

บทที่ 5

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับฟัซซีลอจิก

5.1 กล่าวนำ

การนำฟัซซีลอจิกมาประยุกต์ใช้เป็นตัวควบคุมในระบบควบคุมกระแสชดเชยของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานจำเป็นต้องมีความรู้และความเข้าใจทฤษฎีของฟัซซีลอจิกเพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบตัวควบคุมให้เหมาะสมกับระบบที่พิจารณาและมีสมรรถนะในการควบคุมกระแสชดเชยที่ดีซึ่งจะส่งผลให้วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานสามารถกำจัดฮาร์มอนิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในบทนี้จะนำเสนอทฤษฎีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับฟัซซีลอจิกที่สำคัญ ได้แก่ ฟัซซีเซต (fuzzy set) การดำเนินการทางฟัซซีเซต (fuzzy set operations) รูปร่างฟังก์ชันสมาชิก (fuzzy shape) ตัวแปรภาษา (linguistic value) ค่าเชิงภาษา (linguistic variable) กฎฟัซซี (fuzzy rules) และการอนุมานฟัซซี (fuzzy inference) ซึ่งจะนำเสนอรายละเอียดในหัวข้อที่ 5.2 ถึง 5.7 ดังต่อไปนี้

5.2 ฟัซซีเซต

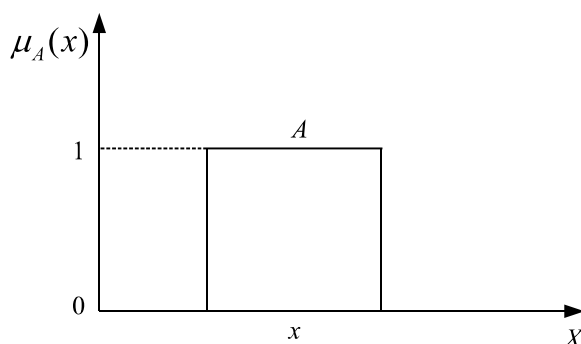
ฟัซซีลอจิก (fuzzy logic) ได้ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย L. A. Zadeh ในปี ค.ศ. 1965 โดยมีฟัซซีเซต (fuzzy set) ที่คลุมเครือไม่ชัดเจน (un-sharp boundary) ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างไปจากเซตชัดเจน (crisp set) ที่ใช้ในระบบตรรกศาสตร์ทั่ว ๆ ไป ที่มีขอบเขตชัดเจน ในหัวข้อนี้จะนำเสนอนิยามของเซตชัดเจน และฟัซซีเซตเพื่อให้เข้าใจความหมาย และเห็นถึงความแตกต่างระหว่างเซตทั้ง 2 แบบ โดยสามารถแสดงนิยามและรายละเอียดของเซตชัดเจน และฟัซซีเซตได้ดังนี้

เซตชัดเจน เป็นเซตที่ระบุค่าความเป็นสมาชิกแบบชัดเจน ซึ่งมีค่าความเป็นสมาชิกเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น ($\{0,1\}$) เมื่อตัวแปรใด ๆ มีค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0 หมายถึงตัวแปรนั้นไม่เป็นสมาชิกของเซต และเมื่อตัวแปรใด ๆ มีค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับ 1 หมายถึงตัวแปรนั้นเป็นสมาชิกของเซต เมื่อกำหนดให้ $\mu_A(x)$ คือ ค่าความเป็นสมาชิกของเซต A ที่ตำแหน่งตัวแปรสมาชิก x ใด ๆ ในเอกภพสัมพัทธ์ X ค่าความเป็นสมาชิกของฟังก์ชันชัดเจนสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.1) และสามารถแสดงรูปร่างฟังก์ชันสมาชิกของเซตชัดเจนได้ดังรูปที่ 5.1

$$\mu_A(x): X \rightarrow \{0,1\} \quad (5.1)$$

โดยที่ $\mu_A(x) = 1$ หมายถึง x เป็นสมาชิกของ A

$\mu_A(x) = 0$ หมายถึง x ไม่เป็นสมาชิกของ A



รูปที่ 5.1 รูปร่างฟังก์ชันสมาชิกของเซตชัดเจน

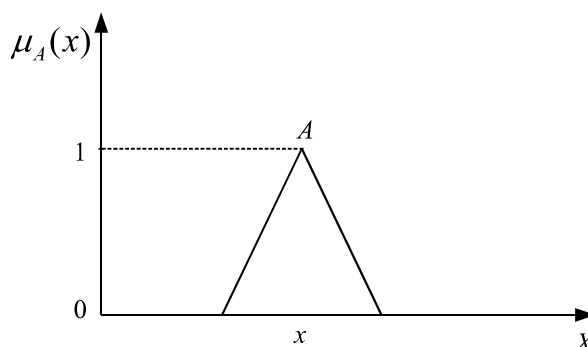
ฟัซซีเซต เป็นเซตที่ระบุค่าความเป็นสมาชิกที่มีความคลุมเครือไม่ชัดเจน มีค่าความเป็นสมาชิกได้หลายค่า ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 $([0,1])$ ขึ้นอยู่กับรูปร่างของฟังก์ชันสมาชิกเช่น รูปสามเหลี่ยม รูปสี่เหลี่ยมคางหมู รูปประฆังคว่ำ และรูปเกาส์เซียน เป็นต้น กำหนดให้ $\mu_A(x)$ คือ ค่าความเป็นสมาชิกของเซต A ที่ตำแหน่งตัวแปรสมาชิก x ใด ๆ ในเอกภพสัมพัทธ์ X ค่าความเป็นสมาชิกของฟังก์ชันของฟัซซีเซตสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.2) และสามารถแสดงรูปร่างฟังก์ชันสมาชิกของฟัซซีเซตได้ดังรูปที่ 5.2 โดยในที่นี้จะแสดงตัวอย่างด้วยฟังก์ชันสมาชิกรูปสามเหลี่ยม

