



Temperature Calibration

เครื่องสอบเทียบที่วัดอุณหภูมิ

นางสาวพ้องพรรณ ระย้า

Pongpan Raya

ปริญญาานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Senior Project of Electrical Engineering

Faculty of Engineering Prince of Songkla University

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันเครื่องวัดอุณหภูมิเป็นสิ่งจำเป็นที่พบเจอได้ในที่สถานที่ต่าง ๆ ได้ทั่วไปไม่ว่าจะแค่ภายในโรงพยาบาลเนื่องจากสถานการณ์ของ Covid-19 ยกตัวอย่างสถานที่เช่น 7-11 ห้างสรรพสินค้า ฯลฯ ทั้งนี้ เครื่องวัดอุณหภูมิเป็นอุปกรณ์พื้นฐานของโรงพยาบาลซึ่งทุกครั้งที่ไปต้องตรวจวัดอุณหภูมิทุกครั้ง ปัญหาที่ทุกคนพบเจอในปัจจุบันและเป็นที่พูดถึงคือเครื่องวัดอุณหภูมิไม่ได้มาตรฐานไม่สามารถตรวจวัดอุณหภูมิร่างกายได้ตรงตามความเป็นจริงของอุณหภูมิของร่างกาย ยกตัวอย่างคลิปในโซเชียลมีเดียที่น้ำน้ำแข็งมาจ่อบริเวณที่ตรวจวัดอุณหภูมิ อุณหภูมิที่เครื่องอ่านได้ก็ยังเป็นอุณหภูมิของร่างกายของมนุษย์ปกติ ทำให้ความน่าเชื่อถือของเครื่องวัดอุณหภูมิลดน้อยลง ผลกระทบอันเกิดจากปัญหานี้คือในยุคที่สถานการณ์โควิดแย่งเรื้อย ๆ การตรวจพบไม่พบไข้ซึ่งเป็นพื้นฐานของผู้ติดเชื้อเป็นการเพิ่มโอกาสการเพิ่มผู้ติดเชื้อมากขึ้น เนื่องจากการคัดกรองพื้นฐานไม่ได้มาตรฐานทำให้การรักษาในขั้นถัดไปเกิดการผิดพลาด การตรวจสอบอุณหภูมิที่ถูกต้องและแม่นยำอาจมีความสำคัญและความละเอียดอ่อนในการรักษาคอนไซในโรงพยาบาล หากอุณหภูมิที่วัดได้เกิดการผิดพลาดอาจนำไปสู่การรักษาที่ผิดพลาดได้

แนวทางการแก้ปัญหาเรื่องของเครื่องวัดอุณหภูมิที่ไม่ได้มาตรฐานที่ผ่านมาคือการซื้อเครื่องวัดอุณหภูมิที่มีความแม่นยำและความละเอียดสูงมาใช้ ทำให้ผลตรวจที่ได้มีความแม่นยำแต่ในบางครั้งการใช้เครื่องวัดในระยะเวลาที่นานเกินไปประกันสินค้าอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิที่วัดได้โดยที่ตัวผู้ใช้งานไม่รู้ ทำให้ต้องเปลี่ยนเครื่องใหม่ตามระยะเวลาการใช้งานของเครื่องวัดอุณหภูมิทั้ง ๆ ที่บางครั้งยังสามารถใช้งานต่อไปได้ และเพื่อเป็นการยืดระยะเวลาการใช้งานที่ผ่านมีการสร้างเครื่องสอบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิขึ้นโดยปัจจุบันเครื่องสอบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิมียุคสมัยมีทั้งใช้ของเหลวเป็นตัวกลาง ใช้อากาศเป็นตัวกลาง หรือใช้วัตถุเป็นตัวกลางเพื่อตอบสนองในการสอบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิที่มีมากมายหลายแบบในปัจจุบัน โดยเทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้ในการอ่านค่าอุณหภูมิซึ่งเป็นค่าจริง (True value) ในการสอบเทียบ จะมีความถูกต้องในการวัด (Accuracy of measurement) มากกว่าเทอร์โมมิเตอร์ที่ต้องการสอบเทียบอย่างน้อย 4 เท่า เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานเหล่านี้จะต้องผ่านการสอบเทียบและรู้ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ ค่าแก้ของอุณหภูมิที่อ่านได้ รวมทั้งความไม่แน่นอนของเทอร์โมมิเตอร์เหล่านี้แล้ว แต่ทั้งนี้เครื่องมือดังกล่าวมีราคาแพงจึงทำให้โครงการนี้ถูกคิดขึ้นเพื่อใช้งานในราคาที่ถูกลง

