

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

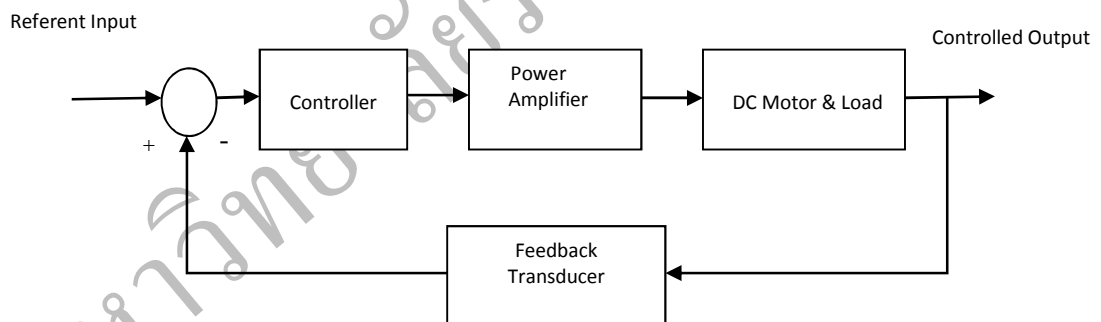
บทที่ 2 นี้นำเสนอการปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง อันประกอบด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง I-PD และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

2.2.1 พื้นฐานของระบบควบคุมดีซีมอเตอร์

ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบควบคุมดีซีมอเตอร์แสดงไว้ในบล็อกไดอะแกรมตามภาพที่ 2.1 ซึ่งประกอบด้วยบล็อกที่สำคัญ 4 บล็อก คือ

- (1) ตัวควบคุม (Controller)
- (2) วงจรขับหรือเพาเวอร์แอมพลิไฟเออร์ (Driver or Power Amplifier)
- (3) ฟีดแบคทรานสดิวเซอร์ (Feedback transducer)
- (4) ดีซีมอเตอร์และโหลด (DC Motor and Load)



ภาพที่ 2.1 ระบบการควบคุมดีซีมอเตอร์แบบพื้นฐาน

ตัวควบคุม (Controller) เป็นส่วนหนึ่งของระบบที่ทำให้เกิดสัญญาณควบคุมไปบังคับดีซีมอเตอร์และโหลด ตัวควบคุมที่ให้สัญญาณควบคุมเป็นอนาลอกเรียกว่า ตัวควบคุมอนาลอก ส่วนตัวควบคุมที่ให้สัญญาณควบคุมเป็นสัญญาณดิจิทัลเราเรียกว่า ตัวควบคุมแบบดิจิทัล

วงจรขับเป็นส่วนประกอบของระบบที่อยู่ระหว่างตัวควบคุมกับดีซีมอเตอร์ และโหลด โดยมีหน้าที่ปรับรูปและขยายสัญญาณให้เหมาะสมก่อนที่จะป้อนให้กับดีซีมอเตอร์และโหลด วงจรขับส่วนใหญ่ ได้แก่ เพาเวอร์แอมพลิไฟเออร์

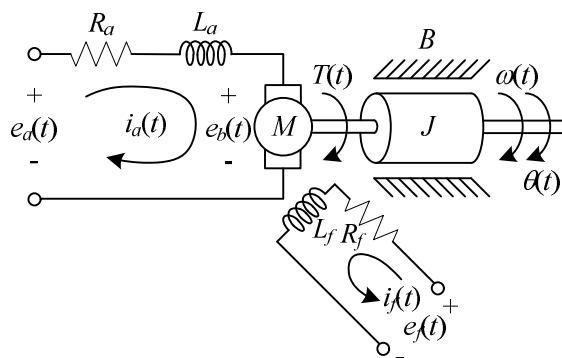
ดีซีมอเตอร์และโหลดคือระบบที่ถูกควบคุมหรือส่วนที่ออกแรงทำงานซึ่งจะเป็นเครื่องจักรกล (ดีซีมอเตอร์) หรืออะไรก็ตามที่ให้ตัวแปรดีซีมอเตอร์ในที่นี้เป็นแบบแม่เหล็กถาวรที่มีคุณสมบัติการทำงานสูง มีอาร์เมเจอร์อินดักแตนซ์และแรงเฉื่อยของโรเตอร์ต่ำ

ฟีดแบคทรานสดิวเซอร์ เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้รับรู้หรือตรวจจับสัญญาณเอาต์พุตที่ต้องการโดยไม่มีผลของการโหลด สัญญาณที่ตรวจจับได้นี้จะป้อนกลับไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง

2.2.2 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Schematic Diagram of DC Motor)