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1] \quad (5.2)$$

โดยที่ $\mu_A(x) = 1$ หมายถึง x เป็นสมาชิกของ A อย่างสมบูรณ์

$0 < \mu_A(x) < 1$ หมายถึง x เป็นสมาชิกของ A แค่บางส่วน

$\mu_A(x) = 0$ หมายถึง x ไม่เป็นสมาชิกของ A



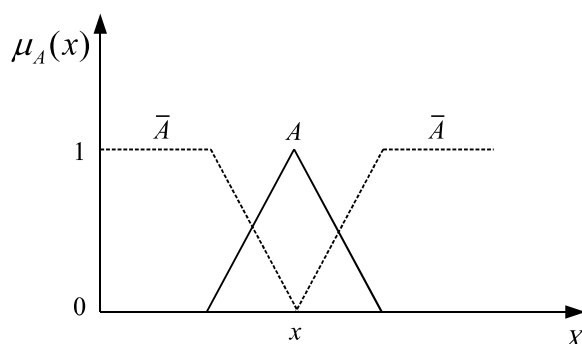
รูปที่ 5.2 รูปร่างฟังก์ชันสมาชิกของฟัซซีเซต

5.3 การดำเนินการทางฟัซซีเซต

การดำเนินการทางฟัซซีเซตมีความหมายในการดำเนินการที่เหมือนกับเซตชัดเจนแต่จะมีความแตกต่างที่ผลลัพธ์ของค่าความเป็นสมาชิก โดยเซตชัดเจนจะให้ผลลัพธ์ คือ ตัวแปรใด ๆ นั้นเป็นสมาชิกหรือไม่เป็นสมาชิกของเซต แต่ฟัซซีเซตสามารถให้ผลลัพธ์ คือ ตัวแปรใด ๆ นั้นเป็นสมาชิกของเซตมากน้อยเพียงใด โดยแสดงค่าความเป็นสมาชิกอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ตัวดำเนินการทางฟัซซีเซตประกอบไปด้วย 3 รูปแบบ ได้แก่ ส่วนเติมเต็ม (complement) ยูเนียน (union) และอินเตอร์เซกชัน (intersection) โดยการดำเนินการทางฟัซซีเซตแต่ละรูปแบบมีรายละเอียดดังนี้

ส่วนเติมเต็ม : เมื่อกำหนดให้ A เป็นฟัซซีเซตที่อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ X ส่วนเติมเต็มของฟัซซีเซต A คือ เซตของสมาชิก x ใด ๆ ที่อยู่ใน X แต่ไม่อยู่ในฟัซซีเซต A โดยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.3 และสามารถคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของส่วนเติมเต็มฟัซซีเซต A ได้ดังสมการที่ (5.3)

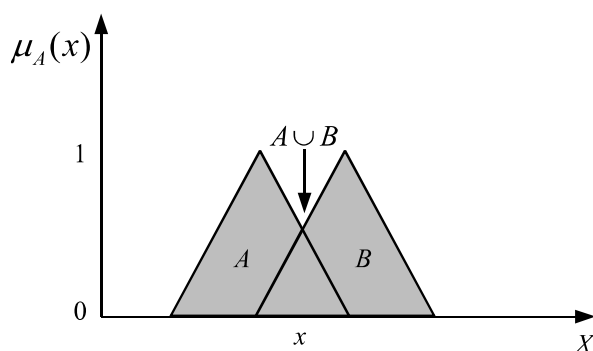
$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (5.3)$$



รูปที่ 5.3 ส่วนเติมเต็มของฟัซซีเซต A

ยูเนียน : เมื่อกำหนดให้ A และ B เป็นฟัซซีเซตที่อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ X ยูเนียนของฟัซซีเซต A และ B คือ เซตของสมาชิก x ใด ๆ ที่อยู่ภายในฟัซซีเซต A และ B โดยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.4 (ส่วนที่แรเงา) และสามารถหาค่าความเป็นสมาชิกของการยูเนียนของฟัซซีเซต A และ B จากการเลือกค่าที่มากที่สุด (maximum) เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตทั้ง 2 ดังสมการที่ (5.4)

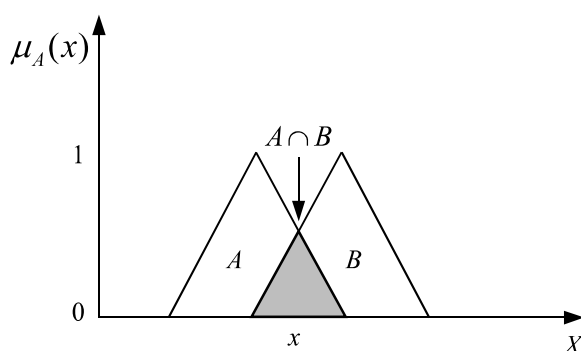
$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \cup \mu_B(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (5.4)$$