คณะผู้จัดทำจึงมีความประสงค์ที่จะทำโครงการ Temperature calibration โดยโครงการนี้จะเป็นการแก้ปัญหาเรื่องของการตรวจสอบความแม่นยำในการวัดอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิ โดยสร้างกล่องควบคุมอุณหภูมิคงที่ซึ่งมีส่วนประกอบหลักในการสร้างคือ PID controller ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิที่ตั้งค่าให้นิ่งตามค่าที่ต้องการ Peltier ใช้ในการปรับเพิ่มลดอุณหภูมิในกล่องให้มีค่าเข้าใกล้อุณหภูมิที่ตั้งค่าให้ได้มากที่สุดและเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างเครื่องสอบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิ
2. เพื่อศึกษา PID Controller ที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ

1.3 ทบทวนวรรณกรรม

1. Air-Conditioning PID Control System with Adjustable Reset to Offset Thermal Loads Upsets

เป็นการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในห้อง ๆ หนึ่ง โดยมีการปรับค่าพารามิเตอร์ของวงจร PID ให้มีการไปปรับค่า ๆ หนึ่ง เพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้เป็นไปตามที่ต้องการโดยมีการกำจัดตัวแปรภายนอกที่ทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนในการควบคุมออกไป เช่น ความร้อนจากภายนอกห้อง

2. A Simple Approach For Designing A PID Controller For An Experimental Air Blower System

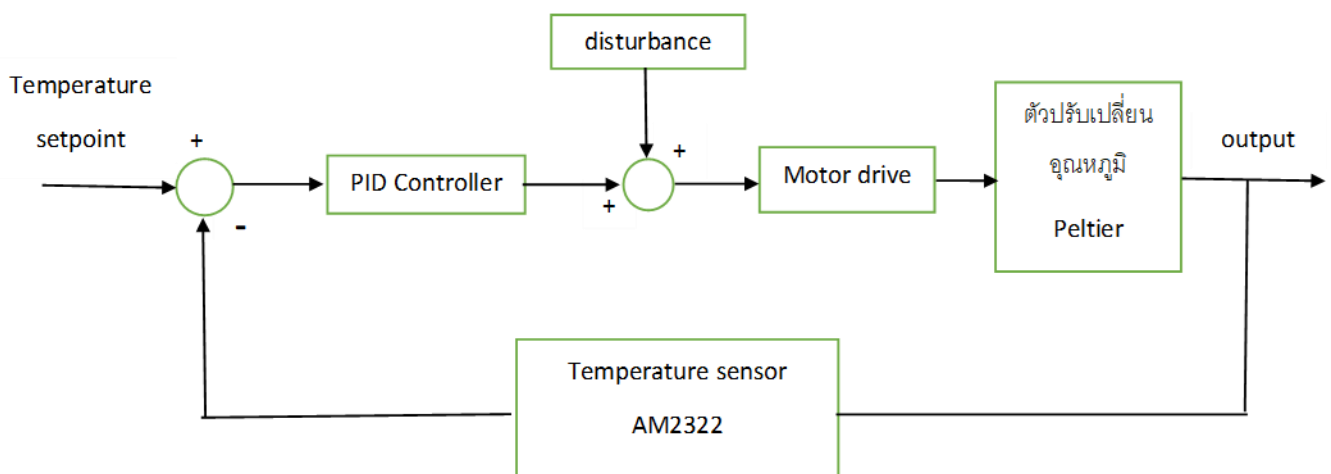
เป็นการควบคุมลมร้อนภายในอาคารหรือในโรงงาน โดยมีการใช้ PT-326 (กล่องโครงสร้างจำลองภายในโรงงาน) เป็นระบบจำลองภายในโรงงาน โดยขั้นแรกมีการใช้ open loop control ในการควบคุมลมร้อน แต่ผลที่ได้ออกมาไม่ดัด output เทียบกับ input มีการคลาดเคลื่อนไปมากจึงใช้ PID ในการควบคุมการเป่าลมร้อน โดย output ที่ได้เทียบ input มีความใกล้เคียงสูงมากโดยใช้วิธีการปรับค่าพารามิเตอร์ไปเรื่อย ๆ จนทำให้การเป่าลมร้อนเป็นไปตามที่ต้องการ

