บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการทำงาน

ระบบควบคุมการปล่อยกาวซีเมนต์ด้วยวิธีเทียบสัดส่วนของปริมาตรกาวซีเมนต์ต่อแรงดันไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคฟัซซีสำหรับหุ่นยนต์ก่อกำแพงอิฐมวลเบาแบบอัตโนมัติ ใช้ไมโครคอนโทลเลอร์ ตระกูล AVR ขนาด 8 บิต เป็นส่วนควบคุมการทำงานของระบบควบคุมปริมาณการปล่อยกาวซีเมนต์ ในการศึกษาครั้งนี้ทางผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเพื่อนำมาใช้สำหรับการกำหนดกรอบแนวคิด, หลักการ, ทฤษฎี, เครื่องมือ การรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์และการอภิปรายผลการศึกษา ซึ่งประกอบไปด้วย 3 เนื้อหาหลัก คือ อุปกรณ์ควบคุม, อุปกรณ์เซนเซอร์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ภาพที่ 2.1 หุ่นยนต์ก่อกำแพงอิฐมวลเบาแบบอัตโนมัติ

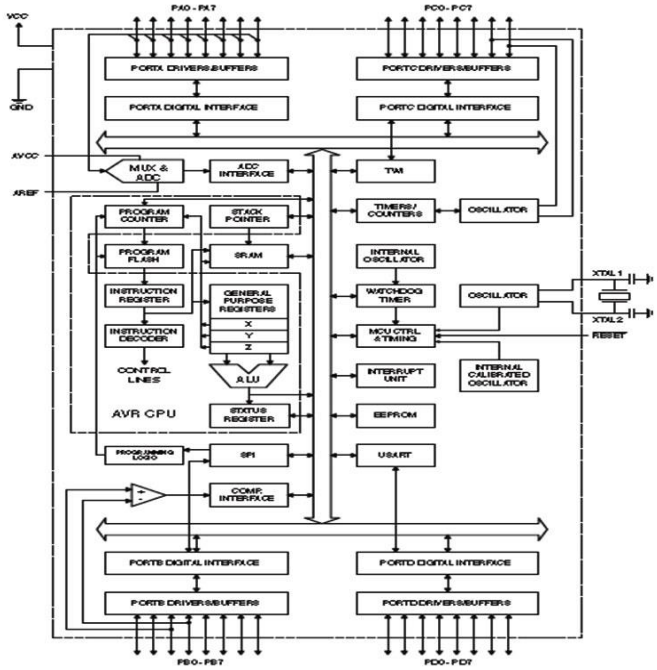
หุ่นยนต์ก่อกำแพงอิฐมวลเบาแบบอัตโนมัติเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถทดแทนการขาดแคลนแรงงานและลดระยะเวลาในการทำงานได้ โดยมีส่วนประกอบดังนี้ คือ ระบบปล่อยกาวซีเมนต์, ระบบโหลดอิฐมวลเบา, ระบบการลำเลียงอิฐมวลเบาและระบบวางอิฐมวลเบา โดยระบบปล่อยกาวซีเมนต์นั้นก็เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญต่อหุ่นยนต์ก่อกำแพงอิฐมวลเบาแบบอัตโนมัติ ซึ่งปริมาณ

การไหลของกาวซีเมนต์ที่มีความไม่สม่ำเสมอจะส่งผลทำให้เกิดปัญหาการยึดติดของอิฐมวลเบาที่ไม่ได้มาตรฐาน เนื่องจากใช้แรงดันลมในการดันกาวซีเมนต์แบบคงที่ไม่สอดคล้องกับตำแหน่งในการปล่อยกาวซีเมนต์ ทำให้ปริมาตรการไหลมีค่าความผิดพลาด จึงมีการแก้ปัญหาโดยการคิดระบบควบคุมการปล่อยกาวซีเมนต์ด้วยวิธีเทียบสัดส่วนของปริมาตรกาวซีเมนต์ต่อแรงดันไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคฟัซซีสำหรับหุ่นยนต์ก่อกำแพงอิฐมวลเบาแบบอัตโนมัติ เพื่อลดปัญหาการปล่อยกาวซีเมนต์ที่ไม่ได้มาตรฐานและเป็นการพัฒนาระบบการปล่อยกาวซีเมนต์ของหุ่นยนต์ก่อกำแพงอิฐมวลเบาแบบอัตโนมัติด้วย

