

รายงานฉบับสมบูรณ์

เรื่อง
การออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซีโดยใช้วงจรไม่เป็นเชิงเส้น
(Design of Fuzzy Controller Based on Nonlinear Circuit)

โดย

RCH รศ.ดร.วันชัย รุ่งรุจา
TK
๗๘๘1.๒
๗๔๒๖๘

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 34428
วัน, เดือน, ปี..... 4 พ.ย. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซีโดยใช้วงจรไม่เป็นเชิงเส้น

Design of Fuzzy Controller Based on Nonlinear Circuit

บทคัดย่อ

โครงการนี้เสนอการออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซีโดยใช้วงจรไม่เป็นเชิงเส้นเป็นหลัก การออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซีที่ใช้ทฤษฎีของฟัซซีเซตและฟัซซีลอจิก ซึ่งภายในตัวควบคุมจะแบ่งเป็น 3 ส่วนได้แก่การแปลงอินพุตเป็นฟัซซีเซต (Fuzzification) การวินิจฉัย (Inference) และการแปลงฟัซซีเซตเป็นเอาต์พุต (Defuzzification) ส่วนการสร้างฟังก์ชันสมาชิกสำหรับฟัซซีเซตจะใช้วงจรไม่เป็นเชิงเส้นที่สามารถปรับค่าความชันได้ ต่อร่วมกับวงจรแอนด์แบบอนาล็อก ซึ่งมีการทำงานในโหมดกระแสเพื่อใช้ในการการวินิจฉัย ส่วนการแปลงกลับฟัซซีประกอบด้วยวงจรขยายแรงดันและวงจรหาร วงจรที่ออกแบบทั้งหมดจะอยู่ในลักษณะของวงจรร้อยย้อย จึงสามารถเพิ่มหรือลดฟังก์ชันการเป็นสมาชิก (Membership Function) และกฎ (Rule) ได้อย่างอิสระ ผลการทำงานของตัวควบคุมแบบฟัซซีที่พัฒนาขึ้นมีสมรรถนะในการควบคุมที่ดี โดยสามารถยืนยันได้จากผลการทดลอง

ABSTRACT

This project presents the design of fuzzy controller based on nonlinear circuit. The design of controller uses fuzzy set and fuzzy logic theory to design fuzzy controller. The controller contains 3 parts; Fuzzification, Inference and Defuzzification. The slope of nonlinear circuit used for fuzzification is adjustable. The circuits is also combine to the analog AND-circuit which operates in current mode for inference. Defuzzification function applies the principle of Center of Gravity that consist of voltage amplifier and divider. The circuits are designed as sub-circuits, thus it is flexible to add and remove the membership function as well as the rule. The controllers with good performance is obtained. This is illustrated by design results, in which the fuzzy controller result are compared with those obtained from PID controller.

คำนำ

ปัจจุบันระบบควบคุมแบบฟัซซีเป็นระบบควบคุมที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางทั้งในวงการการศึกษาและอุตสาหกรรม ทั้งนี้เนื่องจากข้อได้เปรียบหลายประการของตัวควบคุมแบบฟัซซี คือ

1. สามารถออกแบบตัวควบคุมได้ โดยไม่ต้องรู้โมเดลทางคณิตศาสตร์ของขบวนการที่จะทำการควบคุม
2. เหมาะสำหรับระบบที่มีตัวแปรที่คลุมเครือไม่สามารถหาค่าที่แน่นอนซึ่งความคลุมเครือนี้จะถูกแทนด้วยค่าดีกรีความเป็นสมาชิกในนิยามฟัซซีเซต

3. เหมาะสำหรับระบบที่มีหลายอินพุทหรือหลายเอาต์พุทเนื่องจากฟัซซีจะช่วยลดความยุ่งยากของสมการทางคณิตศาสตร์โดยแทนด้วยกฎในรูปแบบ if_then_ ซึ่งเป็นแบบที่เข้าใจง่าย

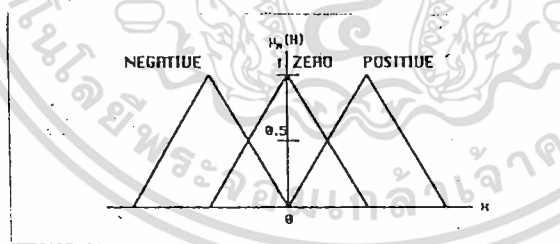
โดยทั่วไปในการออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซีจะมีการทำงานโดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นหลัก ซึ่งการทำงานของตัวควบคุมจะขึ้นอยู่กับตัวโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทำให้ตัวควบคุมมีความเร็วในการทำงานที่ช้า ในขณะที่เดียวกันตัวควบคุมแบบฟัซซีที่ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์จะมีความแม่นยำไม่สูงเนื่องจากจะต้องใช้ A/D และ D/A ในการแปลงสัญญาณ

บทความนี้เสนอหลักการออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซีโดยใช้วงจรไม่เป็นเชิงเส้นแทนหลักการเดิมที่ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะทำให้ตัวควบคุมแบบฟัซซีมีความเร็วและความแม่นยำสูงขึ้น

ตัวควบคุมแบบฟัซซี

การออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซีประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1. การแปลงอินพุทเป็นฟัซซีเซต (Fuzzification) คือการเปลี่ยนอินพุทของตัวควบคุม Error (E) และ Change of error (E) ให้อยู่ในรูปตัวแปรฟัซซี การนิยามฟัซซีเซตของ Positive (P), Zero (Z) และ Negative (N) และการกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปร E, E และ CI (Control Input) จะเป็นดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปร E, E และ CI

