

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การจัดทำโครงงานเรื่องการสร้างและควบคุมระบบเพนดูลัมผกผัน(The Construction and Control of Invert Pendulum) โดยควบคุมการทำงาน โดยใช้โปรแกรมแลบวิว(Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench : LabVIEW) ควบคุมแบบพีไอดี(Proportional Integral Differential : PID) และ ฟัซซีลอจิก(Fuzzy Logic) จึงมีความจำเป็นจะต้องศึกษาความรู้หลายๆด้าน เพื่อให้โครงงานดังกล่าวสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้โดยมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร(Direct Current Permanent Magnet Motor : PMDC Motor)

2.2 การควบคุมด้วยพีไอดี

2.3 การควบคุมด้วยฟัซซีลอจิก

2.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์(Mathematic Model) ของระบบเพนดูลัมผกผัน

2.5 โปรแกรมแลบวิว

2.6 การ์ดDAQ(Data Acquisition : DAQ)

2.7 เอ็นโค้ดเดอร์(Encoder)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

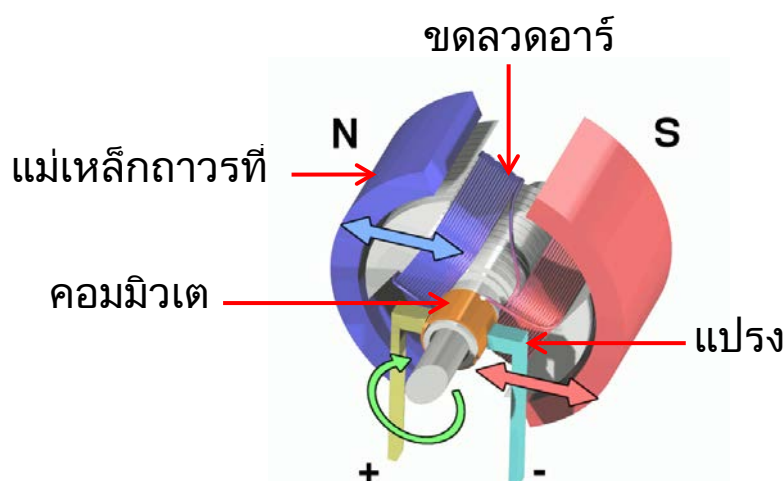
2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง(Direct Current Motor : DC Motor) เป็นเครื่องกลไฟฟ้า(Electrical Machines) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร เป็นหนึ่งในมอเตอร์กระแสตรงที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในกระบวนการทางอุตสาหกรรม โดยให้กำลังงานทางกลอยู่ในช่วงตั้งแต่ไม่กี่วัตต์ไปจนถึงประมาณ 3 แรงม้า โดยมีการนำมอเตอร์ชนิดนี้ไปใช้ในงานหลากหลายประเภท ตั้งแต่ระบบลิ้นของโทรศัพท์มือถือไปจนถึงรถไฟฟ้าขนาดเล็ก



ภาพที่ 2-1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

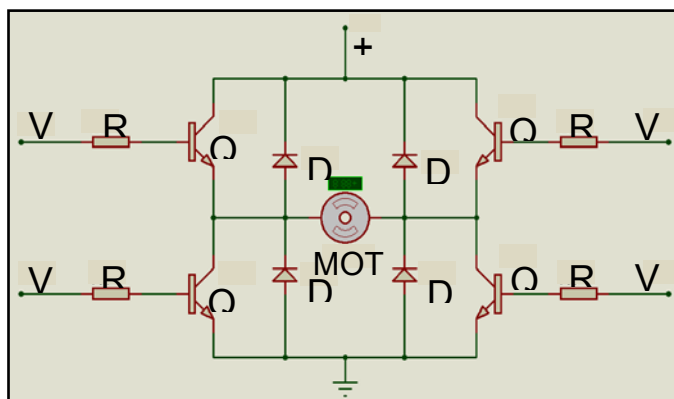
โครงสร้างหลักของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวรประกอบด้วย สเตเตอร์(Stator) ซึ่งเป็นแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet) ขดลวดอาร์เมเจอร์(Armature Winding) แปรงถ่าน (Brush) และ คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร มีสเตเตอร์ที่เป็นแม่เหล็กถาวร เพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก(Magnetic Flux) สนามแม่เหล็กของ มอเตอร์ชนิดนี้มีค่าคงที่ ส่งผลให้ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์กับความเร็วเป็นเชิงเส้น ทำให้การควบคุมความเร็วและแรงบิดทำได้ง่าย โดยการปรับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์



ภาพที่ 2-2 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้า
กระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

**2.1.1 การควบคุมทิศทาง (Direction Control) การหมุนของ
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง**

สามารถทำได้โดยควบคุมทิศทางการไหลของ
กระแสไฟฟ้า ที่ไหลผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์ซึ่งสามารถทำได้โดย
การกลับขั้วแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่าย โดยการควบคุมการไหล
ของกระแสไฟฟ้าส่วนใหญ่แล้วจะใช้วิธีการต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์
ที่เรียกว่า H-Bridge เข้ากับมอเตอร์



ภาพที่ 2-3 วงจร H-Bridge

หลักการทำงานของวงจร H-Bridge

2.1.1.1 กรณีที่ทรานซิสเตอร์ (Transistor : Q1) และ Q3 ทำงาน เมื่อมีการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Voltage) และ ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน (Resistor : R1) เข้าสู่ Base ของ Q1 และมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน R3 เข้าสู่ Base ของ Q3 ทำให้ Q1 และ Q3 ทำงาน (On) เปรียบเสมือนสวิตช์ปิดวงจร ส่งผลให้มีกระแสไฟฟ้าไหลจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Voltage Source) ผ่านขา Collector และ Emitter ของ Q1 ผ่านเข้าสู่ขั้วบวกของมอเตอร์ ผ่านไปยังขา Collector และ Emitter ของ Q3 ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมอเตอร์ในทิศทางบวกและครบวงจร จึงทำให้ออเตอร์สามารถหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (Clockwise)

2.1.1.2 กรณีที่ Q2 และ Q4 ทำงาน เมื่อมีการจ่ายแรงดันไฟฟ้า และ ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน R2 เข้าสู่ Base ของ Q2 และมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน R4 เข้าสู่ Base ของ Q4 ทำให้ Q2 และ Q4 ทำงาน เปรียบเสมือนสวิตช์ปิดวงจร ส่งผลให้มีกระแสไหลจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า ผ่านขา Collector และ Emitter ของ Q2 ผ่านเข้าสู่ขั้วลบ ของมอเตอร์ ผ่านไปยังขา Collector และ Emitter ของ Q4 ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมอเตอร์ในทิศทางลบและครบวงจร จึงทำให้

มอเตอร์สามารถหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (Counterclockwise)

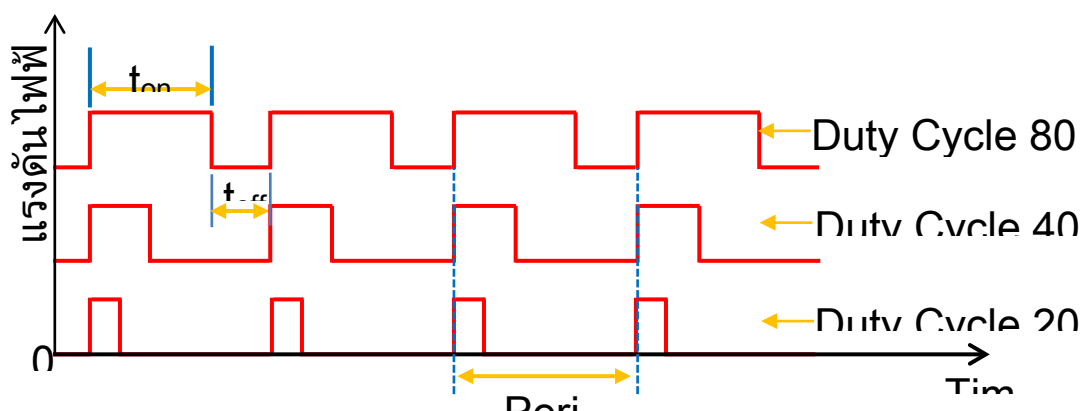
2.1.2 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นทำได้หลายวิธีเช่น ควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ (Armature Voltage Control) ควบคุมเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดฟิลด์

(Field Flux Control) ควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์และเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดฟิลด์ ควบคุม ค่าความต้านทานที่อาร์เมเจอร์ (Armature Resistance Control)

ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในโครงงานนี้ ใช้การควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ สามารถทำได้โดยการควบคุมแรงดันที่จ่ายเข้ามอเตอร์ แต่เราไม่สามารถลดหรือเพิ่มแรงดันที่เข้ามอเตอร์ได้โดยตรง ดังนั้นจึงใช้การควบคุมแบบ (Pulse Width Modulation : PWM) มาใช้ในการควบคุมแรงดันที่ป้อนเข้ามอเตอร์ เอาท์พุทที่ได้จากวงจร PWM จะมีลักษณะเป็นพัลส์ (Pulse) สี่เหลี่ยม ซึ่งมีคาบเวลาคงที่ และ มีความกว้างของพัลส์ ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามผลมอดูเลชันของค่าแรงดันไฟฟ้าค่าความกว้างของพัลส์ จะเป็นตัวกำหนดระดับความเร็วของมอเตอร์ ความถี่ของสัญญาณ PWM ที่ 1 เฮิร์ตซ์ (Hz) หมายถึง พัลส์ 1 ลูก ในเวลา 1 วินาที ดังนั้นความถี่ 100 Hz ก็คือ พัลส์ 100 ลูกในเวลา 1 วินาที เปอร์เซนต์ Duty Cycleหาได้จาก

เปอร์เซ็นต์
$$\text{DutyCycle} = \frac{t_{\text{on}}}{\text{Period}} \times 100$$

(2-1)



ภาพที่ 2-4 สัญญาณ Pulse Width Modulation : PWM

2.2 การควบคุมด้วยพีไอดี (PID Controller)

พีไอดี เป็นวิธีการควบคุมระบบแบบหนึ่ง ประกอบด้วย การคำนวณสมการทางคณิตศาสตร์ 3 ส่วน คือ Proportional, Integral และ Derivative control โดยทั้ง 3 ส่วนนี้จะทำหน้าที่หลักต่างกัน เพื่อช่วยกันส่งเสริมและชดเชยการควบคุม ให้มีเสถียรภาพที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม พีไอดี ก็อ้างอิงสมการทางคณิตศาสตร์ที่ตายตัวเพียงอย่างเดียว ทำให้ไม่มีความยืดหยุ่นพอที่จะควบคุมบางระบบที่มี

ความซับซ้อนหรือมีการรบกวนบ่อยๆ ได้ เช่น ระบบที่มีค่า Dead Time มากๆ เตาอบที่มีการเปิด-ปิด ประตูบ่อย เป็นต้น

การควบคุมด้วยพีไอดี ประกอบด้วยภาคต่างๆ คือ Proportional - Action Controller

(P-Controller) หรือที่เรียกว่า การควบคุมแบบสัดส่วน เป็นการควบคุมซึ่งมีการปฏิบัติการแก้ไขความผิดพลาดโดยให้สัญญาณที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความผิดพลาด เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$m = K_p e$$

(2-2)

Take Laplace สมการที่ 2-2 แล้วได้ตั้งสมการที่ 2-3

$$M(s) = K_p E(s)$$

(2-3)

โดยที่ m คือ ปริมาณที่เปลี่ยนแปลงที่ใช้แก้ไขความผิดพลาด(Manipulating Variable)

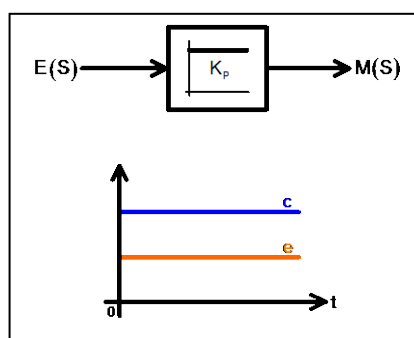
e คือ ค่าความผิดพลาด(Error)

K_p คือ อัตราการขยายของตัวควบคุมแบบอัตราส่วน (Proportional Gain)

$E(s)$ คือ ค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง(Actuating Error)

$M(s)$ คือ เอาต์พุต(Output)

จากสมการ 2-3 สามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมได้ดังภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 แผนภาพแสดงเวลาการตอบสนองการควบคุมแบบ สัดส่วน

คุณลักษณะที่สำคัญของการควบคุมแบบสัดส่วนก็คือ จะมีผลตอบสนองต่อค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง (Actuating Error : $E(s)$) ของสัญญาณอินพุตแบบทันทีทันใดจะได้ขนาดปริมาณที่เปลี่ยนแปลงที่ใช้แก้ไขความผิดพลาด (Manipulating Variable : m) ของเอาต์พุต นอกจากจะขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณอินพุตแล้ว ยังขึ้นอยู่กับอัตราการขยายของตัวควบคุมแบบอัตราส่วน (Proportional Gain : K_p) จะเห็นว่าค่าของสัญญาณเอาต์พุตจะคงอยู่ได้ก็ต่อเมื่อมีสัญญาณอินพุต หรือค่าความผิดพลาดปรากฏอยู่ในสภาวะคงที่เท่านั้น (Steady-State Error) ซึ่งเท่ากับ

$$e_{ss} = \frac{m_{ss}}{K_p} \quad (2-4)$$

โดยที่ e_{ss} คือ ค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง ในช่วง Steady-State

m_{ss} คือ ปริมาณที่เปลี่ยนแปลงที่ใช้แก้ไขความผิดพลาดในช่วง Steady-State

K_p คือ อัตราการขยายของตัวควบคุมแบบอัตราส่วน การควบคุมแบบสัดส่วนต้องการค่าความผิดพลาด เพื่อกำหนดสัญญาณเอาต์พุตสำหรับกระบวนการ (Process or Plant) ดังนั้น

จึงกล่าวได้ว่า การควบคุมแบบสัดส่วนไม่สามารถกำจัดค่าความผิดพลาดของระบบที่ถูกใช้ให้ควบคุมให้หมดได้ แต่เนื่องจากการควบคุมแบบสัดส่วนตอบสนองต่อสัญญาณอินพุตแบบฉับพลัน จึงทำให้มีความไวในการควบคุมระบบ ซึ่งถือได้ว่าเป็นคุณสมบัติเด่นของการควบคุมแบบสัดส่วน

Derivative-Action Controller (D-Controller) หรือที่เรียกว่า การควบคุมแบบอนุพันธ์(Differential) เป็นการควบคุมซึ่งมีการปฏิบัติการเพื่อแก้ไขความผิดพลาด โดยให้สัญญาณที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับการอนุพันธ์ของค่าความผิดพลาด(Time Differential of the Error) เขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$m = K_d \frac{de}{dt} \quad (2-5)$$

Take Laplace สมการที่ 2-5 แล้วได้ตั้งสมการที่ 2-6

$$M(s) = K_d S [E(s)] \quad (2-6)$$

โดยที่ m คือ ปริมาณที่เปลี่ยนแปลงที่ใช้แก้ไขความผิดพลาด

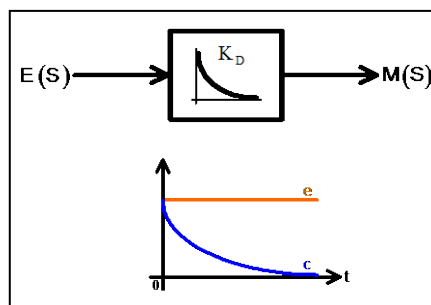
e คือ ค่าความผิดพลาด

K_d คือ อัตราการขยายของตัวควบคุมแบบอนุพันธ์

$E(s)$ คือ ค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง

$M(s)$ คือ เอาต์พุต

จากสมการ 2-6 สามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมได้ดังภาพที่ 2-6



ภาพที่ 2-6 แผนภาพแสดงเวลาการตอบสนองการควบคุมแบบ อนุพันธ์

จากสมการ 2-6 จะเห็นว่าการแก้ไขค่าผิดพลาดเป็นอัตราของการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด ดังนั้นการควบคุมแบบอนุพันธ์ (D-Controller) จะให้สัญญาณเอาต์พุตที่เกิดจากการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุตเท่านั้น และจะไม่มีผลต่อสัญญาณอินพุตหรือค่าความผิดพลาดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรืออยู่ในสภาวะคงที่

การควบคุมแบบอนุพันธ์ ทำให้ระบบสามารถที่จะแก้ไขความผิดพลาดก่อนที่จะค่าความผิดพลาดจะมีมากขึ้น แต่จะไม่รับรู้การมีอยู่ของค่าความผิดพลาดที่อยู่ในสภาวะคงที่ ดังนั้นการควบคุมแบบอนุพันธ์เพียงอย่างเดียวจึงไม่เหมาะที่จะใช้ในการควบคุมระบบ การชดเชยข้อด้อยดังกล่าวทำได้โดยใช้การควบคุมแบบอนุพันธ์ร่วมกับการควบคุมแบบสัดส่วนและการควบคุมแบบปริพันธ์ เพื่อทำให้คุณสมบัติโดยรวมของการควบคุมดีขึ้น

Integral-Action Controller (I-Controller) หรือที่เรียกว่าการควบคุมแบบปริพันธ์ เป็นการควบคุมซึ่งมีการปฏิบัติการเพื่อแก้ไขความผิดพลาด โดยให้สัญญาณที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับการปริพันธ์ของค่าความผิดพลาด (Time Integral of the Error) เขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$m = K_i \left(\int e dt \right) \quad (2-7)$$