มอเตอร์ คือ เครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่ง que เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานกลมีทั้งพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับและพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง ระบบควบคุมดีซีมอเตอร์โดยทั่วไปมักเป็นระบบลูปปิด ในระบบลูปปิดตำแหน่งเอาต์พุต หรือความเร็วเอาต์พุตจะถูกป้อนกลับไปเปรียบเทียบกับอินพุตอ้างอิง เพื่อให้ได้คุณสมบัติการทำงานตามต้องการ ตัวอย่างระบบการคอนโทรลดีซีมอเตอร์ที่ประยุกต์ใช้กับแขนหุ่นยนต์โดยมีดีซีเซอร์โวมอเตอร์ในแต่ละข้อต่อเพื่อให้ได้อัตราส่วนของแรงบิดต่อแรงเฉื่อยสูง สามารถกำหนดตำแหน่งได้อย่างสมบูรณ์ และสามารถวัดแรงบิดขับเคลื่อน เพื่อป้อนกลับไปเป็นระบบลูปปิด และทำให้กำหนดตำแหน่งได้อย่างสมบูรณ์ สามารถโปรแกรมใช้งานต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง มีความแข็งแรงและสามารถจับยึดสิ่งต่างๆ ได้อย่างคล่องตัว

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นอุปกรณ์แปลงพลังงาน ที่มีประโยชน์และใช้งานกว้างขวางมาก ในภาคอุตสาหกรรม สำหรับเป็นตัวขับเคลื่อน (actuator) ส่งจ่ายกำลังเพื่อหมุนโหลดทางกล วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยพิจารณาจากการควบคุมด้านแรงอาร์เมเจอร์ (Armature-Voltage control) กำหนดให้ $e_a(t)$ เป็นตัวแปรอินพุต และตัวแปรเอาต์พุตคือ $\omega(t)$ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 2.2 [18, 19,20]



ภาพที่ 2.2 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง [22]

เมื่อ R_a คือ ความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature-Winding Resistance)

L_a คือ ความเหนี่ยวนำของขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature-winding Inductance)

R_f คือ ความต้านทานของขดลวดสนาม (Field-Winding Resistance)

L_f คือ ความเหนี่ยวนำของขดลวดสนาม (Field-Winding Inductance)

J คือ โมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of Inertia)

B คือ ความฝืดวิสกอส (Viscous-Friction Coefficient)

$e_a(t)$ คือ แรงดันขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Voltage)

$i_a(t)$ คือ กระแสของขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Current)

$e_f(t)$ คือ แรงดันของขดลวดสนาม (Field Voltage)

$i_f(t)$ คือ กระแสของขดลวดสนาม (Field Current)

$e_b(t)$ คือ แรงดันไฟฟ้าย้อนกลับ (Back Electromotive Force)

$T(t)$ คือ แรงบิดของมอเตอร์ (Motor Torque)

$\theta(t)$ คือ การขจัดเชิงมุม (Angular Displacement)

$\omega(t)$ คือ ความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity)

พิจารณาจากวงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจากภาพที่ 2.2 คือ แรงดันขดลวดอาร์เมเจอร์ $e_a(t)$ สำหรับส่วนทางไฟฟ้าแสดงได้ดังสมการ (2.1) เมื่อ K_b คือ ค่าคงที่แรงดันไฟฟ้าย้อนกลับ (Back Electromotive Force) สำหรับส่วนประกอบทางกลในการหมุนแรงบิดของมอเตอร์ (Motor Torque) $T(t)$ จะดำเนินการตามที่ระบุไว้ในสมการ (2.2) เมื่อ K_t ค่าสัมประสิทธิ์คงที่ของมอเตอร์ (Motor Constant).

$$e_a(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + e_b(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + K_b \omega(t), \quad e_b(t) = K_b \omega(t) \quad (2.1)$$

$$T(t) = K_t i_a(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t) \quad (2.2)$$

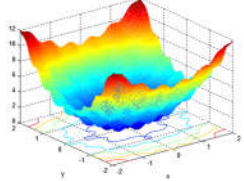
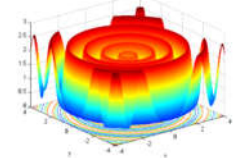
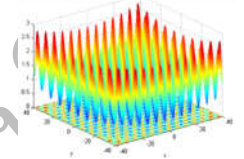
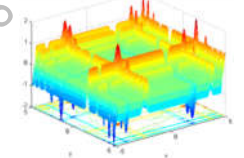
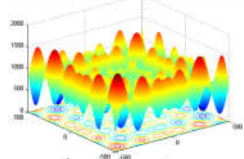
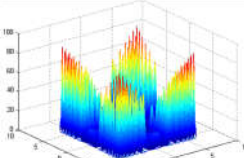
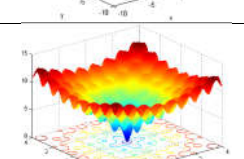
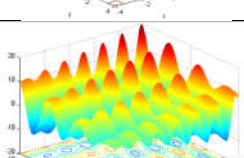
ในทางปฏิบัติมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทำงานด้วยอุปกรณ์วงจรรขยายกำลังขับเคลื่อน (Power Electronic Devices) ซึ่งจะประมาณการด้วยค่าคงที่ K_A (Power Amplifier Constant)

ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในเทอมของฟังก์ชันการถ่ายโอนด้วยการใช้สมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Equations) และผลของการแปลงลาปลาซ (Laplace Transform) ได้แสดงไว้ในสมการ (2.3)

$$\frac{\Omega(s)}{E_a(s)} = \frac{K_A K_t}{JL_a s^2 + (BL_a + JR_a)s + (BR_a + K_t K_b)} \quad (2.3)$$

2.3 การทดสอบสมรรถนะของการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว

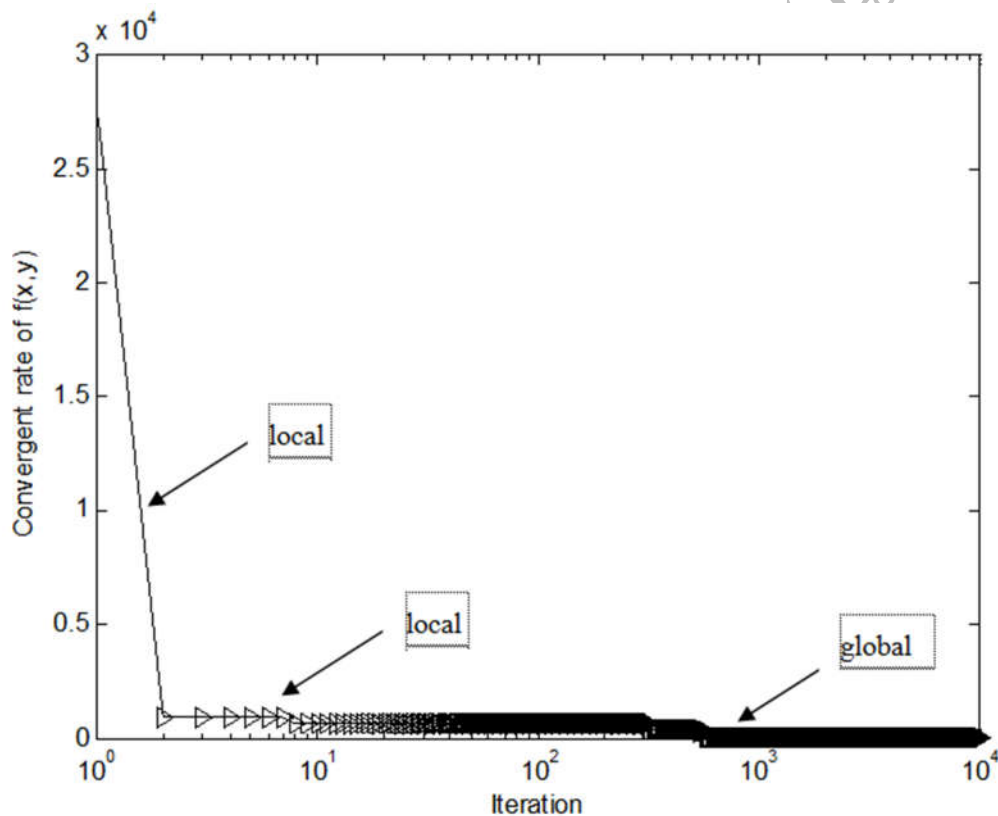
ในการประยุกต์ใช้ ATS เพื่อการระบุเอกลักษณ์ของระบบนั้น ต้องปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ให้เหมาะสม พร้อมกับวิเคราะห์สมรรถนะการค้นหาผลเฉลยของการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว เพื่อเป็นการทดสอบความสามารถในการค้นหาคำตอบวงกว้างของปัญหาที่มีคำตอบวงแคบเฉพาะถิ่นจำนวนมาก แต่มีคำตอบวงกว้างเพียงคำตอบเดียว การวิเคราะห์จะต้องกระทำกับปัญหาที่หลากหลาย ด้วยจำนวนการค้นหา (Trial) ที่มากเพียงพอ และด้วยค่าคำตอบเริ่มต้นที่ไม่เท่ากัน โดยตั้งเงื่อนไขการเรียกใช้กลไกย้อนรอยด้วยจำนวนรอบสูงสุดที่ไม่สามารถหาคำตอบถัดไปที่ดีกว่าได้ ก็ให้มีการเรียกใช้กลไกดังกล่าวเพื่อเปิดโอกาสให้การค้นหาได้เปลี่ยนพื้นที่การค้นหาใหม่ ส่วนกลไกปรับรัศมีการค้นหา ทำหน้าที่ปรับรัศมีการค้นหาให้ลดลงโดยยังคงรักษาจำนวนคำตอบใกล้เคียงที่จะถูกสุ่มเลือกภายในรัศมีการค้นหาเพื่อเป็นคำตอบถัดไปไว้เท่าเดิม ซึ่งเปรียบเสมือนการเพิ่มความสามารถของการมองเห็นคำตอบวงกว้างให้ดีขึ้น ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นการหาค่าต่ำสุด (Minimization) ของฟังก์ชันคณิตศาสตร์แบบต่อเนื่อง (Continuous) เป็นปัญหามาตรฐานแบบไม่มีเงื่อนไขจำนวน 8 ปัญหา ซึ่งได้รับการนำเสนอโดยผู้เชี่ยวชาญ [29, 30] เพื่อศึกษาสมรรถนะการค้นหาโดยให้ค้นหาคำตอบวงกว้างของ 8 ฟังก์ชันในปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงพื้นผิว ได้แก่ ปัญหา Bohachevsky Function (BF), Saromon Function (SmF), Griewank Function (GF), Rastrigin Function (RF), Schwefel Function (ScF), Yang's fourth Function (YF), Ackley Function (AF) และ Sinusoid function (SF) ฟังก์ชันทั้ง 8 ที่ใช้ทดสอบครอบคลุมการปรับค่าพารามิเตอร์ใน ATS ให้เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลเฉลยวงกว้างที่รวดเร็ว ในกรณีที่ค่าพารามิเตอร์ใน ATS ไม่มีการปรับให้เหมาะสม ผลเฉลยที่ได้อาจเป็นแค่ผลเฉลยใกล้เคียงกว้าง และอาจทำให้เกิดความล่าช้าในกระบวนการค้นหา ปัญหามาตรฐานแบบไม่มีเงื่อนไขทั้ง 8 ปัญหาที่เลือกใช้ ถูกกำหนดให้เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อทำให้มีค่าน้อยที่สุดซึ่งปริภูมิการค้นหา ผลเฉลยเหมาะที่สุด (x^*, y^*) และพื้นผิว 3 มิติ ของแต่ละฟังก์ชันแสดงในตารางที่ 1.1 โดยกำหนดให้ f_{max} คือค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ยอมรับสำหรับใช้เป็น TC ในกระบวนการค้นหา