2. การวินิจฉัย (Inference) คือการประมวลผลอินพุทที่อยู่ในรูปตัวแปรฟัซซีด้วยการใช้ข้อมูลจากกฎ (Rule) if_then_ เพื่อหาเอาต์พุทในรูปตัวแปรฟัซซี โดยสามารถเขียนกฎได้ดังนี้

$$R_1 : \text{if } (E_1 \text{ and } E_1) \text{ then } U_1$$

$$R_2 : \text{if } (E_2 \text{ and } E_2) \text{ then } U_2$$

$$R_n : \text{if } (E_n \text{ and } E_n) \text{ then } U_n$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การแปลงฟัซซีเป็นเอาต์พุต (Defuzzification) คือ การเปลี่ยนเอาต์พุตของตัวควบคุมที่อยู่ในรูปตัวแปรฟัซซีให้เป็นเอาต์พุตที่ใช้สำหรับการควบคุมจริง ซึ่งในที่นี้ใช้วิธี Center of Gravity หาค่า Control Output จากจุดศูนย์กลางความโน้มถ่วงดังสมการ

$$I = \frac{\sum_i^n (u_i \times U_i)}{\sum_i^n u_i}; (i = 1, \dots, n)$$

I = Result of Centroid Method

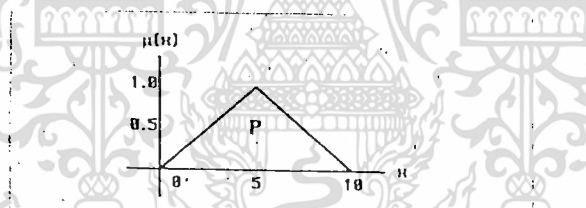
u = Degree of Membership

U = Status of If/Then Rule

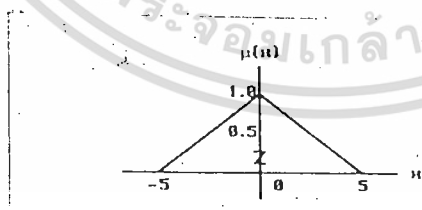
การออกแบบตัวควบคุมโดยใช้วงจรมิเป็นเชิงเส้น

ในการออกแบบวงจรถวลควบคุมฟัซซี คือ การออกแบบ วงจรทั้ง 3 ส่วนดังนี้

1. การเปลี่ยนอินพุตเป็นฟัซซีเซต (Fuzzification) ในส่วนนี้จะต้องออกแบบวงจรถวลให้อยู่ในรูปของ Membership Function ซึ่ง Membership Function ในที่นี้รูปสามเหลี่ยมดังภาพที่ 2, 3, 4

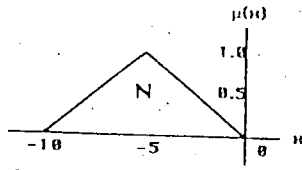


ภาพที่ 2 MEMBERSHIP FUNCTION ที่เป็น POSITIVE



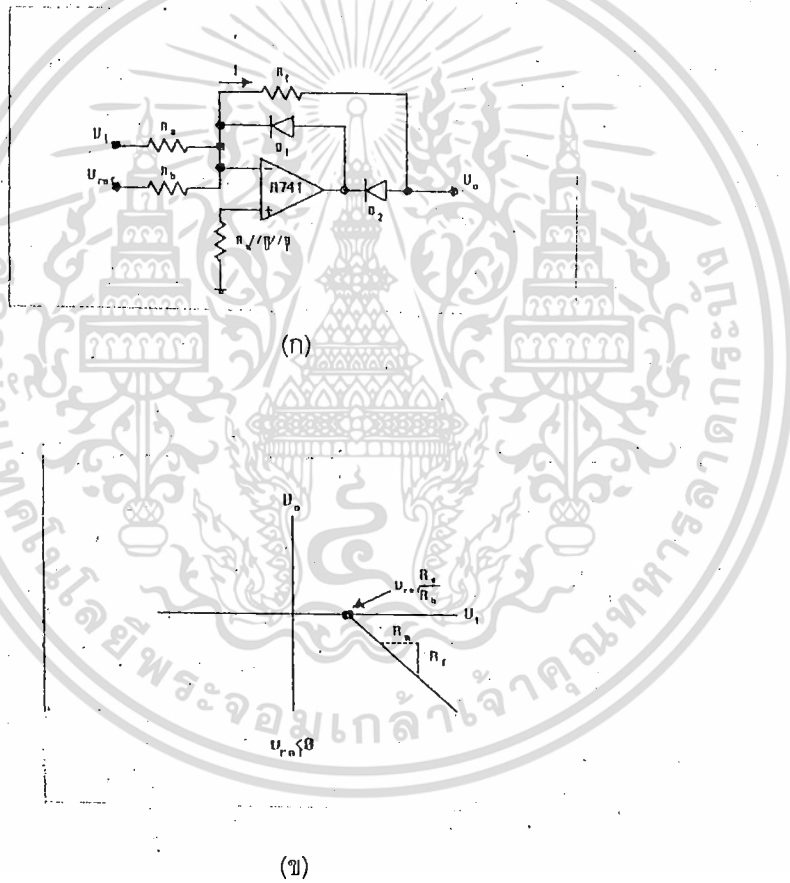
ภาพที่ 3 MEMBERSHIP FUNCTION ที่เป็น ZERO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

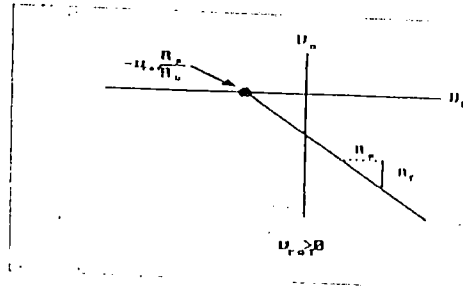


ภาพที่ 4 MEMBERSHIP FUNCTION ที่เป็น NEGATIVE

การออกแบบวงจรในภาพที่ 2, 3 และ 4 นั้นมีหลักการพื้นฐานคือจะต้องสร้างความชันให้ได้ตามที่กำหนด ในที่นี้จะใช้วงจรจำกัดคิกตา (Voltage Limiter) โดยในภาพที่ 5 (ก) เป็นวงจรจำกัดคิกตาที่ให้เอาต์พุตแบบลบและภาพที่ 6 (ก) เป็นวงจรจำกัดคิกตาที่ให้เอาต์พุตแบบบวกต่อรวมกับวงจรขยาย-ความแตกต่าง (Differential Amplifier) ดังภาพที่ 7 โดยทั้งหมดทำงานอยู่ในโหมดไม่เป็นเชิงเส้น

