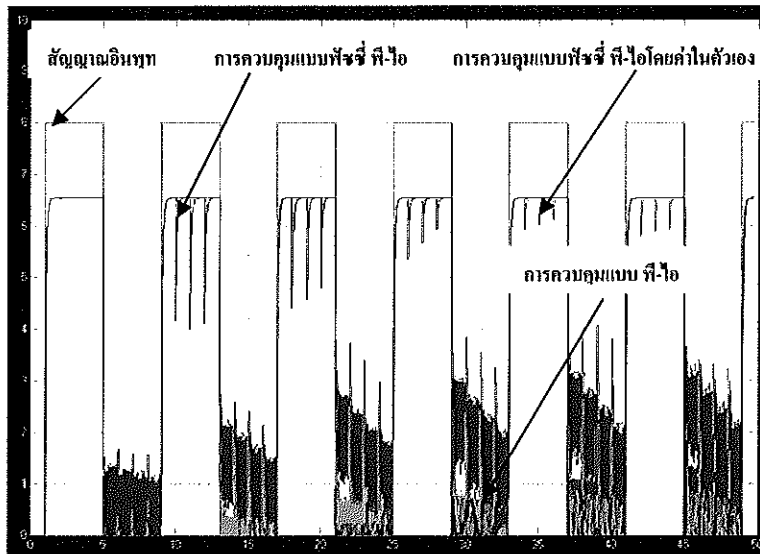
ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-14 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซีพี-ไอ เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 6 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา



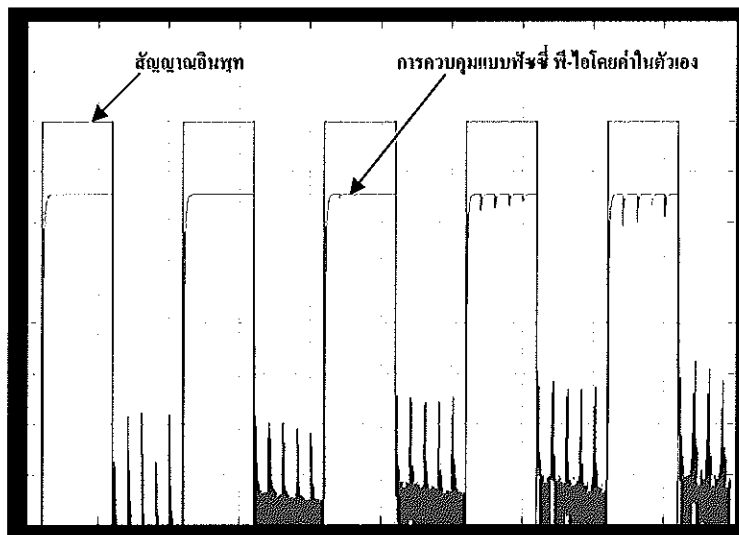
ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-15 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบ พี-ไอ เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 6 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา



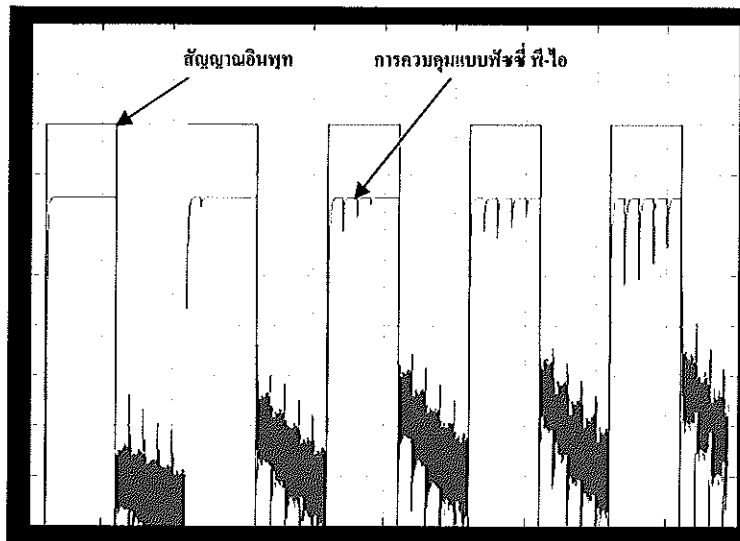
ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-16 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซี ซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบพีซี ซีพี-ไอและการควบคุมแบบพี-ไอ เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 6 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา



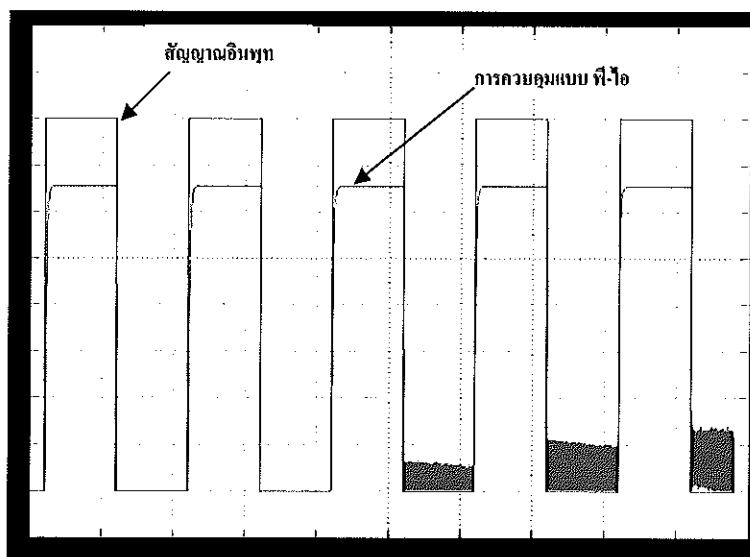
ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-17 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซี ซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 5 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา



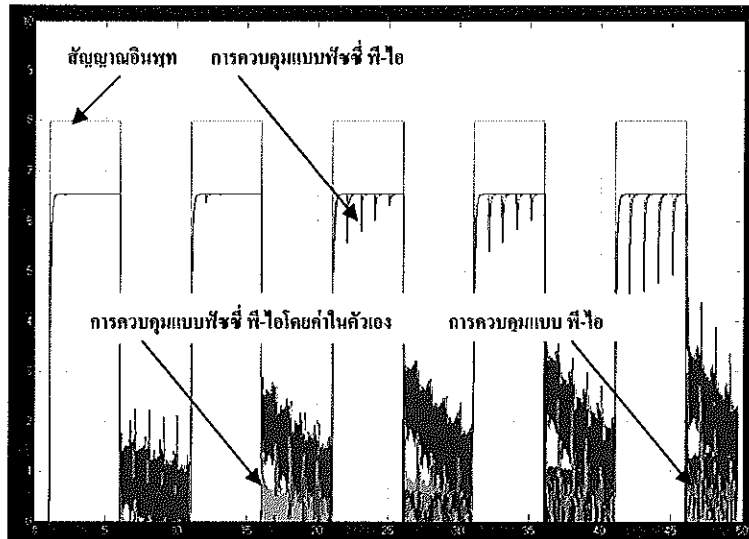
ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-18 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซี พี-ไอ เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 5 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา



ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-19 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพี-ไอ เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 5 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา



ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

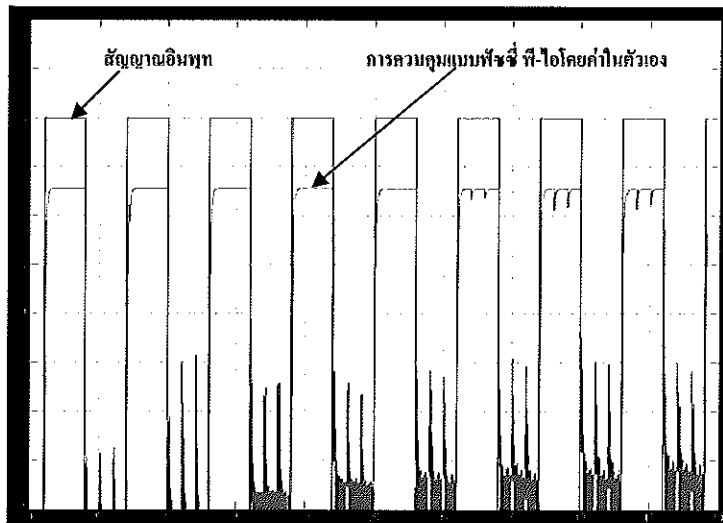
ภาพประกอบ 4-20 ผลการจำลองการควบคุมแรงกคจากระบอกลูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบพีซีพี-ไอและการควบคุมแบบพี-ไอ เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 5 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.3 การทดลองจำลองการควบคุมแรงกคจากระบอกลูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองเมื่อมีการปรับคาบเวลาของสัญญาณอินพุท เป็นการทดลองเพื่อสังเกตผลการตอบสนองของอุปกรณ์นิวเมติกส์เมื่อกำหนดให้กระบอกลูบลมพิมพ์ลายบนกระดาษ โดยผลการทดลองจะแบ่งช่วงคาบเวลาออกเป็น 3 ช่วงคือ 8 แผ่น 6 และ 5 แผ่นในช่วงเวลารวม 50 คาบเวลา ทั้ง 3 ช่วงคาบเวลาบ่งบอกถึงจำนวนของการกดแม่พิมพ์ลายบนกระดาษในช่วงเวลา 50 วินาที โดยพิจารณาจากขอบบนของสัญญาณยิ่งถ้าใช้ความถี่มาก จำนวนของกระดาษจากการพิมพ์ก็จะมาก ในทางตรงกันข้ามถ้าใช้ความถี่น้อยจำนวนกระดาษที่ได้จากการพิมพ์ก็จะน้อย ผลการทดลองเมื่อพิมพ์กระดาษ 8 แผ่นต่อ 50 คาบเวลา การควบคุมแบบพีซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองจะมีการตอบสนองโดยช่วงขอบบนของสัญญาณไม่มีการแกว่งของสัญญาณ เวลาที่ใช้ในการลู่อเข้าเป้าหมายน้อย แต่มีปัญหาตรงช่วงขอบล่างของสัญญาณจะมีการแกว่งของสัญญาณเป็นข้อสังเกตว่าการคายลมออกจากห้องลมไม่หมดยังคงมีการซ็อกของการไหลของอากาศ ซึ่งหมายถึงการปรับตัวคุณค่าของการควบคุมดังกล่าวมีผลการทำงานล่าช้า อีกทั้งผลของการแกว่งของสัญญาณจะยังมีความรุนแรงมากขึ้นไปเรื่อยๆซึ่งในทางปฏิบัติผลจากการแกว่งของสัญญาณจะทำให้วาล์วบังคับทิศทางเกิดเสียงดังและทำให้อายุการใช้งานของวาล์วลั่นลง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบพี-ไอ ให้ผลการทำงานคล้ายกับการควบคุมแบบพีซีพี-ไอ โดย

ปรับค่าในตัวเอง ต่างกันตรงช่วงระยะเวลาในการเกิดการแกว่งของสัญญาณ ผลการแกว่งของการควบคุมแบบพี-ไอ ได้รับจากตัวคูณค่าแบบปริพันธ์ซึ่งความหมายเกี่ยวกับการควบคุมแบบพีซซี พี-ไอโดยปรับค่าในตัวเอง เมื่อทำงานทดลองลดความถี่ลง 6 แผลน และ 5 แผลน ต่อช่วงเวลา ผลการตอบสนองของอุปกรณ์ในช่วงขอบบนของสัญญาณยังคงมีผลการตอบสนองเหมือนเดิมแต่ลักษณะการแกว่งของสัญญาณในช่วงขอบล่างจะลดความรุนแรงลง แสดงให้เห็นว่าการควบคุมทั้ง 3 แบบจะต้องใช้ช่วงเวลาในการคายลมออกจากห้องลม ถ้าลักษณะของคายลมออกไม่หมดความดันก็จะถูกสะสมสูงขึ้นไปเรื่อยๆจนสุดท้ายกระบอกสูบลมก็จะไม่สามารถใช้แรงกดจากความดันอากาศได้อีกทั้งยังทำให้อายุการทำงานของอุปกรณ์นิวเมติกส์สั้นลง