รูปที่ 5.4 ยูเนียนระหว่างฟัซซีเซต A และ B

อินเตอร์เซกชัน : เมื่อกำหนดให้ A และ B เป็นฟัซซีเซตที่อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ X อินเตอร์เซกชันของฟัซซีเซต A และ B คือ เซตของสมาชิก x ใด ๆ ที่เหมือนกันของฟัซซีเซต A และ B โดยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.5 (ส่วนที่แรเงา) และสามารถหาค่าความเป็นสมาชิกของการอินเตอร์เซกชันของฟัซซีเซต A และ B จากการเลือกค่าน้อยที่สุด (minimum) เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตทั้ง 2 ดังสมการที่ (5.5)

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \cap \mu_B(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (5.5)$$



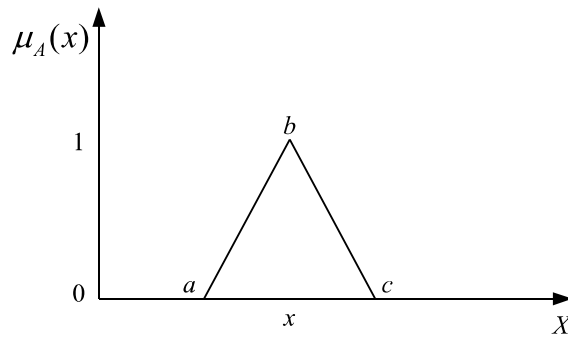
รูปที่ 5.5 อินเตอร์เซกชันระหว่างฟัซซีเซต A และ B

5.4 ฟังก์ชันสมาชิก

ฟังก์ชันสมาชิก (membership function) เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปร x ใด ๆ ซึ่งประกอบไปด้วยฟัซซีเซตอย่างน้อย 1 เซต โดยรูปร่างฟังก์ชันสมาชิกของฟัซซีเซตจะเลือกใช้ตามความเหมาะสมของระบบที่พิจารณา ในปัจจุบันมีรูปร่างของฟังก์ชันสมาชิกที่นิยมใช้ทั้งหมด 4 รูปร่าง ประกอบไปด้วยฟังก์ชันสมาชิกรูปสามเหลี่ยม (triangular membership function : trimf) ฟังก์ชันสมาชิกรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal membership function : trapmf) ฟังก์ชันสมาชิกรูปเกาส์เซียน (gaussian membership function : gussmf) และฟังก์ชันสมาชิกรูประฆังคว่ำ (generalized bell membership function : gbellmf) โดยรายละเอียดของฟังก์ชันสมาชิกแต่ละรูปร่างสามารถแสดงได้ดังนี้

ฟังก์ชันสมาชิกรูปสามเหลี่ยมมีค่าพารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดรูปร่างทั้งหมด 3 ตำแหน่ง ได้แก่ ตำแหน่ง a b และ c ดังแสดงในรูปที่ 5.6 และแบ่งช่วงการคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของค่า x ใด ๆ ออกเป็น 5 ช่วงดังแสดงในสมการที่ (5.6)

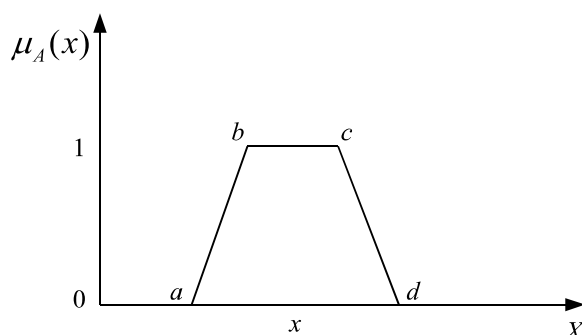
$$\mu(x) = \text{trimf}(x, [a \ b \ c]) = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \\ (x-a)/(b-a) & ; a < x < b \\ 1 & ; x = b \\ (c-x)/(c-b) & ; a < x < b \\ 0 & ; x \geq c \end{cases} \quad (5.6)$$



รูปที่ 5.6 ฟังก์ชันสมาชิกรูปสามเหลี่ยม

ฟังก์ชันสมาชิกรูปสี่เหลี่ยมคางหมูมีค่าพารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดรูปร่างทั้งหมด 4 ตำแหน่ง ได้แก่ตำแหน่ง a b c และ d ดังแสดงในรูปที่ 5.7 และแบ่งช่วงการคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของค่า x ใด ๆ ออกเป็น 5 ช่วงดังแสดงในสมการที่ (5.7)

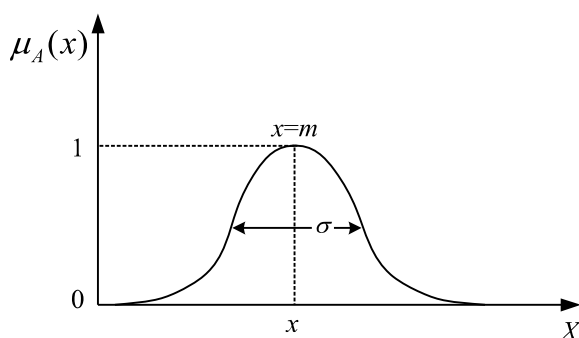
$$\mu(x) = \text{trapmf}(x, [a \ b \ c \ d]) = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \\ (x-a)/(b-a) & ; a < x < b \\ 1 & ; b \leq x \leq c \\ (d-x)/(d-c) & ; c < x < d \\ 0 & ; x \geq d \end{cases} \quad (5.7)$$



รูปที่ 5.7 ฟังก์ชันสมาชิกรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

ฟังก์ชันสมาชิกรูปเกาส์เซียนมีค่าพารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดรูปร่างทั้งหมด 2 ค่า ได้แก่ σ และ m โดย σ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งเป็นค่าที่ใช้กำหนดความกว้างของรูปเกาส์เซียน ส่วน m คือ ค่าเฉลี่ยซึ่งเป็นค่าที่ใช้กำหนดค่ากึ่งกลางของรูปเกาส์เซียนดังแสดงในรูปที่ 5.8 และสามารถคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของค่า x ใด ๆ ของฟังก์ชันดังกล่าวได้ดังสมการที่ (5.8)

$$\mu(x) = \text{gussmf}(x, [\sigma \ m]) = \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (5.8)$$