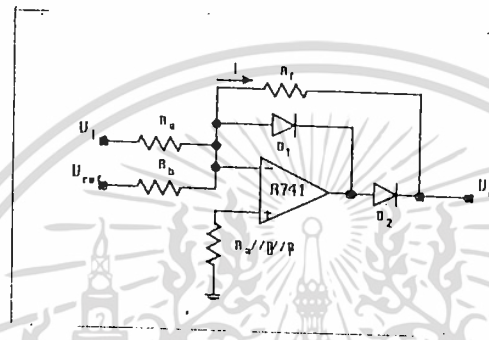


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

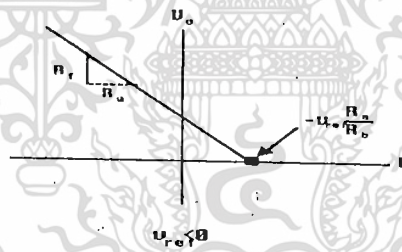


(ค)

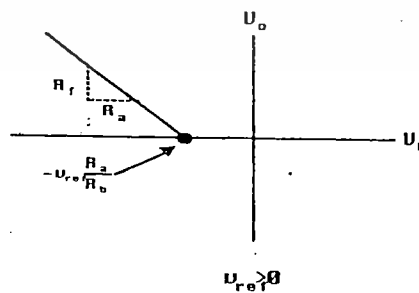
ภาพที่ 5 วงจรจำกัดคิกคาที่ให้อาห์พุทแบบลบ



(ก)



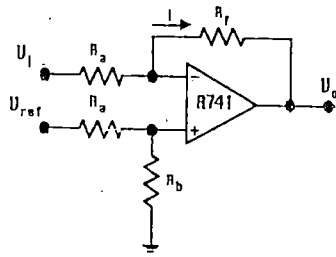
(ข)



(ค)

ภาพที่ 6 วงจรจำกัดคิกคาที่ให้อาห์พุทแบบบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7 วงจรขยายความแตกต่าง

จากภาพที่ 5 (ก) เมื่อป้อนศักดาที่เป็นบวกเข้าที่อินพุต V_i โดยให้ V_{ref} เป็นศูนย์ จะทำให้ไดโอด D_1 ไม่นำกระแสเนื่องจากไดโอด D_1 ถูกไบแอสกลับเป็นผลให้มีกระแส i ไหลผ่าน R_f และไดโอด D_2 จะนำกระแสและเมื่อศักดา V_i เป็นลบแล้วไดโอด D_1 จะนำกระแส ส่วนไดโอด D_2 จะไม่นำกระแสแทน ทำให้ไม่มีกระแส i ไหลผ่าน R_f ซึ่งสามารถหาค่าได้ตามสมการดังนี้

$$V_o = \begin{cases} 0 & ; V_i \leq 0 \\ -\frac{R_f}{R_a}(V_i) & ; V_i > 0 \end{cases} \quad (3.1)$$

และเมื่อให้ V_{ref} ไม่เป็นศูนย์ โดย $R_a = R_b$ จะได้ค่าตามสมการดังนี้

$$V_o = \begin{cases} 0 & ; V_i \leq V_{ref} \\ -\frac{R_f}{R_a}(V_i + V_{ref}) & ; V_i > V_{ref} \end{cases} \quad (3.2)$$

ซึ่งสามารถเขียนกราฟดังรูปที่ 3.4 (ข) และ (ค)

จากภาพที่ 6 (ก) เมื่อป้อนศักดาที่เป็นบวกเข้าที่อินพุต V_i โดยให้ V_{ref} เป็นศูนย์ จะทำให้ไดโอด D_1 นำกระแสและไดโอด D_2 จะไม่นำกระแส เนื่องจากไดโอด D_2 ถูกไบแอสกลับ เป็นผลให้ไม่มีกระแส i ไหลผ่าน R_f และเมื่อศักดา V_i เป็นลบแล้วไดโอด D_1 จะไม่นำกระแสส่วนไดโอด D_2 จะนำกระแสแทนทำให้เกิดกระแส i ไหลผ่าน R_f ซึ่งสามารถหาค่าได้ตามสมการดังนี้

$$V_o = \begin{cases} 0 & ; V_i \geq 0 \\ -\frac{R_f}{R_a}(V_i) & ; V_i < 0 \end{cases} \quad (3)$$