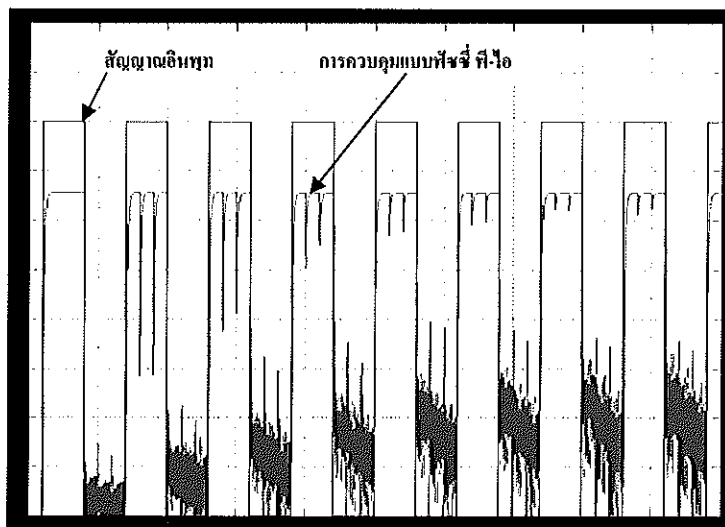
4.4 การทดลองจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซซี พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองเมื่อมีการปรับสัญญาณอินพุทเป็นคาบเวลาเมื่อมีการปรับตัวคูณค่า

ผู้วิจัยได้ทำการจำลองสถานการณ์เมื่อนำกระบอกสูบลมไปใช้ในการกดแม่พิมพ์ลายนูนบนกระดาษซึ่งจะต้องความดันอากาศประมาณ 6 บาร์ ในการกดแม่พิมพ์ ดังนั้นในการทดลองอันดับต่อไปจะเป็นการจำลองคาบเวลาในการควบคุมกระบอกสูบให้ทำงานเป็นจังหวะโดยกำหนดช่วงระยะเวลา 50 คาบเวลาและในการพิมพ์แต่ละครั้งจะกำหนดคาบเวลาช้อยๆเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลของการควบคุมเมื่อกำหนดการทำงานเป็นคาบเวลาและปรับค่าของตัวคูณที่เหมาะสม



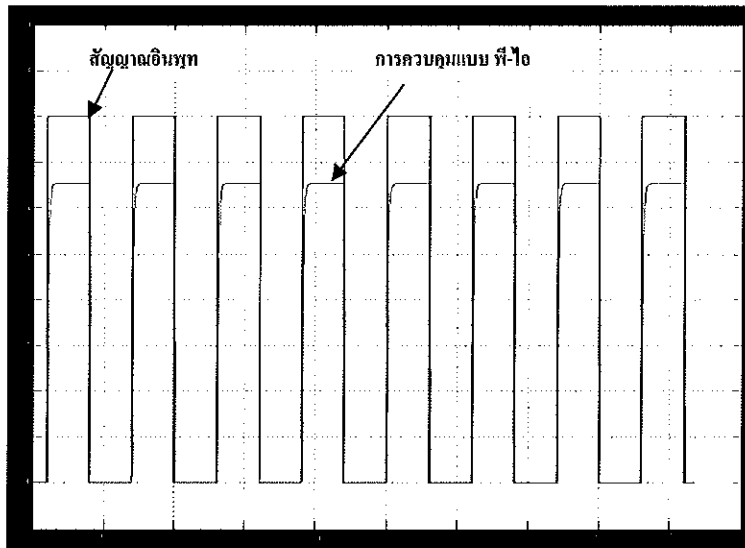
ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-21 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบพีซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 8 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลาเมื่อปรับค่าตัวคูณ



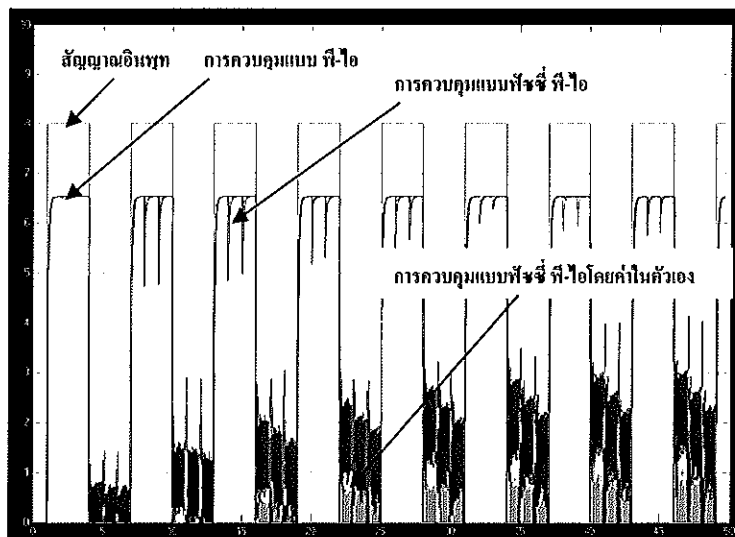
ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-22 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบพีซีพี-ไอ เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 8 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลาเมื่อปรับค่าตัวคูณ



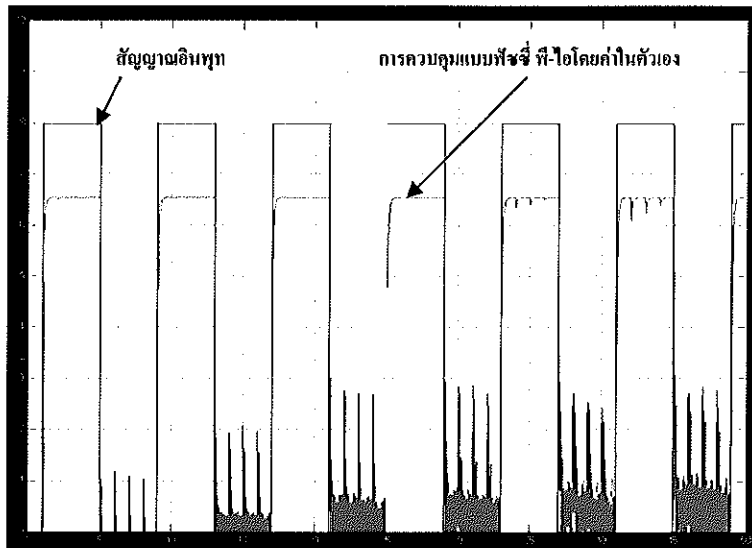
ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-23 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบ พี-ไอ เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 8 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลาเมื่อปรับค่าตัวคูณ



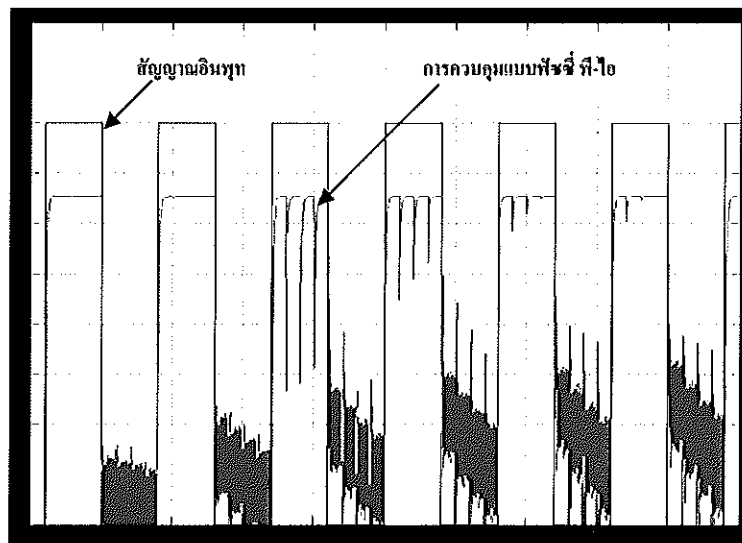
ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-24 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซซี พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบพีซซี พี-ไอและการควบคุมแบบ พี-ไอ เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 8 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลาเมื่อปรับค่าตัวคูณ



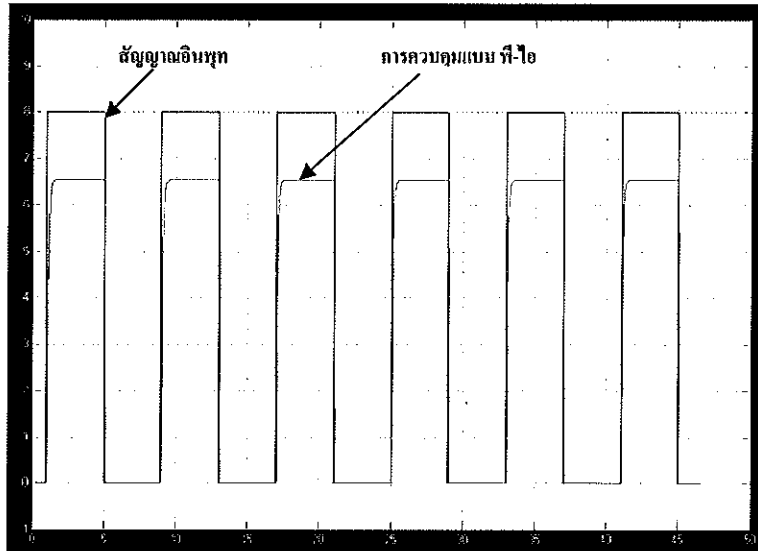
ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-25 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซี ซี พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์หิมพ์กระดาศ 6 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลาเมื่อปรับค่าตัวคูณ



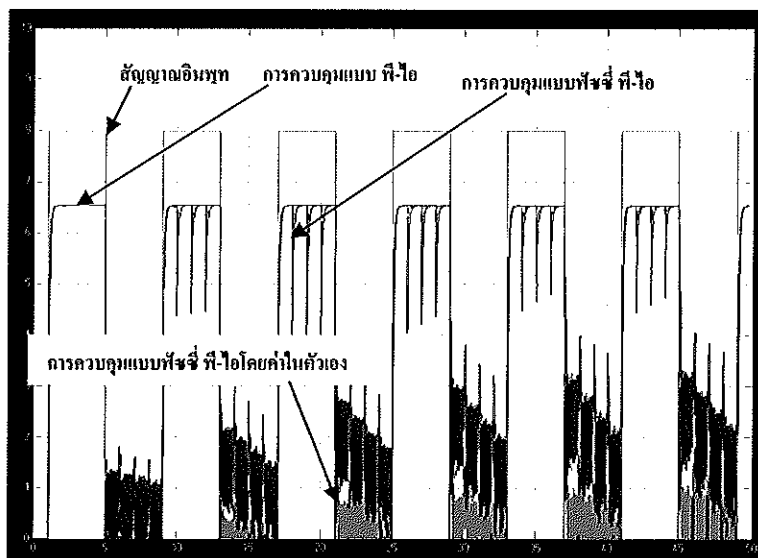
ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-26 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซี ซี พี-ไอ เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์หิมพ์กระดาศ 6 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลาเมื่อปรับค่าตัวคูณ



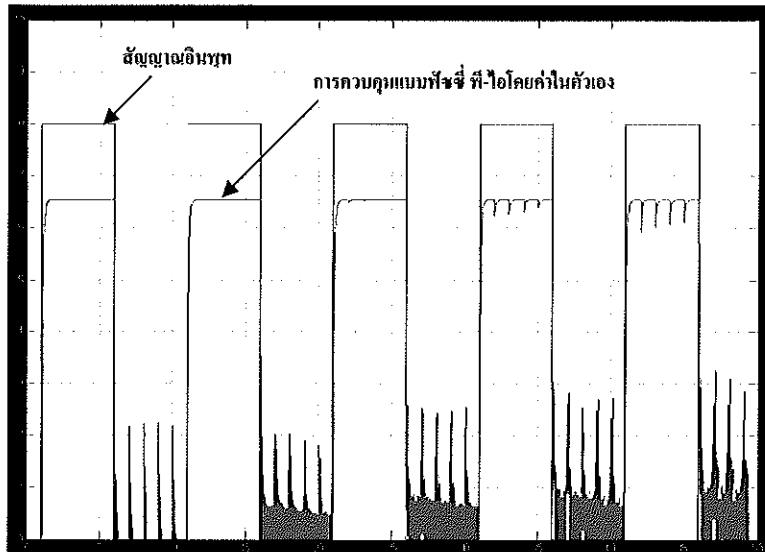
ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-27 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบ พี-ไอ เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 6 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลาเมื่อปรับค่าตัวคูณ