ฟังก์ชัน	ลักษณะทั่วไปของฟังก์ชัน	พื้นผิว 3 มิติ
BF	$f(x, y) = x^2 + 2y^2 - 0.3 \cos(3\pi x) - 0.4 \cos(4\pi y) + 0.7$ $f_{\min}(0, 0) = 0$	
SmF	$f(x, y) = 1 - \cos(2\pi\sqrt{x^2 + y^2}) + 0.1\sqrt{x^2 + y^2}$ $f_{\min}(0, 0) = 0$	
GF	$\begin{cases} f(x, y) = 1 + \left\{ \frac{1}{4000}(x^2 + y^2) \right\} - \left\{ \cos(x) \cos(y / \sqrt{2}) \right\}, \\ -40 \leq x, y \leq 40, \\ (x^*, y^*) = 0, f(x^*, y^*) = 0 \end{cases}$	
RF	$f(x, y) = x^2 + y^2 - 10 \cos(2\pi x) - 10 \cos(2\pi y) + 20$ $f_{\min}(0, 0) = 0$	
ScF	$f(x_1, x_2) = 418.9829 \times 2 - \sum_{i=1}^2 \left(x_i \sin \sqrt{ x_i } \right)$ $f_{\min}(421, 421) = 0$	
YF	$\begin{cases} f(x, y) = (x + y) \exp \left\{ -\sin(x^2) - \sin(y^2) \right\}, \\ -2\pi \leq x, y \leq 2\pi, \\ (x^*, y^*) = 0, f(x^*, y^*) = 0 \end{cases}$	
AF	$f(\mathbf{x}) = -20 \exp \left(-\frac{1}{5} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2} \right) - \exp \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(2\pi x_i) \right) + 20 + e$ $f_{\min}(0, 0) = 0$	
SF	$f(x, y) = x \sin(4x) + 1.1y \sin(2y), \quad 0 \leq x, y \leq 10.0$ $x_1 = 9.0939, x_2 = 8.668, f(x, y) = x - 18.554$	

