

บทที่ 2

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

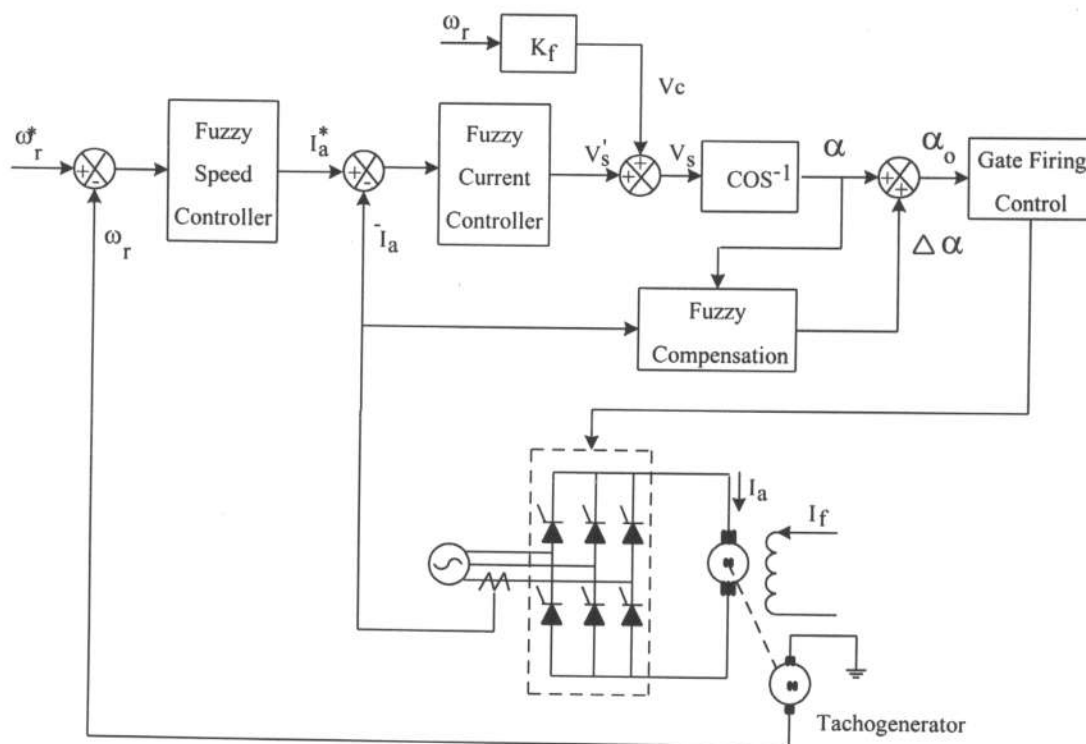
2.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันทฤษฎีทางฟัซซี่ลอจิกได้เป็นที่นิยมนำมาใช้อย่างกว้างขวางในระบบการควบคุมความเร็วมอเตอร์ ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกได้ถูกนำมาใช้กับการควบคุมการขับเคลื่อนดีซีมอเตอร์ ได้อย่างเป็นผลสำเร็จอย่างน่าพึงพอใจยิ่ง ในบทนี้จะได้นำเสนอผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกในระบบการควบคุมที่แตกต่างกันออกไป และจะได้นำรูปแบบการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้

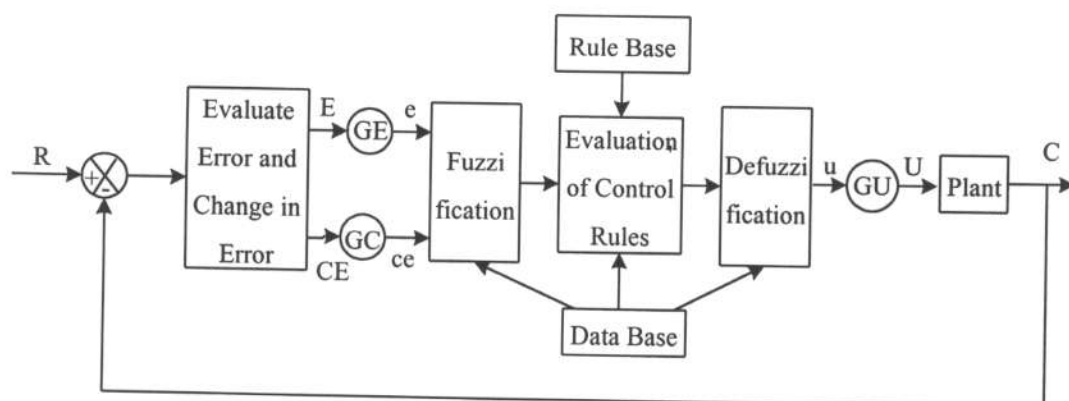
2.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ทฤษฎีฟัซซี่ลอจิก