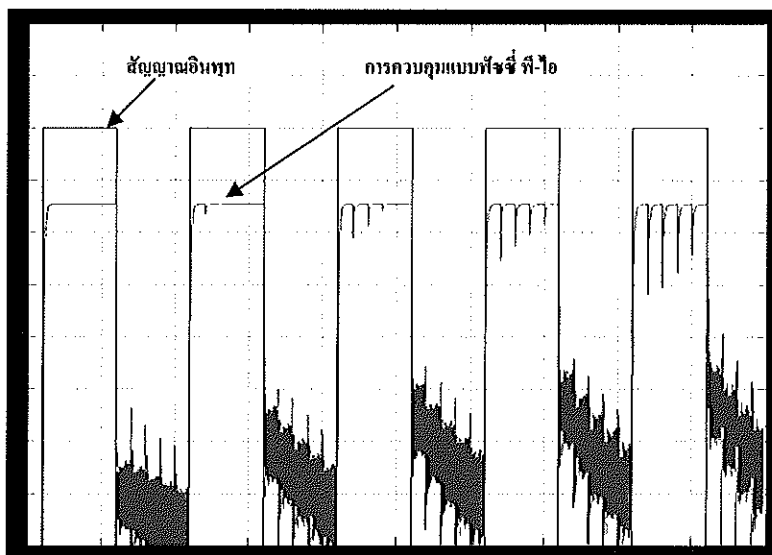
ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-28 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบพีซีพี-ไอและการควบคุมแบบ พี-ไอ เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 6 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลาเมื่อปรับค่าตัวคูณ



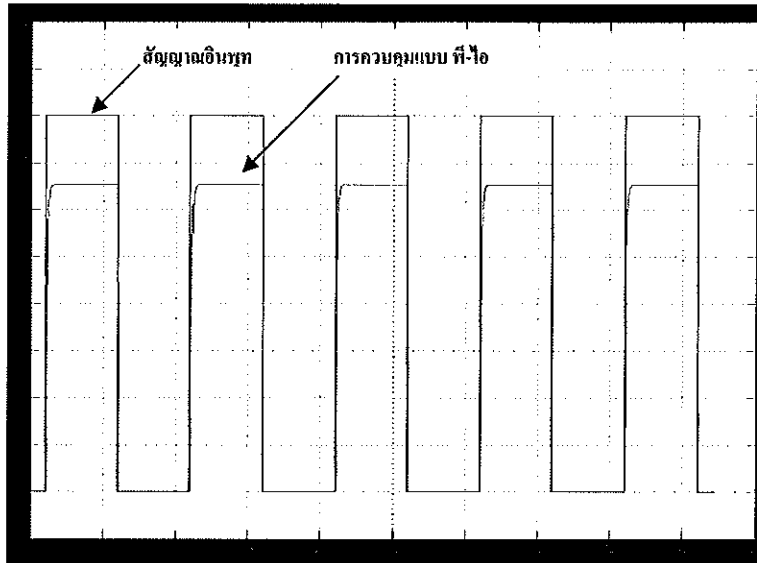
ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-29 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบพีซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 5 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลาเมื่อปรับค่าตัวคูณ



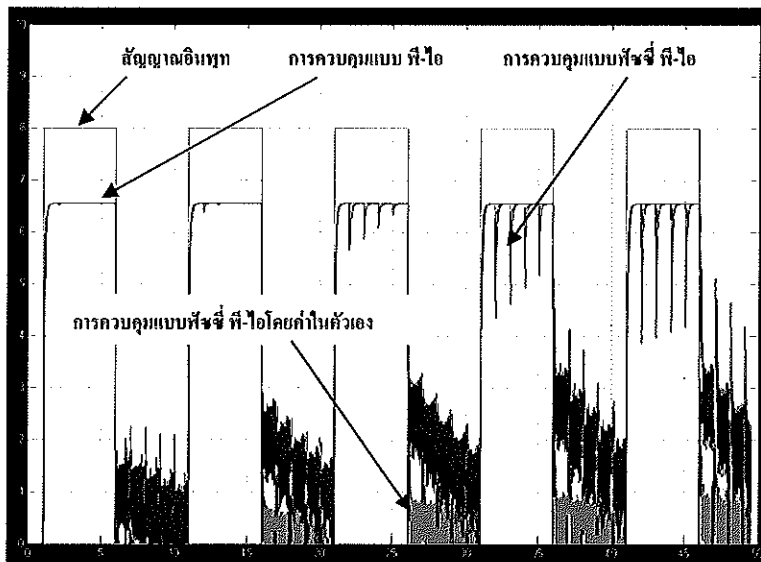
ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-30 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบพีซีพี-ไอ เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 5 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลาเมื่อปรับค่าตัวคูณ



ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-31 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบ พี-ไอ เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 5 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลาเมื่อปรับค่าตัวคูณ



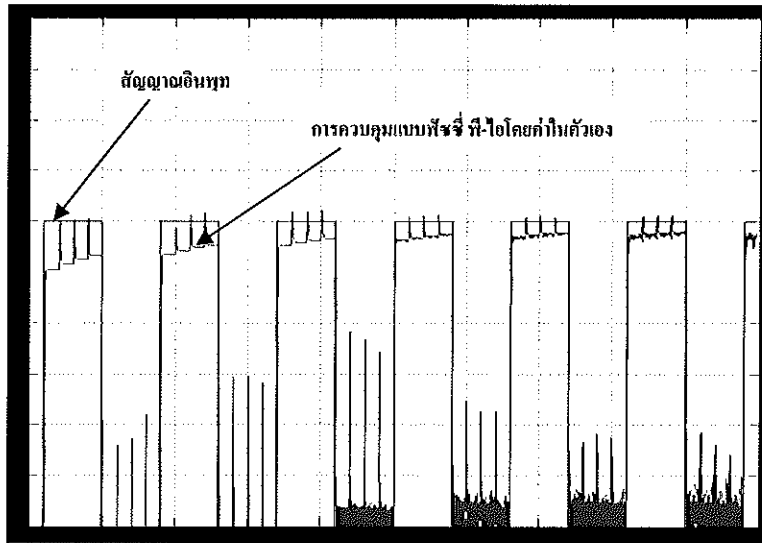
ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-32 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบพีซซี พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบพีซซี พี-ไอและการควบคุมแบบ พี-ไอ เมื่อมีการปรับให้อุปกรณ์นิวเมติกส์พิมพ์กระดาษ 5 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลาเมื่อปรับค่าตัวคูณ

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.4 การทดลองจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซซี พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองเมื่อมีการปรับคาบเวลาของสัญญาณอินพุตและปรับค่าตัวคูณ เป็นการทดลองเพื่อสังเกตผลการตอบสนองของอุปกรณ์นิวเมติกส์เมื่อกำหนดให้กระบอกสูบลมพิมพ์หลายนูนบนกระดาษ โดยผลการทดลองจะแบ่งช่วงคาบเวลาออกเป็น 3 ช่วงคือ 8 แผ่น 6 และ 5 แผ่นในช่วงเวลารวม 50 คาบเวลา ทั้ง 3 ช่วงคาบเวลาบ่งบอกถึงจำนวนของการกดแม่พิมพ์หลายนูนบนกระดาษในช่วงเวลา 50 วินาที โดยพิจารณาจากขอบบนของสัญญาณ ยิ่งถ้าใช้ความถี่มากจำนวนของกระดาษจากการพิมพ์ก็จะมาก ในทางตรงกันข้ามถ้าใช้ความถี่น้อยจำนวนกระดาษที่ได้จากการพิมพ์ก็จะน้อย ผลการทดลองเมื่อพิมพ์กระดาษ 8 แผ่นต่อช่วงเวลา 50 คาบ การควบคุมแบบพีซซี พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองจะมีการตอบสนองโดยช่วงขอบบนของสัญญาณ ไม่มีการแกว่งของสัญญาณ เวลาที่ใช้ในการลู่อเข้าเป้าหมายน้อย แต่มีปัญหาตรงช่วงขอบล่างของสัญญาณจะมีการแกว่งของสัญญาณเป็นข้อสังเกตว่าการคายลมออกจากห้องลมไม่หมด ยังคงมีการซ็อกของการไหลของอากาศ อีกทั้งผลของการแกว่งของสัญญาณจะยังมีความรุนแรงมากขึ้น ไปเรื่อยๆซึ่งในทางปฏิบัติผลจากการแกว่งของสัญญาณจะทำให้วาล์วบังคับทิศทางเกิดเสียงดังและทำให้อายุการใช้ของวาล์วลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบพี-ไอเมื่อทำการปรับค่าตัวคูณ ให้ผลการทำงานดีกว่าการควบคุมแบบพีซซี พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองโดยที่ไม่มีการแกว่งของสัญญาณและเมื่อทำการปรับการพิมพ์ของกระดาษให้มีจำนวน 6 และ 5 แผ่นต่อคาบเวลา 50 คาบการควบคุมแบบพี-ไอ ยังมีผลการทำงานที่ดีกว่าการควบคุมแบบพีซซี พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง และการควบคุมแบบพีซซี พี-ไอเช่นกัน

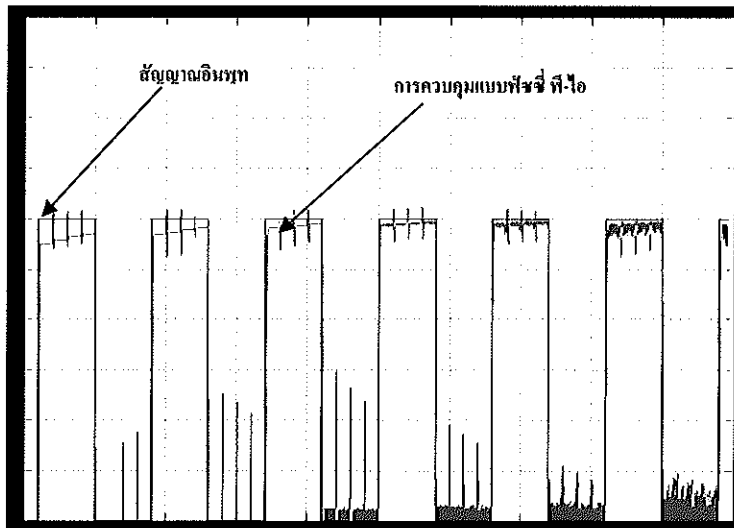
4.5 การทดลองจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซซี พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองเมื่อมีการปรับระดับของสัญญาณอินพุต

แนวคิดลำดับต่อมาสำหรับการทดลองคือกระดาษสำหรับใช้ในการพิมพ์หลายนูนมีหลากหลายขนาดตามลักษณะของน้ำหนักรต่อแผ่น นั้นหมายถึงความหนาของกระดาษ ดังนั้นในการทดลองลำดับต่อไปเป็นการทดลองปรับเปลี่ยนระดับความดันอากาศในการให้กระบอกสูบลมพิมพ์หลายนูนบนกระดาษ โดยจะปรับเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับการควบคุมในระดับต่างๆ และบันทึกผลการทดลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์



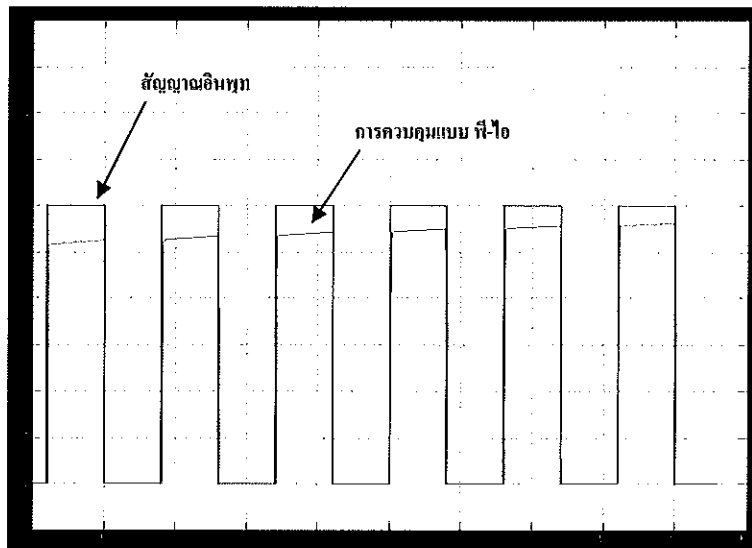
ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-33 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบพีซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง เมื่อมีการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าขนาด $6 V_{dc}$ พิมพ์ 6 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา



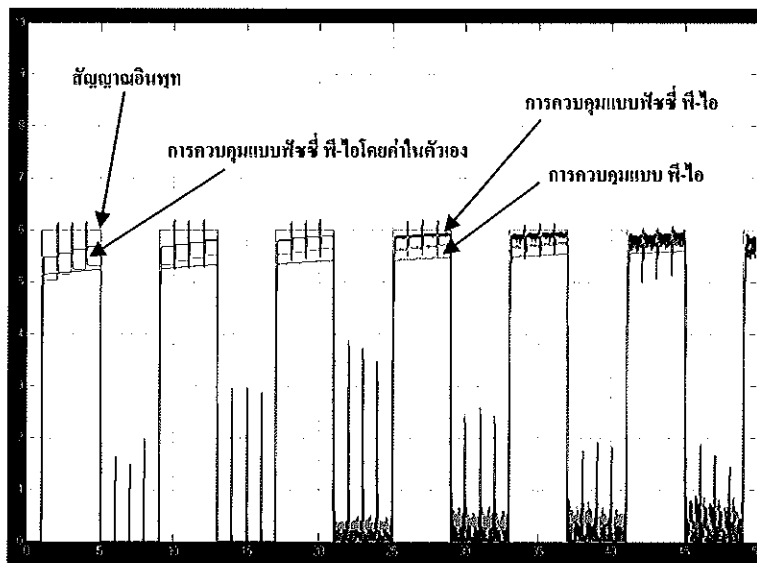
ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-34 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกลูกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบพีซีพี-ไอ เมื่อมีการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าขนาด $6 V_{dc}$ พิมพ์ 6 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา



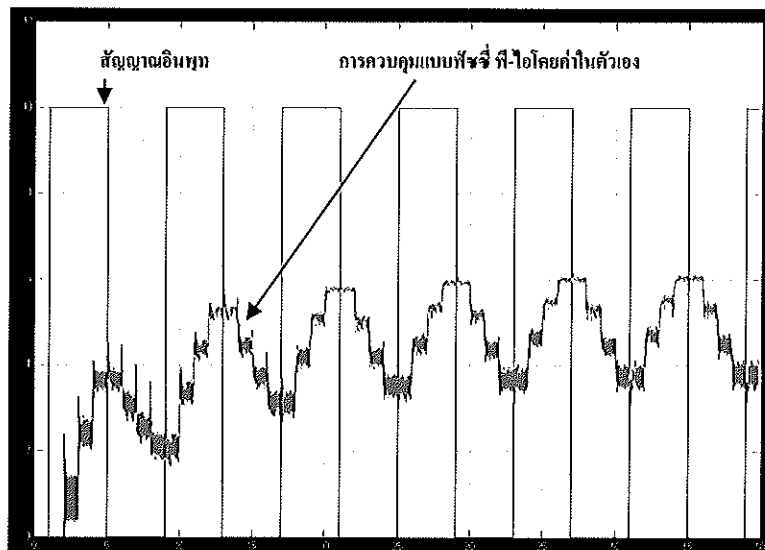
ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-35 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบ พี-ไอ เมื่อมีการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าขนาด $6 V_{dc}$ พิมพ์ 6 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา



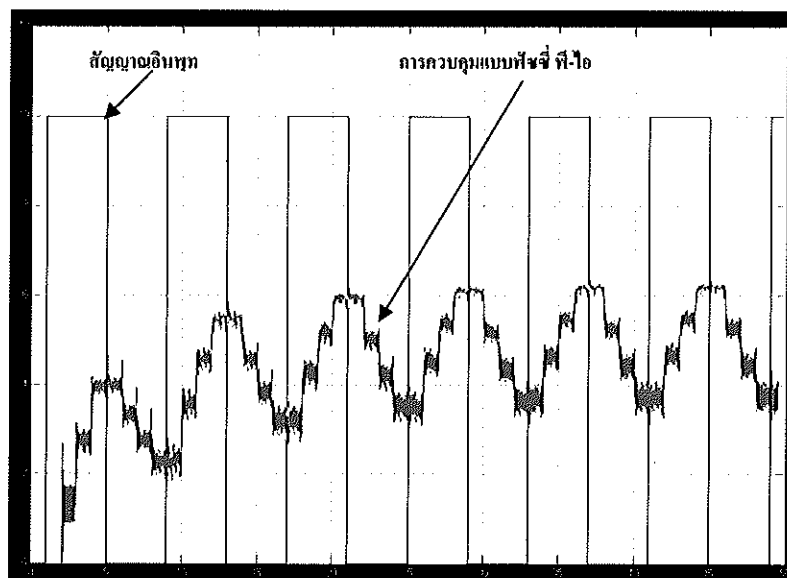
ช่องสัญญาณ 1 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-36 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบพีซซี พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบพีซซี พี-ไอและการควบคุมแบบ พี-ไอ เมื่อมีการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าขนาด $6 V_{dc}$ พิมพ์ 6 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา



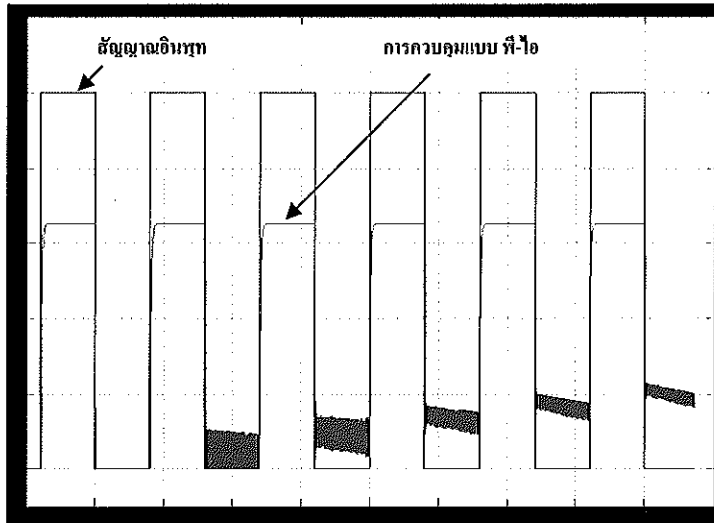
ช่องสัญญาณ 2 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-37 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบพีซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง เมื่อมีการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าขนาด $10 V_{dc}$ พิมพ์ 6 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา



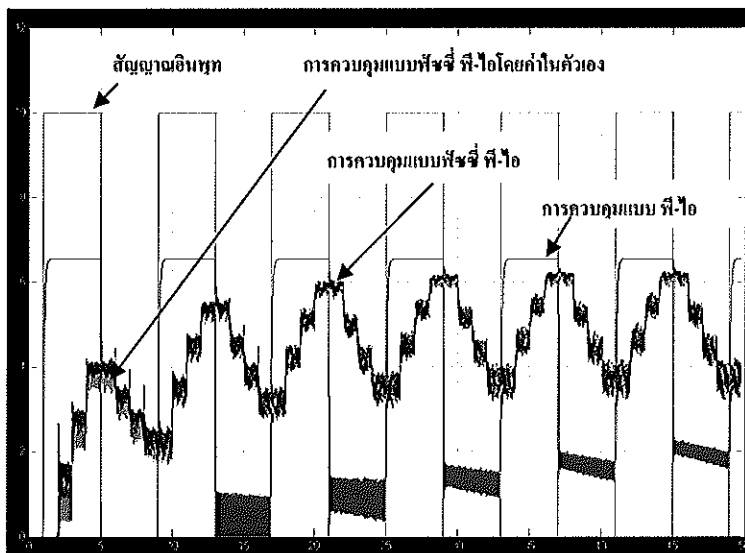
ช่องสัญญาณ 2 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-38 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบพีซีพี-ไอ เมื่อมีการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าขนาด $10 V_{dc}$ พิมพ์ 6 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา



ช่องสัญญาณ 2 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-39 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบ พี-ไอ เมื่อมีการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าขนาด $10 V_{dc}$ พิมพ์กระดาษ 6 แผ่นในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา



ช่องสัญญาณ 2 V/ช่อง เวลา 5 วินาที/ช่อง

ภาพประกอบ 4-40 ผลการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบฟัซซี่ พี-ไอและการควบคุมแบบ พี-ไอ เมื่อมีการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าขนาด $10 V_{dc}$ พิมพ์กระดาษ 6 แผ่น ในช่วงการทำงานรวม 50 คาบเวลา

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.5 การทดลองจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมโดยวิธีการควบคุมแบบพีซีพี พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองเมื่อมีการปรับระดับของสัญญาณอินพุต การทดลองจะแบ่งระดับสัญญาณอินพุตออกเป็น 2 ระดับคือ $6 V_{dc}$ และ $10 V_{dc}$ ส่วนระดับแรงดัน $8 V_{dc}$ ผลการทดลองจะอยู่ในหัวข้อการทดลอง 4.4 นอกเหนือจากระดับแรงดันที่ได้กำหนดไว้ครั้งแรก คือ $8 V_{dc}$ ซึ่งนำผลที่ได้ในครั้งแรกไปคำนวณหาและกำหนดตัวคูณค่าที่ดีที่สุดสำหรับแรงดันอินพุต $8 V_{dc}$ แต่เมื่อมีการปรับเปลี่ยนระดับแรงดันอินพุตโดยตัวคูณค่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงผลที่ได้คือ เมื่อปรับระดับแรงดันอินพุตเป็น $6 V_{dc}$ ผลตอบสนองของอุปกรณ์นิวเมติกส์ช่วงขอบบนของการควบคุมทั้ง 2 แบบมีการลู่เข้าเป้าหมายซ้ำอีกทั้งการควบคุมแบบพีซีพี พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองและการควบคุมแบบพีซีพี พี-ไอ ยังส่งผลให้เกิดโอเวอร์ชูท และส่วนช่วงขอบล่างยังคงมีการแกว่งของสัญญาณในขณะที่การควบคุมแบบพี-ไอไม่มีการแกว่งของสัญญาณ และเมื่อปรับระดับแรงดันอินพุตเป็น $10 V_{dc}$ ผลการตอบสนองของอุปกรณ์นิวเมติกส์ช่วงขอบบนของการควบคุมของควบคุมแบบพี-ไอ จะลู่เข้าสู่เป้าหมายได้เร็วกว่าการควบคุมแบบพีซีพี พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง ไม่มีโอเวอร์ชูทแต่ยังคงมีผลของการแกว่งของสัญญาณซึ่งมีความรุนแรงกว่าเมื่อปรับระดับแรงดันอินพุตเท่ากับ $8 V_{dc}$ และ $6 V_{dc}$ ส่วนผลการทำงานของการควบคุมแบบพีซีพี พี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองช่วงขอบบนและขอบล่างมีการแกว่งของสัญญาณรุนแรงเป็นอันตรายกับอุปกรณ์นิวเมติกส์ซึ่งไม่สมควรนำมาใช้งานเป็นอย่างยิ่ง

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้กล่าวถึงสรุปผลการวิจัยที่ได้ดำเนินการสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ รวมทั้งข้อเสนอแนะต่างๆ ที่จะเป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยด้านระบบนิวมิติกส์

5.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการควบคุมแบบพีซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง สมการคณิตศาสตร์ของวาล์วบังคับทิศทาง 5/3 ทำงานแบบสัดส่วนและกระบอกสูบลมแบบ 2 ทิศทางจากนั้นทำการทดลองจำลองภายใต้เงื่อนไขต่างๆหลายรูปแบบเปรียบเทียบกับการควบคุมแบบพี-ไอ เช่น การปรับตัวคูณค่า การปรับคาบเวลาของอินพุท และการปรับระดับแรงดันอินพุท ลงบนโปรแกรม Matlab โดยใช้ควบคุมการเปิดปิดของวาล์วบังคับทิศทาง 5/3 ทำงานแบบสัดส่วนเพื่อให้อัตราการไหลของอากาศ และความดันส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบลมและแรงดันของก้านลูกสูบ ซึ่งทำการตรวจสอบความดันด้วยตัวเซนเซอร์ความดัน อีกทั้งยังได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการกับชุดฝึกพื้นฐานนิวมิติกส์ไฟฟ้าเพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของสมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวมิติกส์และยังใช้เป็นข้อมูลในการสร้างเงื่อนไขสำหรับการจำลองการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลม โดยวิธีการควบคุมแบบพีซีพี-ไอโดยปรับค่าในตัวเองเปรียบเทียบกับการควบคุมแบบพี-ไอ

