

รายงานผลการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2540

เสนอคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



การพัฒนาระบบควบคุมทางอุตสาหกรรมด้วยฟัซซี่ลอจิก

A Development for Industrial Control System by Fuzzy Logic

RCH

TS

156.8

๗๕๘๗๘

เลขหมึ.....

เลขทะเบียน...30245...

วัน, เดือน, ปี 2.5...ส.ย. 2541

รายงานผลการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2540

เสนอคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

เรื่อง

การพัฒนาระบบควบคุมทางอุตสาหกรรมด้วยฟัซซีลอจิก

A Development for Industrial Control System by Fuzzy Logic

นายวิทยา ทิพย์สุวรรณพร หัวหน้าโครงการ
ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขณะนี้ได้ทำบทความขึ้น 2 ฉบับ เรียบร้อยแล้วโดยใช้ชื่อว่า “การออกแบบเครื่องควบคุม
อุณหภูมิโดยหลักการ PID-FUZZY บนไมโครโปรเซสเซอร์” และ “การควบคุมกระบวนการแบบพี
ไอดี-ฟัซซี โดยไมโครโปรเซสเซอร์” ซึ่งกำลังเตรียมส่งวารสารประชุมทางวิศวกรรมทางไฟฟ้า
ครั้งที่ 21 ในวันที่ 21-22 พฤศจิกายน 2541 ที่จะถึงนี้

การออกแบบเครื่องควบคุมอุณหภูมิโดยหลักการ PID - FUZZY บนไมโครโปรเซสเซอร์

PID - FUZZY Temperature Controller Based on Microprocessor Design

วิริยะ กอรัรัตน์ วิทยา ทิพย์สุวรรณพร สุพรรณ กุลพาณิชย์ ประภาส เจริญ

ภาควิชาเทคโนโลยีการวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

โทรศัพท์ 326-7346, 326-7347 โทรสาร 326-7346, 326-7347 ต่อ 103 E-mail kkviriya@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

การควบคุมแบบป้อนกลับโดยใช้ฟังก์ชัน PID มักจะพบมากกับเครื่องควบคุมในอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามการปรับแต่งพารามิเตอร์ PID จะถูกกระทำโดยผู้ชำนาญที่เข้าใจกระบวนการเป็นอย่างดี รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงจุดทำงานมักจะจำเป็นต้องปรับแต่งพารามิเตอร์ PID กันใหม่เสมอ บทความนี้จะนำเสนอวิธีการปรับแต่งพารามิเตอร์ PID ให้กับเครื่องควบคุมโดยอัตโนมัติ ซึ่งพารามิเตอร์ PID จะถูกสังเคราะห์จากข้อมูลของผู้ชำนาญตามการวินิจฉัยแบบ FUZZY เข้าสู่กระบวนการตัดสินใจและให้ค่าเอาต์พุตเป็นพารามิเตอร์ PID ส่งต่อเพื่อปรับแต่งเครื่องคุมทุกช่วงเวลาที่กำหนด ข้อวินิจฉัยต่างๆ และเงื่อนไขของกระบวนการภายใต้การควบคุม ได้ถูกประมวลผลไว้ล่วงหน้าด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์และนำข้อมูลเอาต์พุตที่ได้มาทำการโปรแกรมลงบนไมโครโปรเซสเซอร์ จากผลการทดลองเครื่องควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์กับกระบวนการทำความร้อนทำงานที่เงื่อนไขต่างๆ กัน ปรากฏว่าสามารถควบคุมได้ดี กระบวนการให้ผลตอบสนองเร็วและพุ่งเกินค่าเป้าหมายเพียงเล็กน้อยเป็นที่น่าพอใจจึงรายงาน

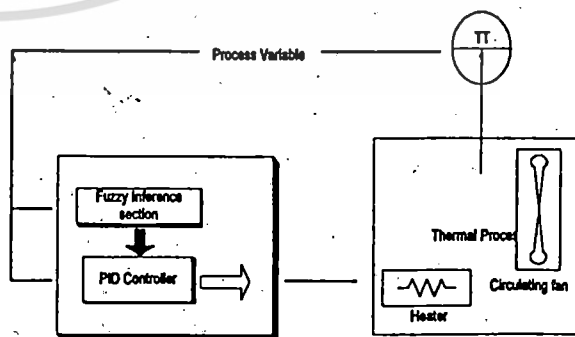
Abstract

The most industrial controller are used PID feedback controller. However parameter tuning may be adjusted by the expert in each industrial process. The operating point are changed PID tuning may be performed also. This paper presents the solution to automatically tuning the PID parameters. The PID parameters are synthesized by the data of expert by using FUZZY inference implementation and

forward through decision process, and then feed to PID function in specify period. The inference and conditions of system under controls are preprocessed by computer. These output data are programming on microprocessor. The experiment results, when the microprocessor and thermal process are combined and operated in any operating conditions. The control system are controllable. The overshoot and setting time of process response are satisfied as report are presented.

1. บทนำ

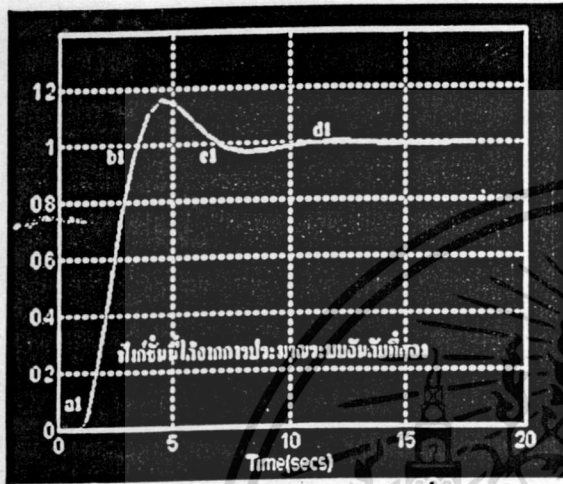
Fuzzy เป็นศัพท์เทคนิคโดยเฉพาะหมายถึงสภาพแห่งความกำกวมหรือคลุมเครือที่มีฐานมาจากสัญชาตญาณมนุษย์ มีลักษณะเด่นที่ให้คำจำกัดความของคุณภาพทางภาษาได้ดี เช่น สูง เตี้ย ดี เลว ร้อนมาก ร้อนปานกลาง ร้อน อุ่น หรือ เย็น ซึ่งจะเห็นว่าตัวแปรอุณหภูมิสามารถที่จะแยกระดับได้หลายๆ ระดับ หรือที่เรียกว่าระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปร ข้อดีอันนี้เองจึงสามารถนำข้อมูลของผู้เชี่ยวชาญมาใช้ในการออกแบบ Fuzzy rule ที่เหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานได้



