

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

การจัดทำโครงงานเรื่องการพัฒนาหุ่นยนต์คาร์ทีเซียน X-Y แบบนิวแมติกส์ (Cartesian Robot X-Y by Pneumatic) โดยควบคุมการทำงาน โดยใช้โปรแกรมแลปวิว (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench : LabVIEW) ควบคุมแบบพีไอดี (Proportional Integral Differential : PID) เปรียบเทียบกับ ควบคุมแบบฟัซซี่ (Fuzzy) จึงมีความจำเป็นจะต้องศึกษาความรู้หลายๆด้าน ซึ่งในบทนี้จะนำเรื่องที่ได้ศึกษาหาความรู้เพื่อมาใช้ในการทำโครงงานดังนี้

- 2.1 หุ่นยนต์ในงานอุตสาหกรรม
- 2.2 วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 5 ทาง 3 ตำแหน่งกลางปิด
- 2.3 กระบอกสูบทำงานสองทางแบบลูกสูบเคลื่อนที่สูบลูกสูบที่ (Rodless Cylinder)
- 2.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematic Model) ของอุปกรณ์นิวแมติกส์
- 2.5 เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder)
- 2.6 การควบคุมด้วยฟัซซี่ (Fuzzy Controller)
- 2.7 การควบคุมด้วยพีไอดี (PID Controller)
- 2.8 การควบคุมการเคลื่อนที่ไหว (Motion Control)
- 2.9 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)
- 2.10 โปรแกรมแลปวิว
- 2.11 การ์ด DAQ (Data Acquisition : DAQ)

2.1 หุ่นยนต์ในงานอุตสาหกรรม

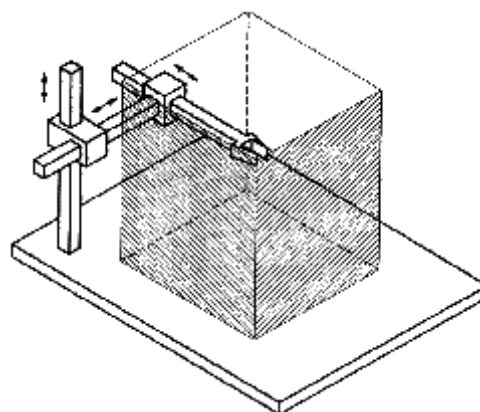
หุ่นยนต์อุตสาหกรรมสามารถแบ่งออกได้หลายวิธี แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ การแบ่งประเภทตามรูปร่างของขอบเขตพื้นที่การทำงาน ดังต่อไปนี้

2.1.1 หุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียน (Cartesian Coordinates Robot)

เป็นหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางตามแนวแกน X, Y และ Z ดังนั้นขอบเขตพื้นที่การทำงานของแขนกลจึงมีลักษณะเหมือนกล่องสี่เหลี่ยม ตัวอย่างเช่น เครนในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น



(ก)

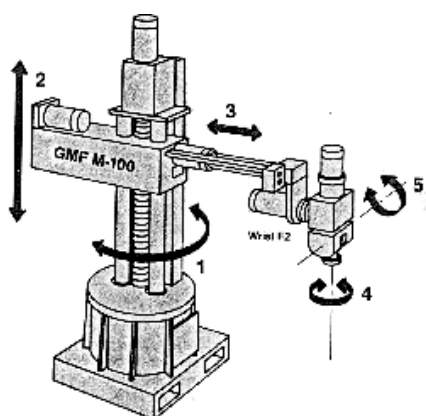


(ข)

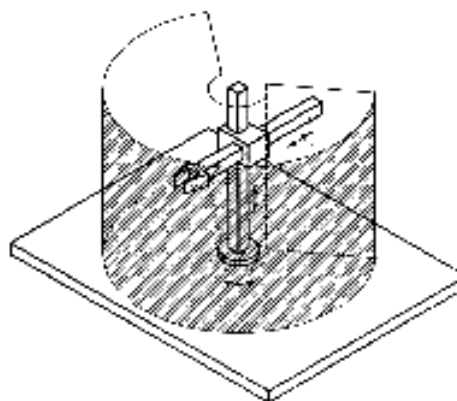
ภาพที่ 2-1 (ก) หุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียน (ข) พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียน

2.1.2 หุ่นยนต์ทรงกระบอก (Cylindrical Coordinates Robot)

แขนกลสามารถหมุนรอบฐานหรือหัวไหล่ มีแกนเคลื่อนที่แนวขึ้น-ลง และเข้าออก อีก 2 แกน จะเรียกว่า Cylindrical Coordinates Robot ซึ่งขอบเขตพื้นที่การทำงานจะอยู่ระหว่างทรงกระบอกด้านในกับทรงกระบอกด้านนอก ตัวอย่างของหุ่นยนต์ลักษณะนี้เช่น แขนก่อสร้างสำหรับตึกสูง เป็นต้น



(ก)



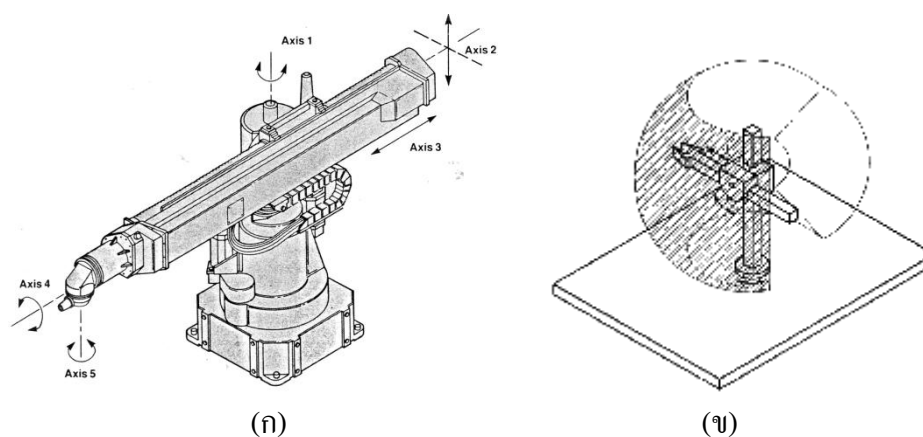
(ข)

ภาพที่ 2-2 (ก) หุ่นยนต์แบบทรงกระบอก (ข) พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์แบบทรงกระบอก

2.1.3 หุ่นยนต์โพลาร์ (Polar Coordinates)

หุ่นยนต์ที่มีพื้นที่การทำงานเป็นทรงกลม โดยที่จุดศูนย์กลางของการหมุนจะสามารถเคลื่อนที่ตามแนวแกนได้ และสามารถเคลื่อนที่เข้าออกในแนวตรงจุดศูนย์กลางการหมุนของ

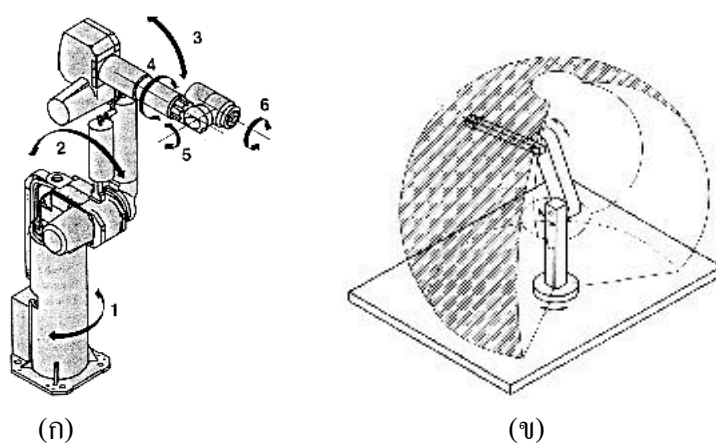
หุ่นยนต์ตรงส่วนปลายจะเป็นข้อมือที่สามารถหมุนได้อีกหนึ่งถึงสองแกนเพื่อใช้ในการเปลี่ยนมุมการทำงานของคิปปเปอร์ (Gripper)



ภาพที่ 2-3 (ก) ลักษณะหุ่นยนต์แบบโพลาร์ (ข) พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์แบบโพลาร์

2.1.4 หุ่นยนต์ข้อต่อ (Jointed Arm Robot)

หุ่นยนต์ข้อต่อนี้จะมีชื่อเรียกอีกคือ Revolute Coordinates หรือ Articulate หุ่นยนต์ประเภทนี้จะมีลักษณะที่คล้ายกับแขนมนุษย์มากที่สุด แขนกลจะใช้จุดหมุนแบบโรตารี 3 จุด แบ่งออกเป็นสามๆ จุดต่อของแขนกลซึ่งยึดอยู่กับฐานสามารถหมุนได้รอบฐาน และอีก 2 ส่วนที่เหลือจะหมุนในลักษณะของบานพับ หุ่นยนต์ชนิดนี้สามารถเข้าถึงชิ้นงานได้เกือบทุกตำแหน่ง



ภาพที่ 2-4 (ก) ลักษณะหุ่นยนต์แบบข้อต่อ (ข) พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์แบบข้อต่อ

2.1.5 หุ่นยนต์สการ์ว (SCARA Robot)

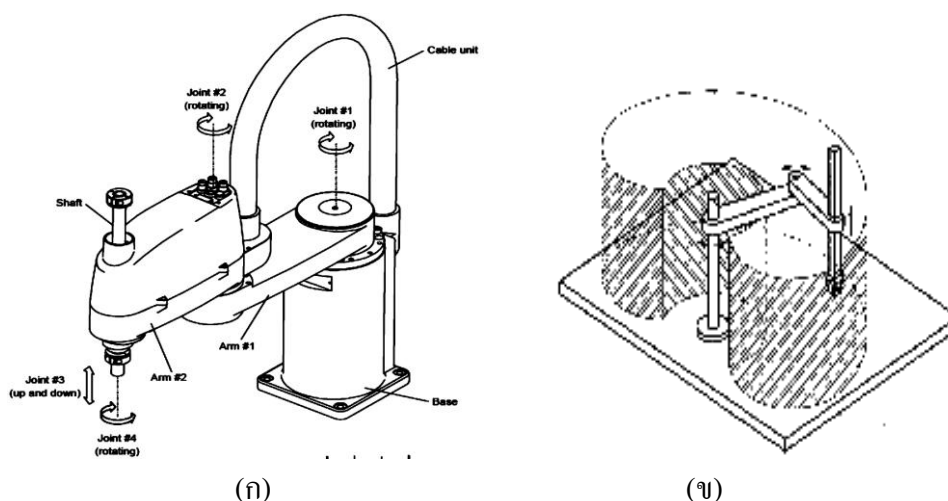
SCARA Robot ย่อมาจากคำว่า Selective Compliance Assembly Robot Arm เป็นหุ่นยนต์ซึ่งมีความเร็ว และความสามารถในการทำงานแบบซ้ำๆ ดีที่สุดในบรรดาหุ่นยนต์ทั้งหมดที่กล่าวมา โดยทั่วไปใช้ในงานประกอบชิ้นส่วนของแผ่นวงจรพิมพ์ PCB (Printed Circuit Board : PCB) และงานประกอบอุปกรณ์เครื่องกลไฟฟ้าขนาดเล็ก หุ่นยนต์ชนิดนี้จะประกอบด้วยแกน 4 แกนดังนี้

แกนที่หนึ่ง จะเป็นส่วนการหมุนหลักของหุ่นยนต์ จะถูกใช้อย่างมากในหุ่นยนต์ที่ใช้ในงานประกอบ ดังนั้นความเร่งและความเร็วของแกนนี้ จะมีอิทธิพลอย่างมากต่อเวลาการทำงานในแต่ละวงจร

แกนที่สอง จะเป็นส่วนการหมุนรอง เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

แกนสาม จะใช้ในการเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวดิ่ง

แกนที่สี่ เป็นแกนหมุนที่ใช้ในการเปลี่ยนองศาของชิ้นงาน



ภาพที่ 2-5 (ก) ลักษณะหุ่นยนต์สการ์ว (ข) พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์สการ์ว

2.1.6 ข้อดีและข้อเสียของการใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรม

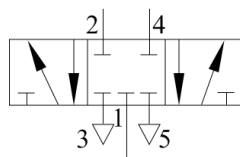
2.1.6.1 เพิ่มผลผลิตและประสิทธิภาพ รวมถึงความแน่นอนของผลผลิต แต่อาจเกิดปัญหาการว่างงานเมื่อนำหุ่นยนต์มาใช้แทนแรงงานคน

2.1.6.2 สามารถทำงานในที่เสี่ยงอันตรายได้ แต่หุ่นยนต์ไม่สามารถตอบสนองได้เองเมื่อเกิดสถานการณ์ฉุกเฉิน เว้นแต่จะถูกโปรแกรมเอาไว้

2.1.6.3 สามารถทำงานได้ต่อเนื่อง และทำงานในลักษณะซ้ำๆ ได้ตลอดเวลา

2.2 วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 5 ทาง 3 ตำแหน่ง ตำแหน่งกลางปิด

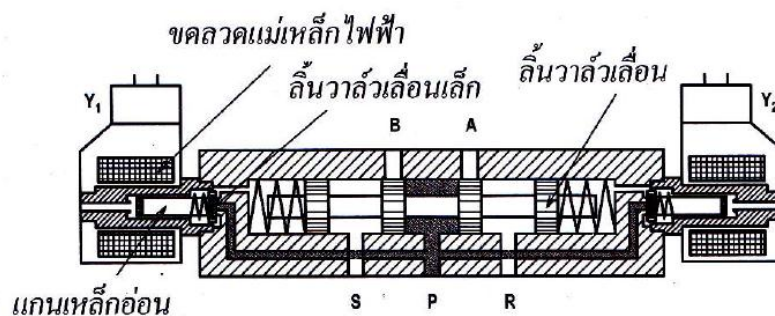
(5/3 DC Valve Closed Natural Position Set by Solenoids and Pressure Reset by Spring)



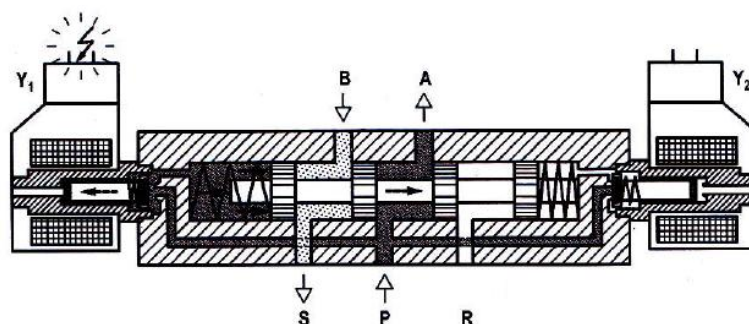
ภาพที่ 2-6 สัญลักษณ์ของวาล์วควบคุมทิศทางแบบ 5/3

2.2.1 วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 5 ทาง 3 ตำแหน่ง ตำแหน่งกลางปิดเคลื่อนลิ้นด้วยไฟฟ้าและลม
เคลื่อนลิ้นกลับด้วยสปริง

การเคลื่อนลิ้นแบบลิ้นวาล์วเลื่อน (Spool Valve) โดยใช้ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งสองด้าน
ในการเปิดปิดวาล์ว สภาวะปกติ ลิ้นวาล์วจะถูกปิดโดยสปริงทั้งสองด้าน ลมที่ช่อง P ช่อง A ช่อง B
ช่อง S และช่อง R จะถูกปิดดังภาพที่ 2-7

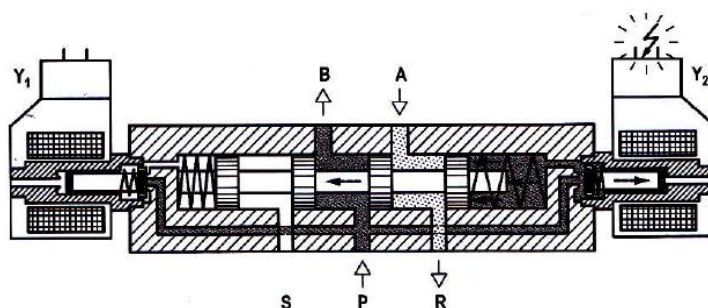


ภาพที่ 2-7 ลักษณะโครงสร้างวาล์วควบคุมทิศทางแบบ 5 ทาง 3 ตำแหน่ง ตำแหน่งกลางปิด
เคลื่อนลิ้นด้วยไฟฟ้าและลม เคลื่อนลิ้นกลับด้วยสปริง



ภาพที่ 2-8 ตำแหน่งของวาล์วควบคุมทิศทางแบบ 5 ทาง 3 ตำแหน่ง เมื่อป้อน
กระแสไฟฟ้าเข้าขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า Y1

จากภาพที่ 2-8 เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าที่ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า Y1 ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กดูดแกนเหล็กอ่อนให้ลื่นวาล์วเล็กเคลื่อนที่ไปทางซ้าย ลมจะไหลไปดันลื่นวาล์วเลื่อนให้เคลื่อนที่ไปทางขวา ลมทางช่อง P ไหลออกที่ช่อง A ลมช่อง B ระบายออกที่ช่อง S

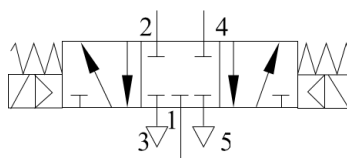


ภาพที่ 2-9 ตำแหน่งของวาล์วควบคุมทิศทางแบบ 5 ทาง 3 ตำแหน่ง เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า Y2

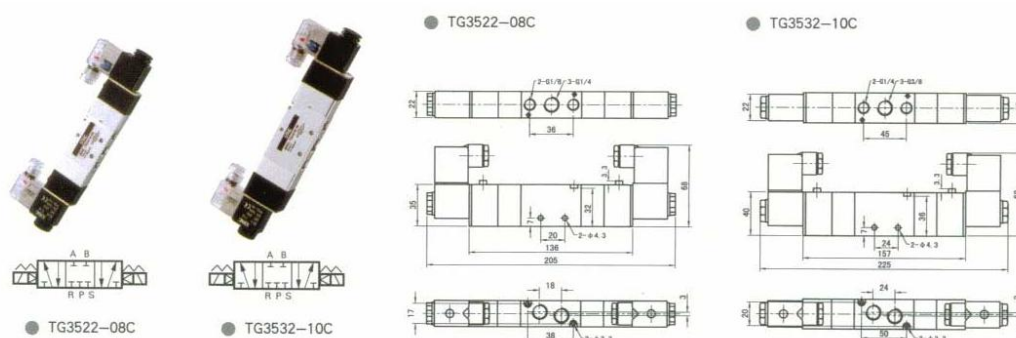
จากภาพที่ 2-9 เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าที่ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า Y2 ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กดูดแกนเหล็กอ่อนให้ลื่นวาล์วเล็กเคลื่อนที่ไปทางขวา ลมจะไหลไปดันลื่นวาล์วเลื่อนให้เคลื่อนที่ไปทางซ้าย ลมทางช่อง P ไหลออกที่ช่อง B ลมช่อง A ระบายออกที่ช่อง R

ตารางที่ 2-1 รูป้อนลมและระบายลมของวาล์ว 5/3

ตัวเลข	ตัวอักษร	ตัวอักษรต่อ	หน้าที่
1	P	Sub	รูระบายลมอัดเข้าวาล์ว
2,4	A,B	Out	รูต่อลมอัดไปใช้งาน
3,5	R,S	Ex	รูระบายลมทิ้ง



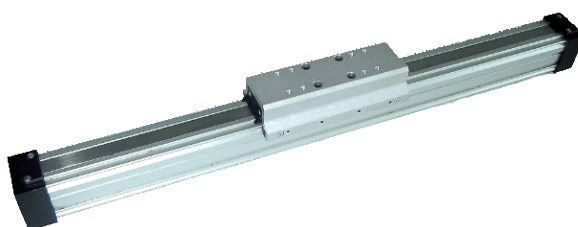
ภาพที่ 2-10 สัญลักษณ์ของวาล์วควบคุมทิศทางแบบ 5 ทาง 3 ตำแหน่ง ตำแหน่งกลางปิดเลื่อนลิ้นด้วยไฟฟ้าและลม เลื่อนลิ้นกลับด้วยสปริง



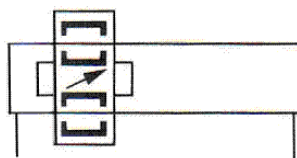
ภาพที่ 2-11 ขนาดสเกล (Scale) และรายละเอียดของวาล์ว 5/3

2.3 กระบอกสูบทำงานสองทางแบบลูกสูบเคลื่อนที่ก้านสูบอยู่กับที่ (Rodless Cylinder)

กระบอกสูบทำงานสองทางคือ จะเป็นกระบอกสูบทำงานได้สองทิศทางโดยสามารถป้อนลมเข้าให้ก้านสูบได้ทั้งสองทางจึงสามารถควบคุมทิศทางได้สองทิศทาง



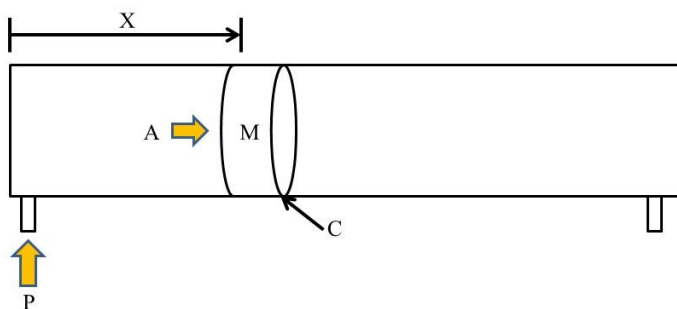
ภาพที่ 2-12 กระบอกสูบทำงานสองทางแบบลูกสูบเคลื่อนที่ก้านสูบอยู่กับที่



ภาพที่ 2-13 สัญลักษณ์ของกระบอกสูบทำงานสองทางแบบลูกสูบเคลื่อนที่ก้านสูบอยู่กับที่

2.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวแมติกส์

จากการควบคุมตำแหน่งของระบบนิวแมติกส์ที่ใช้ในโรงงาน เป็นการควบคุมตำแหน่งของกระบอกสูบทำงานสองทางแบบลูกสูบเคลื่อนที่สูบอยู่กับที่ โดยการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบนี้จะหาได้จากกฎของนิวตัน (Newton Law)



ภาพที่ 2-14 ลักษณะผลรวมของแรง

จากภาพที่ 2-13

$$\sum F = m\ddot{X} \quad (2-1)$$

$$PA - C\dot{X} = m\ddot{X} \quad (2-2)$$

เมื่อ F คือ แรง หน่วยเป็น นิวตัน (N)

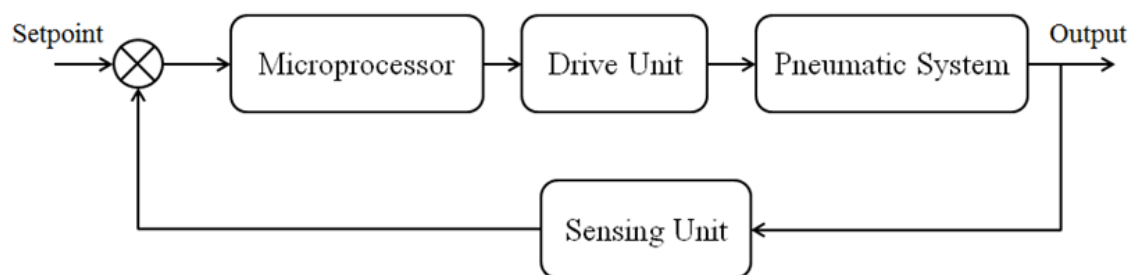
P คือ แรงดันอากาศ (Air Pressure) หน่วยเป็น ปาสคาล (Pa)

A คือ พื้นที่ภายในของลูกสูบ หน่วยเป็น ตารางเซนติเมตร (cm^2)

C คือ ค่าคงที่ของแรงเสียดทานของอากาศ (Air Damping Constant) ประมาณ 1.5 นิวตัน-วินาที/เมตร (N s/m)