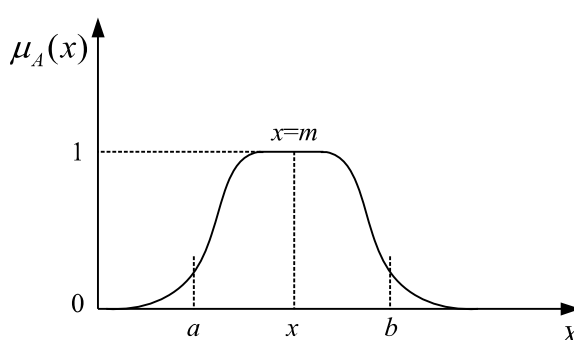


รูปที่ 5.8 ฟังก์ชันสมาชิกรูปเกาส์เซียน

ฟังก์ชันสมาชิกรูปประฆังคว่ำมีค่าพารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดรูปร่างทั้งหมด 3 ค่า ได้แก่ a b และ m โดยค่า a และ b คือ ค่าที่ใช้กำหนดความกว้างของรูปประฆังคว่ำ ส่วน m คือ ค่าที่ใช้กำหนดค่า

กึ่งกลางของระฆังคว่ำดังแสดงในรูปที่ 5.9 และสามารถคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของค่า x ใด ๆ ของฟังก์ชันดังกล่าวได้ดังสมการที่ (5.9)

$$\mu(x) = gbellmf(x, [a \ b \ m]) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-m}{a} \right|^{2b}} \quad (5.9)$$



รูปที่ 5.9 ฟังก์ชันสมาชิกูระฆังคว่ำ

5.5 ตัวแปรภาษาและค่าเชิงภาษา

การประยุกต์ใช้ฟuzzyลอจิกเป็นตัวควบคุมจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันสมาชิกของอินพุตและเอาต์พุตในการควบคุมซึ่งใช้ระบุค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต และตัวแปรเอาต์พุตในระบบที่พิจารณา และเพื่อให้ง่ายสำหรับการอธิบายจึงมีการใช้ภาษาช่วยในการอธิบายให้ความหมายแทนการอธิบายในเชิงตัวเลขซึ่งสามารถทำความเข้าใจได้ง่ายกว่า โดยฟังก์ชันสมาชิกจะถูกกำหนดอยู่ในรูปแบบของภาษาแทนการใช้ตัวเลขเรียกว่า “ตัวแปรภาษา (linguistic variables)” ตัวอย่างเช่น ความผิดพลาด (error) อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาด (error rate) เป็นต้น นอกจากนี้ตัวแปรภาษายังสามารถกำหนดระดับค่าของตัวแปรในรูปแบบของภาษาได้ เช่น “มาก” “ปานกลาง” หรือ “น้อย” เป็นต้น ซึ่งระดับของค่าตัวแปรภาษาที่ถูกกำหนดขึ้นมานั้นจะเรียกว่า “ค่าเชิงภาษา (linguistic value)” โดยรายละเอียดการออกแบบตัวแปรภาษา และค่าเชิงภาษาสำหรับระบบควบคุมกระแสดัดด้วยตัวควบคุมฟuzzyลอจิกสามารถดูได้ในบทที่ 6 (หัวข้อที่ 6.6)

5.6 กฎพีชชี

กฎพีชชี คือ เงื่อนไขการดำเนินการซึ่งประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของเงื่อนไข และส่วนของข้อปฏิบัติ (IF-THEN) ซึ่งจะถูกใช้เป็นกฎเกณฑ์ในการควบคุมสั่งการของระบบที่พิจารณา กฎพีชชีจะถูกออกแบบหรือสร้างขึ้นโดยอาศัยความรู้ และประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญที่พิจารณาระบบนั้น ๆ โดยจะสามารถแสดงรูปแบบของกฎพีชชี ได้ดังนี้

IF x is A

THEN y is B

โดยที่ x และ y คือ ตัวแปรภาษา และ A และ B คือค่าเชิงภาษา

ในบางครั้งเงื่อนไขในส่วนของ IF และข้อปฏิบัติในส่วนของ THEN อาจประกอบด้วยหลายเงื่อนไข และหลายข้อปฏิบัติ โดยสามารถแสดงรูปแบบได้ดังนี้

IF x is A OR y is B AND z is C

THEN d is D AND q is E

โดยที่ x y z d และ q คือ ตัวแปรภาษา และ A B C D และ E คือค่าเชิงภาษา

จากรูปแบบที่แสดงในข้างต้น เงื่อนไข IF จะถูกพิจารณาตรวจสอบค่าทั้งหมดพร้อมกัน (ค่า x y และ z) จากนั้นจะรวมกันด้วยการดำเนินการทางพีชชีเซต ไม่ว่าจะเป็นการอินเตอร์เซกชัน (AND) หรือยูเนียน (OR) และเมื่อเป็นไปตามเงื่อนไขในส่วนของ IF แล้วถึงจะดำเนินการตามข้อปฏิบัติในส่วนของ THEN ต่อไป (ค่า d และ q)