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของวงรอบการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับบทความนี้ได้ทำการออกแบบ Fuzzy rule ของการปรับแต่งพารามิเตอร์ในเครื่องควบคุมแบบ PID ร่วมกับในกรรมวิธีของ Ziegler - Nichols โดยจะต้องรู้ค่า Ultimate gain และ Period หรือ Frequency ของกระบวนการก่อน (หาได้โดยการทดลองจริงกับกระบวนการ ผลการทดลอง)



รูปที่ 2 ผลตอบสนองของกระบวนการที่ต้องการ

2. หลักการ

เครื่องควบคุมแบบ PID เป็นการควบคุมแบบป้อนกลับ ที่มีฟังก์ชันระหว่างสัญญาณควบคุมคือค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างค่าเป้าหมายกับตัวแปรของกระบวนการที่ต้องการ

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d \cdot s \quad (1)$$

เมื่อ K_p, K_i, K_d เป็นอัตราขยายของ PID หรือ

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s \right) \quad (2)$$

เมื่อ $T_i = K_p / K_i$ และ $T_d = K_d / K_p$ และ T_i และ T_d เป็น

Integral และ Derivative Time constant ตามลำดับ ค่า Integral time constant ถูกกำหนดในเทอมของ Derivative time constant คือ

$$T_i = \alpha T_d \quad (3)$$

ค่าอัตราขยาย Integral จะหาได้ดังนี้

$$K_i = K_p / (\alpha \cdot T_d) = K^2 p / (\alpha \cdot K_d) \quad (4)$$

เมื่อให้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม สัญญาณควบคุมที่ไปจับกระบวนการภายใต้การควบคุมแล้ว ผลตอบสนองที่ได้จากกระบวนการจะเป็นดังรูปที่ 2

K_p และ K_d จะถูกกำหนดในพิกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$|K_p \min, K_p \max|$ และ $|K_d \min, K_d \max|$ เพื่อความสะดวกจะกำหนดให้อยู่ในพิกัด 0-1 ดังนั้น

$$K'p = (K_p - K_p \min) / (K_p \max - K_p \min)$$

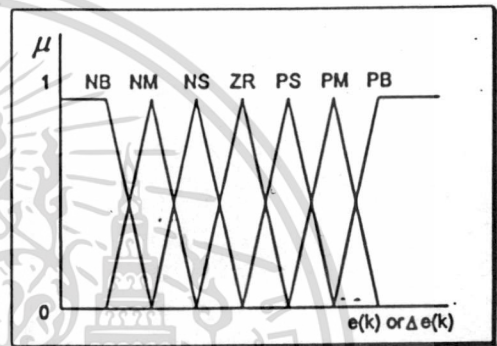
$$K'd = (K_d - K_d \min) / (K_d \max - K_d \min)$$

ค่าพารามิเตอร์ $K'p, K'd, \alpha$ จะถูกกำหนดโดยเซตของ Fuzzy rule ในรูปแบบ

IF $e(k) = A_i$ AND $\Delta e(k) = B_i$ THEN

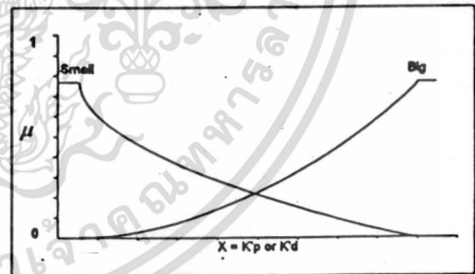
$$K'p = C_i \text{ AND } K'd = D_i \text{ AND } \alpha = \alpha_i$$

จะได้ Membership Function สำหรับ $e(k)$ และ $\Delta e(k)$ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 Fuzzy Set ของ $e(k)$ และ $\Delta e(k)$

และสำหรับ C_i และ D_i ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 Fuzzy Set ของ K_p และ K_d

และได้กำหนดระดับความเป็นสมาชิกของ MF ไว้ดังความสัมพันธ์ระหว่าง μ กับ $K'p$ หรือ $K'd$ คือ

$$\mu_{Small}(x) = (-1/4) \ln x \text{ หรือ } X_{Small}(\mu) = e^{4\mu}$$

$$\mu_{Big}(x) = (-1/4) \ln(1-x) \text{ หรือ } X_{Big}(\mu) = 1 - e^{4\mu}$$

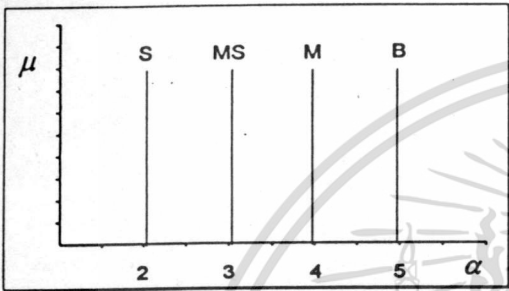
เมื่อพิจารณาในมุมมองของผู้ชำนาญ จากรูปที่ 2 ที่จุด a1 เครื่องควบคุม ควรมีค่า $K'p$ ที่ใหญ่ และค่า $K'd$ ที่เล็ก เพื่อให้จะให้เข้าหาค่าเป้าหมายจุด b1 ได้อย่างเร็ว (เราจะแทน $K'p$

ด้วย Fuzzy Set ที่ Big และ K'd ที่ Fuzzy Set ค่าย Small) ส่วน Ti จะมีค่าเป็น 4 เท่าของ Td ($\alpha=4$) ตามกรรมวิธีของ Ziegler - Nichols อย่างไรก็ตามเราต้องการ Ti ค่าเราจะให้ค่า $\alpha =$ Small ดังนั้น ข้อวินิจฉัยรอบจุด a1 จะได้ว่า

IF $e(k) = PB$ AND $\Delta e(k) = ZO$ THEN

$K'p = BIG, K'd = Small, \alpha = 2$

ให้ α เป็นระดับความเป็นสมาชิกเดี่ยว และ MF สำหรับ α ดังรูปที่ 5 $\alpha = 2$ เมื่อ $\alpha = Small$



รูปที่ 5 Fuzzy Set ของ α

ที่จุด b1 ควรให้ค่า $K'p$ ที่ค่าและ Kd สูงและ Ti ที่ต่ำ เพื่อหลีกเลี่ยงการพุ่งเกิน (Overshoot) ซึ่งความรู้เหล่านี้จะได้จากคู่ชำนาญที่มีลักษณะที่ไม่ชัดเจน เพื่อนำมาสร้างข้อวินิจฉัยทาง Fuzzy ไปกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับเครื่องควบคุม ซึ่งจะได้อธิบายต่อไป ดังนั้น ข้อวินิจฉัยรอบจุด b1 จะได้ว่า