M คือ น้ำหนักของลูกสูบนิวแมติกส์ หน่วยเป็น กิโลกรัม (Kg)

X คือ ตำแหน่งของลูกสูบ หน่วยเป็น เซนติเมตร (cm)



ภาพที่ 2-15 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบนิวแมติกส์

จากสมการที่ (2-2) เมื่อเปลี่ยนสมการให้อยู่ในรูปแบบของลาปลาซ (Laplace) จะได้

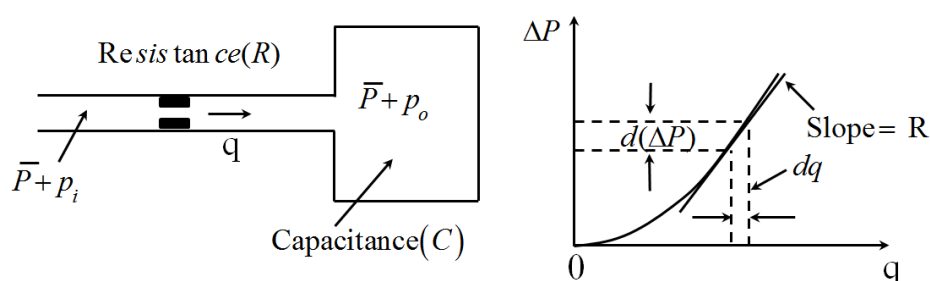
$$P(s)A - C s X(s) = m s^2 X(s) \quad (2-3)$$

$$G(s) = \frac{X(s)}{P(s)} = \frac{A}{m s^2 + C s} \quad (2-4)$$

ความต้านทานในระบบความดัน (Resistance of Pressure Systems) มีผลต่อทำงานของระบบนิวแมติกส์จำเป็นต้องมีการหาค่าเพื่อปรับปรุงระบบให้เหมาะสมตามสมการ (2-5)

$$R = \frac{\text{การเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของความดันก๊าซ}}{\text{การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของก๊าซ}} \rightarrow R = \frac{d(\Delta P)}{dq} \quad (2-5)$$

โดยที่ R คือ ความชัน (Slope)



ภาพที่ 2-16 ความต้านทานในระบบความดัน

ค่าความจุในระบบความดัน (Capacitance of Pressure Systems) ขึ้นอยู่กับอิทธิพลกระบวนการขยายตัวซึ่งค่าความจุ (Capacitance) สามารถคำนวณได้จากกฎของก๊าซ (Ideal Gas Law) ถ้ากระบวนการขยายตัวของก๊าซ (Polytropic) และ การเปลี่ยนสถานะของก๊าซระหว่าง อุณหภูมิคงที่ (Isothermal) และ ไม่สูญเสียความร้อน (Adiabatic) ดังนี้

$$p \left(\frac{V}{m} \right)^n = \frac{p}{\rho^n} = \text{ค่าคงที่ (Constant : C)} \quad (2.6)$$

โดยที่ n คือเลขชี้กำลังของการขยายตัวของก๊าซ (Polytropic Exponent)

$$C = \frac{\text{การเปลี่ยนแปลงในการจัดเก็บก๊าซ}}{\text{การเปลี่ยนแปลงความดันก๊าซ}} \rightarrow C = \frac{dm}{dp} V = \frac{d\rho}{dp} \quad (2-7)$$

สำหรับก๊าซในทางอุดมคติ (Ideal Gases)

$$p \bar{v} = \bar{R}T \quad \text{หรือ} \quad p \bar{v} = \frac{\bar{R}}{M}T \quad (2-8)$$

โดยที่ p คือ ความดันสัมบูรณ์ (Absolute Pressure) หน่วยเป็น เอทีเอ็ม (atm)

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (Absolute Temperature) หน่วยเป็น องศาเคลวิน (K)

M คือ น้ำหนักโมเลกุลของก๊าซต่อโมล (Molecular Weight of Gas per Mole) หน่วยเป็น กรัมต่อโมล (g/mol)

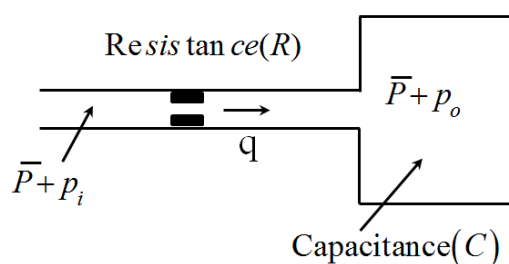
$\bar{v}$ คือ ปริมาตรครอบครองโดย 1 โมลของก๊าซ (Volume Occupied by 1 Mole of Gas) หน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (m^3)

$\bar{R}$ คือ แก๊สคงที่ทั่วไป (Universal Gas Constant) หน่วยเป็น เอทีเอ็มต่อ โมลคูณ องศาเคลวิน (atm/mol.K)

ดังนั้น

$$pv = \frac{p}{\rho} = \frac{\bar{R}}{M} T = R_{gas} T \quad (2-9)$$

โดยที่ R_{gas} คือ แก๊สคงที่ (Gas Constant) หน่วยเป็น เอทีเอ็มต่อ โมลคูณ องศาเคลวิน (atm/mol.K)



ภาพที่ 2-17 ค่าความจุในระบบความดัน

เลขชี้กำลังของการขยายตัวของแก๊ส ค่า n เท่ากับ 1 แต่สำหรับ เลขชี้กำลังของการไม่สูญเสียความร้อนค่า n จะมีค่า เท่ากับ อัตราค่าความร้อนเฉพาะ (Rate Specific Heat) ในกรณีทางปฏิบัติ ค่าของ n ประมาณค่าคงที่ และดังนั้นค่าความจุ อาจจะพิจารณาว่าคงที่ ดังนั้นเขียนสมการใหม่ในสมการที่ 2-10 และ 2-11

$$\frac{dp}{d\rho} = \frac{1}{nR_{gas}T} \quad (2-10)$$

ดังนั้นค่าความจุจะได้ดังนี้

$$C = \frac{V}{nR_{gas}T} \quad (2-11)$$

2.5 เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder)

ในกรณีที่ต้องการวัดระยะทางยาวๆมักนิยมใช้ตัวตรวจรู้ (Sensor) ตำแหน่งแบบดิจิทัล โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นระบบการวิเคราะห์แบบดิจิทัล เนื่องจากตัวตรวจรู้ชนิดนี้จะไม่ถูกจำกัดช่วงของการวัดด้วยกลไก แต่ความสามารถในการวัดจะขึ้นอยู่กับซอฟต์แวร์ที่ใช้เป็นหลัก

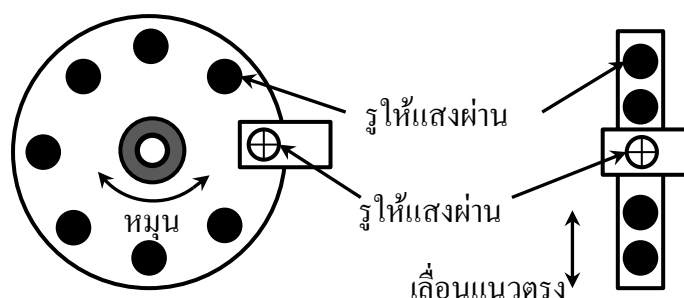
ตัวตรวจรู้ตำแหน่งแบบดิจิทัลใน ที่นี้จะกล่าวถึง เอ็นโค้ดเดอร์ตรวจรู้ตำแหน่ง (Position Encoder) ซึ่งสามารถแบ่งตามโครงสร้างการเคลื่อนที่ออกได้เป็นสองแบบด้วยกันคือ เอ็นโค้ดเดอร์

ตำแหน่งแบบหมุน (Rotation Position Encoder) และเอ็นโค้ดเดอร์ตำแหน่งแบบเคลื่อนที่แนวเส้นตรง (Linear Position Encoder)

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

2.5.1 เอ็นโค้ดเดอร์แบบเพิ่มค่า

เอ็นโค้ดเดอร์แบบเพิ่มค่า ประกอบด้วยแผ่นกลมหรือแผ่นบรรทัดแนวตรง ที่เคลื่อนที่ตามกลไกที่ต้องการวัดระยะทาง ในกรณีของออปติคัลเอ็นโค้ดเดอร์ (Optical Encoder) จะมีการเจาะรูเพื่อให้แสงผ่านไปเป็นระยะๆ เพื่อบอกตำแหน่งของแผ่นหมุน โดยจะให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณพัลส์ (Pulse) ออกมาทุกครั้งที่มีการหมุนแกนเอ็นโค้ดเดอร์ ทำให้สามารถทราบมุมที่หมุนหรือระยะทางเคลื่อนที่ไปได้ โดยเอาต์พุตปกติจะมีแค่เพียงบิตเดียวหรือสองบิตเพื่อให้ออกทิศทางได้



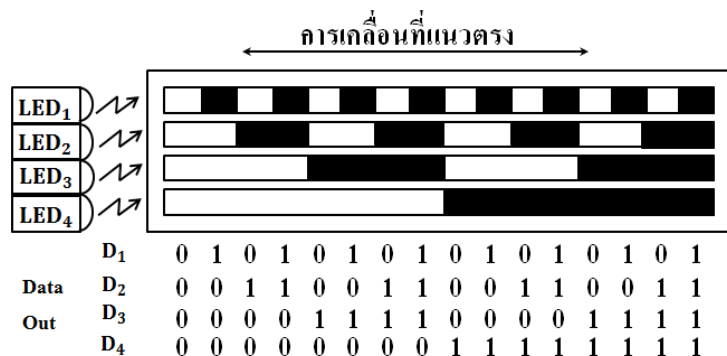
ภาพที่ 2-18 เอ็นโค้ดเดอร์แบบเพิ่มค่าด้านซ้ายแบบหมุน ด้านขวาแบบเคลื่อนแนวตรงเชิงเส้น

เอ็นโค้ดเดอร์แบบนี้มีข้อเสียตรงที่ข้อมูลของการเคลื่อนที่จะหายไปหมดเมื่อ แหล่งจ่ายไฟฟ้าดับหรือมีการแยกสายสัญญาณออกแม้เพียงชั่วขณะเดียวหรือเมื่อมีการรบกวนของสัญญาณเกิดขึ้น ทำให้ต้องมีการปรับเทียบกับจุดอ้างอิงอยู่ตลอดเวลาเพื่อความถูกต้อง นอกจากนี้ข้อมูลที่จะนำไปใช้ยังมักจำเป็นที่จะต้องผ่านวงจรนับ (Counter) เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงขนานที่ใช้ในระบบคอมพิวเตอร์

2.5.2 เอ็นโค้ดเดอร์แบบสัมบูรณ์

เอ็นโค้ดเดอร์แบบสัมบูรณ์จะให้เอาต์พุตในรูปแบบที่เป็นรหัส ที่ตรงกับตำแหน่งที่กลไกเคลื่อนที่ไป หลักการทำงานโดยรวมจะเหมือนกับเอ็นโค้ดเดอร์แบบเพิ่มค่า แต่ในตัวเอ็นโค้ดเดอร์

แบบสัมบูรณ์ จะมีหัวอ่านหลายชุดเท่ากับจำนวนบิตเอาต์พุต การเจาะรูบนแผ่นแต่ละชุดก็จะมีระยะห่างเป็นทวิคูณทำให้สามารถทราบตำแหน่งของ การหมุนโดยทันที



ภาพที่ 2-19 เ็นโค้ดเดอร์แบบสัมบูรณ์แบบเลื่อนแนวตรงขนาด 4 บิต

ตัวอย่างในภาพที่ 2-19 จะเป็นเอ็นโค้ดเดอร์แบบเลื่อนในแนวตรง ขนาด 4 บิตข้อมูล ซึ่งจะมีหัวอ่านข้อมูล 4 หัวด้วยกัน คือ D1,D2,D3 และ D4 ทำให้สามารถอ่านข้อมูลได้ทั้งสิ้น 16 ระดับขึ้นตั้งแต่ 0000, 0001 .. ไปเรื่อย ๆ จนถึง 1111