อุปกรณ์ควบคุม

อุปกรณ์ควบคุมเป็นส่วนของการควบคุมการทำงานและเป็นตัวขับเคลื่อนการทำงานของระบบ ประกอบไปด้วย AVR Microcontroller, ระบบนิวเมติกส์, มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

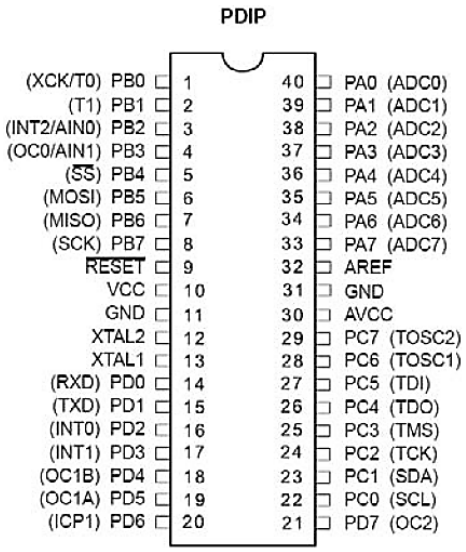
AVR Microcontroller



ภาพที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรม ATMega16

ที่มา : (รายงานการวิจัยหุ่นยนต์อัตโนมัติ, ประดิษฐ์ สุทธวงค์, 2555)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เป็นส่วนหนึ่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ผลิตโดยบริษัท AVR จัดเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลใหม่จาก ATMEL จะมีสถาปัตยกรรมแบบ RISC (Advanced RISC Architecture) จะเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีประสิทธิภาพและความสามารถสูง แบ่งออกเป็นหลายอนุกรม ในแต่ละอนุกรมยังแบ่งออกเป็นหลายเบอร์เพื่อรับรองความต้องการที่แตกต่างของผู้ใช้งานในขณะที่ยังคงความประสิทธิภาพที่เท่ากัน สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ที่นำเสนอนี้จะเป็นเบอร์ ATmega16 รายละเอียดและคุณสมบัติภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ Atmega16 แสดงดังไดอะแกรมภาพที่ 2.2 คุณสมบัติพื้นฐานของ ATmega16 คือ เป็นสถาปัตยกรรมขั้นสูงแบบ RISC มีชุดคำสั่งภาษาแอสเซมบลี 131 คำสั่ง ซึ่งส่วนใหญ่ทำงานที่ 1 รอบสัญญาณนาฬิกา (Clock Cycle ในส่วนของการประมวลผลมีความเร็ว 16 ล้านคำสั่งต่อวินาที (Million Instructions per Second) ที่สัญญาณนาฬิกา 16 เมกะเฮริตซ์ (MHz) ในส่วนของหน่วยความจำ มีทั้งหมด 3 แบบ คือ แบบ Flash ขนาด 16 กิโลไบต์ สามารถเขียน/ลบโปรแกรมได้ 10,000 ครั้ง แบบ EEPROM ขนาด 512 ไบต์ สามารถเขียนหรือลบข้อมูลได้ 100,000 ครั้ง และแบบ SRAM ขนาด 1 กิโลไบต์ และในส่วนอื่นๆของคุณสมบัติพื้นฐาน มีดังนี้ ระบบตรวจจับการทำงานผิดพลาดของซีพียู (Watchdog Timer) ระบบการขัดจังหวะจากภายในและภายนอก (Internal and External Interrupt) ระบบการรีเซ็ตแบบอัตโนมัติเมื่อเริ่มจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ (Power on Reset) และโหมดการอนุรักษ์พลังงาน 6 โหมด ได้แก่ Idle, ADC Noise Reduction, Power Save, Power Down, Standby และ Extended Standby