Take Laplace สมการที่ 2-7 แล้วได้ตั้งสมการที่ 2-8

$$M(s) = \frac{K_i [E(s)]}{s} \quad (2-8)$$

โดยที่ m คือ ปริมาณที่เปลี่ยนแปลงที่ใช้แก้ไข
ความผิดพลาด

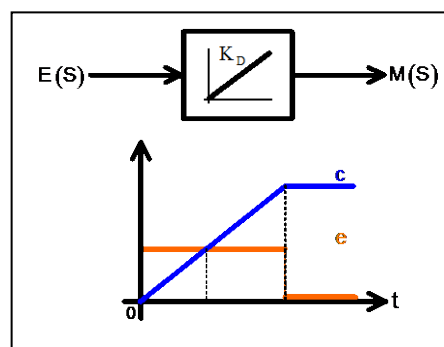
e คือ ค่าความผิดพลาด

K_i คือ อัตราการขยายของตัวควบคุมแบบปริพันธ์

$E(s)$ คือ ค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง

$M(s)$ คือ เอาต์พุต

จากสมการ 2-8 สามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมได้ดังภาพที่ 2-7



ภาพที่ 2-7 แผนภาพแสดงเวลาการตอบสนองการควบคุมแบบ
ปริพันธ์

จากสมการ 2-8 จะเห็นว่าสัญญาณเอาต์พุตเป็นค่าสะสมของสัญญาณอินพุต ตราบใดที่ยังมีสัญญาณอินพุตหรือค่าความผิดพลาดปรากฏอยู่ ค่าของสัญญาณเอาต์พุตจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ค่าของสัญญาณเอาต์พุตจะหยุดเปลี่ยนแปลงและรักษาค่าให้คงที่ไว้เมื่อค่าความผิดพลาดเท่ากับศูนย์ (Error : $e = 0$) ความเร็วการเพิ่มขึ้นของสัญญาณเอาต์พุตนอกจากจะขึ้นอยู่กับ

ขนาดของค่าความผิดพลาดแล้วยังขึ้นกับ การตั้งค่าเวลาของปริพันธ์ (Integral reset time : T_i)

คุณลักษณะสำคัญของการควบคุมแบบปริพันธ์หรือ (I-Controller) จะเห็นได้จากการปริพันธ์สมการ 2-8 ซึ่งจะได้ $\left(\frac{dm}{dt}\right) = K_i(e)$ แสดงให้เห็นว่า อัตราการแก้ไขความผิดพลาดเป็นสัดส่วนกับค่าความผิดพลาดดังนั้นตัวควบคุมแบบปริพันธ์จึงสามารถทำการแก้ไขความผิดพลาดของระบบจนกระทั่งไม่มีความผิดพลาดเหลืออยู่ แต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้การตอบสนองของระบบช้าลง เมื่อเทียบกับการควบคุมแบบสัดส่วนแล้ว จะเห็นว่าการควบคุมแบบปริพันธ์ มีคุณสมบัติของการหน่วงเวลา (Time delay) รวมอยู่ด้วย

2.3 การควบคุมด้วยฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic Control)

ฟัซซีลอจิกหรือตรรกะแบบคลุมเครือ เป็นคณิตศาสตร์แขนงใหม่ที่มีความสำคัญด้านวิศวกรรมต่างๆ ด้านวิทยาศาสตร์ ด้านการบริหาร ตลอดจนด้านเทคโนโลยีสารสนเทศเป็นอย่างมาก ฟัซซีลอจิกได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ที่ต้องใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผล ช่วยในการสนับสนุนการตัดสินใจ การพยากรณ์ การคาดการณ์เหตุการณ์ หรือแม้แต่ในงานด้านวิศวกรรมต่างๆ ได้แก่ เครื่องทำความเย็น กล้องถ่ายภาพ หม้อหุงข้าว เครื่องซักผ้า ลิฟต์ ระบบรถยนต์ เช่น ระบบขับเคลื่อน ระบบเบรก และระบบควบคุมความเร็วอัตโนมัติ เพราะฟัซซีลอจิกเป็นตัวควบคุมระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น เป็นตัวควบคุมระบบที่สามารถปรับเปลี่ยนระบบได้โดยอัตโนมัติตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป มีการตัดสินใจแบบชาญฉลาดเหมือนกับมนุษย์ได้มากขึ้น

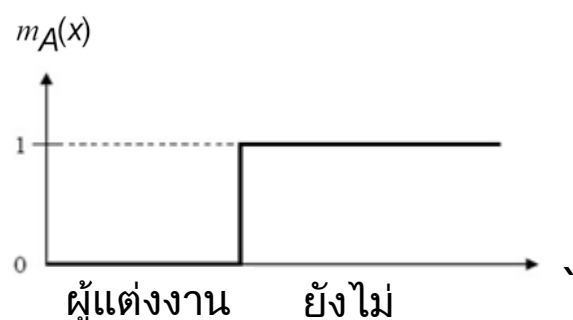
2.3.1 เซตแบบฉบับ

ในเซตแบบฉบับ (Classical Set) หรือเซตทวินัย (Crisp Set) เป็นเซตที่มีค่าความเป็นสมาชิกเป็น 0 หรือ 1 $\{0, 1\}$ เท่านั้น เซตในทฤษฎีเซตแบบฉบับ จะมีขอบเขตแบบ

(Sharp Boundary) ซึ่งเป็นขอบเขตที่ตัดขาดจากกันแบบทันทีทันใดเซตแบบฉบับมีการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกตามแนวคิดเลขฐานสอง โดยที่ตัวแปรหนึ่ง ๆ จะมีค่าความเป็นสมาชิกเพียงสองค่า คือ 0 ไม่เป็นสมาชิก และ 1 เป็นสมาชิก ตัวอย่างเช่น เซตของคู่แต่งงาน จะสามารถบอกได้อย่างแน่ชัดว่าเป็นกลุ่มผู้แต่งงานหรือไม่แต่งงาน



ภาพที่ 2-8 ตัวอย่างเซตแบบฉบับ



ภาพที่ 2-9 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซตผู้ที่ไม่แต่งงาน

ภาพที่ 2-8 แสดงตัวอย่างของเซตย่อยสองเซต คือเซตของผู้ที่แต่งงานและเซตของผู้ที่ไม่แต่งงาน จะเห็นได้ว่าคนหนึ่งคนจะเป็นสมาชิกภาพได้เพียงเซตเดียวเท่านั้น แต่งงานหรือไม่แต่งงาน ในภาพที่ 2-9 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตผู้ที่ไม่แต่งงาน จากภาพจะเห็นได้ว่า ผู้ที่แต่งงานแล้วจะมีค่าความเป็นสมาชิกในเซตของผู้ไม่แต่งงานเป็น 0 ส่วนผู้ที่ไม่แต่งงานมีค่าความเป็นสมาชิกภาพของเซตผู้ที่ไม่แต่งงานเป็น 1 ค่าความเป็นสมาชิกของทั้งสองเซตจะตัดขาดจากกันอย่างทันทีทันใด รูปแบบคณิตศาสตร์ของเซตแบบฉบับมีรูปแบบดังนี้

$$m_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (2-9)$$

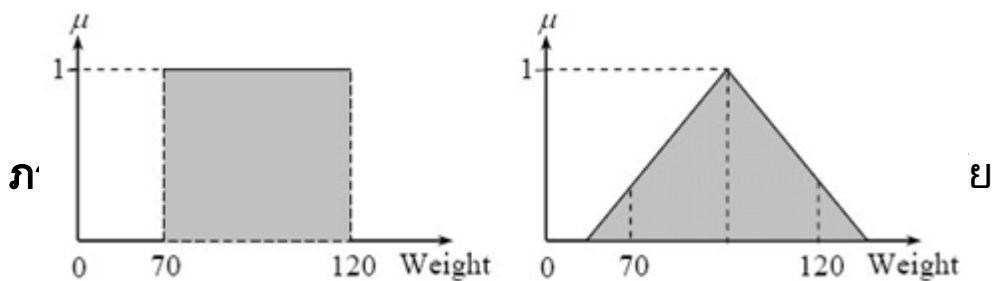
เมื่อ A เป็นเซตแบบฉบับหรือเซตแบบทวินัย x เป็นสมาชิกในเซต m_A เป็นค่าความเป็นสมาชิกในเซต และ $m_A(x)$ เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซต A

2.3.2 ฟัชซีเซต (Fuzzy Set)

ฟัชซีเซต เป็นเซตที่มีขอบเขตที่ราบเรียบ ทฤษฎีฟัชซีเซตจะครอบคลุมทฤษฎีเซตแบบ

ฉบับ โดยฟัซซีเซตยอมให้มีค่าความเป็นสมาชิกของเซตระหว่าง 0 และ 1 ในโลกแห่งความเป็นจริงเซตไม่ใช่มีเฉพาะเซตแบบฉบับเท่านั้น จะมีเซตแบบฟัซซีด้วย ฟัซซีเซตจะมีขอบเขตแบบฟัซซี ไม่ใช่เปลี่ยนแปลงทันทีทันใดจากขาวเป็นดำ ตัวอย่างเช่น เซตของคุณ่งานที่มีความสุข จะเห็นได้ว่าสมาชิกในเซตนี้จะไม่มีเฉพาะคุณ่งานที่มีความสุขระดับเดียวกันหมด บางคุณ่งานมีความสุขมาก บางคุณ่งานมีความสุขน้อย แตกต่างกันไป การใช้เซตแบบดั้งเดิมจึงไม่เหมาะสม

ยกตัวอย่างเกี่ยวกับความอ้วน นิยามคำว่าคนอ้วนในเซตทวินัยอาจกำหนดเป็นคนที่ม่น้ำหนักตั้งแต่ 70 ถึง 120 กิโลกรัม โดยนิยามแบบฟัซซีเซตอาจกำหนดเป็นคนที่มีความอ้วนประมาณ 80 กิโลกรัม ซึ่งเป็นการให้นิยามที่ไม่แสดงถึงขอบเขตที่แน่นอน



ภาพที่ 2-10 การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของเซตทวินัยและเซตแบบฟัซซี

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุต เป็นฟังก์ชันที่ใช้แปลงตัวแปรอินพุต ค่าผิดพลาด

(e) และอัตราการผิดพลาด (D_e) ให้อยู่ในฟัซซีเซต มีข้อกำหนดดังนี้

2.3.2.1 กำหนดย่านของเอกภพสัมพัทธ์ของค่าผิดพลาดให้มีค่าเท่ากับ $[-8, 8]$

เอกภพสัมพัทธ์ของอัตราการผิดพลาดเท่ากับ $[-8, 8]$

2.3.2.2 มีการกระจายแบบเชิงเส้น มีการทับกันแต่ละฟังก์ชัน 50 เปอร์เซ็นต์

2.3.2.3 จำนวนเทอมของฟัซซีเซต 3, 5, 7 ของเทอมและกำหนดค่าตัวแปรภาษา (Linguistic Variable) 3, 5, 7 ระดับ (ดังภาพที่ 2-11, 2-12, 2-13, 2-14, 2-15, 2-16)

3 ระดับ

NB คือ Negative

Big

Z คือ Zero

Negative Medium PB คือ Positive Big

5 ระดับ

NB คือ Negative Big

NS คือ Negative Small NM คือ

NS คือ Negative Small

PS คือ Positive Small Z คือ Zero

7 ระดับ

NB คือ Negative

NB คือ Negative

Z คือ Zero

PB คือ Positive Big PS คือ Positive

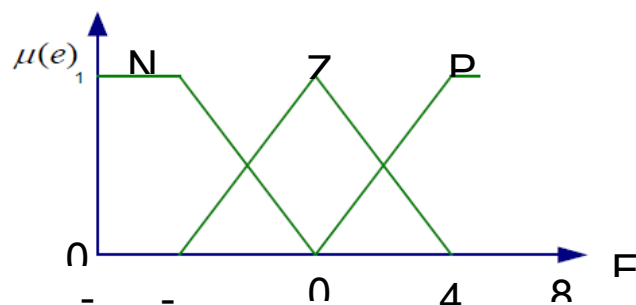
Small

PM คือ Positive

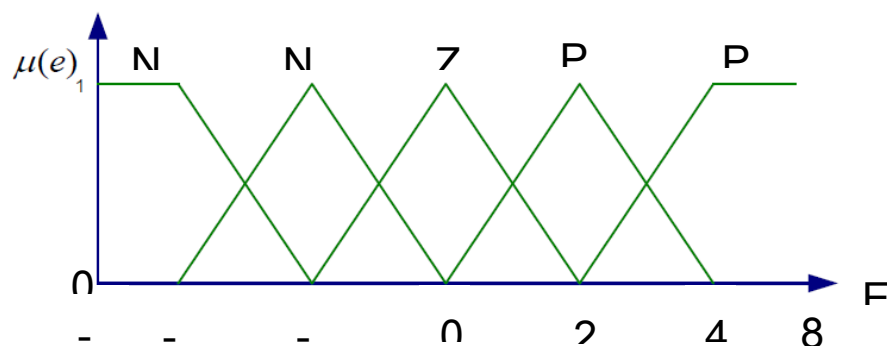
Medium

PB คือ Positive

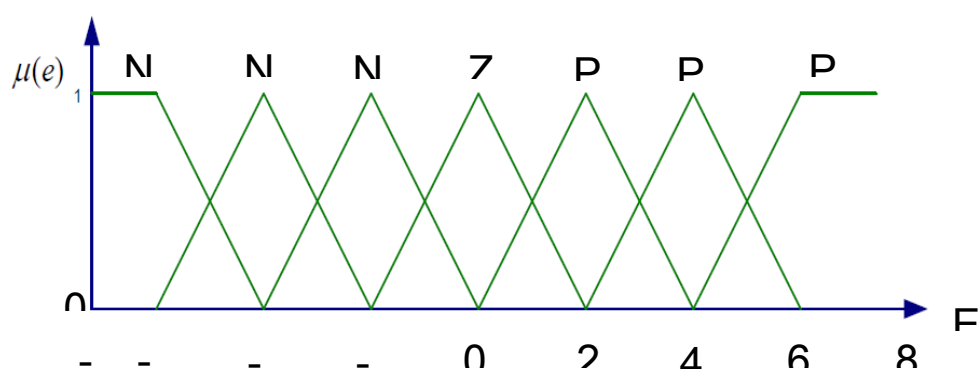
Big



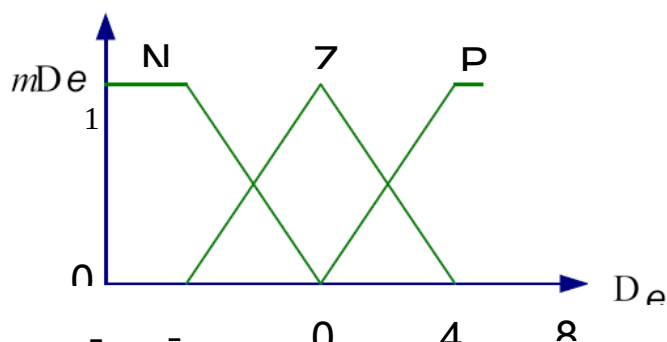
ภาพที่ 2-11 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าผิดพลาดแบบ 3 สมาชิก



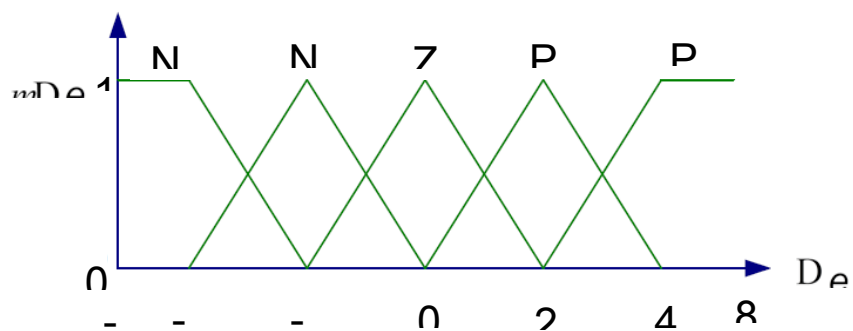
ภาพที่ 2-12 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าผิดพลาดแบบ 5 สมาชิก



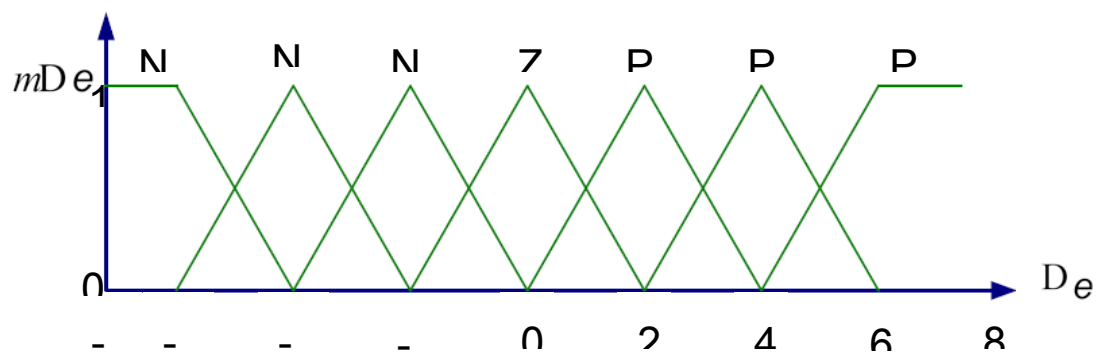
ภาพที่ 2-13 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าผิดพลาดแบบ 7 สมาชิก