เอ็นโค้ดเดอร์แบบนี้จะมีข้อดีตรงที่ข้อมูลยังคงถูกต้อง ถึงแม้สัญญาณจะหายไปชั่วขณะเนื่องจากข้อมูลที่ได้จะหมายถึงตำแหน่งของการเคลื่อนที่นั้น ๆ กล่าวคือ สามารถบอกได้ทันทีว่า การเคลื่อนที่ถึงไหนแล้วโดยดูจากข้อมูลดิจิทัลที่ได้ ต่างจากเอ็นโค้ดเดอร์แบบเพิ่มค่า ซึ่งจะต้องทราบวก่อนหน้าว่าการเคลื่อนที่อยู่ที่ตำแหน่งใดแล้วบวกเพิ่มค่า ตำแหน่งขึ้นไปจากเดิม จึงจะทราบว่าเคลื่อนที่ถึงไหนแล้ว เมื่อเป็นเช่นนี้ทำให้เอ็นโค้ดเดอร์ชนิดนี้บอกถึงทิศทางการเคลื่อนที่ของกลไกได้ทันที เพราะข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จะมีการเพิ่มหรือลดตามทิศทางการเคลื่อนที่โดยตรง อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความซับซ้อนของอุปกรณ์ ทำให้เอ็นโค้ดเดอร์แบบนี้มีราคาแพงกว่าแบบเพิ่มค่ามาก สำหรับเอ็นโค้ดเดอร์แบบสัมบูรณ์แล้ว การเรียงรูปแบบของข้อมูลหรือการเข้ารหัส ดังภาพที่ 2-19 จะเป็นการเข้ารหัสแบบเลขฐานสองตามธรรมชาติ (Natural Binary Code) ปกติแต่ในทางปฏิบัติยังมีการเข้ารหัสอีกหลายแบบ เช่น แบบเลขฐานสิบเข้ารหัสเลขฐานสอง (Binary Code Decimal : BCD) และรหัสเกรย์ (Gray Code) ดังนั้นการใช้งานต้องทราบถึงชนิดของการเข้ารหัสด้วย

2.6 การควบคุมด้วยฟัซซี่ (Fuzzy Controller)

เซตแบบฉบับ (Classical Set) คือเซตที่มีขอบเขต ตัวอย่างเช่น เซต A มีขอบเขตมีค่ามากกว่า 6 แสดงดังสมการที่ 2-8

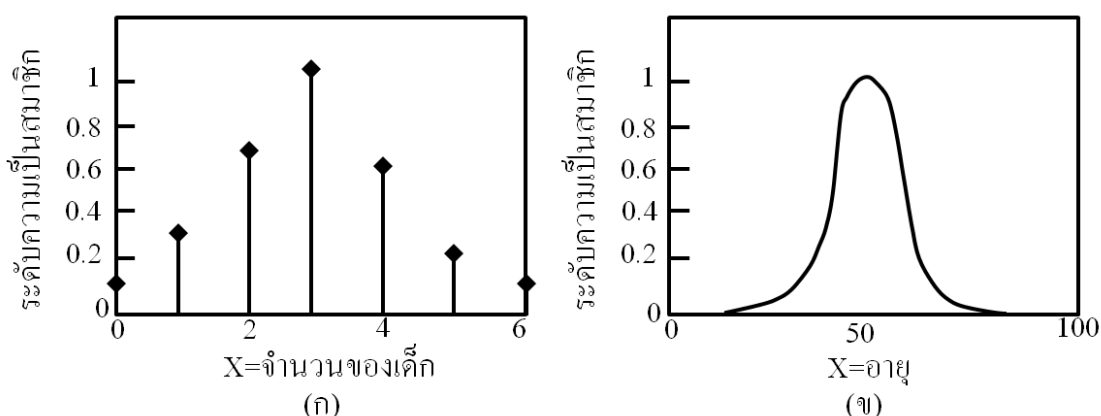
$$A = \{(x) > 6\} \quad (2-8)$$

2.6.1 นิยามพื้นฐานและคำศัพท์

นิยาม ฟัซซี่เซต และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) ให้ X เป็นเซตที่ไม่ว่าง ฟัซซี่เซต A สามารถแสดงลักษณะเฉพาะได้จากฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\} \quad (2-12)$$

เมื่อ $A \mu X$ สามารถตีความเป็นค่าของความเป็นสมาชิกภาพของตัวประกอบ x ใน ฟัซซี่เซต A สำหรับแต่ละ (อ่านว่า “ x เป็นสมาชิกของ A ”) ฟัซซี่เซต สามารถเขียนเป็นเซตของคู่ลำดับ (Tuples) เมื่อ A หมายถึงฟัซซี่เซต A และ x หมายถึงสมาชิกของเซต (Set Membership) $\mu_A(x)$ หมายถึง ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $\mu_A(x)$ บางครั้งแทนด้วย $A(x)$ X หมายถึงเอกภพสัมพัทธ์ (Universe) หรือประชากร



ภาพที่ 2-20 (ก) จำนวนของเด็กในครอบครัว (ข) จุดกึ่งกลางของอายุเป็น 50

นิยาม ซัพพอร์ตของฟัซซี่เซต (Support of Fuzzy Set) ซัพพอร์ตของฟัซซี่เซต คือ คลิปเซตของสมาชิก x ในเอกภพสัมพัทธ์ ที่มีอัตราเป็น สมาชิกของฟัซซี่เซต มากกว่า 0 เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ดังนี้

$$\text{Support } (A) = \{x \mid \mu_A(x) > 0\} \quad (2-13)$$

นิยาม ความสูงของฟัซซี่เซต (Core) คือ ศูนย์กลางของฟัซซี่เซต A คือเซตของ x ทั้งหมดใน X ดังเช่น (...) $A \mu x = \text{Core } (A)$

$$\text{Core } (A) = \{x \mid \mu_A(x) > 1\} \quad (2-14)$$

นิยาม นอร์มอล คือ ฟัซซี่เซต A จะถูกเรียกว่านอร์มอล (Normal) ก็ต่อเมื่อความสูงเท่ากับหนึ่งสามารถหาจุด $x \in X$ ดังเช่น $\mu_A(x) = 1$

นิยาม จุดแบ่งของฟัซซี่ (Crossover Point of Fuzzy Set) จุดแบ่งของฟัซซี่ คือ จุดใด ๆ ในเอกภพสัมพัทธ์ ที่มีอัตราความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.5

$$\text{Crossover } (A) = \{x\mu_A | (x) = 0.5\} \quad (2-15)$$

นิยาม ฟัซซี่เซตซิงเกิลตัน (Fuzzy Singleton) คือ ชัฟพอร์ดของฟัซซี่ ที่มีสมาชิกเพียงตัวเดียวใน X ด้วย $\mu_A(x) = 1$ ภาพที่ 2-21(a) และ 2-21 (b) แสดง ศูนย์กลาง, ชัฟพอร์ด และจุดแบ่งของฟัซซี่แบบฟังก์ชันระฆังคว่ำ โดยมีอายุหนุ่ม และมีฟัซซี่เซตซิงเกิลตันที่อายุ 45 ปี

นิยาม α - cut เซตของฟัซซี่เซต (α -cut Set of Fuzzy Set) คือคลิป์เซตของสมาชิก x ทั้งหมด ที่มีอัตราความเป็นสมาชิกมากกว่าหรือเท่ากับ α

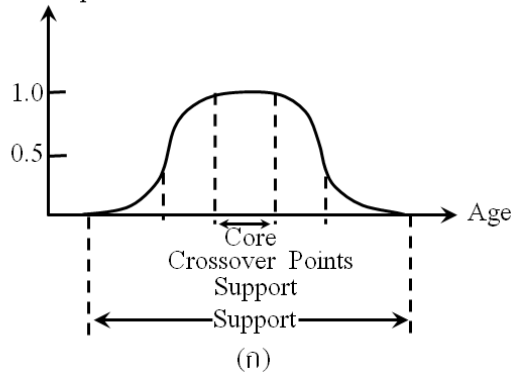
เขียนแทนด้วย

$$A_\alpha = \{x\mu_A | (x) \geq \alpha\} \quad (2-16)$$

$$A'_\alpha = \{x\mu_A | (A)\alpha\} \quad (2-17)$$

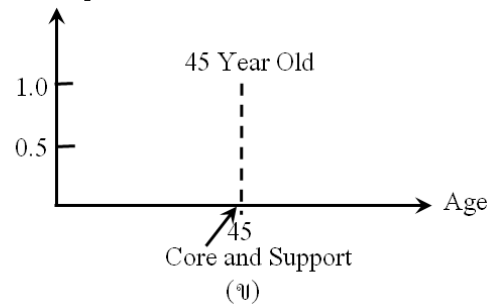
$$\text{Support } (A) = A'_0 \text{ และ } \text{core } (A) = A_1$$

Membership Grades



(ก)

Membership Grades



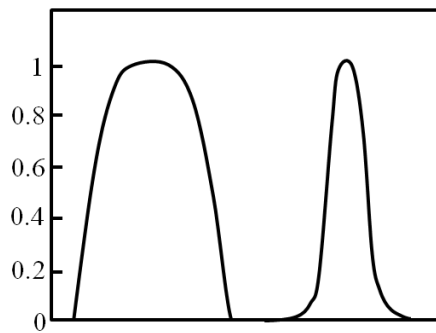
(ข)

ภาพที่ 2-21 (ก) ความสูงของฟัซซี่เซต ชัฟพอร์ด (ข) จุดแบ่งของฟัซซี่

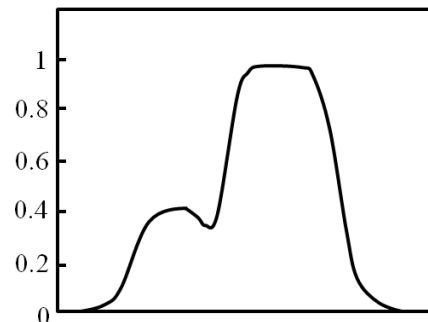
นิยาม คอนเวกซ์ฟัซซี่ คือฟัซซี่เซต A จะเป็นคอนเวกซ์ได้ถ้า $x_1, x_2 \in X$ และ $\lambda \in [0,1]$

$$u_A(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) \geq \min\{u_A(x_1), u_A(x_2)\} \quad (2-18)$$

$$f(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) \geq \lambda f(x_1) + (1-\lambda)f(x_2) \quad (2-19)$$



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2-22 (ก) สองคอนเวกซ์ของความเป็นสมาชิก (ข) ไม่เป็นคอนเวกซ์ของสมาชิก

2.6.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุต

เป็นฟังก์ชันที่ใช้แปลงตัวแปรอินพุต e และ Δe ให้อยู่ในฟัซซี่เซต มีข้อกำหนดดังนี้

2.6.2.1 กำหนดย่านของเอกภพสัมพัทธ์ของค่าผิดพลาด (e) เท่ากับ $[-1,1]$

เอกภพสัมพัทธ์ของอัตราการผิดพลาด (Δe) เท่ากับ $[-1,1]$

2.6.2.2 มีการกระจายแบบเชิงเส้น มีการทับกันแต่ละฟังก์ชัน 50 %

2.6.2.3 จำนวนเทอมของฟัซซี่เซต 3,5,7 ของเทอมและกำหนดค่าฟังก์กัวิก 3,5,7 ระดับ (แสดงดังในภาพที่ 2-23 , 2-24 , 2-25 , 2-26, 2-27)