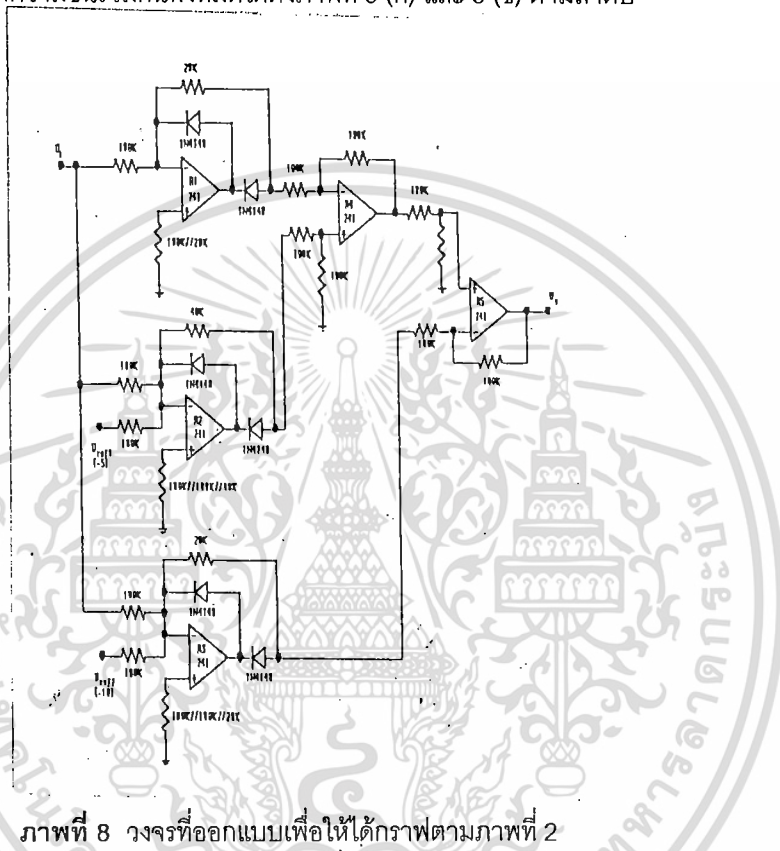
และเมื่อให้ V_{ref} ไม่เป็นศูนย์โดย $R_a = R_b$ จะได้ค่าตามสมการดังนี้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

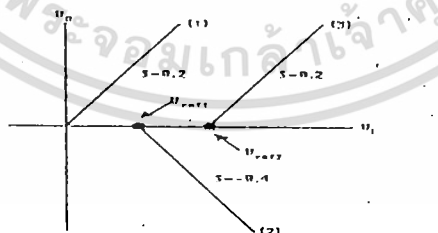
$$V_o = \begin{cases} 0 & ; V_i \geq V_{ref} \\ -\frac{R_f}{R_a}(V_i + V_{ref}) & ; V_i < V_{ref} \end{cases} \quad (4)$$

ซึ่งสามารถเขียนกราฟดังภาพที่ 6 (ข) และ (ค)

ดังนั้นในการออกแบบให้ได้ความชันดังภาพที่ 2 จะเป็นไปตามภาพที่ 8 โดยสามารถเขียนกราฟความชันของแต่ละวงจรและกราฟความชันรวมกันทั้งหมดได้ดังภาพที่ 9 (ก) และ 9 (ข) ตามลำดับ

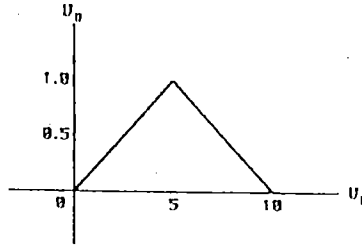


ภาพที่ 8 วงจรที่ออกแบบเพื่อให้ได้กราฟตามภาพที่ 2



(n)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

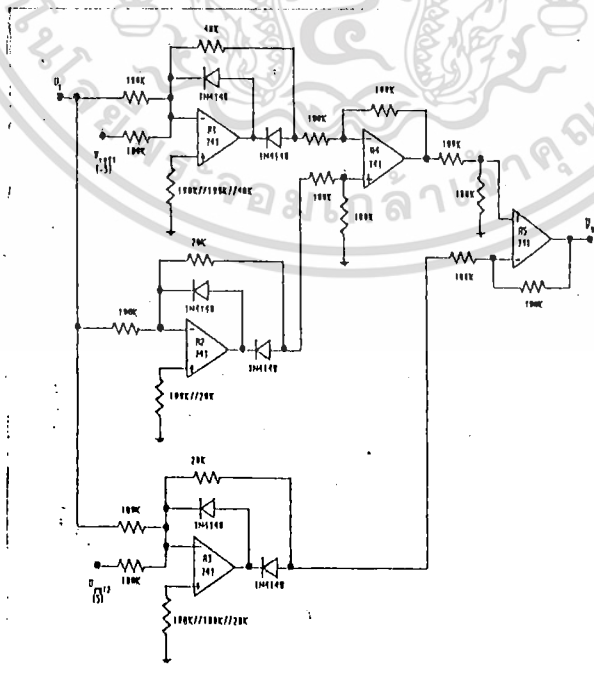
ภาพที่ 9 แสดงความชันของกราฟตามวงจรในภาพที่ 8

และวงจรในภาพที่ 7 สามารถหาค่าได้จากสมการดังนี้

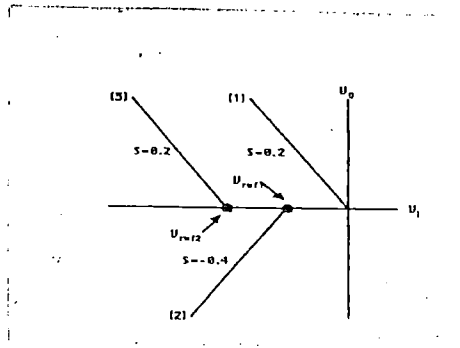
$$V_o = -(V_2 - V_1) \frac{R_f}{R_a}; R_f = R_b$$

จากภาพที่ 9 (ก) ความชันเส้น (1) ได้จาก A1 และ A4 ในภาพที่ 8 ซึ่ง A1 มีความชันเป็น -0.2 และเมื่อรวมกับ A4 โดย A4 เป็นวงจรขยายความแตกต่างทำให้ได้ความชันที่เกิดจาก A1 และ A4 เป็น 0.2 ความชันเส้น (2) ได้จาก A2 ในภาพที่ 8 ซึ่งมีความชันเป็น -0.4 และความชันเส้นที่ (3) ได้จาก A3 และ A5 ในภาพที่ 8 ซึ่ง A3 มีความชันเป็น -0.2 และเมื่อรวมกับ A5 โดย A5 เป็นวงจรขยายความแตกต่างทำให้ได้ความชันที่เกิดจาก A3 และ A5 เป็น 0.2 และเมื่อรวมความชันทั้ง 3 เส้นจะได้กราฟความชันดังภาพที่ 9 (ข)