ภาพที่ 2-14 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าอัตรา
การผิดพลาดแบบ 3 สมาชิก



ภาพที่ 2-15 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าอัตรา
การผิดพลาดแบบ 5 สมาชิก

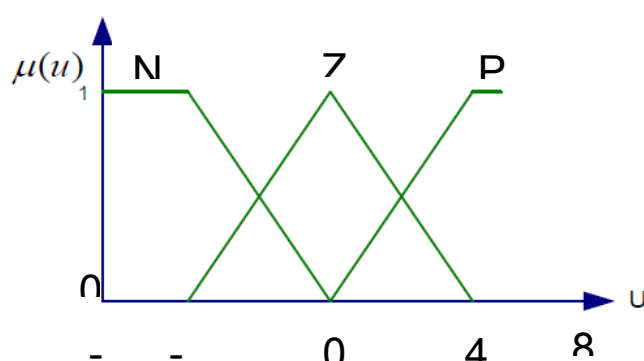


ภาพที่ 2-16 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าอัตราการผิดพลาด
แบบ 7 สมาชิก

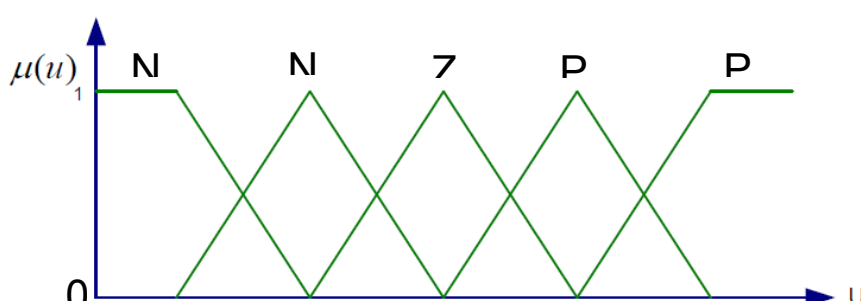
ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุต
มีหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงฟัซซีเซตให้อยู่ในรูปของ
คลิ๊ปเซต ในส่วนนี้จะแปลงค่าความเป็นสมาชิกของค่าความ
ผิดพลาดและค่าอัตราการผิดพลาด ในรูปของฟัซซีเซต ให้อยู่ใน
รูปของคลิ๊ปเซตของเอาต์พุต ในภาคดีฟัซซีฟิเคชัน มีข้อกำหนด
ดังนี้

2.3.2.4 กำหนดให้เอกภพสัมพัทธ์ของค่าเอาต์พุต เท่ากับ
[-8, 8]

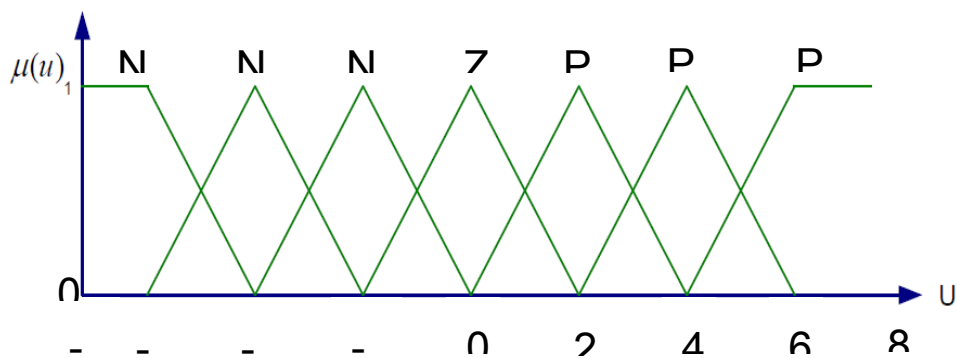
2.3.2.5 มีจำนวนฟัซซีเซต 3, 5, 7 เทอม และค่าตัวแปร
ภาษา 3, 5, 7 ระดับ



ภาพที่ 2-17 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตแบบ 3
สมาชิก



ภาพที่ 2-18 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ
เอาต์พุตแบบ 5 สมาชิก



ภาพที่ 2-19 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุต
แบบ 7 สมาชิก

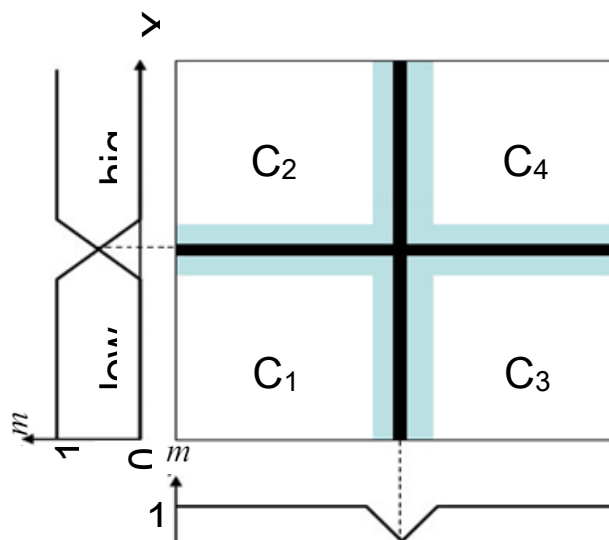
2.3.3 ฐานกฎ (Rule Base)

ในระบบการควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิก กฎการควบคุมถือเป็นเรื่องสำคัญ เพราะตัวควบคุมฟัซซีลอจิก จะอาศัยกฎในการที่จะประเมินความสัมพันธ์ ระหว่างค่าอินพุตและค่าเอาต์พุตหรือ กฎเป็นตัวกำหนดแนวทาง ที่จะควบคุมระบบนั้นอย่างไร ตามพฤติกรรมของระบบที่ผ่านมาในอดีต กฎจะเป็นตัว

แสดงฐานความรู้ของมนุษย์ หรือฐานความรู้ของผู้เชี่ยวชาญ ตัวควบคุมจะนำกฎนี้เป็นข้อกำหนดในการที่จะประเมินผล และสรุปผล ในฟัซซีลอจิก เรียกการประเมินผลนี้ว่าการอินเฟอเรนซ์

แนวทางการออกแบบของฐานกฎ (Yan, Ryan, Power, 1995) เป็นแนวทางการออกแบบกฎแบบวิธีเออร์ริสติก (Heuristic Approach) เป็นการออกแบบกฎจากพฤติกรรมของการตอบสนองของระบบที่ได้จากประสบการณ์หรือการทดสอบ และค่าสมรรถนะที่ต้องการนำออกแบบกฎโดยประมาณได้ โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ของอินพุตและผลการตอบสนอง

วิทยาการเกี่ยวกับฟัซซีลอจิกมีจำนวนมาก แต่ที่นิยมและการประยุกต์ใช้งานมากที่สุดได้แก่ กฎฟัซซีลอจิกแบบถ้า-แล้ว (Fuzzy If-Then Rule) ตัวอย่างการใช้กฎในการแยกกลุ่มดั่งภาพที่ 2-20 ในภาพที่ 2-20 แสดงปริภูมิรูปแบบ (Pattern Space) การจัดกลุ่มด้วยกฎฟัซซีลอจิก



ภาพที่ 2-20 ตัวอย่างปริภูมิรูปแบบการจัดกลุ่มด้วยกฎฟัซซี่ลอจิก

จากภาพที่ 2-20 สามารถเขียนเป็นกฎในรูปประโยคภาษาได้ดังนี้

กฎข้อ 1: ถ้า x_1 มีค่า low และ x_2 มีค่า low แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_1

กฎข้อ 2: ถ้า x_1 มีค่า low และ x_2 มีค่า high แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_2

กฎข้อ 3: ถ้า x_1 มีค่า high และ x_2 มีค่า low แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_3

กฎข้อ 4: ถ้า x_1 มีค่า high และ x_2 มีค่า high แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_4

เมื่อ x_1 เป็นตัวแปรภาษาในมิติที่ 1, x_2 เป็นตัวแปรภาษาในมิติที่ 2, low และ high เป็นพจน์ภาษา (linguistic Terms), ข้อมูล (x_1, x_2)

เป็นลำดับของวัตถุที่ต้องการจัดกลุ่ม และ C_1, C_2, C_3 และ C_4 เป็นกลุ่มข้อมูล 1, 2, 3 และ 4 สมมติให้กฎข้อ $i, i = 1, 2, \dots, L$ เป็นลำดับของกฎ ให้ข้อมูลเป็น

$x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ เมื่อ n เป็นจำนวนมิติของข้อมูล ให้ A_{ij} เป็นพจน์ภาษาในกฎข้อที่ i มิติที่ j และให้กลุ่มข้อมูลเป็น $C_k, k = 1, 2, \dots, K$ รูปแบบทั่วไปของกฎฟัซซีลอจิกสามารถเขียนได้ดังนี้

กฎข้อ 1: ถ้า x_1 มีค่า A_{11} และ x_2 มีค่า A_{12} และ ... และ x_n มีค่า A_{1n} แล้ว ข้อมูล x เป็นกลุ่ม C_1

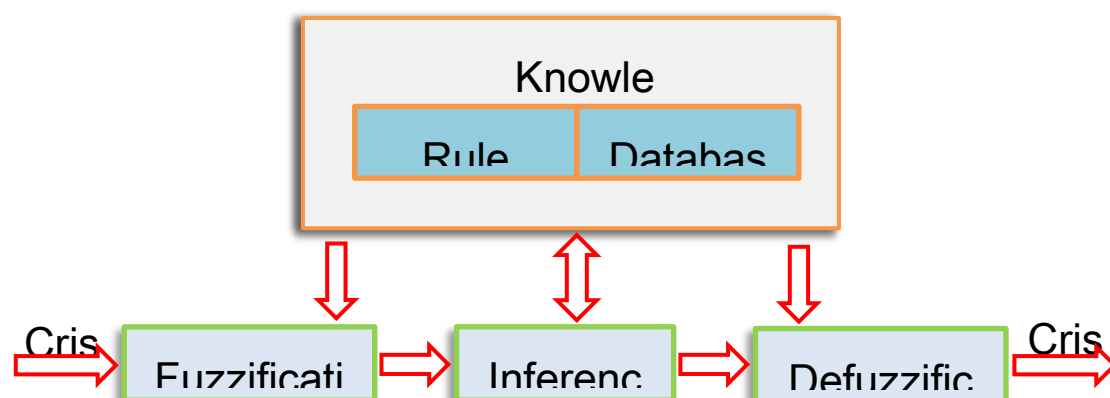
กฎข้อ 2: ถ้า x_1 มีค่า A_{21} และ x_2 มีค่า A_{22} และ ... และ x_n มีค่า A_{2n} แล้ว ข้อมูล x เป็นกลุ่ม C_2

กฎข้อ 3: ถ้า x_1 มีค่า A_{31} และ x_2 มีค่า A_{32} และ ... และ x_n มีค่า A_{3n} แล้ว ข้อมูล x เป็นกลุ่ม C_3

2.3.4 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกแบบฐานความรู้ประกอบด้วยส่วน

ต่างๆดังภาพที่ 2-21



ภาพที่ 2-21 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ส่วนที่แปลงการอินพุตทั่วไปเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซีลอจิก (Fuzzification) หรือในรูปแบบเซตฟัซซีหรือเรียกว่าเป็นตัวแปรภาษา

ฐานความรู้ (Knowledge Base) เป็นส่วนที่จัดเก็บรวบรวมข้อมูลในการควบคุมประกอบ 2 ส่วนคือ ฐานกฎ (Rule Base) และฐานข้อมูล (Data Base)

ฐานกฎ (Rule Base) ส่วนของการกำหนดวิธีการควบคุม ซึ่งได้จากผู้เชี่ยวชาญในรูปแบบของชุดข้อมูลแบบกฎของภาษา (Linguistic Rule)

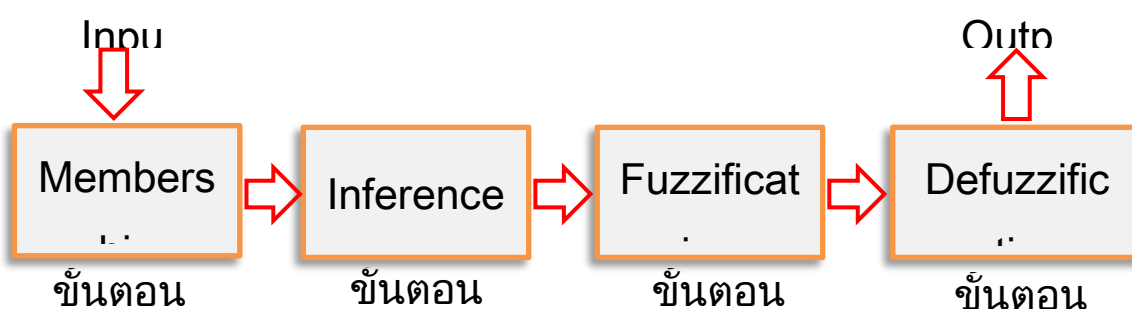
ฐานข้อมูล (Database) เป็นการจัดเตรียมส่วนที่จำเป็นเพื่อที่จะใช้ในการกำหนดกฎการควบคุม และการจัดการข้อมูลของตรรกศาสตร์ฟัซซีลอจิก

เครื่องอนุมานหรือการตีความ (Inference Engine) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ตรวจสอบข้อเท็จจริงและกฎ เพื่อใช้ในการตีความหาเหตุผล เหมือนกลไกสำหรับควบคุมการใช้ความรู้ในการแก้ไขปัญหา รวมทั้งการกำหนดวิธีการของการตีความเพื่อหาคำตอบ

ส่วนที่แปลงการเอาต์พุตให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม (Defuzzification) เป็นการทำการแปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบฟัซซีลอจิก ให้เป็นค่าที่สรุปผลหรือค่าการควบคุมระบบ

2.3.5 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

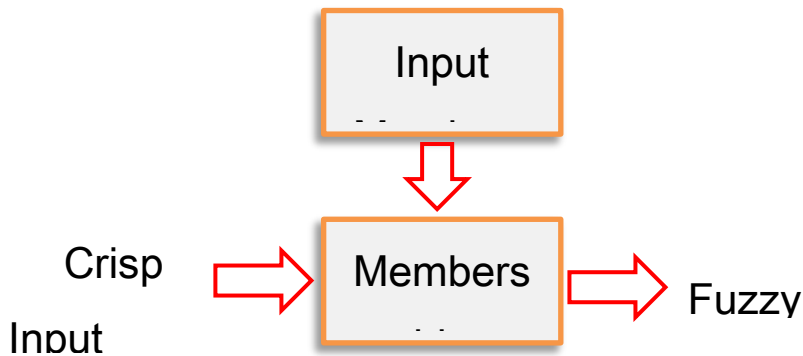
ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิกมีรูปแบบการทำงานเป็น 4 ส่วนดังภาพที่ 2-22



ภาพที่ 2-22 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

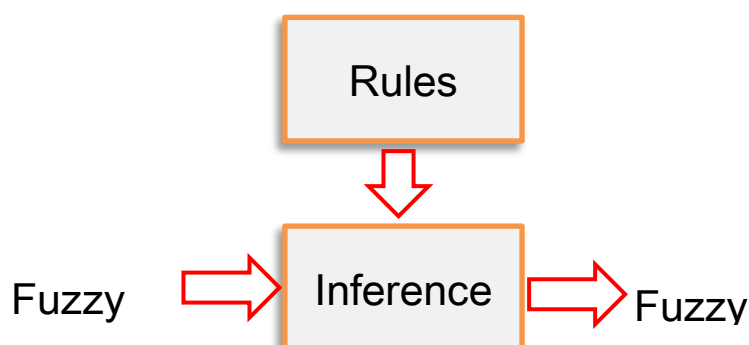
2.3.5.1 ขั้นตอนที่ 1 เป็นการแปลงการอินพุตแบบทวินัย เปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซีลอจิก โดยจะสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก โดยไม่จำเป็นต้องมีลักษณะเดียวกัน ขึ้นกับคุณลักษณะของแต่ละการอินพุต (Input) และความสำคัญต่อการ

เอาต์พุต (Output) ที่น่าสนใจโดยฟังก์ชันจะมีลักษณะเป็นการกำหนดภาษาสามัญ เพื่อให้เป็นฟัซซีการอินพุต ดังภาพที่ 2-23



ภาพที่ 2-23 ขั้นตอนที่ 1 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

2.3.5.2 ขั้นตอนที่ 2 เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างการอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุตที่อาศัยหลักการของการหาเหตุและผล อาจจะสร้างการเก็บข้อมูล การคาดการณ์จากการตัดสินใจของมนุษย์ หรือค่าจากการทดลอง โดยเขียนเป็นกฎการควบคุมระบบ ซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปแบบ ถ้า (If) และ (And) หรือ (Or) ซึ่งเป็นภาษาสามัญ นำกฎทั้งหมดมาประมวลผลรวมกัน เพื่อการตัดสินใจที่เหมาะสม ดังภาพที่ 2-24