ตารางที่ 2.1 ฟังก์ชันในปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงพื้นผิว

2.3.1 การประยุกต์ใช้ ATS เพื่อการระบุเอกลักษณ์ระบบ

ในกรณีนี้ผู้วิจัยจะได้นำแนวทางหลักการพื้นฐานอยู่บนการทดสอบและปรับพารามิเตอร์ด้วยฟังก์ชันทดสอบมาตรฐานตามที่ได้กล่าวมาจากหัวข้อข้างต้น จากนั้นจะเสนอผลการจำลองสถานการณ์ให้เห็น และนั่นคือแนวโน้มอันจะนำไปสู่ค่าเริ่มต้นของการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆ ของขั้นตอนวิธี ATS ให้เหมาะที่สุดสำหรับการประยุกต์ใช้กับงานเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อหาผลตอบสนองทางเวลาของระบบ และจะนำไปสู่ผลการพิสูจน์เมื่อกระบวนการค้นหาดำเนินไปด้วยระยะเวลาที่มากเพียงพออย่างสมเหตุสมผล ความน่าจะเป็นที่กระบวนการค้นหาแบบ ATS จะพบคำตอบวงแคบเฉพาะถิ่นจะมีค่าเข้าใกล้หนึ่ง พบว่ากลไกปรับรัศมีการค้นหาช่วยให้การค้นหาแบบ ATS ลู่เข้าหาคำตอบด้วยเวลาที่รวดเร็วยิ่งขึ้น และพบว่ากลไกย้อนรอยการค้นหาช่วยให้การค้นหาแบบ ATS สามารถพบคำตอบวงแคบเฉพาะถิ่นอื่น ๆ ในปริภูมิการค้นหา และหนึ่งในคำตอบวงแคบเฉพาะถิ่นที่พบคือคำตอบวงกว้างการลู่เข้าสู่คำตอบที่เป็นคำตอบเหมาะสมที่สุดตั้งสมมุติฐานจากภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การลู่เข้าสู่คำตอบที่เป็นคำตอบเหมาะสมที่สุด

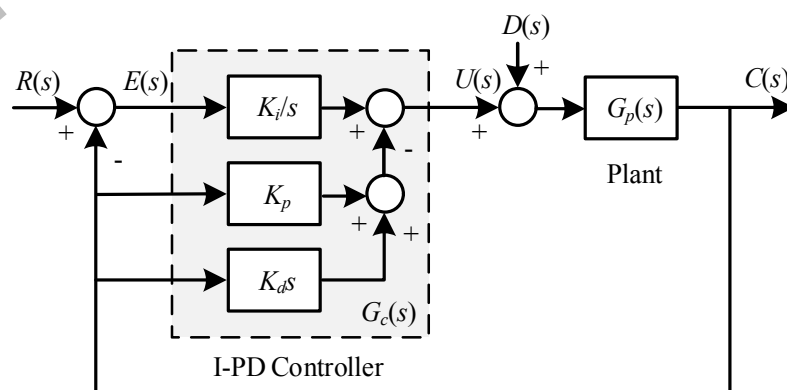
การระบุเอกลักษณ์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้ ATS จะสามารถค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจำนวน 7 ตัว ได้แก่ J , B , R_a , L_a , K_t , K_b และ K_A พร้อมกันทั้งหมด โดยที่ F คือฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) อยู่ในรูปผลรวมค่าความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง (Sum Squared Error) ระหว่างความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้

จากการทดสอบจริง $\omega(t)$ และความเร็วที่ได้จากแบบจำลอง $\omega^*(t)$ อีกทั้งพิจารณาความคล้อยคลึงของรูปสัญญาณทั้งสองด้วย โดยที่ N คือ จำนวนข้อมูลที่นำมาคำนวณใน F ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (2.4) เมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยสัญญาณอินพุตเดียวกันฟังก์ชันวัตถุประสงค์ จะถูกป้อนให้กับ ATS เพื่อทำให้มีค่าน้อยที่สุด ฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะถูกป้อนกลับไปยังนักศึกษาสำนักที่ใช้ ATS โดยเป็นการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีระหว่างการทดสอบจริงกับแบบจำลองของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง การดำเนินการทั้งหมดจะได้อินพุตกระบวนการดังกล่าวด้วยโปรแกรม MATLAB ประมวลผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ Intel(R) Core(TM) i5-2430M, 2 GHz, RAM 8GB

$$\text{Minimize } F = \sum_{i=1}^N [\omega_i(t) - \omega_i^*(t)]^2 \quad (2.4)$$