3 ระดับ

NB คือ Negative Big

Ze คือ Zero

PB คือ Positive Big

5 ระดับ

NB คือ Negative Big

NS คือ Negative Small

ZE คือ Zero

PS คือ Positive Small

PB คือ Positive Big

7 ระดับ

NB คือ Negative Big

NM คือ Negative Medium

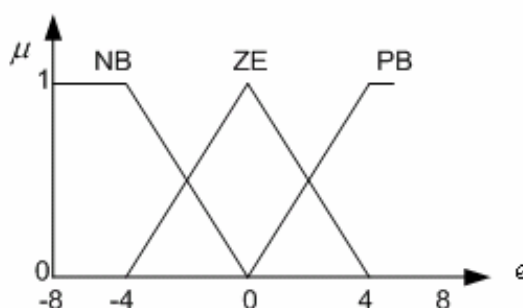
NS คือ Negative Small

ZE คือ Zero

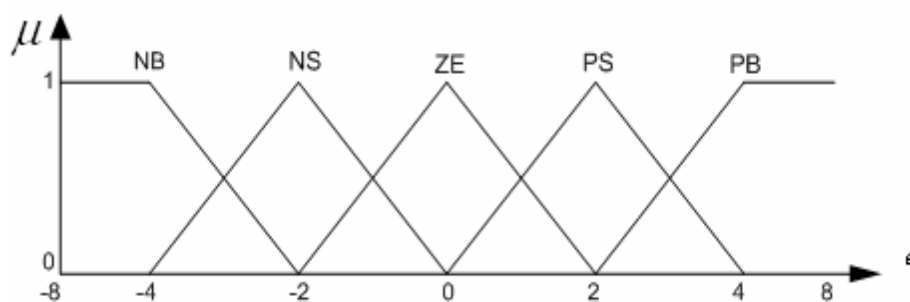
PS คือ Positive Small

PM คือ Positive Medium

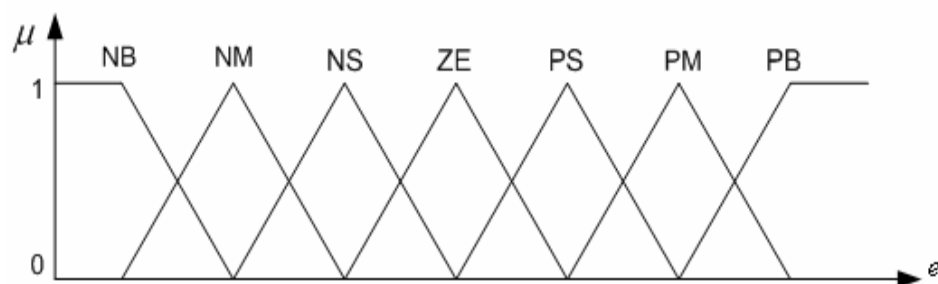
PB คือ Positive Big



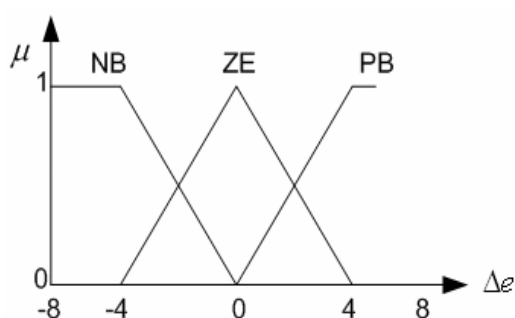
ภาพที่ 2-23 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าผิดพลาดแบบ 3 สมาชิก



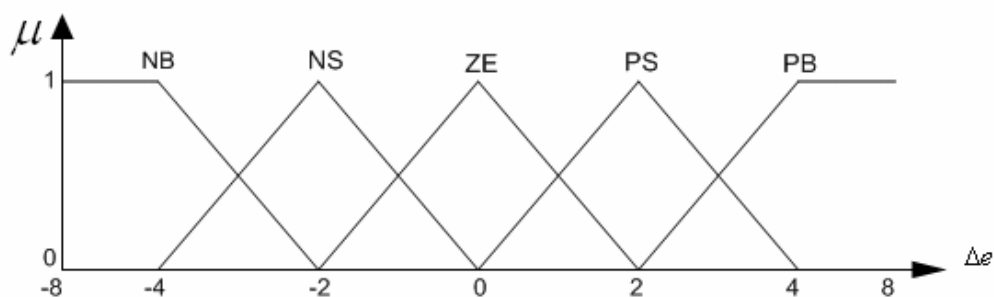
ภาพที่ 2-24 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าผิดพลาดแบบ 5 สมาชิก



ภาพที่ 2-25 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าผิดพลาดแบบ 7 สมาชิก



ภาพที่ 2-26 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอัตราการผลิตแบบ 3 สมาชิก



ภาพที่ 2-27 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอัตราการผลิตแบบ 5 สมาชิก

ความหมายของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแต่ละเทอม

Negative Big (NB) คือ ค่าแรงดันไฟลบมาก

Negative Medium (NM) คือ ค่าแรงดันไฟลบปานกลาง

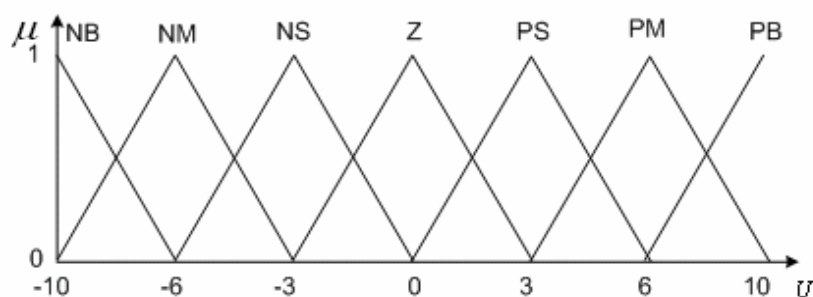
Negative Small (NS) คือ ค่าแรงดันไฟลบน้อย

Zero (Z) คือ ค่าแรงดันไฟเป็นศูนย์

Positive Small (PS) คือ ค่าแรงดันไฟบวกน้อย

Positive Medium (PM) คือ ค่าแรงดันไฟบวกปานกลาง

Positive Big (PB) คือ ค่าแรงดันไฟบวกมาก



ภาพที่ 2-28 แสดงสมาชิกเอาต์พุตแบบ 7 สมาชิก

2.6.3 การออกแบบการสร้างกฎ (Rule)

เนื่องจากมีสมาชิกอินพุต 2 อินพุตแต่ละอินพุตมี 5 สมาชิก ดังนั้นจำนวนกฎจึงเท่ากับ $5 \times 2 = 25$ กฎ และแต่ละกฎที่ตั้งขึ้นมานี้จะไม่ซ้ำกันแสดงดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 การออกแบบการสร้างกฎ

Δe e	NB	NS	Z	PS	PB
NB	NB	NM	NM	NS	Z
NS	NM	NM	NS	Z	PS
Z	NM	NS	Z	PS	PM
PS	NS	Z	PS	PM	PM
PB	Z	PS	PM	PM	PB

2.7 การควบคุมด้วยพีไอดี (PID Controller)

การควบคุมด้วยพีไอดี ประกอบด้วยภาคต่างๆ คือ Proportional-Action Controller (P-Controller) หรือที่เรียกว่า การควบคุมแบบสัดส่วน เป็นการควบคุมซึ่งมีการปฏิบัติการแก้ไขความผิดพลาดโดยให้สัญญาณที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความผิดพลาด เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$m = K_p e \quad (2-20)$$

$$M(s) = K_p E(s) \quad (2-21)$$

โดยที่ m คือ ปริมาณที่เปลี่ยนแปลงที่ใช้แก้ไขความผิดพลาด (Manipulating Variable)

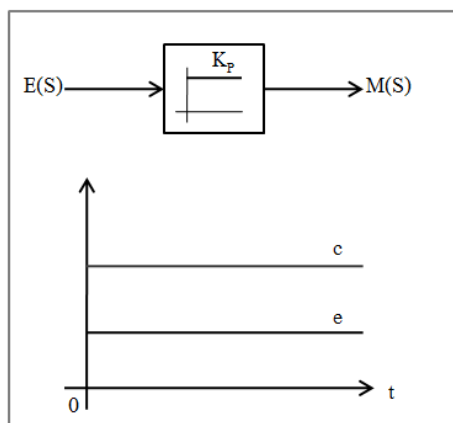
e คือ ค่าความผิดพลาด (Error)

K_p คือ อัตราการขยายของตัวควบคุมแบบอัตราส่วน (Proportional Gain)

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

$M(s)$ คือ เอาต์พุต (Output)

จากสมการ (2-21) สามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมได้ดังภาพที่ 2-29



ภาพที่ 2-29 แผนภาพแสดงเวลาการตอบสนองการควบคุมแบบสัดส่วน

คุณลักษณะที่สำคัญของการควบคุมแบบสัดส่วนก็คือ จะมีผลตอบสนองต่อค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง (Actuating Error : $E(s)$) ของสัญญาณอินพุตแบบทันทีทันใดจะได้ขนาดปริมาณที่เปลี่ยนแปลงที่ใช้แก้ไขความผิดพลาด (Manipulating Variable : m) ของเอาต์พุต นอกจากจะขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณอินพุตแล้ว ยังขึ้นกับอัตราการขยายของตัวควบคุมแบบอัตราส่วน (Proportional Gain : K_p)

จะเห็นว่าค่าของสัญญาณเอาต์พุตจะคงอยู่ได้ก็ต่อเมื่อมีสัญญาณอินพุต หรือค่าความผิดพลาดปรากฏอยู่ในสภาวะคงที่เท่านั้น (Steady-State Error) ซึ่งเท่ากับ

$$e_{ss} = \frac{m_{ss}}{K_p} \quad (2-22)$$

โดยที่ e_{ss} คือ ค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง ในช่วง Steady-State

m_{ss} คือ ปริมาณที่เปลี่ยนแปลงที่ใช้แก้ไขความผิดพลาดในช่วง Steady-State

K_p คือ อัตราการขยายของตัวควบคุมแบบอัตราส่วน

การควบคุมแบบสัดส่วนต้องการค่าความผิดพลาด เพื่อกำเนิดสัญญาณเอาต์พุตสำหรับกระบวนการ (Process or Plant) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า การควบคุมแบบสัดส่วนไม่สามารถกำจัดค่าความผิดพลาดของระบบที่ถูกใช้ให้ควบคุมให้หมดได้ แต่เนื่องจากการควบคุมแบบสัดส่วนตอบสนองต่อสัญญาณอินพุตแบบฉับพลัน จึงทำให้มีความไวในการควบคุมระบบ ซึ่งถือได้ว่าเป็นคุณสมบัติเด่นของการควบคุมแบบสัดส่วน

Derivative-Action Controller (D-Controller) หรือที่เรียกว่า การควบคุมแบบอนุพันธ์ (Differential) เป็นการควบคุมซึ่งมีการปฏิบัติการเพื่อแก้ไขความผิดพลาด โดยให้สัญญาณที่เป็น

สัดส่วนโดยตรงกับการอนุพันธ์ของค่าความผิดพลาด (Time Differential of the Error) เขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$m = K_d \left(\frac{de}{dt} \right) \quad (2-23)$$

$$M(s) = K_d S[E(s)] \quad (2-24)$$

โดยที่ m คือ ปริมาณที่เปลี่ยนแปลงที่ใช้แก้ไขความผิดพลาด

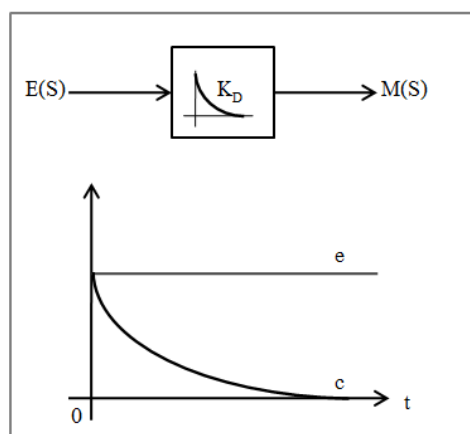
e คือ ค่าความผิดพลาด

K_d คือ อัตราการขยายของตัวควบคุมแบบอัตราส่วน

$E(s)$ คือ ค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง

$M(s)$ คือ เอาต์พุต

จากสมการ (2-24) สามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมได้ดังภาพที่ 2-30



ภาพที่ 2-30 แผนภาพแสดงเวลาการตอบสนองการควบคุมแบบอนุพันธ์

จากสมการ 2-24 จะเห็นว่าการแก้ไขค่าผิดพลาดเป็นอัตราของการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด ดังนั้นการควบคุมแบบอนุพันธ์ (D-Controller) จะให้สัญญาณเอาต์พุตที่เกิดจากการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุตเท่านั้น และจะไม่มีผลต่อสัญญาณอินพุตหรือค่าความผิดพลาดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรืออยู่ในสภาวะคงที่