ภาพที่ 2.3 ขาพอร์ต AVR (ATMega32) ตัวถังแบบ PDIP

ที่มา : (รายงานการวิจัยหุ่นยนต์อัตโนมัติ, ประดิษฐ์ สุทธวงค์, 2555)

รายละเอียดในแต่ละขาพอร์ต AVR (ATMega32) ดังนี้ ขาแรงดันไฟตรงเพื่อป้อนไฟเลี้ยงให้กับซีพียู (VCC) ขากราวด์ (GND) Port A (PA0..PA7) ขาพอร์ตเป็นอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล ที่กำหนดการทวีคูณภายในขาพอร์ตได้ (Internal Pull-up Register) และสามารถกำหนดใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตสัญญาณอนาล็อก (A/D Converter) Port B (PB0..PB7) เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล กำหนดการทวีคูณภายในขาพอร์ตได้ (Internal Pull-up Register) และเป็นขาพอร์ตหน้าที่พิเศษอีกด้วย เช่น ขาสำหรับการโปรแกรมชิพ ขาป้อนสัญญาณนาฬิกาภายนอก เป็นต้น Port C (PC0..PC7) นอกจากเป็นพอร์ตขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล ที่กำหนดการทวีคูณภายในขาพอร์ตได้ (Internal Pull-up Register) แล้วเป็นขาพอร์ตหน้าที่พิเศษ เช่น ขาเชื่อมต่อกับดีบักและโปรแกรมด้วยการเชื่อมต่อแบบ JTAG เป็นต้น Port D (PD0..PD7) เป็นพอร์ตขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล ที่กำหนดการทวีคูณภายในขาพอร์ตได้ (Internal Pull-up Register) และเป็นขาพอร์ตหน้าที่พิเศษ เช่น ขาเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม, ขาอินเตอร์รัปต์เนื่องจากสัญญาณภายนอก เป็นต้น

ระบบนิวเมติกส์ (Pneumatic)

ภาพที่ 2.4 นิวเมติกส์ (**Pneumatic**)
ที่มา : (รายงานการวิจัยหุ่นยนต์อัตโนมัติ, ประดิษฐ์ สุทธวงค์, 2555)

ระบบนิวเมติกส์ หมายถึง ระบบทำงานโดยใช้อากาศเป็นตัวส่งกำลังในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ทำงานของเครื่องจักรต่างๆ เช่น กระบอกสูบลม หรือมอเตอร์ลม เป็นต้น สำหรับคำว่า “PNEUMATICS” ในปัจจุบันนี้ส่วนมากเข้าใจกันคือ การนำเอาอากาศมาเป็นวัสดุใช้งานในด้านอุตสาหกรรม โดยเฉพาะทางด้านการขับเคลื่อน หรือการควบคุมเครื่องจักรและอุปกรณ์ช่วยต่าง ๆ ส่วนในด้านวิศวกรที่ทำงานด้านนี้ ให้ความหมายของคำว่า “PNEUMA” คือ ระบบการส่งกำลังจากต้นทางไปยังปลายทางโดยอาศัยลมเป็นสื่อกลางในการส่งกำลังและมีการควบคุมการทำงานด้วยระบบลม

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)

ภาพที่ 2.5 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)
ที่มา : (รายงานการวิจัยหุ่นยนต์อัตโนมัติ, ประดิษฐ์ สุทธวงค์, 2555)

มอเตอร์ คือ เครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะใช้งานด้านการขับเคลื่อนในแบบต่างๆ ที่มีอัตราเร็วไม่สูงมาก เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นมีแรงบิดเริ่มต้นที่สูง (Starting Torque) สามารถควบคุมอัตราเร็วได้ค่อนข้างง่ายแต่มีข้อเสีย คือ มีโครงสร้างที่ค่อนข้างซับซ้อนมากจึงไม่เหมาะที่จะใช้ในงานที่มีอัตราเร็วค่อนสูงมาก ๆ

ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Driver DC Motor)

ภาพที่ 2.6 ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
ที่มา : (รายงานการวิจัยหุ่นยนต์อัตโนมัติ, ประดิษฐ์ สุทธวงค์, 2555)