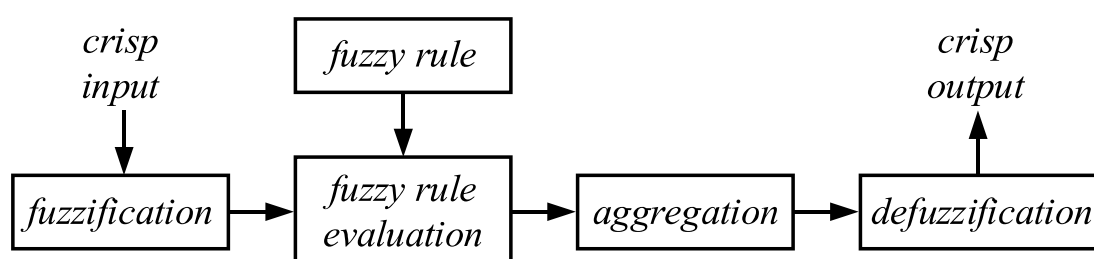
ในการออกแบบกฎพีชชีควรออกแบบให้มีรูปแบบที่เหมาะสมกับระบบที่พิจารณาควบคุมและไม่ควรมีจำนวนกฎที่ไม่มากเกินไป เนื่องจากจำนวนกฎที่มากจะเป็นการเพิ่มความซับซ้อนให้กับระบบ ซึ่งจะส่งผลให้ใช้เวลาในการประมวลผลที่นานมากขึ้นเช่นกัน สำหรับรายละเอียดการออกแบบกฎพีชชีของระบบควบคุมกระแสน้ำด้วยตัวควบคุมพีชชีลอจิกสามารถดูได้ในบทที่ 6 (หัวข้อที่ 6.7)

5.7 การอนุมานฟัซซี

การอนุมานฟัซซี (fuzzy inference) คือ กระบวนการแปลงค่าอินพุตของระบบที่พิจารณาไปสู่ค่าเอาต์พุตของระบบโดยอาศัยหลักการทางฟัซซี ปัจจุบันมีวิธีการอนุมานฟัซซีที่นิยมใช้อยู่ 2 วิธีคือ การอนุมานฟัซซีแบบ Mamdani (Mamdani inference) และการอนุมานฟัซซีแบบ Takagi-Sugeno (Takagi-Sugeno inference) โดยการอนุมานทั้ง 2 วิธีสามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

5.7.1 การอนุมานฟัซซีแบบ Mamdani

การอนุมานฟัซซีแบบ Mamdani ถูกนำเสนอครั้งแรกในปี 1974 โดย Ebrahim Mamdani (Mamdani E.H., 1974) ซึ่งประกอบไปด้วย 4 กระบวนการ คือ การทำฟัซซี (fuzzification) การประเมินกฎฟัซซี (fuzzy rule evaluation) การรวมกฎ (aggregation) และการทำให้ฟัซซี (defuzzification) โดยสามารถแสดงแผนภาพกระบวนการอนุมานแบบ Mamdani ได้ดังรูปที่ 5.10



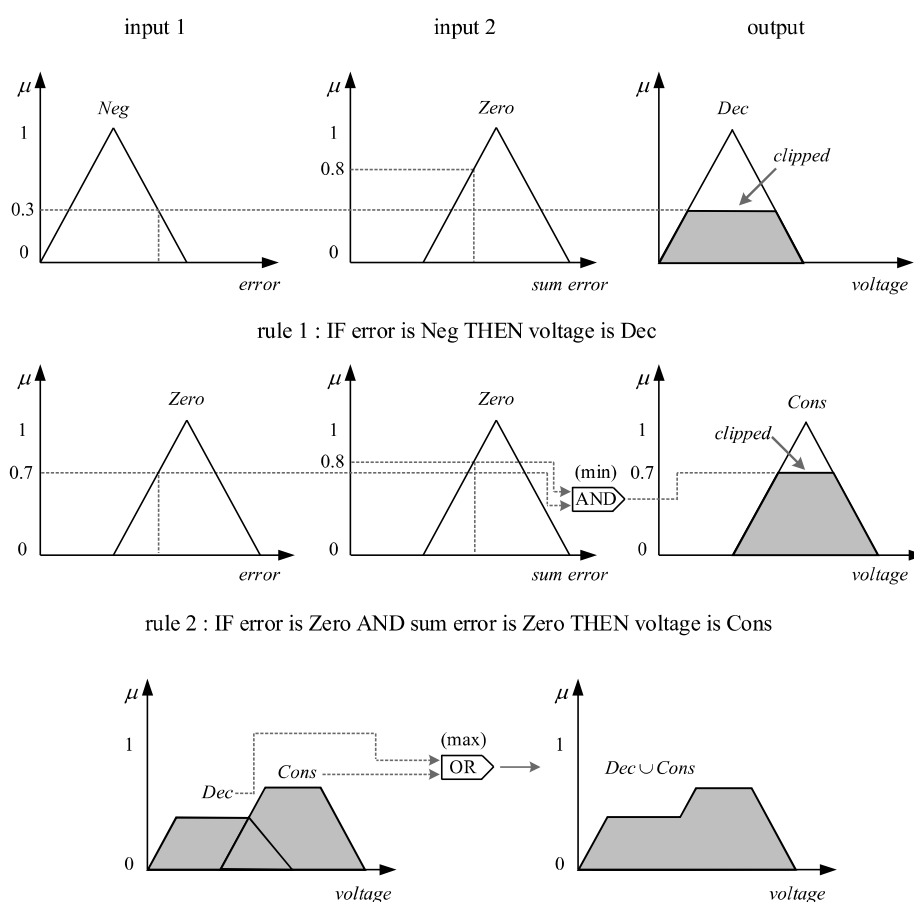
รูปที่ 5.10 แผนภาพการอนุมานฟัซซีแบบ Mamdani