การควบคุมแบบอนุพันธ์ ทำให้ระบบสามารถที่จะแก้ไขความผิดพลาดก่อนที่ค่าความผิดพลาดจะมีมากขึ้น แต่จะไม่รับรู้การมีอยู่ของค่าความผิดพลาดที่อยู่ในสภาวะคงที่ ดังนั้นการควบคุมแบบอนุพันธ์เพียงอย่างเดียวจึงไม่เหมาะที่จะใช้ในการควบคุมระบบ การชดเชยข้อด้อยดังกล่าวทำได้โดยใช้การควบคุมแบบอนุพันธ์ร่วมกับการควบคุมแบบสัดส่วนและการควบคุมแบบปริพันธ์ เพื่อให้คุณสมบัติโดยรวมของการควบคุมดีขึ้น

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

$$m = K_i \left(\int e dt \right) \quad (2-25)$$

$$M(s) = \frac{K_i [E(s)]}{S} \quad (2-26)$$

โดยที่ m คือ ปริมาณที่เปลี่ยนแปลงที่ใช้แก้ไขความผิดพลาด

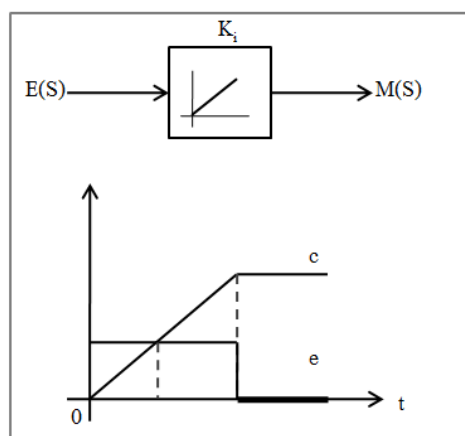
e คือ ค่าความผิดพลาด

K_i คือ อัตราการขยายของตัวควบคุมแบบปริพันธ์

$E(s)$ คือ ค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง

$M(s)$ คือ เอาต์พุต

จากสมการ (2-26) สามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมได้ดังภาพที่ 2-31



ภาพที่ 2-31 แผนภาพแสดงเวลาการตอบสนองการควบคุมแบบปริพันธ์

จากสมการ 2-26 จะเห็นว่าสัญญาณเอาต์พุตเป็นค่าสะสมของสัญญาณอินพุต หมายความว่ายังมีสัญญาณอินพุตหรือค่าความผิดพลาดปรากฏอยู่ ค่าของสัญญาณเอาต์พุตจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ค่าของสัญญาณเอาต์พุตจะหยุดเปลี่ยนแปลงและรักษาค่าให้คงที่ไว้เมื่อค่าความผิดพลาดเท่ากับศูนย์ (Error : $e = 0$) ความเร็วการเพิ่มขึ้นของสัญญาณเอาต์พุตนอกจากจะขึ้นอยู่กับขนาดของค่าความผิดพลาดแล้วยังขึ้นกับ การตั้งค่าเวลาของปริพันธ์ (Integral reset time : T_i)

คุณลักษณะสำคัญของการควบคุมแบบปริพันธ์หรือ (I-Controller) จะเห็นได้จากการปริพันธ์สมการ 2-25 ซึ่งจะได้ $\left(\frac{dm}{dt} \right) = K_i (e)$ แสดงให้เห็นว่า อัตราการแก้ไขความผิดพลาดเป็นสัดส่วนกับ

ค่าความผิดพลาด ดังนั้นตัวควบคุมแบบป้อนกลับจึงสามารถทำการแก้ไขความผิดพลาดของระบบจนกระทั่งไม่มีความผิดพลาดเหลืออยู่ แต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้การตอบสนองของระบบช้าลง เมื่อเทียบกับการควบคุมแบบสัดส่วนแล้ว จะเห็นว่าการควบคุมแบบป้อนกลับ มีคุณสมบัติของการหน่วงเวลา (Time delay) ร่วมอยู่ด้วย

2.8 การควบคุมการเคลื่อนไหว (Motion Control)

การควบคุมการเคลื่อนที่ คือ ระบบที่ประกอบด้วยส่วนของเครื่องจักรเครื่องกล (Mechanical) วงจรไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์ และซอฟต์แวร์ควบคุม ทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการการเคลื่อนที่ของวัตถุให้เป็นไปตามความต้องการ โดยจะมีการควบคุมทิศทาง การหมุน ความเร็ว และตำแหน่ง ซึ่งจะมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า ดันกำลัง เป็นตัวส่งกำลังให้เกิดการเคลื่อนที่ขึ้น และจากการที่มีอุปกรณ์ดันกำลังหลายประเภท ทำให้เกิดวิธีการควบคุมการทำงานที่แตกต่างกัน การควบคุมการเคลื่อนที่จึงมีลักษณะการนำไปใช้งานในหลายรูปแบบ ตามประเภทของงาน ดังนั้นจึงควรมีการออกแบบการควบคุมการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมกับงาน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด

2.8.1 เทคนิคการขับเคลื่อน เทคนิคการขับเคลื่อน คือวิธีการขับเคลื่อนอุปกรณ์ดันกำลังให้ทำงานตามความต้องการ เนื่องจากมีอุปกรณ์ดันกำลังอยู่หลายประเภทให้เลือกใช้งาน ซึ่งจะมีวิธีการขับเคลื่อนที่แตกต่างกันออกไป โดยจะแบ่งวิธีการขับเคลื่อนตามประเภทของดันกำลัง ซึ่งแบ่งออกได้ 3 วิธีการ คือ

2.8.1.1 วิธีการไฟฟ้า (Electrical) จะใช้อุปกรณ์ประเภทมอเตอร์ (Motor) ขดลวด (Coil) และอุปกรณ์ไฟฟ้าเชิงกลอื่นๆ ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายและนิยมใช้กันมาก เช่น มอเตอร์ที่ติดตั้งเพื่อขับเคลื่อนที่เป็นข้อหรือมือที่ใช้จับวัตถุนั้นสามารถวางตรงตำแหน่งฐานได้ ซึ่งสามารถส่งถ่ายกำลังจากมอเตอร์โดยใช้เส้นลวด โซ่ หรือสายพานมายังตำแหน่งข้อต่อที่ขับเคลื่อนได้ อุปกรณ์ดันกำลังที่นิยมใช้กันมากก็คือมอเตอร์ ซึ่งก็จะเป็นสเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper Motor) กับเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)

2.8.1.2 วิธีการทางไฮดรอลิก (Hydraulic) จะเป็นกระบอกที่บรรจุน้ำมันที่มีความดันอยู่ภายใน โดยจะมีปั๊มทำหน้าที่ดูดและอัดความดันให้กับกระบอกสูบเกิดการเคลื่อนที่ได้ ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายกับระบบเบรกของรถยนต์ทั่วไป

2.8.1.3 วิธีการทางนิวแมติกส์ (Pneumatic) จะคล้ายกับระบบไฮดรอลิก แต่จะแตกต่างกันตรงที่ระบบนิวแมติกส์นั้นจะใช้น้ำมันจากอากาศแทนความดันจากน้ำมัน ซึ่งจะดีกว่าระบบไฮดรอลิกคือ จะไม่เกิดปัญหาการรั่วไหลของน้ำมันทำให้เกิดความสกปรกและไม่สิ้นเปลืองน้ำมัน

2.9 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

เป็นอุปกรณ์ไอซี (Integrated Circuit : IC) ที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้ซับซ้อน สามารถรับข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัลเข้าไปทำการประมวลผลแล้วส่งผลลัพธ์ข้อมูลดิจิทัลออกมา เพื่อนำไปใช้งานตามที่ต้องการได้

โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์

2.9.1 หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit : CPU) ทำหน้าที่ประมวลผลทุกอย่างเหมือนกับ ซีพียู ในคอมพิวเตอร์

2.9.2 หน่วยความจำ (Memory) มีหน้าที่ในการเก็บข้อมูลต่างๆ แบ่งออกเป็นสองส่วน คือ หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) และ หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) โดยที่โปรแกรมเมอร์นี้จะเก็บข้อมูลหลักของโปรแกรมเอาไว้เหมือน ฮาร์ดดิสก์ (Hard disk) ของเครื่องคอมพิวเตอร์ นั่นหมายความว่า ต่อให้ไม่ได้จ่ายไฟเลี้ยงข้อมูลก็จะยังคงอยู่ แต่หน่วยความจำข้อมูลนี้จะทำหน้าที่คล้าย ๆ กระดาษทด คือเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวเฉย ๆ ถ้าไม่ได้จ่ายไฟเลี้ยงข้อมูลก็จะหายไป

2.9.3 ส่วนติดต่อภายนอก (Port) มี 2 แบบ คือ อินพุตกับ เอาต์พุต

อินพุตคือตัวที่จะต่อกับอุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อที่จะรับข้อมูลเข้ามา เช่น สวิตช์ (Switch) , ตัวตรวจจับ ต้องมาต่อที่ อินพุตเพราะจะเป็นตัวส่งข้อมูล

เอาต์พุตจะเป็นตัวที่จะต่อกับอุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อจะส่งข้อมูลออกไป อย่างเช่น หลอดไฟ แอลอีดี (LED) หน้าจอ แอลซีดี (LCD) และส่วนติดต่อภายนอก ต้องมาต่อที่ เอาต์พุต

2.9.4 ช่องทางเดินของสัญญาณ (Bus) คือเส้นทางที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่างซีพียู, หน่วยความจำ และ ส่วนติดต่อภายนอก เหมือนถนนที่เอาไว้ให้รถวิ่งนั่นเอง ซึ่งแบ่งเป็น ช่องทางเดินของสัญญาณข้อมูล (Data Bus) , การติดต่อช่องทางเดินของสัญญาณ (Address Bus) และ การควบคุมช่องทางเดินของสัญญาณ (Control Bus)

2.9.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR รุ่น ET-EASY MEGA1280

คุณสมบัติของบอร์ด

- ใช้ ATMEGA1280 เป็น MCU ประจำบอร์ด Run ความถี่ 16 เมกะเฮิร์ตซ์ จาก Crystal Oscillator

- 128 กิโลไบต์ Flash (สงวนไว้ 4 กิโลไบต์ สำหรับ Bootloader) / 8 กิโลไบต์ SRAM / 4 กิโลไบต์ EEPROM

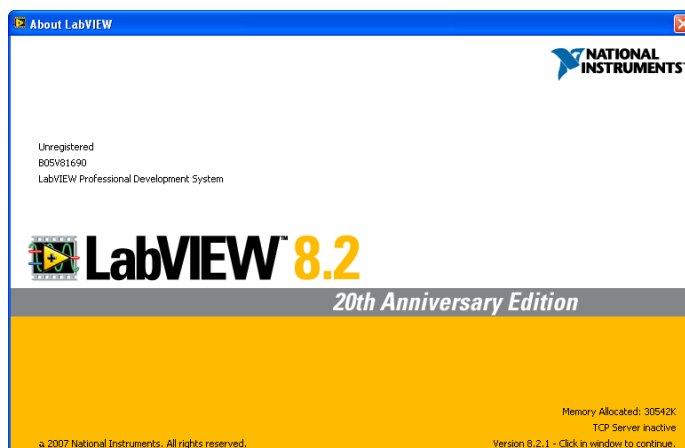
- รองรับการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา C++ ของ Arduino ตามแบบ Arduino Mega ได้ 100%