2.2.1 การใช้ฟัซซี่ลอจิกในการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ชนิด 3 เฟส

การใช้ทฤษฎีทางฟัซซี่เซตในการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ชนิด 3 เฟส เพื่อใช้ขับเคลื่อนดีซีมอเตอร์แบบกระตุ้นฟลักซ์แยกส่วน ได้รับการนำเสนอโดย Sousa และ Bose (1994) แผนภาพระบบการขับเคลื่อนแบบใหม่ที่ใช้ FLC แสดงดังรูปที่ 2.1 ในระบบการควบคุมแบบใหม่ตัวควบคุมความเร็ว (speed controller) ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ ซึ่งระบบการควบคุมแบบเดิมจะใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ (PI-Controller) สำหรับตัวควบคุมกระแส (current controller) ระบบการควบคุมแบบใหม่ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ ซึ่งระบบการควบคุมแบบเดิมจะใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ และในระบบการควบคุมแบบใหม่ได้เพิ่มเติมการชดเชยแบบฟัซซี่ (fuzzy compensation) เพื่อทำหน้าที่คำนวณ $\Delta\alpha$ องค์ประกอบภายในตัวควบคุมแบบฟัซซี่ทั้งตัวควบคุมความเร็วแบบฟัซซี่และตัวควบคุมกระแสแบบฟัซซี่จะมีโครงสร้างการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.2 เมื่อตัวแปรที่ต้องการควบคุม (C ในที่นี้เป็นได้ทั้งความเร็วมอเตอร์ ω_r และกระแสอาร์เมเจอร์ I_a) ถูกส่งป้อนกลับมามีค่าอ้างอิง (R ในที่นี้เป็นได้ทั้งความเร็วมอเตอร์อ้างอิง ω_r^* และกระแสอาร์เมเจอร์อ้างอิง I_a^*) ค่าผิดพลาดและค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาดที่ได้ (E และ CE) จะถูกทำให้มีค่าที่เหมาะสมโดยการคูณด้วยตัวคูณ GE และ GC และจะได้ค่าผิดพลาด (e) และค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาด (ce) ที่สามารถส่งไปยังขั้นตอนฟัซซิฟิเคชัน (fuzzification) ซึ่งขั้นตอนนี้ได้ออกแบบฟัซซี่เซตสำหรับค่า e และ ce เหมือนกันคืออย่างละ 7 เซต



รูปที่ 2.1 แผนภาพระบบการขับเคลื่อนที่ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก

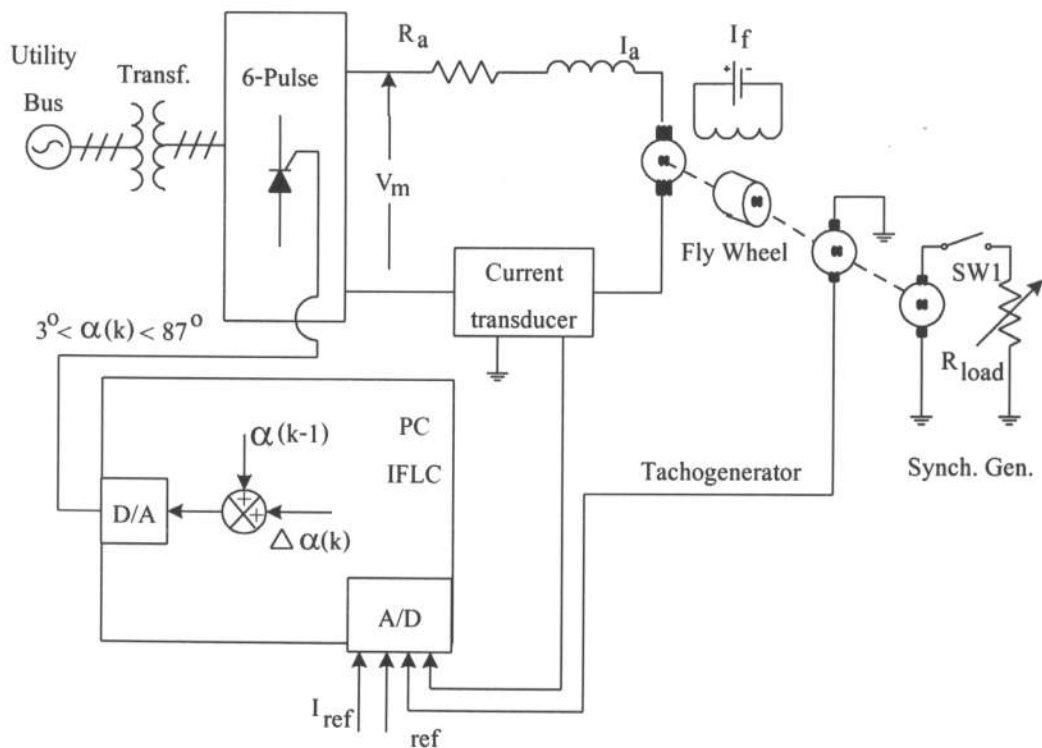
กฎการควบคุมสำหรับ FLC ที่ใช้กำหนดการทำงานของตัวควบคุมกระแสและตัวควบคุมความเร็ว กำหนดเหมือนกันคืออย่างละ 49 กฎ การออกแบบกฎการควบคุมสำหรับตัวควบคุมความเร็วใช้ค่า