จากรูปที่ 5.10 การทำฟัซซีเป็นขั้นตอนที่ทำการแปลงค่าอินพุตชัดเจน (crisp input) ที่อยู่ในรูปแบบของตัวเลขให้อยู่ในรูปค่าอินพุตแบบฟัซซีที่มีการระบุค่าเชิงภาษา (linguistic variable) พร้อมคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของอินพุตดังกล่าว โดยในการคำนวณจะพิจารณาจากรูปร่างฟังก์ชันสมาชิกที่เลือกใช้

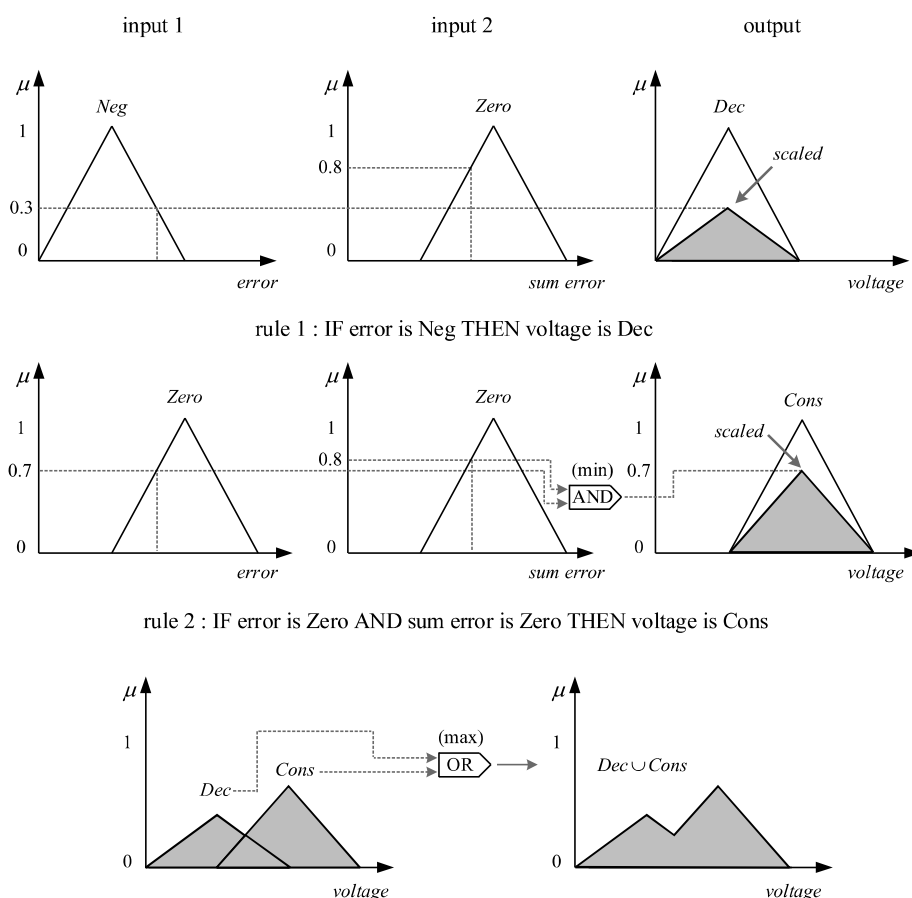
การประเมินกฎฟัซซีเป็นขั้นตอนการตรวจสอบและพิจารณาค่าอินพุตที่อยู่ในรูปแบบตัวแปรภาษาที่ได้มาจากการทำฟัซซีว่าค่าอินพุตดังกล่าวเป็นจริงตามกฎฟัซซีหรือเป็นไปตามส่วนเงื่อนไขของ IF ข้อใดบ้างด้วยค่าความเป็นสมาชิกเท่าใด เพื่อทำการกำหนดค่าเอาต์พุตในรูปแบบตัวแปรภาษาตามส่วนดำเนินการของ THEN ในกฎฟัซซีข้อนั้น ๆ โดยวิธีการประเมินกฎฟัซซีจะแบ่งเป็น 2 วิธี ได้แก่ การตัดยอด (clipped) และวิธีการปิดค่า (scaled)

การรวมกฎเป็นขั้นตอนที่ทำการรวบรวมฟัซซีเซตค่าเชิงภาษาของเอาต์พุตจากกฎฟัซซีทุกข้อที่ผ่านการประเมินแล้วว่าเป็นจริงให้เป็นฟัซซีเซตเดียวเรียกว่า “ผลลัพธ์ฟัซซีเซต

เอาต์พุต” เนื่องจากค่าอินพุตหนึ่งค่าสามารถทำให้กฎฟัซซีเป็นจริงได้มากกว่าหนึ่งกฎพร้อม ๆ กัน โดยการรวบรวมฟัซซีเซตค่าเชิงภาษาของเอาต์พุตจากกฎข้อที่เป็นจริงจะดำเนินการกันแบบยูเนียน (OR) ซึ่งคือการเปรียบเทียบค่าสูงสุดของแต่ละฟัซซีเซต การอนุมานฟัซซีที่มีการรวมกฎจากการประเมินกฎ ฟัซซีจะแบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่ การอนุมานแบบค่าสูงสุด-ต่ำสุด (maximum-minimum) ซึ่งเป็นการอนุมานฟัซซีที่รวมกฎจากการประเมินกฎฟัซซีแบบตัดค่ายอด (clipped) และการอนุมานแบบค่าสูงสุดผลคูณ (maximum-product) ซึ่งเป็นการอนุมานฟัซซีที่รวมกฎจากการประเมินกฎฟัซซีแบบการคูณ (scaled) โดยแผนภาพตัวอย่างการอนุมานแบบค่าสูงสุด-ต่ำสุด (maximum-minimum) และการอนุมานแบบค่าสูงสุดผลคูณ (maximum-product) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.11 และ 5.12 ตามลำดับ