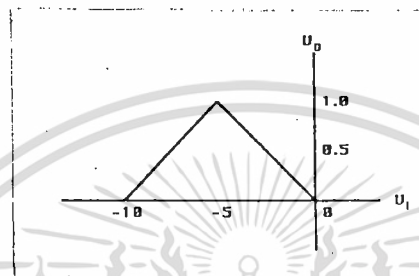
โดยวงจรในภาพที่ 10 และ 12 ที่ออกแบบเพื่อให้ได้ความชันตามภาพที่ 3 และ 4 ตามลำดับนั้น มีหลักการการออกแบบเช่นเดียวกับวงจรในภาพที่ 8 ซึ่งได้อธิบายหลักการดังกล่าวไว้แล้วเบื้องต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



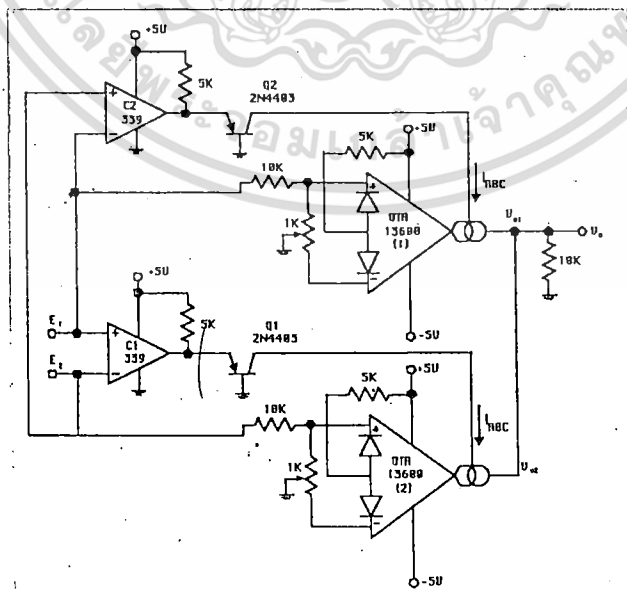
(ก)



(ข)

ภาพที่ 13 แสดงความชันของกราฟตามวงจรในภาพที่ 12

2. กฎการวินิจฉัย (Rule) กฎการวินิจฉัยของพีชคณิตในที่นี้ใช้วิธี MIN-MAX ซึ่งหลักการเสมือนการนำค่าอินพุตมา AND กัน ดังนั้นการออกแบบวงจรในส่วนนี้คือ จะต้องออกแบบให้เป็นวงจร AND อินพุต ซึ่งเป็นการ AND ทางอนาล็อกวงจรที่ออกแบบนี้จะใช้ OTA LM 13600 เป็นตัวหลักร่วมกับ ตัวเปรียบเทียบ (Comparator) LM339 ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 วงจร AND แบบ ANALOG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 14 เมื่อป้อนศักดาเข้าที่ E_1 และ E_2 โดยให้ E_1 มากกว่า E_2 จะทำให้ $C1$ ซึ่งเป็นตัวเปรียบเทียบกับเอาต์พุตเท่ากับ 5V ส่งผลให้ $Q1$ ทำงาน เมื่อ $Q1$ ทำงานทำให้มีกระแสไบแอส I_{ABC} เข้าที่ OTA2 โดยที่ OTA2 นี้เป็นวงจร Voltage Follower ดังนั้น V_{o2} ของ OTA2 มีค่าเท่ากับ E_2 ขณะเดียวกันที่ $C2$ มีเอาต์พุตเท่ากับ 0V ส่งผลให้ $Q2$ ไม่ทำงาน เมื่อ $Q2$ ไม่ทำงาน ทำให้ไม่มีกระแสไบแอสไหลเข้าที่ OTA1 ซึ่งทำให้ V_{o1} ของ OTA1 มีค่าเท่ากับ 0V

ดังนั้น V_o ของวงจรจะเท่า E_2 และในทางกลับกันถ้าป้อนศักดาอินพุตโดยให้ E_1 น้อยกว่า E_2 ทำให้ V_o ของวงจรมีค่าเท่ากับ E_1 ซึ่งเราสามารถเขียนเป็นตารางได้ดังนี้

3. การเปลี่ยนฟัซซีเซตเป็นเอาต์พุต (Defuzzification) คือการนำเอาต์พุตที่ได้จากขั้นตอนกฎการวินิจฉัยทั้งหมดมาหาค่าเอาต์พุตโดยเทคนิควิธีการคำนวณแบบจุดศูนย์กลาง (CENTER OF GRAVITY) ซึ่งสมการเป็นดังนี้

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n (u_i \times U_i)}{\sum_{i=1}^n u_i} \quad (i = 1, \dots, n) \quad (5)$$

I = RESULT OF CONTRIOD METHOD

u = DEGREE OF MEMBERSHIP

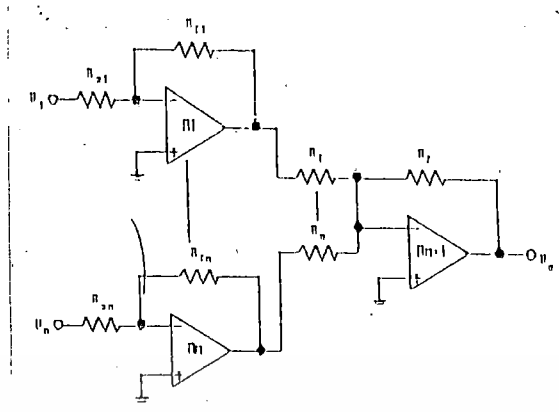
U = STATUS OF IF/THEN RULES

จากสมการข้างต้น เราสามารถแยกการออกแบบวงจรได้เป็น 3 ส่วนคือ

1. $\sum_{i=1}^n (u_i \times U_i)$
2. $\sum_{i=1}^n (u_i)$
3. การนำส่วน $\sum_{i=1}^n (u_i \times U_i)$ หารด้วย

$$\sum_{i=1}^n (u_i)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 15 วงจรสมการ $\sum_{i=1}^n (u_i \times U_i)$