ผิดพลาดความเร็วมอเตอร์และค่าเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาดความเร็วมอเตอร์เป็นเงื่อนไขในการออกแบบกฎ และการออกแบบกฎการควบคุมสำหรับตัวควบคุมกระแสใช้ค่าผิดพลาดกระแสอาร์เมเจอร์และค่าเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาดกระแสอาร์เมเจอร์เป็นเงื่อนไขในการออกแบบกฎ นอกจากนี้ยังมีกฎการควบคุมสำหรับการชดเชยมุมจุดชนวนอีก 45 กฎ ซึ่งการออกแบบกฎการควบคุมใช้เงื่อนไขกระแสอาร์เมเจอร์และมุมจุดชนวนเป็นเงื่อนไขในการชดเชยมุมจุดชนวน ในขั้นตอนการอนุมานทางฟัซซี่ (fuzzy inference) หรือเทคนิคการหาเหตุผล (reasoning techniques) ของ FLC ในงานวิจัยนี้ใช้หลักการ SUP-MIN (SUPremum-MINimum principle) หรือมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า MAX-MIN fuzzy inference ในขั้นตอนดีฟัซซิฟายเออร์ (defuzzifier) ใช้วิธีการหาค่าเอาต์พุตจากจุดศูนย์กลาง (centroid defuzzification method) ในการเลือกเอาต์พุตค่าคลิช (crispy value) ที่ตรงกับศูนย์กลางแรงโน้มถ่วง (center of gravity) ของค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุต

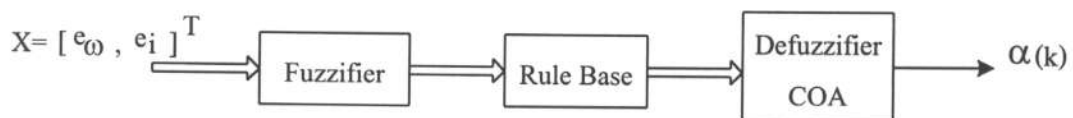
จากผลการจำลองการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์พบว่า การตอบสนองด้านความเร็วของมอเตอร์ต่อคำสั่งความเร็วอ้างอิงแบบขั้น (reference step speed) สำหรับการควบคุมที่ใช้ FLC ให้ช่วงเวลาขึ้น (rise time) ที่รวดเร็วกว่าการควบคุมที่ใช้ PI และให้เปอร์เซ็นต์การพุ่งเกิน (percentage overshoot) ที่ต่ำกว่าการควบคุมที่ใช้ PI นอกจากนี้การตอบสนองด้านความเร็วเมื่อป้อนโพลด์ให้กับมอเตอร์ การควบคุมที่ใช้ FLC สามารถรักษาความเร็วค่าเดิมได้ดีกว่า คือเมื่อป้อนโพลด์ให้กับมอเตอร์ความเร็วของมอเตอร์จะตกลงเพียงเล็กน้อยและกลับเข้าสู่ค่าเดิมได้เร็วกว่าการควบคุมที่ใช้ PI