ผลที่ได้รับจากการจำลองทั้ง 4 รูปแบบพบว่าการตอบสนองของการควบคุมเมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 2 รูป มีความใกล้เคียงกัน แต่ที่เห็นได้อย่างชัดเจนหรือเวลาในการประมวลผลสัญญาณซึ่งการควบคุมแบบพีซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองจะใช้เวลาในการประมวลผลนานกว่าการควบคุมแบบพี-ไอมาก อีกทั้งปัญหาที่พบกับการควบคุมทั้ง 2 วิธีสำหรับการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลมคือเรื่องของแกว่งของสัญญาณเมื่อให้อินพุทเป็นคาบเวลาช่วงขอบล่างของสัญญาณซึ่งส่งผลให้อุปกรณ์นิวมิติกส์มีอายุการใช้งานที่สั้นลงใกล้เคียงกันเช่น การควบคุมแรงกดแม่พิมพ์บนกระดาษ การควบคุมแรงกดในการอัดजूขวด หรืองานอื่นๆที่ต้องการควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลม สรุปผลการวิจัยจากการเริ่มศึกษาวิธีการควบคุม สมการคณิตศาสตร์

ของอุปกรณ์นิวเมติกส์ การทดลองในห้องปฏิบัติการ การจำลองลงบน โปรแกรม Matlab จนถึงผลการทดลองพบว่า การควบคุมแรงกดจากกระบอกสูบลม ไม่เหมาะกับการควบคุมโดยวิธีแบบพีซีซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเอง ด้วยเหตุผลเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบ พี-ไอซึ่งเป็นวิธีการควบคุมแบบทั่วไปคือ

1. ความซับซ้อนของวิธีการควบคุมมากกว่า ดังนั้นในการจำลองจะต้องใช้เวลาในการเขียนคำสั่งนานกว่า ซับซ้อนยุ่งยากกว่า

2. ใช้เวลาในการประมวลผลนานกว่า

3. ให้ผลการตอบสนองช้ากว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงอินพุท

4. ไม่มีหลักการคำนวณหาค่าตัวคูณที่แน่นอน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. วิธีการควบคุมแบบพีซีซีพี-ไอ โดยปรับค่าในตัวเองเหมาะสำหรับการควบคุมกับระบบที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูงๆ และไม่เหมาะกับการควบคุมระบบที่มีการทำงานเป็นคาบเวลา

2. การศึกษาตัวแปรสมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวเมติกส์ควรมีการทวนสอบเนื่องด้วยตัวแปรบางตัวไม่มีผลกับการควบคุมสามารถกำหนดให้มีค่าเท่ากันหรือละเว้นได้ ขึ้นอยู่กับความต้องการควบคุมตัวแปรใด

3. การทดลองในห้องปฏิบัติการควรมีการทดลองซ้ำๆ และเปรียบเทียบผลการทดลองจนกว่าค่าที่ได้จะคงที่ เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองที่ถูกต้อง

บรรณานุกรม

- [1] T. Matsukuma , A. Fujiwara , M. Namba and Y. Ishida , "Non-Linear PID Controller Using Neural Network", IEEE Proceeding 2 International Conference on Neural Networks , pp. 811-814, 1997.
- [2] S. Tong , T. Wang , J. T. Tang , " Fuzzy adaptive output tracking control of nonlinear systems", Fuzzy sets and Systems, vol. 111, pp.169 – 182, 2000.
- [3] R. K. Mudi and N. R. Pal, "A self - tuning fuzzy PI controller", Fuzzy Sets and Systems, vol. 115, No. 2, pp. 327-338, 2000.
- [4] S. Hameed, B. Das and V. Pant , "A self-tuning fuzzy PI controller for TCSC to improve power system stability", Electric Power Systems Research, vol. 78 , pp. 1726 - 1735, 2008.
- [5] M.Sorli,L. Gastaldi,E.Codina and S. De las Heras , "Dynamic Analysis of Pneumatic Actuators", Simulation Practice and Theory 7, pp.587 – 602, 1999.
- [6] H.Kazerooni, "Pneumatic Force Control for Robotic Systems", IEEE, pp.231-236 , 2004
- [7] รัชชัย ทางรัตนสุวรรณ "วิศวกรรมระบบควบคุม" ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2550
- [8] กนต์ธร ชำนิประศาสน์, จิระพล ศรีเสรีภูผล, อัยญาอุษ รอดพ่าย, เกรียงศักดิ์ วิเศษรินทอง, นายเจม ธิง ปรารธนาธิกษ์, "ระบบควบคุมอัตโนมัติ", คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี , Hertext make-up protocol (html) , Available: <http://www.sut.ac.th/e-texts/Eng/Automatic/chapter64.htm>
- [9] พยุง มีสีจ, 2551, "ระบบกฎแบบฟัซซี่", คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, Portable Document Format (PDF), Available: http://smit123club.net/download/phayung76255122142_51.pdf
- [10] I. L.Krivts and German V.Krejinin , "Pneumatic Actuating Systems for Automatic Equipment" ,Taylor&Francis Group, 2006.
- [11] J.G. Ziegler and N.B. Nichols, "Optimum Settings for Automatic Controllers", ASME Trans.64, pp.759-768 , 1942
- [12] F. B.C.Cruz, Victor J.De Negri and Raul Guenther, "Mathematical Modeling of an Electropneumatic Pressure Regulator Servo-Valve" ABCM Symposium Series in Mechatronic, vol.1, pp.725-734 , 2004

- [13] J.M. Tressler, T. Clement, H. Kazerooni, M.Lim, "Dynamic Behavior of Pneumatic Systems for Lower Extremity Extenders", Proceeding of the IEEE 2002 International Conference on Robotics and Automation, pp.3248-3253, 2002.

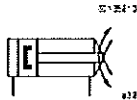
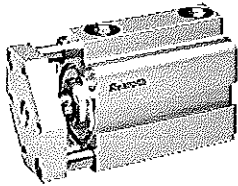
ภาคผนวก ก

ข้อมูลคุณลักษณะเฉพาะของกระบอกสูบลม

Piston rod cylinders → Short-stroke and compact cylinders

Series KHZ

► Ø 16 - 100 mm ► Ports: M5 - G 1/4 ► double-acting ► with magnetic piston ► cushioning: elastic ► piston rod: non-rotating, internal thread



Compressed air connection	internal thread
Ambient temperature min./max.	-25°C / +80°C
Medium temperature min./max.	-25°C / +80°C
Medium	Compressed air
Max. particle size	50 µm
Oil content of compressed air	0 mg/m ³ - 5 mg/m ³
Pressure for determining piston forces	6,3 bar

Materials:	
Cylinder tube	Aluminum, anodized
Piston rod	Stainless steel
Piston	Nitrile rubber
End cover	Aluminum
Scraper	Polyurethane

Technical Remarks

- The pressure dew point must be at least 15 °C under ambient and medium temperature and may not exceed 3 °C.
- The oil content of air pressure must remain constant during the life cycle.
- Use only the approved oils from Bosch Rexroth, see chapter „Technical Information“.

Piston Ø	[mm]	16	20	25	32	40	
Retracting piston force	[N]	95	148	260	435	720	
Extending piston force	[N]	127	198	309	507	792	
Impact energy	[J]	0.06	0.08	0.1	0.16	0.24	
Weight	0 mm stroke	[kg]	0.084	0.092	0.178	0.195	0.285
	+10 mm stroke	[kg]	0.102	0.111	0.202	0.281	0.367
Working pressure min./max.	[bar]	1 - 10	1 - 10	1 - 10	0.6 - 10	0.6 - 10	
Note		1)	1)	1)	2)	2)	

Piston Ø	[mm]	60	63	80	100	
Retracting piston force	[N]	1110	1766	2857	4639	
Extending piston force	[N]	1237	1964	3167	4948	
Impact energy	[J]	0.32	0.38	0.38	0.5	
Weight	0 mm stroke	[kg]	0.388	0.636	1.222	2.385
	+10 mm stroke	[kg]	0.458	0.726	1.442	2.631
Working pressure min./max.	[bar]	0.6 - 10	0.6 - 10	0.6 - 10	0.6 - 10	
Note		2)	2)	2)	2)	

- 1) Material front cover: Brass
2) Material front cover: Aluminum

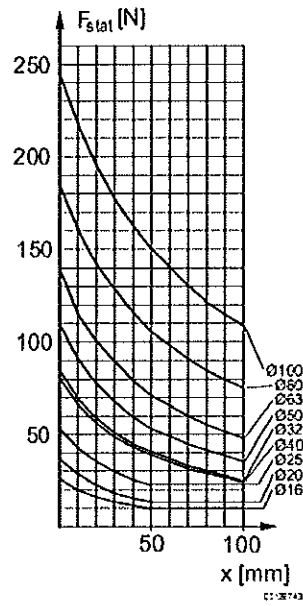
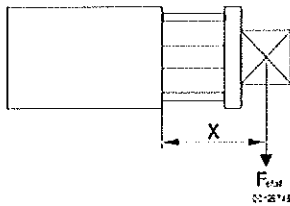
Piston rod cylinders → Short-stroke and compact cylinders

Series KHZ

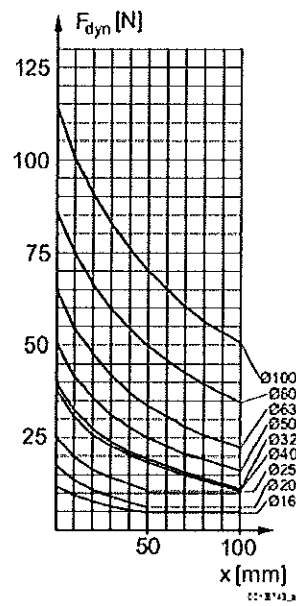
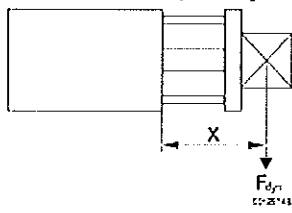
► Ø 16 - 100 mm ► Ports: M5 - G 1/4 ► double-acting ► with magnetic piston ► cushioning: elastic ► piston rod: non-rotating, internal thread

Piston Ø Ports	16	20	25	32	40
	M5	M5	G 1/8	G 1/8	G 1/8
Stroke 10	0822010811	0822010821	0822010831	0822010841	0822010851
15	0822010812	0822010822	0822010832	0822010842	0822010852
20	0822010813	0822010823	0822010833	0822010843	0822010853
25	0822010814	0822010824	0822010834	0822010844	0822010854
30	0822010815	0822010825	0822010835	0822010845	0822010855
40	0822010816	0822010826	0822010836	0822010846	0822010856
50	0822010817	0822010827	0822010837	0822010847	0822010857
80	-	-	-	0822010848	0822010858
100	-	-	-	0822010849	0822010859
Piston Ø Ports	50	63	80	100	
	G 1/8	G 1/8	G 1/4	G 1/4	
Stroke 10	0822010861	0822010871	0822010881	0822010891	
15	0822010862	0822010872	-	-	
20	0822010863	0822010873	-	-	
25	0822010864	0822010874	0822010884	0822010894	
30	0822010865	0822010875	-	-	
40	0822010866	0822010876	-	-	
50	0822010867	0822010877	0822010887	0822010897	
80	0822010868	0822010878	0822010888	0822010898	
100	0822010869	0822010879	0822010889	0822010899	

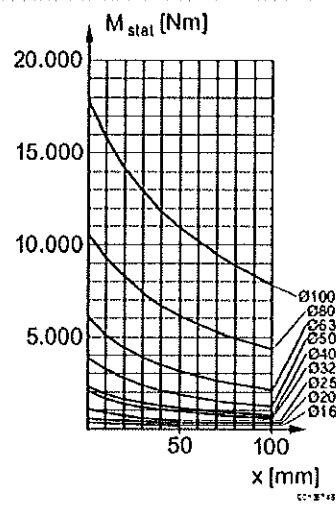
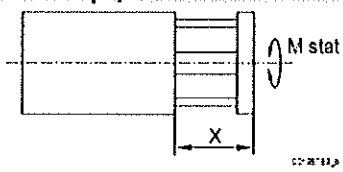
Maximum permissible lateral force, Static



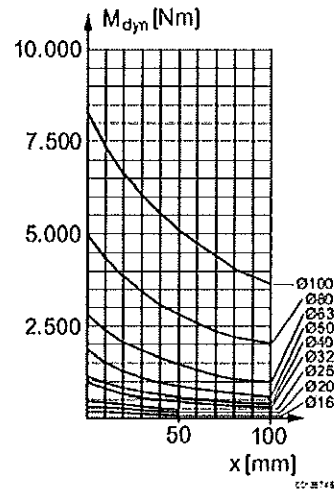
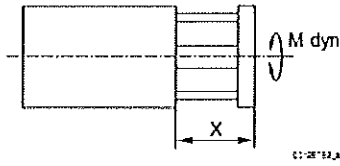
Maximum permissible lateral force, Dynamic