ภาพที่ 2-24 ขั้นตอนที่ 2 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

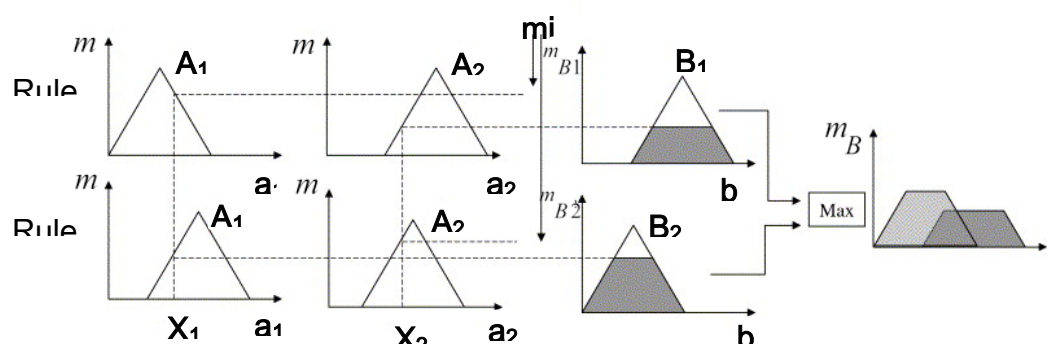
การอินเฟอเรนซ์ (Inference) คือการหาข้อสรุปจากหลักฐานหรือเหตุผลที่มา แล้วนำมาสรุปตามเงื่อนไขความสัมพันธ์ โดยใช้วิธี (Generalized Modus Ponens :GMP) คือ การสรุปจากเหตุไปหาผล โดยทั่วไปในการสร้างตัวควบคุมฟัซซีลอจิก จะนิยมใช้การเชื่อมโยงแบบ GMP ด้วยวิธี Mamdani ดังนั้น วิธีการอินเฟอเรนซ์แบบ Mamdani กำหนดให้ระบบฟัซซีลอจิกแบบ Mamdani มี 2 อินพุต x_1 และ x_2 (Antecedent) และ 1 เอาต์พุต y (Consequent) ซึ่งมีกฎฟัซซีลอจิกเป็น

$$\text{IF } x_1 \text{ is } A_{k1} \text{ and } x_2 \text{ is } A_{k2} \text{ THEN } y \text{ is } B_k \quad \text{สำหรับ } k = 1, 2, \dots, n$$

ผลรวมเอาต์พุตหาได้ โดยการใช้วิธีการจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุด-ต่ำสุด (Max-Min Composition) วิธีการจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุด-ต่ำสุด

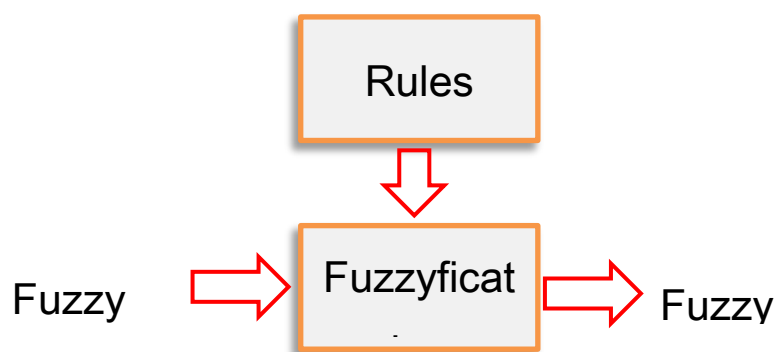
$$m_{B_k}(y) = \max_i \left[\min_j (m_{A_{k1}}(\text{Input}(i)), m_{A_{k2}}(\text{Input}(j))) \right] \quad \text{สำหรับ}$$

$$k = 1, 2, \dots, n$$



ภาพที่ 2-25 วิธีการอินเฟอเรนซ์แบบ Mamdani(Max-Min)

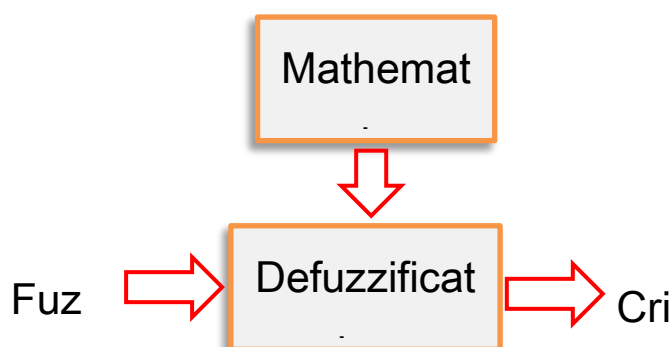
2.3.5.3 ขั้นตอนที่ 3 เป็นการหาฟัซซีเอาต์พุต โดยการนำกฎการควบคุมที่สร้างขึ้น ในขั้นตอนที่ 2 มาประมวลผลกับฟัซซีอินพุต โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำค่าที่ได้ประมวลผลดังภาพที่ 2-26



ภาพที่ 2-26 ขั้นตอนที่ 3 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

2.3.5.4 ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนสุดท้ายหรือขั้นตอนการสรุปเหตุผลฟัซซีลอจิก โดยจะเปลี่ยนฟัซซีลอจิกเอาต์พุตให้เป็นทวินัยเอาต์พุตตามภาพที่ 2-27 ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์เช่นวิธีการหาจุดศูนย์กลาง (Central of Gravity :

COG) เพื่อนำค่าที่ได้มาใช้ในการตัดสินใจเพื่อควบคุมระบบในสถานการณ์นั้นๆ



ภาพที่ 2-27 ขั้นตอนที่ 4 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification) ทำหน้าที่แปลงค่าฟัซซีเซตที่ได้จากกลไกการประเมินให้อยู่ในรูปของคลิ๊ปเซต เพื่อใช้เป็นค่าที่นำไปควบคุม โดยใช้วิธีดีฟัซซิฟิเคชันแบบ Center of Gravity

วิธีการหาจุดศูนย์ถ่วง เป็นวิธีการเฉลี่ยผลที่ได้จากการตีความหาเหตุที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ค่าที่ได้จะคำนวณจุดศูนย์ถ่วงโดยรวมจะหาได้จากการประมาณค่าจากสมการ

$$COG = \frac{\sum_{i=1}^N a_i w_i}{\sum_{i=1}^N a_i}$$

(2-10)

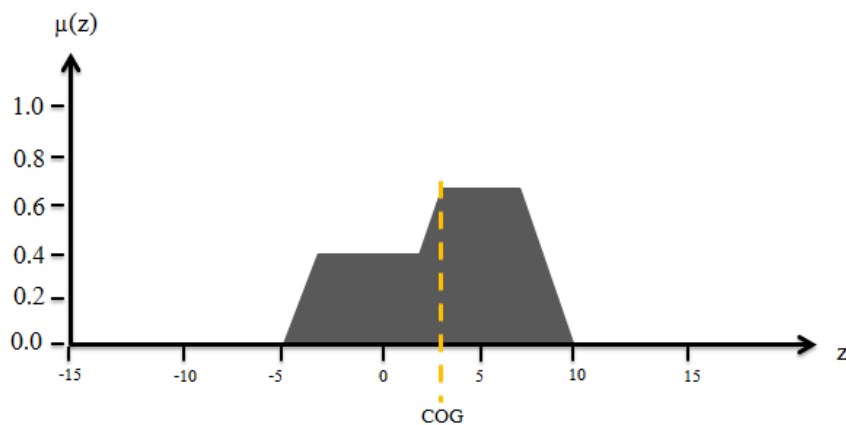
โดยสมการ ได้กำหนดค่าของสมการดังนี้

COG คือ ค่าของจุดศูนย์กลางถ่วง (Central of Gravity)

N คือ ค่าตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งที่ i

α_i คือ ค่าฟัซซีลอจิกของเอาต์พุตในเซตฟัซซีลอจิก
ตำแหน่งที่ i

w_i คือ พื้นที่ใต้โค้งของเซตฟัซซีลอจิกตำแหน่งที่ i

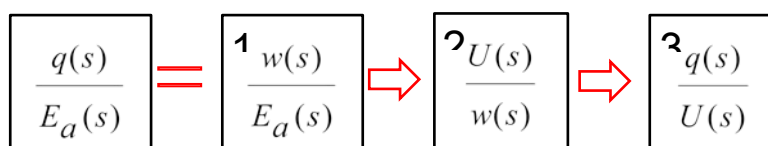


ภาพที่ 2-28 เทคนิคการเปลี่ยนฟัซซีเอาต์พุตให้เป็นเอาต์พุตแบบ
ดั้งเดิม

2.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบแพนดูลัมผกผัน

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบแพนดูลัมผกผัน

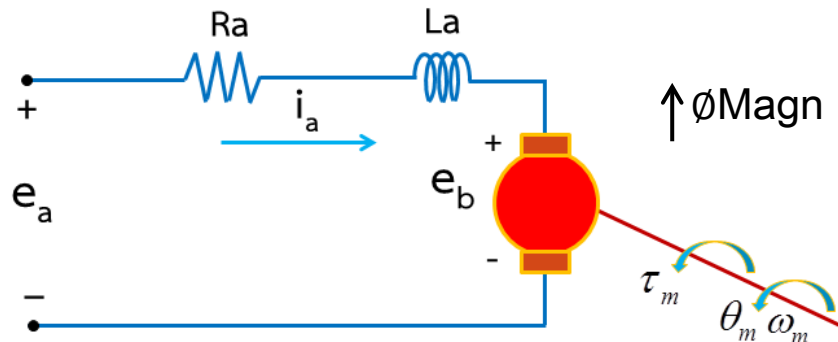
โดยรวมของระบบจะเป็นดังบล็อกไดอะแกรม ดังภาพที่ 2-29



ภาพที่ 2-29 บล็อกไดอะแกรม แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบเพนดูลัมผกผัน

จากภาพที่ 2-29 บล็อกไดอะแกรมส่วนที่ 1 จะเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยอินพุตจะเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ เอาต์พุตจะเป็นความเร็วรอบในการหมุนของมอเตอร์ ส่วนบล็อกไดอะแกรมส่วนที่ 2 จะเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมู่เล่กับแรงในการดึงตัวรถโดยอินพุตจะเป็นความเร็วรอบที่มอเตอร์หมุนผ่านมายังมู่เล่ เอาต์พุตจะเป็นแรงที่ได้จากการหมุนของมู่เล่ไปขับสายพานที่ติดอยู่กับตัวรถ ส่วนสุดท้ายเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของตัวรถและแท่งเพนดูลัม โดยอินพุตจะเป็นแรงที่กระทำกับตัวรถ เอาต์พุตจะเป็นมุมของแท่งเพนดูลัม

2.4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบความเคมแรงดันที่จ่ายเข้าจาดลวดคาร์เมเจอร์



ภาพที่ 2-30 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ใช้กฎ Kirchhoff 's Voltage Law : KVL เพื่อหา Transfer function ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จะได้ดังสมการที่ 2-11

$$L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a = e_a - e_b$$

(2-11)

ค่า L_a มีค่าน้อยมากเพราะเป็นไฟฟ้ากระแสตรงจึงกำหนดให้มีค่าเป็น 0 จะทำให้ได้สมการที่ง่ายขึ้นดังสมการที่ 2-12

$$R_a i_a = e_a - e_b$$

$$i_a = \frac{e_a - e_b}{R_a}$$

(2-12)

โดยค่าของ e_b คือค่าของแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับเมื่อมอเตอร์หมุนมีค่าเท่ากับ

$$K \frac{d\theta_m}{dt} = k_b \dot{\theta}_m$$

(2-13)

แทนสมการ 2-13 ลงในสมการที่ 2-12 จะได้เป็นสมการที่ 2-14

$$i_a = \frac{e_a - k_b \dot{\theta}_m}{R_a}$$

(2-14)

รวม Torque ที่เกิดขึ้นที่เพลของมอเตอร์จะได้เป็นสมการที่ 2-15

$$T_m = J_m \ddot{\theta}_m + D \dot{\theta}_m$$

(2-15)

เมื่อ $T_m = k_t i_a$ แทนลงในสมการ 2-15 จะได้เป็นสมการที่ 2-16

$$k_t i_a = J_m \ddot{\theta}_m + D \dot{\theta}_m$$

(2-16)

แทนสมการที่ 2-14 ลงในสมการที่ 2-16 จะได้เป็นสมการที่ 2-17

$$\frac{k_t e_a - k_b \ddot{\theta}_m}{R_a} = J_m \ddot{\theta}_m + D \dot{\theta}_m$$

(2-17)

จัดรูปสมการใหม่จะได้เป็นสมการที่ 2-18

$$\frac{k_t e_a - k_b \ddot{\theta}_m}{R_a} = J_m \ddot{\theta}_m + D \dot{\theta}_m$$

$$\frac{k_t e_a}{R_a} = J_m \ddot{\theta}_m + (D + \frac{k_t k_b}{R_a}) \dot{\theta}_m$$

(2-18)

Take Laplace สมการที่ 2-18 แล้วจะได้เป็นสมการที่ 2-19

$$E_a(s) \frac{k_t}{R_a} = J_m q_m(s) s^2 + (D + \frac{k_t k_b}{R_a}) q_m(s) s$$

(2-19)

$$E_a(s) \frac{k_t}{R_a} = J_m s + (D + \frac{k_t k_b}{R_a}) q_m(s) s$$

(2-20)

จัดรูปแบบสมการเพื่อทำให้อยู่ในรูป $E_a(s)$ เป็นอินพุตที่ป้อนเข้าไป และ $q_m(s)s$ คือเอาต์พุตที่ได้

$$q_m(s)s = \frac{E_a(s) \frac{k_t}{R_a}}{J_m s + D + \frac{k_t k_b}{R_a}}$$

(2-21)

$$q_m(s)s = \frac{E_a(s) \frac{k_t}{R_a}}{J_m R_a s + D R_a + k_t k_b}$$

$$\frac{q_m(s)s}{E_a(s)} = \frac{k_t}{J_m R_a s + D R_a + k_t k_b}$$

(2-22)

เมื่อ $q(s)s = w(s)$ แทนลงในสมการที่ 2-22 จะได้เป็นสมการที่ 2-23

$$\frac{w(s)}{E_a(s)} = \frac{k_t}{J_m R_a s + D R_a + k_t k_b}$$

(2-23)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะได้

เป็นสมการที่ 2-24

$$\frac{w(s)}{E_a(s)} = \frac{k_m}{t s + 1}$$

(2-24)

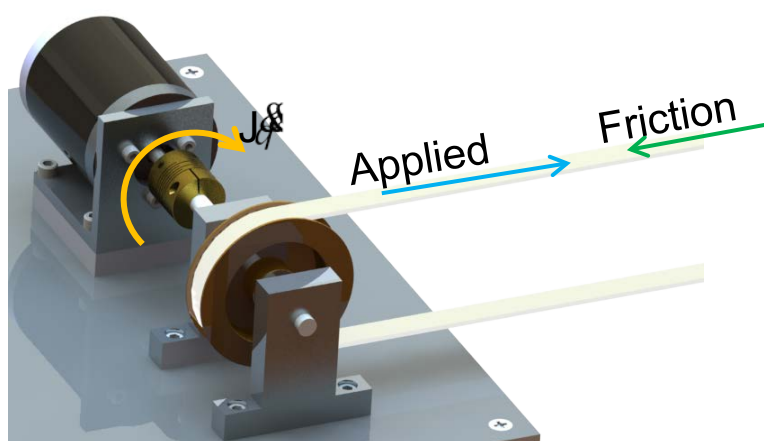
เมื่อกำหนดให้ $k_m = \frac{k_t}{D R_a + k_t k_b}$ และ $t = \frac{R_a J_m}{D R_a + k_t k_b}$

ตารางที่ 2-1 พารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

พารามิเตอร์	คำบรรยาย	พารามิเตอร์	คำบรรยาย
E_a	Armature voltage	T_L	Load torque
R_a	Armature resistance	f	Magnetic flux
L_a	Armature inductance	ω_m	Rotor angular velocity
D	Viscous-friction	J_m	Moment of inertia Motor
K_t	Torque constant	q_m	Motor displacement
K_b	Back EMF	K_m	Gain of motor

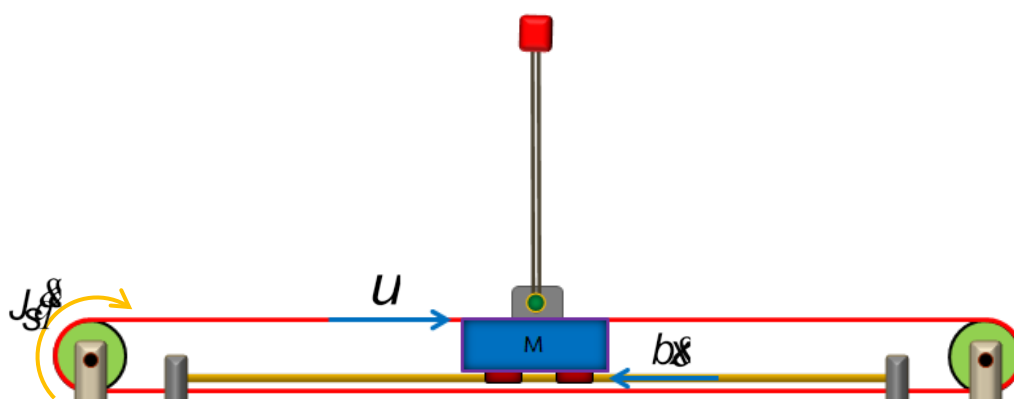
	constant		
i_a	Armature current	T_m	Motor torque
E_b	Back EMF voltage		

2.4.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมู่เล่กับแรงในการดึงตัวรถ ของระบบ โดยตัวรถถูกติดตั้งบนรางโดยผ่านการดึงด้วยสายพานที่คล้องอยู่กับมู่เล่



