

บทที่ 1

บทนำ

พีชชีลอจิกเป็นศาสตร์ด้านการคำนวณที่เข้ามามีบทบาทมากขึ้นในวงการวิจัยด้านคอมพิวเตอร์และได้นำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ มีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับนักศึกษาด้านวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิทยาการคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ และด้านอื่นๆที่เกี่ยวข้องควรจะได้ศึกษาเพื่อทำความเข้าใจในศาสตร์พีชชีลอจิกและโครงข่ายประสาทเทียมให้ลึกซึ้ง ทั้งนี้เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ ซึ่งนับวันจะยิ่งมีความต้องการระบบคอมพิวเตอร์ ที่มีความสามารถในการปรับเปลี่ยนระบบได้โดยอัตโนมัติตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป มีการตัดสินใจแบบชาญฉลาดยิ่งมุนษย์ได้มากขึ้น ซึ่งมนุษย์สามารถแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่ไม่เคยพบได้โดยความรู้เท่าที่ได้เรียนรู้มาประยุกต์ในการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ด้วยเหตุนี้ผู้ทำโครงการจึงทำการศึกษาโครงการการควบคุมการทำงานของพัดลมเพื่อประหยัดพลังงาน ด้วยตัวควบคุมพีชชี โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิห้อง เพื่อนำไปควบคุมความเร็วมอเตอร์ของพัดลม

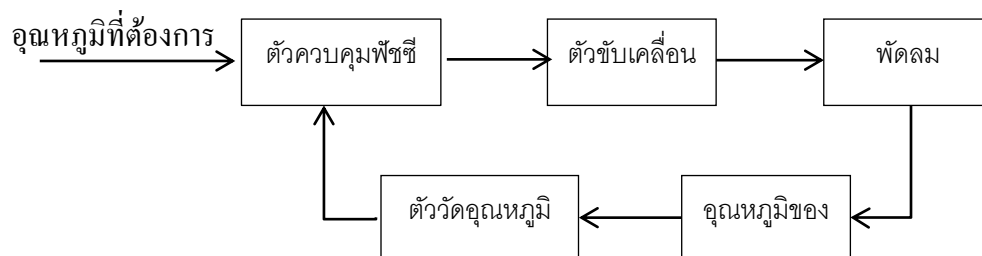
1.1 วัตถุประสงค์โครงการ

1. เพื่อสร้างตัวควบคุมการทำงานของพัดลม
2. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์พัดลม
3. เพื่อประยุกต์หลักการของระบบควบคุม และเครื่องจักรกลไฟฟ้า
4. เพื่อวิเคราะห์ การประหยัดพลังงาน ระหว่างอุณหภูมิกับความเร็วของมอเตอร์พัดลม
5. เพื่อให้เกิดทักษะและประสบการณ์ทางด้านวิศวกรรม

1.2 ขอบเขตของโครงการ

1. ควบคุมพัดลมจำนวน 1 ตัว
2. พัดลมขนาด 18 นิ้ว 78 วัตต์
3. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328 สร้างตัวควบคุมพีชชีเพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์พัดลม

1.3 โครงสร้างของโครงการ



ภาพที่ 1.1 โครงสร้างของโครงการ

1.4 ประโยชน์ของโครงการ

1. เข้าใจการทำงานของมอเตอร์พัคลม
2. เข้าใจหลักการทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์พัคลม
3. เข้าใจหลักการออกแบบวงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์พัคลม
4. เข้าใจหลักการการทำงานของตัวรับรู้อุปถัมภ์และสามารถนำไปใช้งานได้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการทำโครงการพัฒนาระบบพลังงานควบคุมด้วยตัวฟัซซี จำเป็นต้องศึกษาทฤษฎีและหลักการงานประเภทต่างๆ ของอุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบทำโครงการ เพื่อบรรลุตามเป้าหมายของโครงการ ซึ่งประกอบไปด้วยทฤษฎีดังนี้

2.1 ทฤษฎีฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) [1]

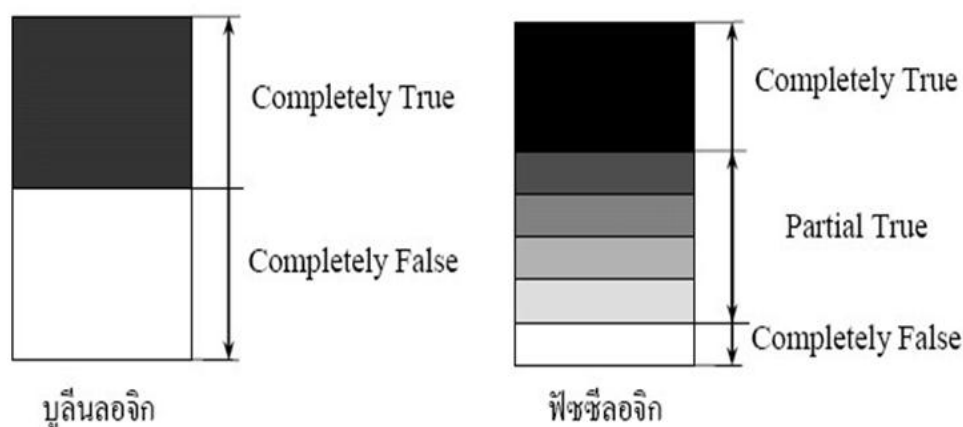
ฟัซซีลอจิก (Fuzzy logic) ศาสตร์ด้านการคำนวณที่เข้ามามีบทบาทมากขึ้นในวงการวิจัยด้านคอมพิวเตอร์ และได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ มากมาย เช่น ด้านการแพทย์ ด้านการทหาร ด้านธุรกิจ ด้านอุตสาหกรรม เป็นต้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่นักศึกษาด้านวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิทยาการคอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ ควรจะได้ศึกษาเพื่อทำความเข้าใจในศาสตร์ฟัซซีลอจิกและโครงข่ายประสาทเทียมให้ลึกซึ้ง ทั้งนี้เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ ซึ่งนับวันจะยังมีความต้องการระบบคอมพิวเตอร์ ที่มีความสามารถในการปรับเปลี่ยนระบบได้โดยอัตโนมัติตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป มีการตัดสินใจแบบชาญฉลาดยิ่งมนุษย์ได้มากขึ้น ซึ่งมนุษย์สามารถแก้ปัญหาต่างๆ ที่ไม่เคยพบได้โดยอาศัยความรู้เท่าที่ได้เรียนรู้มาประยุกต์ในการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ระบบฟัซซี เป็นระบบด้านคอมพิวเตอร์ที่ทำงานโดยอาศัยฟัซซีลอจิกที่คิดค้นโดย L. A. Zadeh ในปี ค.ศ. 1965 ซึ่งเป็นผลงานวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอก ฟัซซีลอจิกเป็นตรรกะที่อยู่บนพื้นฐานความเป็นจริงที่ว่า ทุกสิ่งบนโลกแห่งความเป็นจริงไม่ใช่มีเฉพาะสิ่งมีความแน่นอนเท่านั้น แต่มีหลายสิ่งหลายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่เที่ยงและไม่แน่นอน (Uncertain) อาจเป็นสิ่งที่คลุมเครือ (Fuzzy) ไม่ใช่ชัดเจน (Exact) ยกตัวอย่างเช่น เซตของอายุคน อาจแบ่งเป็น วัยทารก วัยเด็ก วัยรุ่น วัยกลางคน และวัยชรา จะเห็นได้ว่าในแต่ละช่วงอายุคนไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าวัยทารกกับวัยเด็กแยกจากกันแน่ชัดช่วงใด วัยทารกอาจถูกตีความว่าเป็นอายุระหว่าง 0 ถึง 1 ปี บางคนอาจตีความว่าวัยทารกอยู่ในช่วงอายุ 0 ถึง 2 ปี ในทำนองเดียวกัน วัยเด็กและวัยรุ่น ก็ไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่าช่วงต่อของอายุควรอยู่ในช่วงใด อาจตีความว่าวัยเด็กมีอายุอยู่ในช่วง 1 ถึง 12 ปี หรืออาจเป็น 2 ถึง 10 ปี เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นตัวอย่างของความไม่แน่นอน ซึ่งเป็นลักษณะทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นทั่วไป เซตของเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอนเช่นนี้เรียกว่าฟัซซีเซต (Fuzzy set)

จากแนวความคิดของ Zadeh เกี่ยวกับความไม่แน่นอนได้มีการขยายแนวคิดเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ มากมายจนนับไม่ถ้วน ได้มีนักวิจัยได้คิดค้นทฤษฎีเสริมกับแนวคิดเดิมจนทำให้ฟัซซีเซตโดดเด่นในวงการคอมพิวเตอร์ ถึงแม้ว่าฟัซซีเซตจะนำเสนอจากคนอเมริกันแต่ประเทศอเมริกาก็ไม่ได้นำไปประยุกต์ใช้อย่างจริงจังในช่วงต้น ๆ แต่ประเทศญี่ปุ่นเล็งเห็นคุณค่าของศาสตร์ด้านนี้ได้เป็นผู้บุกเบิกฟัซซีเซตทางการค้า โดยได้นำไปประยุกต์ใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้ามากมาย เช่น เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้า หม้อหุงข้าว และอื่น ๆ อีกมากมาย ในยุคปัจจุบันประเทศสหรัฐอเมริกาได้ให้ความสำคัญกับศาสตร์นี้มากขึ้น โดยได้มีการทุ่มงบประมาณให้กับการวิจัยมากขึ้น และฟัซซีลอจิกถูกนำไปประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ มากมาย ตัวอย่างเช่น ในโครงการอวกาศ NASA และโครงการด้านการทหาร

2.1.1 พื้นฐานแนวคิดแบบฟัซซี

ตรรกะแบบฟัซซี (Fuzzy logic) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายในได้ความไม่แน่นอนของข้อมูล โดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ ใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิถีความคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ ฟัซซีลอจิกมีลักษณะที่พิเศษกว่าตรรกะแบบจริงเท็จ (Boolean Logic) เป็นแนวคิดที่มีการต่อขยายในส่วนของความจริง (Partial True) โดยค่าความจริงจะอยู่ในช่วงระหว่างจริง (Completely true) กับเท็จ (Completely False) ส่วนตรรกศาสตร์เดิมจะมีค่าเป็นจริงกับเท็จเท่านั้น แสดงดังภาพที่ 2.1

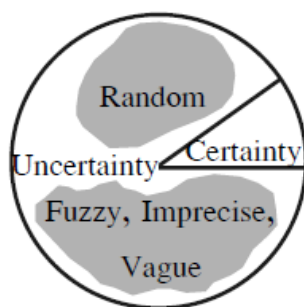


ภาพที่ 2.1 ตรรกะแบบจริงเท็จ (บูลีนลอจิก) กับตรรกะแบบฟัซซี (ฟัซซีลอจิก)

ความเป็นฟัซซี (Fuzziness) มีชื่อเรียกว่า มัลติวาลานซ์ (Multivalance) ซึ่งมีค่าที่ความเป็นสมาชิกมากกว่า 2 ค่า และแตกต่างกับ ไบวาลานซ์ (Bivalance) ที่มีความเป็นสมาชิกเพียง 2 ค่า ฟัซซี

เซต (Fuzzy Set) เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่สื่อถึง “ความไม่แน่นอน (Uncertainty)” สามารถที่จะสร้างและกำหนดรูปแบบ (Modeling) ของลักษณะความไม่แน่นอนที่เป็นความคลุมเครือ ความไม่ตายตัว รวมถึงความขาดข้อมูลบางส่วน โดยทฤษฎีของฟัซซีเซตจะใช้ลักษณะความหมายตัวแปร (Linguistic) มากกว่าปริมาณ (Quantitative) ของตัวแปร เช่น การหาความหมายของ “คนที่อ้วน” เราไม่สามารถนิยามค่าความอ้วนที่ตรงกันและระบุเป็นหนึ่งเดียว (Identical) สำหรับคนที่อ้วน นาย ก. จะให้ความหมายของ “คนอ้วน” หมายถึงคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 70 กิโลกรัม นาย ข. ให้ความหมายว่าเป็นคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 75 กิโลกรัม ซึ่งทั้งสองคนต่างแสดงความหมายของคำว่าคนที่อ้วน โดยเปรียบเทียบและในมุมมองของตัวเองตามน้ำหนักของตน ในการทำงานในมุมมองแบบฐานสอง (Binary Sense) จะได้ผลเป็น ใช่ หรือ ไม่ใช่ เพียง 2 กรณี ซึ่งหากกำหนดว่า คนที่อ้วนคือคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 75 กิโลกรัม คอมพิวเตอร์จะให้ผลว่าคนที่น้ำหนัก 74.50 กิโลกรัม ไม่จัดเป็นคนที่อ้วน แต่จะเห็นว่าบุคคลนี้เป็นคนอ้วนน้ำหนักเกือบจะ 75 กิโลกรัม และถึงแม้ว่าบุคคลนี้จะมีน้ำหนัก 75 กิโลกรัมแต่หากพิจารณาจากกลุ่มคนที่น้ำหนักเฉลี่ย 90 กิโลกรัม บุคคลนี้ก็จะไม่จัดอยู่ในกลุ่มคนที่อ้วน แสดงให้เห็นว่า ความอ้วนไม่ได้มีลักษณะความไม่แน่นอนแบบสุ่ม จากการศึกษาค้นคว้าปัญหาต่างๆ ไปจะแสดงถึงรูปแบบลักษณะการกระจายของปัญหา

ภาพที่ 2.2 เป็นการแสดงให้เห็นว่าแนวทางในการตัดสินใจของปัญหาทั้งหมดมีเพียงส่วนน้อยที่เป็นสิ่งที่แน่นอน (Certainty) ที่เหลือคือสิ่งที่ไม่แน่นอนซึ่งประกอบด้วยความไม่แน่นอนที่มีลักษณะแบบสุ่ม และความไม่แน่นอนที่มีลักษณะเป็นฟัซซี หรือคลุมเครือ ซึ่งมีมากกว่าร้อยละ 40 เพราะปัญหา ส่วนมากเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจของมนุษย์ซึ่งจะตัดสินใจตามพื้นฐานความคิดของตนเป็นหลัก



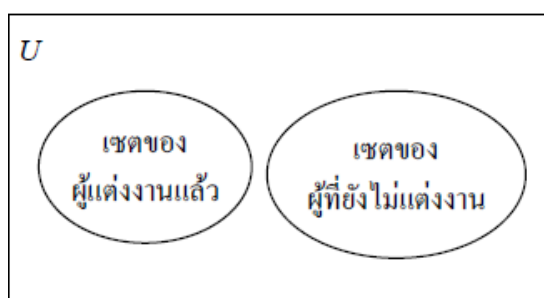
ภาพที่ 2.2 ความไม่แน่นอน (Uncertainty)

ฟัซซีเซตจะสร้างวิธีทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความคลุมเครือ ความไม่แน่นอนของระบบที่เกี่ยวข้องกับความคิดความรู้สึกของมนุษย์ เมื่อพิจารณาส่วนประกอบต่างๆ ในความไม่แน่นอนเพื่อ

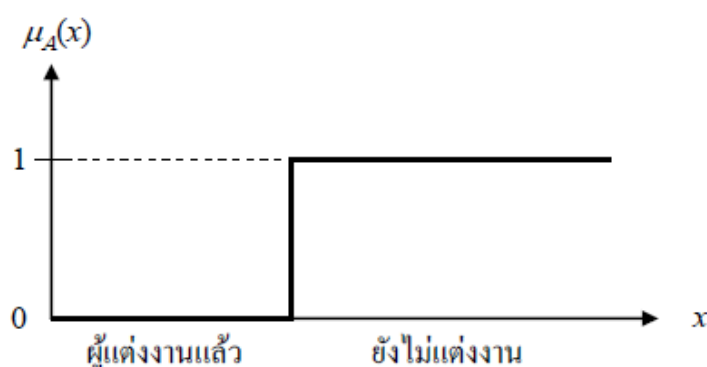
กำหนดเงื่อนไขในการตัดสินใจ (Decision Making) โดยอาศัยเซตของความเป็นสมาชิก (Set Membership)

2.1.2 เซตแบบฉบับ

ในเซตแบบฉบับ (Classical Set) หรือเซตทวินัย (Crisp Set) เป็นเซตที่มีค่าความเป็นสมาชิกเป็น 0 หรือ 1 $\{0, 1\}$ เท่านั้น เซตในทฤษฎีเซตแบบฉบับจะมีขอบเขตแบบแข็ง (Sharp Boundary) ซึ่งเป็นขอบเขตที่ตัดขาดจากกันแบบทันทีทันใด เซตแบบฉบับมีการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกตามแนวคิดเลขฐานสอง โดยที่ตัวแปรหนึ่ง ๆ จะมีค่าความเป็นสมาชิกเพียงสองค่า คือ 0 ไม่เป็นสมาชิก และ 1 เป็นสมาชิก ตัวอย่างเช่น เซตของกลุ่มผู้จ้างงาน จะสามารถบอกได้อย่างแน่ชัดว่าเป็นกลุ่มผู้จ้างงานหรือไม่จ้างงาน



ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างเซตแบบฉบับ



ภาพที่ 2.4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซตผู้ที่ไม่จ้างงาน

ภาพที่ 2.3 แสดงตัวอย่างของเซตย่อยสองเซต คือเซตของผู้ที่จ้างงานและเซตของผู้ที่ไม่จ้างงาน จะเห็นได้ว่าคนหนึ่งคนจะเป็นสมาชิกภาพได้เพียงเซตเดียวเท่านั้น แต่งงานหรือไม่จ้างงาน ในภาพที่ 2.4 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตผู้ที่ไม่จ้างงาน จากภาพจะเห็นได้ว่า ผู้ที่

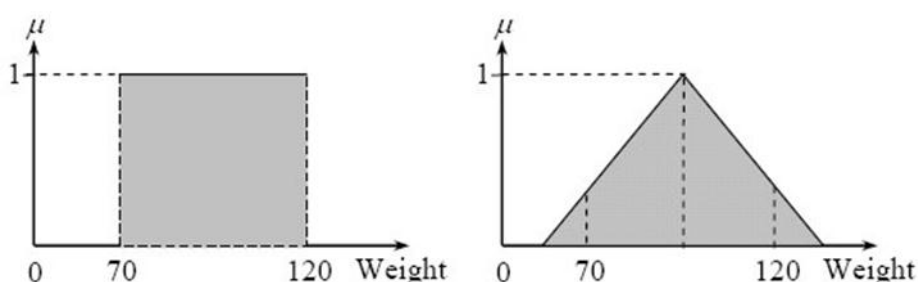
แต่งงานแล้วจะมีค่าความเป็นสมาชิกในเซตของผู้ไม่แต่งงานเป็น 0 ส่วนผู้ที่ไม่แต่งงานมีค่าความเป็นสมาชิกในเซตของผู้ที่แต่งงานเป็น 1 ค่าความเป็นสมาชิกของทั้งสองเซตจะตัดขาดจากกัน อย่างทันทีทันใดรูปแบบคณิตศาสตร์ของเซตแบบฉบับมีดังสมการที่ (2.1)

$$\mu_A = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (2.1)$$

เมื่อ A เป็นเซตแบบฉบับหรือเซตแบบทวินัย x เป็นสมาชิกในเซต μ_A เป็นค่าความเป็นสมาชิกในเซตและ $\mu_A(x)$ เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซต A

2.1.3 ฟัซซีเซต

ฟัซซีเซต (Fuzzy Set) เป็นเซตที่มีขอบเขตที่ราบเรียบ ทฤษฎีฟัซซีเซตจะครอบคลุมทฤษฎีเซตแบบฉบับ โดยฟัซซีเซตยอมให้มีค่าความเป็นสมาชิกของเซตระหว่าง 0 และ 1 ในโลกแห่งความเป็นจริงเซตไม่ใช่มีเฉพาะเซตแบบฉบับเท่านั้น จะมีเซตแบบฟัซซีด้วย ฟัซซีเซตจะมีขอบเขตแบบฟัซซีไม่ใช่เปลี่ยนแปลงทันทีทันใดจากขาวเป็นดำ ตัวอย่างเช่น เซตของกลุ่มแต่งงานที่มีความสุข จะเห็นได้ว่าสมาชิกในเซตนี้จะไม่มีเฉพาะคู่แต่งงานที่มีความสุขระดับเดียวกันหมด บางคู่จะมีความสุขมาก บางคู่มีความสุขน้อย แตกต่างกันไป การใช้เซตแบบดั้งเดิมจึงไม่เหมาะสมยกตัวอย่างเกี่ยวกับความอ้วน นิยามคำว่าคนอ้วนในเซตทวินัยอาจกำหนดเป็นคนที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 70 ถึง 120 กิโลกรัม โดยนิยามแบบฟัซซีเซตอาจกำหนดเป็นคนที่มีความอ้วนประมาณ 80 กิโลกรัม ซึ่งเป็นการให้นิยามที่ไม่แสดงถึงขอบเขตที่แน่นอน



ก. ฟังก์ชันสี่เหลี่ยม

ข. ฟังก์ชันสามเหลี่ยม

ภาพที่ 2.5 การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของเซตทวินัยและเซตแบบฟัซซี

2.1.4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) เป็นฟังก์ชันที่มีการกำหนดระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ต้องการใช้งาน โดยเริ่มจากการแทนที่กับตัวแทนที่มีความไม่ชัดเจน ไม่แน่นอน และคลุมเครือ ดังนั้นส่วนที่สำคัญต่อคุณสมบัติหรือการดำเนินการของฟัซซี่ เพราะรูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีความสำคัญต่อกระบวนการคิดและแก้ไขปัญหา โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะไม่สมมาตรกันหรือสมมาตรกันทุกประการก็ได้

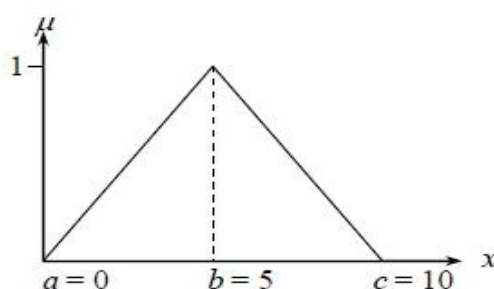
2.1.5 ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ใช้งานทั่วไปมีหลายชนิด แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียงบาง 2 ชนิดดังนี้

1. ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (Triangular Membership Function) ฟังก์ชันสามเหลี่ยมมีทั้งหมด 3 พารามิเตอร์คือ $\{a, b, c\}$ ดังสมการที่ (2.2)

$$\text{triangular}(x: a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x - a)/(b - a) & a \leq x < b \\ (c - x)/(c - b) & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases} \quad (2.2)$$

ตัวอย่างกำหนดให้ a เท่ากับ 0, b เท่ากับ 5 และ c เท่ากับ 10 แสดงกราฟฟังก์ชันสามเหลี่ยม ดังภาพที่ 2.6

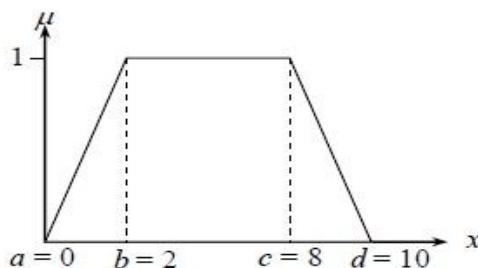


ภาพที่ 2.6 ฟังก์ชันสามเหลี่ยม

2. ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Membership Function) ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมูมีทั้งหมด 4 พารามิเตอร์คือ $\{a, b, c, d\}$ ดังสมการที่ (2.3)

$$\text{triangular}(x: a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x - a)/(b - a) & a \leq x < b \\ 1 & b \leq x < c \\ (d - x)/(d - c) & c \leq x \leq d \\ 0 & x > d \end{cases} \quad (2.3)$$

ตัวอย่างกำหนดให้ $a = 0, b = 2, c = 8$ และ $d = 10$ กราฟที่ได้แสดงดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู

2.1.6 นิยามพื้นฐานของฟuzzyเซต

นิยามของฟuzzyเซต กำหนดให้ X เป็นเซตที่ไม่ว่าง ฟuzzyเซต A สามารถแสดงลักษณะเฉพาะได้จากฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

นิยามซัพพอร์ตของฟuzzyเซต (Support of Fuzzy Set) ซัพพอร์ตของฟuzzyเซตคือ คลิปเซตของสมาชิก x ในเอกภพสัมพัทธ์ที่มีอัตราความเป็นสมาชิกของฟuzzyเซต มากกว่า 0 เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ดังสมการ (2.4)

$$\text{Sup}(A) = \{x \in U / \mu_A(x) > 0\} \quad (2.4)$$

$$A = \text{ฟuzzyเซตใดๆ}$$

$$\text{Sup}(A) = \text{ซัพพอร์ตของฟuzzyเซต } A$$

นิยามฟuzzyซิงเกิลตัน (Fuzzy Singleton) ฟuzzyซิงเกิลตัน คือ ซัพพอร์ตของฟuzzyเซตที่มีสมาชิกเพียงตัวเดียว

นิยามศูนย์กลางของฟuzzy (Centre of Fuzzy) ศูนย์กลางของฟuzzy คือค่ากึ่งกลางของฟuzzyเซต หรือค่าสูงสุดของฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

นิยามจุดแบ่งของฟuzzyเซต (Crossover Point of Fuzzy Set) จุดแบ่งของฟuzzyเซตคือจุดใดๆ ในเอกภพสัมพัทธ์ ที่มีอัตราความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.5

นิยามความสูงของฟuzzyเซต (Height of Fuzzy Set) ความสูงของฟuzzyเซต คือค่าสูงสุดของฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

นิยาม α - Cut เซตของฟัซซีเซต (α -Cut Set of Fuzzy Set) α - Cut เซตของฟัซซีเซตคือ คลิปเซตของสมาชิก x ทั้งหมด ที่มีอัตราความเป็นสมาชิกมากกว่าหรือเท่ากับ α เขียนแทนด้วย

$$A_\alpha = \{x \in U / \mu_A(x) \geq \alpha\} \quad (2.5)$$

2.1.7 ตัวปฏิบัติการฟัซซี

การเท่ากันของฟัซซีเซต (Equality) ฟัซซีเซต A และ B จะเท่ากันก็ต่อเมื่อฟัซซีเซตทั้งสอง ถูกนิยามบนเอกภพสัมพัทธ์เดียวกันและมีฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเหมือนกันดังสมการ(2.6)

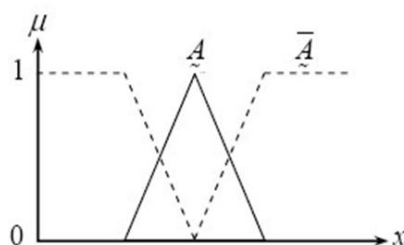
$$\mu_A(x) = \mu_B(x) \quad \forall x \in U \quad (2.6)$$

การเป็นสับเซตของฟัซซีเซต (Contain) ฟัซซีเซต A จะบรรจุอยู่ในฟัซซีเซต B ก็ต่อเมื่อ สมาชิก x ทุกตัวในเอกภพสัมพัทธ์ U มีอัตราความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต A น้อยกว่าหรือ เท่ากับ อัตราความเป็นสมาชิกของเซต B เขียนแทนด้วย

$$A \subset B \text{ ก็ต่อเมื่อ } \mu_A(x) \leq \mu_B(x) \quad \forall x \in U$$

คอมพลิเมนต์ (Complement)คอมพลิเมนต์ของฟัซซีเซต A ที่มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $\mu_A(x)$ เขียนแทนด้วย A' ถูกนิยามดังสมการ(2.7)

$$\mu_{A'}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (2.7)$$

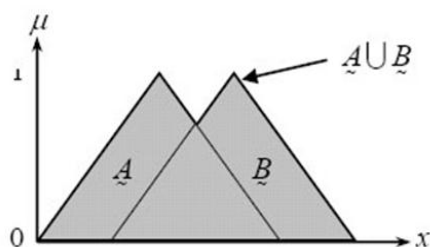


ภาพที่ 2.8 Complement ของฟัซซีเซต A

ยูเนียน(Union)ถ้า A และ B เป็นฟัซซีเซตใน U การรวมสมาชิกทั้งหมดของทั้ง 2 เซต จะ เขียนได้ดังสมการ (2.8)

$A \cup B$ โดย

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max [\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (2.8)$$

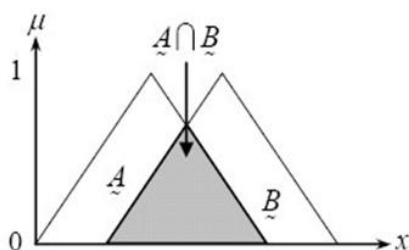


ภาพที่ 2.9 ยูเนียนของฟัซซี A และ B

อินเตอร์เซกชัน (Intersection) ถ้า A และ B เป็นฟัซซีเซตใน U การรวมสมาชิกที่เป็นสมาชิกทั้ง 2 เซต จะเขียนได้ดังสมการ(2.9)

$A \cap B$ โดย

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min [\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (2.9)$$



ภาพที่ 2.10 Intersection ของฟัซซี A และ B

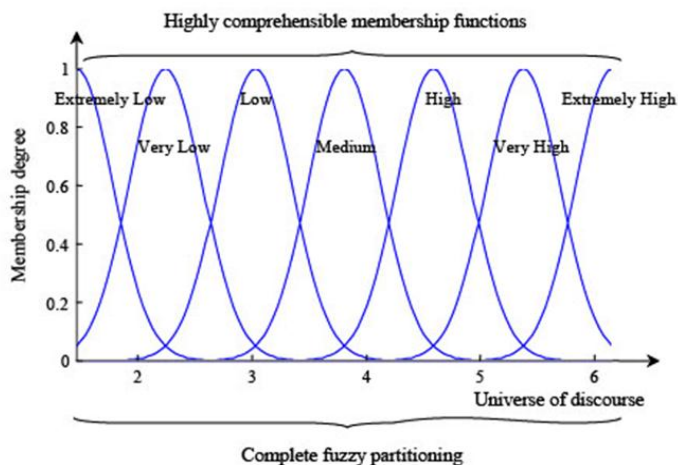
กฎของดีมอแกนต์ (DE Morgan's Law) กฎของดีมอแกนต์กล่าวว่าคอมพลิเมนต์ของฟัซซีเซตสองเซตที่อยู่เนี่ยนกันจะสมมูลกับการอินเตอร์เซกชันกันระหว่างคอมพลิเมนต์ของแต่ละฟัซซีเซตซึ่งเขียนแทนได้ด้วยสมการที่ (2.10)

$$\overline{A \cup B} = \bar{A} \cap \bar{B} \quad (2.10)$$

2.1.8 ตัวแปรภาษา (Linguistic Variable)

เซตแบบฟัซซีสามารถประยุกต์ใช้ในการอธิบายค่าของตัวแปรเช่นเดียวกับเซตแบบดั้งเดิม เช่น ประโยค “อุณหภูมิในห้องเย็น” คำว่า “เย็น” เป็นคำที่ใช้แสดงปริมาณอุณหภูมิ ในทางรูปนัยสามารถเขียนได้เป็น ปริมาณอุณหภูมิ ในห้อง เย็น หรือ Temperature Quantity is Cold ตัวแปร Temperature Quantity เป็นตัวแปรภาษา (Linguistic Variable) ซึ่งเป็นแนวคิดที่สำคัญมากในตรรกะ

แบบฟัซซี ตัวแปรภาษาช่วยกำหนดค่าของสิ่งที่จะอธิบายทั้งในรูปคุณภาพ โดยใช้พจน์ภาษา (Linguistic Term) และในรูปปริมาณ โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) ซึ่งแสดงความหมายของเซตแบบฟัซซี พจน์ภาษาใช้สำหรับการแสดงแนวคิดและองค์ความรู้ในการสื่อสารของมนุษย์ ส่วนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีประโยชน์ในการจัดการกับอินพุตที่เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข

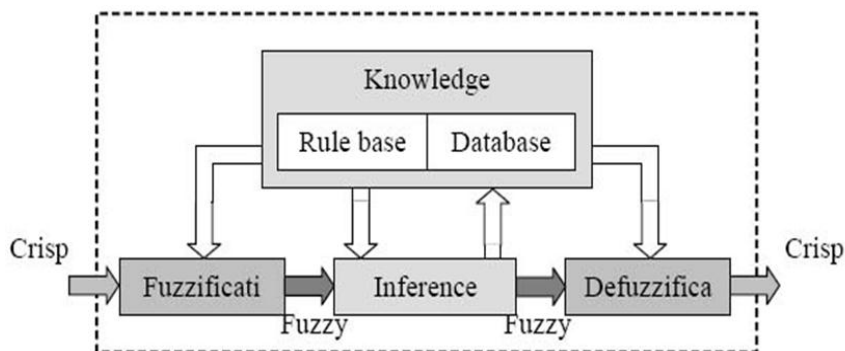


ภาพที่ 2.11 ตัวอย่างตัวแปรภาษา

ตัวแปรภาษาเป็นการประกอบกัน (Composition) ของตัวแปรสัญลักษณ์ (Symbolic Variable) และตัวแปรเชิงเลข (Numerical Variable) ตัวอย่างตัวแปรสัญลักษณ์ เช่น “รูปร่าง เป็นทรงกระบอก” (Shape = Cylinder) คำว่า “รูปร่าง” เป็นตัวแปรที่บอกถึงรูปร่างของวัตถุ ตัวอย่างตัวแปรเชิงเลข เช่น “ความสูงเท่ากับ 4 ฟุต” (Height = 4') ตัวแปรเชิงเลขจะมีใช้กันในสาขาทางด้านวิทยาศาสตร์วิศวกรรมศาสตร์ คณิตศาสตร์ การแพทย์ และอื่น ๆ ส่วนตัวแปรสัญลักษณ์มีความสำคัญในวิทยาการเกี่ยวกับปัญญาประดิษฐ์และการตัดสินใจ การใช้ตัวแปรภาษาเป็นการรวมตัวแปรเชิงเลขกับตัวแปรสัญลักษณ์เข้าด้วยกัน ภาพที่ 2.11 แสดงตัวอย่างเซตตัวแปรภาษาของเซตฟัซซี ได้แก่ Extremely Low, Very Low, Low, Medium, High, Very High และ Extremely High

2.1.9 ตัวควบคุมฟัซซี (Fuzzy Controller)

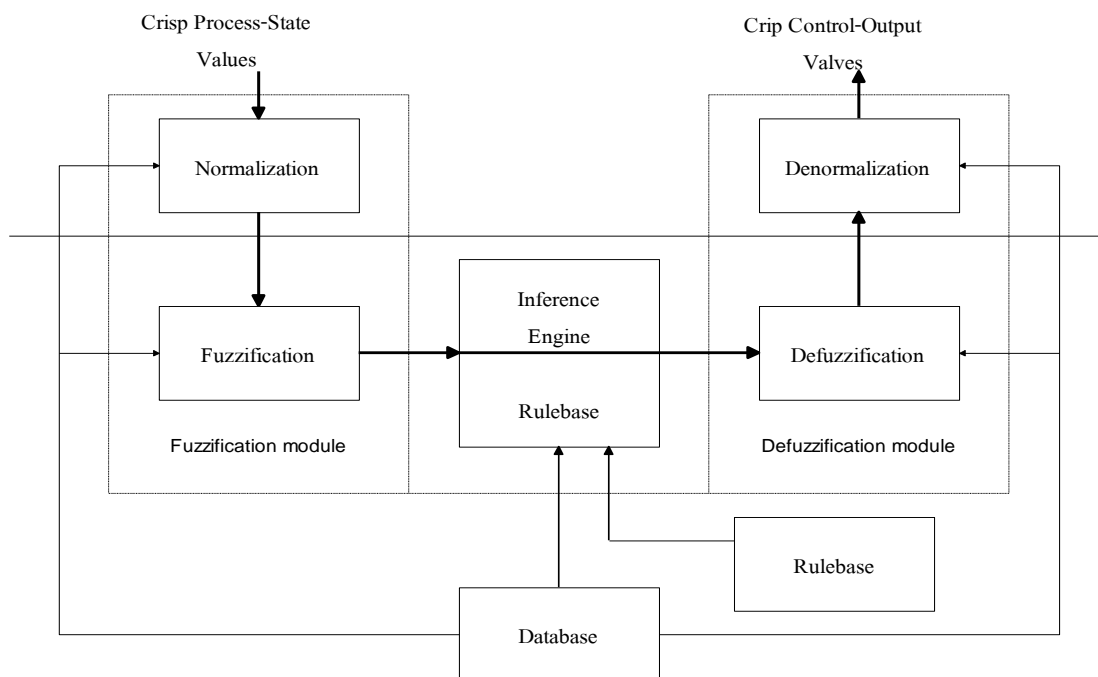
โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วนดังนี้ ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 แสดงโครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซี

ตัวควบคุมฟัซซีที่กล่าวนี้จะเป็นตัวควบคุมแบบใช้ฐานความรู้ (Knowledge Base) หรือประสบการณ์ จากผู้เชี่ยวชาญเป็นกฎหรือแนวทางในการควบคุมเราจะเรียกตัวควบคุม ได้อีกชื่อหนึ่งว่า “ตัวควบคุมฟัซซีแบบ ฐานความรู้” (Fuzzy Knowledge Base Controller) ใช้คำย่อว่า FKBC โครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซีแบบฐานความรู้ (FKBC) โครงสร้างของ FKBC จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ

1. ฟัซซิฟิเคชัน โมดูล (Fuzzification Module) แบ่งออกเป็น 2 ส่วน
 - นอร์มัลไรเซชัน (Normalization) เป็นส่วนที่ใช้เปลี่ยนสเกลของตัวแปรอินพุตหรือคลิปีเซตให้อยู่ในสเกลของเอกภพสัมพัทธ์ของย่านการควบคุม
 - ฟัซซิฟิเคชัน (Fuzzification) เป็นส่วนที่ใช้แปลงปริมาณของคลิปีเซตที่ผ่านการนอร์มัลไรซ์แล้วให้เป็นค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต โดยมีย่านอยู่ระหว่าง [0,1]
2. ฐานความรู้ (Knowledge Base) ส่วนประกอบของฐานความรู้จะประกอบด้วย
 - ฐานข้อมูล (Data Base) เป็นที่เก็บของข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้ในส่วประกอบของตัวควบคุมฟัซซี เช่นค่าคงที่ของส่วนฟัซซิฟิเคชัน โมดูล, กฎ, ดิฟัซซิฟิเคชัน โมดูล, ค่าสเกลเพคเตอร์, ฟังก์ชันต่าง ๆ



ภาพที่ 2.13 แสดงโครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซีแบบฐานความรู้ (นิมิต บุญภิรมย์,2540)

-ฐานกฎ (Rules Base) เป็นที่เก็บของกฎการควบคุมอาจจะอยู่ในรูปของ IF_THEN หรือเป็นตารางความสัมพันธ์ฟัซซี แนวทางในการออกแบบฐานกฎจะใช้กลไกการอนุมานและจากพฤติกรรมตอบสนองของระบบที่จะควบคุมซึ่งจะกล่าวต่อไป

3. กลไกการอนุมาน(Inference Engine) กลไกการอนุมานมีหน้าที่สรุปผล (Consequent) จากเหตุ (Antecedent) และเงื่อนไขโดยทั่วไปการเชื่อมโยงของเหตุผลจะมี 2 ชนิดคือ

Generalized Modus Ponens (GMP) คือการสรุปจากเหตุไปหาผล

Generalized Modus Tullis (GMT) คือการสรุปจากผลไปหาเหตุ

รูปแบบของทั้ง 2 วิธีมีดังนี้

GMP:

Premise : x is A'
 Implication : if x is A then y is B
 Consequence : y is B'

GMT:

Premise : y is B'
 Implication : if x is A then y is B
 Consequence : x is A'

โดย

A, A', B, B'	=	เป็นฟัซซีเซต
x, y	=	ตัวแปรลิ่งคี่สติก
$\mu_R(x,y)$	=	ค่าความเป็นสมาชิกของความสัมพันธ์ของ A และ B
$\mu_A(x), \mu_B(y)$	=	ค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปร x, y
f_{imp}	=	ฟังก์ชันการอิมพลิเคชัน (Implication) หรือฟังก์ชันการเชื่อมโยงค่าความเป็นสมาชิกของความสัมพันธ์ฟัซซี
$\mu_R(x,y)$	=	$f_{imp}(\mu_A(x), \mu_B(y)) \quad x \in U, y \in V$

โดยทั่วไปในการสร้างตัวควบคุมฟัซซีจะนิยมใช้การเชื่อมโยง แบบ GMP และใช้ f_{imp} ด้วยวิธี Mamdani โดยสร้างเป็นกฎได้ดังนี้

$R_1 : \text{IF } X \text{ IS } A_1 \text{ AND } Y \text{ IS } B_1 \text{ THEN } Z \text{ IS } C_1$

$R_2 : \text{IF } X \text{ IS } A_2 \text{ AND } Y \text{ IS } B_2 \text{ THEN } Z \text{ IS } C_2$

กำหนดให้

A_1, B_1, A_2, B_2	=	ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุต
C_1, C_2	=	ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุต
R_1, R_2	=	กฎความสัมพันธ์ฟัซซี
z	=	ตัวแปรลิ่งคี่สติก ในเอกภพสัมพัทธ์ U, V, W ตามลำดับ
α_1, α_2	=	ระดับความเป็นสมาชิกของ 2 อินพุต (Fire Strength)

จะได้ค่าความเป็นสมาชิกของผลสรุป (μ_c)

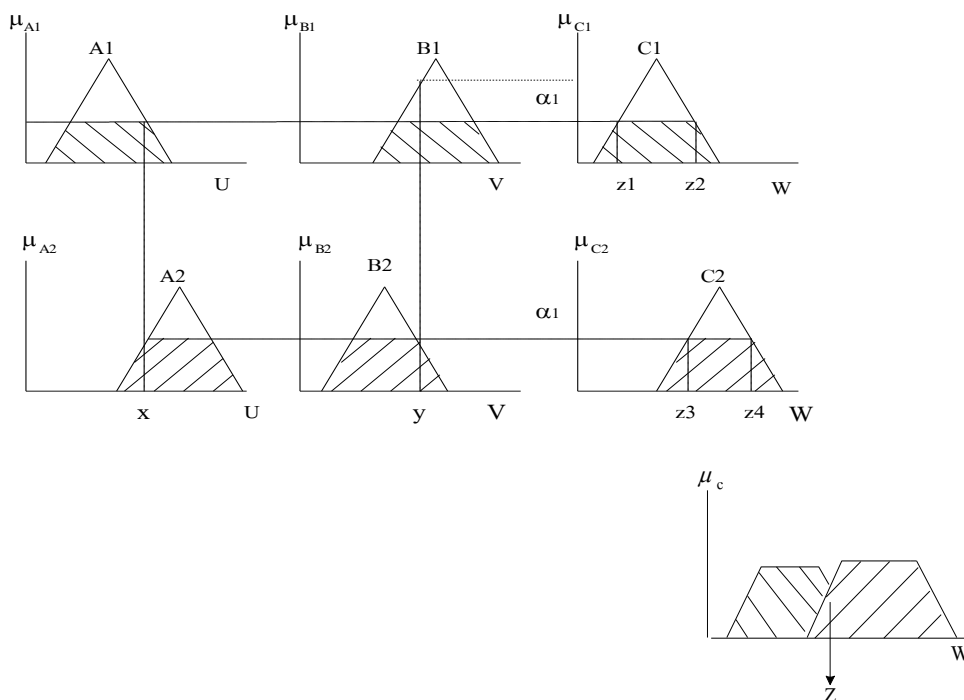
$$\alpha_1 = \min(\mu_{A_1}(x_0), \mu_{B_1}(y_0))$$

$$\alpha_2 = \min(\mu_{B_1}(x_0), \mu_{B_1}(y_0))$$

$$\mu_{c_i}(z) = \min(\alpha_i, \mu_c(z))$$

$$\mu_c(z) = \max(\mu_{c_1}, \mu_{c_2})$$

จากผลของการหาค่าระดับความเป็นสมาชิก สามารถทำการอนุมานได้ในที่นี้จะแสดงการอนุมานในแบบของ Mamdani



ภาพที่ 2.14 การอนุมาน โดยวิธีของ Mamdani (นิमित บุญภิรมย์,2540)

4. ดิฟฟัซซิไฟเคชัน โมดูล (Defuzzication Module)แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