ทำหน้าที่ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในสิ่งประดิษฐ์โดยจะรับคำสั่งจากไมโครคอนโทรเลอร์แล้วทำการควบคุมกำลังขับเคลื่อนและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีขนาด 24 โวลต์ สามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ด้วยการปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์จากเทคนิคการควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบพัลส์ (Pulse Width Modulation)

อุปกรณ์เซนเซอร์

อุปกรณ์เซนเซอร์เป็นส่วนของการรับส่งค่าอินพุตและเอาท์พุตของระบบ ซึ่งประกอบไปด้วย ไฟเบอร์ออฟติกเซ็นเซอร์และเอ็นโค้ดเดอร์

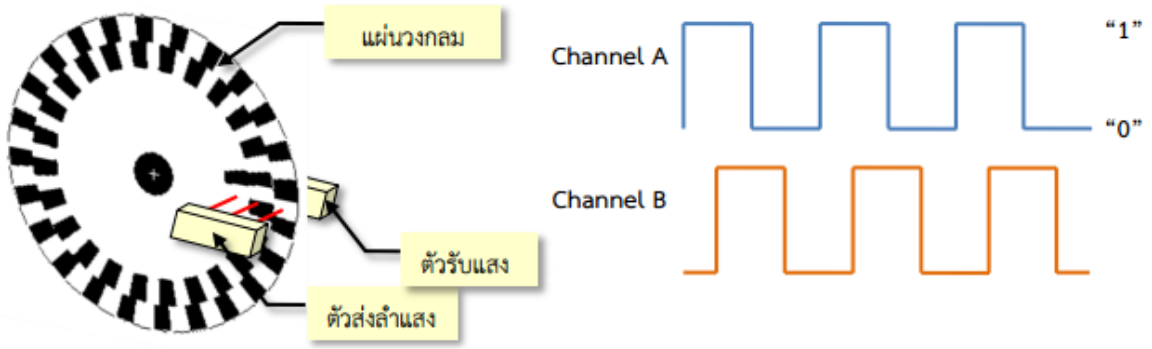
ไฟเบอร์ออฟติกเซ็นเซอร์

ภาพที่ 2.7 ไฟเบอร์ออฟติกเซ็นเซอร์

ที่มา : (http://www.mechatronics4u.com/index.php?mo=28&id=63999)

ไฟเบอร์ออปติกเซนเซอร์ เป็นอุปกรณ์อิเล็คทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับตรวจจับวัตถุที่ต้องการจะตรวจจับ โดยอาศัยหลักการวัดปริมาณของความเข้มของแสงที่กระทบกับวัตถุและสะท้อนกลับมายังเซนเซอร์ สายไฟเบอร์มีความสำคัญในการนำพาแสงจากส่วนของแอมป์พลิฟลายเออร์ไปยังวัตถุที่ต้องการตรวจสอบการมีอยู่ ไฟเบอร์ออฟติกจึงสามารถตรวจสอบการมีหรือไม่มีของวัตถุได้หลากหลายกว่าเซ็นเซอร์ชนิดโฟโต้อิเล็คทริคเซ็นเซอร์ (Photoelectric Sensor)

เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder)



ภาพที่ 2.8 เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder)
ที่มา : (รายงานการวิจัยหุ่นยนต์อัตโนมัติ, ประดิษฐ์ สุทธวงค์, 2555)

เอ็นโคดเดอร์ (Encoder) เป็นอุปกรณ์เข้ารหัส ใช้ตรวจวัดจำนวนการหมุนรอบของเครื่องมือ ทิศทางการหมุน มุมการหมุน ความเร็วหมุนรอบ ปัจจุบันมีการใช้ เอ็นโคดเดอร์มากมายในการกำหนดตำแหน่งและการหมุน เช่น เครื่องขึ้นรูปโลหะชนิด NC (Numerical Control) พริ้นเตอร์ชนิดด็อต การควบคุม DC Servo Motor ที่มีระบบคอนโทรลการป้อนกลับหรืออุปกรณ์ป้อนกลับ (Feedback Device) เพื่อทำหน้าที่วัดความเร็ว (Speed) วัดตำแหน่ง (Position) ตลอดจนทิศทางการหมุน (Direction of Rotation) ให้ถูกต้องและแม่นยำ เป็นต้น