- ใช้ USB Bridge ของ FTDI เบอร์ FT232RL พร้อม Over Current Protection สำหรับติดต่อสื่อสารและ Download Code จากคอมพิวเตอร์ให้บอร์ด พร้อม Jumper สำหรับปรับใช้งานบอร์ดเป็นการ Program Bootloader ให้กับ MCU จากพอร์ต USB ในบอร์ดได้เอง โดยไม่ต้องใช้เครื่องโปรแกรม AVRISP จากภายนอก
- 54 Pin Digital I/O โดยมี 14Pin สามารถโปรแกรมหน้าที่เป็น PWM ได้
- 6 Pin Analog Input (A/C ขนาด 10 บิต 16 ช่อง)
- 4 UART(Hardware Serial Port) แบบ TTL Logic
- ขนาดของ PCB บอร์ด และ ตำแหน่ง Pin Connector ต่างๆ ตรงกันกับ Arduino Mega ทั้งหมด ทำให้สามารถนำไปติดตั้งใช้งานร่วมกับบอร์ด Shield แบบต่างๆที่มีการผลิตขึ้นมาใช้งานร่วมกันกับบอร์ด Arduino Mega ได้ทั้งหมด โดยบอร์ดมีขนาด PCB Size 5.3 เซนติเมตร x 10.2 เซนติเมตร
- มีขั้ว Header 10Pin IDE ของ 8 บิต Digital I/O(D22...D29) สำหรับเชื่อมต่อกับ LCD หรือ บอร์ด I/O แบบต่างๆ ของ อีทีที เพื่อความสะดวกในการใช้งาน
- รองรับการใช้งานกับ External Supply ทั้งแบบ AC และ DC ขนาด 7-12 โวลต์ โดยเลือกใช้ Regulate แบบ Switching ขนาด 1 แอมป์ (LM2575-5 โวลต์) ลดปัญหาเรื่องความร้อนเมื่อมีการใช้กระแสสูงๆสามารถใช้แหล่งจ่ายจากพอร์ต USB ได้ในกรณีใช้กระแสไม่เกิน 500 มิลลิแอมป์ โดยมีวงจรเลือกแหล่งจ่ายอัตโนมัติโดยจะตัดการใช้ไฟเลี้ยงจาก USB โดยอัตโนมัติ เมื่อมีการต่อแหล่งจ่ายจากภายนอกให้บอร์ด



ภาพที่ 2-32 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR รุ่น ET-EASY MEGA1280

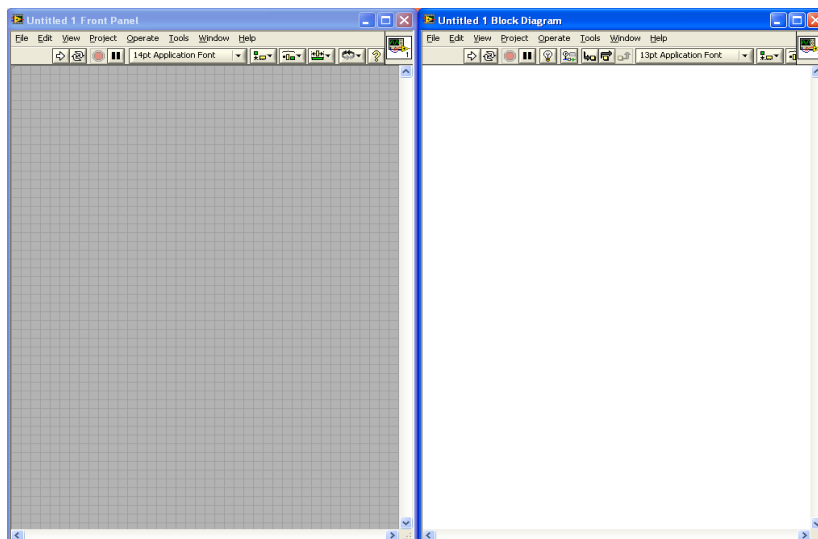
2.10 โปรแกรมแลปวิว



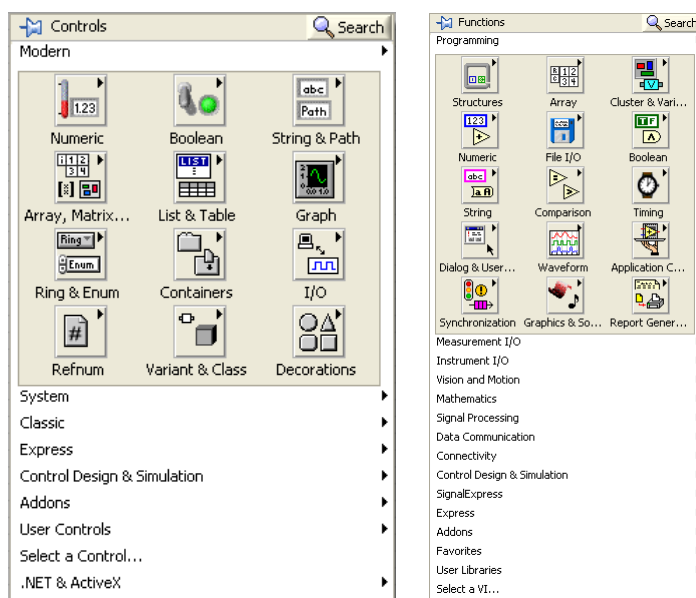
ภาพที่ 2-33 โปรแกรมแลปวิว

แลปวิว คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นเพื่อนำมาใช้ในด้านการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม LabVIEW นั้นย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench หมายความว่า เครื่องมือเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม ซึ่งจุดประสงค์ของการทำงานของโปรแกรมนี้คือการจัดการในด้านการวัดและเครื่องมือวัด อย่างมีประสิทธิภาพ โปรแกรมแลปวิวมีข้อแตกต่างจากโปรแกรมอื่นคือ เป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphical User Interface : GUI) คือไม่จำเป็นต้องเขียนโค้ด (Code) หรือคำสั่งใดๆ และลักษณะภาษาที่ใช้เขียนในโปรแกรมนี้จะเรียกว่าเป็น ภาษารูปภาพ (Graphical Language) แม้ว่าในเบื้องต้นอาจจะไม่คุ้นเคยหรือสับสนกับการจัดเรียงหรือเขียนโปรแกรม แต่เมื่อได้คุ้นเคยการใช้โปรแกรมนี้แล้วจะพบว่า โปรแกรมแลปวิวมีความสะดวก และสามารถลดเวลาในการเขียนโปรแกรมไปได้มาก โดยเฉพาะในงานเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์อื่นๆ เพื่อใช้ในการวัดและการควบคุม

การเขียนโปรแกรมด้วยแลปวิวที่อยู่ 2 ส่วนการเขียนคือ ส่วนแรกคือ Front Panel จะเป็นหน้าต่างเมื่อรันโปรแกรม Front Panel จะส่วนแสดงผลหรือควบคุมก็ได้ ขึ้นอยู่กับการเขียนโปรแกรมไว้ในส่วนที่สอง คือ Block Diagram เปรียบกับเป็นโค้ดของโปรแกรม ในทั้งสองหน้าต่างก็จะมีเครื่องมือในการเขียนโปรแกรม เมื่อวางเครื่องมือในหน้าต่างของ Front Panel ฟังก์ชันก็จะเกิดขึ้นใน Block Diagram อัตโนมัติ ยกเว้น เครื่องมือที่ไม่เกี่ยวกับการประมวลผล เป็นหมายเหตุ หรือตกแต่งให้สวยงามเท่านั้น เครื่องมือใน Front Panel เรียกว่า ควบคุม (Controls) และเครื่องมือใน Block Diagram เรียกว่า ฟังก์ชัน (Functions) ดังแสดงในภาพที่ 2-35



ภาพที่ 2-34 หน้าต่างใช้งานในโปรแกรมเลปวิ



ภาพที่ 2-35 เครื่องมือใช้ใน Front Panel และ Block Diagram

เนื่องจากข้อมูลในเลปวินนั้นมีหลายแบบ คือ เลขทศนิยม, เลขจำนวนจริง, ตัวอักษร หรือค่าจริง-เท็จ (Boolean) ดังนั้นเพื่อแสดงถึงความแตกต่างของข้อมูลแต่ละแบบ โปรแกรมเลปวิจึงได้กำหนดให้ลักษณะของเส้น (Wires) สำหรับข้อมูลแต่ละแบบมีลักษณะของเส้นและสีที่แตกต่างกัน นอกจากนั้นข้อมูลแต่ละแบบดังกล่าวยังอาจมีลักษณะเป็น Scalars, 1-D Array, 2-D Array ได้ซึ่งลักษณะของเส้นของข้อมูลแต่ละแบบก็จะแตกต่างออกไปอีกแสดงดังตาราง 2-3

ตารางที่ 2-3 ลักษณะของเส้นข้อมูลแต่ละชนิดในแลปวิ

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

2.11 การ์ด DAQ (Data Acquisition : DAQ)

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

Data Acquisition ทำหน้าที่ประมวลผลความหมายหรือเปลี่ยนสัญญาณในลักษณะอนาล็อก (Analog) ให้มาอยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal) เพื่อประโยชน์ในการตีความหมาย และใช้ในการควบคุมหน้าที่ของ บอร์ด DAQ (DAQ Board) อาจจะเป็นการอ่านสัญญาณอนาล็อก (A/D Conversion) การสร้างสัญญาณอนาล็อก (D/A Conversion) เขียนและอ่านสัญญาณ เพื่อเชื่อมต่อกับ ตัวแปลงสัญญาณโดยข้อกำหนด (Specification) ของ การ์ดอินเตอร์เฟซ จะ ถูกระบุไว้อยู่บนบอร์ดDAQ ข้อกำหนดเบื้องต้นของฮาร์ดแวร์ DAQ ที่สำคัญๆ มีดังนี้

2.11.1 จำนวนช่องสัญญาณอินพุต

อนาล็อกอินพุต (Analog Input) ของบอร์ด DAQ มักจะได้รับการระบุไว้ทั้ง 2 กรณี ดังนี้

Single-Ended โดยอินพุตของบอร์ด DAQ ที่เป็น Single-Ended นั้นจะอ้างอิงกับกราวด์จุดเดียวกันทั้งหมด และอินพุตแบบนี้จะใช้ในกรณีสัญญาณอินพุตมีระดับสูงมากกว่า 1 โวลต์ และใช้สายวัดสั้นๆ ไม่เกิน 15 ฟุต

Differential Input แต่ละอินพุตจะมีกราวด์ของตัวเอง ซึ่งถือเป็นข้อดีเพราะเป็นการลดสัญญาณรบกวน Common-Mode ได้

2.11.2 อัตราการสุ่มวัด (Sampling Rate)

เป็นพารามิเตอร์ที่จะกำหนดว่าบอร์ด DAQ จะสามารถวัดสัญญาณอินพุตได้ละเอียดมากเท่าใด โดยปกติบอร์ด DAQ แบบปลั๊กอิน จะมีอัตราการสุ่ม 30,000 ถึง 250,000 ครั้งต่อวินาที เนื่องจากการสุ่มวัดด้วยความถี่สูงๆ จะทำให้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุตได้ในทันทีทันใด (ทฤษฎีของ Nyquist จะต้องทำการสุ่มอ่านค่าความถี่เสียงด้วยความถี่อย่างน้อย 1.5 เท่าของความถี่สัญญาณอินพุต) ในทางกลับกันหากใช้อัตราการสุ่มวัด ที่ไม่เหมาะสมแล้ว การตีความสัญญาณอินพุตก็จะผิดเพี้ยนไป โดยปกติแล้วบอร์ด DAQ จะต้องทำการวัดสัญญาณอินพุตหลายช่องสัญญาณพร้อม ๆ กัน บอร์ด DAQ จึงต้องมีวงจรมัลติเพล็กซ์ เพื่อเลือกสัญญาณเข้ามาวิเคราะห์ทีละช่องสัญญาณ