IF $e(k) = ZO$ AND $\Delta e(k) = NB$ THEN

$K'p = Small, K'd = Big, \alpha = 5$

ดังนั้นกฎหรือข้อวินิจฉัยสำหรับ $K'p$ Tuning ดังตารางที่ 1 สำหรับ $K'd$ และ α ดังตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

		$K'p$						
		$\Delta e(k)$						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
$e(k)$	NB	B	B	B	B	B	B	B
	NM	S	B	B	B	B	B	S
	NS	S	S	B	B	B	S	S
	ZO	S	S	B	B	S	S	S
	PS	S	S	B	B	B	S	S
	PM	S	B	B	B	B	B	S
	PB	B	B	B	B	B	B	B

ตารางที่ 1 Fuzzy Rule ของ $K'p$ Tuning

		$K'd$						
		$\Delta e(k)$						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
$e(k)$	NB	S	S	S	S	S	S	S
	NM	B	B	S	S	S	B	B
	NS	B	B	B	S	B	B	B
	ZO	B	B	B	B	B	B	B
	PS	B	B	B	S	B	B	B
	PM	B	B	S	S	S	B	B
	PB	S	S	S	S	S	S	S

ตารางที่ 2 Fuzzy Rule ของ $K'd$ Tuning

		α						
		$\Delta e(k)$						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
$e(k)$	NB	2	2	2	2	2	2	2
	NM	3	3	2	2	2	3	3
	NS	4	3	3	2	3	3	4
	ZO	5	4	3	3	3	4	5
	PS	4	3	3	2	3	3	4
	PM	3	3	2	2	2	3	3
	PB	2	2	2	2	2	2	2

ตารางที่ 3 Fuzzy Rule ของ α

ทำการ Defuzification of Output โดยวิธี Center of Gravity ซึ่งจะได้ Table output ของ $K'p, K'd$ และ α ถูกแบ่งระดับของความเป็นสมาชิกไว้ 9 ระดับเพื่อได้ข้อมูลที่ละเอียดขึ้น ดังนี้

		$K'p$								
		-100	-75	-50	-25	0	25	50	75	100
α	-100	0.75	0.74	0.72	0.74	0.75	0.74	0.72	0.74	0.75
	-75	0.4	0.6	0.72	0.74	0.74	0.74	0.72	0.6	0.4
	-50	0.28	0.5	0.5	0.72	0.72	0.72	0.5	0.5	0.28
	-25	0.26	0.26	0.5	0.6	0.74	0.6	0.5	0.26	0.26
	0	0.24	0.26	0.28	0.4	0.75	0.4	0.28	0.26	0.24
	25	0.26	0.26	0.5	0.6	0.74	0.6	0.5	0.26	0.26
	50	0.28	0.5	0.5	0.72	0.72	0.72	0.5	0.5	0.28
	75	0.4	0.6	0.72	0.74	0.74	0.74	0.72	0.6	0.4
	100	0.75	0.74	0.72	0.74	0.74	0.74	0.72	0.74	0.75

ตารางที่ 4 ตาราง Output ของ $K'p$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

K'p									
	-100	-75	-50	-25	0	25	50	75	100
-100	0.24	0.26	0.28	0.26	0.24	0.26	0.28	0.26	0.24
-75	0.6	0.6	0.5	0.26	0.26	0.26	0.5	0.6	0.6
-50	0.72	0.72	0.5	0.5	0.28	0.5	0.5	0.72	0.72
-25	0.74	0.74	0.72	0.6	0.4	0.6	0.72	0.74	0.74
0	0.75	0.74	0.72	0.74	0.75	0.74	0.72	0.74	0.75
25	0.74	0.74	0.72	0.6	0.4	0.6	0.72	0.74	0.74
50	0.72	0.72	0.5	0.5	0.28	0.5	0.5	0.72	0.72
75	0.6	0.6	0.5	0.26	0.26	0.26	0.5	0.6	0.6
100	0.24	0.26	0.28	0.26	0.24	0.26	0.28	0.26	0.24

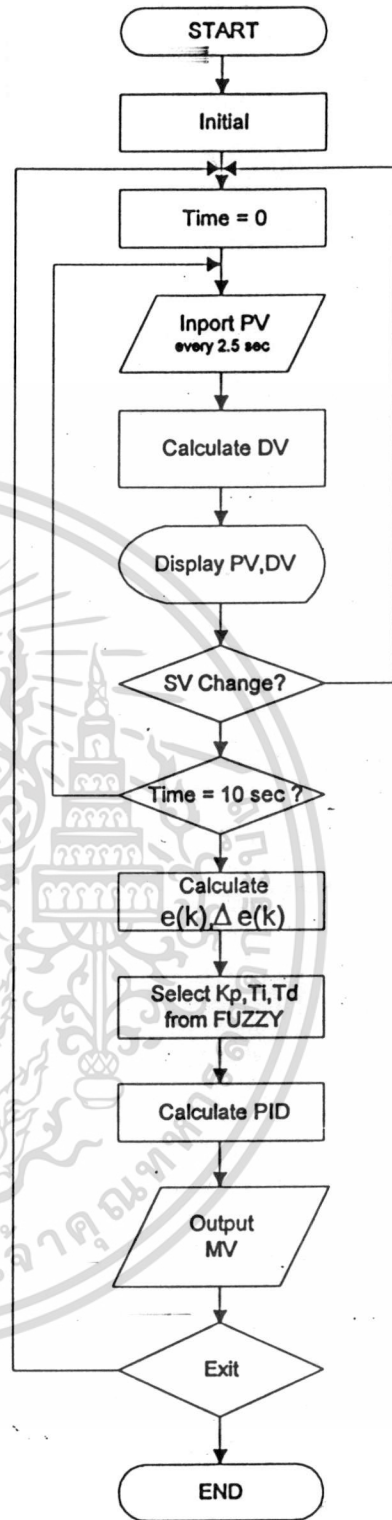
ตารางที่ 5 ตาราง Output ของ K'p

α									
	-100	-75	-50	-25	0	25	50	75	100
-100	2	2	2	2	2	2	2	2	2
-75	2.75	2.75	2.5	2	2	2	2.5	2.75	2.75
-50	3.5	3.33	2.5	2.5	2	2.5	2.5	3.33	3.5
-25	4.25	3.6	3.33	2.75	2.25	2.75	3.33	3.6	4.25
0	5	4.25	3.5	3	3	3	3.5	4.25	5
25	4.25	3.6	3.33	2.75	2.25	2.75	3.33	3.6	4.25
50	3.5	3.33	2.5	2.5	2	2.5	2.5	3.33	3.5
75	2.75	2.75	2.5	2	2	2	2.5	2.75	2.75
100	2	2	2	2	2	2	2	2	2