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเป็นหลักแนวคิดและการคำนวณ ประกอบไปด้วย ฟัซซีลอจิก, อิมพีแดนซ์, กฎของโอห์ม, วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า, สูตรการหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด, สูตรการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, สูตรการหาอัตราเร็ว และสูตรการหาความเร็วจากจานหมุนเอ็นโค้ดเดอร์

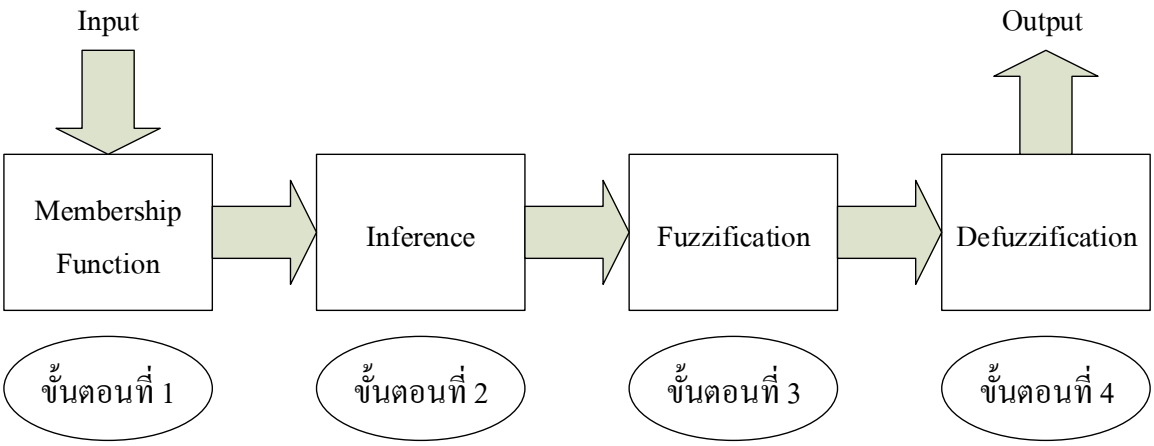
ฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic)

ตรรกศาสตร์คลุมเครือ หรือ ฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) พัฒนาจาก ทฤษฎีเซตวิภัชนัย โดยเป็นการใช้เหตุผลแบบประมาณ ซึ่งแตกต่างจากการใช้เหตุผลแบบเด็ดขาดในลักษณะ ถูก/ผิด ใช่/ไม่ใช่ ของ ตรรกศาสตร์แบบฉบับ (Classical Logic) ตรรกศาสตร์คลุมเครือนั้นสามารถถือเป็นการประยุกต์ใช้งานเซตวิภัชนัย เพื่อจำลองการตัดสินใจ ต่อปัญหาที่ซับซ้อน

ฟัซซี หมายถึง ความคลุมเครือ คิดค้นโดย L. A. Zadeh ในปี ค.ศ. 1965 เป็นผลงานวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอก แทนตัวอย่างของความไม่แน่นอนของลักษณะทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นทั่วไปของเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอนเรียกว่าฟัซซีเซต (Fuzzy Set)