Max. permissible torque, Static



Max. permissible torque, Dynamic



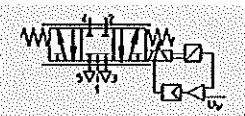
ข้อมูลคุณลักษณะเฉพาะของวาล์วบังคับทิศทางแบบสัดส่วน 5/3 ทำงานด้วยไฟฟ้า

Proportional directional control valves MPYE

FESTO

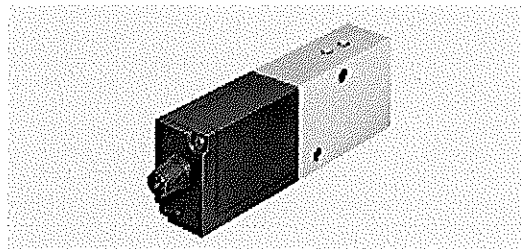
Technical data

Function



Variants

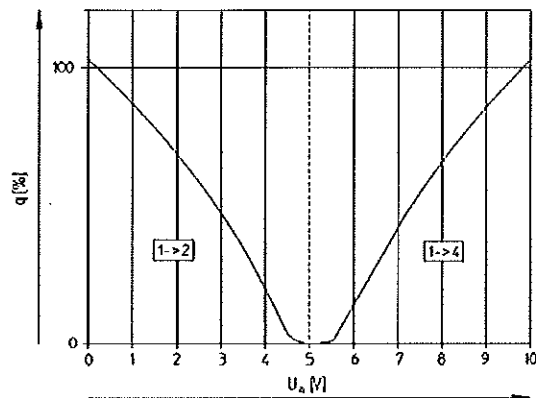
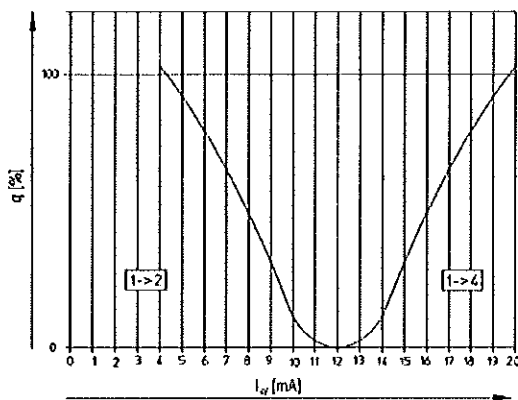
- Setpoint value input as analogue voltage signal 0 ... 10 V
- Setpoint value input as analogue current signal 4 ... 20 mA



- Voltage
17 ... 30 V DC
- Flow rate
100 ... 2 000 l/min
- Pressure
0 ... 10 bar

General technical data

Pneumatic connection	M5	G1/4		G1/4	G3/8	
		Low flow	High flow			
Valve function	5/3-way, normally closed					
Constructional design	Piston spool, directly actuated, controlled piston spool position					
Sealing principle	Hard					
Actuation type	Electrical					
Type of reset	Mechanical spring					
Type of pilot control	Direct					
Direction of flow	Non-reversible					
Type of mounting	Via through-holes					
Mounting position ¹⁾	Any					
Operating medium	Compressed air, filtered (to 5 µm), unlubricated					
Nominal size	[mm]	2	4	6	8	10
Standard nominal flow rate	[l/min]	100	350	700	1 400	2 000
Product weight	[g]	290	330	330	530	740

Voltage type MPYE-5...-010-BFlow rate q at 6 → 5 bar as a function of the setpoint voltage U_s **Current type MPYE-5...-420-B**Flow rate q at 6 → 5 bar as a function of the setpoint current intensity I_w 

Electrical data		M5	G3/4 Low flow	G1/2 High flow	G3/4	G3/4
Pneumatic connection		M5	G3/4 Low flow	G1/2 High flow	G3/4	G3/4
Power supply	[V DC]	17 ... 30				
Max. current consumption	in mid-position	[mA]	100			
	at full stroke	[mA]	1 100			
Setpoint value	Voltage type	[V DC]	0 ... 10			
	Current type	[mA]	4 ... 20			
Max. hysteresis ¹⁾	[%]	0.4				
Valve mid-position	Voltage type	[V DC]	5 (±0.1)			
	Current type	[mA]	12 (±0.16)			
Duty cycle ²⁾	[%]	100				
Critical frequency ³⁾	[Hz]	125	100	100	90	65
Safety setting		Active mid-position in the event of setpoint value cable break				
Protection against polarity reversal	Voltage type	For all electrical connections				
	Current type	For setpoint value				
Protection class		IP65				
Electrical connection		4 pin plug socket, round design, M12x1				

1) Referred to the maximum stroke of the piston spool.

2) The proportional direction control valve automatically switches off if it overheats (goes to mid-position) and switches back on once it cools down.

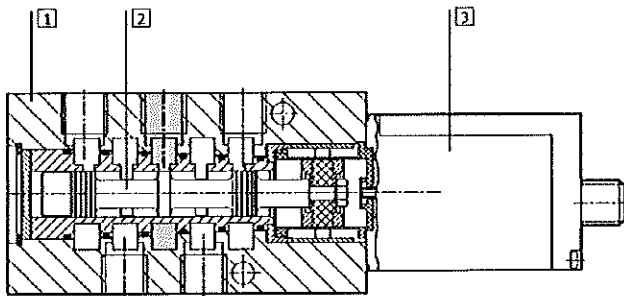
3) Corresponds to the 3dB frequency at the maximum movement stroke of the piston spool.

Operating and environmental conditions		
Operating pressure	[bar]	0 ... 10
Ambient temperature	[°C]	0 ... 50
Vibration resistance ¹⁾		To DIN/IEC 68 Parts 2-6, severity level 2
Continuous shock resistance ¹⁾		To DIN/IEC 68 Parts 2-27, severity level 2
CE symbol		To 89/336/EEC (EMC regulation)
Temperature of medium	[°C]	5 ... 40, condensation not permitted

1) If the proportional directional control valve is in motion during operation, it must be mounted at right angles to the direction of movement.

Materials

Sectional view



1	Housing	Anodised aluminium
2	Valve spool	Tempered aluminium
3	Housing for electronics	Galvanised acrylic butadiene styrene
-	Seals	Nitrile rubber

Terminal allocation



- 1 24 V DC, supply voltage
- 2 GND
- 3 U_{ref}/I_{ref} setpoint input
- 4 GND

Pneumatic connection	Voltage type 0 ... 10 mV		Current type 4 ... 20 mA	
	Part No.	Type	Part No.	Type
M5	154 200	MPYE-5-M5-010-B	162 959	MPYE-5-M5-420-B
G $\frac{3}{8}$	151 692	MPYE-5- $\frac{3}{8}$ LF-010-B	161 978	MPYE-5- $\frac{3}{8}$ LF-420-B
	151 693	MPYE-5- $\frac{3}{8}$ HF-010-B	161 979	MPYE-5- $\frac{3}{8}$ HF-420-B
G $\frac{1}{4}$	151 694	MPYE-5- $\frac{1}{4}$ -010-B	161 980	MPYE-5- $\frac{1}{4}$ -420-B
G $\frac{3}{8}$	151 695	MPYE-5- $\frac{3}{8}$ -010-B	161 981	MPYE-5- $\frac{3}{8}$ -420-B

ภาคผนวก ข

การศึกษาและทวนสอบสมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวเมติกส์ด้วยชุดทดลอง นิวเมติกส์ไฟฟ้าพื้นฐาน

A Study and Verification of a Mathematical Model of Pneumatic Actuators using a Basic Electropneumatic Test Set

สุพิพัฒน์ ทัศนชนากม¹, ณัฐชา จินดาเพชร², กุสุมาลย์ เฉลิมยานนท์³, อนูวัตร ประเสริฐสิทธิ์⁴

^{1,2,3,4}ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

E-mail:kanapacama@hotmail.com*

Suppat Panichitnakhom¹, Nattha Jindapetch², Kusumai Chalemyanont³, Anuwat Prasertsit⁴

^{1,2,3,4}Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112

E-mail:kanapacama@hotmail.com*

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาและทวนสอบสมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวเมติกส์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์บางตัวแปรที่เหมาะสมในสมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวเมติกส์ ซึ่งเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถหาค่าได้จากค่าการคำนวณโดยตรง เริ่มต้นโดยการศึกษาสมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวเมติกส์ซึ่งประกอบด้วยกระบอกลูกสูบแบบ 2 ทางและวาล์วบังคับทิศทางแบบสัดส่วน จากนั้นทำการจำลองลงบนโปรแกรม Matlab โดยหาค่าพารามิเตอร์บางตัวแปรต่าง ๆ ตามข้อมูลของกระบอกลูกสูบและวาล์วบังคับทิศทางลำดับต่อมาหากระบอกลูกสูบประกอบเข้าด้วยกันกับวาล์วบังคับทิศทางแบบสัดส่วนแล้วทำการทดสอบด้วยสัญญาณพื้นฐาน นำผลการจำลองจากโปรแกรม Matlab และผลการทดลองจากชุดฝึกมาเปรียบเทียบแล้วหาค่าพารามิเตอร์บางตัวแปรลงในสมการคณิตศาสตร์ ทำการทดลองซ้ำๆ เพื่อให้ผลการทดลองทั้งสองเหมือนกัน

Abstract

This paper presents a study and verification of a mathematical model of pneumatic actuators in order to find some parameters which cannot be directly calculated. The mathematical model of a pneumatic actuator composed of a double acting pneumatic cylinder and a proportional valve was simulated in Matlab by setting the parameters of the pneumatic cylinder and the proportional valve from the datasheets and the approximated values. Afterwards, an experiment was set up to verify the pneumatic actuator mathematical model by using a basic electropneumatic test set applied with fundamental signals. The parameters were

adjusted until both results from the Matlab simulation and the real experiment are correlated to each other.

1. บทนำ

ระบบนิวเมติกส์ได้ถูกนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมมากขึ้น ด้วยคุณสมบัติของระบบที่สะอาด ทำงานได้อย่างรวดเร็ว โครงสร้างระบบกลไกไม่ซับซ้อนบำรุงดูแลรักษาได้ง่าย และมีความปลอดภัยสูง แต่ด้วยความไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์นิวเมติกส์ ทำให้ยากต่อการควบคุมให้เกิดความแม่นยำ วิธีการควบคุมระบบนิวเมติกส์ซึ่งมีความซับซ้อนและค่าตัวแปรเฉพาะของอุปกรณ์บางตัวไม่สามารถกำหนดได้จากการคำนวณหรือจากบริษัทผู้ผลิต

ที่ผ่านมานักวิจัยได้นำเสนอแนวทางเกี่ยวกับการหาสมการคณิตศาสตร์ของกระบอกลูกสูบและวาล์วบังคับทิศทาง [3],[4] ซึ่งเป็นการศึกษาหาค่าตัวแปรต่าง ๆ ของกระบอกลูกสูบและวาล์วบังคับทิศทางแล้วนำมากำหนดเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ จากนั้นนำสมการที่ได้จากการศึกษามาทดลองจำลองลงบนโปรแกรม ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองยังไม่สามารถสรุปได้ว่าค่าตัวแปรต่างๆ ที่ถูกกำหนดลงในสมการทางคณิตศาสตร์ถูกต้อง

แนวคิดในการควบคุมระบบนิวเมติกส์เพื่อให้เกิดความถูกต้องจำเป็นต้องนำอุปกรณ์นิวเมติกส์มาทดสอบเพื่อเป็นการพิสูจน์ว่าค่าตัวแปรต่างๆ ในสมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวเมติกส์มีผลการทดลองไปในแนวเดียวกันกับผลการจำลอง โดยทำการทดลองกับชุดทดสอบที่ได้รับมาตรฐานในห้องปฏิบัติการซึ่งประกอบด้วยกระบอกลูกสูบ วาล์วบังคับทิศทาง เรนเซอร์ความดัน และชุดควบคุมแบบพีซีแล้วทดลองให้สัญญาณสี่เหลี่ยมซึ่งเป็นสัญญาณพื้นฐานขนาด 10 โวลต์ 5 คาบเวลาแล้วทำการบันทึก