ตารางที่ 6 ตาราง Output ของ α

3. ไมโครโปรเซสเซอร์และการโปรแกรม

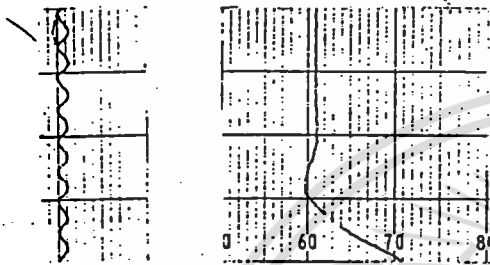
ไมโครโปรเซสเซอร์ที่ใช้เป็นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันทั่วไป ใช้ชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ 80C52 พร้อมกับวงจรแปลงแรงดันเป็นข้อมูลเชิงเลขและวงจรแปลงข้อมูลเชิงเลขเป็นแรงดัน ทั้งสองวงจรที่ได้กล่าวไปจะต้องมีวงจรปรับสถานะสัญญาณร่วมทำงานด้วย เพื่อให้สามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์ตรวจจับและอุปกรณ์จับสัญญาณในกระบวนการได้ และจะไม่ขอกกล่าวถึงรายละเอียดในบทความนี้ และเพื่อให้การพัฒนาโปรแกรมเป็นไปได้โดยง่ายจึงใช้วิธีการโปรแกรมร่วมกับซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ภาษาเบสิก



รูปที่ 7 การทำงานของโปรแกรม

4. การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองโดยวิธี Ultimate Sensivity Method ของ Ziegler - Nichols เพื่อหา Ultimate gain และ Period จากกระบวนการความร้อนที่เป็นหุ่นจำลองในการทดลองกับเครื่องควบคุม PID ที่มีอยู่และได้ผลการทดลองดังรูปที่ 8 (ตั้งอัตราเร็วของ Chart 200 mm/hr)



รูปที่ 8 บันทึกการทดลอง Ultimate Sensivity

4.2 คำนวณ Ziegler - Nichols Formula

$$P_u (\text{Ultimate Period}) = 6.6 \times (3600/200) \sim 120 \text{ sec.}$$

$$K_u (\text{Ultimate Gain}) = 25 \text{ (ได้จากเครื่องควบคุม)}$$

4.3 คำนวณ Fuzzy Output แปลง K^p , K^i และ α เป็นอัตรา

ขยาย K_p , K_i , K_d โดย

$$K_p = (K_{pmax} - K_{pmin}) \times K^p + K_{pmin}$$

$$K_d = (K_{dmax} - K_{dmin}) \times K^d + K_{dmin}$$

$$K_i = K_p^2 / (\alpha + K_d)$$

จะได้

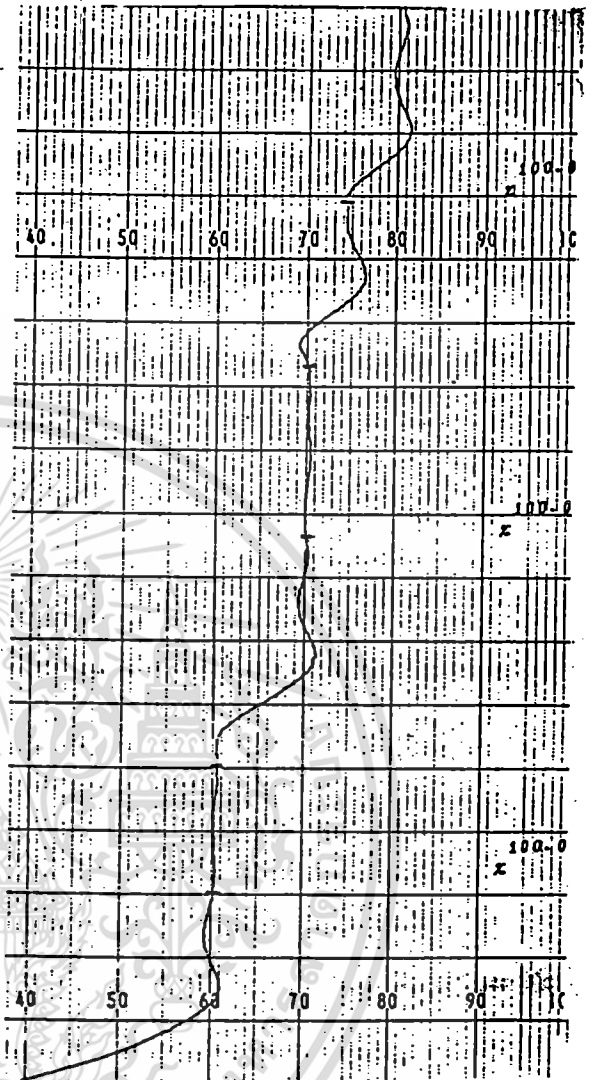
$$K_p = 0.6 \quad K_u = 15$$

$$T_i = P_u/2 = 120/2 = 60 \text{ sec.}$$

$$T_d = P_u/8 = 120/8 = 15 \text{ sec.}$$

4.4 คำนวณ K_p K_d K_i ทุกๆ ค่าจาก K^p , K^d และ α

4.5 ทำการโปรแกรมข้อมูลลงในไมโครโปรเซสเซอร์และทดลองร่วมกับกระบวนการความร้อน ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ผลการทดลองเมื่อปรับค่าเป้าหมายค่าต่างๆ กัน

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Zhen-yu Zhao, Masayoshi Tomizuka, Satoru Isaka. Fuzzy Gain Scheduling of PID Controllers IEEE Trans. Syst. Man. Cybern., VOL23pp.1392-1398,1993.
- [2] Kandel And Langholz. Fuzzy Control System
- [3] Carlos A. Smith, Amado B. Corripio Principles and Practice of Automatic Process Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมกระบวนการแบบ พีไอดี-ฟัซซี่ โดยไมโครคอมพิวเตอร์

PID-Fuzzy Controller - Based Microcomputer for Process

ศุภวีร์ บัณฑกุล *

ผศ. วิทยา ทิพย์สุวรรณพร**

1. บทนำ

การควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรม โดยปกติใช้ตัวควบคุมแบบ PID แต่ในปัจจุบันกระบวนการทางอุตสาหกรรมมีความซับซ้อนขึ้น ทำให้การควบคุมโดยใช้ PID มีขีดจำกัดอยู่ระดับหนึ่ง ดังนั้นแนวคิดในการสร้างตัวควบคุมกระบวนการที่เลียนแบบความคิดของมนุษย์ ได้แก่ การควบคุมโดยใช้ทฤษฎีฟัซซี่เซตและนิเวศน์วิทยา จึงเกิดขึ้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ในบทความนี้เสนอการควบคุมกระบวนการโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี่แบบสร้างและปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เพื่อสร้างค่าที่เหมาะสมป้อนให้กับเครื่องควบคุม PID มาใช้ในการควบคุมกระบวนการเรียกว่า ตัวควบคุมแบบ PID-Fuzzy โดยเป็นระบบอินพุตและเอาพุตเดียว และนำ PID-Fuzzy Controller ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ทำการสร้างร่วมกับคอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์ไปใช้ในการควบคุมกระบวนการ ตัวควบคุมฟัซซี่ที่ใช้งานในปัจจุบันส่วนใหญ่ถูกออกแบบโดยใช้ฐานความรู้หรือประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญ [1]