2.4 การออกแบบตัวควบคุม I-PD

ตัวควบคุม I-PD เป็นหนึ่งในรุ่นที่มีการปรับเปลี่ยนแก้ไขของตัวควบคุม PID โดยได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อหลีกเลี่ยงการขยายตัวของสัญญาณควบคุมอันเป็นสาเหตุมาจากพจน์สัดส่วนและพจน์อนุพันธ์ของตัวควบคุมที่เกิดขึ้นในช่วงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุตอย่างฉับพลัน ระบบควบคุมวงปิดด้วยตัวควบคุม I-PD แสดงด้วยบล็อกไดอะแกรม ดังภาพที่ 2.4 ตัวควบคุมอินทิเกรต (Integral) ยังคงอยู่ในเส้นทางไปข้างหน้า ในขณะที่ตัวควบคุมเชิงสัดส่วน (Proportional) และตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์ (Derivative) ถูกเปลี่ยนไปยังเส้นทางป้อนกลับของวงควบคุม ด้วยวิธีการนี้จะมีเพียงอินทิเกรตในเทอมของอัตราขยายเชิงอินทิเกรต K_i ตอบสนองกับสัญญาณความผิดพลาด $E(s)$ การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันในการป้อนสัญญาณอินพุตอ้างอิง $R(s)$ จะไม่ส่งผลกระทบต่อเทอมอัตราขยายเชิงสัดส่วน K_p และเทอมอัตราขยายเชิงอนุพันธ์ K_d การควบคุมสัญญาณเอาต์พุต $C(s)$ และฟังก์ชันโดเมนเวลาของสัญญาณควบคุม I-PD ได้ระบุไว้ในสมการ (2.5) และฟังก์ชันการถ่ายโอนวงปิดกับตัวควบคุม I-PD ได้แสดงไว้ในสมการ (2.6)



ภาพที่ 2.4 ระบบควบคุมวงปิด แบบ I-PD

$$u(t)|_{I-PD} = K_i \int e(t) dt - \left(K_p c(t) + K_d \frac{dc(t)}{dt} \right) \quad (2.5)$$

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\left(\frac{K_i}{s} \right) G_p(s)}{1 + \left(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \right) G_p(s)} \quad (2.6)$$

2.5 ระบบสมองกลฝังตัวตระกูล C2000 เบอร์ TMS320F28379D

ระบบสมองกลฝังตัว คือ ระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับงานควบคุมรวมถึงการแสดงผลการทำงานต่าง ๆ โดยที่ระบบเหล่านี้ถูกใช้เป็นส่วนหนึ่งของระบบและอุปกรณ์ควบคุม เครื่องมือ เครื่องจักรต่าง ๆ การที่ใช้คำว่า “ระบบสมองกลฝังตัว” เนื่องจากระบบเหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งของระบบใหญ่ ในหลายกรณีที่ใช้ทั่วไปอาจไม่ทราบว่าอุปกรณ์ควบคุม เครื่องมือ เครื่องจักรรวมถึงระบบใดที่ใช้งานเป็นประจําเหล่านี้เป็นระบบสมองกลฝังตัว ในบางครั้งแม้แต่ผู้ที่มีความรู้ทางด้านเทคนิคก็ไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าใดมีระบบแบบฝังตัวอยู่ จนกว่าจะมีการทำงานและตรวจสอบกับระบบและอุปกรณ์ควบคุมนั้นระยะหนึ่งเลยทีเดียว

ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System) นี้แม้ไม่ใช่เครื่องคอมพิวเตอร์ที่แท้จริง แต่ก็มีระบบการทำงานที่เสมือนคอมพิวเตอร์อยู่ภายใน ซึ่งจะเป็นเพียงไมโครโพรเซสเซอร์ (Microprocessor) หรือชิป (Chip) ธรรมดาหรือโพรเซสเซอร์ (Processor) ที่ประกอบด้วย ชิป (Chip) ที่มีวงจรซับซ้อนโดยจะมีหลักการทางาน คือ มีสัญญาณข้อมูลเข้า (Input) จากอุปกรณ์ เซนเซอร์ (Sensor) เข้าสู่ระบบ และมีสัญญาณผลลัพธ์ (Output) ของระบบไปควบคุมหรือบังคับระบบต่างๆ ของเครื่องจักร เช่น สวิตช์เครื่องจักร หรือ วาล์วควบคุมทิศทางไหลของท่อทางต่าง ๆ

นอกจากนี้แบบและรุ่นของระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System) ก็มีมากมายมีทั้งระบบที่เป็นแบบง่าย ๆ การงานไม่ซับซ้อน ตลอดจนแบบระบบที่ซับซ้อน ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทและจำนวนไมโครโพรเซสเซอร์ รวมถึงงานโปรแกรมควบคุมในระบบ