วงจรที่ออกแบบในส่วนแรกจะเป็นไปตามภาพที่ 15 ซึ่งประกอบด้วยวงจรรขยายแรงดัน และวงจรรวมสัญญาณ (Sum-ming Amplifier) โดยให้

$$V_1 = u_1, \quad \frac{R_{f1}}{R_{ai}} = U_1$$

$$V_n = u_n, \quad \frac{R_{fn}}{R_{an}} = U_n$$

A_1, \dots, A_n เป็นวงจรรขยายแบบกลับเฟส โดยมีอัตราขยายเท่ากับ $\frac{R_{fi}}{R_{ai}}$ ($i = 1, \dots, n$) ดังนั้นเอาต์พุตของแต่ละตัวจะมีค่าเท่ากับ

$$V_o = V_i \left(\frac{R_{fi}}{R_{ai}} \right) \text{ ซึ่งเท่ากับ } u_i U_i ; (i = 1, \dots, n)$$

ดังนั้นจึงได้ว่า

$$V_i \left(\frac{R_{fi}}{R_{ai}} \right) = u_i U_i$$

$$V_n \left(\frac{R_{fn}}{R_{an}} \right) = u_n U_n$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

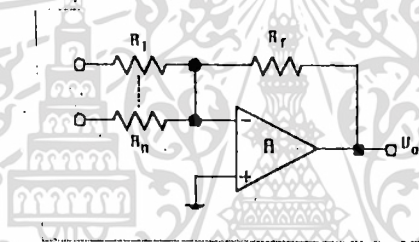
ในภาพที่ 15 วงจรรวมสัญญาณแบบกลับเฟส A(n+1) เป็นตัวรวมผลทั้งหมดของวงจรราย A1,...,An ซึ่ง V_o ของ A(n+1) จะมีค่าเท่ากับ

$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}\right)(u_1U_1 + u_2U_2 + \dots + u_nU_n)$$

$$= \sum_{i=1}^n (u_i \times U_i)$$

ให้ $\left\{ \left(\frac{R_f}{R_1}\right) = 1, \dots, \left(\frac{R_f}{R_n}\right) = 1 \right\}$

ในส่วนที่ 2 วงจรที่ออกแบบไว้จะเป็นดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 วงจรสมการ $\sum_{i=1}^n (u_i)$

วงจรในภาพที่ 16 เป็นวงจรรวมสัญญาณแบบกลับเฟสโดยมี

$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}\right) (V_1 + \dots + V_n)$$

ให้ $R_f = R_1 = R_2 = \dots = R_n$

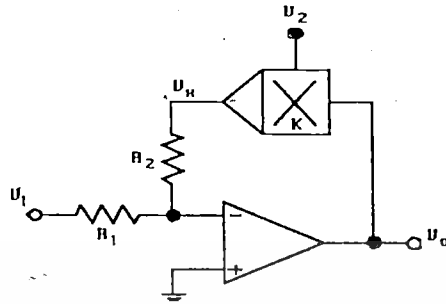
เมื่อ $V_i = u_i ; (i = 1, \dots, n)$

ดังนั้น $V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}\right)(u_1 + \dots + u_n)$

$$= \sum_{i=1}^n (u_i) \tag{7}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะวิธีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนที่ 3 ซึ่งเป็นส่วนที่นำสมการที่ (3.6) หาดด้วยสมการที่ (7) ดังนั้นวงจรที่จะออกแบบในส่วนที่ 3 เป็นวงจรรหารนั่นเองโดยมีการออกแบบวงจрдังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 วงจรรหาร

วงจรในภาพที่ 17 เป็นวงจรพื้นฐานในการหาร โดยสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

$$V_x = V_0 V_2 K \quad (8)$$

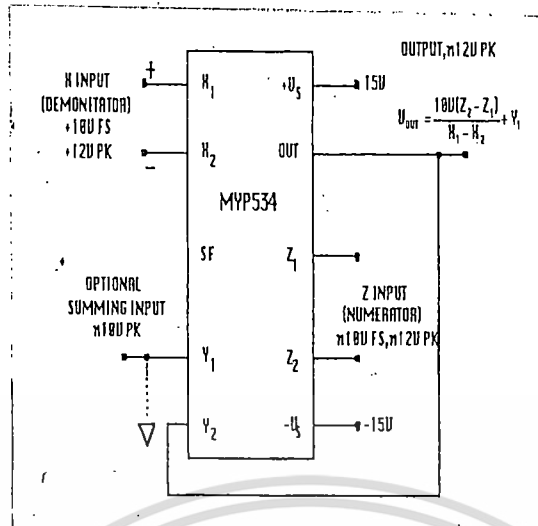
$$\left(\frac{V_x}{R_2} \right) = - \left(\frac{V_1}{R_1} \right) \quad (9)$$

แทนค่า (3.8) ใน (3.9)

$$\left(\frac{V_0 V_2 K}{R_2} \right) = - \left(\frac{V_1}{R_1} \right) \quad (10)$$

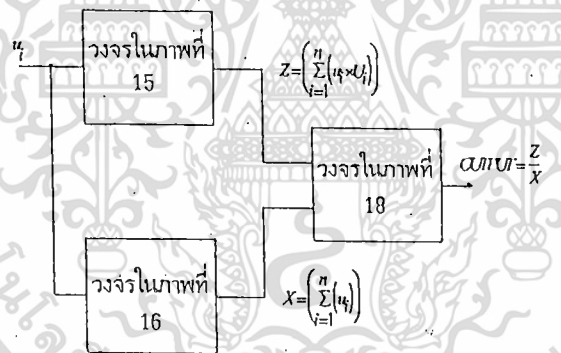
$$V_0 = - \left(\frac{V_1}{V_2} \right) \times \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \times \left(\frac{1}{K} \right) \quad (11)$$