บทคัดย่อ

บทความนี้ขอเสนอ การออกแบบตัวควบคุม พีไอดี-ฟัซซี่ สำหรับระบบควบคุมกระบวนการอันดับสองด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ โดยใช้ทฤษฎีฟัซซี่เซตและฟัซซี่ลอจิก เป็นตัวกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมป้อนให้กับตัวควบคุมพีไอดี การควบคุมนั้นจะนำสัญญาณของกระบวนการที่เป็นกระแส 4-20 มิลลิแอมป์ ผ่านตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล 8 บิต ส่งผ่านพอร์ต 8255 เข้าสู่ไมโครคอมพิวเตอร์ ทำการประมวลผล จากนั้นส่งค่าการควบคุมเป็นสัญญาณดิจิทัล 8 บิตผ่านพอร์ต 8255 แล้วแปลงเป็นสัญญาณอนาลอกแบบกระแส 4-20mA ไปควบคุม Actuator และแสดงผลเป็นกราฟ หรือตัวเลข ตัวควบคุม พีไอดี-ฟัซซี่ ที่ได้ออกแบบนี้สามารถควบคุมกระบวนการ ได้เร็วกว่า ตัวควบคุมแบบพีไอดี 20-30 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังสามารถปรับแต่ง ค่าพารามิเตอร์สำหรับควบคุมด้วยตัวเอง อย่างเหมาะสมในขณะที่มีสัญญาณรบกวนจากภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ABSTRACT

This paper presents the design of PID - Fuzzy for a second order process using microcomputer by the rules of Fuzzy set and Fuzzy logic. It find suitable parameter fed to PID controller. The PID - Fuzzy Controller receives an analog 4-20mA signal and converted it to 8 bit digital signal to be used as input signal. The controller process the input data and then give the digital outcome of Fuzzy algorithm. The signal is converted to analog 4-20mA signal then sent to the actuator to control the process and the controller can monitoring and show graph of all data. The process can reach setting point faster than the PID controller approximately 20 - 30 percent. In addition, PID-Fuzzy Controller can be adjusted optimum parameter from disturbances.

2. ทฤษฎีและหลักการทำงาน

2.1 ชนิดของตัวควบคุม (Controller mode)

2.1.1 ตัวควบคุมแบบ P

(Proportional Controller : P Controller)

ตัวควบคุมแบบ P ค่าสัญญาณทางออกเป็นสัดส่วนกับค่าผิดพลาด ดังสมการที่ (1)

$$m(t) = K_p \cdot [r(t) - c(t)] + m(0) \quad (1)$$

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + m(0) \quad (2)$$

โดยที่ K_p = อัตราการขยาย (Proportional Gain)

$m(t)$ = ค่าสัญญาณทางออก

$r(t)$ = ค่าเป้าหมาย

$c(t)$ = ค่าตัวแปรควบคุม

$e(k)$ = ค่าผิดพลาด

ตัวควบคุมนี้อาจปรับค่าอัตราขยายในเทอมของ Proportional band (PB) โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$PB = 100 / K_p \quad (3)$$

2.1.2 ตัวควบคุมแบบ PI (Proportional-Integral Controller : PI Controller)

การควบคุมแบบ P จะเกิด Offset ขึ้นถ้ามีสิ่งรบกวนกระบวนการ ดังนั้นจึงใช้ตัวควบคุมแบบ PI เพื่อกำจัด Offset ที่เกิดขึ้น เนื่องจาก Integral Action ขณะใดขณะหนึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของค่าผิดพลาดสะสม

$$m(t) = K_p e(t) + 1/T_i \int e(t) dt + m(0) \quad (4)$$

*อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
**อาจารย์ประจำ ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมฯ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ T_i คือค่าเวลาในการอินทิกรัล (Integral Time)

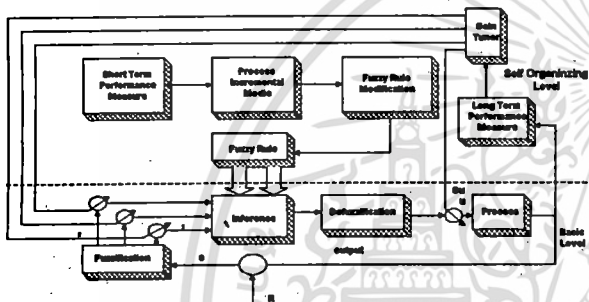
2.1.3 ตัวควบคุมแบบ PID (Proportional Integral-Derivative Controller: PID Controller)

การควบคุมแบบ PI ผลจาก Integral Action ทำให้ตัวควบคุมตอบสนองต่อค่าผิดพลาดช้าลง ดังนั้นโหมดการควบคุมนี้จะเพิ่มตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Controller) เข้าไปเพื่อให้ระบบมีการตอบสนองเร็วขึ้น

$$m(t) = K_p e(t) + 1/T_i \int e(t) dt + T_d de(t)/dt + m(0) \dots (5)$$

2.2 โครงสร้างของตัวควบคุม SOFLIC [1]

โครงสร้างของตัวควบคุม SOFLIC ดังแสดงในรูปที่ 1 แบ่งออกเป็น 2 ระดับคือ โครงสร้างระดับพื้นฐาน (basic level) และโครงสร้างระดับการสร้างฐานความรู้และปรับแต่งพารามิเตอร์ (Self-organizing level)