2.2.2 การใช้ฟัซซี่ลอจิก ในการควบคุมบริดจ์เรกติไฟเออร์

การใช้ FLC ในการควบคุมบริดจ์เรกติไฟเออร์ในการคุมค่าความเร็ว (speed regulation) สำหรับระบบการขับเคลื่อนดีซีมอเตอร์เพื่อให้ได้สมรรถนะสูง (Soliman and others, 1995) รวมทั้งการเริ่มเดินเครื่องและการเร่งความเร็วที่ราบรื่น (smooth starting and acceleration) ของระบบขับเคลื่อนดีซีมอเตอร์แบบกระตุ้นฟลักซ์แยกส่วนหรือดีซีมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร (permanent magnet dc motor) ระบบขับเคลื่อนดังกล่าวใช้แหล่งจ่ายแรงดัน 3 เฟส ป้อนให้กับ 6 พัลส์ไทรสเตอร์คอนโทรลเรกติไฟเออร์ (6 pulse thyristor controlled rectifier) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 จากรูปเพลของมอเตอร์ต่ออยู่กับล้อหมุน (fly wheel) ที่ใช้เป็นโหลดเคลื่อนไหวยเชิงกล และใช้เครื่องกำเนิดซิงโครนัส (synchronous generator) เป็นโหลดทางไฟฟ้า เมื่อระบบถูกสั่งการให้เริ่มเดินเครื่องกระแสอาร์เมเจอร์และความเร็วของมอเตอร์ที่วัดได้ จะถูกแปลงจากสัญญาณแอนะล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล ค่าผิดพลาดของกระแสอาร์เมเจอร์และค่าผิดพลาดของความเร็วมอเตอร์จะถูกส่งไปยังตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 แผนภาพการควบคุมดีซีมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนด้วยบริดจ์เรกติไฟเออร์แบบ 3 เฟส
ที่ใช้ FLC ในการเลือกมุมจุดชนวนให้กับเรกติไฟเออร์



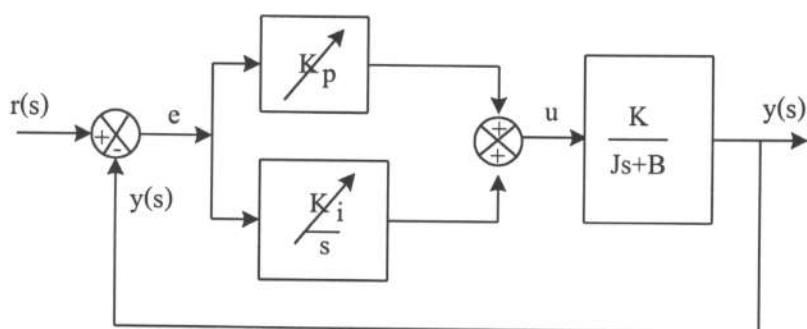
รูปที่ 2.4 องค์ประกอบของตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก

กฎการควบคุมสำหรับฟัซซี่ลอจิกที่สร้างขึ้นใช้ค่าผิดพลาดความเร็ว ค่าผิดพลาดกระแสอาร์เมเจอร์เป็นเงื่อนไขในการสร้างกฎการควบคุมที่จะเลือกมุมการจุดชนวนให้กับคอนเวอร์เตอร์ กฎการควบคุมที่สร้างขึ้นได้มาจากความรู้บนพื้นฐานการทำงานของตัวควบคุมแบบพีไอ ซึ่งมีทั้งหมด 49 กฎ ผลลัพธ์ที่ได้จากกฎที่ถูกวินิจฉัยในขั้นตอนการวินิจฉัยจะส่งไปยังขั้นตอนการดีฟัซซี่ฟายเออร์ซึ่งใช้วิธีหาค่าเอาต์พุตจากจุดศูนย์กลางของพื้นที่ (COA) ค่าเอาต์พุตที่ได้จากขั้นตอนนี้จะเป็นมุมการจุดชนวนให้กับวงจรจุดชนวนของคอนเวอร์เตอร์ต่อไป