โดยปกติแล้วผู้เชี่ยวชาญจะใช้สามัญสำนึกในการแก้ปัญหา ยิ่งไปกว่านั้นภาษาที่ใช้จะมีความคลุมเครือ ยกตัวอย่างเช่น “ท่าทางมอเตอร์จะรับงานหนักไปหน่อย แต่ก็จะให้ทำงานต่อไปอีกสักนิด” หรือ “This motor seems tobe a little bit overloaded, but it can still work for a while” (ฟัซซีลอจิกใช้ภาษาอังกฤษเป็นหลักในระบบ) ถึงแม้ว่าการสื่อสารดังกล่าวจะมีความคลุมเครือในความหมายเมื่อพิจารณาในเชิงปริมาณตัวเลข แต่ผู้เชี่ยวชาญในด้านเดียวกันหรือผู้ที่ทำงานด้วยก็สามารถเข้าใจและทำงานตามที่เนื้อหาของการสื่อสารได้ ฐานความรู้ที่ผู้เชี่ยวชาญใช้ดังกล่าวมีความแตกต่างเมื่อนำไปใช้ในระบบคอมพิวเตอร์ที่ซึ่งมีการใช้ข้อมูลในระบบที่มีความแน่นอนหรือชัดเจน ตรรกศาสตรคลุมเครือหรือฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) ใช้ในการอธิบายความคลุมเครือหรือความไม่ชัดเจนดังกล่าว ทฤษฎีฟัซซีเซต (Fuzzy Set Theory) ใช้ทฤษฎีของเซตในการแทนระดับความคลุมเครือ ดังนั้นปริมาณทุกๆอย่างในระบบทางวิศวกรรม เช่น อุณหภูมิ, ความสูง, ความเร็ว, ระยะทาง, ความงาม และความดัน สามารถถูกอธิบายด้วยระดับของความคลุมเครือได้ ยกตัวอย่างเช่น ห้องร้อนมากๆ, แนนเป็นคนที่สูงจริงๆ, รถบังคับวิ่งไม่ค่อยเร็ว, โคราชค่อนข้างใกล้จากกรุงเทพ, กระบี่เป็นสถานที่ที่สวยงามสุดๆ

ฟัซซีลอจิกมีคุณลักษณะเด่นหลายๆอย่างทำให้มีการนำเอาฟัซซีลอจิกมาประยุกต์ใช้อย่างมากมายและอย่างมีประสิทธิภาพโดยเฉพาะงานทางด้านระบบควบคุม ข้อดีของฟัซซีลอจิกสรุปได้ดังนี้ ฟัซซีลอจิก เป็นระบบที่มีเสถียรภาพสูง ไม่จำเป็นจะต้องใช้งานกับระบบที่มีอินพุตที่มีค่าแน่นอนหรือปราศจากสัญญาณรบกวน กล่าวคือ ระบบสามารถรองรับอินพุตที่มีความคลุมเครือได้อย่างหลากหลาย ฟัซซีลอจิกประมวลผลด้วยการใช้กฎที่กำหนดหรือนิยามด้วยผู้ใช้ (หรือผู้สร้างระบบ ซึ่งก็คือผู้เชี่ยวชาญนั่นเอง) ดังนั้นจึงเป็นการสะดวกในการปรับแต่งระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ฟัซซีลอจิกไม่มีข้อจำกัดของจำนวนอินพุตหรือเอาต์พุต ทำให้การออกแบบระบบสามารถทำได้หลากหลายและใช้ตัวตรวจจับที่ไม่มีความแม่นยำมากนักและมีราคาถูกได้พร้อมๆกันหลายๆตัวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบในขณะที่ความยุ่งยากและราคารวมของระบบไม่เพิ่มขึ้น ฟัซซีลอจิกมีโครงสร้างที่สามารถแบ่งแยกเป็นหน่วยประมวลผลย่อยๆได้ ทำให้ได้ระบบที่มีการกระจายการทำงานง่ายต่อการดูแลและปรับปรุงแก้ไข ฟัซซีลอจิกสามารถใช้กับงานที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear) ทำให้ลดภาระการคำนวณหาแบบจำลองระบบทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน



ภาพที่ 2.9 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิกมีขั้นตอนการทำงานดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 (Membership Function) เป็นการแปลงการอินพุตแบบทวินัยเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี่ หลังจากที่ประมวลผลในขั้นตอนที่ 1 แล้วก็จะส่งผ่านไปยัง ขั้นตอนที่ 2 (Inference) เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างการอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุตที่อาศัยหลักการของการหาเหตุและผล อาจจะสร้างการเก็บข้อมูล การคาดการณ์จากการตัดสินใจของมนุษย์ หรือค่าจากการทดลอง โดยเขียนเป็นกฎการควบคุมระบบ ซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปแบบ ถ้า (If) และ (And) หรือ (Or) และเข้าสู่ขั้นตอนที่ 3 (Fuzzification) เป็นการหาฟัซซีเอาต์พุต โดยการนำกฎการควบคุมที่สร้างขึ้น ในขั้นตอนที่ 2 การสร้างความสัมพันธ์ มาประมวลผลกับขั้นตอนที่ 1 ฟัซซีอินพุต โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำค่าที่ได้จากการประมวลผลมาทำเป็นค่าคลุมเครือ (Fuzzification) วิธีการที่นิยมใช้ในการตีความหาเหตุผลเลือกใช้ Max-Min Method และ Max-Dot Method และเข้าสู่ขั้นตอนที่ 4 (Defuzzification) เป็นขั้นตอนสุดท้ายหรือขั้นตอนการสรุปเหตุผลฟัซซี เช่น วิธีการหาจุดศูนย์ถ่วง (Central of Gravity) เฉลี่ยผลที่ได้จากการตีความหาเหตุที่นิยมหรือการเลือกค่าสูงสุดที่ได้และเลือกเพียงแบบเดียว

อิมพีแดนซ์ (Impedance)

อิมพีแดนซ์ (สัญลักษณ์ Z) คือค่ารวมทั้งหมดที่ต้านกระแสในวงจรหรืออาจเรียกว่าเป็นสิ่งทั้งหมดในวงจรที่ขวาง (Impedes) การไหลของกระแส ซึ่งคล้ายกับความต้านทานแต่ก็ไม่เหมือนกัน เพราะต้องคำนึงถึงผลกระทบของความจุและการเหนี่ยวนำด้วย อิมพีแดนซ์มีหน่วยวัดเป็น โอห์ม สัญลักษณ์คือ Ω

อิมพีแดนซ์มีความซับซ้อนมากกว่าความต้านทาน เพราะหากความถี่ของกระแสที่ไหลผ่านวงจรเปลี่ยนแปลง จะมีผลต่ออิมพีแดนซ์ของตัวความจุและตัวเหนี่ยวนำ หรืออาจกล่าวได้ว่าค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงตามความถี่ แต่การเปลี่ยนแปลงความถี่จะไม่มีผลกระทบต่อตัวต้านทาน ดังสมการที่ (1)

สมการอิมพีแดนซ์

$$Z = \frac{V}{I} \tag{1}$$

V = แรงดัน หน่วยโวลท์ (V)

I = กระแส หน่วยแอมป์ (A)

Z = อิมพีแดนซ์ หน่วยโอห์ม (Ω)

กฎของโอห์ม

ในวงจรไฟฟ้าใด ๆ มีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน คือ แหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า ตัวนำไฟฟ้าและภาระไฟฟ้า ภาระไฟฟ้าอาจจะเป็นตัวต้านทานหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าใด ๆ ดังนั้น ความสำคัญของวงจรที่จะต้องคำนึงถึงเมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าใดๆเกิดขึ้นคือทำอย่างไรจึงจะไม่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปในวงจรมากเกินไปซึ่งจะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าชำรุดเสียหายหรือวงจรไหม้เสียหายได้ ยอร์จ ไซมอน โอห์ม นักฟิสิกส์ชาวเยอรมนีให้ความสำคัญของวงจรไฟฟ้า และสรุปเป็นกฎออกมาดังนี้ คือ ในวงจรไฟฟ้าใด ๆ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรนั้นจะแปรผันโดยตรงกับแรงดันไฟฟ้า

การใช้สมการกฎของโอห์ม จากกฎของโอห์มที่กล่าวไว้ว่า “ ในวงจรไฟฟ้าใด ๆ กระแสไฟฟ้าจะแปรผันโดยตรงกับแรงดันไฟฟ้าและแปรผกผันกับค่าความต้านทานของวงจร” เขียนเป็นสูตรได้ดังสมการที่ (2)

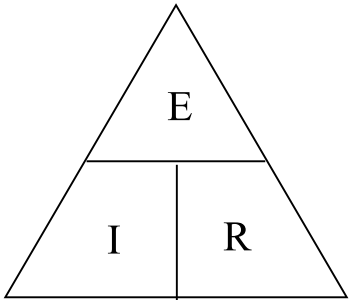
$$I = \frac{E}{R} \tag{2}$$

เมื่อ I คือ กระแสไฟฟ้าของวงจร มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