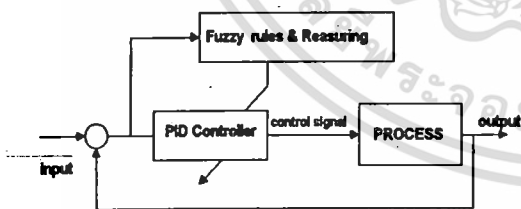


รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของ SOFLIC

3. โครงสร้างของระบบ

ระบบทั้งหมดสามารถแสดงได้ดัง รูปที่ 2

FUZZY GAIN SCHEDULER



รูปที่ 2 แสดงระบบควบคุม PID ด้วย FUZZY GAIN SCHEDULER

โดยนำ Fuzzy rules และ reasoning ไปสร้างค่าพารามิเตอร์ให้ตัวควบคุม (controller) ส่วนค่า K_p, K_d ถูกกำหนดดังนี้คือ

$$K_{p, \min} = 0.32K_u, K_{p, \max} = 0.6 K_u$$

$$K_{d, \min} = 0.08K_u \cdot T_u, K_{d, \max} = 0.15K_u \cdot T_u$$

โดยกำหนด K_p, K_d ในช่วง 0 และ 1 สำหรับตัวควบคุมพีโอดีการกำหนดค่าพารามิเตอร์อาศัยหลักการ current error $e(k)$ และค่าความแตกต่างอันดับแรก $\Delta e(k)$ ดังสมการ (10) - (12) ซึ่งที่ค่า K_p, K_d และ α ถูกกำหนดโดยเซตของ fuzzy rules จากสมการ (12) A_i, B_i, C_i

D_i คือ fuzzy set ตรงกับส่วนของ sets และ i คือ ค่าคงที่ membership function (MF) ของ fuzzy sets

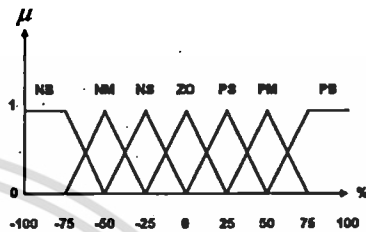
$$K'_p = (K_p - K_{p, \min}) / (K_{p, \max} - K_{p, \min}) \dots (8)$$

$$K'_d = (K_d - K_{d, \min}) / (K_{d, \max} - K_{d, \min}) \dots (9)$$

$$T_i = \alpha \cdot T_d \dots (10)$$

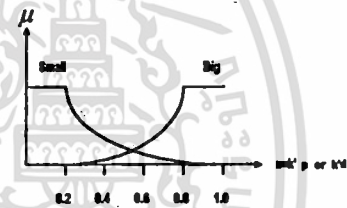
$$K_i = K_p / (\alpha \cdot T_d K'^2_p / (\alpha \cdot K_d)) \dots (11)$$

If $e(k)$ is A_i and $\Delta e(k)$ is B_i , then K'_p is C_i , K'_d is D_i and $\alpha = \alpha_i$
 $i = 1, 2, 3, \dots (12)$



รูปที่ 3 แสดงคุณลักษณะของ membership function

NB = Negative Big PB = Positive Big
 NM = Negative Medium PM = Positive Medium
 NS = Negative Small PS = Positive Small



รูปที่ 4 แสดงฟังก์ชันเซต Ci และ Di

จากรูปที่ 4 ฟังก์ชันเซต C_i และ D_i อาจเป็น Big หรือ Small ก็ได้ที่มี grade ของ membership function (μ) และค่าตัวแปร $X = K'_p$ หรือ K'_d โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ (13)

$$\mu_{\text{small}}(x) = -1/4 \ln x \text{ or } x_{\text{small}}(\mu) = e^{-4\mu} \text{ For small}$$

$$\mu_{\text{big}}(x) = -1/4 \ln(1-x) \text{ or } x_{\text{big}}(\mu) = 1 - e^{-4\mu} \text{ For big} \dots (13)$$

3.1 ขั้นตอนการออกแบบ PID-Fuzzy

3.1.1 Fuzzification of input

อินพุท (PV) ของกระบวนการที่ได้จากค่า Degree of membership โดยการแปลงอินพุทของกระบวนการเป็นอินพุทของฟังก์ชันลอจิกสองค่าคือ

$$\text{Error } e(k) = SP - PV$$

$$\text{Change error} = \Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$$

โดยที่

SP (Set Point) = ค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้หรือกำหนด

PV (Process variable) = ค่าอินพุทที่วัดได้ตลอดเวลาใด ๆ

$e(k)$ = ค่า error ปัจจุบัน

$\Delta e(k)$ = ค่า Change error

$e(k-1)$ = ค่า error ก่อนหน้าปัจจุบัน

ตัวแปรอินพุท $e(k)$ และ $e(k-1)$ ต้องผ่านขั้นตอนการ Fuzzification ให้อยู่ในรูปของอินพุทฟัซซี่ โดยการเทียบค่าตัวแปรอินพุทกับกราฟความเป็นสมาชิก (Membership function) ตามรูปที่ 2

3.1.2 Rule Evaluation

การคำนวณค่าตามกฎที่ตั้งไว้ อาศัยข้อความ ปิ ซมาจิ สองตัวแปรที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าอินพุทฟัซซี่ กับกราฟความเป็นสมาชิก มาเป็นตัวกำหนดความสำคัญของกฎต่างๆ ระหว่างตัวแปรอินพุทฟัซซี่สองค่าคือ $e(k)$ และ $\Delta e(k)$ ตามกฎ Fuzzy if/Then Rules

3.1.3 Defuzzification of output

ในส่วนนี้นำผลลัพธ์จาก Rules Evaluation เพื่อไปหาค่าของเอาต์พุทฟัซซี่แล้วทำการเปรียบเทียบตามกฎต่างๆ ในกรณีที่มีการคำนวณเพื่อหาค่าเอาต์พุทที่ใช้ควบคุมกระบวนการ จะใช้หลักการคำนวณแบบ Center of Gravity ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าจุดศูนย์กลางสำหรับตัวแปรเอาต์พุทคือ $K'p, K'd$ และ α

จากการคำนวณฟัซซี่เอาต์พุท จะนำค่า $K'p, K'd$ และ α ที่ได้ไปแทนในสมการ (14)-(16) เพื่อหาค่าเอาต์พุทไปควบคุมกระบวนการต่อไป

$$Kp = (Kp,max - Kp,min)K'p + Kp,min \dots (14)$$

$$Kd = (Kd,max - Kd,min)K'd + Kd,min \dots (15)$$

$$Ki = K^2p / (\alpha \cdot Kd) \dots (16)$$

ค่า $Kp,max, Kp,min, Kd,max, Kd,min$ จะกำหนดโดยสมการที่ (17)

$$Kp,max = 0.6 Ku, Kp,min = 0.32 Ku, Kd,max = 0.15,$$

$$Ku \cdot Tu, Kd,min = 0.08 Ku \cdot Tu \dots (17)$$

โดยที่ Ku, Tu คือ Gain และ period ของการ Oscillation ที่ Stability ตามลำดับ ค่า Kp, Ki , และ Kd ที่ได้จะแปลงเป็นค่า PB Ti และ Td ดังสมการ (18)-(20) แล้วนำไปคำนวณหาค่าเอาต์พุทรวมตามสมการที่ (21)

$$PB = 100/Kp \dots (18)$$

$$Ti = Kp/Ki = 100/(PB)(Ki) \dots (19)$$

$$Td = Kd/Kp = (PB)(Kd)/100 \dots (20)$$

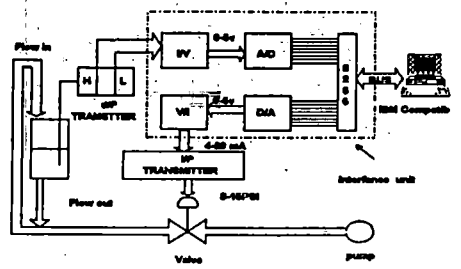
$$CS(k) = Kp \cdot e(k) + KiTs \sum_{i=1}^n e(i) + \frac{Kd}{Ts} \cdot \Delta e(k) + CS(0) \dots (21)$$