-ดิฟฟัซซิไฟเคชัน ทำหน้าที่แปลงค่าความเป็นสมาชิกที่ได้จากกลไกการประเมิน กลับมาเป็นค่าเซต เพื่อใช้เป็นค่าที่นำไปควบคุมต่อไปวิธีการดิฟฟัซซิไฟเคชันที่นิยมใช้ในตัวควบคุมฟัซซี่คือวิธี Center of Gravity (COG)

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_c(z_i) * z_i}{\sum_{i=1}^n \mu_c(z_i)} \tag{2.11}$$

z_0 = ตัวแปรเอาต์พุตอยู่ในรูปของคลิ๊ปเซต

z_i = ตัวแปรเอาต์พุตที่ได้แต่ละกฎ

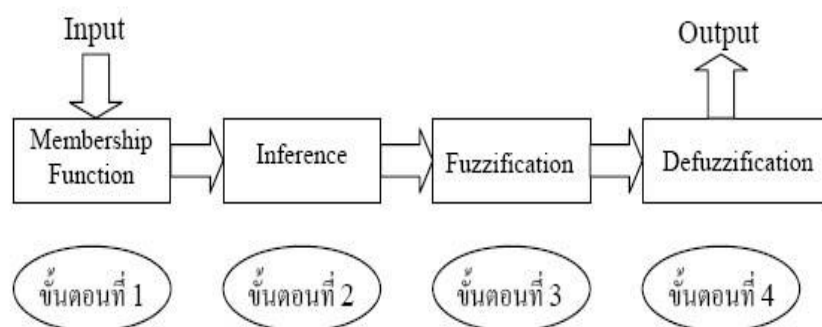
i = จำนวนกฎที่ถูกประเมิน

$\mu_c(z_i)$ = ค่าความเป็นสมาชิกที่ได้จากการประเมิน

-ดิวอร์เมอไรเซชัน (Denormalization) เป็นส่วนที่แปลงค่าสเกลของตัวแปรเอาต์พุตจากดีฟฟัซซิไฟเคชันให้อยู่ในย่านของปริมาณที่ใช้ควบคุมจริง

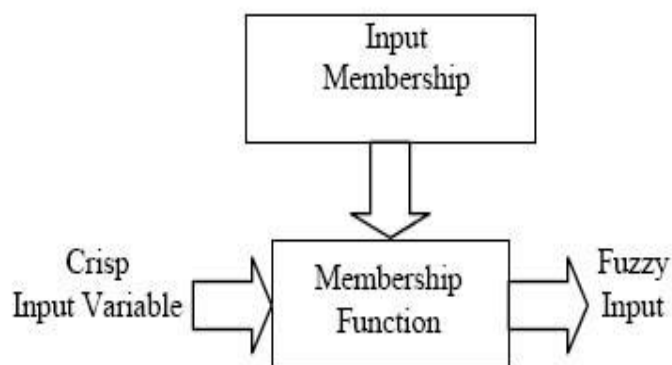
2.1.10 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิกมีรูปแบบการทำงานเป็น 4 ส่วนจะแสดงดัง ภาพที่ 2.15



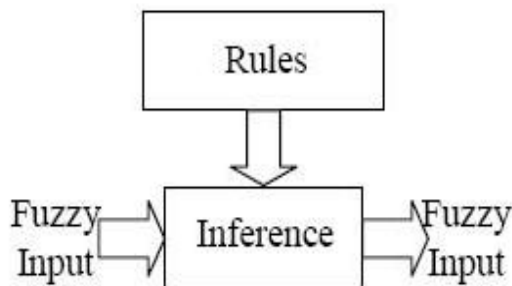
ภาพที่ 2.15 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการแปลงการอินพุตแบบทวินัยเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี โดยจะสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก โดยไม่จำเป็นต้องมีลักษณะเดียวกัน ขึ้นกับคุณลักษณะของแต่ละการอินพุต (Input) และความสำคัญต่อการเอาต์พุต (Output) ที่น่าสนใจโดยฟังก์ชันจะมีลักษณะเป็นการกำหนดภาษาสามัญ เพื่อให้เป็นฟัซซีการอินพุต ดังภาพที่ 2.16



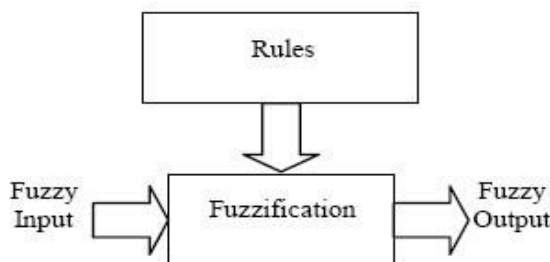
ภาพที่ 2.16 การแปลงการอินพุตแบบทวินัยเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างการอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุตที่อาศัยหลักการของการหาเหตุและผล อาจจะมีการเก็บข้อมูล การคาดการณ์จากการตัดสินใจของมนุษย์ หรือค่าจากการทดลอง โดยเขียนเป็นกฎการควบคุมระบบ ซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปแบบ ถ้า (If) และ (And) หรือ (Or) ซึ่งเป็นภาษาสามัญ นำกฎทั้งหมดมาประมวลผลรวมกัน เพื่อการหาตัดสินใจที่เหมาะสม ดังภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.17 การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างการอินพุตทั้งหมด

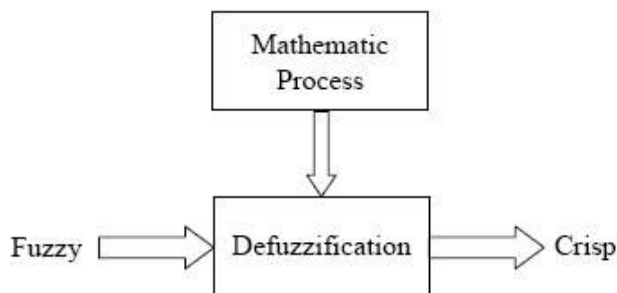
ขั้นตอนที่ 3 เป็นการหาฟัซซีเอาต์พุต โดยการนำกฎการควบคุมที่สร้างขึ้นในขั้นตอนที่ 2 มาประมวลผลกับฟัซซีอินพุต โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์เพื่อนำค่าที่ได้ประมวลผลดังภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.18 การหาฟัซซีเอาต์พุต

วิธีการทำเป็นค่าคลุมเครือ (Fuzzification) วิธีการที่นิยมใช้ในการตีความหาเหตุผลเลือกใช้ Max-Min Method และ Max-Dot Method

ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนสุดท้ายหรือขั้นตอนการสรุปเหตุผลฟัซซี โดยจะเปลี่ยนฟัซซีเอาต์พุตให้เป็นทวินัยเอาต์พุตตามภาพที่ 2.19 และด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ เช่น วิธีการหาจุดศูนย์กลาง (Central of Gravity) เพื่อนำค่าที่ได้มาใช้ในการตัดสินใจเพื่อควบคุมระบบในสถานการณ์นั้นๆ



ภาพที่ 2.19 เป็นขั้นตอนสุดท้ายหรือขั้นตอนการสรุปเหตุผลฟัซซี

วิธีการหาค่าฟัซซีให้เป็นค่าปกติ (Defuzzification) วิธีการที่เป็นเทคนิคการเลือกค่าสูงสุด หรือสรุปหาเหตุผลจากหลาย ๆ เซตมาเพียงค่าเดียว ซึ่งเป็นการใช้ค่าสูงสุดของค่าระดับการเป็นสมาชิกจากการกระทำหลายๆ แบบ และเลือกกระทำเพียงรูปแบบเดียว

2.1.11 การกำหนดตัวแปรที่ใช้ในตัวควบคุมฟัซซี

ตัวควบคุมฟัซซีที่นิยมใช้จะมีชนิดต่างๆ คล้ายกับการควบคุมแบบดั้งเดิม เช่น แบบ P, PD, PI, PID เป็นต้น การกำหนดตัวแปรอินพุตและตัวแปรเอาต์พุตจะสอดคล้องกับรูปแบบของตัวควบคุมและเพื่อไปใช้เป็นตัวแปรในส่วนของเหตุและผลสรุปของกฎ การกำหนดตัวแปร กำหนดได้ดังนี้

ตัวแปรอินพุต

e = ค่าผิดพลาดระหว่างค่ากำหนด และค่าที่ได้จริง (Error)

ce = ค่าผิดพลาดระหว่างค่ากำหนด และค่าที่ได้จริง (Error)

δe = ผลรวมของค่าผิดพลาด

ตัวแปรเอาต์พุต

u = ตัวแปรเอาต์พุตซึ่งเป็นผลลัพธ์ของตัวควบคุม

Δu = อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าเอาต์พุต

จะหาค่าตัวแปรได้จาก

$$e(k) = y_{sp} - y(k)$$

$$ce(k) = e(k) - e(k-1) \quad (2.12)$$

$$u(k) = u(k) - u(k-1)$$

กำหนดให้

y_{sp} = ค่าเอาต์พุตของกระบวนการที่ออกแบบ

$y(k)$ = ค่าเอาต์พุตของกระบวนการจริง

k = เวลาการสุ่มสัญญาณ (Sampling Time)

2.1.12 ชนิดของตัวควบคุมฟัซซีแบบฐานความรู้ (Type of FKBC)

การแบ่งชนิดของตัวควบคุมฟัซซีจะอ้างอิงถึงคุณสมบัติเดิมของการควบคุมแบบคอนเวอร์ชันเนล โดยการควบคุมแบบฟัซซีจะกำหนดความสัมพันธ์จากกฎ และประเมินแบบ GMP จากเหตุเพื่อให้ได้ผลสรุปกำหนดให้ส่วนของเหตุ และผลสรุปจะอยู่ในรูปของตัวแปรลิงค์จิสติก

ตัวควบคุมแบบ Proportional (P)

จากสมการ

$$u = K_p \cdot e$$

โดย $K_p =$ Proportional Gain (2.13)

แสดงในรูปกฎของพีชชี

If $e(k)$ is (Antecedent) then $u(k)$ is (Consequent)

ตัวควบคุมแบบ Proportional-Derivative (PD)

จากสมการ

$$u = K_p \cdot e + K_d \cdot \dot{e} \quad (2.14)$$

โดย $K_p =$ Proportional Gain

$K_d =$ Derivative Gain

แสดงในรูปกฎของพีชชี

If $e(k)$ is (Antecedent) and $\dot{e}(k)$ is (Antecedent) then $u(k)$ is (Consequent)

ตัวควบคุมแบบ Proportional-Integral (PI)

จากสมการ

$$u = K_p \cdot e + K_i \cdot \int e dt$$

โดย $D u = K_p \cdot \dot{e} + K_i \cdot e$

$K_i =$ Integral Gain (2.15)

แสดงในรูปกฎของพีชชี

If $e(k)$ is (Antecedent) and $\dot{e}(k)$ is (Antecedent) then $\Delta u(k)$ is (Consequent)

ตัวควบคุมแบบ Proportional-Integral-Derivative (PID)

จากสมการ

$$u = K_p \cdot e + K_d \cdot \dot{e} + K_i \cdot \int e dt \quad (2.17)$$

กำหนด $\delta e =$ ผลรวมของค่าผิดพลาด

$$\delta e = \sum_{i=1}^{k-1} e(i) \quad (2.18)$$

แสดงด้วยกฎของพีชชี

If $e(k)$ is (Antecedent) and $ce(k)$ is (Antecedent) and $\text{O}e$ is (Antecedent) then $u(k)$ is (Consequent)

2.1.13 การกำหนดฐานข้อมูล

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าตัวควบคุมพีชชีจะประกอบด้วยฐานข้อมูล ซึ่งเป็นที่เก็บของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกและสเกลของส่วนอินพุตและเอาต์พุตในหัวข้อนี้เราจะกล่าวถึงรายละเอียดของการกำหนดฟังก์ชันและสเกลต่าง ๆ

2.1.14 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ในการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของพีชชีเซตเราอาจจะกำหนดได้ 2 แบบ คือ แบบตัวเลข หมายถึงการแสดงอัตราของความเป็นสมาชิกเชิงตัวเลขในเอกภพสัมพัทธ์ และแบบแสดงเป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ในที่นี้จะขอก้าวในแบบของฟังก์ชัน โดยที่ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะจำแนกระดับของค่าฟังก์ชันเชิงสถิติ ในเอกภพสัมพัทธ์เพื่อทำหน้าที่แปลงปริมาณอินพุตที่อยู่ในรูปของคลิป์เซตให้อยู่ในโดเมนของพีชชีเซตฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่นิยมใช้จะมีหลายชนิด เช่น s-ฟังก์ชัน, π -ฟังก์ชัน, ฟังก์ชันเหลี่ยม, Trapezoid Function และเอกซ์โปเนนเชียลฟังก์ชัน เป็นต้น

หลักเกณฑ์ในการกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

1. การกระจายของข้อมูลหรือคุณลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต และเอาต์พุตของกระบวนการที่ควบคุมว่าเป็นสมาชิกเชิงเส้นหรือไม่เป็นเชิงเส้นถ้าเป็นเชิงเส้นควรใช้ฟังก์ชันสามเหลี่ยมถ้าไม่เป็นเชิงเส้นควรใช้แบบเอกซ์โปเนนเชียล

2. คุณสมบัติในการคำนวณเช่นความเร็วในการคำนวณขนาดของหน่วยความจำ

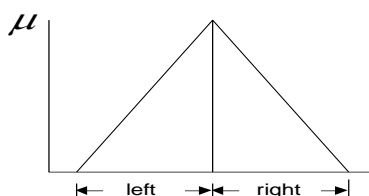
3. ความต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องของข้อมูล โดยทั่วไปจำนวนฟังก์ชันที่ใช้กำหนดระดับของค่าฟังก์ชันเชิงสถิติควรไม่ต่ำกว่า 5 ถึง 7 ระดับถ้าต่ำกว่านี้จะเกิดความไม่ต่อเนื่อง และเกิดความผิดพลาดในผลลัพธ์ถ้ามีจำนวนมากเกินไป จะทำให้เพิ่มเวลาการคำนวณให้มากขึ้น

4. การกำหนดฟังก์ชันแต่ละฟังก์ชันควรมีการทับกันระหว่างฟังก์ชัน (Overlap) ของเซตที่อยู่ติดกันเพื่อให้แน่ใจว่าการควบคุมต้องมีกฎควบคุมอย่างน้อย 1-2 กฎในการรองรับตัวแปรอินพุตเปอร์เซ็นต์การทับกันจะอยู่ที่ประมาณ 15-50 %

5. การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

- ค่าสูงสุด (Peak Value) หมายถึง ค่าสูงสุดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในแต่ละเทอมจะต้องมีค่าเท่ากับ 1

- ความกว้างทางซ้าย และขวา (Left and Right Width) หมายถึง ช่วงของความกว้างระหว่างจุดสูงสุด และจุดศูนย์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก หรือเรียกว่าซัพพอร์ตของค่าสมาชิก ทั้งซ้าย และขวา ถ้าความกว้างทั้งสองเท่ากันเราเรียกว่าฟังก์ชันนี้เป็นฟังก์ชันสมมาตร (ดังภาพที่ 2.20)



ภาพที่ 2.20 แสดงฟังก์ชันสมมาตร (นิมิต บุญภิรมย์,2540)

- จุดตัด (Cross Points) จุดที่ฟังก์ชัน 2 ฟังก์ชันที่อยู่ใกล้เคียงกันตัดกัน จากภาพที่ 2.20 กำหนดให้

X เท่ากับจุดตัด

d_1 เท่ากับความกว้างระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดตัดของฟังก์ชันที่ 1.

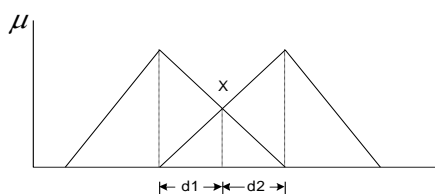
d_2 เท่ากับความกว้างระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดตัดของฟังก์ชันที่ 2.

ระดับของจุดตัด (Cross-Point Level) เท่ากับระยะระหว่างจุดตัดถึงแกน x

อัตราส่วนของจุดตัด (Cross-Point Ratio) เท่ากับ d_1/d_2

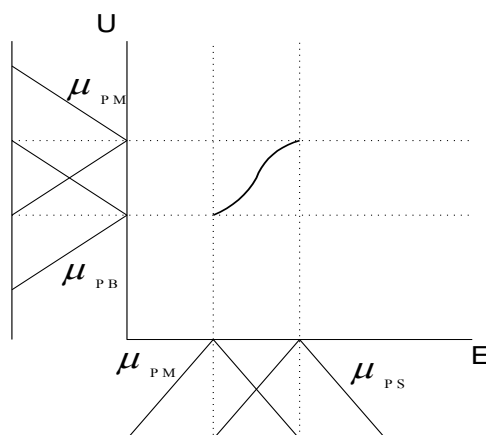
ในการออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบที่เป็นเชิงเส้นการใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสมมาตรมีระดับของจุดตัดเท่ากับ 0.5 และมีอัตราส่วนจุดตัดเท่ากับ 1 จะทำให้มีค่าสมรรถนะของระบบคือจุดพุ่งเกิน (Overshoot) ต่ำ เวลาการเข้าถึง (Rise Time) เร็ว

ในส่วนของความต่อเนื่องของการควบคุมควรจะให้ระยะ d_1 และ d_2 ของทั้งสองฟังก์ชันที่ใกล้กันมีระยะเท่ากันและที่ตำแหน่งศูนย์ของค่าความเป็นสมาชิกของทั้งสองฟังก์ชัน จะตรงกับตำแหน่งที่เป็นค่าสูงสุดพอดี (ดังแสดงในรูปที่ 2.21)



ภาพที่ 2.21 แสดงความกว้างของจุดตัดของทั้งสองฟังก์ชัน (นิมิต บุญภิรมย์,2540)

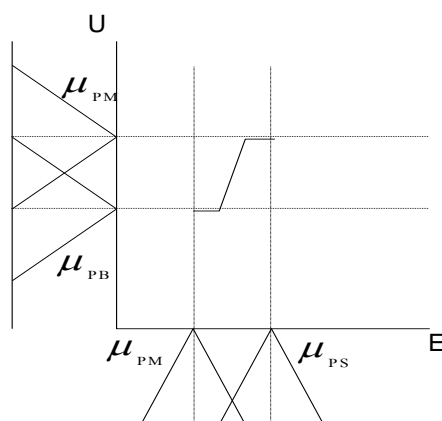
จะเห็นความต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องของค่าเอาต์พุต จากการกำหนดระยะของจุดตัดและความกว้างทางซ้ายและทางขวาของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก



ภาพที่ 2.22 แสดงความต่อเนื่องของ เอาต์พุต (นิमित บุญภิรมย์,2540)

2.1.15 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเชิงตัวเลข

การกำหนดฟังก์ชันเชิงตัวเลขในโดเมนที่ต่อเนื่อง หมายถึงการแบ่งย่านในเอกภพสัมพัทธ์ ออกเป็นเซกเมนต์เราเรียกว่า “การควอนไทซ์เซชัน (Quantization)” และกำหนดคิกริค่าถึงคัจฉติค แต่ละค่าเป็นตัวเลข การกำหนดฟังก์ชันวิธีนี้การกำหนดระดับของการควอนไทซ์จะมีผลต่อการควบคุมแบบหยาบ และควบคุมแบบละเอียดถ้าให้ระดับมากจะมีผลให้ค่าเอาต์พุตละเอียด แต่จะใช้เวลานานขึ้นและจะต้องใช้หน่วยความจำมากขึ้น



ภาพที่ 2.23 แสดงความไม่ต่อเนื่องของเอาต์พุต (นิमित บุญภิรมย์,2540)

2.1.16 ฐานของกฎ

กฎเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการควบคุมแบบพีชชี กฎจะเป็นส่วนที่โยงถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรลิ่งจีสติกในส่วนของอินพุตและเอาต์พุตและใช้ในการประเมินผลลัพธ์ของพีชชีรูปแบบของฐานกฎที่นิยมใช้ แบ่งเป็น 2 ชนิด

1. แบบอันดับระบบที่มี 1 อินพุต 1 เอาต์พุต จะอยู่ในรูป

กฎที่ 1 : IF x is A_1 THEN y is B_1

กฎที่ 2 : IF x is A_2 THEN y is B_2

กฎที่ N : IF x is A_N THEN y is B_N

โดยให้ x = ตัวแปรลิ่งจีสติกของอินพุต

y = ตัวแปรลิ่งจีสติกของเอาต์พุต

A_1, B_1 = ลิ่งจีสติกฟังก์ชันหรือ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุตและเอาต์พุต

ตามลำดับ

N = จำนวนกฎ

จำนวน N จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการออกแบบแต่โดยทั่วไปจะใช้จำนวนกฎเท่ากับฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

2. แบบอันดับระบบที่มี 2 อินพุต 1 เอาต์พุต จะอยู่ในรูป

กฎที่ 1 : IF x is A_1 AND y is B_1 THEN z is C_1

กฎที่ 2 : IF x is A_2 AND y is B_2 THEN z is C_2

กฎที่ N : IF x is A_N AND y is B_N THEN z is C_N

3.1.17 แนวทางการออกแบบฐานกฎ

แนวทางการออกแบบกฎแบบได้เป็น 2 วิธีคือ

1. วิธีเฮอริสติก (Heuristic Approach) วิธีเฮอริสติกเป็นการออกแบบกฎจากพฤติกรรมตอบสนองของระบบที่ได้จากประสบการณ์หรือจากการทดสอบและค่าสมรรถนะที่ต้องการนำมาออกแบบกฎโดยประมาณได้โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ของอินพุตและผลการตอบสนอง

สมมุติว่าพิจารณาระบบควบคุมพีชชีแบบปิด มีค่าอินพุต 2 ตัวคือ ค่าผิดพลาด (e) และ อัตราการผิดพลาด (ce) ค่าเอาต์พุต (u) การตอบสนองของการเปลี่ยนแปลงระดับ (Step Responce) สามารถสร้างระบบพีชชีที่มี Phase Plant ระหว่าง ค่าอินพุตทั้งสอง ค่าสมรรถนะที่เราต้องการคือค่าเวลาการเข้าถึงสั้น (Short Rise Time) และ เปอร์เซนต์การพุ่งเกินต่ำ (Overshoot) เราสามารถแบ่ง