2.11.3 ระดับการแยกแยะสัญญาณ

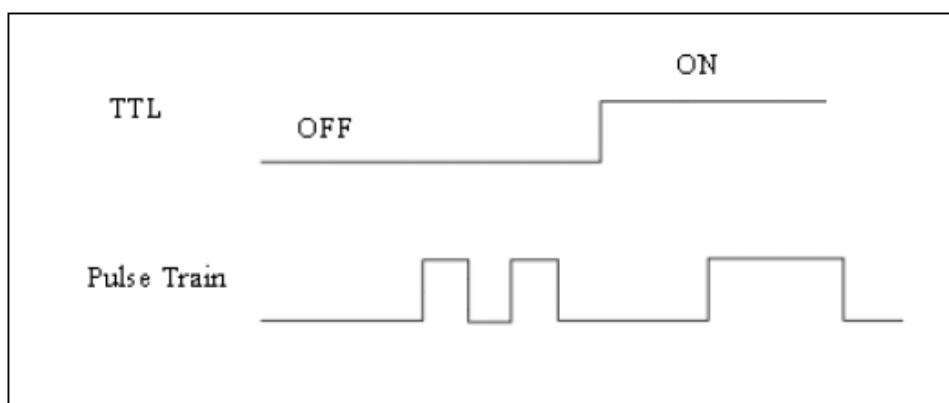
เกิดจากการแปลงสัญญาณวัดจากสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลของบอร์ด DAQ ซึ่งจะใช้จำนวนบิตในการแทนค่าของสัญญาณอนาล็อกในแต่ละช่วงเวลา เช่น การแทนด้วยรหัสเพียง 3 บิต นั้นให้ค่าความแยกแยะเพียง 8 ระดับ หากต้องการเพิ่มค่าความแยกแยะ เพื่อป้องกันข้อมูลของสัญญาณที่วัดได้ขาดหายไป ก็จะต้องเพิ่มการแทนบิตสูงขึ้น เช่น การแทนบิตด้วยรหัส 8 บิต จะสามารถแทนระดับสัญญาณอินพุตได้สูงถึง 255 ระดับ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความแม่นยำให้กับการวัดอย่างมากเลยทีเดียว

2.11.4 การแบ่งประเภทสัญญาณ

สามารถแยกประเภทสัญญาณได้ตามลักษณะของมันได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือแบบสัญญาณดิจิทัล และสัญญาณอนาล็อก (Analog Signal) สำหรับปริมาณที่เกิดขึ้นตามปรากฏการณ์ธรรมชาติต่างๆ จะเป็นสัญญาณประเภท อนาล็อกแทบทั้งสิ้นส่วนสัญญาณดิจิทัล นั้นโดยมากแล้วจะเป็นสัญญาณที่มนุษย์สร้างขึ้น และมักใช้ประโยชน์ในงานควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ โดยปกติเมื่อสัญญาณผ่านออกจากตัวแปลงสัญญาณ (Signal Conditioner) มาแล้ว สัญญาณจะมีลักษณะเป็นสัญญาณไฟฟ้าแต่ยังคงเป็น สัญญาณอนาล็อกอยู่ การจะนำปริมาณนั้นเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผล จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า A/D (Analog to Digital Converter บางครั้งเรียกย่อ ADC) เมื่อสัญญาณเข้าสู่ A/D จะได้รับการเปลี่ยนลักษณะให้เป็นสัญญาณดิจิทัล จากนั้นจึงสามารถให้คอมพิวเตอร์ดึงข้อมูลของสัญญาณนั้นออกมาได้ ข้อมูลที่สำคัญที่บรรจุอยู่ในสัญญาณนั้น เช่น รูปร่าง, ปริมาณ, ความถี่ เป็นต้น ถ้าจะแบ่งประเภทของสัญญาณกันจริงๆ แล้ว สัญญาณทุกแบบเป็นอนาล็อก แทบทั้งสิ้นและมักเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา อย่างไรก็ตามในการพิจารณาเรื่องการวัดสัญญาณจะแบ่งสัญญาณออกย่อยจาก ดิจิตอล และ อนาล็อก ออกเป็นทั้งหมด 5 ประเภทคือ

2.11.4.1 สัญญาณดิจิทัล แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

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

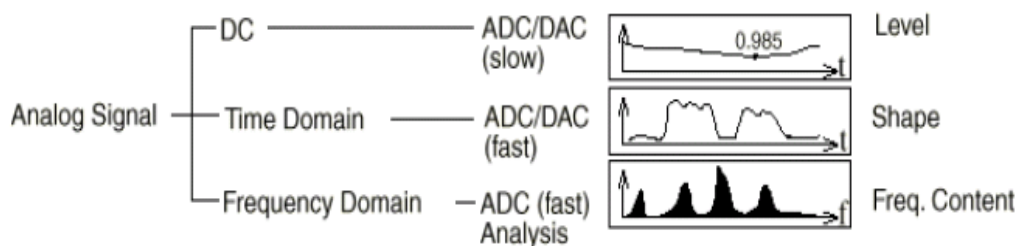


ภาพที่ 2-36 สัญญาณดิจิทัล 2 ชนิด

สำหรับ ON-OFF Signal มักจะเป็นสัญญาณที่มีข้อมูลที่เป็นสภาวะ (State) ว่าขณะนี้สัญญาณเกิดขึ้น (ON) หรือไม่มีสัญญาณ (OFF) อุปกรณ์ที่ใช้วัดจึงเป็นอุปกรณ์ประเภท digital State Detector เช่น หลอดไฟ หรือ LED ก็สามารถบอกสภาวะขณะนั้นได้ ส่วน Pulse Train Signal จะเป็นสัญญาณที่ประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงสภาวะออกอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลที่สำคัญที่สัญญาณนี้มีคือ จำนวนการเปลี่ยนแปลงสภาวะหรือระยะเวลาระหว่างการเปลี่ยนแปลงสภาวะ สำหรับตัวอย่างของสัญญาณในลักษณะนี้ก็ เช่น การสะท้อนของแสงจากแผ่นโลหะที่ติดอยู่บนเพลา เพื่อใช้ในการวัดความเร็วรอบ หรือสำหรับในงานด้านการควบคุมสัญญาณในลักษณะนี้จะใช้ในการควบคุมเสต็ปเปอร์มอเตอร์

2.11.4.2 สัญญาณอนาล็อก สามารถแบ่งแยกย่อยออกเป็น 3 ชนิดคือ

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



ภาพที่ 2-37 สัญญาณอนาล็อกทั้ง 3 ชนิด

2.11.4.3 สัญญาณไฟตรง สัญญาณนี้จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างช้าๆ เทียบต่อเวลา คุณลักษณะที่สำคัญของสัญญาณไฟตรง ก็คือปริมาณหรือขนาดของสัญญาณที่ได้ขณะนั้น เนื่องจากสัญญาณไฟตรง เปลี่ยนแปลงไปอย่างช้าๆ ความแม่นยำในการวัดจึงสำคัญมากกว่าอัตราการเก็บข้อมูล ลักษณะของสัญญาณไฟตรง นี้มักได้จากอุปกรณ์การวัดทางกลชิ้นพื้นฐาน เช่น อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหลในท่อปกติ เป็นต้น ลักษณะของระบบ DAQ ควรจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

- Accuracy/Resolution คือมีความแม่นยำและละเอียด
- Low Bandwidth คือมีอัตราการเก็บข้อมูลที่ต่ำ

2.11.4.4 สัญญาณไฟสลับ ลักษณะของสัญญาณไฟสลับ ที่สำคัญก็คือจะส่งผ่านขนาดของสัญญาณและการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณเทียบต่อเวลา ในการวัดปริมาณและแสดงผลของสัญญาณในลักษณะนี้มักเรียกสัญญาณนี้ว่าอยู่ในรูปของ รูปคลื่น (Waveform) ในการวัดสัญญาณไฟสลับ ใน Time Domain จำเป็นจะต้องวัดข้อมูลต่อเนื่องกันเพื่อจะหาขนาดของสัญญาณในแต่ละเวลา การวัดจะต้องกระทำบ่อยครั้งเพื่อให้เพียงพอต่อการนำข้อมูลนี้ไปแปลความหมายได้อย่างถูกต้องแต่ต้องไม่มากจนเกินไป เพราะไม่มีทรัพยากรในคอมพิวเตอร์เพียงพอที่จะบรรจุข้อมูลเหล่านี้ตลอดเวลา ลักษณะของ DAQ ที่เหมาะสมกับงานประเภทนี้ควรเป็นดังนี้

- High Bandwidth เพื่อสามารถสุ่มเก็บตัวอย่างข้อมูลได้ในอัตราที่สูง
- Accurate Sample Clock เพื่อสามารถสุ่มเก็บตัวอย่างได้ในช่วงเวลาที่แม่นยำ
- Triggering เพื่อที่จะได้เริ่มเก็บข้อมูลในเวลาที่เหมาะสม

2.11.4.5 Frequency Domain Signals ในความเป็นจริงแล้ว สัญญาณอนาล็อกทุกรูปแบบจะอยู่ใน Time Domain ทั้งสิ้นเพียงแต่ว่าข้อมูลที่สำคัญที่อยู่ในข้อมูลนั้นคืออะไร สำหรับสัญญาณประเภทนี้นั้นมีความแตกต่างจากสัญญาณไฟสลับ ตรงที่ต้องการทราบว่าในสัญญาณที่วัดโดยรวมนั้นมีสัญญาณที่มีความถี่เท่าใดบ้างบรรจุอยู่ด้วย และแต่ละความถี่มีปริมาณ

เท่าใด แต่ในสัญญาณไฟสลับ ปกติทั่วไปจะให้ความสำคัญกับรูปทรงของสัญญาณมากกว่าความถี่ที่บรรจุอยู่ ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้วัดสัญญาณประเภทนี้จึงคล้ายกับสัญญาณไฟสลับ แต่ต้องเพิ่มฟังก์ชันที่เข้าไปมีส่วนร่วมในการเปลี่ยนสัญญาณที่วัดออกมาจาก Time Domain ให้อยู่ใน Frequency Domain ซึ่งจะใช้วิธีการของการแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform) ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบ DAQ นี้มีดังนี้

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

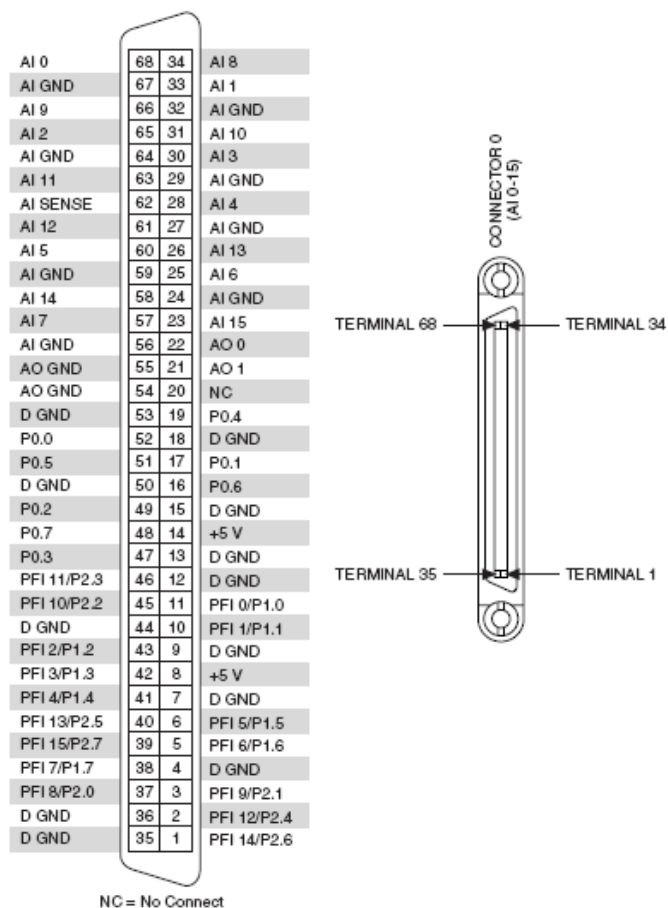
Domain

2.11.5 การ์ด DAQ รุ่น PCI 6221



ภาพที่ 2-38 การ์ด DAQ รุ่น PCI 6221

ในโครงการนี้ใช้การ์ด DAQ รุ่น PCI 6221 รับสัญญาณจากตัวตรวจรู้โดยเอาต์พุตที่ได้จากตัวตรวจรู้เหล่านี้จะมีค่าเป็นแรงดันหรือกระแสหรือพัลส์ จะรับค่าผ่านทาง การ์ด DAQ รุ่น PCI 6221 ไปยังโปรแกรมแลปวิว ซึ่งโปรแกรมแลปวิวสามารถอ่านค่าที่ผ่านเข้ามาทางการ์ด DAQ แล้วบันทึกค่าเป็นไฟล์ข้อมูลได้ โดยการใช้งานของ การ์ด DAQ รุ่น PCI 6221 ดังภาพที่ 2-39



ภาพที่ 2-39 ขาของการ์ด DAQ รุ่น PCI 6221