การทดสอบระบบการขับเคลื่อนของมอเตอร์ในห้องทดลองใช้เงื่อนไขคือ โหลดที่ต่ออยู่กับเพลามอเตอร์ใช้เครื่องกำเนิดเชิงโรนัสพร้อมกับความต้านทานที่แปรค่าได้ ต่อที่ขั้วเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดเชิงโรนัส และต่อเพลามอเตอร์กับลอหมุนเพื่อใช้เป็นโหลดที่เคลื่อนไหวเชิงกล (dynamic mechanical load) ซึ่งมีค่าประมาณ 40 % ของโหลดเต็มพิกัด การทดสอบเริ่มที่การป้อนคำสั่งความเร็วอ้างอิงพิกัดสูงสุดแบบขั้นให้กับระบบโดยมอเตอร์เริ่มเดินเครื่องภายใต้ 40 % ของโหลดเต็มพิกัด (คือโหลดเชิงกลนั่นเอง) จากนั้นป้อนโหลดเพิ่มทันทีทันใด 60 % ของโหลดเต็มพิกัด (หมายถึงโหลดความต้านทาน 3 เฟส ที่ต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดเชิงโรนัส) หลังจากนั้นเพิ่มแรงดันอินพุตที่ป้อนให้กับคอนเวอร์เตอร์ ต่อจากนั้นลดแรงดันอินพุตที่ป้อนให้กับคอนเวอร์เตอร์ หลังจากนั้นปลดโหลดความต้านทาน ต่อจากนั้นเพิ่มแรงดันอินพุตที่ป้อนให้กับคอนเวอร์เตอร์ จากนั้นลดแรงดันอินพุตที่ป้อนให้กับคอนเวอร์เตอร์ จากผลการทดลองพบว่าระบบขับเคลื่อนสามารถตอบสนองเชิงไดนามิกในการติดตามความเร็วอ้างอิงได้อย่างชาญฉลาด และระบบสามารถจำกัดการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่เร่งรีบ (inrush dynamic current) ได้ดี ภายใต้การป้อนโหลดทันทีทันใด (sudden load) และการเปลี่ยนแปลงในแหล่งจ่ายแรงดันเพิ่มขึ้นและลดลง (supply excursion)

2.2.3 การใช้ฟuzzyลอจิก ในการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอ

การใช้ FLC ในการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอได้อย่างต่อเนื่อง (Suyitno and others, 1993) สำหรับระบบการขับเคลื่อนที่ใช้อินดักชันเซอร์โวมอเตอร์ (induction servomotor) รูปแผนภาพบล็อกการควบคุมแสดงดังรูปที่ 2.5



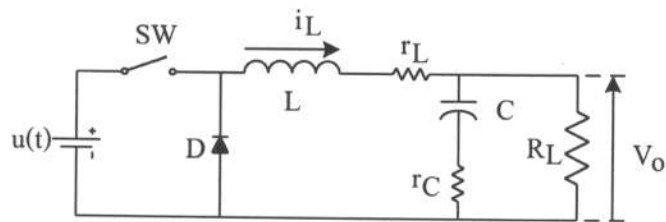
รูปที่ 2.5 แผนภาพบล็อกการควบคุมมอเตอร์

การทำงานของฟuzzyลอจิกจะปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอเพื่อให้ระบบตอบสนองที่รวดเร็วเมื่อค่าผิดพลาดมีค่ามาก หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงค่าผิดพลาดมีค่ามาก โดยการกำหนดให้

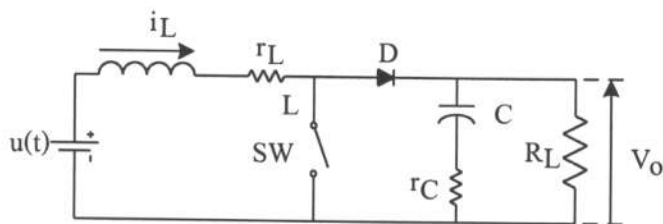
ส่วนอินทิกรัลมีค่าอัตราขยายมาก และในทางตรงกันข้ามเมื่อค่าผิดพลาดมีค่าน้อย หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงค่าผิดพลาดมีค่าน้อย ส่วนอินทิกรัลจะมีค่าอัตราขยายน้อย ดังนั้นจะทำให้ตัวควบคุมแบบพีไอมีคุณสมบัติเป็นตัวควบคุมที่ทนต่อสัญญาณรบกวนพลานต์ (plant noise) และสัญญาณรบกวนที่สังเกตได้ (observation noise) นอกจากนี้ตัวควบคุมที่นำเสนอยังง่ายต่อการออกแบบ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ในระบบขับเคลื่อนต่างๆ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมที่นำเสนอสามารถทำงานได้ดีกว่าตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID controller) และตัวควบคุมแบบเลื่อน (sliding mode controller)

2.2.4 การใช้ฟัซซี่ลอจิกควบคุม ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์