ช่วงผลการตอบสนองของเอาต์พุตออกเป็นช่วงๆและกำหนดกฎเพื่อให้ได้ค่าเอาต์พุตตามที่เราต้องการเช่น

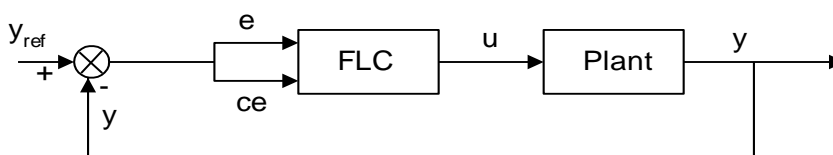
- ถ้าต้องการค่าเวลาการเข้าสั้้นเราสามารถออกแบบกฎได้เป็น

IF e is Positive AND ce is Negative THEN u is Positive

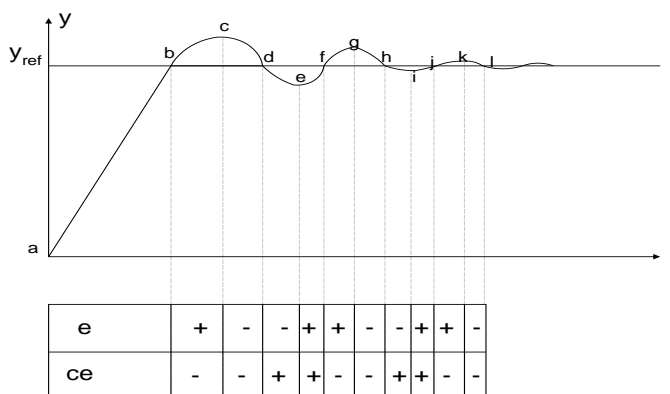
เป็นต้น

- ถ้าต้องการลดค่าเปอร์เซ็นต์การฟุ้งเกิน

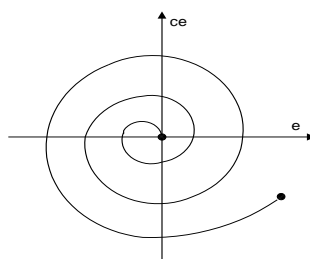
IF e is Negative AND ce is Negative THEN u is Negative



ภาพที่ 2.24 ระบบควบคุมฟัซซี่แบบลูปปิดแบบฟัซซี่ (นิमित บุญภิรมย์,2540)



ภาพที่ 2.25 ผลการตอบสนองของการเปลี่ยนระดับและการแบบช่วงของเอาต์พุตเพื่อหาความสัมพันธ์ของ e และ ce (นิमित บุญภิรมย์,2540)



ภาพที่ 2.26 Phase Plant ของ e และ ce

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของตัวแปรอินพุตและเอาต์พุตของการออกแบบกฎ

Rule no.	e	ce	Output	reference
1	P	Z	P	points a,e,i
2	Z	N	N	points b,f,j
3	N	Z	N	points c,g,k
4	Z	P	P	points d,h,l
5	Z	N	Z	set points
6	P	N	P	range A,E

จากหลักเกณฑ์ดังกล่าวสามารถสร้างเป็นตารางความสัมพันธ์อินพุตและเอาต์พุตโดยประมาณ (ดังตารางที่ 2.1) และใช้เป็นแนวทางในการสร้างกฎของพีซีต่อไป

2. วิธีดีเทอร์มิเนติก (Deterministic Approach) เป็นวิธีสร้างแบบจำลองอ้างอิงและไปออกแบบกฎ ซึ่งจะไม่ว่ากล่าวในที่นี้

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ [2] [3]

2.2.1 ความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ อุปกรณ์ที่สามารถสร้างระบบควบคุมได้ โดยอุปกรณ์นี้มีขนาดเล็ก และเป็นอุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำที่มีการรวมเอาฟังก์ชันการทำงานต่างๆไว้ในตัวมันเอง ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งในที่นี้หมายถึงอุปกรณ์ภายในที่ประกอบด้วย หน่วยประมวลผลกลาง, พอร์ตในการเชื่อมต่อแบบต่างๆ

2.2.2 ส่วนประกอบทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์

1. หน่วยประมวลผลกลาง (Control Processing Unit)
2. หน่วยความจำ ซึ่งประกอบด้วย RAM (Random Access Memory) และ EEPROM / EPROM / PROM / ROM (Eraseable Programable Read Only Memory)
3. หน่วยรับ และแสดงผลข้อมูล (Input / Output) ซึ่งมีพอร์ตขยายแบบขนาน (Parallel) และอนุกรม (Serial)
4. ตัวนับเวลา (Timer)
5. หน่วยควบคุมการอินเตอร์รัปต์ (Interrupt Controller)

ส่วนประกอบเหล่านี้เป็นเพียงส่วนประกอบพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นยังมีส่วนประกอบอย่างอื่นอีกเพื่อเพิ่มเติมความสามารถขึ้นอยู่กับ

ไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์ด้วย เช่น A/D (Analog to Digital), PWM (Pulse Width Modulator) เป็นต้น

2.2.3 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นระบบที่รวบรวมอุปกรณ์ต่างๆ อยู่ภายใน เช่น Ram, Rom และอื่นๆ เพื่อความสะดวกในการใช้งาน ชิพไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นมีขนาดเล็กที่มีความสามารถสูง แต่บางอุปกรณ์ที่ต้องการคาปาซิเตอร์ที่มีความจุสูงๆ ไม่สามารถบรรจุได้ในชิพเพียงตัวเดียว อีกทั้งการรวบรวมอุปกรณ์ไม่สามารถรวบรวมได้ทุกชนิด ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์จึงแบ่งเป็นอนุกรม กำกับด้วยหมายเลขลำดับที่บรรจุความสามารถในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ไว้ภายใน

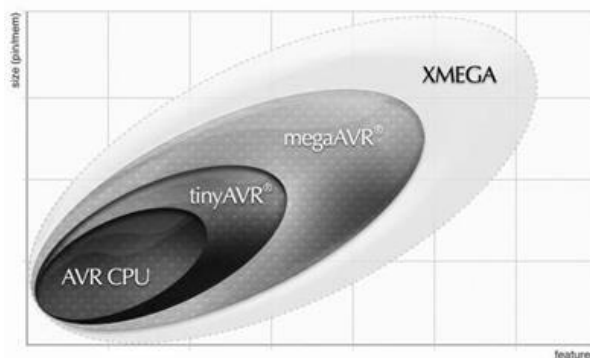
2.2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR

ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เป็นไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัท Atmel มีสถาปัตยกรรมภายในเป็นแบบ RISC (Reduced Instruction Set Computer) โดยใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ลูกในการปฏิบัติงานใน 1 คำสั่ง โดยจะประกอบด้วยหน่วยความจำโปรแกรมภายในที่เป็นแบบแฟลช โปรแกรมข้อมูลได้แบบ In-System Programmable และในบางเบอร์ยังสามารถมีการกำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำที่สร้างเป็นบูตโพลเดอร์ (เขียนโปรแกรมเพื่อติดต่อกับ PC หรือไอซีตัวอื่นๆ และยังสามารถโปรแกรมให้กับตัวเองได้) มีขนาดของหน่วยความจำตามเบอร์ของไอซีแต่ละตัว ยกตัวอย่างคุณสมบัติเบื้องต้นของไอซีเบอร์ Atmega8A ได้ดังต่อไปนี้

- เป็นไอซีขนาด 8-bit ใช้พลังงานต่ำ
- มีโครงสร้างภายในแบบ RISC
- มีคำสั่งควบคุมการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์ 130 คำสั่ง คำสั่งส่วนมากจะทำสำเร็จในรอบสัญญาณนาฬิกาเดียว
- มีจำนวนรีจิสเตอร์ทั่วไปขนาด 32 x 8
- มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในแบบ Flash ขนาด 8K Bytes มีการโปรแกรมได้แบบ In-System Self-Programmable
- มีหน่วยความจำภายในแบบ EEPROM ขนาด 512 Bytes
- มีหน่วยความจำภายในแบบ SRAM ขนาด 1K Byte
- เขียน /ลบ ได้ถึง 10,000 ครั้ง สำหรับหน่วยความจำแบบ Flash และ 100,000 สำหรับหน่วยความจำแบบ EEPROM
- กำหนดการ Boot Code Section ในตำแหน่งต่างๆ และ Lock Bits ได้ (ทำ boot loader)

- Programming Lock for Software Security ป้องกันข้อมูล
- Timer/Counters ขนาด 8-bit 2 ตัว และมี Separate Prescaler โหมด Compare อีก 1 ตัว
- One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture
- มี PWM 3 ช่อง
- มีการติดต่อแบบ Master/Slave SPI Serial Interface
- ใช้งาน RC Oscillator ภายในไอซี และภายนอกไอซีได้
- ทำงานที่แรงดัน 2.7 - 5.5V for ATmega8A
- ทำงานที่ความถี่ 0 - 16 MHz for ATmega8A

2.2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ได้แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้



ภาพที่ 2.27 การแบ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR

1. Tiny AVR - ATtiny Series เช่นเบอร์ Tiny13 , Tiny2313 มีคุณสมบัติดังนี้
 - มีหน่วยความจำโปรแกรมขนาด 1-8 kB
 - มีจำนวนขาใช้งาน 6-32-ขา
 - มีส่วนของอุปกรณ์เสริมที่ค่อนข้างจำกัด
2. Mega AVR - ATmega Series เช่นเบอร์ ATmega8 ,ATmega16, ATmega32, ATmega64
มีคุณสมบัติดังนี้
 - มีหน่วยความจำโปรแกรมขนาด 4- 256 kB
 - มีจำนวนขาใช้งาน 28-100 ขา
 - มีชุดคำสั่งที่สามารถจัดการกับหน่วยความจำที่มีขนาดใหญ่มากขึ้น
 - มีส่วนของอุปกรณ์เสริมมากในตัวไอซี

3. XMEGA - ATxmega Series เช่นเบอร์ ATxmega64A1, ATxmega128A1 มีคุณสมบัติ ดังนี้

- มีหน่วยความจำโปรแกรมขนาด 16–384 kB
- มีจำนวนขาใช้งาน 44–64–100 ขา
- มีชุดคำสั่งที่สามารถจัดการกับระบบ DMA และการเข้าถึงเหตุการณ์ได้เร็วมากขึ้น โดยใช้การสื่อสารในแบบต่างๆ ได้หลายรูปแบบ

4. Application Specific AVR เป็นไอซีที่สร้างเพื่อใช้งานเฉพาะ เช่น CAN AVR (ATmega64C1), LCD AVR (ATmega3290P/V), USB AVR (AT90USB1287)

RISC คือการให้ซีพียูทำงานที่มีไซเคิลแน่นอน โดยลดจำนวนคำสั่งลงให้เหลือคำสั่งพื้นฐานมากที่สุด แล้วใช้หลักการไปป์ไลน์(Pipeline) คือการนำเอาคำสั่งมาเรียงการทำงานให้เป็นแบบขนานเหลื่อมกัน หรือเข้าทำงาน ในแต่ละตำแหน่งตามลำดับเรียงกันไป ทุกตำแหน่งงานจะมีการทำงานตลอดเวลา จึงเป็นการลดจำนวนคำสั่งลงนั่นเอง ซึ่งเรียกการทำงานของซีพียูแบบนี้ เป็นประเภท RISC หรือ Reduce Instruction Set Computer สถาปัตยกรรมที่มีโครงสร้างเป็นแบบ RISC จึงทำงานได้เร็วและ เป็นกลไก ที่สามารถเพิ่มขีดความสามารถโดยรวมได้หนึ่งคำสั่งใช้เวลาหนึ่งลูกของสัญญาณ นั่นคือถ้าเป็น 10 MHz ก็ทำได้ 10 ล้านคำสั่งในเวลา 1 วินาที ทำให้สามารถใช้คำสั่งง่ายขึ้น ไม่ยุ่งยากซับซ้อน

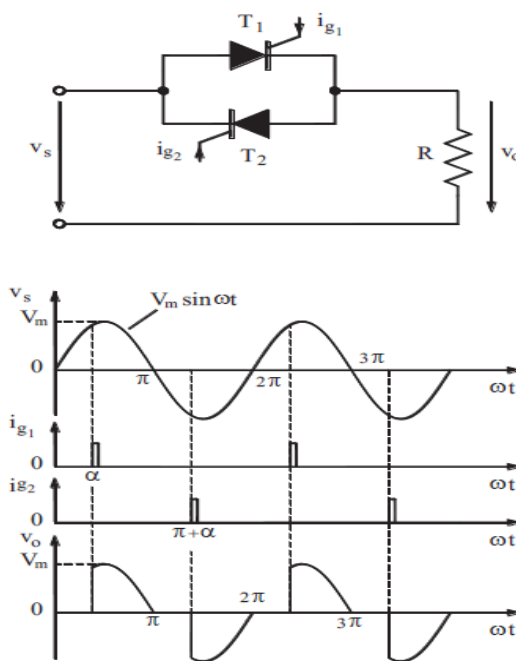
2.3 ทฤษฎีเฟสคอนโทรล [4]

แรงดันไฟสลับรูปคลื่นไซน์เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ถูกส่ง-จ่ายจากการไฟฟ้า โดยจะมีทั้งระบบไฟฟ้าที่เป็นเฟสเดียว และระบบไฟฟ้าที่เป็นสามเฟส แต่สำหรับที่ส่งจ่ายมายังบ้านและที่พักอาศัย โดยทั่วไป จะเป็นระบบไฟฟ้าที่เป็นเฟสเดียวซึ่งในประเทศไทย จะถูกส่ง-จ่ายด้วยระดับแรงดันไฟฟ้าเป็น 220V ที่มีความถี่ของรูปคลื่นไซน์เป็น 50Hz

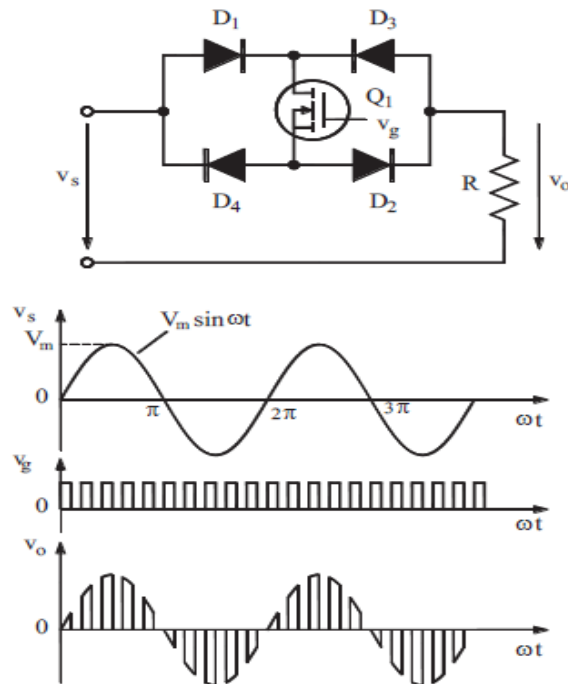
โดยทั่วไปการปรับเปลี่ยนระดับแรงดันไฟสลับจะกระทำโดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้า แต่ถ้าต้องการให้การปรับเปลี่ยนระดับแรงดันไฟสลับเป็นแบบต่อเนื่อง ก็มักจะต้องใช้หม้อแปลงไฟฟ้าที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าแรงดันไฟสลับทางด้านเอาต์พุตได้อย่างต่อเนื่อง (Variable AC Voltage Transformer, Variac Transformer) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ทางด้านไฟฟ้ากำลัง และจะมีราคาสูงมากขึ้น เมื่อนำไปเป็นแหล่งกำลังไฟฟ้าให้กับภาระที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูงๆ อย่างเช่น ขวดความร้อน (Heater) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมหลอมโลหะหรืออุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการหลอมพลาสติคและนิคพลาสติค โดยภาระที่เป็นขวดความร้อนจะมีคุณลักษณะเช่นเดียวกันกับภาระที่เป็นตัวต้านทาน การปรับเปลี่ยนระดับแรงดันไฟสลับสามารถที่จะกระทำได้หลายๆ วิธีการเช่นใช้อุปกรณ์

ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังจำพวกไทรสเตอร์เช่น SCR หรือ TRIAC มาทำการตัดบางส่วนของรูปคลื่นไซน์ออกไป ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนระดับแรงดันไฟสลับได้โดยการควบคุมมุมเฟสในการจุดชนวนให้กับไทรสเตอร์ให้นำกระแสไฟฟ้า และตัดบางส่วนของรูปคลื่นไซน์ออกไป ดังแสดงในภาพที่ 2.28

ภาพที่ 2.28 เป็นการนำเอา SCR (Silicon Control Rectifier) มาใช้ในการตัดบางส่วนของรูปคลื่นไซน์ออกไปส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพของแรงดันไฟฟ้า (Rms Voltage Value) ที่ตกคร่อมภาระเปลี่ยนแปลงไปตามค่าของมุมในการจุดชนวน(Firing Angle,) อย่างไรก็ตามแล้วแต่วิธีการนี้ส่งผลเสียที่รูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าจะเกิดการผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์เป็นอย่างมาก โดยเฉพาะที่มุมในการจุดชนวนมีค่าสูงๆ และขนาดของแรงดันจะแปรผกผันกับมุมที่ใช้ในการควบคุมแรงดันไฟสลับทางด้านเอาท์พุท



ภาพที่ 2.28 การใช้ SCR ตัดบางส่วนของรูปคลื่นไซน์ออกไป



ภาพที่ 2.29 การสับชอยแรงดันไฟฟ้ารูปคลื่นไซน์ออกเป็นส่วนๆ

อีกวิธีการหนึ่งที่สามารถปรับเปลี่ยนระดับแรงดันไฟสลับได้ ก็คือการสับชอยรูปคลื่นด้วยความถี่ที่คงที่ ดังในภาพที่ 2.29 จากภาพที่ 2.29 ไฟสลับรูปคลื่นไซน์ถูกสับชอยออกเป็นส่วน ๆ ด้วยอัตราส่วนของเวลาในการสับรูปคลื่น (t_{on} / T) ทำให้พื้นที่ของรูปคลื่นไซน์ที่ตกคร่อมภาระจะประกอบไปด้วยพื้นที่ของรูปสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ เป็นจำนวนมาก และพื้นที่ของรูปสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ แต่ละรูปจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ t_{on} / T ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าประสิทธิภาพของแรงดันไฟสลับที่ตกคร่อมภาระเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

2.3.1 การควบคุมแรงดันไฟสลับ

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าการควบคุมแรงดันไฟสลับมีด้วยกันหลาย ๆ วิธีการ สำหรับในบทความนี้จะนำเสนอวิธีการควบคุมในสองรูปแบบคือ โดยวิธีการควบคุมมมเฟสในการจุดชนวนให้กับไทรสเตอร์ และวิธีการสับชอยรูปคลื่นไฟสลับและนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบบ้างดังนี้

1. วิธีการควบคุมมมเฟส จากรูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมภาระดังในภาพที่ 2.28 สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมภาระได้จากสมการที่ (2.19) ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
 V_{o(rms)} &= \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (V_m \sin \omega t)^2 d\omega t} \\
 &= V_s \sqrt{\frac{1}{\pi} \left[(\pi - \alpha) + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right]}
 \end{aligned}
 \tag{2.19}$$

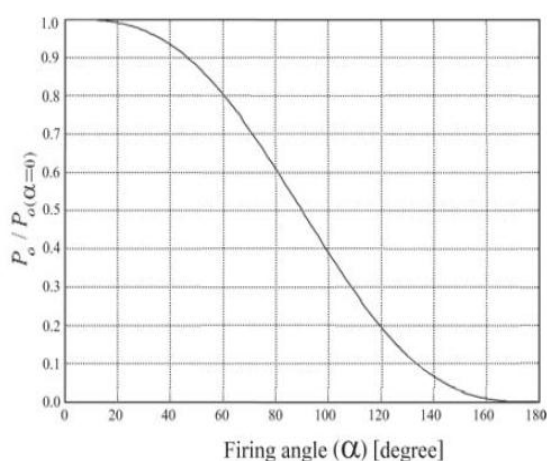
จากสมการที่ (2.19) V_s เป็นค่าแรงดันประสิทธิผลของรูปคลื่นไซน์ทางด้านอินพุต และเป็นค่าของมอดูเลตที่ใช้ในการจูดชนวนให้ SCR เริ่มนำกระแสไฟฟ้าโดยกำลังไฟฟ้าสามารถที่จะคำนวณได้จากสมการ $Power = V_{o(rms)} / R$ ดังนั้นสมการของกำลังไฟฟ้าที่ภาระทางด้านเอาต์พุตสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (2.20) ดังนี้

$$P_o = \frac{V_s^2}{R} \left\{ \frac{1}{\pi} \left[(\pi - \alpha) + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right] \right\}
 \tag{2.20}$$

เนื่องจาก V_s^2 / R เป็นค่าคงที่ และเป็นค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่มอดูเลต α มีค่าเท่ากับศูนย์ ($P_o(\alpha=0)$) ดังนั้นสมการที่ (2.20) สามารถที่จะเขียนขึ้นใหม่เป็นดังสมการที่ (2.21) ดังนี้

$$\frac{P_o}{P_o(\alpha=0)} = \frac{1}{\pi} \left[(\pi - \alpha) + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right]
 \tag{2.21}$$

จากสมการที่ (2.21) สามารถเขียนกราฟแสดงอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้า $P_o / P_o(\alpha=0)$ ในฟังก์ชันของมอดูเลตที่ใช้ในการจูดชนวน SCR ได้ดังภาพที่ 2.30



ภาพที่ 2.30 กราฟความสัมพันธ์ของ $P_o / P_o(\alpha=0) = f(\alpha)$

ของวงจรควบคุมแรงดันไฟสลับโดยวิธีการควบคุมมุมเฟสจากกราฟที่แสดงในภาพที่ 2.30 จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้ามิได้เปลี่ยนแปลงไปตามมุมเฟสที่ใช้ในการจุดชนวนให้กับ SCR อย่างเป็นเชิงเส้น ทำให้ต้องใช้ระบบควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ภาระที่ซับซ้อนมากขึ้น หรือต้องใช้วิธีการควบคุมแบบป้อนกลับและต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในระบบการควบคุมมากขึ้น

2. วิธีการสับชอยรูปคลื่นไฟสลับ พิจารณารูปคลื่นไซน์ที่ถูกสับชอยด้วยความถี่ 200Hz โดยมีอัตราส่วนของการสับชอยคือค่าตัวชี้แจงเกิด $D = t_{on} / T$ ดังแสดงในภาพที่ 2.31 จากภาพที่ 2.31 จะสามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพผลของแรงดันไฟฟ้าที่ภาระได้ดังสมการที่ (2.22) ดังนี้

$$V_{o(rms)} = \sqrt{\frac{1}{8\alpha} \left[\int_0^{2\alpha} (V_m \sin \omega t)^2 d\omega t + \int_{4\alpha}^{6\alpha} (V_m \sin \omega t)^2 d\omega t \right]} \quad (2.22)$$

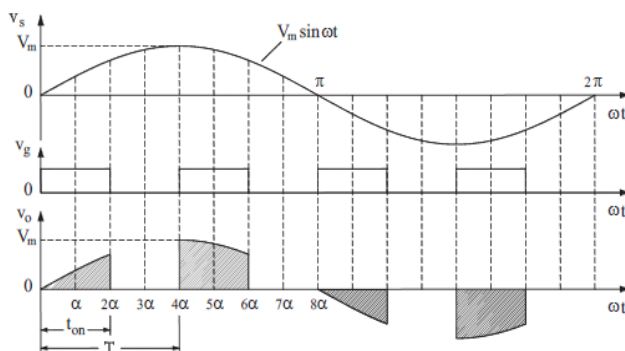
$$= \sqrt{\frac{V_m^2}{8\alpha} \left[\int_0^{2\alpha} (\sin \omega t)^2 d\omega t + \int_{4\alpha}^{6\alpha} (\sin \omega t)^2 d\omega t \right]}$$

ในภาพที่ 2.30 จะได้ว่า $\alpha = \pi/8$ และ $D = 2\alpha/4\alpha$ หรือ $D = 1/2$ ดังนั้นสมการที่ (2.22) จะสามารถเขียนใหม่ได้เป็นสมการที่ (2.23) ดังต่อไปนี้

$$V_{o(rms)} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \sqrt{2\alpha/4\alpha}$$

$$= \frac{V_m}{\sqrt{2}} \sqrt{1/2} \quad (2.23)$$

$$= V_s \sqrt{D}$$



ภาพที่ 2.31 รูปคลื่นไซน์ที่ถูกสับชอยด้วยความถี่ โดยมีอัตราส่วนของการสับชอยหรือค่าตัวชี้แจงเกิด

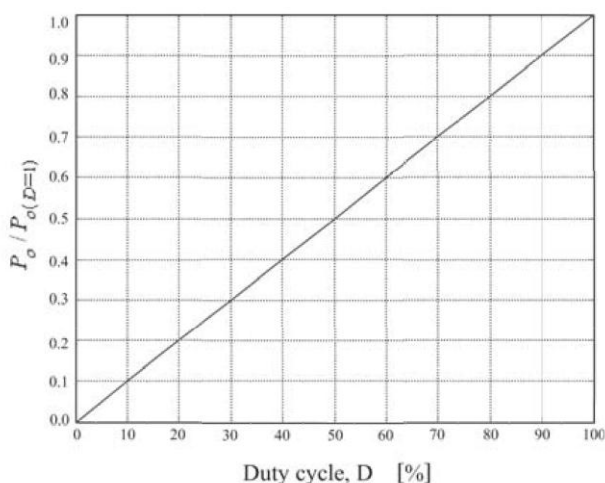
$$D = t_{on} / T$$

โดยที่ V_s เป็นค่าแรงดันประสิทธิผลของรูปคลื่นไซน์ที่ถูกป้อนเข้ามาทางด้านอินพุตและ D อัตราส่วนเวลา ton / T ของความถี่ที่ใช้ในการสับชอย หรือเป็นค่าดีวตี้ไซเคิลของความถี่ที่ใช้ในการสับชอย ดังนั้นสมการของกำลังไฟฟ้าที่ภาระทางด้านเอาต์พุตสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (2.24) ดังนี้

$$P_o = \frac{V_o^2(rms)}{R} = \frac{V_s^2}{R} D \quad (2.24)$$

เนื่องจาก V_s^2 / R เป็นค่าคงที่ และเป็นค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ดีวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับหนึ่ง ($P_o(D=1)$) ดังนั้นสมการที่ (2.24) สามารถที่จะเขียนขึ้นใหม่เป็นดังสมการที่ (2.25) ดังนี้

$$\frac{P_o}{P_o(D=1)} = D \quad (2.25)$$

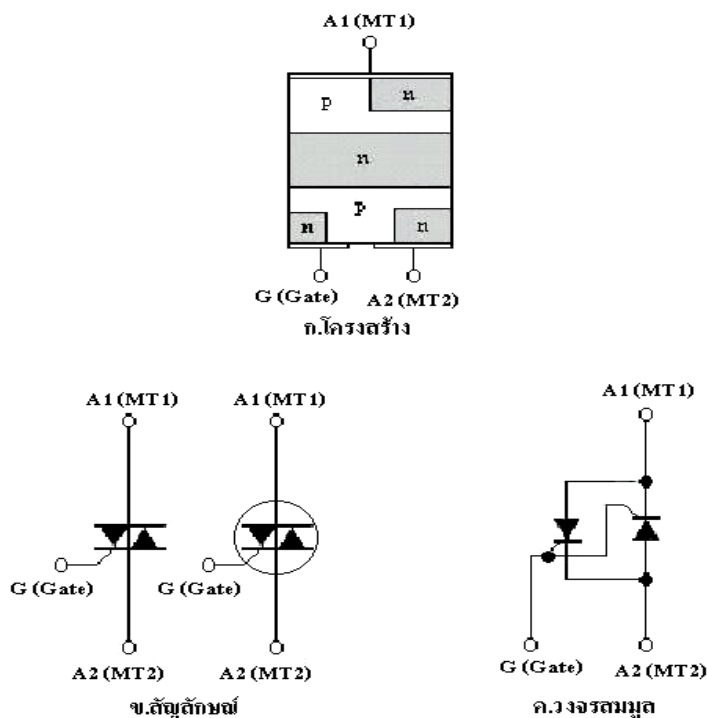


ภาพที่ 2.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ $P_o / P_o(D=1) = f(D)$ ของวงจรควบคุมแรงดันไฟสลับ โดยวิธีการสับชอยรูปคลื่น

2.4 ไตรแอก [5]

ไตรแอก (Triac) เป็นอุปกรณ์จำพวกสารกึ่งตัวนำในกลุ่มของไทรสเตอร์มีลักษณะโครงสร้างภายในคล้ายกับไดแอก แต่มีขาเกตเพิ่มขึ้นมาอีก 1 ขา ไตรแอกถูกสร้างขึ้นเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของ SCR ซึ่งไม่สามารถนำกระแสในซีกลบของไฟฟ้าสลับได้ การนำไตรแอกไปใช้งานส่วนใหญ่จะใช้ทำเป็นวงจรควบคุมการทำงานเป็นสวิตช์ต่อแรงดันไฟสลับ ไตรแอกถูกสร้าง

ขึ้นมาให้ใช้งานกับกระแสสูง ๆ ดังนั้นต้องระวังเรื่องของการระบายความร้อน สัญลักษณ์โครงสร้าง และวงจรสมมูลของไทรแอก ดังภาพที่ 2.33 ก,ขและค

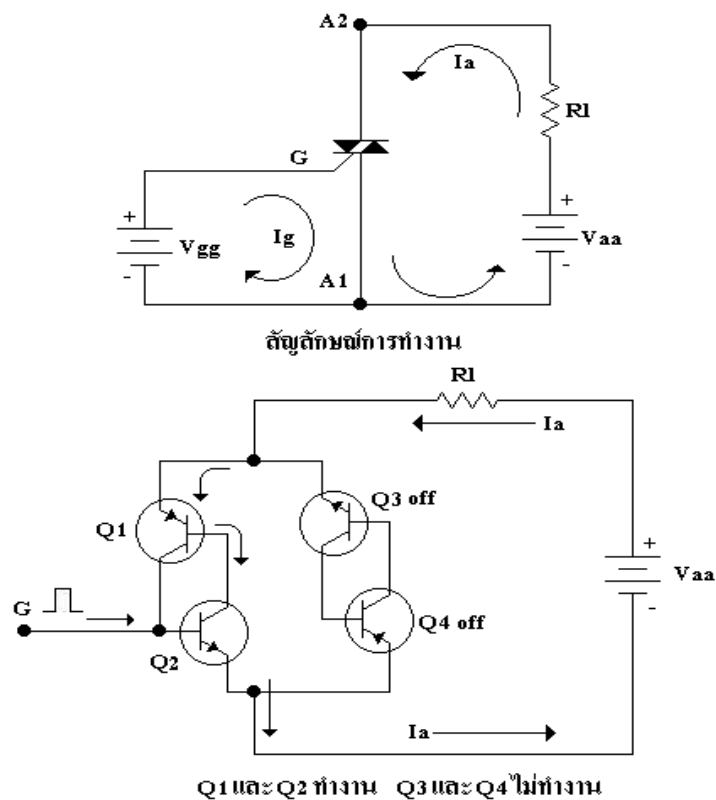


ภาพที่ 2.33 โครงสร้างสัญลักษณ์และวงจรสมมูลเปรียบเทียบระหว่างไทรแอกกับเอสซีอาร์

โครงสร้างของไทรแอกจะประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำตอนใหญ่ 3 ตอน คือ PNP และในสารกึ่งตัวนำตอนใหญ่จะมีสารกึ่งตัวนำตอนย่อยชนิด N อีก 3 ตอน ต่อรวมในสารกึ่งตัวนำ P ทั้ง 2 ตอน มีขาต่อออกมาใช้งาน 3 ขา เหมือน SCR ขาแอดโนด 1 (A1) เรียกว่า ขาเทอร์มินอล 1(Main Terminal 1) MT ขาแอดโนด 2 (A2) เรียกว่า ขาเทอร์มินอล 2(Main Terminal 2) MT และขาเกต(Gate) G

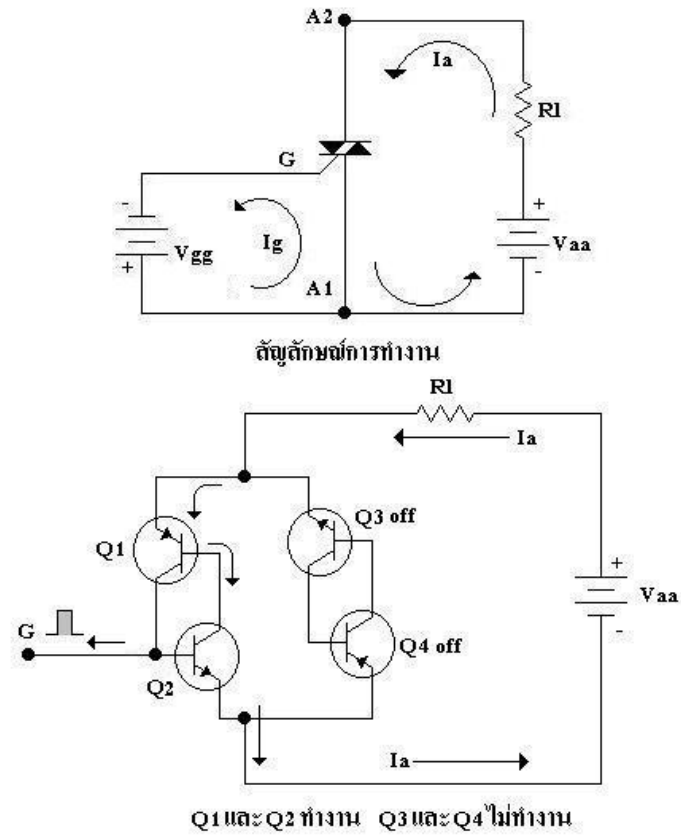
2.4.1 การทำงานของไทรแอก

ไทรแอกมีคุณสมบัติ ทำงานได้ทั้งแรงดันช่วงบวกและแรงดันช่วงลบ การนำกระแสของไทรแอกจะขึ้นอยู่กับแรงดันที่ป้อนกระตุ้นขา G และแรงดันที่จ่ายให้ขา A2 และ A1 การจ่ายไบอัสให้ตัวไทรแอกสามารถแบ่งได้เป็น 4 สถานะคือ
 สถานะที่ 1 หรือคอนแดนดท์ที่ 1 จ่ายแรงดันบวกให้ขา A2 จ่ายแรงดันลบให้ขา A1 และจ่ายแรงดันบวกกระตุ้นขา G จะเกิดการนำกระแสในตัวไทรแอกดังภาพที่ 2.34 ทิศทางการไหลของกระแสทั้งสองจะไหลในทิศทางเดียวกัน หรือกระแสไหลเสริมกัน ทำให้ I_A ไหลมากขึ้น



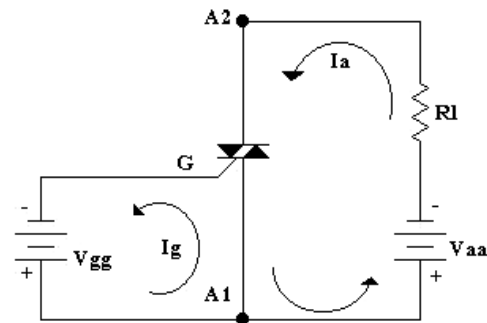
ภาพที่ 2.34 สภาวะที่ 1 หรือควอนแดรนต์ที่ 1

สภาวะที่ 2 หรือควอนแดรนต์ที่ 2 จ่ายแรงดันบวกให้ขา A2 จ่ายแรงดันลบให้ขา A1 แต่จ่ายแรงดันลบกระตุ้นขา G จะเกิดการนำกระแสในตัวไดรแอกดังภาพที่ 2.35 ทิศทางการไหลของกระแสทั้งสองจะไหลในทิศทางสวนทาง หรือกระแสไหลหักล้างกัน ทำให้ I_A ไหลน้อยลง

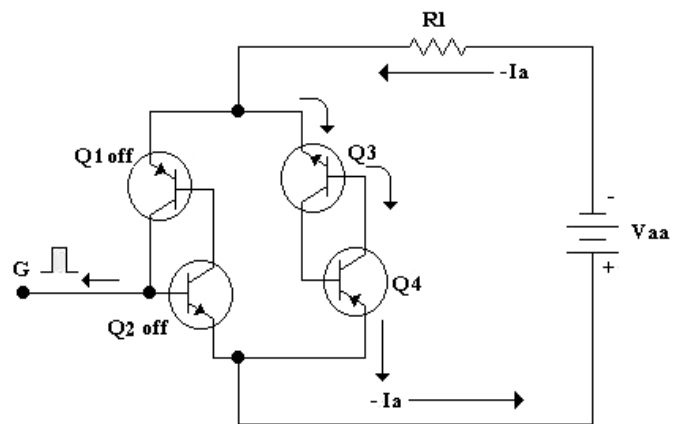


ภาพที่ 2.35 สภาวะที่ 2 หรือควอนแดรนด์ที่ 2

สภาวะที่ 3 หรือควอนแดรนด์ที่ 3 จ่ายแรงดันลบให้ขา A2 จ่ายแรงดันบวกให้ขา A1 แต่จ่ายแรงดันลบกระตุ้นขา G จะเกิดการนำกระแสในตัวไดรแอคดังภาพที่ 2.36 ที่สทางการไหลของกระแสทั้งสองจะไหลในทิศทางเดียวกัน หรือกระแสไหลเสริมกัน ทำให้ I_A ไหลมากขึ้น



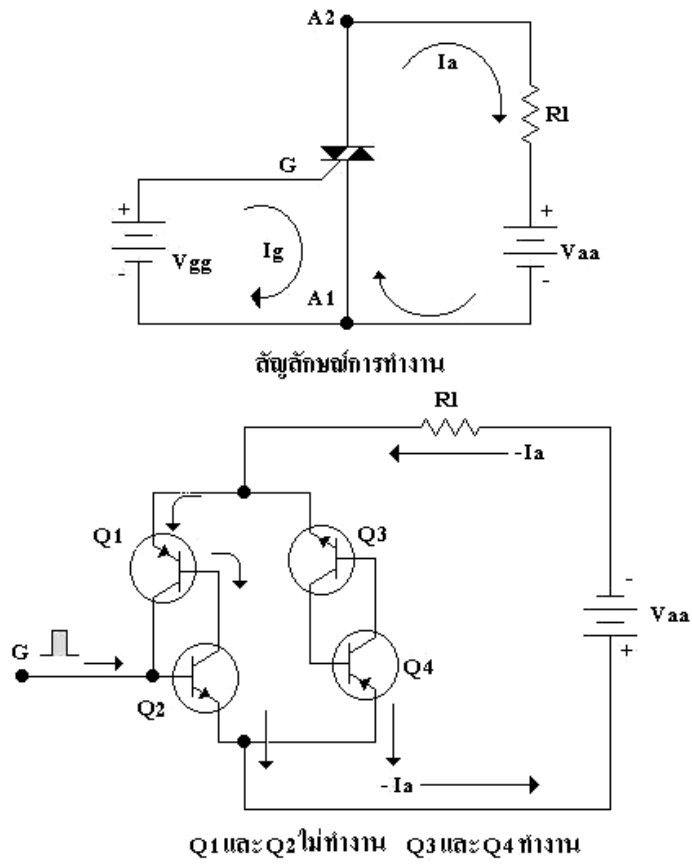
สัญลักษณ์การทำงาน



Q1 และ Q2 ไม่ทำงาน Q3 และ Q4 ทำงาน

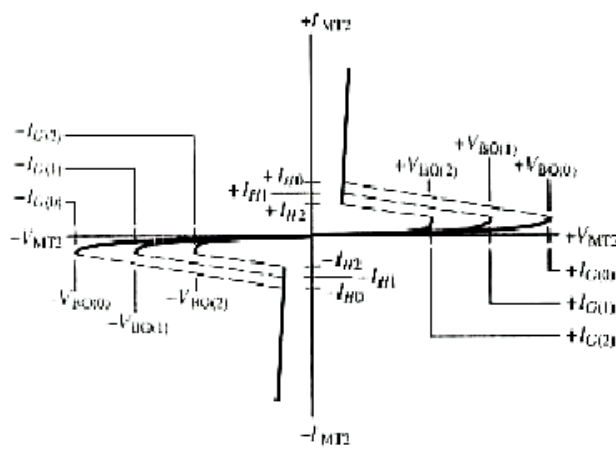
ภาพที่ 2.36 สภาวะที่ 3 หรือควอนแดรนซ์ที่ 3

สภาวะที่ 4 หรือควอนแดรนซ์ที่ 4 จ่ายแรงดันลบให้ขา A จ่ายแรงดันบวกให้ขา A แต่จ่ายแรงดันบวกกระตุ้นขา G จะเกิดการนำกระแสในตัวไดรแอกดังภาพที่ 2.37 ทิศทางการไหลของกระแสทั้งสองจะไหลในทิศทางสวนทาง หรือกระแสไหลหักล้างกัน ทำให้ I_A ไหลน้อยลง



ภาพที่ 2.37 สภาวะที่ 4 หรือควอนแดรนต์ที่ 4

กราฟคุณสมบัติของไทรแอก



ภาพที่ 2.38 กราฟลักษณะสมบัติของไทรแอก

จากกราฟลักษณะสมบัติของไทรแอก แรงดันไบอัสตรงกับไทรแอก ($V_{BO(0)}$) และจ่ายกระแสเกตบวก (I_G) ให้กับเกตของไทรแอก จะทำให้ไทรแอกนำกระแสได้โดยกระแสจะไหลจากขั้ว A ไปยังขั้ว A และเมื่อป้อนแรงดันไบอัสลบให้กับไทรแอก ($-V_{BO(0)}$) โดยไม่ให้เกินกว่าค่าแรงดันพังทลาย สามารถจ่ายกระแสเกตลบ ($-I_G$) กระแสจะไหลจากขั้ว A ไปยังขั้ว A

2.4.2 การหยุดการนำกระแสของไทรแอก

ไทรแอกเมื่อนำกระแสแล้วจะไม่จำเป็นต้องคงค่าแรงดันที่จ่ายกระแสคืนขา G เพราะไทรแอกจะนำกระแสต่อเนื่องได้เหมือนกับ SCR จะหยุดนำกระแสทำได้ 2 วิธีเหมือน SCR คือ

1. ตัดแหล่งจ่ายแรงดัน V_{AA} ที่ป้อนให้ขา A และขา A ของไทรแอกออกชั่วขณะ

2. ลดแรงดันไบอัสตรงที่จ่ายให้ขา A และ A ลงจนทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวไทรแอก

ต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้ง (holding current) ของไทรแอก

2.4.3 รายละเอียดและขีดจำกัดของไทรแอก

1. แรงดันบล็อกกิงสูงสุดซ้ำ (Repetitive Peak Blocking Voltage) ใช้ตัวย่อเป็น V_{DRM} หรือ V_{RPM} คือแรงดันสูงสุดที่ป้อนเฉพาะขา A และ A ที่ตัวไทรแอกยังไม่นำกระแส โดยไม่มีแรงดันกระแสคืนขา G

2. กระแสไบอัสตรงสูงสุดเป็น Rms (RMS Max Forward Current) ใช้ตัวย่อ $I_{T(MAX)}$ คือค่ากระแสสูงสุดเป็น Rms ที่ไทรแอกทนได้ เมื่อมีกระแสไบอัสตรงไหลผ่าน ถ้ากระแสไหลผ่านไทรแอกเกินกว่าค่านี้ ไทรแอกจะชำรุดเสียหาย

3. กระแสโฮลดิ้ง (Holding Current) ใช้ตัวย่อ I_H คือกระแสต่ำสุดที่ไหลผ่านตัวไทรแอก ระหว่างขา A และ A แล้วไทรแอกยังคงนำกระแสได้

4. กระแสกระตุ้นเกต (Gate Trigger Current) ใช้ตัวย่อ I_{GT} คือกระแสที่ใช้กระตุ้นขา G ของไทรแอก เพื่อให้ไทรแอกทำงาน มักบอกค่ากระแสไว้ที่ต่ำสุด

5. แรงดันกระตุ้นเกต (Gate Trigger Voltage) ใช้ตัวย่อ V_{GT} คือแรงดันที่ป้อนให้ขา G เทียบกับขา A เพื่อกระตุ้นให้ไทรแอกนำกระแส มักบอกค่าสูงสุด