ในปัจจุบันการประยุกต์ใช้ชุดประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Processing) นับว่ามีบทบาทมากไม่เพียงแต่ใน ส่วนของภาคการศึกษาแต่ยังมีบทบาทมากในภาคส่วนงานอุตสาหกรรม ซึ่งการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ของการประมวลผล สัญญาณดิจิทัลถูกใช้กับ การแสดงผล การควบคุมแบบอัตโนมัติและอื่นๆ ตัวอย่างเช่น การควบคุมหุ่นยนต์ ยานยนต์ เทคโนโลยีการขับเคลื่อนทางไฟฟ้า

บอร์ดประมวลผลดิจิทัลเบอร์ F32028379D เหมาะอย่างยิ่งสำหรับ

- การประเมินอัลกอริธึมการควบคุมมอเตอร์รวมถึงการตั้งค่าการเข้ารหัสและการควบคุมตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์แบบไร้เซ็นเซอร์
- ตรวจสอบความเร็วและการควบคุมตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์
- การรับ-ส่งข้อมูล การแปลงข้อมูลแบบดิจิทัล-อนาล็อก
- สามารถอินเตอร์เฟสระหว่างซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ได้อย่างรวดเร็ว

2.6 การทบทวนและสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนและสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องประกอบไปด้วย 2 ส่วน คืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการศึกษาสำนึก และงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้การศึกษาสำนึกออกแบบตัวควบคุม I-PD

(1) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการศึกษาสำนึก

ในปี ค.ศ. 1966 Fogel และคณะ [31] ซึ่งพัฒนาและนำเสนอเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดขึ้น ภายใต้ชื่อ การโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary Programming : EP) โดยอาศัยหลักการกลายพันธุ์ (Mutation) ของลูกหลานในแต่ละรุ่นของสายพันธุ์ และจากการทดสอบพบว่าการอาศัยหลักการกลายพันธุ์จะให้ผลการค้นหาคำตอบที่รวดเร็วกว่าการใช้วิธีปฏิบัติการทางสายพันธุ์รูปแบบอื่น เช่น การเปลี่ยนข้ามยีนส์ (Crossover) ซึ่งจากงานวิจัย Fogel ได้ทำการทดลองกับปัญหาจริงโดยอาศัยเครื่องจักรกลที่มีตัวแปรสถานะจำกัด (State Finite Machine) พบว่าสามารถให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดในเวลาที่สมเหตุสมผล

ในปี ค.ศ.1983 Kirkpatrick และคณะได้พัฒนาการอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing : SA) [32] เพื่อใช้แก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด SA เป็นการศึกษาสำนึกแบบอิงผลเฉลี่ยเดียวหรือการศึกษาสำนึกแบบอิงแนววิถี ที่ตั้งอยู่บนกระบวนการหลอมโลหะด้วยอุณหภูมิที่สูงใน ตอนแรก จากนั้นทำให้อุณหภูมิลดลงอย่างช้า ๆ คำตอบใหม่ที่ดีกว่าในรอบการค้นหาถัดไปจะได้รับการยอมรับ ไม่เช่นนั้นแล้วจะอาศัยคำตอบที่ได้มาจากความน่าจะเป็น กลไกดังกล่าวสามารถหลุดรอดจากการติดกับเฉพาะที่ และถ้ากระบวนการหลอมถูกทำให้เย็นตัวลงอย่างช้าเพียงพอคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่เป็นผลเฉลยวงกว้างจะได้รับการค้นพบ

ในปี ค.ศ. 1989 Goldberg [33] ได้พัฒนาและนำเสนอเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดขึ้น ภายใต้ชื่อ ขั้นตอนวิธีจินเนติก (Genetic Algorithm: GA) ที่อาศัยหลักการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต โดยใช้ปฏิบัติการทางสายพันธุ์ อันได้แก่ กลายพันธุ์ และการเปลี่ยนข้ามยีนส์ เพื่อให้กำเนิดลูกหลานในแต่ละรุ่นของสายพันธุ์ วิธีการดังกล่าวจำเป็นต้องมีการถอดรหัสข้อมูลเช่นเดียวกับการพิจารณา DNA วิธีการนี้ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เพราะสามารถให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดแต่จะใช้เวลาในการคำนวณค่อนข้างนาน

ปี ค.ศ. 1997 Glover และ Laguna [34] ได้พัฒนาและนำเสนอเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในภายใต้ชื่อ การค้นหาแบบตาบ (Tabu Search: TS) ที่อาศัยหลักการป็นเขาในการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดและรายชื่อตาบ (Tabu list) เพื่อใช้หลบเลี่ยงคำตอบหรือเส้นทางที่ได้มีการสำรวจไปแล้ว จากการทดสอบการค้นหาแบบตาบกับปัญหาทางวิศวกรรม พบว่าสามารถให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดในเวลาที่สมเหตุสมผล