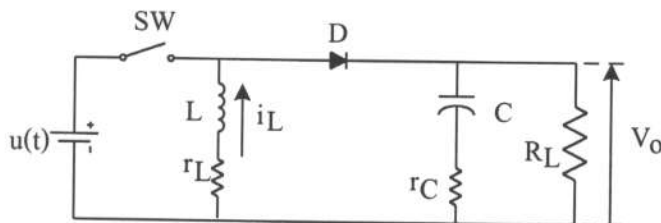
การควบคุม ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ ได้แก่ วงจรแปลงผันแบบบัก (Buck converter), วงจรแปลงผันแบบบูสต์ (Boost converter), วงจรแปลงผันแบบบักบูสต์ (Buck-boost converter) ดังแสดงในรูปที่ 2.6



(ก)



(ข)

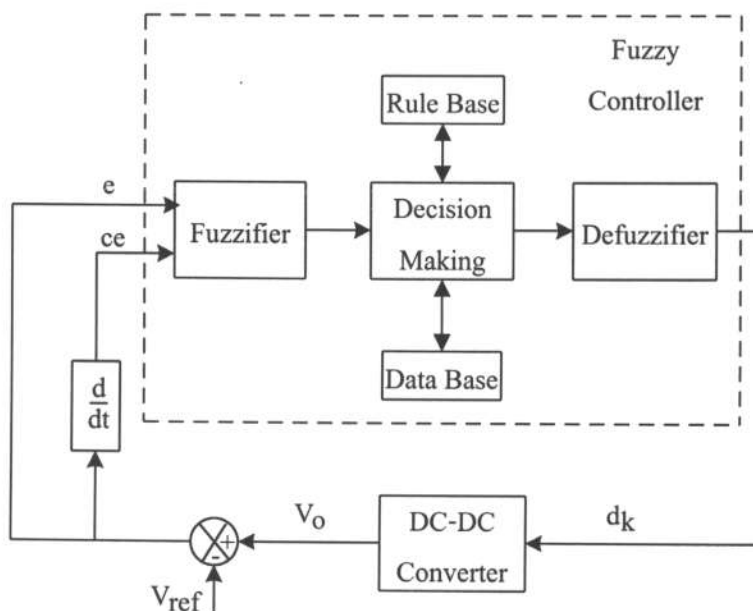


(ค)

รูปที่ 2.6 วงจร ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ (ก) วงจรแปลงผันแบบบัก

(ข) วงจรแปลงผันแบบบูสต์ (ค) วงจรแปลงผันแบบบักบูสต์

แผนภาพการควบคุม คีชี-คีชี คอนเวอร์เตอร์ โดยใช้ FLC ดังในรูปที่ 2.7 (So, Tse, and Lee, 1996) ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกจะทำหน้าที่ คำนวณหาตัวจักรหน้า (d_k) ที่เหมาะสมเพื่อป้อนให้กับ วงจรจุดชนวน



รูปที่ 2.7 แผนภาพการควบคุม คีชี-คีชี คอนเวอร์เตอร์ โดยใช้ FLC

การทำงานของฟัซซี่ใช้เงื่อนไขค่าผิดพลาดแรงดันเอาต์พุต (e) และค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาดแรงดันเอาต์พุต (ce) ของคอนเวอร์เตอร์เป็นข้อมูลในการตัดสินใจ ดังสมการ

$$e = V_o - V_{ref} \quad ; \quad ce = e_k - e_{k-1}$$

เมื่อ V_o คือแรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์, V_{ref} คือแรงดันเอาต์พุตอ้างอิง, และ k แทนรอบการ สวิตช์ที่ลำดับ kth เอาต์พุตของตัวควบคุมแบบฟัซซี่คือตัวจักรหน้า d_k หาได้ดังสมการ