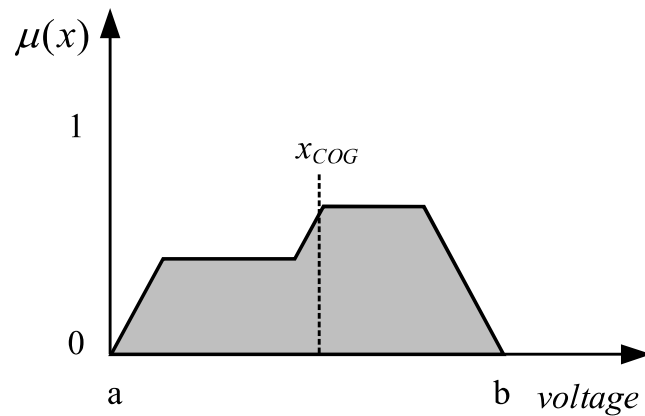
รูปที่ 5.11 การอนุมานแบบค่าสูงสุด-ต่ำสุด



รูปที่ 5.12 การอนุมานแบบค่าสูงสุด-ผลคูณ

การทำดีฟัซซีเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการอนุมานฟัซซี ซึ่งเป็นขั้นตอนในการแปลงจากผลลัพธ์ฟัซซีเซตเอาต์พุตให้เป็นค่าเอาต์พุตชัดเจน (crisp output) สำหรับนำไปใช้ควบคุมระบบที่พิจารณาต่อไป ปัจจุบันมีวิธีการทำดีฟัซซีที่นิยมใช้อยู่หลายวิธี เช่น วิธีหาจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of Gravity : COG) วิธีไบเซกเตอร์ (Bisector of Area : BOA) วิธีหาค่าน้อยสุดของค่าสูงสุด (Smallest of Maximum : SOM) วิธีหาค่ามากที่สุดของค่าสูงสุด (Largest of Maximum : LOM) และวิธีหาค่าเฉลี่ยของค่าสูงสุด (Mean of Maximum : MOM) เป็นต้น ซึ่งจากวิธีที่กล่าวมาทั้งหมดวิธีที่มีความเหมาะสมกับระบบควบคุมกระชดเชยของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน คือ การทำดีฟัซซีด้วยวิธี COG (ทศพร ณรงค์ฤทธิ์, 2557) โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

การทำดีฟัซซีด้วยวิธีหาจุดศูนย์กลางถ่วง หรือวิธี COG เมื่อพิจารณาผลลัพธ์ฟัซซีเซตเอาต์พุตตัวอย่างดังรูปที่ 5.13 ที่ได้จากการรวมกฎแบบค่าสูงสุด-ต่ำสุด จากรูปดังกล่าวจะสามารถคำนวณหาค่าเอาต์พุตชัดเจนได้จากสมการที่ (5.10) อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติการคำนวณด้วยวิธี COG จะใช้วิธีการประมาณค่าโดยการชักตัวอย่างสมาชิก x ใด ๆ โดยแสดงได้ดังสมการที่ (5.11)



รูปที่ 5.13 การทำดีฟัซซีด้วยวิธีหาจุดศูนย์ถ่วง (COG)

$$COG = \frac{\int_a^b \mu_0(x) x dx}{\int_a^b \mu_0(x) dx} \quad (5.10)$$

$$COG = \frac{\sum_{x=a}^b \mu_0(x) x}{\sum_{x=a}^b \mu_0(x)} \quad (5.11)$$

โดยที่ $\mu_0(x)$ คือ ค่าความเป็นสมาชิกของผลลัพธ์ฟัซซีเซตเอาต์พุตที่ตำแหน่งตัวแปรสมาชิก x ใด ๆ

5.7.2 การอนุมานฟัซซีแบบ Takagi-Sugeno

การอนุมานฟัซซีแบบ Takagi-Sugeno ถูกนำเสนอโดย Takagi และ Sugeno ในปี ค.ศ. 1985 (Takagi K. and Sugeno M., 1985) โดยวิธีการอนุมานดังกล่าวมีความแตกต่างจากการอนุมานแบบ Mamdani ในส่วนของรูปแบบฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุต โดยวิธีการอนุมานฟัซซีแบบ Takagi- Sugeno จะใช้ฟังก์ชันเส้นตรงแทนการใช้ฟังก์ชันสมาชิกแบบฟัซซีเซต ส่งผลให้รูปแบบกฎฟัซซีสามารถแสดงได้ใหม่ดังนี้