E คือ แรงดันไฟฟ้า มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

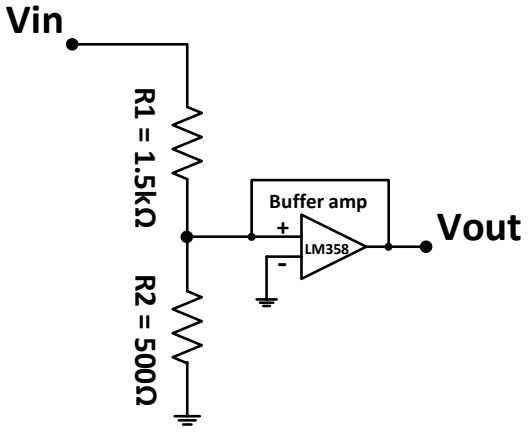
R คือ ความต้านทานของวงจร มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)

เพื่อให้ง่ายแก่การจำสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสามเหลี่ยมได้ดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 สูตรความสัมพันธ์ กฎของโอห์ม

วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Dividers)



ภาพที่ 2.11 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Dividers)

จากภาพที่ 2.11 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Dividers) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการ การแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Dividers) ได้ดังสมการที่ (3)

$$V_{out} = \frac{R2 + R1}{R2} \times V_{in} \tag{3}$$

V_{in} = แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากกระบอกกาวซีเมนต์ หน่วยเป็นโวลต์ (V)

V_{out} = แรงดันไฟฟ้าเอาท์พุตจากวงจรแบ่งแรงดัน หน่วยเป็นโวลต์ (V)

R1, R2 = ค่าความต้านทานของวงจรแบ่งแรงดัน หน่วยเป็นโอห์ม (Ω)

Buffer Amp = วงจรกันชน ด้วยไอซีเบอร์ LM358

สูตรการหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด

STD คือ ผลต่างระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าที่แท้จริง โดยทั่วไปแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ดังสมการที่ (4)

$$STD = \frac{|E - S|}{S} \times 100 \tag{4}$$

S = ความกว้างมาตรฐานของเส้นกาวซีเมนต์

E = ความกว้างเฉลี่ยของเส้นกาวซีเมนต์ที่ได้จากการทดลอง

สูตรการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นการวัดการกระจายทางสถิติที่เป็นปกติทั่วไป ใช้สำหรับเปรียบเทียบค่าต่างๆในเซตข้อมูลว่ากระจายตัวออกไปมากน้อยเท่าใด สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ดังสมการที่ (5)

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (\bar{x} - x)^2}{n} \tag{5}$$

σ = ค่าความผิดพลาดเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยความกว้างของเส้นกาวซีเมนต์

x = ค่าความกว้างของกาวซีเมนต์

n = จำนวนครั้งของการทดลอง

สูตรการหาอัตราเร็ว

อัตราเร็ว คือ อัตราของการเคลื่อนที่หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งก็ได้ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ดังสมการที่ (6)

$$V = \frac{S}{t} \tag{6}$$

V = อัตราเร็ว มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)

S = ระยะทาง มีหน่วยเป็นเมตร (m)

t = เวลา มีหน่วยเป็นวินาที (s)

สูตรการหาความเร็วจากจานหมุนเอ็นโค้ดเดอร์

สูตรการหาความเร็วจากจานหมุนเอ็นโค้ดเดอร์ เป็นการคำนวณหาจำนวนการหมุนรอบของเครื่องมือ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ดังสมการที่ (7)

$$V = LN \tag{7}$$

V = ความเร็วจากจานหมุนเอ็นโค้ดเดอร์ มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)

L = เส้นรอบวงของจานหมุนเอ็นโค้ดเดอร์ มีหน่วยเป็นเมตร (m)

N = ความเร็วรอบของมอเตอร์จำนวนรอบต่อวินาที (RPS)