ในปี ค.ศ. 2002- 2007 Sujitjorn และคณะได้พัฒนาการค้นหาแบบตาบเชิงปรับตัว (Adaptive Tabu Search: ATS) [9, 10, 11, 12] บนพื้นฐานของ TS แบบดั้งเดิม เพื่อใช้แก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยการเพิ่มกลไกย้อนรอยการค้นหา (Back-Tracking: BT) เพื่อการหลุดรอดออกจากการติดกับดักเฉพาะที่ และกลไกการปรับรัศมีการค้นหา (Adaptive Radius: AR) เพื่อ

เพิ่มความรวดเร็วให้กับกระบวนการค้นหาผลเฉลย พร้อมการใช้หน่วยความจำเพื่อเก็บข้อมูลในระหว่างการค้นหา ATS ได้รับการประยุกต์ใช้แก้ปัญหาทางวิศวกรรมอย่างกว้างขวาง และได้รับการพิสูจน์แล้วว่า มีคุณสมบัติการลู่เข้าผลเฉลยวงกว้าง

ในระหว่างปี ค.ศ. 2009 - 2013 Yang ได้พัฒนาขั้นตอนวิธีที่เลียนแบบพฤติกรรมของสัตว์ต่าง ๆ ที่น่าสนใจเพื่อแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุด โดยเริ่มต้นจากการค้นหาแบบหิ่งห้อย (Firefly Search: FS) [35] ในปี ค.ศ. 2009 ที่เลียนแบบของพฤติกรรมการกระพริบแสงของหิ่งห้อยในเวลากลางคืน การค้นหาแบบค้างคาว (Bat Search: BS) [36] ในปี ค.ศ. 2010 ที่เลียนแบบของพฤติกรรมการสื่อสารของค้างคาวภายในฝูง การค้นหาแบบนกกาเหว่า (Cuckoo Search: CuS) [37, 38,] ในปี ค.ศ. 2010, 2013 ที่เลียนแบบของพฤติกรรมของนกกาเหว่าในการวางไข่ในรังของนกชนิดอื่น และขั้นตอนวิธีการผสมเกสรดอกไม้ (Flower Pollination Algorithm: FPL) [39] ในปี ค.ศ. 2012 โดยเลียนแบบกระบวนการผสมเกสรของไม้ดอกตามธรรมชาติ

(2) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ต่อภิศึกษาสำนักเพื่อออกแบบตัวควบคุม I-PD

ในปี ค.ศ.2012 Prasad [23] ได้ประยุกต์การค้นหาแบบนกกาเหว่า (Particle Swarm Optimization:PSO) เพื่อออกแบบตัวควบคุม I-PD อย่างเหมาะสม สำหรับระบบการหน่วงเวลาอันดับสอง โดยกำหนดให้ค่าเวลาขึ้น ค่าความคลาดเคลื่อนในสภาวะคงตัวและค่าการพุ่งเกินสูงสุดเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ในปี ค.ศ.2012 Rajinikanth [40] ได้ประยุกต์การหาอาหารของแบคทีเรีย (Bacterial Foraging Optimization : BFO) เพื่อปรับตัวควบคุม I-PD สำหรับระบบที่ไม่เสถียรอย่างเหมาะสม ซึ่งการศึกษาขึ้นอยู่กับเกณฑ์ข้อผิดพลาดต่างๆ โดยกำหนดให้ ช่วงเวลาเข้าที่ ค่าการพุ่งเกินสูงสุด และค่าความคลาดเคลื่อนในสภาวะคงตัวเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ในปี ค.ศ.2014 Prasad [41] ได้ประยุกต์การค้นหาแบบนกกาเหว่าหลายวัตถุประสงค์ (Multi Objective Particle Swarm Optimization : MOPSO) เพื่อหาพารามิเตอร์ตัวควบคุม I-PD อย่างเหมาะสม โดยกำหนดให้ค่าเวลาขึ้น ค่าความคลาดเคลื่อนในสภาวะคงตัวและค่าการพุ่งเกินสูงสุดเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ในปี ค.ศ.2016 Puangdownreong และคณะ [42] ได้ประยุกต์การค้นหาแบบนกกาเหว่า (Cuckoo Search : CuS) เพื่อออกแบบตัวควบคุม I-PD อย่างเหมาะสม สำหรับควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยกำหนดให้ค่าเวลาขึ้น ค่าความคลาดเคลื่อนในสภาวะคงตัวและค่าการพุ่งเกินสูงสุดเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์