ภาพที่ 2-31 แรงที่เกิดขึ้นเมื่อมอเตอร์หมุน

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมู่เล่ เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ระหว่างความเร็วเชิงมุมจากการหมุนของมอเตอร์ แล้วเปลี่ยนเป็นแรงที่ใช้ในการขับเคลื่อนตัวรถที่ติดอยู่กับสายพานที่คล้องอยู่กับมู่เล่



→ r

ภาพที่ 2-32 Free Body Diagram ของแรงที่เกิดขึ้นที่มู่เล่

ตัวรถถูกติดตั้งบนรางโดยผ่านการติดตั้งด้วยสายพานที่คล้องอยู่กับมู่เล่ ส่วนต่างๆมีอิสระในการเคลื่อนที่เพราะ ไม่คำนึงถึงความฝืดที่เกิดขึ้นของมู่เล่ และสายพาน เมื่อมอเตอร์หมุนเพื่อรักษาสมดุลของแท่งแพนดูลัม จะทำให้เกิดโมเมนต์ ซึ่งโมเมนต์ตัวนี้ ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ เช่น รัศมีของมู่เล่ และมวลของตัวรถ จะได้สมการเคลื่อนที่เชิงมุมดังนี้

$$J_S \ddot{\theta} = t_p$$

(2-25)

เมื่อ t_p คือแรงบิดที่เกิดขึ้นเมื่อมอเตอร์หมุน โดย J_S เป็นโมเมนต์อินเนเชียของมู่เล่

$$J_S = M_t r^2$$

(2-26)

หาความสัมพันธ์ระหว่างแรง u เป็นพารามิเตอร์การเคลื่อนที่เชิงเส้นกับการเคลื่อนที่เชิงมุม w ดังนั้นจะได้สมการ

$$t_p = Fr$$

(2-27)

เมื่อ F คือแรงดึงจากสายพาน r คือรัศมีของมู่เล่ แทนสมการ 2-25 ลงในสมการที่ 2-27 จะได้เป็นสมการที่ 2-28

$$J_s \ddot{\theta} = Fr$$

(2-28)

แทนสมการ 2-26 ลงในสมการที่ 2-28 จะได้เป็นสมการที่ 2-29

$$M_t r^2 \ddot{\theta} = Fr$$

(2-29)

รวมแรงที่เกิดขึ้นเมื่อมอเตอร์หมุน จะได้เป็นสมการที่ 2-30

$$F = u - f_b$$

(2-30)

เมื่อ u คือแรงในการขับเคลื่อนตัวรถ f_b คือแรงต้านการเคลื่อนที่

$$f_b = bv = b \frac{dx}{dt} = b\dot{x}$$

(2-31)

แทนสมการที่ 2-30 ลงในสมการที่ 2-29 จะได้เป็นสมการที่ 2-32

$$M_t r^2 \ddot{\theta} = (u - F_b)r$$

(2-32)

แทนสมการที่ 2-31 ลงในสมการที่ 2-32 จะได้เป็นสมการที่ 2-33

$$M_t r^2 \ddot{\theta} = (u - b\dot{x})r$$

(2-33)

เมื่อ $x = r\theta$ แทนลงในสมการที่ 2-33 จะได้เป็นสมการที่ 2-34

$$M_t r^2 \ddot{\theta} = (u - br\dot{\theta})r$$

(2-34)

Take Laplace สมการที่ 2-34 จะได้เป็นสมการที่ 2-35

$$M_t r^2 q(s) s^2 = (U(s) - brq(s)s)r$$

(2-35)

จัดรูปแบบสมการให้อยู่ในรูป อินพุตเป็น $U(s)$ เอาต์พุตเป็น $q(s)s$ จะได้เป็นสมการที่ 2-36

$$\frac{U(s)}{q(s)s} = (M_t rs + br)$$

(2-36)

เมื่อ $q(s)s = w(s)$ และกำหนดให้ค่า $b = 0$ โดยไม่คิดค่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น แทนค่าทั้งสองลงในสมการที่ 2-36 จะได้เป็นสมการที่ 2-37

$$\frac{U(s)}{w(s)} = M_t rs$$

(2-37)

U คือ แรงในการขับเคลื่อนตัวรถ

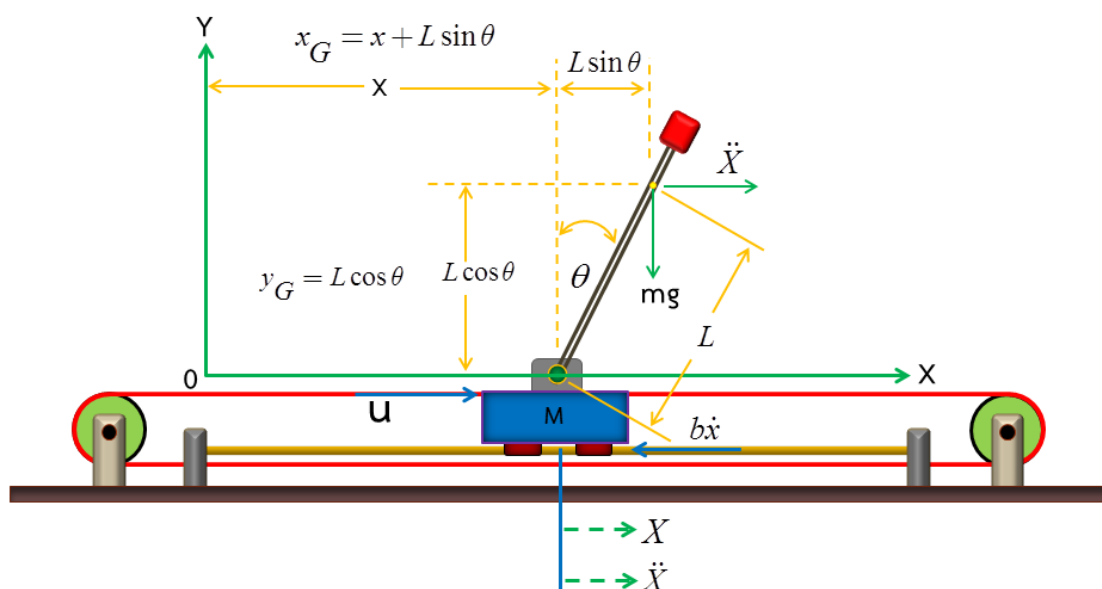
w คือ ความเร็วในการหมุนของมอเตอร์

M_t คือ มวลของตัวรถรวมกับมวลของแท่ง

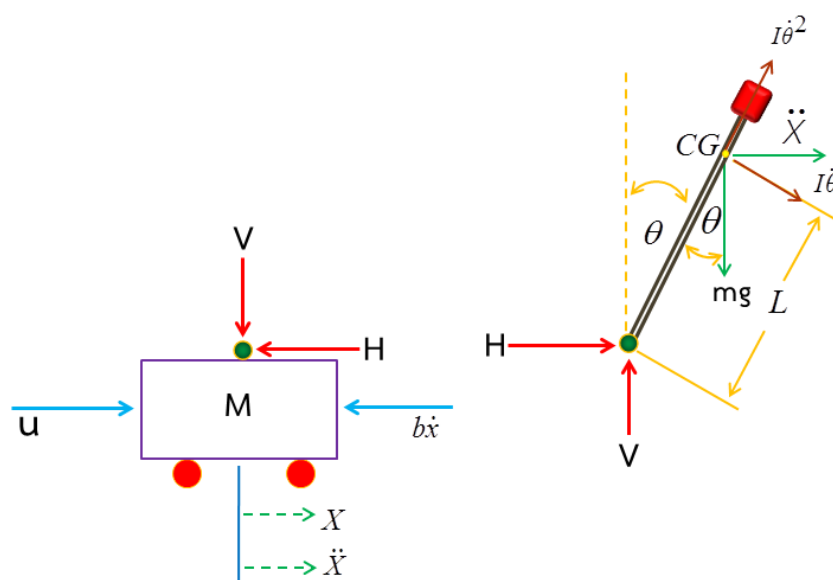
แพนดูลัม

r คือ รัศมีของมู่เส่

2.4.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของตัวรถกับแท่งแขน ตุลัม



ภาพที่ 2-33 ระบบแท่งตุลัมผกผัน



ภาพที่ 2-34 Free Body Diagram ของระบบเพนดูลัม
ผกผัน

กำหนดจุด (Center of gravity :CG) ของแท่งเพนดูลัม เป็น x_G
และ y_G ตามแนวแกน X และแกน Y

$$x_G = x + L \sin \theta$$

(2-38)

$$y_G = L \cos \theta$$

(2-39)

แรงที่เกิดขึ้นที่ตัวรถเมื่อตัวรถเกิดการเคลื่อนที่

แรงที่เห็นในภาพที่ 2-34 เป็นแรงที่เกิดในแนวนอนเพื่อให้ตัว
รถเกิดการเคลื่อนที่ เขียนเป็นสมการของแรง ได้ดังนี้

$$fM + f_b + H = u$$

(2-40)

แรง fM คือ แรงที่เกิดขึ้นที่ตัวรถ จากกฎข้อที่สองของนิวตันจะได้
เป็นสมการที่ 2-41

$$fM = Ma = M \frac{dx^2}{dt^2} = M\ddot{x}$$

(2-41)

แรง f_b คือ แรงที่ต้านการเคลื่อนที่ของตัวรถ จากกฎข้อที่สองของนิวตันจะได้เป็นสมการที่ 2-42

$$f_b = b v = b \frac{dx}{dt} = b \dot{x}$$

(2-42)

แรงในแนวนอนในทิศทางของ H เมื่อแท่งแพนดูลัม เคลื่อนที่ จะได้เป็นสมการที่ 2-43

$$H = m \frac{dx_G^2}{dt^2}$$

(2-43)

เมื่อแทนสมการ 2-38 ลงในสมการที่ 2-43 จะได้เป็นสมการที่ 2-44

$$H = m \frac{d^2}{dt^2} (x + L \sin \theta)$$

(2-44)

จากสมการที่ 2-44 เมื่อนำมา Differential จะได้เป็นสมการที่ 2-45

$$H = m \ddot{x} + mL \ddot{\theta} \sin \theta + mL \cos \theta \dot{\theta}^2$$

(2-45)

แทนสมการที่ 2-41, 2-42, 2-45 ลงในสมการที่ 2-40 จะได้เป็นสมการที่ 2-46

$$M \ddot{x} + b \dot{x} + m \ddot{x} + mL \ddot{\theta} \sin \theta + mL \cos \theta \dot{\theta}^2 = u$$

(2-46)

จัดรูปสมการใหม่

$$(M + m)\ddot{x} + m\ddot{L}\sin\theta + mL\ddot{\theta}\cos\theta = u$$

(2-47)

รวมแรงในแนวตั้งในทิศทางของ V

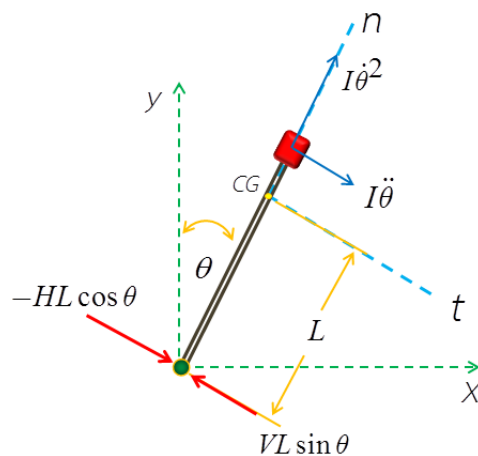
$$V - mg = m\frac{d^2}{dt^2}(L\cos\theta)$$

(2-48)

จากสมการที่ 2-48 เมื่อนำมา Differential จะได้เป็นสมการที่ 2-49

$$V = -mL\cos\theta\ddot{\theta} - mL\sin\theta\dot{\theta}^2 + mg$$

(2-49)



ภาพที่ 2-35 โมเมนต์ที่เกิดขึ้นรอบจุด CG ของแท่งแพนดูลัม

รวม Moment ที่เกิดขึ้นรอบๆจุด Center of gravity : CG ของแท่งแบนดูลัม หลังจากนั้นเราจะได้สมการที่ 2-50

$$I\ddot{\theta} = -HL \cos q + VL \sin q \quad (2-50)$$

นำสมการที่ 2-45 และ 2-49 แทนค่าลงในสมการที่ 2-50 จะได้เป็นสมการที่ 2-51

$$I\ddot{\theta} = - (mL \sin q \ddot{q} + mL \cos q \dot{q}^2) L \cos q + (-mL \cos q \ddot{q} - mL \sin q \dot{q}^2 + mg) L \sin q \quad (2-51)$$

คูณ $L \cos q$ กับ $L \sin q$ เข้าไปในสมการที่ 2-51 จะได้สมการที่ 2-52

$$I\ddot{\theta} = -mL^2 \cos q \ddot{q} + mL^2 \sin q \dot{q}^2 \cos q - mL^2 \cos^2 q \dot{q}^2 - mL^2 \cos q \ddot{q} \sin q - mL^2 \sin^2 q \dot{q}^2 + mgL \sin q \quad (2-52)$$

$$I\ddot{\theta} = -mL^2 \cos q \ddot{q} - mL^2 \dot{q}^2 \cos^2 q - mL^2 \dot{q}^2 \sin^2 q + mgL \sin q \quad (2-53)$$

$$I\ddot{\theta} = -mL^2 \cos q \ddot{q} - (\cos^2 q + \sin^2 q) mL^2 \dot{q}^2 + mgL \sin q \quad (2-54)$$

จาก $\cos^2 q + \sin^2 q = 1$ แทนลงในสมการที่ 2-54 จะได้เป็นสมการที่ 2-55

$$I\ddot{\theta} = -mL^2 \cos q \ddot{q} - mL^2 \dot{q}^2 + mgL \sin q \quad (2-55)$$

จัดรูปสมการที่ 2-55 ใหม่จะได้เป็นสมการที่ 2-56

$$(I + mL^2)\ddot{\theta} + mgL \sin \theta = -mL\ddot{\phi} \cos \theta$$

(2-56)

จากสมการที่ 2-47 และ 2-56 ที่ได้มาจะอธิบายถึงคุณสมบัติทางไดนามิกของระบบเพนดูลัมผกผัน

$$(M + m)\ddot{x} + b\dot{x} + mL\ddot{\phi} \cos \theta - mL\dot{\phi}^2 \sin \theta = u$$

$$(I + mL^2)\ddot{\theta} + mgL \sin \theta = -mL\ddot{\phi} \cos \theta$$

เนื่องจากสมการที่ 2-47 และ 2-56 ทั้ง 2 สมการไม่เป็นเชิงเส้น(Non Linear) ซึ่งไม่เหมาะสมในการใช้งานต้องทำสมการทั้ง 2 ให้เป็น เชิงเส้น(Linear) โดยพิจารณา จุดที่มันทำงาน คือที่มุม $\theta = p$ ค่า $\cos(p + f) = -1$ ค่า $\sin(p + f) = -\phi$ และ $\dot{\phi} = 0$ จะได้สมการที่เป็นเชิงเส้น ซึ่งอธิบายการเคลื่อนที่ของระบบเพนดูลัมผกผัน ดังนี้

$$(M + m)\ddot{x} + b\dot{x} + mL\ddot{\phi} = u$$

(2-57)

$$(I + mL^2)\ddot{\theta} + mg\theta = mL\ddot{\phi}$$

(2-58)

แปลงสมการที่ 2-57 และ 2-58 ทั้ง 2 ให้อยู่ในรูปของ Laplace Transform โดยการ Take Laplace เข้าไปทั้งสองสมการก็จะได้นี้

$$(M + m)X(s)s^2 + bX(s)s - mLQ(s)s^2 = U(s)$$

(2-59)

$$(I + mL^2)Q(s)s^2 + mgLQ(s) = mLX(s)s^2$$

(2-60)

หลังจากได้ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เรียบร้อยแล้ว ค่าเริ่มต้น จะถูกสมมติให้เป็น 0 เราจะได้แรงที่กระทำต่อตัวรถเป็นอินพุต เอาต์พุตจะเป็นมุมของแท่งแพนดูลัม จะเป็นไปตามสมการต่อไปนี้

$$X(s) = \frac{\frac{d}{dt}I + mL^2 s^2 + mgL}{mLs^2} \ddot{\theta}(s)$$

(2-61)

จากสมการที่ 2-61

$$X(s) = \frac{\frac{d}{dt}I + mL^2}{mL} + \frac{g}{s^2} \ddot{\theta}(s)$$

(2-62)

นำสมการที่ 2-62 แทนค่าลงในสมการที่ 2-59 จะได้เป็นสมการ 2-63

$$(M + m) \frac{\frac{d}{dt}I + mL^2}{mL} + \frac{g}{s^2} \ddot{\theta}(s) s^2 + b \frac{\frac{d}{dt}I + mL^2}{mL} + \frac{g}{s^2} \ddot{\theta}(s) s - mL \ddot{\theta}(s) s^2 = U(s) \quad (2-63)$$

จัดรูปสมการที่ 2-63 ใหม่จะได้เป็นสมการที่ 2-64

$$U(s) = \frac{\frac{d}{dt}MI + MmL^2}{mL} + \frac{Mg}{s^2} + \frac{mI + m^2L^2}{mL} + \frac{mg}{s^2} \ddot{\theta}(s) s^2 + \frac{\frac{d}{dt}bI + bmL^2}{mL} + \frac{bg}{s^2} \ddot{\theta}(s) s - mL \ddot{\theta}(s) s^2$$

(2-64)