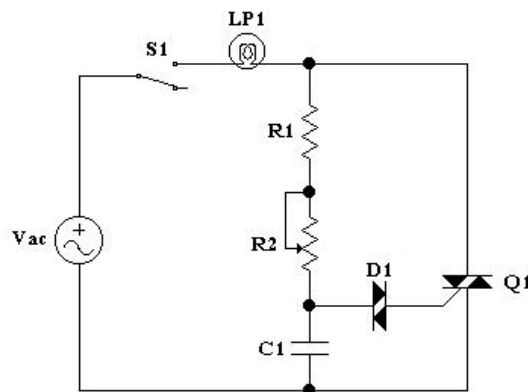
6. กระแสกระตุ้นเกทสูงสุด (Peak Gate Trigger Current) ใช้ตัวย่อ I_{GTM} คือค่ากระแสกระตุ้นที่ไหลผ่านเกทค่าสูงสุดยังคงทำให้ไทรแอกทำงานได้

7. ย่านอุณหภูมิในการทำงาน (Operating Junction Temperature) ใช้ตัวย่อ T_j คือย่านอุณหภูมิตรงรอยต่อที่ไทรแอก ทำงานได้โดยไม่ชำรุดเสียหาย บอกค่าตั้งแต่ต่ำสุด (-) จนถึงสูงสุด เป็นค่าบวก (+)

2.4.4 การประยุกต์ไคแอกและไทรแอกไปใช้งาน

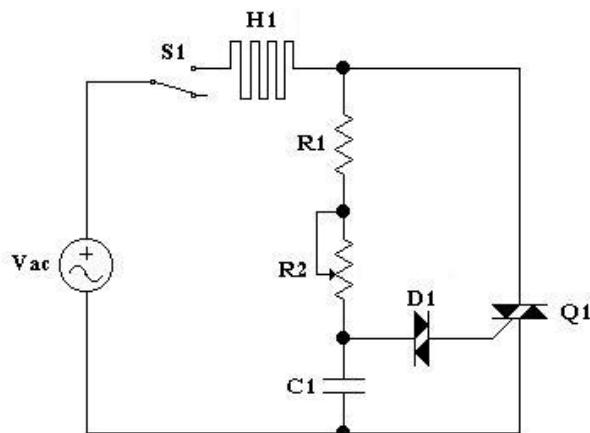
การนำไทรแอกไปใช้งานนิยมใช้มากที่สุด คือ การนำไปใช้ควบคุมกำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่ โหลด เช่น ควบคุมความสว่างของหลอดไฟฟ้า หรือวงจรรีไฟ ควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสสลับ ควบคุมความร้อนของลวดความร้อน เช่น เตอบไฟฟ้า เตาลอดโลหะ เป็นต้น

1. วงจรรีไฟหรือขจัดลวดความร้อน โดยใช้ไทรแอกและไคแอกเป็นตัวทำงานวงจรรีไฟ หรือขจัดลวดความร้อน โดยการทำงานของไทรแอกทำหน้าที่เป็นสวิทช์ตัดต่อวงจรตามการควบคุม แรงดันกระตุ้นที่ขา G ของไทรแอก วงจรควบคุมและหน่วงเวลาแรงดันกระตุ้นขา G ใช้ตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุ มีไคแอกเป็นตัวป้องกันกระแสกระชากเข้าขา G ของไทรแอก ดังภาพที่ 2.39



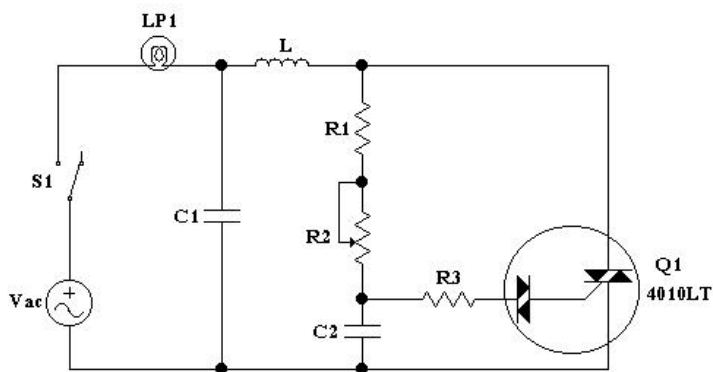
ภาพที่ 2.39 วงจรรีไฟ

การทำงานดังกล่าวทำให้สามารถปรับเปลี่ยนความสว่างของหลอดไฟ LP ได้ โดยอาศัย การปรับเปลี่ยนเวลาและมุมเฟสของแรงดันที่จะทำให้ไคแอกนำกระแส และไปทำให้ไทรแอก นำกระแสกำลังไฟฟ้าที่ติดกร่อมหลอดไฟ LP จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ถ้านำวงจรถูกกล่าวไปหรี ความร้อนของเตาไฟฟ้า กระทะไฟฟ้า กาต้มน้ำไฟฟ้า เตารีดไฟฟ้าและอื่น ๆ ดังภาพที่ 2.40



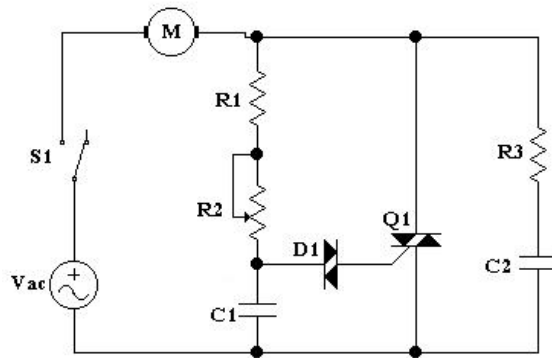
ภาพที่ 2.40 วงจรหรีขลดวดความร้อน

2. วงจรหรีไฟแสงสว่างที่มีชุดป้องกันสัญญาณรบกวน วงจรจะใช้ควอดแทรกเป็นตัวทำงาน วงจรหรีไฟแสงสว่างที่มีชุดป้องกันสัญญาณรบกวน จะมีวงจรคล้ายกับวงจรหรีไฟในรูปที่ 10 แต่เพิ่มวงจรป้องกันสัญญาณรบกวนเข้าไป ช่วยป้องกันกระแสกระชากผ่านเข้าวงจร และป้องกันฮาร์โมนิกส์สูง ๆ ออกไปรบกวนระบบไฟฟ้าภายนอก ดังภาพที่ 2.41



ภาพที่ 2.41 วงจรหรีไฟแสงสว่างที่มีชุดป้องกันสัญญาณรบกวน

3. วงจรปรับความเร็วมอเตอร์แบบยูนิเวอร์แซล มอเตอร์แบบยูนิเวอร์แซล (Universal Motor) เป็นมอเตอร์ที่สามารถนำไปใช้งานได้ทั้งแรงดันไฟตรง DC และแรงดันไฟสลับ AC จึงเรียกว่า ยูนิเวอร์แซล มอเตอร์ ในการควบคุมความเร็วของยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ สามารถทำได้โดยใช้การควบคุมเวลาและเฟสของอุปกรณ์ทริกเกอร์ ร่วมกับ SCR ไตรแอก หรือควอดแทรก อย่งใดอย่างหนึ่ง ดังภาพที่ 2.42

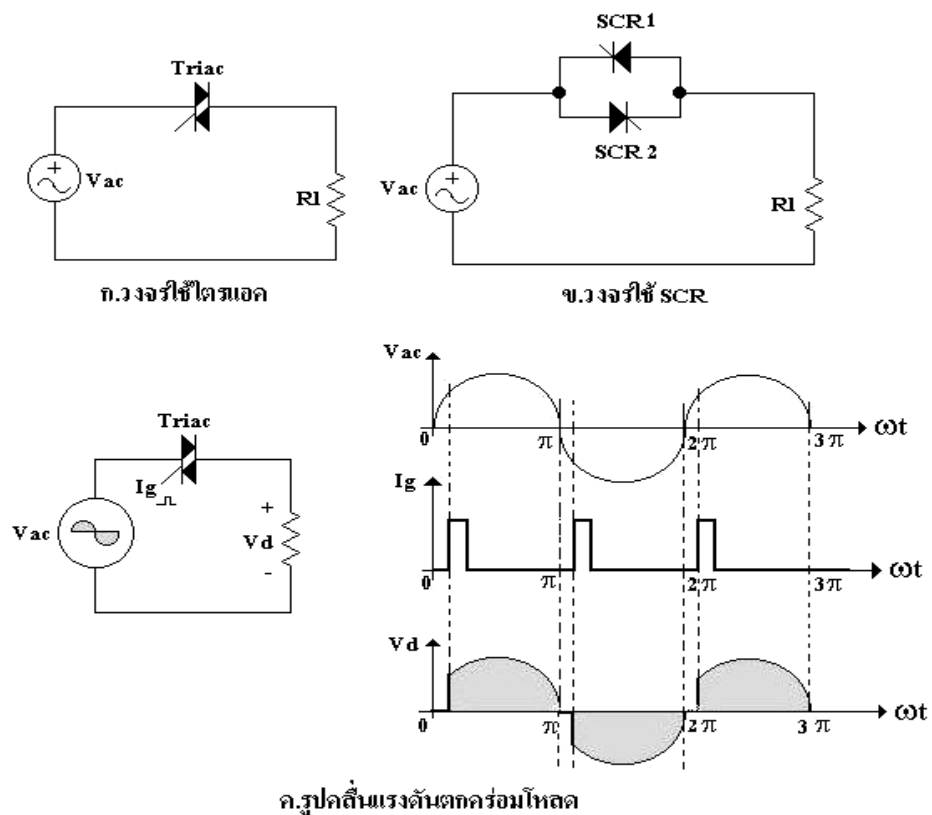


ภาพที่ 2.42 วงจรปรับความเร็วมอเตอร์แบบยูนิเวอร์แซล

2.4.5 การใช้ไทรแอกควบคุมเฟสของแรงดันไฟสลับ

ไทรแอกสามารถนำกระแสในไฟสลับ ได้ 2 ซีก คือ ซีกบวกและซีกลบ ในการควบคุมไฟสลับสามารถทำได้กับ ไฟสลับ 1 เฟส และ 3 เฟส ดังนี้คือ

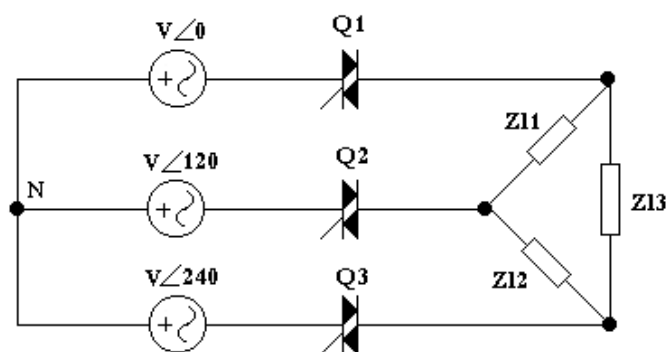
1. ควบคุมแรงดันไฟสลับชนิดเฟสเดียว ถ้าใช้ไทรแอกจะใช้เพียงตัวเดียว แต่ถ้าใช้ SCR จะต้องใช้ 2 ตัว ดังภาพที่ 2.43



ภาพที่ 2.43 วงจรควบคุมแรงดันไฟสลับ 1 เฟส ด้วยไทรแอก และ SCR

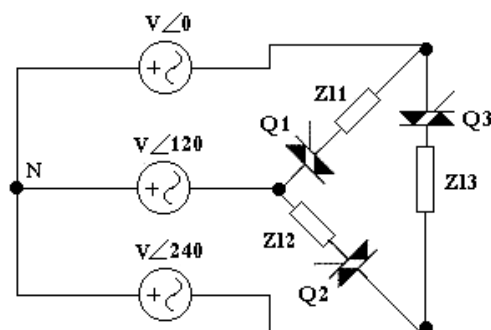
2. ควบคุมแรงดันไฟสลับชนิด 3 เฟส แรงดันไฟสลับ 3 เฟส แต่ละเฟสมีมุมต่างกัน 120° องศา ในแต่ละอินพุตป้อนเข้าแต่ละโหลดโดยเฉพาะ ในแต่ละชุดของการจ่ายแรงดันไปยัง โหลด จะถูกควบคุมแรงดันด้วยไทรแอกแต่ละตัว โดยใช้ไทรแอกหนึ่งต่อกับโหลดหนึ่งชุด สามารถนำไปใช้กับโหลดที่ต้องวงจรทั้งแบบเดลต้าและแบบสตาร์ ดังนี้คือ

แบบเดลต้า การต่อวงจรแบบนี้ จะใช้ไทรแอกเป็นตัวควบคุมเฟสในการทำงานจะสามารถต่อไทรแอกร่วมในวงจรได้ทั้งแบบต่อไทรแอกแยกในแต่ละไลน์ และต่อไทรแอกอันดับร่วมกับโหลดแต่ละชุด



ภาพที่ 2.44 การต่อไทรแอกแบบแยกแต่ละไลน์

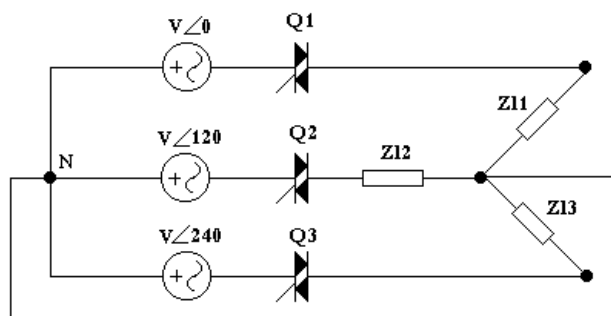
จากภาพที่ 2.44 วงจรใช้ไทรแอกควบคุมเฟสของแรงดันไฟสลับที่จ่ายโหลด โหลด Z_{L1} จะทำงานเมื่อไทรแอก Q_1 และ Q_2 เกิดการนำกระแส โหลด Z_{L2} จะทำงานเมื่อไทรแอก Q_2 และ Q_3 เกิดการนำกระแส และโหลด Z_{L3} จะทำงานเมื่อไทรแอก Q_3 และ Q_1 เกิดการนำกระแส



ภาพที่ 2.45 การต่อไทรแอกแบบอันดับร่วมกับโหลด

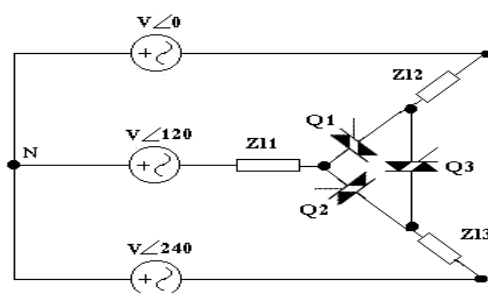
จากภาพที่ 2.45 เป็นวงจรที่ใช้ไทรแอกควบคุม ต่อแบบอันดับ สภาวะการทำงานของโหลด จะขึ้นอยู่กับไทรแอกแต่ละไลน์ เมื่อไทรแอก Q_1 นำกระแส โหลด Z_{L1} จะทำงาน ไทรแอก Q_2 นำกระแส โหลด Z_{L2} จะทำงาน และไทรแอก Q_3 นำกระแส โหลด Z_{L3} จะทำงาน

แบบสตาร์ การต่อวงจรแบบสตาร์โดยใช้ไทรแอกเป็นตัวควบคุมเฟสในการทำงาน สามารถต่อไทรแอกเข้าวงจรได้ทั้งแบบต่อไทรแอกแยกแต่ละไลน์ และแบบไทรแอกต่อรวมกับแล้ว จึงต่อไปโหลดแต่ละโหลด ดังภาพที่ 2.46



ภาพที่ 2.46 การต่อไทรแอกแบบแยกแต่ละไลน์

จากภาพที่ 2.46 เป็นวงจรใช้ไทรแอกควบคุมเฟสของแรงดันไฟสลับ โดยโหลดถูกต่อวงจรแบบสตาร์ แหล่งจ่ายแรงดันแต่ละชุด V_a , V_b และ V_c เมื่อไทรแอก Q_1 นำกระแส โหลด Z_{L1} จะทำงาน ไทรแอก Q_2 นำกระแส โหลด Z_{L2} จะทำงาน และไทรแอก Q_3 นำกระแส โหลด Z_{L3} จะทำงาน



ภาพที่ 2.47 การต่อไทรแอกแบบรวมกัน

จากภาพที่ 2.47 เป็นวงจรใช้ไทรแอกควบคุมเฟสของแรงดันไฟสลับ โหลดต่อแบบสตาร์ ส่วนตัวไทรแอกต่อร่วมกันแบบสตาร์ ไทรแอก Q_1 นำกระแส โหลด Z_{L1} และ Z_{L2} จะทำงาน ไทรแอก Q_2 นำกระแส โหลด Z_{L1} และ Z_{L3} จะทำงาน และไทรแอก Q_3 นำกระแส โหลด Z_{L2} และ Z_{L3} จะทำงาน

2.4 ทฤษฎีมอเตอร์ [6]

มอเตอร์ คือ เครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยสร้างมอเตอร์จะเหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงทุกอย่าง จะมีข้อแตกต่างออกไปบ้างก็เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งนี้เพราะว่าสภาพที่นำมาใช้งานแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั่วไปจะเป็นชนิดเปิด (Open Type) กล่าวคือขดลวดอาร์เมเจอร์ และขดลวดสนามแม่เหล็กจะพันเป็นแบบเปิด ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้นกับลวดอย่างไรก็ตามเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงเครื่องเดียว สามารถใช้ทำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าได้

2.4.1 หลักการทำงานของมอเตอร์

เมื่อมีกระแสไหลในขดลวดตัวนำที่พันอยู่บนแกนอาร์เมเจอร์ จะเกิดสนามแม่เหล็กรอบ ๆ ตัวนำ และทำปฏิกิริยากับสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ ทำให้เกิดแรงผลักขึ้นบนตัวนำทำให้อาร์เมเจอร์หมุนไปได้

ขดลวดที่มีกระแสไฟฟ้าไหลและวางอยู่บนแกนของอาร์เมเจอร์ โดยวางห่างจากจุดศูนย์กลางเป็นระยะ r กำหนดให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าขดลวดที่ปลาย A และไหลออกที่ปลาย B จากคุณสมบัติของสนามแม่เหล็กจะไม่ตัดผ่านซึ่งกันและกัน ดังนั้นปริมาณของสนามแม่เหล็กจะมีจำนวนมากที่ด้านบนของปลาย A จึงทำให้เกิดแรง F_1 กดตัวนำ A ลงด้านล่างและขณะเดียวกันที่ปลาย B นั้น สนามแม่เหล็กจะมีปริมาณมากที่ด้านหน้าทำให้เกิดแรง F_2 ดันให้ตัวนำ B เคลื่อนที่ด้านบนของแรง F_1 และ F_2 นี้เองทำให้อาร์เมเจอร์ของมอเตอร์เกิดการเคลื่อนที่ไปได้

ดังนั้นการทำงานของมอเตอร์จึงขึ้นอยู่กับหลักการที่ว่า เมื่อเอาตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปวางในสนามแม่เหล็ก มันจึงพยายามทำให้ตัวนำเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก

2.4.2 คุณสมบัติของมอเตอร์

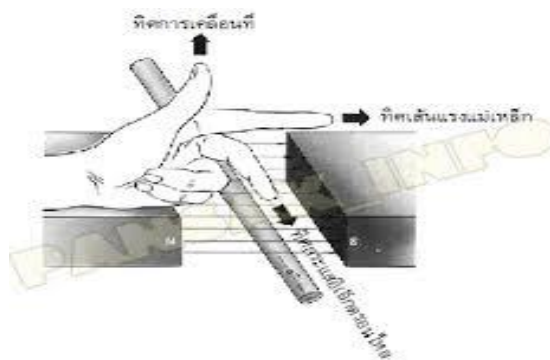
คุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ คุณสมบัติทั่วไปและคุณสมบัติทางเทคนิค ดังนี้คุณสมบัติทั่วไป เป็นคุณสมบัติประจำตัวของมอเตอร์ ไฟฟ้าแต่ละประเภทที่ควรจะทราบอย่างกว้าง ๆ โดยมีได้เจาะลึกเข้าไปในเนื้อหาเชิงวิชาการแต่อย่างใด ได้แก่ ลักษณะโครงสร้าง ลักษณะงาน ลักษณะของวงจรเช่นคุณสมบัติ ของมอเตอร์อนุกรม คือ ลักษณะโครงสร้าง ประกอบด้วยลวดหนามแม่เหล็กที่มีความต้านทานต่ำมาก (พันด้วยลวดทองแดงเส้นใหญ่รอบแกนขั้วแม่เหล็ก) ต่อเป็นอนุกรมกับอาร์เมเจอร์และต่อโดยตรงกับแรงดันเมน ลักษณะวงจร A1 – A2 เป็นอาร์เมเจอร์ต่อเป็นอนุกรมกับขดลวดสนามแม่เหล็กชุดอนุกรม D1 – D2

และต่อโดยตรงกับสายเมน L+, L- และลักษณะสนามแม่เหล็กทำให้ความเร็วสูงเมื่อโพลลดลง จึงเป็นมอเตอร์ที่หมุนไม่คงที่ความเร็วเปลี่ยนแปลงไปตามโพลจะเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะใช้เป็นมอเตอร์สตาร์ทเครื่องพ่นน้ำ

คุณสมบัติทางเทคนิค เป็นคุณสมบัติประจำเครื่องกลไฟฟ้าแต่ละประเภทเช่นเดียวกัน ที่ให้รายละเอียดซึ่งเจาะลึกเข้าไปในเชิงวิชาการ สามารถทดสอบและวัดด้วยเครื่องวัดได้ด้วยวิธีทดลองในห้องปฏิบัติการทดลอง ส่วนใหญ่จะแสดงด้วยกราฟเพื่อแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าหนึ่งกับอีกค่าหนึ่ง เช่น สมรรถนะในการกำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แสดงด้วย “กราฟแม่เหล็กอิ่มตัว (Saturation หรือ Magnetization Curve)” สมรรถนะในการจ่ายโพลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแสดงด้วย External Characteristic ส่วนคุณสมบัติทางเทคนิคของมอเตอร์จะแสดงด้วย Performance Curve ซึ่งได้แก่ สมรรถนะในการหมุนขับโพล (Speed Load Curves หรือ Speed/Load Characteristic) แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสมอเตอร์ (n = ความเร็วรอบให้อยู่บนแกน Y หรือ Ordinate และ I_a = กระแสอาร์มเจอร์ให้อยู่บนแกน X หรือ Abcissae) หรืออาจให้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (n เป็น Ordinate หรือ แกน Y) กับทอร์ค หรือกำลังที่หมุนขับงาน (T = ทอร์ค, P =กำลังวัตต์หรือกิโลวัตต์ ให้อยู่บนแกน x หรือ Abcissae) จุดประสงค์เพื่อต้องการแสดงให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบของมอเตอร์ที่หมุนขับโพลว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรเมื่อโพลเปลี่ยนแปลงไป