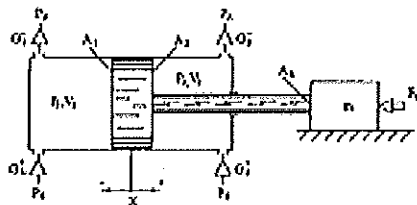
ศึกษาจากไดอะแกรมไฮดรอลิกต่อไป ซึ่งเป็นส่วนต่อไปทางการจำลองสมการกลไกไฮดรอลิก และอุปกรณ์ต่างๆ เพื่ออธิบาย การอุปกรณสำหรับทำการทดลองในห้องปฏิบัติการระบบไฮดรอลิกแบบ 2 ทาง ของ Mobil โดยกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ในสมการส่วนค่าตัวแปรที่ไม่ทราบค่าให้ค่าแทนเป็นค่าเริ่มต้นจากข้อมูลที่ได้รับการแนะนำ(ดู) ทำการประมวลผลแล้วบันทึกสัญญาณ จากนั้นนำผลการทดลองทั้งสองมาเปรียบเทียบแล้วทำการปรับค่าตัวแปรที่ไม่ทราบค่าในร่างต้นของ การจำลอง ทำการประมวลผลและปรับค่าตัวแปรซ้ำๆ จนกว่าผลการทดลองทั้งสองอยู่ในแนวทางเดียวกันเมื่อสามารถกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ที่ทำให้ค่าโดยประมาณได้ในสมการกลไกไฮดรอลิกที่ได้แล้วก็สามารถนำวิธีหาค่าควบคุมแบบต่างๆ ที่ออกแบบไว้มาใช้ร่วมกับสมการกลไกไฮดรอลิกของอุปกรณ์นิวเมติกส์ เพื่อผลการทดลองที่ถูกต้องยิ่งขึ้น

2. อุปกรณ์นิวเมติกส์

อุปกรณ์นิวเมติกส์ที่นำมาศึกษาประกอบด้วย กระบอกสูบแบบ 2 ทาง และวาล์วมีขั้วทิศทาง 3/3 แบบ 3/2 ส่วน มีโครงสร้างและสมการกลไกไฮดรอลิกดังนี้

2.1 กระบอกสูบแบบ 2 ทาง

รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของกระบอกสูบแบบ 2 ทาง ประกอบด้วยห้องลม 2 ห้อง คือห้องลม 1 และห้องลม 2 ซึ่งกันด้วยลูกสูบที่มีพื้นที่หน้าตัดต่างกันห้องลม 1 เป็น A_1 และพื้นที่หน้าตัดกันห้องลม 2 เป็น A_2 โดยลูกสูบกันห้องลม 2 จะเชื่อมกับแกนซึ่งใช้ในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ ระหว่างห้องลม 1 และห้องลม 2 จะมีรูสำหรับไหลไหลเข้าและไหลออกได้เพื่อเป็นการสร้างแรงให้ลูกสูบเคลื่อนที่ไปในระยะต่างๆ ที่ต้องการ



รูปที่ 1 โครงสร้างภายในของกระบอกสูบแบบ 2 ทาง สมการทางกลศาสตร์ของกระบอกสูบแบบ 2 ทางเมื่อค่าหนึ่งให้ (3)

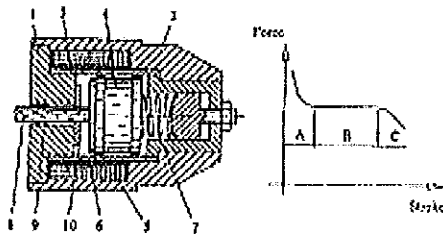
- ค่าซีที่ใช้งานเป็นค่าซีในอุดมคติ
- อุณหภูมิของก๊าซภายในและภายนอกห้องลมมีค่าเท่ากัน
- กรณีการไหลเป็นไปอย่างช้าๆ
- ไม่มีการรั่วซึม

ดังนั้นสมการกลไกไฮดรอลิกในห้องลม 1 มีค่าเท่ากับ
$$\dot{h}_1 = \frac{1}{V_{c1} + A_1 \cdot (0.5 \cdot L_c + x)} (G_1 \cdot R \cdot T_1 - G_1 \cdot R \cdot T_1 - P_1 \cdot A_1 \cdot \dot{x}) \quad (1)$$

สมการกลไกไฮดรอลิกในห้องลม 2 มีค่าเท่ากับ
$$\dot{h}_2 = \frac{1}{V_{c2} + A_2 \cdot (0.5 \cdot L_c - x)} (G_2 \cdot R \cdot T_2 - G_2 \cdot R \cdot T_2 + P_2 \cdot A_2 \cdot \dot{x}) \quad (2)$$

2.2 วาล์วมีขั้วทิศทางสามทางควบคุมด้วยไฟฟ้า (Electropneumatic Control Valves)

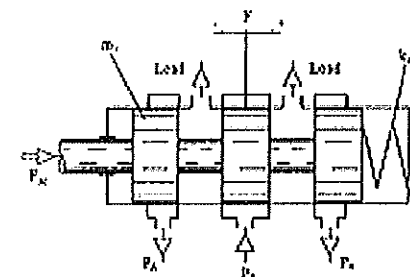
การทำงานและวาล์วมีขั้วทิศทางแบบ 3/2 ส่วนใช้หลักการแรงลมควบคุมอาร์เมเจอร์ และลมชุดใช้จากแรงเชิงกลโดยสปริงและแรงแม่เหล็กโดยกระแสไฟฟ้าที่ให้โดยตัวควบคุม แรงทางกลจะมีค่าตรงกันข้ามกับแรงแม่เหล็ก



รูปที่ 2 ก) โครงสร้างภายใน น) กราฟจุดลักษณะของแรง

จุดควบคุมของอุปกรณ์แบบ 3/2 ส่วน ก) แทนถึงโครงสร้าง น) จุดลักษณะของแรง รูปที่ 2 ก) โครงสร้างภายในของจุดควบคุมของอุปกรณ์แบบ 3/2 ส่วนจะประกอบด้วย ชิ้นส่วนซี่ (1) โครง (2) แกนกระบอก (3) และอาร์เมเจอร์ (4) ซึ่งทำจากวัสดุที่เป็นโลหะแม่เหล็ก แกนวงแหวน (8) ทำจากวัสดุที่ไม่เป็นแม่เหล็กใช้สร้างสนามแม่เหล็กควบคุมภายในช่องว่างระหว่างอาร์เมเจอร์ (4) และชิ้นส่วนซี่ (1) โคมที่ที่ปรตจะอยู่ในกระเปาะพลาสติกใกล้ตัวสั่งที่ไม่เป็นโลหะ (10) ปิดกันอาร์เมเจอร์ (4) ชิดกับชิ้นส่วนซี่ (1) เมื่อควบคุมหมดพลังงาน แกนกลาง (6) เชื่อมต่อกับอาร์เมเจอร์ (4) สปริงของแกนกลางเชื่อมต่อกับลิ้นวาล์ว สปริงลูกปืน (9) ใช้สำหรับพุ่งแกนกลาง

สมการกลไกศาสตร์ของวาล์วสามทางควบคุมด้วยไฟฟ้า



รูปที่ 3 โครงสร้างกลไกการทำงานของวาล์วแบบ 3/2 ส่วน

สมการความเสถียรในการไหลของวาล์ว

$$G = A_p \cdot \beta \cdot P_k \sqrt{\frac{2 \cdot k}{R \cdot T_m \cdot (k-1)}} \cdot \varphi(\sigma) \quad (3)$$

สมการการบิดของลมกับกฎของควบคุมตัวให้ค่า

$$\beta_1^* = \beta_2^* = \begin{cases} 1 & \text{if } U_c > U_{cs} \\ K_M \cdot U_c & \text{if } 0 \leq U_c \leq U_{cs} \\ 0 & \text{if } U_c < 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$\beta_2^* = \beta_1^* = \begin{cases} 1 & \text{if } U_c < -U_{cs} \\ -K_M \cdot U_c & \text{if } -U_{cs} \leq U_c \leq 0 \\ 0 & \text{if } U_c > 0 \end{cases} \quad (5)$$

ตารางที่ 1 ค่าอธิบายตัวแปร

ตัวแปร	ความหมาย
G_1^*, G_2^*	ปริมาณการไหลของลมเข้าระบบและออกจากระบบ
β	สัมประสิทธิ์การบิดของลม
x	ระยะที่จุดศูนย์กลางไหล
A_1, A_2	พื้นที่หน้าตัดของท่อในหัวระบบ ในระบบ 2 ของระบบ
V_1, V_2	ปริมาณของลมที่ไหลผ่านหัวระบบ 1 และหัวระบบ 2 ของระบบ
P_1, P_2	ค่าความดันภายในหัวระบบ ในระบบ 2 ของระบบ
T_1, T_2	อุณหภูมิของลมในหัวระบบ 1 และหัวระบบ 2 ของระบบ
A_{s1}, A_{s2}	พื้นที่หน้าตัดของท่อของระบบเข้า 1 และหัวระบบเข้า 2 สำหรับวาล์วควบคุมที่วางบนตัวถัง 5/3
P_1, P_2	ค่าแรงดันจากท่อส่งลมที่ระบบ และค่าแรงดันบรรยากาศ
R	ค่าคงที่ของแก๊ส
$\lambda = \frac{C_p}{C_v}$	ค่าคงที่
C_p	ค่าการเปลี่ยนพลังงานของปริมาตรที่
C_v	ค่าการเปลี่ยนพลังงานที่ความดันที่
L_1	ความยาวของระบบ
U_{cs}	หาค่าแรงดันไหลที่ใช้ในการควบคุม
σ_r	สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน
b_1, b_2	สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน
F_1, F_2	แรงเสียดทานในระบบส่งลมทางอากาศภายนอก

3. สมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวเมติกส์

จากกฎความสมดุลของนิวตันข้อ 2 แรงที่เกิดจากความดันลมและอุปกรณ์นิวเมติกส์ (1) (3) (5)

$$m \cdot \ddot{x} + b_r \cdot \dot{x} + F_1 + F_2 = P_1 \cdot A_1 - P_2 \cdot A_2 - P_3 \cdot A_3 \quad (6)$$

แปลงเป็นสมการลาปลาซ

$$P_1 A_1 - P_2 A_2 - P_3 A_3 - F_1 - F_2 = (ms^2 + b_r s) x \quad (7)$$

เมื่อ P_1 และ P_2 ให้สมการแปลงลาปลาซ สมการ (1) และ สมการ (2) ให้ทั้งสมการ (8) และ (9) ตามลำดับ เมื่อ

$$G_1 = G_1^* - G_1$$

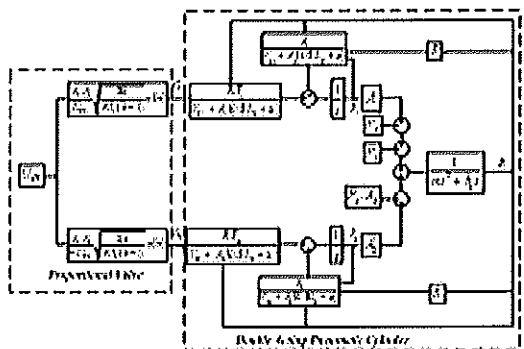
$$G_2 = G_2^* - G_2$$

$$\frac{G_1 \cdot R \cdot T - s P_1 (V_{01} + A_{10} (0.5 \cdot L_1 + x))}{A_1 \cdot s x} = P_1 \quad (8)$$

และ

$$\frac{s P_2 (V_{02} + A_{20} (0.5 \cdot L_1 - x)) + G_2 \cdot R \cdot T}{A_2 \cdot s x} = P_2 \quad (9)$$

โดยใส่ G_1 และ G_2 ให้จากสมการที่ (3) , (4) และ (5) เมื่อแทนค่าตั้งที่กล่าวมาทั้งหมดลงในสมการที่ (7) แล้วจะได้เป็นสมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวเมติกส์และเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมจะได้เป็นดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 รูปแบบการเขียนโปรแกรมระหว่างระบบควบคุมลม วาล์วบังคับทิศทางและสมการความสมดุลของแรง

4. การออกแบบการทดลอง

4.1 ตัวแปรที่ถือการหาค่า

จากรูปที่ 4 กำหนดค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้จากกระดาษกราฟของคณิตศาสตร์และข้อมูลค่ามาตรฐานของระบบควบคุมแบบ 2 ทาง Bosch รุ่น 0822010857 และ วาล์วบังคับทิศทาง 5/3 แบบสัดส่วน Festo MPYE-5-1/8H-F-010B ใช้ดังตารางที่ 2 และตารางที่ 3 (5) โดยค่าตัวแปรที่ถือการหาค่าคือค่าแรงเสียดทานสถิต (F_{s1}) และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (b_r) ซึ่งในครั้งแรกใช้กำหนดค่าตัวแปร