ดึงตัวร่วม $\ddot{\theta}(s)s^2$ และ $\ddot{\theta}(s)s$ ออกจากสมการ 2-64 จะได้เป็นสมการที่ 2-65

$$U(s) = \frac{MI + MmL^2 + mL + m^2L^2}{\theta(s)s} + \frac{Mg + mg}{s^2} - mL \ddot{\theta}(s)$$

$$\frac{bI + bmL^2}{mL} + \frac{bg}{s^2} + \theta(s)$$

(2-65)

ดึงตัวร่วม $q(s)$ ออกจากสมการที่ 2-65 แล้วทำตัวส่วนของสมการให้เท่ากัน

$$U(s) = \frac{MI s^3 + MmL^2 s^3 + mL s^3 + bI s^2 + bmL^2 s^2 + MgmL s + m^2 gL s + bgmL}{mL s} q(s)$$

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบแพนดูลัมผกผัน ที่เราต้องการคือ อินพุตเป็น แรง เอาต์พุตที่ได้จะเป็น มุม ของแท่งแพนดูลัม ทำการย้ายข้างสมการก็จะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบแพนดูลัมผกผัน ที่เราต้องการดังสมการที่ 2-66

$$\frac{q(s)}{U(s)} = \frac{mL s}{MI s^3 + MmL^2 s^3 + mL s^3 + bI s^2 + bmL^2 s^2 + MgmL s + m^2 gL s + bgmL} \quad (2-66)$$

ถ้าไม่คิดค่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจะทำให้ได้สมการที่ง่ายขึ้น กำหนดให้ $b = 0$ จะได้ดังสมการที่ 2-67

$$\frac{q(s)}{U(s)} = \frac{mL s}{(MI + MmL^2 + mL)s^3 + (MgmL + m^2 gL)s}$$

$$\frac{q(s)}{U(s)} = \frac{mL}{(MI + MmL^2 + mL)s^2 + MgmL + m^2 gL}$$

(2-67)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบทั้งหมดจะเป็น สมการแบบ Open Loop ไม่ได้ถูกควบคุม และยังเป็นสมการที่ตั้ง

สมมุติฐานว่าแท่งแพนดูลัม ทำงานอยู่ในช่วงองศาเล็กๆคือ การทำให้เป็นเชิงเส้น(Linearization)

ตารางที่ 2-2 พารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบแพนดูลัมผกผัน

พารามิเตอร์	คำบรรยาย
M	มวลของตัวรถ
m	มวลของแท่งแพนดูลัม
L	ความยาวของแท่งแพนดูลัม จากจุดหมุนถึงจุดเซ็นเตอร์ของแท่งแพนดูลัม
I	โมเมนต์อินเนอร์เชียของแท่งแพนดูลัม
r	รัศมีของมู่เล่
b	แรงต้านการเคลื่อนที่ของตัวรถ
g	ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
θ	มุมของแท่งแพนดูลัม

U	แรงกระทำที่ตัวรถจากการหมุนของมอเตอร์
---	--------------------------------------

2.5 โปรแกรมแลบวิว



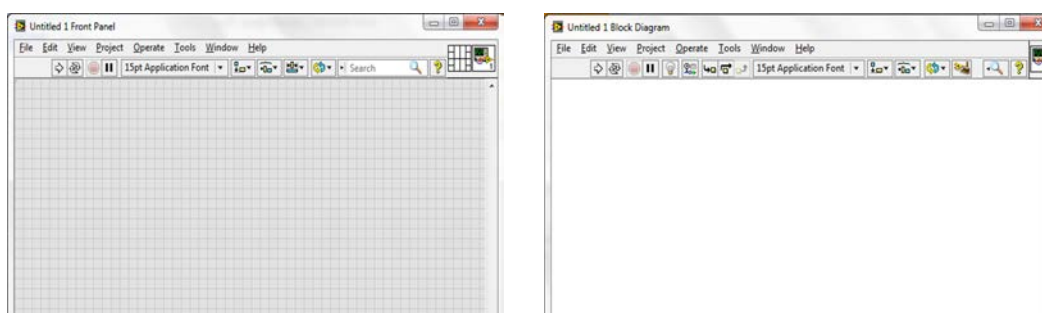
ภาพที่ 2-36 โปรแกรมแลบวิว

แลบวิว คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นเพื่อนำมาใช้ในด้านการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม LabVIEW นั้นย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench หมายความว่า เครื่องมือเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการ

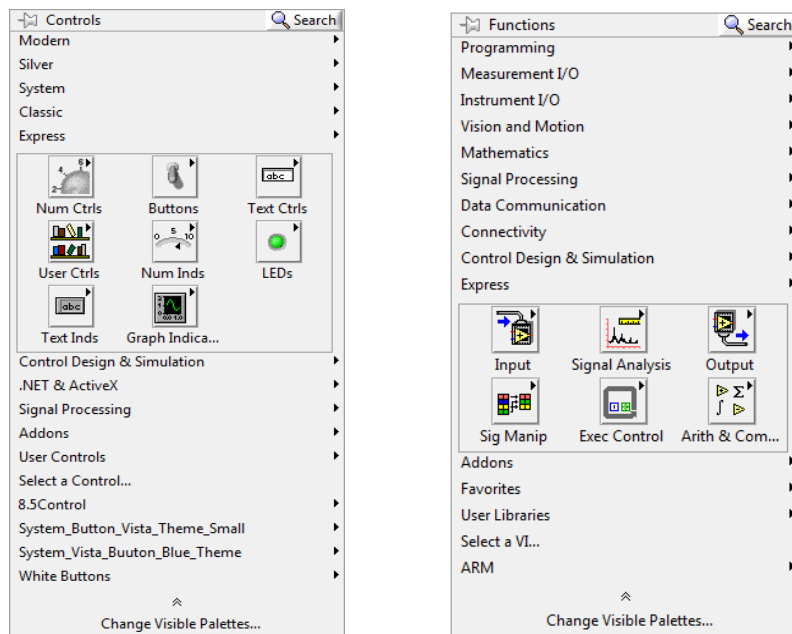
ทางวิศวกรรม ซึ่งจุดประสงค์ของการทำงานของโปรแกรมนี้คือการจัดการในด้านการวัดและเครื่องมือวัด อย่างมีประสิทธิภาพ โปรแกรมแลบVIEWมีข้อแตกต่างจากโปรแกรมอื่นคือ เป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphical User Interface : GUI) คือไม่จำเป็นต้องเขียนโค้ด (Code) หรือคำสั่งใดๆ และลักษณะภาษาที่ใช้เขียนในโปรแกรมนี้จะเรียกว่าเป็น ภาษารูปภาพ (Graphic Language) แม้ว่าในเบื้องต้นอาจจะไม่คุ้นเคยหรือสับสนกับการจัดเรียงหรือเขียนโปรแกรม แต่เมื่อได้คุ้นเคยการใช้โปรแกรมนี้แล้วจะพบว่าโปรแกรมแลบVIEWมีความสะดวก และสามารถลดเวลาในการเขียนโปรแกรมไปได้มาก โดยเฉพาะในงานเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์อื่นๆ เพื่อใช้ในการวัดและการควบคุม

การเขียนโปรแกรมด้วยแลบVIEWมีอยู่ 2 ส่วนการเขียนคือ ส่วนแรกคือ Front Panel จะเป็นหน้าต่างเมื่อรันโปรแกรม Front Panel จะส่วนแสดงผลหรือควบคุมก็ได้ ขึ้นอยู่กับการเขียนโปรแกรมไว้ ในส่วนที่สอง คือ Block Diagram เปรียบกับเป็นโค้ดของโปรแกรม ในทั้งสองหน้าต่างก็จะมีเครื่องมือในการเขียนโปรแกรม เมื่อวางเครื่องมือในหน้าต่างของ Front Panel ฟังก์ชันก็จะเกิดขึ้น

ใน Block Diagram อัตโนมัติ ยกเว้น เครื่องมือที่ไม่เกี่ยวกับการประมวลผล เป็นหมายเหตุ หรือตกแต่งให้สวยงามเท่านั้น เครื่องมือใน Front Panel เรียกว่า ควบคุม (Controls) และเครื่องมือใน Block Diagram เรียกว่า ฟังก์ชัน (Functions) ดังแสดงในภาพที่ 2-37



ภาพที่ 2-37 หน้าต่างใช้งานในโปรแกรมแลบวิว



ภาพที่ 2-38 เครื่องมือใช้ใน Front Panel และ Block Diagram

2.5.1 Data type

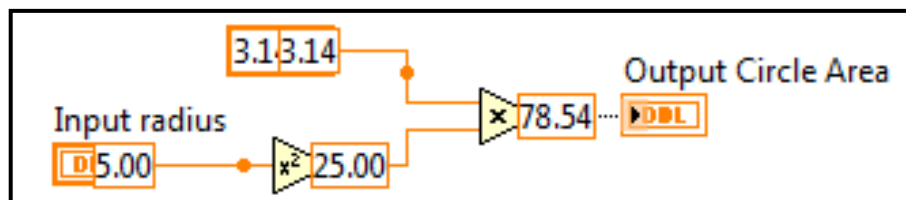
เนื่องจากข้อมูลในแลบVIEWนั้นมีหลายแบบคือ เลขทศนิยม, เลขจำนวนจริง, ตัวอักษร หรือค่าจริง-เท็จ (Boolean) ดังนั้นเพื่อแสดงถึงความแตกต่างของข้อมูลแต่ละแบบ โปรแกรมแลบVIEWจึงได้กำหนดให้ลักษณะของเส้น (Wires) สำหรับข้อมูลแต่ละแบบมีลักษณะของเส้นและสีที่แตกต่างกัน นอกจากนั้นข้อมูลแต่ละแบบดังกล่าวยังอาจมีลักษณะเป็น Scalars, 1-D Array, 2-D Array ลักษณะของเส้นของข้อมูลแต่ละแบบก็จะแตกต่างกันออกไปอีก แสดงดังตาราง 2-3

ตารางที่ 2-3 ลักษณะของเส้นข้อมูลแต่ละชนิดในแลบVIEW

ชนิดของเส้นข้อมูลในโปรแกรมแลบVIEW				
ชนิดของข้อมูล	Scalars	1-D Array	2-D Array	สี
เลขทศนิยม				ส้ม
เลขจำนวนเต็ม				น้ำเงิน
Boolean				เขียว
ตัวอักษร				ชมพู

2.5.2 Dataflow Programming

โปรแกรม VI ที่สร้างด้วยโปรแกรมแลบวิวมีรูปแบบการทำงานในลักษณะของ Dataflow Programming คือการทำงานขึ้นอยู่กับการไหลของข้อมูลระหว่างบล็อกฟังก์ชันต่าง ๆ ในลักษณะที่ทำงานพร้อมกัน (Simultasking and Multithreaded Systems) นอกจากนี้ยังสามารถติดต่อกับโปรแกรม VI อื่น ๆ เพื่อรับส่งข้อมูลได้



รูปที่ 2-39 ลักษณะการทำงานแบบ Dataflow ของโปรแกรมแลบวิว

2.5.3 พีโอดีในโปรแกรมแลบวิว (PID Controller)

พีโอดีในโปรแกรมแลบวิวจะหาค่าผิดพลาด (E) จากการเปรียบเทียบค่าแตกต่าง ระหว่าง ค่าที่จุดกำหนด (SP) และค่าประมวลผล (PV)

$$e = SP - PV \quad (2-68)$$

ดังนั้น พีโอดีจะคำนวณหาค่าเอาต์พุต ($u(t)$) โดยที่ K_c คืออัตราขยายในการควบคุม

$$u(t) = K_c e + \frac{1}{T_i} \int_0^t e dt + T_d \frac{de}{dt}$$

(2-69)

ถ้าค่าผิดพลาด (Error) และค่าเอาต์พุตอยู่ในช่วง -100 เปอร์เซ็นต์ ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ค่าที่ส่งออกมาต์พุตจะเป็นค่ากลับกันในช่วงของ ค่า Proportional (K_p) T_i คือค่าอินทิกรัลของเวลาในนาที่ (Integral Time in Minutes) เรียกว่า รีเซตไทม์ (Reset Time) T_d คือค่าความแตกต่างของเวลาในนาที่ (Derivative Time in Minutes) เรียกว่า เรทไทม์ (Rate Time)

สมการคำนวณหาค่าของ Proportional คือ

$$u_P(t) = K_c e$$

(2-70)

สมการคำนวณหาค่าของ Integral คือ

$$u_I(t) = \frac{K_c}{T_i} \int_0^t e dt$$

(2-71)

สมการคำนวณหาค่าของ Derivative คือ

$$u_D(t) = K_c T_d \frac{de}{dt}$$

(2-72)

สัญญาณที่ส่งออกมาต์พุตของพีไอดีเป็นผลรวมระหว่างค่า Proportional, Integral และ Derivative ดังแสดงในสมการ

$$u(k) = u_P(k) + u_I(k) + u_D(k)$$

(2-73)

ค่าจำกัดเอาต์พุตของพีไอดีแท้จริงแล้วเอาต์พุตของการควบคุมแบบพีไอดีในแลบVIEW กำหนดค่าสูงสุด-ต่ำสุดของค่าที่จะส่งออกไปเพื่อควบคุม ค่าที่ส่งออกไป

ถ้า $u(k) > u_{max}$ ดังนั้นให้ $u(k) = u_{max}$

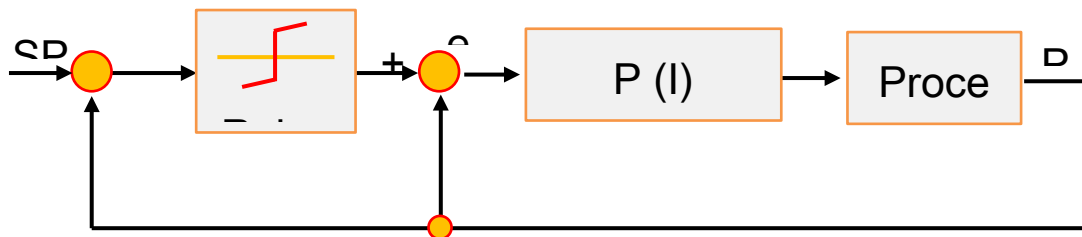
และ

ถ้า $u(k) < u_{min}$ ดังนั้นให้ $u(k) = u_{min}$

ดังนั้นสมการที่แท้จริงในการคำนวณหาเอาต์พุตในรูปแบบของพีไอดีในแลบVIEW คือ

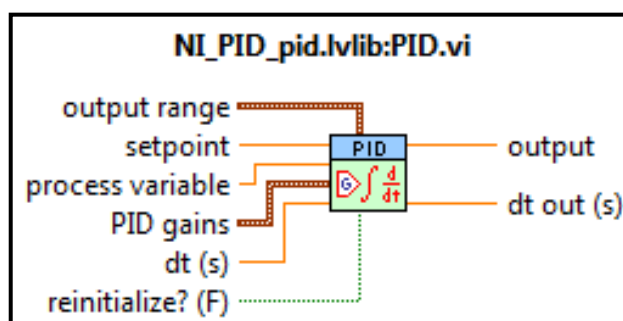
$$u(t) = K_C \left(SP - PV \right) + \frac{1}{T_i} \int_0^t (SP - PV) dt - T_d \frac{dPV}{dt} \quad (2-74)$$

บล็อกไดอะแกรมลำดับการประมวลผลเอาต์พุตของฟังก์ชันพีไอดีในแลบVIEW

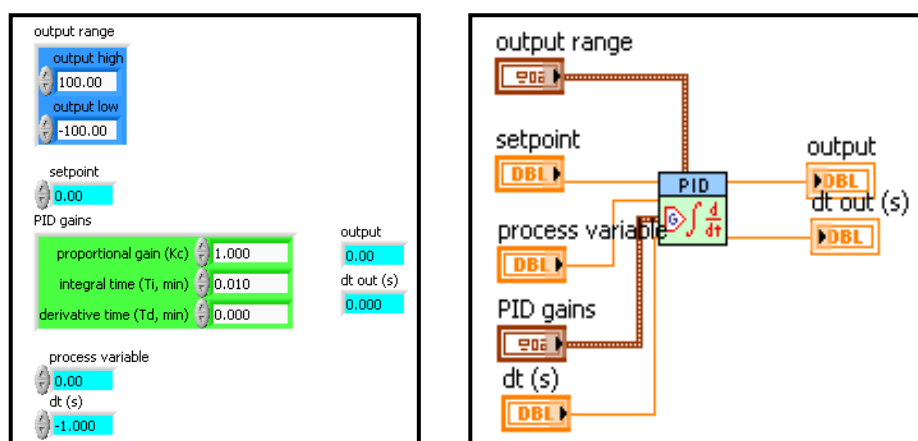


ภาพที่ 2-40 การประมวลผลของพีไอดีกำหนดจุดและช่วงเวลาในแลบVIEW

ฟังก์ชันพีไอดีในแลบVIEW มีการต่อใช้งานดังแสดงในภาพที่ 2-41 และ 2-42 ในส่วนของภาพที่ 2-41 จะเป็นส่วนของการควบคุม หรือการกำหนดค่าต่าง ๆ ซึ่งเป็นเงื่อนไขของโปรแกรม ส่วนภาพที่ 2-42 คือ ส่วนเอาต์พุตหรือการแสดงผลตอนรันโปรแกรม