2.4.3 กฎมือซ้ายสำหรับมอเตอร์

เนื่องจากมีความสัมพันธ์อย่างแน่นอนเกิดขึ้นระหว่างทิศทางของสนามแม่เหล็ก ทิศทางของกระแสไฟฟ้าในตัวนำและทิศทางที่ตัวนำเคลื่อนที่ซึ่งมีความสัมพันธ์ของปริมาณเหล่านี้ให้ตั้งเป็นกฎมอเตอร์ขึ้น ซึ่งกฎนี้ได้นำไปใช้แบบเดียวกันกับกฎมือขวาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแต่เพียงใช้มือซ้ายแทนเท่านั้น กฎนี้ ได้แสดงให้เห็นดังภาพที่ 2.52 และได้กล่าวไว้ดังนี้คือ กลางหัวแม่มือ นิ้วชี้ และนิ้วกลาง ให้ตั้งฉากซึ่งกันและกัน โดยใช้นิ้วชี้ ชี้ไปตามทิศทางของสนามแม่เหล็ก (Magnetic flux = B) นิ้วกลางชี้ไปตามทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า (Current = I) แล้วหัวแม่มือจะบอกทิศทางของการเคลื่อนที่ของตัวนำ (Force = F)



ภาพที่ 2.548 กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง (Fleming's left hand rule)

2.4.4 แรงที่เกิดขึ้นในตัวนำ

การกระทำของแรงที่เกิดขึ้นเป็นตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในขณะที่มันวางอยู่ในสนามแม่เหล็กจะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก ความยาวของตัวนำ และค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำแรงที่เกิดขึ้นบนตัวนำสามารถหาได้จากสมการ

$$F = BIL \quad (2.26)$$

เมื่อ $F =$ แรงที่เกิดขึ้นบนตัวนำหนึ่งตัว หน่วย นิวตัน

$B =$ ความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก หน่วย Wb/m^2

$I =$ กระแสที่ไหลในตัวนำ หน่วย แอมแปร์ (A)

$L =$ ความยาวของตัวนำ หน่วย เมตร (m)

แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อต้าน เกิดขึ้นเนื่องจากเมื่อขดลวดตัวนำหมุนอยู่ในสนามแม่เหล็ก มันจะติดกับเส้นแรงแม่เหล็กแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำขึ้นในขดลวด แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางขัดขวางกับแรงเคลื่อนที่ไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ จึงเรียกว่า “แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อต้าน” (Back e.m.f) ซึ่งมันจะเกิดขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์เสมอ ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่มีผลต่อการใช้งานจริง ๆ ในอาร์เมเจอร์จึงมีค่าเท่ากับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้ลบด้วยแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับจึงเขียนสมการได้ดังนี้

$$V_t = I_a + E_b \quad \text{หรือ} \quad I_a R_a = V_t - E_b \quad (2.27)$$

เมื่อ $E_b =$ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ต้านกลับ หน่วยโวลต์ (V)

$V_t =$ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ หน่วยโวลต์ (V)

$I_a =$ กระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์ หน่วยแอมแปร์ (A)

$R_a =$ ความต้านทานของขดลวดในอาร์เมเจอร์ หน่วยโอห์ม (Ω)

2.4.5 สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าของมอเตอร์

วงจรสามารถเขียนเป็นสมการได้คือ

$$V_t = E_b + I_a R_a \quad (2.28)$$

เมื่อ $V_t =$ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ หน่วยโวลต์ (V)

$E_b =$ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ต้านกลับ หน่วยโวลต์ (V)

$I_a R_a =$ แรงเคลื่อนไฟฟ้าตกคร่อมในอาร์เมเจอร์ หน่วยโวลต์ (V)

2.4.6 กำลังที่เกิดขึ้นในมอเตอร์

จากสมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าของมอเตอร์

$$V_t = E_b + I_a R_a \quad (2.29)$$

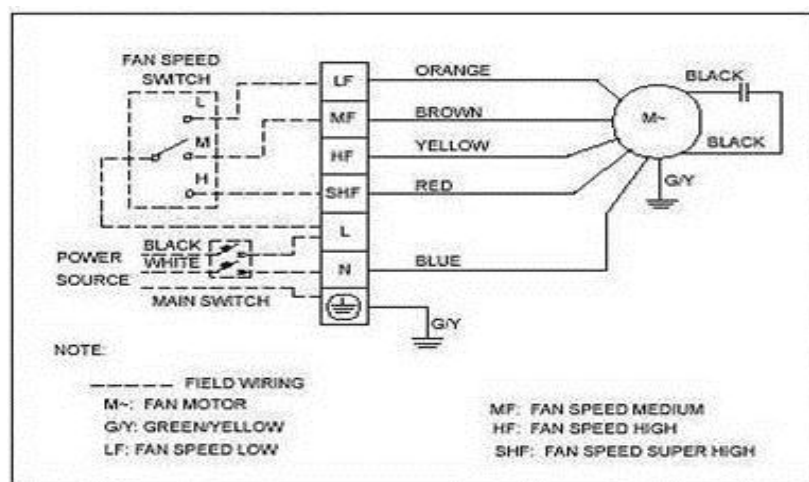
นำเอาค่า I_a คูณตลอดเพื่อหา Power จะได้คือ

$$V_t I_a = I_a E_b + I_a^2 R_a \quad (2.30)$$

จะได้ $V_t I_a =$ กำลังงานจ่ายให้กับมอเตอร์ หน่วยวัตต์ (W)

$E_b I_a =$ กำลังงานที่เกิดขึ้นจากอาร์เมเจอร์ หน่วยวัตต์ (W)

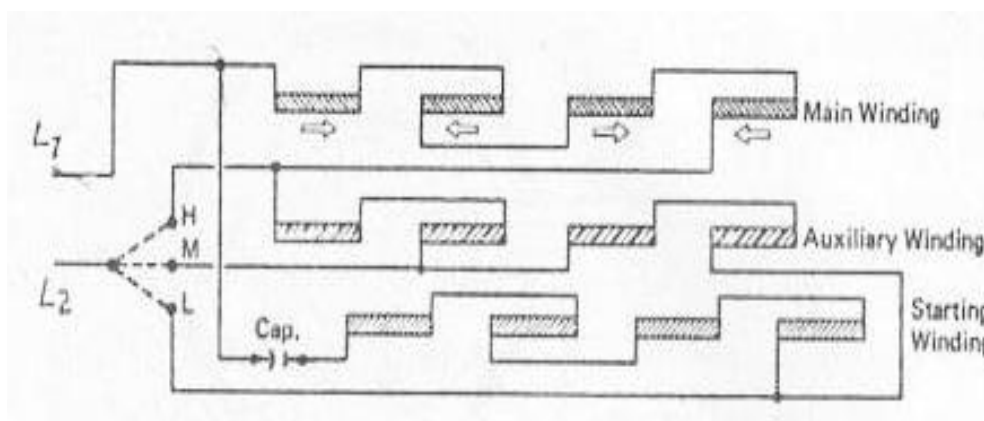
$I_a^2 R_a =$ กำลังงานการสูญเสียที่เกิดขึ้นที่อาร์เมเจอร์ หน่วยวัตต์ (W)



ภาพที่ 2.49 Wiring (220/1P/50Hz)

พัฒนแบบตั้งโต๊ะต่างๆไปจะเป็นมอเตอร์แบบ Capacitor runmotor มีขดลวด 3 ขดคือ ขดหลัก (main) ขดช่วย (Aux) ขดสตาร์ท (Start) ตามรูปวงจรของขดลวดที่พันอยู่บนสเตเตอร์ของมอเตอร์พัฒนา

เมื่อเรากดสวิตช์ไปที่หมายเลข 3 (H) ขดหลัก(Main)จะต่อกับไฟฟ้า220V โดยตรงพัดลมจะหมุนเต็มที่ เมื่อเรากดสวิตช์ไปที่หมายเลข 2 (M) ขดหลัก(Main)จะต่อกับขดช่วยครึ่งหนึ่ง ขดช่วยรับแรงดันไฟฟ้าไว้ส่วนหนึ่งทำให้ขดหลักได้รับไฟฟ้าน้อยจึงหมุนช้าลง เมื่อเรากดสวิตช์ไปที่หมายเลข 1 (L) ขดหลัก(Main)จะต่อกับขดช่วยเต็มขด ขดช่วยรับแรงดันไว้มาก ทำให้ขดหลักได้รับแรงดันน้อยลงไปมากจึงหมุนช้ามาก



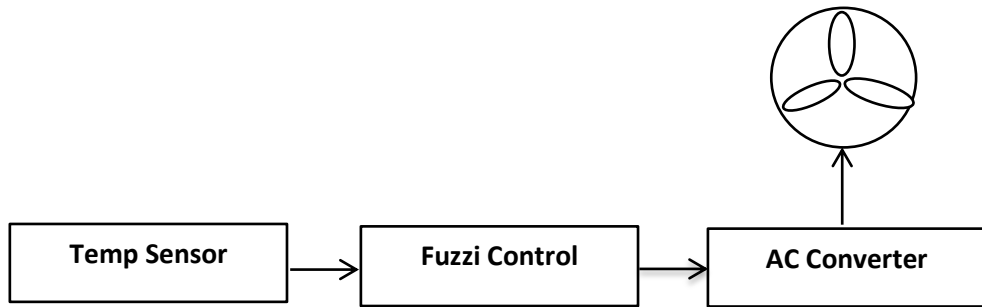
ภาพที่ 2.50 แสดงการต่อขดลวดมอเตอร์คาปาซิเตอร์ชนิด 3 ความเร็ว

บทที่ 3

การออกแบบวงจรทำงาน

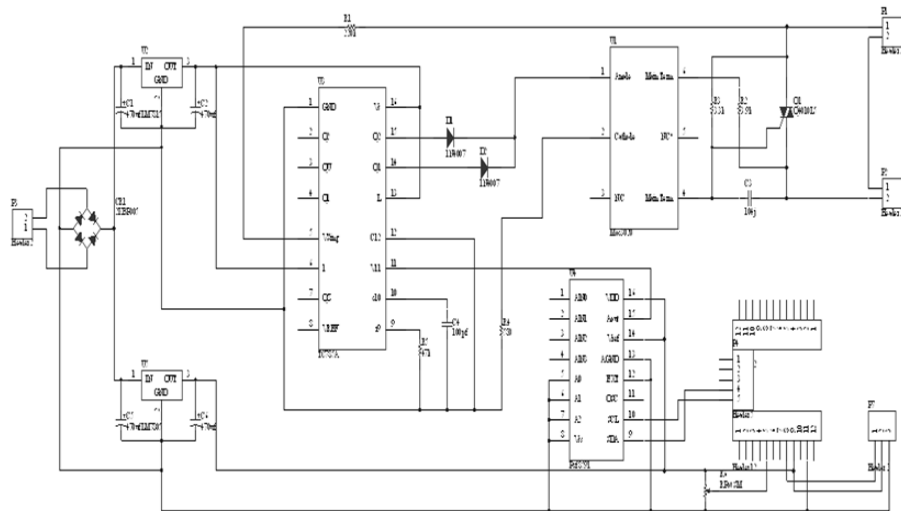
การออกแบบวงจร

ในส่วนนี้เป็นการออกแบบวงจรที่ใช้งานจริงซึ่งมีการแยกออกเป็น 3 ส่วนคือส่วนแรกเป็นส่วนของเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิส่วนที่ 2 เป็นส่วนชุดควบคุมการทำงานของฟิวส์ซีลลิจิกโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328 เป็นตัวสั่งการและสุดท้ายเป็นส่วนของตัวควบคุมสวิตช์โดยใช้ TRIAC และไอซี TCA 785 ซึ่งการออกแบบวงจรได้ดังรูป



ภาพที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมความเร็วพัดลม

3.1 การออกแบบวงจรการทำงานชุดควบคุมการทำงานของพัดลม



ภาพที่ 3.2 วงจรตัวควบคุมการทำงานของพัดลม

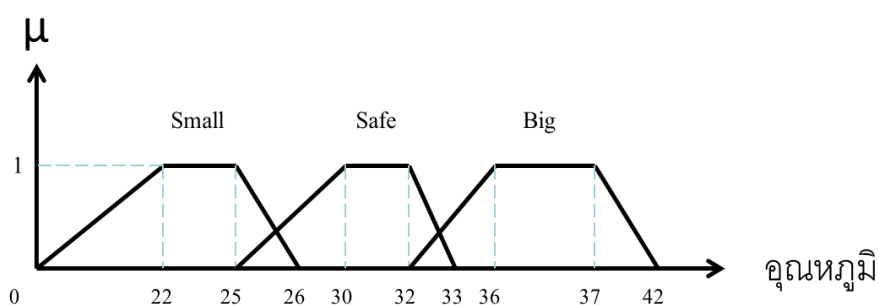
ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดขอบเขตเชิงภาษา (Fuzzy Linguistic) และการกำหนดค่าของการเป็นสมาชิก (Grade of Membership Function) ของ Fuzzy Subset ต่างๆที่ระดับการควบคุมที่ต่างกัน การกำหนดขอบเขตเชิงภาษาที่เป็นภาษาที่ใช้ในระบบการควบคุมแบบฟัซซีลอจิกในที่นี้จะแบ่งระดับของฟัซซีที่ใช้ในระบบการควบคุมแบบฟัซซีลอจิกที่ใช้กับตัวแปรอินพุต 3 ภาษา และเอาต์พุตได้ 3 ภาษา ดังนี้

อินพุต

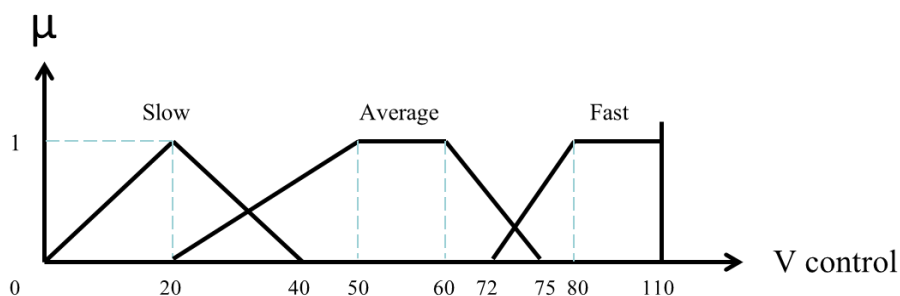
- small : ช้า
- safe : ปานกลาง
- big : เร็ว

เอาต์พุต

- slow : ช้า
- average : ปานกลาง
- fast : เร็ว



ภาพที่ 3.4 Fuzzification (Input)



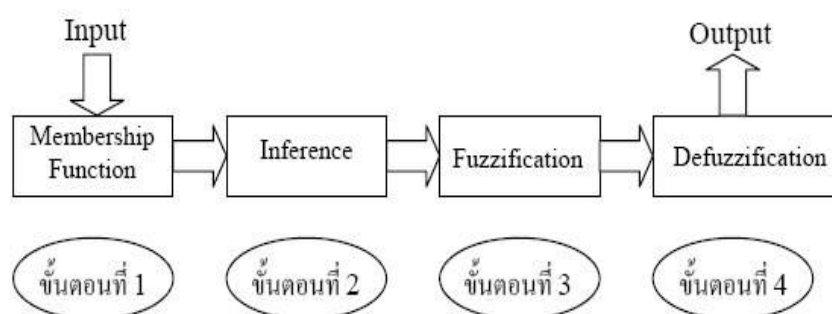
ภาพที่ 3.5 Defuzzification (Output)

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างเงื่อนไขหรือกฎการควบคุม หรือการหากฎเกณฑ์และเงื่อนไขที่สามารถนำค่าจากอินพุตประมวลผลออกไปได้ เมื่อได้ทำขั้นตอนที่ 1 และ 2 แล้วก็จะเป็นการสร้าง

เงื่อนไขที่จะนำมาใช้ในการควบคุมของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกเพื่อสามารถควบคุมความเร็วของพัดลมได้ตามจุดประสงค์

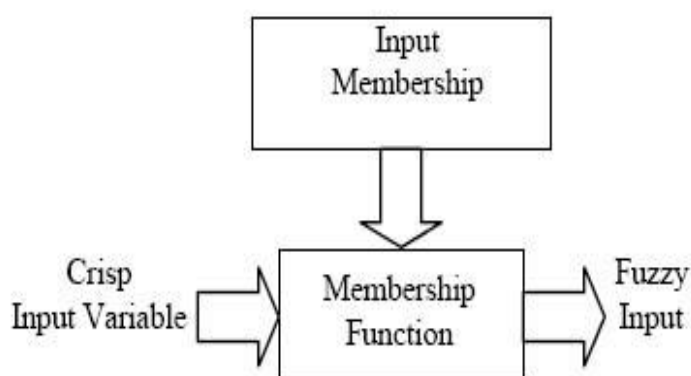
3.3.1 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิกมีรูปแบบการทำงานเป็น 4 ส่วนจะแสดงดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 การประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

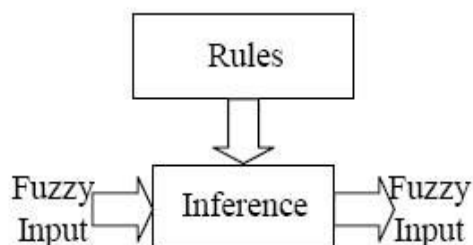
ขั้นตอนที่ 1 เป็นการแปลงการอินพุตแบบทวินัยเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี โดยจะสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก โดยไม่จำเป็นต้องมีลักษณะเดียวกัน ขึ้นกับคุณลักษณะของแต่ละการอินพุต (Input) และความสำคัญต่อการเอาต์พุต (Output) ที่น่าสนใจโดยฟังก์ชันจะมีลักษณะเป็นการกำหนดภาษาสามัญ เพื่อให้เป็นฟัซซีการอินพุต ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.7 การแปลงการอินพุตแบบทวินัยเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี

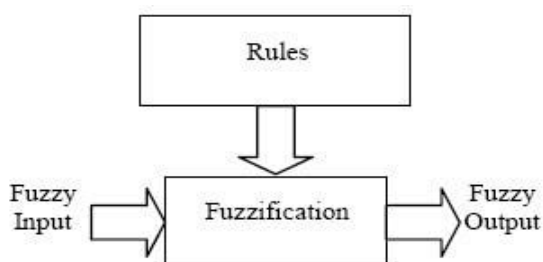
ขั้นตอนที่ 2 เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างการอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุตที่อาศัยหลักการของการหาเหตุและผล อาจจะมีการเก็บข้อมูล การคาดการณ์จากการตัดสินใจของ

มนุษย์ หรือค่าจากการทดลอง โดยเขียนเป็นกฎการควบคุมระบบ ซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปแบบ ถ้า (If) และ (And) หรือ (Or) ซึ่งเป็นภาษาสามัญ นำกฎทั้งหมดมาประมวลผลรวมกัน เพื่อการหาตัดสินใจที่เหมาะสม ดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างการอินพุตทั้งหมด

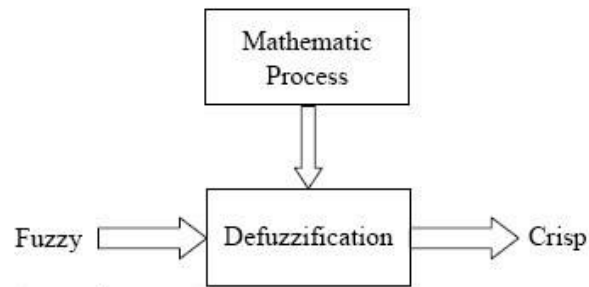
ขั้นตอนที่ 3 เป็นการหาฟัซซีเอาต์พุต โดยการนำกฎการควบคุมที่สร้างขึ้น ในขั้นตอนที่ 2 มาประมวลผลกับฟัซซีอินพุตโดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำค่าที่ได้ประมวลผล ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 การหาฟัซซีเอาต์พุต

วิธีการทำเป็นค่าคลุมเครือ (Fuzzification) วิธีการที่นิยมใช้ในการตีความหาเหตุผลเลือกใช้ Max-Min method และ Max-Dot method

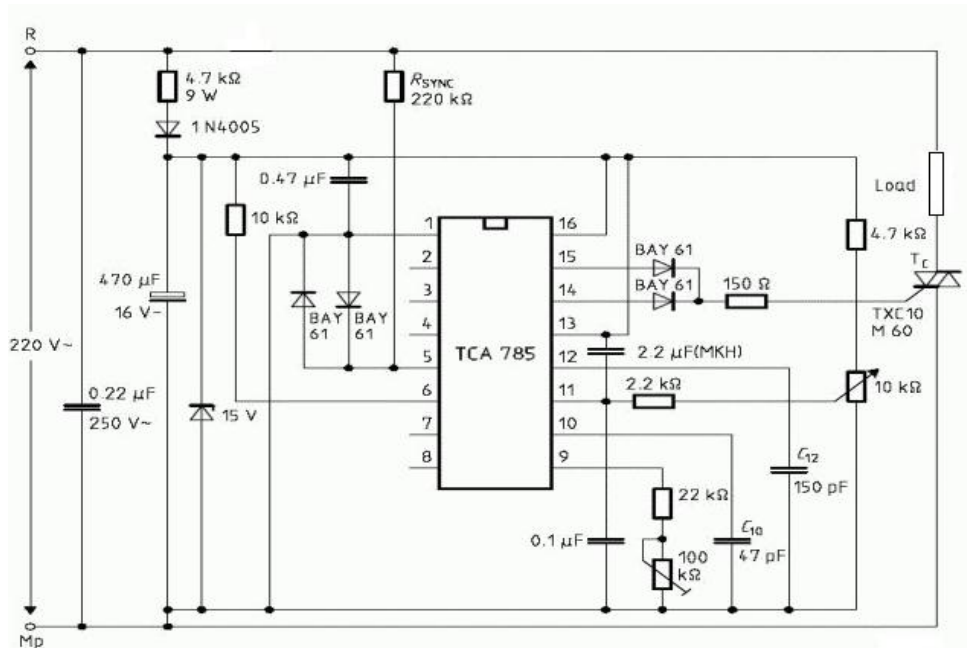
ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนสุดท้ายหรือขั้นตอนการสรุปเหตุผลฟัซซี โดยจะเปลี่ยนฟัซซีเอาต์พุตให้เป็นทวินัยเอาต์พุตตามภาพที่ 3.10 และด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ เช่น วิธีการหาจุดศูนย์กลางถ่วง (Central of Gravity) เพื่อนำค่าที่ได้มาใช้ในการตัดสินใจเพื่อควบคุมระบบในสถานการณ์นั้นๆ