ตารางที่ 2 ค่าตัวแปรมาตรฐานสำหรับระบบควบคุมลม(5)

เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (mm)	แรงเสียดทานสถิต (นิวตัน)	แรงเสียดทานไดนามิก (นิวตัน)	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (นิวตัน/เมตร)
50	40-60	18-30	45-90

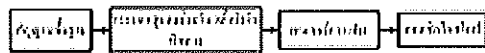
ตารางที่ 3 การกำหนดพื้นที่การทำงานของวาล์ว(5)

ค่ามาตรฐานสำหรับอัตราค่าไหลทั่วไป (Q_n (m ³ /s))	พื้นที่การทำงานของวาล์ว A_v (m ²)
$A_v \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot Q_n$	

4.2 รูปแบบการทดลองในห้องปฏิบัติการและข้อกำหนด

รูปที่ 5 แสดงรูปแบบการทดลองในห้องปฏิบัติการ และรูปที่ 6 แสดงภาพการวัดด้วยอุปกรณ์โดยใช้ชุดทดลองนิวเมติกส์ไฟฟ้าพื้นฐาน ของ Festo ในการทดลองกำหนดให้ใช้เงื่อนไขดังนี้

1. ใช้สัญญาณพื้นฐานรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก 10 VDC 5 คาบเวลา
2. แรงดันลมที่ใช้ขนาด 6 bar
3. ใช้เซนเซอร์ความดันเป็นตัวแปลงสัญญาณ 0-10 V:0-10 bar



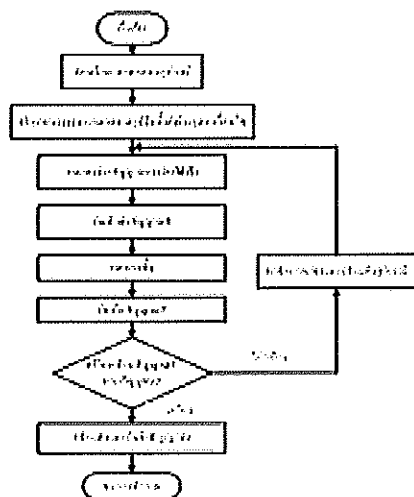
รูปที่ 5 รูปแบบการทดลองในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 6 การทดลองผลตอบสนองของอุปกรณ์นิวเมติกส์ในห้องปฏิบัติการ

4.3 ขั้นตอนการทดลอง

รูปที่ 7 แสดงขั้นตอนการทดลอง โดยนำผลการจำลองจากโปรแกรม Matlab และผลการทดลองจากชุดฝึกมาเปรียบเทียบ แล้วกำหนดค่าตัวแปรลงในสมการคณิตศาสตร์ เพื่อให้ผลการทดลองทั้งสองพ้องกัน

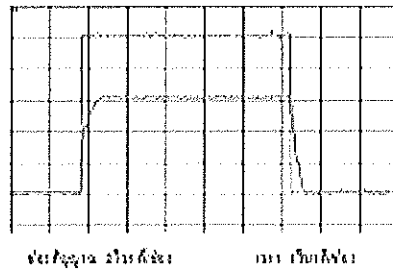


รูปที่ 7 ขั้นตอนการทดลอง

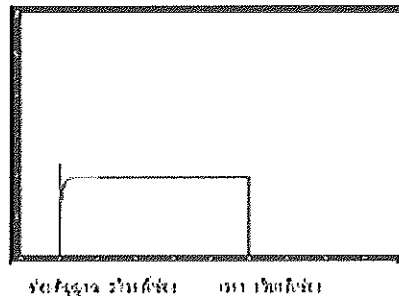
5. เปรียบเทียบผลการทดลองในห้องปฏิบัติการและผลการจำลอง

5.1 ผลการเปรียบเทียบ

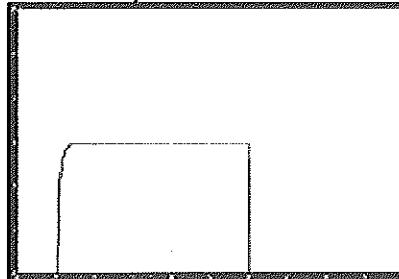
รูปที่ 8 แสดงผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ ผลการตอบสนองของเซนเซอร์วัดความดันในห้องลม A ระยะเวลา 1 วินาทีแรกเป็นลักษณะการสะสมความดันลมจนถึงระดับความดันที่คงที่การซึ่งคือระยะเวลาในการอัดตัวของก๊าซและช่วงเวลา 5 วินาทีหลังระยะเวลาการปล่อยความดันลมออกจากห้องลมของระบบออกสู่อากาศที่มีความดันเท่ากับความบรรยากาศ รูปที่ 9 เป็นผลการจำลองที่มีการกำหนดค่าตัวแปรสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (F_f) และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานแรงเฉื่อยคือ (b_1) ที่ค่าค่าคงที่ของตารางที่กำหนดให้ ให้มีผลตอบสนองที่เหมือนกันส่วนรูปที่ 10 เมื่อมีการปรับค่าตัวแปรแรงเสียดทานคือ (F_f) และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานแรงเฉื่อยคือ (b_1) มีความใกล้เคียงกันแก่ค่าที่รับมาของผลการทดลองและลักษณะความราบเรียบของสัญญาณ



รูปที่ 8 ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้สัญญาณพื้นฐานสี่มุมขนาด 10 VDC 5 คาบเวลา



รูปที่ 9 ผลการจำลอง

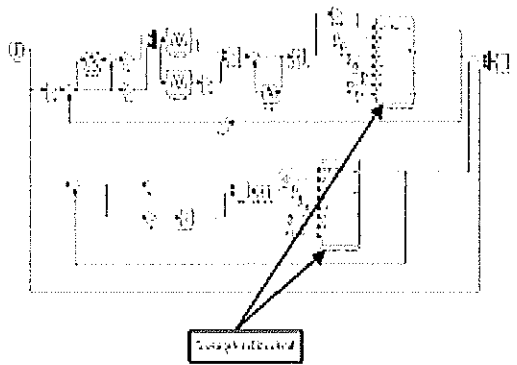


รูปที่ 10 ผลการจำลองเมื่อปรับตัวแปรใหม่

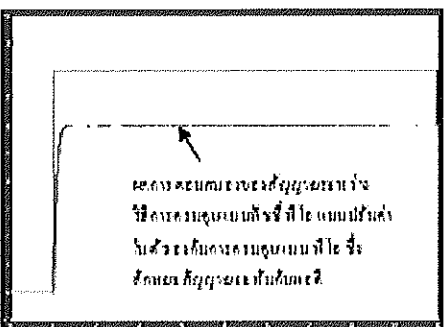
5.2 ตัวอย่างการนำสมการคณิตศาสตร์ไปใช้กับ

วิธีการควบคุม

ตัวอย่างการนำสมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวเมติกส์ไปใช้งานเป็นวิธีการควบคุมโดย วิธีพีอีซี พีไอแบบ ปรับค่าในตัวเครื่อง ซึ่งวิธีการนี้ได้ถูกนำเสนอโดยนักวิจัยต่างประเทศ(2) ได้กล่าวถึง ข้อดีของการควบคุมแบบนี้คือ มีความสามารถปรับค่าตัวคูณเพื่อทำให้กระบวนการทำงานเข้าสู่สภาวะปกติได้เร็วขึ้น เมื่อสัญญาณทางสถานะมีการเปลี่ยนแปลงแบบฉับพลันและยังสามารถควบคุมกระบวนการของระบบนิวเมติกส์ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีความไม่แน่นอนเชิงเส้น เช่นกัน ข้อดีของการควบคุมแบบนี้คือ มีระบบการควบคุมที่ซับซ้อนและใช้เวลาในการคำนวณมาก บทความนี้ได้ทดลองแสดงให้เห็นว่า PID ซึ่งทำได้ง่ายสามารถทดแทนกันได้ดี ขึ้นกับลักษณะงาน และบางตัวแปรไปก็มีผลมากตามการลดแรงดันได้หรือค่าหนักได้จากอัตราการลดลงต่างๆ เหมือนกับโมเดล



รูปที่ 10 การจำลองวิธีการควบคุมแรงกดจากกระบวนการควบคุมโดยวิธีการควบคุมแบบพีอีซี พีไอโดยปรับค่าในตัวเครื่อง เหมือนกับวิธีการควบคุมแบบพีไอ



รูปที่ 11 ผลการจำลองวิธีการควบคุมแรงกดจากกระบวนการควบคุมโดยวิธีการควบคุมแบบพีอีซี พีไอ โดยปรับค่าในตัวเครื่อง เหมือนกับวิธีการควบคุมแบบพีไอ

6. บทสรุป

จากการศึกษาและพิสูจน์สมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวเมติกส์พบว่าตัวแปรบางตัวสำหรับสมการสามารถลดแรงดันไปใช้หรือกำหนดให้มีค่าเท่ากันเนื่องจากจะช่วยลดความยุ่งยากและซับซ้อน อีกทั้งยังมีผลกับการทดลองน้อยมาก ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการควบคุมว่าจะควบคุมตัวแปรตัวใด เช่น ข้อดีของการควบคุมแรงควบคุมระบบการเคลื่อนที่ หรือข้อดีของการควบคุมความเร็วในเคลื่อนที่ ซึ่งตัวแปรที่ตัวควบคุมก็จะต่างกันไป จากการศึกษาเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการทดลองในห้องปฏิบัติการสิ่งที่แตกต่างกันคือ ขนาดของระดับสัญญาณซึ่งเป็นผลมาจากการวัดซึ่งอุปกรณ์นิวเมติกส์และความละเอียดของสัญญาณการวัดที่ใช้ระบบการวัดระหว่างอุปกรณ์นิวเมติกส์ ออกซิเจนโลกโคป และแรงดันอื่นทุกที่ตัวแปร ซึ่งเป็นกรณีเชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ต่างกัน ชุดท้ายวัตถุประสงค์ของบทความนี้คือต้องการกำหนดค่าตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับแรงเคลื่อนที่(F_p) ค่าสัมประสิทธิ์แรงเคลื่อนที่ตามแรงเคลื่อนที่ (b_p) โดยมีการปรับค่าตัวแปรแล้วทำการทดลองแบบต่างๆ เพื่อให้ผลการทดลองทั้งสองมีค่าเหมือนกัน

เอกสารอ้างอิง

- (1) N. Qian, J. Ruan and W. Li, "Study of Pneumatic Servo Loading System in Double-Sided Polishing", International Symposium on Instrumentation Science and Technology, Series 48, pp.1238 - 1242, 2006.
- (2) R. K. Modi and N. R. Pal, "A self-tuning fuzzy Pi controller", Fuzzy Sets and Systems, vol. 115/No. 2, pp. 327-338, 2003.
- (3) M. Sorli, L. Gasla'd, E. Godina and S. De las Heras, "Dynamic Analysis of Pneumatic Actuators", Simulation Practice and Theory 7, pp 557 - 602, 1999.
- (4) J.M. Tressler, T. Clement, H. Kazerooni and M. Um, "Dynamic Behavior of Pneumatic Systems for Lower Extremity Extenders", Proceeding of the 2002 IEEE International Conference on Robotics & Automation Washington DC, May 2002
- (5) Igor L.Krivits and German V.Krejcin, "Pneumatic Actuating Systems for Automatic Equipment", Taylor & Francis's Group, 2008.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายสุพิพัฒน์ พานิชรนาคม

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5010120117

วุฒิการศึกษา

วุฒิ

ชื่อสถาบัน

ปีที่สำเร็จการศึกษา

ครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
(วิศวกรรมไฟฟ้า)

2539

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับระหว่างการศึกษา)

- ทุนค่าเล่าเรียนของนักศึกษามัธยมศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

สุพิพัฒน์ พานิชรนาคม, ญัญฐา จินดาเพ็ชร , กุสุมาลย์ เถลิษยานนท์ และอนุวัตร ประเสริฐสุทธิ
“การศึกษาและทวนสอบสมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวมติกส์ด้วยชุดทดลองนิวม
ติกส์ไฟฟ้าพื้นฐาน”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ครั้งที่ 9 , 2-3 พฤษภาคม 2554, 246-251