IF x is A AND y is B

THEN z is $f(x, y)$

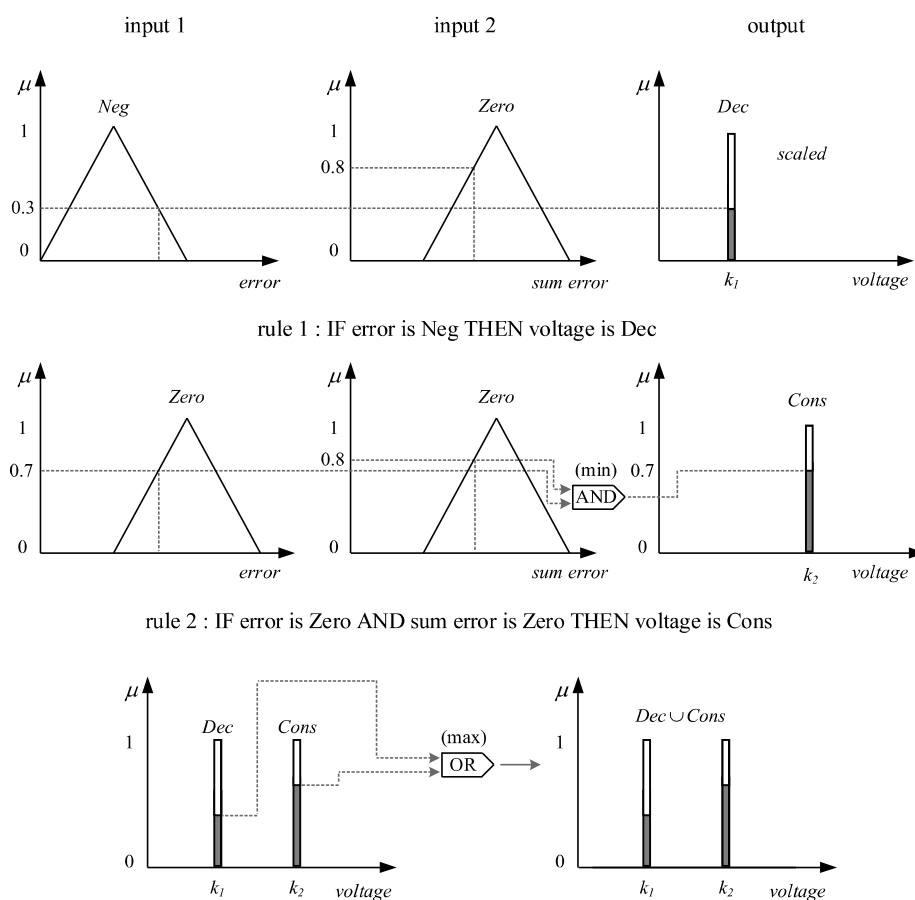
โดยที่ x y และ z คือ ตัวแปรภาษาส่วน A และ B คือ ค่าเชิงภาษา และ $f(x, y)$ คือ ฟังก์ชันเส้นตรง

ฟังก์ชันเส้นตรงที่นิยมใช้ในการอนุมานฟัซซีแบบ Takagi-Sugeno คือ ฟังก์ชันแบบจำลองฟัซซีของ Takagi-Sugeno อันดับศูนย์ (zero order Takagi-Sugeno fuzzy model) โดยฟังก์ชันดังกล่าวจะมีลักษณะเป็นค่าคงที่เส้นตรงโทน (k) เท่านั้น ส่งผลให้ขั้นตอนการรวมกฎและการทำดีฟัซซีมีความสะดวกและมีความซับซ้อนน้อยลง โดยรูปแบบกฎฟัซซีเมื่อใช้ฟังก์ชันแบบจำลองฟัซซีของ Takagi-Sugeno อันดับศูนย์จะสามารถแสดงได้ดังนี้

IF x is A AND y is B

THEN z is k

สำหรับการรวมกฎเพื่อหาผลลัพธ์ฟัซซีเซตเอาต์พุตของการอนุมานฟัซซีแบบ Takagi-Sugeno สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 การอนุมานฟัซซีแบบ Takagi- Sugeno

สำหรับการทำดีฟัซซีเพื่อหาค่าเอาต์พุตชัดเจนจากผลลัพธ์ฟัซซีเซตเอาต์พุตกลุ่มเส้นตรงโทนของวิธีการอนุมานฟัซซีแบบ Takagi- Sugeno จะใช้วิธีการหาค่าน้ำหนักเฉลี่ย (Weighted Average : WA) โดยวิธีดังกล่าวสามารถคำนวณหาค่าเอาต์พุตชัดเจนได้ตามสมการที่ (5.12)

$$WA = \frac{\sum_{m=1}^m \mu(k_m) \times k_m}{\sum_{m=1}^m \mu(k_m)} \quad (5.12)$$

โดยที่ m คือ เลขจำนวนจริง 1,2,3...,m ใช้ระบุตำแหน่งเส้นตรงโทนของฟังก์ชันสมาชิกเอาต์พุต

5.8 สรุป

ไบบหนี่เป็นการนำเสนอความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับฟัซซีลอจิก โดยเนื้อหาที่นำเสนอจะประกอบไปด้วย ความหมายของฟัซซีเซต การดำเนินการทางฟัซซีเซต ฟังก์ชันสมาชิกและรูปร่างฟังก์ชันสมาชิกที่นิยมใช้ซึ่งประกอบไปด้วย ฟังก์ชันสมาชิกรูปสามเหลี่ยม ฟังก์ชันสมาชิกรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ฟังก์ชันสมาชิกรูปเกาส์เซียน และฟังก์ชันสมาชิกรูปประฆังคว่ำ ตัวแปรภาษาและค่าเชิงภาษา รวมถึงการอนุมานฟัซซีทั้งแบบ Mandani และแบบ Takagi- Sugeno ซึ่งจะเป็นความรู้พื้นฐานที่สำคัญสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีลอจิกสำหรับใช้ควบคุมกระแสดัดของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วมตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยวิทยานิพนธ์ รายละเอียดการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีลอจิกดังกล่าวสามารถดูได้ในบทที่ 6 ต่อไป