ภาพที่ 2-41 ฟังก์ชันพีไอดีและการต่อใช้งานในแลบวิว

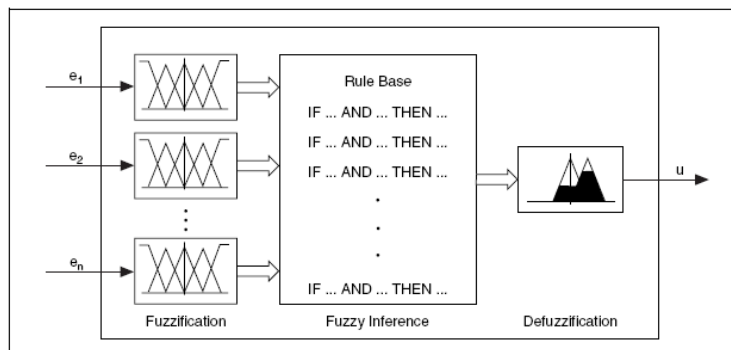


ภาพที่ 2-42 ตัวอย่างฟังก์ชันพีไอดีและการต่อใช้งานในแลบวิว

2.5.4 ฟัชซิลลอจิกในโปรแกรมแลบวิว

โครงสร้างฟัชซิลลอจิกในแลบวิวก็เหมือนกับการควบคุมด้วยฟัชซิลลอจิกทั่วไป คือ มีการกำหนดสมาชิกของฟังก์ชัน (Membership) การกำหนดค่าฟัชซี (Fuzzy-Set) และการกำหนดกฎ

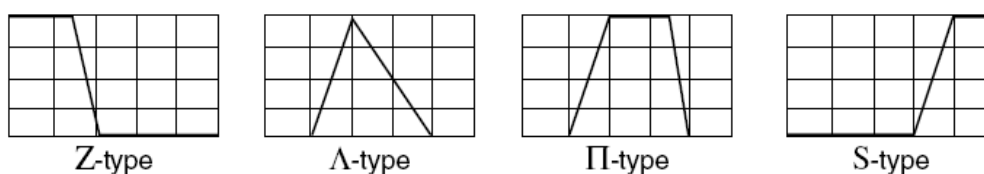
(Rule Base) ในการส่งค่าเอาต์พุต หลักในการกำหนดกฎ (Rule Base) ต่าง ๆ ในแลบวิวจะใช้หลักการ คือ ถ้า ... และ... ดังนั้น... (IF...AND...THEN)



ภาพที่ 2-43 โครงสร้างภายในของฟัซซีลอจิกในโปรแกรมแลบวิว

ค่าตัวแปรที่เป็นไปได้ตามหลักการของฟัซซีลอจิกจะมีข้อตกลงในการกำหนดค่าให้ประมวลผลทางทฤษฎีของฟัซซีลอจิกจะต้องกำหนดค่า เพื่อสื่อความหมาย และจะถูกเรียกเป็นตัวแปร เช่น ถ้าต้องการให้ยานพาหนะเคลื่อนที่ไปยังจุด X โดยปกติจะต้องวัดระยะทางมีหน่วยเป็นเมตร นอกจากนี้ยังสามารถใช้ภาษาในการสื่อสารได้ดังนี้ ซ้าย ซ้ายกลาง กลาง ขวากลาง และขวา ยานพาหนะก็สามารถไปยังตำแหน่ง X ได้เช่นกัน

นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์รูปแบบการใช้งานสมาชิกของฟัซซีลอจิกสำหรับรูปแบบ ที่เป็นระบบมาตรฐาน คือ Z-Type (แบบรูปตัว Z), A-Type (แบบรูปสามเหลี่ยม), M-Type (แบบรูปสี่เหลี่ยมคางหมู), และแบบ S-Type (แบบรูปตัว S)



ภาพที่ 2-44 รูปแบบมาตรฐานของสมาชิกในพีซีซีลอจิกในโปรแกรมแลบวิว

2.6 การ์ดDAQ (Data Acquisition : DAQ)

DAQ ย่อมาจาก Data Acquisition ก็คือ การ์ดอินเตอร์เฟส (Card Interface) เป็นแบบปลั๊กอิน (Plug-In) เสียบเข้าไปใน Computer Bus ภายใน Computer Case ซึ่งจะทำให้ได้ความเร็วในการส่งถ่ายข้อมูลสูงขึ้น โดยการ์ดนี้ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์กับสัญญาณวัดที่ส่งมาจาก Signal Conditioning Module แต่ละ การ์ดที่ติดตั้งใน คอมพิวเตอร์(Computer) จะมีแอดเดรส (Addressed) ของตัวมันเองโดยระบุที่อยู่ในตำแหน่ง Input/Output Memory Map

Data Acquisition ทำหน้าที่ประมวลผลแปลความหมายหรือเปลี่ยนสัญญาณในลักษณะอนาล็อก (Analog) ให้มาอยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal) เพื่อประโยชน์ในการตีความหมายและใช้ในการควบคุม หน้าที่ของ การ์ดDAQ (DAQ Card) อาจจะเป็นการอ่านสัญญาณอนาล็อก (A/D Conversion) การสร้างสัญญาณอนาล็อก (D/A Conversion) เขียนและอ่านสัญญาณ เพื่อเชื่อมต่อกับ ตัวแปลงสัญญาณโดยข้อกำหนด (Specification) ของ การ์ดอินเตอร์เฟส จะถูกระบุไว้อยู่บนการ์ด DAQ ข้อกำหนดเบื้องต้นของฮาร์ดแวร์DAQ ที่สำคัญๆ มีดังนี้

2.6.1 จำนวนช่องสัญญาณอินพุต อนาล็อกอินพุต (Analog Input) ของการ์ดDAQ มักจะได้รับการระบุไว้ทั้ง2กรณีดังนี้

- Single-Ended โดยอินพุตของการ์ดDAQ ที่เป็น Single-Ended นั้นจะอ้างอิงกับกราวด์จุดเดียวกันทั้งหมด และอินพุตแบบนี้จะใช้ในกรณีสัญญาณอินพุตมีระดับสูงมากกว่า 1 โวลต์ และใช้สายวัดสั้นๆไม่เกิน 15 ฟุต

- Differential Input แต่ละอินพุตจะมีกราวด์ของตัวเอง ซึ่งถือเป็นข้อดีเพราะเป็นการลดสัญญาณรบกวน Common-Mode ได้

2.6.2 อัตราการสุ่มวัด (Sampling Rate)

เป็นพารามิเตอร์ที่จะกำหนดว่าการ์ดDAQ จะสามารถวัดสัญญาณอินพุตได้ละเอียดมากเท่าใด โดยปกติการ์ดDAQ แบบปลั๊กอิน จะมีอัตราการสุ่ม 30,000 ถึง 250,000 ครั้งต่อวินาที

เนื่องจากการสุ่มวัดด้วยความถี่สูงๆ จะทำให้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุตได้ในทันทีทันใด (ทฤษฎีของ Nyquist จะต้องทำการสุ่มอ่านค่าความถี่เสียงด้วยความถี่อย่างน้อย 1.5 เท่าของความถี่สัญญาณอินพุต) ในทางกลับกันหากใช้อัตราการสุ่มวัด ที่ไม่เหมาะสมแล้ว การตีความสัญญาณอินพุตก็จะผิดเพี้ยนไป โดยปกติแล้วการ์ดDAQ จะต้องทำการวัดสัญญาณอินพุตหลายช่องสัญญาณพร้อม ๆ กัน การ์ดDAQ จึงต้องมีวงจรมัลติเพล็กซ์ เพื่อเลือกสัญญาณเข้ามาวิเคราะห์ทีละช่องสัญญาณ

2.6.3 ระดับการแยกแยะสัญญาณ

เกิดจากการแปลงสัญญาณวัดจากสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล ของการ์ดDAQ ซึ่งจะใช้จำนวนบิตในการแทนค่าของสัญญาณอนาล็อกในแต่ละช่วงเวลา เช่น การแทนด้วยรหัสเพียง 3 บิต นั้นให้ค่าความแยกแยะเพียง 8 ระดับ หากต้องการเพิ่มค่าความแยกแยะ เพื่อป้องกันข้อมูลของสัญญาณที่วัดได้ขาดหายไป ก็จะต้องเพิ่มการแทนบิตสูงขึ้น เช่น การแทนบิตด้วยรหัส 8 บิต จะสามารถแทนระดับสัญญาณอินพุตได้สูงถึง 255 ระดับ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความแม่นยำให้กับการวัดอย่างมากเลยทีเดียว

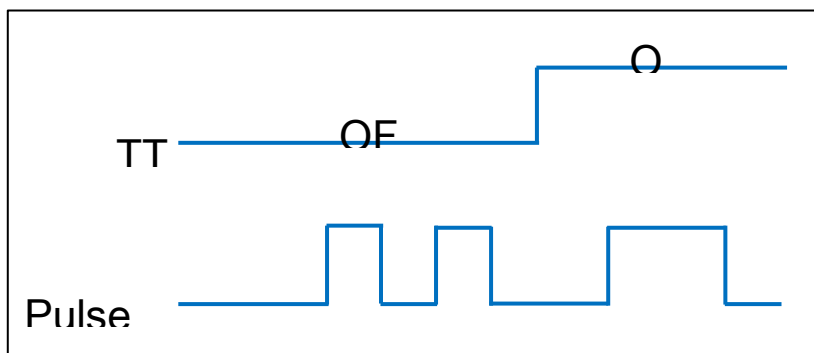
2.6.4 การแบ่งประเภทสัญญาณ

สามารถแยกประเภทสัญญาณได้ตามลักษณะได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือแบบสัญญาณดิจิทัล และสัญญาณอนาล็อก (Analog Signal) สำหรับปริมาณที่เกิดขึ้นตามปรากฏการณ์ธรรมชาติต่างๆ จะเป็นสัญญาณประเภท อนาล็อกแทบทั้งสิ้น ส่วนสัญญาณดิจิทัล นั้นโดยมากแล้วจะเป็นสัญญาณที่มนุษย์สร้างขึ้น และมักใช้ประโยชน์ในงานควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ โดยปกติเมื่อสัญญาณผ่านออกจากตัวแปลงสัญญาณ (Signal Conditioner) มาแล้ว สัญญาณจะมีลักษณะเป็น สัญญาณไฟฟ้าแต่ยังคงเป็น สัญญาณอนาล็อกอยู่ การจะนำปริมาณนั้นเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผล จำเป็นต้องใช้ อุปกรณ์ที่เรียกว่า A/D (Analog to Digital Converter บางครั้งเรียกย่อ ADC) เมื่อสัญญาณเข้าสู่ A/D จะได้รับการเปลี่ยนลักษณะให้เป็นสัญญาณดิจิทัล จากนั้นจึงสามารถให้คอมพิวเตอร์ดึงข้อมูลของสัญญาณนั้นออกมาได้ ข้อมูลที่สำคัญที่บรรจุอยู่ในสัญญาณนั้น เช่น รูปร่าง, ปริมาณ, ความถี่ เป็นต้น ถ้าจะแบ่งประเภทของสัญญาณกันจริงๆ แล้วสัญญาณทุกแบบเป็นอนาล็อก แทบทั้งสิ้นและมักเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา อย่างไรก็ตาม

ตามในการพิจารณาเรื่องการวัดสัญญาณจะแบ่งสัญญาณออก
ย่อยจาก ดิจิตอล และ อนาล็อก ออกเป็นทั้งหมด 5 ประเภทคือ

2.6.4.1 สัญญาณดิจิตอล แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

- ON-OFF Signal หรือ TTL (Transistor to Transistor Logic)
- Pulse Train Signal



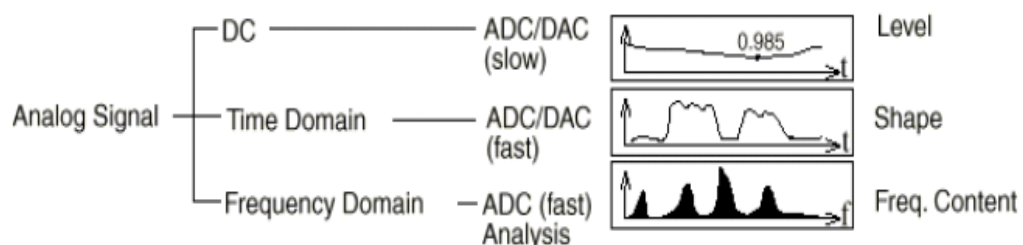
ภาพที่ 2-45 สัญญาณดิจิตอล 2 ชนิด

สำหรับ ON-OFF Signal มักจะเป็นสัญญาณที่มี
ข้อมูลที่เป็นสภาวะ (State) ว่าขณะนี้สัญญาณเกิดขึ้น (ON)
หรือไม่มีสัญญาณ (OFF) อุปกรณ์ที่ใช้วัดจึงเป็นอุปกรณ์ประเภท
Digital State Detector เช่น หลอดไฟ หรือ LED ก็สามารถบอก
สภาวะขณะนั้นได้ ส่วน Pulse Train Signal จะเป็นสัญญาณที่
ประกอบด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาวะออกอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลที่
สำคัญที่สัญญาณนี้มีคือ จำนวนการเปลี่ยนแปลงสภาวะหรือ

ระยะเวลาระหว่างการเปลี่ยนแปลงสภาวะสำหรับตัวอย่างของสัญญาณในลักษณะนี้ เช่น การสะท้อนของแสงจากแผ่นโลหะที่ติดอยู่บนเพลลา เพื่อใช้ในการวัดความเร็วรอบ หรือสำหรับในงานด้านการควบคุมสัญญาณในลักษณะนี้จะใช้ในการควบคุมสเต็ปเปอร์มอเตอร์

2.6.4.2 สัญญาณอนาล็อก สามารถแบ่งแยกย่อยออกเป็น 3 ชนิดคือ

- สัญญาณไฟตรง (DC Signal) สัญญาณที่เปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ
- สัญญาณไฟสลับ (AC Signal) สัญญาณที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเทียบกับเวลา (Time Domain)
- Frequency Domain Signal สัญญาณที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วแต่เป็นการพิจารณาว่าสัญญาณนั้น มีความถี่ใดบ้างที่บรรจุอยู่



ภาพที่ 2-46 สัญญาณอนาล็อกทั้ง 3 ชนิด

2.6.4.3 สัญญาณไฟตรง สัญญาณนี้จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างช้าๆ เทียบต่อเวลา คุณลักษณะที่สำคัญของสัญญาณไฟตรงก็คือปริมาณหรือขนาดของสัญญาณที่ได้ขณะนั้น เนื่องจากสัญญาณไฟตรง เปลี่ยนแปลงไปอย่างช้าๆ ความแม่นยำในการวัดจึงสำคัญมากกว่าอัตราการเก็บข้อมูล ลักษณะของสัญญาณไฟตรง นี้มักได้จากอุปกรณ์การวัดทางกลชั้นพื้นฐาน เช่น

อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหลในท่อปกติ เป็นต้น ลักษณะของระบบDAQ ควรจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

- Accuracy/Resolution คือมีความแม่นยำและละเอียด
- Low Bandwidth คือมีอัตราการเก็บข้อมูลที่ต่ำ

2.6.4.4 สัญญาณไฟสลับ ลักษณะของสัญญาณไฟสลับ ที่สำคัญก็คือจะส่งผ่านขนาดของสัญญาณและการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณเทียบต่อเวลา ในการวัดปริมาณและแสดงผลของสัญญาณในลักษณะนี้มักเรียกสัญญาณนี้ว่าอยู่ในรูปของ รูปคลื่น (Waveform) ในการวัดสัญญาณไฟสลับ ใน Time Domain จำเป็นจะต้องวัดข้อมูลต่อเนื่องกันเพื่อจะหาขนาดของสัญญาณในแต่ละเวลาการวัดจะต้องกระทำบ่อยครั้งเพื่อให้เพียงพอต่อการนำข้อมูลนี้ไปแปลความหมายได้อย่างถูกต้องแต่ต้องไม่มากจนเกินไปเพราะไม่มีทรัพยากรในคอมพิวเตอร์เพียงพอที่จะบรรจุข้อมูลเหล่านี้ตลอดเวลา ลักษณะของDAQ ที่เหมาะสมกับงานประเภทนี้ควรเป็นดังนี้

- High Bandwidth เพื่อสามารถสุมเก็บตัวอย่างข้อมูลได้ในอัตราที่สูง
- Accurate Sample Clock เพื่อสามารถสุมเก็บตัวอย่างได้ในช่วงเวลาที่แม่นยำ
- Triggering เพื่อที่จะได้เริ่มเก็บข้อมูลในเวลาที่เหมาะสม

2.6.4.5 Frequency Domain Signals ในความเป็นจริงแล้วสัญญาณอนาล็อกทุกรูปแบบจะอยู่ใน Time Domain ทั้งสิ้นเพียงแต่ว่าข้อมูลที่สำคัญที่อยู่ในข้อมูลนั้นคืออะไร สำหรับสัญญาณประเภทนี้นั้นมีความแตกต่างจากสัญญาณไฟสลับ ตรงที่

ต้องการทราบว่าในสัญญาณที่วัดโดยรวมนั้นมีสัญญาณที่มีความถี่เท่าใดบ้างบรรจุอยู่ด้วย และแต่ละความถี่มีปริมาณเท่าใด แต่ในสัญญาณไฟสลับ ปกติทั่วไปจะให้ความสำคัญกับรูปทรงของสัญญาณมากกว่าความถี่ที่บรรจุอยู่ ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้วัดสัญญาณประเภทนี้จึงคล้ายกับสัญญาณไฟสลับ แต่ต้องเพิ่มฟังก์ชันที่เข้าไปมีส่วนร่วมในการเปลี่ยนสัญญาณที่วัดออกมาจาก Time Domain ให้อยู่ใน Frequency Domain ซึ่งจะใช้วิธีการของการแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform) ส่วนประกอบที่สำคัญของการ์ดDAQ นี้มีดังนี้