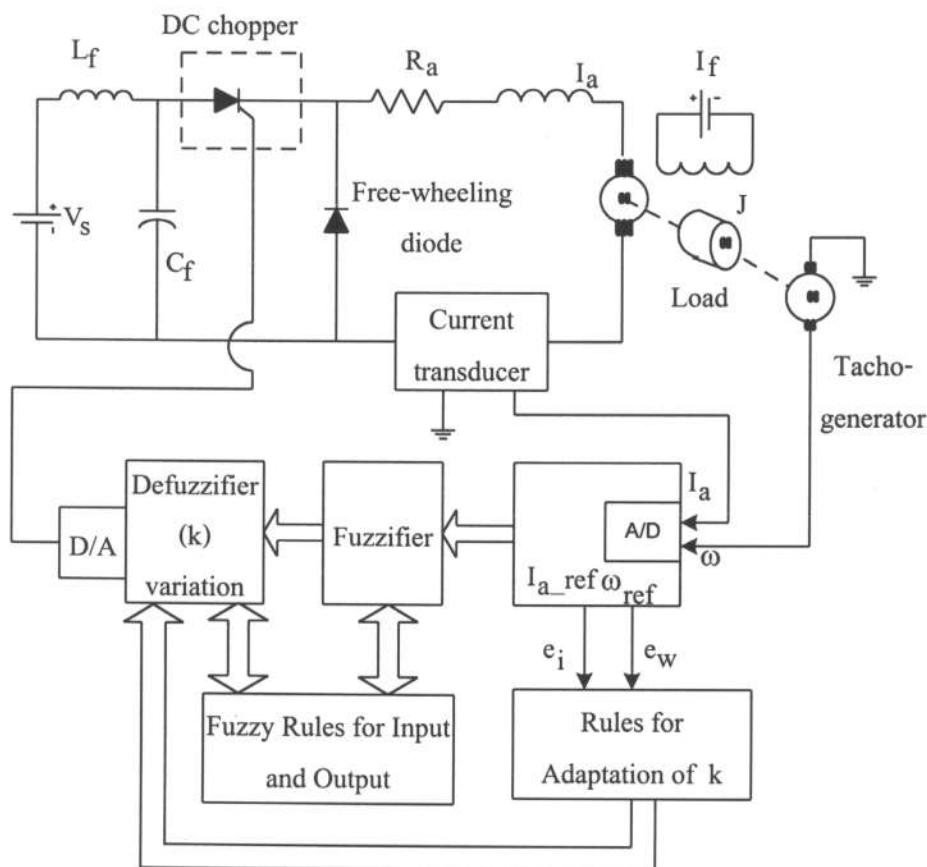
$$d_k = d_{k-1} + \eta \cdot \delta d_k$$

เมื่อ η คือตัวคูณอัตราขยาย (gain factor) ของตัวควบคุมแบบฟัซซี่, δd_k คือค่าการเปลี่ยนแปลงของ ตัวจักรหน้าที่ที่คำนวณโดยตัวควบคุมแบบฟัซซี่ กฎการควบคุมสำหรับ FLC ที่ใช้กำหนดการ ทำงานของคอนเวอร์เตอร์มีทั้งหมด 25 กฎ ในส่วนที่เป็นผลลัพธ์ของกฎกำหนดเป็นฟัซซี่ซึ่งเกิดต้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการวินิจฉัยในแต่ละกฎถูกส่งให้กับขั้นตอนคีฟัซซี่ฟายเออร์ซึ่งใช้วิธีการหาค่าเอาต์ พูตจากศูนย์กลางแรงโน้มถ่วง จากผลการจำลองการทำงานกับคอมพิวเตอร์และสร้างวงจรจริงการ ทำงานของ FLC สามารถคุมค่าแรงดันเอาต์พุตที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโหลด และเกิดจากการ เปลี่ยนแปลงของค่าแรงดันอินพุตที่ป้อนให้กับคอนเวอร์เตอร์ ให้ผลการตอบสนองของแรงดันเอาต์ พูตให้ค่าช่วงเวลาฟื้นตัว (recovery time) ที่รวดเร็วเป็นที่น่าพอใจเป็นอย่างยิ่ง

2.2.5 การใช้ฟuzzyลอจิกควบคุมวงจรสับไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์

ในงานวิจัยนี้ตัวควบคุมแบบฟuzzyลอจิกสามารถปรับตัวเองได้ในขั้นตอนการดีฟuzzyฟายเออร์ เพื่อคุมค่าความเร็วของมอเตอร์แบบกระตุ้นฟิลด์แยกส่วน (Soliman and others, 1994)

แผนภาพระบบการควบคุมแสดงดังรูปที่ 2.8 โครงสร้างของ FLC ใช้ค่าผิดพลาดของความเร็วมอเตอร์ (e_w) และค่าผิดพลาดกระแสอาร์เมเจอร์ (e_i) ที่แบ่งเป็นลำดับชั้นอธิบายด้วยตัวแปรทางภาษาประกอบด้วยฟuzzyเซตอย่างละ 7 เซต กฎการควบคุมแบ่งออกเป็นสองส่วนคือส่วนแรกใช้เมื่อมอเตอร์เริ่มทำงานในสภาวะไร้อโหลดมีทั้งหมด 13 กฎ และส่วนที่สองเป็นกฎการควบคุมใช้เมื่อมอเตอร์ทำงานในสภาวะป้อนโหลดมีทั้งหมด 18 กฎ