ซึ่งได้ใช้ IC AD534 เป็นวงจรรหารดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 วงจรที่ใช้ IC AD534

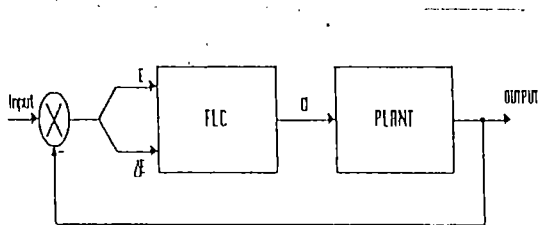
ดังนั้นการออกแบบวงจร Defuzzification ที่นำวงจรส่วนที่ 1 และ 2 มาประกอบกันจะเป็นดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 วงจร Defuzzification

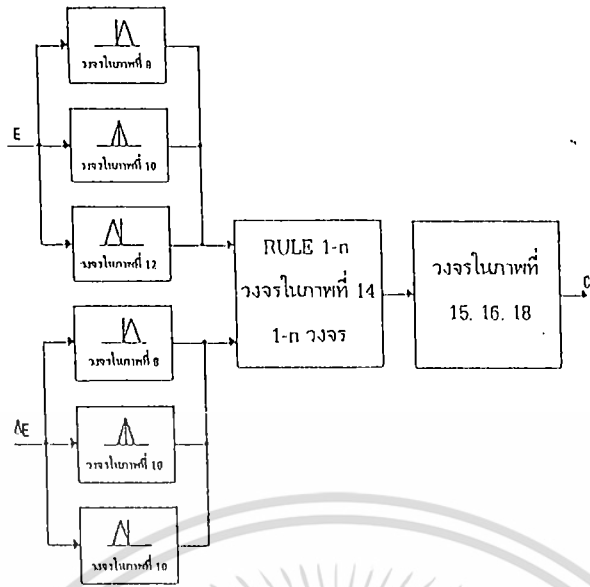
วิธีการ

ในการทดลองเราได้ทำการทดลองดังภาพที่ 20 ซึ่งได้ให้อินพุทในรูปของ Unit Step ที่ความถี่ 1 kHz โดยในส่วนของตัวควบคุมแบบฟัซซี่จะเป็นไปตามภาพที่ 21



ภาพที่ 20 กระบวนการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 21 ตัวควบคุมแบบฟัซซี

เราได้ทำการทดลองโดยใช้ตัวกระบวนการแบบอันดับหนึ่ง (First Order) และอันดับสอง (Second Order) ซึ่งกระบวนการแบบอันดับหนึ่งเราใช้กฎข้างต้นในตัวควบคุมแบบฟัซซีทั้งหมด 11 กฎดังนี้

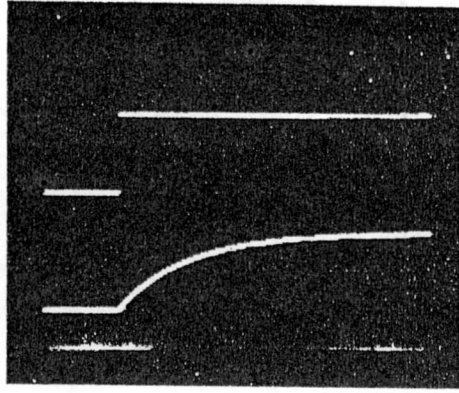
1.	P	P	P
2.	P	Z	P
3.	P	N	P
4.	Z	P	P
5.	Z	Z	Z
6.	Z	N	N
7.	N	P	N
8.	N	Z	N
9.	N	N	N
10.	N	P	Z
11.	P	N	Z

ในส่วนของกระบวนการมีฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) เป็นอันดับหนึ่งตามสมการดังนี้

$$\frac{1}{0.16s + 1} \quad (12)$$

ซึ่งเป็นตามภาพที่ 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(0.5s/DIV.)

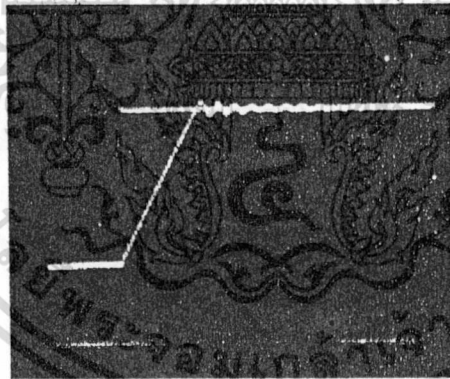
ภาพที่ 22 รูปของกระบวนการ FIRST ORDER

ซึ่งจะได้ผลตอบสนองของระบบที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีซที่ดังภาพที่ 23 และได้เปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบ PID ซึ่งผลการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ PID ดังภาพที่ 24 โดยมีพารามิเตอร์ดังนี้

$$K_p = 33.6$$

$$T_i = 2 \times 10^{-3}$$

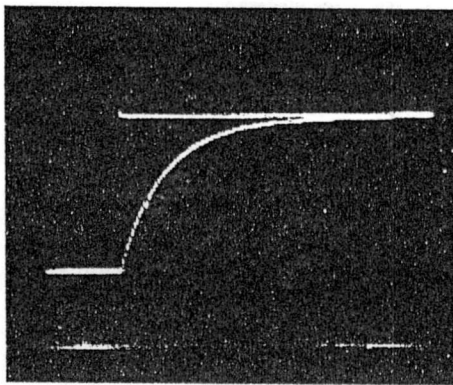
$$T_d = 11 \times 10^{-3}$$



(20s/DIV)

ภาพที่ 23 ผลตอบสนองของระบบที่ใช้ตัวควบคุมแบบพีซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(20s/DIV)

ภาพที่ 24 ผลตอบสนองของระบบที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PID