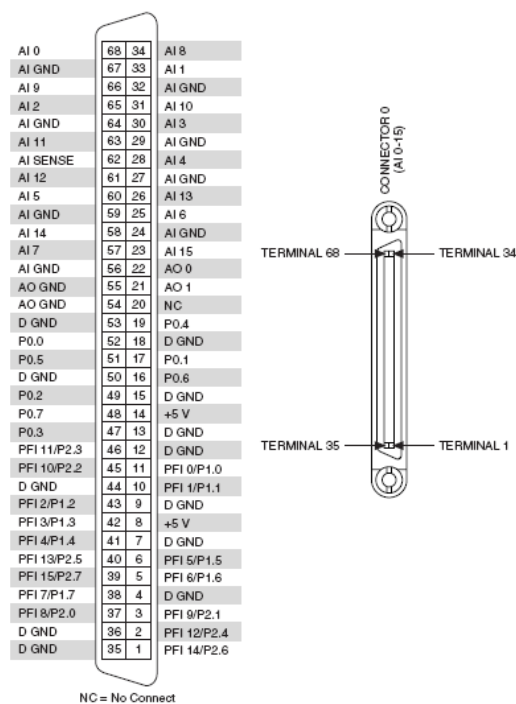
- High Bandwidths สุ่มตัวอย่างด้วยอัตราสูง
- Accurate Sample Clock สามารถสุ่มตัวอย่างเป็นช่วงๆด้วยความแม่นยำ
- Triggering เริ่มสุ่มตัวอย่างด้วยเวลาที่แม่นยำ
- Analysis Function เปลี่ยนข้อมูลใน Time Domain ให้อยู่ใน Frequency Domain

2.6.5 การ์ดDAQ รุ่น PCI 6221



ภาพที่ 2-47 การ์ดDAQ รุ่น PCI 6221

ในโครงการนี้ใช้การ์ดDAQ รุ่น PCI 6221 รับสัญญาณจากตัวตรวจรู้โดยเอาต์พุตที่ได้จากตัวตรวจรู้เหล่านี้จะมีค่าเป็นแรงดันหรือกระแสหรือพัลส์ จะรับค่าผ่านทาง การ์ดDAQ รุ่น PCI 6221 ไปยังโปรแกรมแลบวิว ซึ่งโปรแกรมแลบวิวสามารถอ่านค่าที่ผ่านเข้ามาทางการ์ดDAQ แล้วบันทึกค่าเป็นไฟล์ข้อมูลได้ โดยการใช้งานของ การ์ดDAQ รุ่น PCI 6221 ดังภาพที่ 2-48



ภาพที่ 2-48 ขาของการ์ดDAQ รุ่น PCI 6221

2.6.6 การใช้งานเชื่อมต่อกับพีซีไอ (Peripheral Component Interconnect : PCI)

พีซีไอคือกระบวนการอ่านค่าสัญญาณ ทางไฟฟ้าแบบ อัตโนมัตินำมาเก็บไว้บนคอมพิวเตอร์เพื่อการวัด การ วิเคราะห์ จัดเก็บ หรือแสดงผลด้วยซอฟต์แวร์ สัญญาณทางไฟฟ้า มีสองประเภทคือ สัญญาณอนาล็อก และสัญญาณดิจิทัล

2.6.6.1 สัญญาณแบบอนาล็อก จะคงอยู่ในรูปแบบของ แรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้า (Current) แบบต่อเนื่อง ถ้า สัญญาณนั้นมีการเปลี่ยนแปลงระดับไปมาอย่างรวดเร็ว จะเรียกว่า สัญญาณแบบไฟสลับ (Alternating Current: AC) และสัญญาณที่มีระดับคงที่หรือเปลี่ยนแปลงช้าลงจะเรียกว่า สัญญาณแบบไฟตรง (Direct Current: DC)

2.6.6.2 สัญญาณแบบดิจิทัล คือสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าอยู่สองระดับคือระดับต่ำ 0 โวลต์ กับระดับสูงโดยสัญญาณดิจิทัลแบบลอจิก TTL/CMOS จะใช้แรงดันระดับสูงเป็นแบบ 5 โวลต์ และมีลอจิกแบบอื่นๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอีก เช่น 12 โวลต์, 24 โวลต์ และ 60 โวลต์ เป็นต้น

2.6.6.3 หน้าที่ของพีซีไอ อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์พีซีไอ แบบ พื้นฐานจะสามารถทำงานได้หลายหน้าที่พร้อมกันโดยมีหน้าที่หลักสี่อย่างคือ

2.6.6.3.1 อนาล็อก อินพุต (Analog Input) สำหรับ สัญญาณอนาล็อก ซึ่งพีซีไอ จะรับได้หลายช่องสัญญาณพร้อมกัน ตั้งแต่ไม่กี่ช่องจนถึงหลายร้อยช่อง ซึ่งใช้ในการวัดค่าสัญญาณ แรงดันจากเซนเซอร์ต่างๆ เป็นต้น ปกติจะวัดได้ตั้งแต่ -10 โวลต์ จนถึง +10 โวลต์ แต่ก็มีรุ่นพิเศษที่สามารถวัดได้มากกว่านั้น

2.6.6.3.2 อนาล็อก เอาท์พุท (Analog Output) สำหรับสร้างสัญญาณอนาล็อก ทั้งแบบดีซีและเอซี ที่เป็นรูปคลื่น (Waveform)

2.6.6.3.3 ดิจิตอล ไอโอ (Digital I/O) ใช้ทำหน้าที่ในการรับหรือสร้างสัญญาณดิจิตอล หรือทำงานร่วมกับอุปกรณ์ภายนอกอย่างเช่น สวิตช์ หรือ รีเลย์ เป็นต้น

2.6.6.3.4 เคาน์เตอร์ ไอโอ (Counter I/O) ทำหน้าที่สำหรับใช้วัดสัญญาณจากเอ็นโค้ดเดอร์ หรือสร้างสัญญาณพัลส์(Pulse)

2.7 เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder)

ในกรณีที่ต้องการวัดระยะทางยาวๆมักนิยมใช้ตัวตรวจรู้ (Sensor) ตำแหน่งแบบดิจิตอล โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นระบบการวิเคราะห์แบบดิจิตอล เนื่องจากตัวตรวจรู้ชนิดนี้จะไม่ถูกจำกัดช่วงของการวัดด้วยกลไก แต่ความสามารถในการวัดจะขึ้นอยู่กับซอฟต์แวร์ที่ใช้เป็นหลัก

ตัวตรวจรู้ตำแหน่งแบบดิจิตอลใน ที่นี้จะกล่าวถึง เอ็นโค้ดเดอร์ตรวจรู้ตำแหน่ง (Position Encoder) ซึ่งสามารถแบ่งตามโครงสร้างการเคลื่อนที่ออกได้เป็นสองแบบด้วยกันคือ เอ็นโค้ดเดอร์ตำแหน่งแบบหมุน(Rotation Position Encoder) และเอ็นโค้ดเดอร์ตำแหน่งแบบเคลื่อนที่แนวเส้นตรง(Linear Position Encoder)

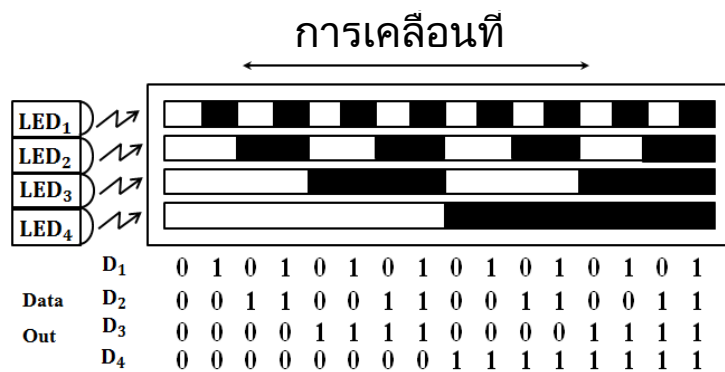
ถ้าจำแนกตัวตรวจรู้แบบเอ็นโค้ดเดอร์ออกตามลักษณะของสัญญาณเอาต์พุต จะได้เป็น 2 แบบหลัก ๆ คือ แบบเอ็นโค้ดเดอร์แบบเพิ่มค่า(Incremental Encoder) และแบบเอ็นโค้ดเดอร์แบบสมบูรณ์(Absolute Encoder)

ผ่านวงจรนับ(Counter) เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงขนานที่ใช้ในระบบคอมพิวเตอร์

2.7.2 เอ็นโค้ดเดอร์แบบสับบูรณ์

เอ็นโค้ดเดอร์แบบสับบูรณ์จะให้เอาต์พุตในรูปแบบที่เป็นรหัส ที่ตรงกับตำแหน่งที่กลไกเคลื่อนที่ไป หลักการทำงานโดยรวมจะเหมือนกับเอ็นโค้ดเดอร์แบบเพิ่มค่า แต่ในตัวเอ็นโค้ดเดอร์แบบ

สับบูรณ์ จะมีหัวอ่านหลายชุดเท่ากับจำนวนบิตเอาต์พุต การเจาะรูบนแผ่นแต่ละชุดก็จะมีระยะห่างเป็นทวีคูณทำให้สามารถทราบตำแหน่งของ การหมุนโดยทันที



ภาพที่ 2-50 เอ็นโค้ดเดอร์แบบสับบูรณ์แบบเลื่อนแนวตรงขนาด 4 บิต

ตัวอย่างในภาพที่ 2-50 จะเป็นเอ็นโค้ดเดอร์แบบเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง ขนาด 4 บิตข้อมูล ซึ่งจะมีหัวอ่านข้อมูล 4 หัวด้วยกัน คือ D1,D2,D3 และ D4 ทำให้สามารถอ่านข้อมูลได้ทั้งสิ้น 16 ระดับขั้นตั้งแต่ 0000, 0001 .. ไปเรื่อย ๆ จนถึง 1111

เอ็นโค้ดเดอร์แบบนี้จะมีข้อดีตรงที่ข้อมูลยังคงถูกต้อง ถึงแม้สัญญาณจะหายไปชั่วขณะ เนื่องจากข้อมูลที่ได้อาจหมายถึงตำแหน่งของการเคลื่อนที่นั้น ๆ กล่าวคือ สามารถบอกได้ทันทีว่าการเคลื่อนที่ถึงไหนแล้วโดยดูจากข้อมูลดิจิทัลที่ได้ ต่างจากเอ็นโค้ดเดอร์แบบเพิ่มค่า ซึ่งจะต้องทราบมาก่อนหน้าว่าการเคลื่อนที่อยู่ที่ตำแหน่งใดแล้วบวกเพิ่มค่า ตำแหน่งขึ้นไปจากเดิม จึงจะทราบว่าเคลื่อนที่ถึงไหนแล้ว เมื่อเป็นเช่นนี้ทำให้เอ็นโค้ดเดอร์ชนิดนี้บอกถึงทิศทางการเคลื่อนที่ของกลไกได้ทันที เพราะข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จะมีการเพิ่มหรือลดตามทิศทางการเคลื่อนที่โดยตรง อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความซับซ้อนของอุปกรณ์ ทำให้เอ็นโค้ดเดอร์แบบนี้มีราคาแพงกว่าแบบเพิ่มค่ามาก สำหรับเอ็นโค้ดเดอร์แบบสมบูรณ์แล้ว การเรียงรูปแบบของข้อมูลหรือการเข้ารหัสดังภาพที่ 2-50 จะเป็นการเข้ารหัสแบบเลขฐานสองตามธรรมชาติ (Natural Binary Code) ปกติ แต่ในทางปฏิบัติยังมีการเข้ารหัสอีกหลายแบบ เช่น แบบเลขฐานสิบเข้ารหัสเลขฐานสอง(Binary Code Decimal : BCD) และรหัสเกรย์ (Gray Code) ดังนั้นการใช้งานต้องทราบถึงชนิดของการเข้ารหัสด้วย

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 ปริญญาณิพนธ์ การพัฒนาชุดทดลองระบบควบคุมแบบฟัซซีลอจิกสำหรับลูกตุ้มผกผันที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์เชิงเส้นตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ซึ่งจัดทำโดย นายประสงค์ เลือเขียว นายณรงค์ศักดิ์ หนูนนท์ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เป็นการสร้างชุดทดลองระบบควบคุมแบบฟัซซีลอจิก สำหรับลูกตุ้มผกผันที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์เชิง

เส้น เป็นการนำเอาจุดเด่นของมอเตอร์เชิงเส้นที่มีความสามารถในการเคลื่อนที่แนวระนาบได้รวดเร็ว กับระบบควบคุมแบบฟัซซีลอจิกมาใช้ควบคุมการทำงานลูกตุ้มผกผันที่เป็นระบบที่ไม่มีเสถียรภาพ โดยผ่านการเชื่อมต่อจาก Microcontroller ARM7 ลักษณะการควบคุมของระบบ

ฟัซซีลอจิกจะเป็นการใช้โปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ควบคุมและรับส่งข้อมูลผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยสภาวะการทำงานเริ่มต้นแท่ง pendulum ต้องตั้งฉากกับพื้น จากผลการดำเนินงานของชุดทดลองระบบควบคุมแบบฟัซซีลอจิก ผลการทดสอบของโครงการพบว่าระบบการส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น ในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์มีการหน่วงเวลาเพื่อรับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ผ่าน USB ทำให้ระบบตอบสนองที่ช้าเกินไปสำหรับการทำคำสั่งต่างๆ จึงทำให้ระบบไม่สามารถทำการควบคุมให้ลูกตุ้มผกผันสามารถทรงตัวให้ตั้งตรงอยู่บนมอเตอร์เชิงเส้นได้

2.8.2 ปริญญานิพนธ์ การควบคุมลูกตุ้มผกผันตามหลักสูตร ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ซึ่งจัดทำโดย นายกรวิทย์ พงษ์สุวรรณ นายเถลิงศักดิ์ พิพัฒน์ภูมิพร สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เป็นการควบคุมระบบลูกตุ้มผกผันที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสตรงเป็นตัวขับให้ตัวรถเคลื่อนที่ สำหรับระบบควบคุมนั้นจะใช้ตัวควบคุม พีไอดี ในการควบคุมลูกตุ้มผกผัน โดยนำการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด ผ่านตัวควบคุมแบบ พีไอดี เพื่อควบคุมทิศทางและความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง เพื่อให้ลูกตุ้มผกผันสามารถทรงตัวได้ โดยใช้ Microcontroller AVR mega32 เป็นตัวประมวลผล ใช้โปรแกรม Mat lab GUI (Graphic User Interface) เพื่อเพิ่มความสะดวกใน

การปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆ ของระบบโดยเฉพาะค่าคงที่ของ ตัวควบคุมแบบพีไอดี ที่ต้องปรับเปลี่ยนค่าที่เหมาะสม เพื่อให้ ระบบเข้าสู่จุดสมดุล และสามารถแสดงผลการทำงานได้ ผลการ ทดสอบการทรงตัวของลูกตุ้มผกผันเมื่อเริ่มปล่อยจากจุดตั้งตรง (set point) ลูกตุ้มผกผันนั้นสามารถทรงตัวอยู่ได้ แต่การรักษา ตำแหน่งในแนวระนาบยังไม่สามารถทำได้ดี เป็นผลให้ตัวรถชน กับขอบรางและลูกตุ้มผกผันเสียสมดุลไป แต่อย่างไรก็ตามลูกตุ้ม ผกผันนั้นสามารถเลี้ยงตัวอยู่บนรางได้เป็นเวลา 2 นาที 50 วินาที ซึ่งเป็นที่น่าพอใจ

2.8.3 ปฏิญยานิพนธ์ การศึกษาและออกแบบระบบควบคุม กล้ามเนื้อลมเพื่อใช้ในการเลี้ยงตัวลูกตุ้มผกผัน ตามหลักสูตร ปฏิญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ซึ่งจัดทำโดย นายกวีพงษ์ เสงสนันกุล สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น งานวิจัยเรื่อง การศึกษาและออกแบบระบบควบคุมกล้ามเนื้อเพื่อใช้ในการเลี้ยง ตัวลูกตุ้มผกผัน โดยได้นำกล้ามเนื้อมาประยุกต์ใช้งานกับลูกตุ้ม ผกผัน เพื่อที่จะแสดงให้เห็นว่า กล้ามเนื้อลมสามารถ ตอบสนองกับระบบควบคุมลูกตุ้มผกผัน โดยระบบที่พัฒนาขึ้นจะ อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ในการดึงกับมุมมองศาของ ลูกตุ้มผกผันมาใช้ในการควบคุม จากการทดสอบพบว่าในการ ควบคุม ลูกตุ้มผกผันเพื่อให้มีเสถียรภาพนั้นจะต้องแบ่งการ ควบคุมออกเป็น 3 ช่วง ประกอบด้วย ช่วงเริ่มต้น ช่วงควบคุม จังหวะในการแกว่งของลูกตุ้มผกผัน และช่วงที่จะเข้าสู่จุดสมดุล โดยระบบที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นระบบอย่างง่ายที่สามารถเลี้ยงลูกตุ้ม ผกผันได้ในระยะเวลาสั้นๆ 2.4 วินาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบ ควบคุมกล้ามเนื้อมีการตอบสนองต่ออินพุตที่ดีเพียงพอที่จะ นำมาประยุกต์ใช้งานกับระบบที่ไม่มีเสถียรภาพ