รูปที่ 2.8 แผนภาพการควบคุมระบบการขับเคลื่อนมอเตอร์ โดยใช้ FLC

ขั้นตอนการดีฟัซซี่ฟายเออร์แบบออนไลน์ (On-line defuzzifier) หาได้จากสูตร

$$t_{on} = \frac{\sum_{j=0}^{j=N} (\mu^k(x_i) * x_i)}{\sum_{j=0}^{j=N} \mu^k(x_i)}$$

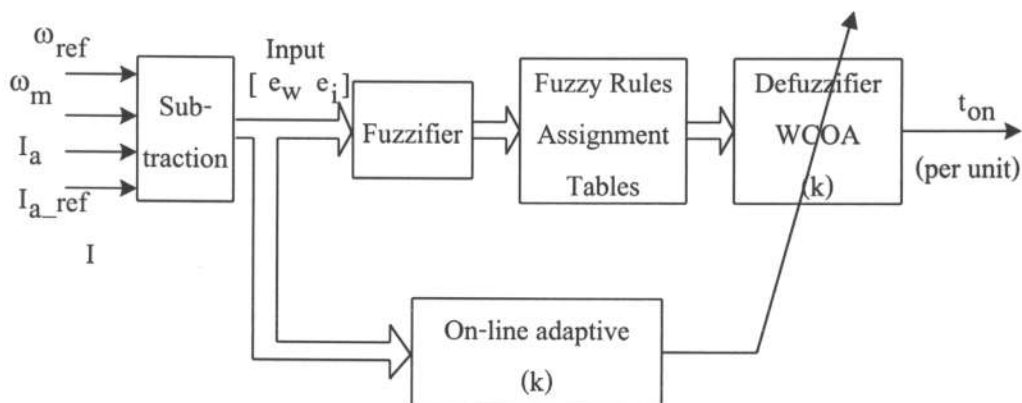
เมื่อ t_{on} คือช่วงเวลานำกระแสของ PWM dc-dc chopper,

x_i คือค่าสัมบูรณ์ที่อยู่ในจักรวาลที่กำลังสนใจ

$\mu(x_i)$ คือค่าความเป็นสมาชิกภาพของเอาต์พุต x_i

k คือเลขยกกำลังที่สามารถปรับค่าได้แบบออนไลน์ขึ้นอยู่กับกฎเกณฑ์ที่กำหนดให้

เมื่อ $k = 1$ ขั้นตอนการดีฟัซซี่ฟายเออร์จะเป็นแบบ COA และเมื่อมันมีค่าสูงมากจะเป็นแบบ maxim MOM องค์ประกอบของตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกที่ประกอบด้วยขั้นตอนดีฟัซซี่ฟายเออร์สามารถปรับค่า k แบบออนไลน์แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 FLC ที่สามารถปรับเปลี่ยนเอาต์พุตในขั้นตอนดีฟัซซี่ฟายเออร์

การจำลองผลการทำงานกระทำโดยดูการตอบสนองของมอเตอร์ต่อสัญญาณความเร็วอ้างอิงแบบขั้น มอเตอร์เริ่มเดินเครื่องภายใต้สภาวะไร้โหลดและต่อจากนั้นป้อนโหลดเต็มพิกัดทันทีทันใด จากผลการจำลองการทำงานของมอเตอร์ต่อคำสั่งความเร็วอ้างอิงแบบขั้นสามารถลดเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินของความเร็ว และค่าผิดพลาดในสภาวะคงตัว นอกจากนี้ยังช่วยจำกัดกระแสที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วเกินไปในช่วงเริ่มเดินเครื่องได้อีกด้วย

2.3 สรุป

จากผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำตัวควบคุมแบบพืชเชื้อล่อจิกมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมการขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ได้ศึกษาถึงแผนภาพการควบคุมแบบพืชเชื้อล่อจิกแบบต่างๆ ขั้นตอนการพืชชีพายเออร์ ขั้นตอนการตัดสินใจ การออกแบบกฎการควบคุม ขั้นตอนการดีพืชชีพายเออร์ ซึ่งสิ่งที่กล่าวมาทั้งหมดนี้จะได้นำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบตัวควบคุมแบบพืชเชื้อล่อจิกที่ใช้ในงานวิจัยนี้ต่อไป