สำหรับกระบวนการที่เป็นอันดับสองในภาพที่ 25 จะมีสมการดังนี้

$$\frac{200}{s^2 + 10s + 200}$$

(13)

	IF	E	AND	ΔE	THEN	CI
1.		P		P		Z
2.		P		Z		P
3.		P		N		Z
4.		Z		P		P
5.		Z		Z		Z
6.		Z		N		N
7.		N		P		Z
8.		N		Z		N
9.		N		N		Z

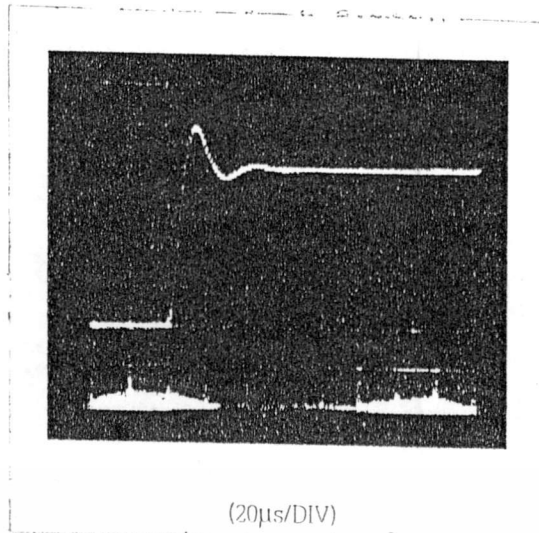
โดยผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีซีที่ต่อกระบวนการแบบอันดับสองจะเป็นตามภาพที่ 26 และได้ทำการเทียบตัวควบคุมแบบ PID ดังภาพที่ 27 ซึ่งตัวควบคุมแบบ PID มีพารามิเตอร์ดังนี้

$$K_p = 4.62,$$

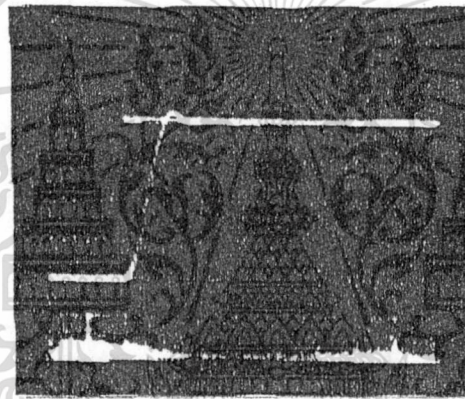
$$T_i = 0.05,$$

$$T_d = 0.20,$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

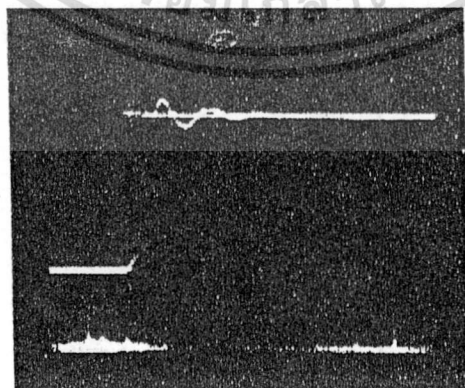


ภาพที่ 25 รูปของกระบวนการ SECOND ORDER



(20µs/DIV)

ภาพที่ 26 ผลตอบสนองของระบบที่ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่



(20µs/DIV)

ภาพที่ 27 ผลตอบสนองของระบบที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมแบบฟัซซี่ที่ได้ออกแบบขึ้นสามารถควบคุมระบบที่มีคุณลักษณะเป็นอันดับหนึ่งและอันดับสองได้และมีผลตอบสนองดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบ PID โดยตัวควบคุมแบบฟัซซี่ที่ใช้ควบคุมถูกออกแบบวงจรไว้ในลักษณะของวงจรรย่อยซึ่งทำให้สามารถเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันการเป็นสมาชิก (MEMBERSHIP FUNCTION) และกฎ (RULE) ได้อย่างอิสระ

เอกสารอ้างอิง

ธิดาพร พิทักษ์พรพันธุ์, สมพร ชาญประจักษ์วณิช, เสกสรร เกียรติสุไพบูรณ์, ผศ.ดร.จกมล งามวิวิทย์, "ผลการเปลี่ยนแปลงค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวควบคุมแบบฟัซซี่", เอกสารการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 16, ประจำปี 2536, หน้า 566-570

Burr-Brown, "Burr-Brown Integrated Circuit Data Book", 1996 pp. 4-31-4-37

C.J. Savant, jr, Martin S. Roden, Gordon L. Carpenter, "ELECTRONIC DESIGN Circuits and Systems", second edition, The Benjamin/Cummings Publishing Company Inc., 1991

H.J. Zimmerann, "Fuzzy set theory and its Application", Kluwer Academic Publishers, 1991

Jun Yan, Michael Ryan, and James Power, "Using Fuzzy Logic: Towards intelligent system", Prentice-hall, 1994

L.A Zadeh, "Fuzzy sets, Information & Control", Vol.8, pp. 338-353, 1965

L.A Zadeh, "The Calculus of Fuzzy If/Then Rule", AI Expert, March 1992, pp. 23-27

Lee C.C., "Fuzzy Logic in Control systems: Fuzzy logic controller-Part I", IEEE Trans., Syst. Man & Cybern., Vol120, No.2, 1990, pp. 404-418

Lee C.C., "Fuzzy Logic in Control systems: Fuzzy logic controller-Part II", IEEE Trans., Syst. Man & Cybern., Vol120, No.2, 1990, pp. 419-435

M. Jamsshidi, N. Vadice, T.J. Ross, "Fuzzy logic and Control", Prentice-hall

National Semiconductor Corporation "Linear Data Boo", 1982

W. Pedrycz, "Fuzzy Control and Fuzzy Systems", Research Studies Press Ltd., John Willy & sons., 1989

Walter G. Jung, "IC OP-AMP Cookbook", Howard W. Sam & Co, Inc., 1977

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้