ภาพที่ 3.10 ขั้นตอนการสรุปเหตุผลฟัซซี่

3.4 ชุดควบคุมมอเตอร์พัดลม

วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ เป็นอุปกรณ์ทางด้านเอาต์พุตที่ทำหน้าที่รับสัญญาณมาจากชุดประมวลผลของฟัซซี่ลอจิก ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ เพื่อเพื่อและลดความเร็วของมอเตอร์ตามอุณหภูมิ ที่กำหนดตามกฎของระบบที่ตั้งไว้



ภาพที่ 3.10 วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยใช้ TCA 785

3.4.1 การควบคุมแรงดันไฟสลับ

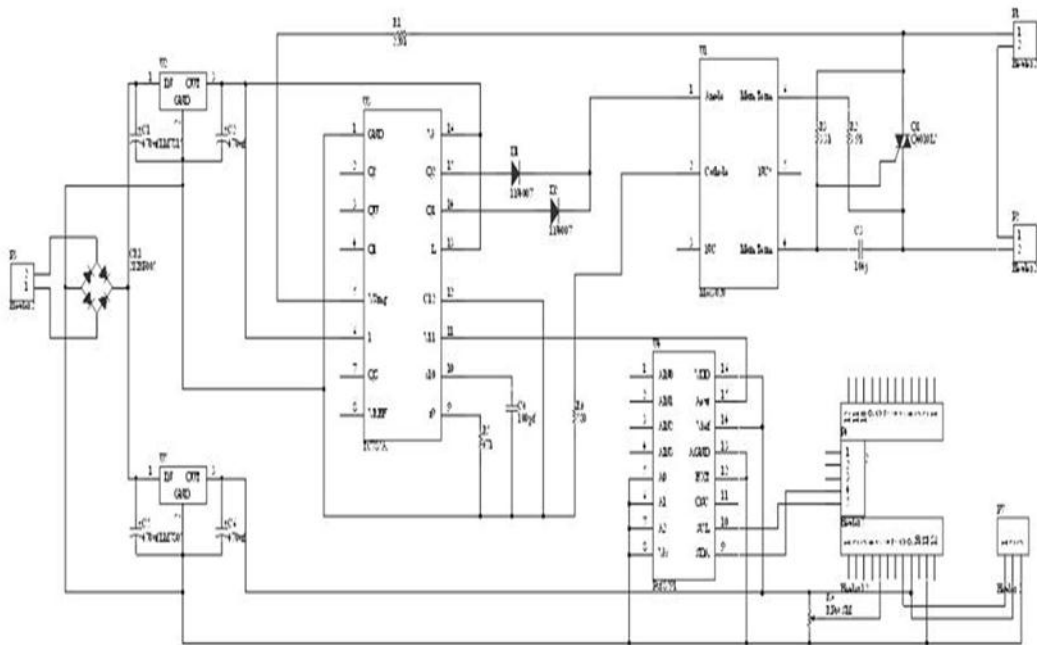
ดังที่กล่าวมาแล้วว่าการควบคุมแรงดันไฟสลับมีด้วยกันหลาย ๆ วิธีการ สำหรับในบทความนี้จะนำเสนอวิธีการควบคุม โดยวิธีการควบคุมมูมเฟสในการจูนชนวนให้กับ TRIAC วิธีการควบคุมมูมเฟส ในการทดลองนี้ใช้อุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟสลับด้วยวิธีการควบคุมมูมเฟส ในการจูนชนวนให้กับ TRIAC โดยภาระที่ใช้จะเป็นพัลลวมขนาด 18 นิ้ว 54 W ที่แรงดันไฟฟ้า 220V

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองการทำงานของตัวควบคุมการทำงานของพัดลมเพื่อประหยัดพลังงานด้วยตัวควบคุมพีซี เพื่อการเปลี่ยนแปลงความของพัดลมตามอุณหภูมิที่กำหนดไว้และตรวจวัดค่าทางไฟฟ้า ค่าแรงดันที่ได้ โดยในการทดลองประกอบด้วย 2 ส่วนด้วยกัน

1. การทดลองการควบคุมมุมเฟส
2. การทดลองการทำงานของตัวควบคุมพีซี



ภาพที่ 4.1 วงจรตัวควบคุมการทำงานของพัดลมด้วยตัวควบคุมพีซี

4.1 การทดลองการควบคุมมุมเฟส

4.1.1 วัตถุประสงค์

- เพื่อใช้เป็นวงจรจ่ายไฟให้กับพัดลม
- เพื่อปรับปรุงและแก้ไขวงจรเพื่อให้มีประสิทธิภาพ

4.1.2 อุปกรณ์

- ออสซิลโลสโคป	1	ตัว
- ชุดควบคุมมุมเฟส(เฟสคอนโทรล)		
- ดิจิตอลมัลติมิเตอร์	1	ตัว
- หลอดไฟฟ้าแบบไส้ ขนาดทน 100 W / 220V	1	ตัว

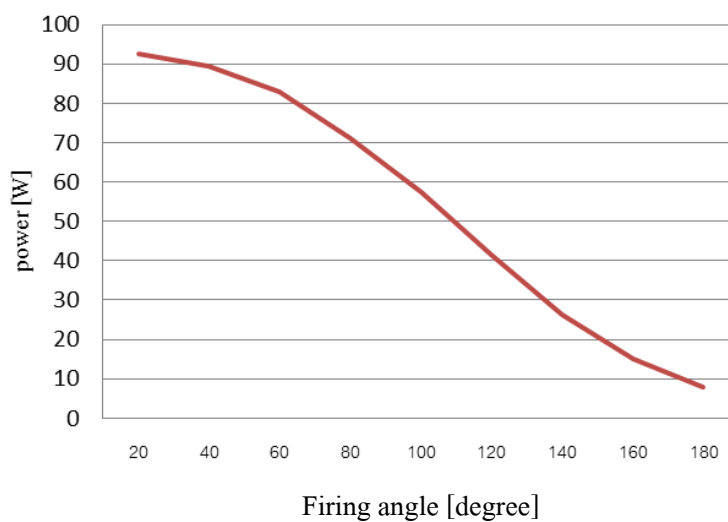
4.1.3 ขั้นตอนการทดลอง

ทำการทดลองต่อวงจรทดสอบของชุดควบคุมมุมเฟส (เฟสคอนโทรล) ในการทดลองนี้ใช้อุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟสลับด้วยวิธีการควบคุมมุมเฟสในการจูนชนวนให้กับ TRIAC โดยภาระที่ใช้จะเป็นโดยภาระที่ใช้จะเป็นหลอดไฟฟ้าแบบไส้ (Incandescent Lamp) ขนาดทนกำลังไฟฟ้า 100 W ที่แรงดันไฟฟ้า 220V โดยภาพที่ 4.3 และภาพที่ 4.4 แสดงถึงการตัดรูปคลื่นไซน์ที่มุมเฟสในการจูนชนวน $\alpha=60^\circ$ และ $\alpha=120^\circ$ ตามลำดับ

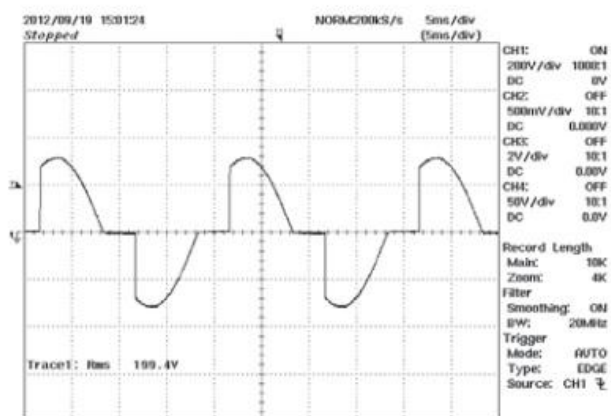
4.1.4 ผลการทดลอง

ตารางที่ 3.1 ผลการทดลองจากการปรับค่ามุมเฟส

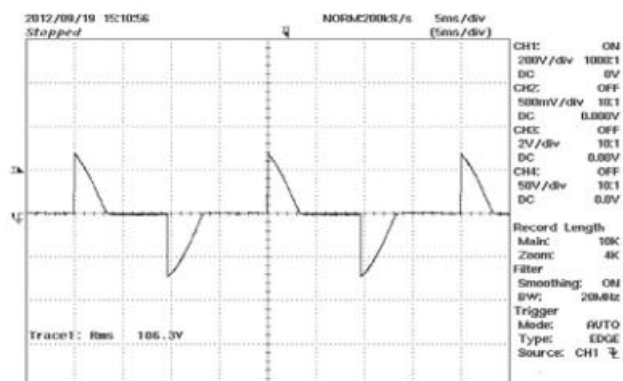
α degree	$V_0(rms)$ (V)	$I_0(rms)$ (A)	Power (W)
18.15	221.8	0.418	92.71
35.93	216.5	0.413	89.41
54.07	205.7	0.403	82.9
72.22	186.2	0.382	71.13
90.00	161.7	0.355	57.4
108.15	130.3	0.318	41.44
125.93	96.75	0.271	26.22
144.07	67.32	0.224	15.08
162.22	44.26	0.178	7.88



ภาพที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ของ $Power = f(\alpha)$



ภาพที่ 4.3 รูปคลื่นไซน์ถูกตัดที่มุมเฟส $\alpha=60^\circ$



ภาพที่ 4.4 รูปคลื่นไซน์ถูกตัดที่มุมเฟส $\alpha=120^\circ$

4.1.4สรุป

ผลของแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ภาระ อันเนื่องมาจากการปรับค่ามุมเฟสในการจุดชนวนให้กับ TRIAC แสดงในตารางที่ 4.1 ผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 4.1 นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่ภาระเทียบกับมุมควบคุมในการตัดรูปคลื่น $Power = f(\alpha)$ ดังแสดงในภาพที่ 4.2 ซึ่งจะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่ภาระมิได้แปรเปลี่ยนไปตามมุมเฟสที่ใช้

4.2 การทดลองการทำงานของตัวควบคุมพีชซี

4.2.1วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงการทำงานของพัดลม
2. เพื่อปรับปรุงและแก้ไขวงจรเพื่อให้มีประสิทธิภาพ

4.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ตัวควบคุมการทำงานของพัดลมเพื่อประหยัดพลังงานด้วยตัวควบคุมพีชซี
2. ห้องนอนขนาด 4 x 5 ตารางเมตร
3. เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า
4. พัดลม

4.2.3 ขั้นตอนของการทดลอง

1. ทำการเลือกห้องนอนขนาด 4x 5 ตารางเมตรเสียก่อน
2. นำอุปกรณ์ ตัวควบคุมการทำงานของพัดลมเพื่อประหยัดพลังงานด้วยตัวควบคุมพีชซีมาวางไว้ในห้องนอน
3. ทำการตรวจวัดค่าทางไฟฟ้า ค่าแรงดันที่ใช้ได้ค่ากระแส และค่ากำลังทางไฟฟ้าจากตัวพัดลมตั้งโต๊ะ
4. จากนั้นทำการจดบันทึกผลการทดลองของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามเวลากำหนด จากเวลา 21.00 – 05.00 น

4.2.4 ทำการตรวจวัดค่าทางไฟฟ้าค่าแรงดันที่ใช้ได้ค่ากระแสและค่ากำลังทางไฟฟ้าจากตัวพัดลมตั้งโต๊ะ

ที่แรงดัน 220 V

ได้ค่ากระแสที่ – Speed 3 กระแส 0.22 A

ได้ค่ากำลังไฟฟ้า ที่ – Speed 3 กำลังไฟ 51 W

ตารางที่ 4.1 หน่วยการใช้พัดลมตามจำนวนชั่วโมงที่เปิด (kw - hr)

จำนวนชั่วโมง	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SPEED 3	0.051	0.102	0.153	0.204	0.255	0.306	0.357	0.448	0.459

4.2.5 การใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลมตามจำนวนชั่วโมงที่เปิดใช้งาน

จากตารางแสดงหน่วยการใช้พัดลมเป็นหน่วย กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อชั่วโมงตามจำนวนที่เปิดใช้จะเห็นได้ว่าอัตราการใช้พลังงานจะแปรผันตามความความเร็วของพัดลมคือเมื่อความเร็วของพัดลมน้อยก็จะกินพลังงานน้อยและเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นการใช้พลังงานก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

4.2.6 กำหนดการทำงานของพัดลมเพื่อประหยัดพลังงานด้วยตัวควบคุมพีซี

เมื่ออุณหภูมิ 27C°พัดลมจะเริ่มทำงานที่ความเร็ว 65%

เมื่ออุณหภูมิ 28 C°พัดลมจะเริ่มทำงานที่ความเร็ว 70%

เมื่ออุณหภูมิ 29 C°พัดลมจะเริ่มทำงานที่ความเร็ว 75%

เมื่ออุณหภูมิ 30 C° พัดลมจะเริ่มทำงานที่ความเร็ว 80%

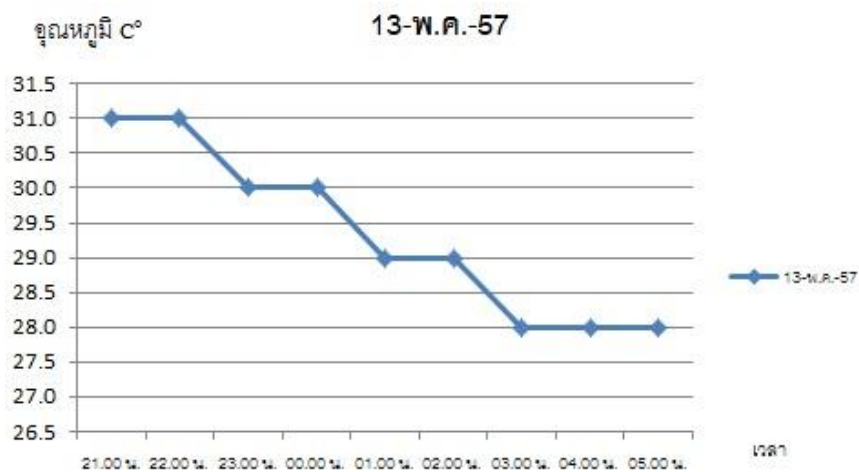
เมื่ออุณหภูมิ 31 C°พัดลมจะเริ่มทำงานที่ความเร็ว 85%

เมื่ออุณหภูมิ 32 C° พัดลมจะเริ่มทำงานที่ความเร็ว 90%

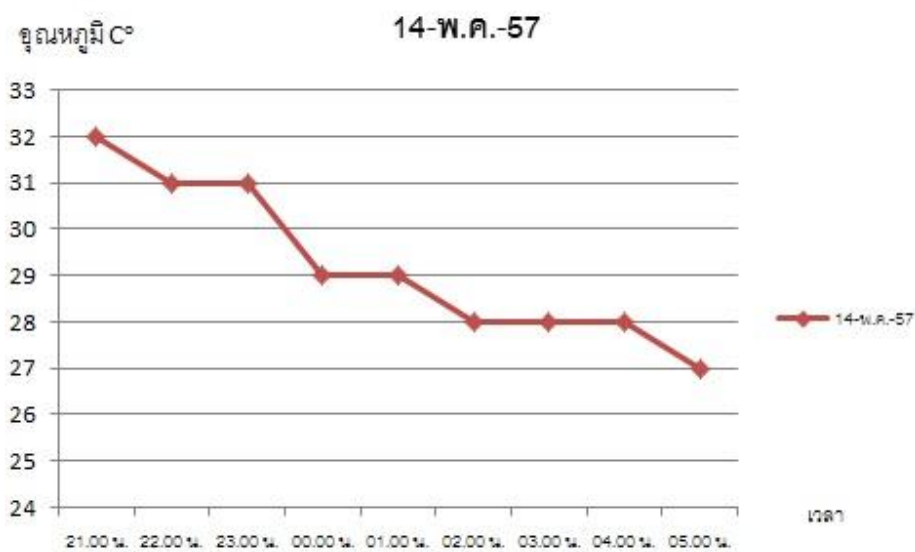
เมื่ออุณหภูมิ 33 C° พัดลมจะเริ่มทำงานที่ความเร็ว 95%

เมื่ออุณหภูมิ 34 C°พัดลมจะเริ่มทำงานที่ความเร็ว 100%

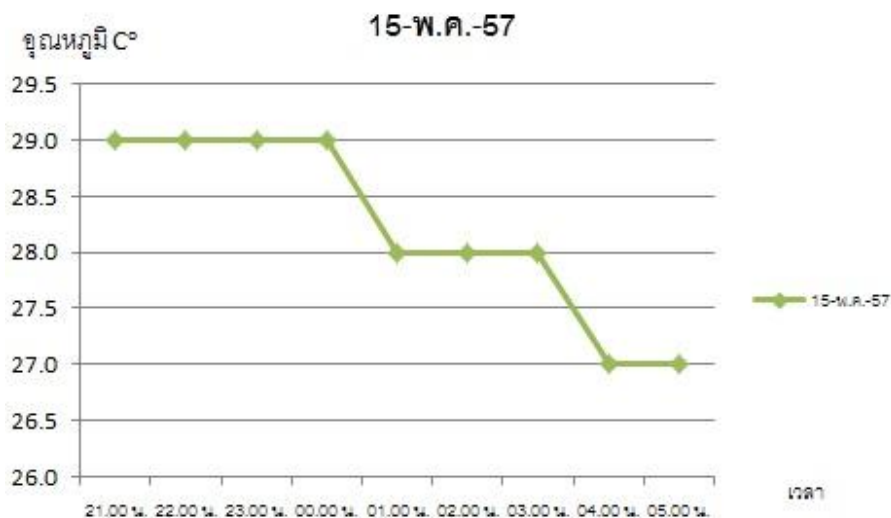
4.2.7 ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเทียบตามเวลา



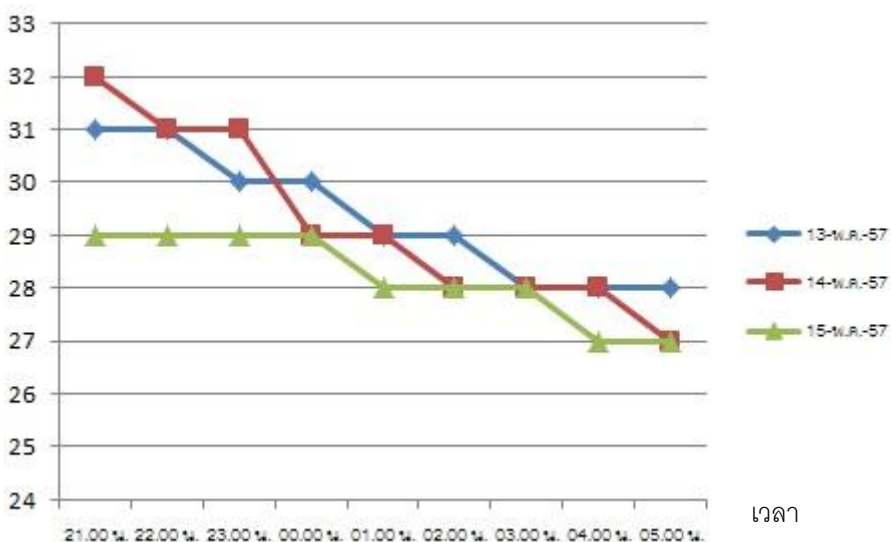
ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงการทำงานของพัคลมของวันที่ 13 พฤษภาคม 2557



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงการทำงานของพัคลมของวันที่ 14 พฤษภาคม 2557



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงการทำงานของพัดลมของวันที่ 15 พฤษภาคม 2557



ภาพที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงการทำงานของพัดลมของวันที่ 13-15 พฤษภาคม 2557

4.2.8 สรุป

ตัวควบคุมการทำงานของพัดลมเพื่อประหยัดพลังงานด้วยระบบพีซีลอจิกนี้สามารถเพิ่ม – ลด ความเร็วได้ตามเงื่อนไขที่ได้ออกแบบไว้ นั่นคือ เมื่ออุณหภูมิภายในห้องมีการเปลี่ยนแปลง ความเร็วของมอเตอร์พัดลมก็จะเปลี่ยนแปลงตาม เช่น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความเร็วของมอเตอร์พัดลมก็จะหมุนเร็วขึ้น และเมื่ออุณหภูมิลดลงความเร็วของมอเตอร์ก็จะลดลง ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองโครงการนี้สรุปได้ว่า ตัวควบคุมการทำงานของพัดลมเพื่อประหยัดพลังงานด้วยระบบฟัซซีลอจิกนี้สามารถ เพิ่ม – ลด ความเร็วได้ตามเงื่อนไขที่ได้ออกแบบไว้ นั่นคือ เมื่ออุณหภูมิภายในห้องมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์พัดลมก็จะเปลี่ยนแปลงตาม เช่น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความเร็วของมอเตอร์พัดลมก็จะหมุนเร็วขึ้น และเมื่ออุณหภูมิลดลงความเร็วของมอเตอร์ก็จะลดลง ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ อนาคตควรมีการพัฒนาและสามารถนำโครงการนี้ไปประยุกต์ในรูปแบบอื่น ๆ อาทิ เช่น รถสำรวจ รถอัครริยะ ที่สามารถขับเคลื่อนเองได้โดยไม่ต้องมีคนขับ และสามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนเกี่ยวกับการทำงานแบบระบบฟัซซีได้เป็นอย่างดี เพราะปัจจุบัน โลกในด้านเทคโนโลยีมีความก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วมากและมีแนวโน้มความเจริญอย่างไม่มีที่สิ้นสุด