กำหนดให้ $CS(k)$ คือค่าสัญญาณเอาต์พุทที่ใช้ในการควบคุม Ts คือ คาบเวลา sampling ของตัวควบคุม (controller)

3.2 การออกแบบทางฮาร์ดแวร์

ส่วนประกอบของระบบที่ได้ออกแบบนั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่คือ

1. หน่วยเชื่อมต่อ
2. หน่วยควบคุมและแสดงผล



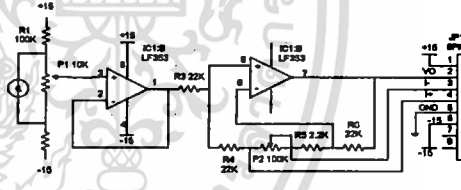
รูปที่ 5 แสดงส่วนประกอบของระบบทั้งหมด

3.2.1 หน่วยเชื่อมต่อ (Main Unit)

หน่วยเชื่อมต่อทำหน้าที่รับสัญญาณอินพุทที่เป็นกระแส 4 - 20 mA แล้วผ่านวงจร A/D แปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 8 บิต ส่งให้กับหน่วยควบคุมทำการประมวลผล จากนั้นส่งสัญญาณดิจิทัลขนาด 8 บิต ให้กับวงจร D/A แปลงกลับเป็นสัญญาณอนาลอกเป็นเอาต์พุท 4 - 20mA ออกไปควบคุมดังแสดงในรูปที่ 5

3.2.2 การเปลี่ยนสัญญาณกระแสเป็นแรงดัน (Current To Voltage Conversion: (I/V))

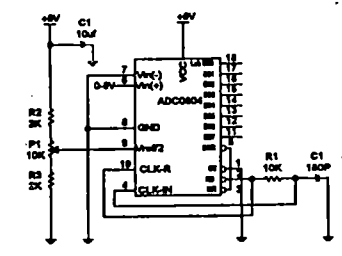
เมื่อ d/P Transmitter วัดระดับน้ำโดยเอาต์พุทเป็นสัญญาณ 4-20mA แล้วเปลี่ยนสัญญาณกระแสเป็นแรงดันส่งให้วงจร A/D ดังรูปที่ 6 กระแส 4-20mA ที่ได้จะส่งผ่านตัวเชื่อม JP1 เมื่อกระแส 4mA เข้ามา จะทำการปรับ P_1 ให้ได้เอาต์พุทที่ขา 2 ของตัวเชื่อมต่อเป็น 0 โวลต์ สำหรับกระแส 20mA เมื่อเข้ามาจะปรับ P_2 ให้ได้เอาต์พุทที่ขา 2 ของตัวเชื่อมต่อเป็น 5 โวลต์



รูปที่ 6 วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน

3.2.3 การเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog To Digital Conversion : ADC)

วงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอก เป็นสัญญาณดิจิทัลใช้ไอซี ADC0804 ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยรับสัญญาณอินพุทจากวงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน มาเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 8 บิต ซึ่งมีความเร็วในการเปลี่ยน 100 ไมโครวินาที โดยปรับ P_1 ให้มีแรงดัน 2.5 โวลต์ ที่ขา 9 เมื่อแรงดันอินพุทเข้ามาที่ขา 6 มีค่า 0-5 โวลต์ ทำให้เอาต์พุทมีค่า 00-FF แล้วส่งต่อไปยังบอร์ด 8255



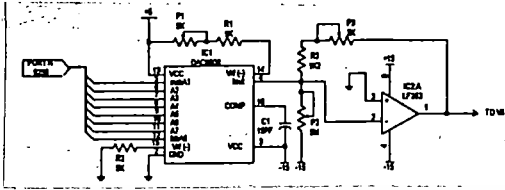
รูปที่ 7 วงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

3.2.4 การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Digital To Analog Conversion : DAC)

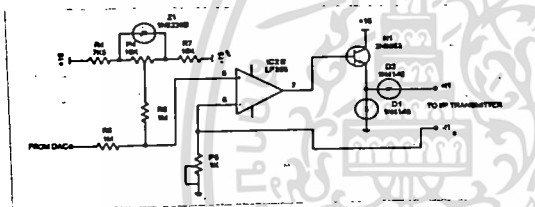
วงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอกนั้นใช้ไอซี DAC0808 ทำการเปลี่ยนสัญญาณดังรูปที่ 8 โดยเอาที่พินที่มีค่าระหว่าง 0-5 โวลท์ ด้วยขาการปรับ P1 และ P3 แล้วส่งต่อไปยังวงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นกระแส



รูปที่ 8 วงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก
3.2.5 การเปลี่ยนสัญญาณแรงดันเป็นกระแส

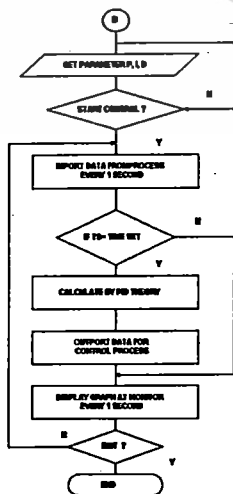
[Voltage To Current Conversion : (V/I)]

เนื่องจากตัว I/P TRANSMITTER ต้องการสัญญาณกระแส แต่สัญญาณที่ส่งเป็นแรงดัน ดังนั้นจึงต้องการวงจรสำหรับเปลี่ยนแรงดันเป็นกระแสดังแสดงในรูปที่ 9 วงจรนี้สามารถรับกระแสได้สูงถึง 70 mA และยังสามารถค่าลบลด้วย

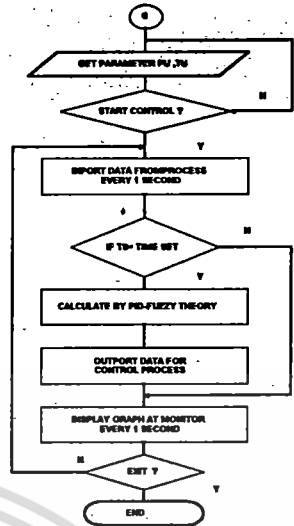


รูปที่ 9 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแรงดันเป็นกระแส
3.3 การออกแบบซอฟต์แวร์

ในการควบคุมใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ทำการประมวลผลจากโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษาซี ตามลักษณะการควบคุมแบบพีซีเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมป้อนให้กับตัวควบคุม PID ในการควบคุมกระบวนการ ดังแผนภาพแสดงการทำงานที่ 10 และ 11



รูปที่ 10 แผนภาพแสดงการควบคุมแบบ PID



รูปที่ 11 แผนภาพแสดงการควบคุมแบบ PID-Fuzzy

จากรูปที่ 10 เป็นแผนภาพแสดงการควบคุมแบบ PID โดยเริ่มต้นจะเป็นการนำค่าพารามิเตอร์ K_p, K_i, K_d ที่กำหนดไว้ไปคำนวณตามสมการ PID แล้วส่งเอาที่พินไปควบคุมกระบวนการ ส่วนรูปที่ 11 เมื่อทำการทดสอบกระบวนการ โดยการป้อนค่า K_p สูงๆ ซึ่งทำให้เอาที่พินเกิดการ Oscillate จากนั้นจะได้ค่า PU และ TU ไปคำนวณหาค่า K_p, K_i, K_d ที่เหมาะสมตามสมการ PID-Fuzzy

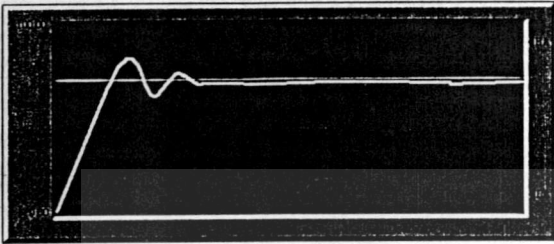
4. ผลการทดลอง

นำหน่วยควบคุมที่ได้ออกแบบนี้ไปควบคุม ระดับน้ำแบบอันดับสอง ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยทดลองควบคุมตามค่าการควบคุมที่ต่างกัน โดยตั้งค่า Set point ไว้ที่ 40, 50, 60, 70 และบันทึกค่าเวลาเข้าสู่ Set Point ตามค่าที่กำหนดไว้ดังกล่าว แล้วนำมาเปรียบเทียบกับระบบควบคุมแบบ PID โดยมีค่า Set Point ดังตารางที่ 1 การควบคุมแบบ PID จะเป็นการกำหนดค่า K_p, K_i, K_d จากประสบการณ์ ส่วนการควบคุมแบบ PID-Fuzzy จะเป็นการใช้คอมพิวเตอร์คำนวณหาค่า K_p, K_i, K_d ด้วยทฤษฎีที่รีเซ็ตจึงผลเอาที่พินที่ได้เป็นดังรูปที่ 12 และ 13 ตามลำดับ

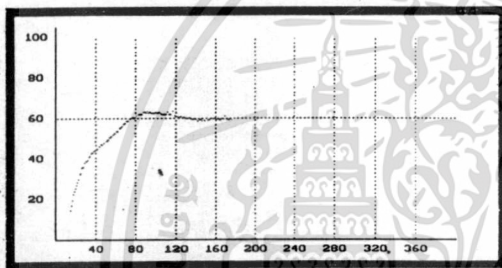
Set Point (%)	Times (s)							
	PID-FUZZY				PID			
	T1	T2	T3	Hmax	T1	T2	T3	Hmax
40	-	-	80	-	20	42	110	50
50	-	-	80	-	30	38	90	53
60	80	90	120	65	-	-	120	-
70	80	70	120	75	-	-	180	-

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบเวลาในการควบคุมระหว่างแบบ PID-Fuzzy กับแบบ PID

- T1 คือเวลาเมื่อเข้า Set Point ครั้งแรก
- T2 คือเวลาเมื่อระดับน้ำถึงจุดสูงสุดครั้งแรก
- T3 คือเวลาเมื่อระดับน้ำเข้าสู่ Set Point
- Hmax คือความสูงสูงสุด



รูปที่ 12 กราฟแสดงการควบคุมแบบ PID เมื่อเลือก Set Point เท่ากับ 60



รูปที่ 13 กราฟแสดงการควบคุมแบบฟัซซี่ เมื่อเลือก Set Point เท่ากับ 60

จากรูปที่ 12 และ 13 เมื่อมีสัญญาณรบกวนที่เหมือนกันแต่ใช้ตัวควบคุมที่ต่างกัน จะเห็นได้ว่าผลตอบสนองของเอชทีพูนในรูปที่ 13 จะใช้เวลาในการควบคุมสั้นกว่าและ Overshoot ก็ต่ำกว่ารูปที่ 12 ถึงแม้ว่าค่าเป้าหมายจะต่างกันก็ตาม

5.สรุป

ตัวควบคุมแบบ PID-Fuzzy สามารถควบคุมได้เร็วกว่า 20-30 เปอร์เซ็นต์ ของตัวควบคุมแบบ PID และให้ผลตอบสนองมีค่า Overshoot ต่ำดังแสดงในรูปที่ 13 เพราะว่ามีกำหนดเงื่อนไขของทฤษฎีฟัซซี่เร็วในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมอย่างเหมาะสมตามที่กำหนดไว้ โดยนำผลตอบสนองของแต่ละกระบวนการไปคำนวณหาค่า K_p , K_i , K_d นอกจากนี้ยังสามารถทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในขณะที่มีสัญญาณรบกวนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนแนวความคิดในอนาคตข้างหน้าจะเป็นแนวทฤษฎี SOFLIC มาสร้างตัวควบคุมแบบปรับตัวเองได้ ซึ่งสามารถใช้สร้างตัวควบคุมกระบวนการที่มีความซับซ้อนหรืออันดับสูงๆ จะต้องปรับอัลกอริทึมของทฤษฎี SOFLIC ที่เหมาะสมกับกระบวนการนั้น ๆ ต่อไป

6.เอกสารอ้างอิง

- 1.ธิดาพร พิทักษ์พรพันธ์, จงกล งามวิวิทย์ ตัวควบคุมฟัซซี่แบบสร้างและปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตัวเอง. วิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มี.ย. 2538
- 2.A COURSE IN FUZZY SYSTEM AND CONTROL Prentice-Hall International, Inc 1996
- 3.PID Controllers, IEEE Trans.syst.Man.Cybern., VOL 23 pp. 1392-1398,1993
- 4.Ernest F.Johnson. Automatic Process Control. Mc Graw Hill 1990

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้