โดยข้อมูลและวิธีที่วรรณกรรมทั้งสองใช้มีความใกล้เคียงกับโครงการนี้ ผู้จัดทำจึงนำวิธีของวรรณกรรมทั้งสองมาปรับจากงานที่ควบคุมอุณหภูมิในห้องใหญ่ โครงการนี้จะทำการควบคุมอุณหภูมิในกล่องแทนเพื่อเปลี่ยนวัตถุประสงค์ในการใช้งาน โดยใช้วิธีการควบคุมแบบ PID control เช่นเดียวกัน

1.4 ขอบเขตของโครงการ

1. วัดความแม่นยำของเครื่องวัดอุณหภูมิที่นำมาสอบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนออกมาได้
2. ข้อจำกัดในเรื่องความละเอียดของ Temperature sensor ที่นำมาวัดเป็นอุณหภูมิมีค่าความคลาดเคลื่อน 0.5

1.5 แนวทางการดำเนินโครงการ



ในโครงการนี้เป็นการควบคุมอุณหภูมิในกล่องเล็ก ๆ เพื่อใช้ในการสอบเทียบให้กับเครื่องวัดอุณหภูมิ โดยมีขั้นตอนคือการสร้างกล่องขึ้นมาจากนั้นทำการติดตั้งตัวให้ความร้อน-เย็นและเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ โดยขั้นแรกทำการตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุมจากนั้น วัดอุณหภูมิภายในกล่องแล้วส่งค่าไปเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งค่าไว้แล้วผ่าน PID Controller เพื่อหาค่าที่เหมาะสมไปควบคุมการจ่ายพลังงานให้กับตัวให้ความร้อน-เย็น เพื่อให้มีการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิภายในกล่องโดยทำแบบนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าค่าอุณหภูมิที่ได้เข้าใกล้ค่าที่เซตมากที่สุด

1.6 แผนการดำเนินงานและโครงสร้างการทำงาน

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับงานวิจัยและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต้องใช้ในโครงการ
3. ศึกษาการเขียนตัวควบคุมและการต่ออุปกรณ์เข้าด้วยกัน
4. สร้างชิ้นงานขึ้นมาและปรับค่า
5. บันทึกผลการทดลอง
6. เขียนรูปเล่มรายงาน

ตาราง 1.2 ระยะเวลาการดำเนินงาน

ที่	ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน							
		ภาคเรียนที่ 1				ภาคเรียนที่ 2			
		ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ก.พ	มี.ค
1	ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับงานวิจัยและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง								
2	ศึกษาอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต้องใช้ในโครงการ								
3	ศึกษาการเขียนตัวควบคุมและการต่ออุปกรณ์เข้าด้วยกัน								
4	สร้างชิ้นงานขึ้นมาและปรับค่า								
5	ปรับปรุงและแก้ไขข้อผิดพลาด								
6	บันทึกผลการทดลอง								
7	เขียนรูปเล่มรายงาน								

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและผู้ใช้ประโยชน์จากโครงการ

1. มีความรู้ความสามารถในการทำ PID Controller
2. ได้เครื่องสอบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิมาใช้งาน
3. นำไปเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อยอดในการปฏิบัติสหกิจเรื่องการสร้างเครื่องสอบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิ

บทที่ 2

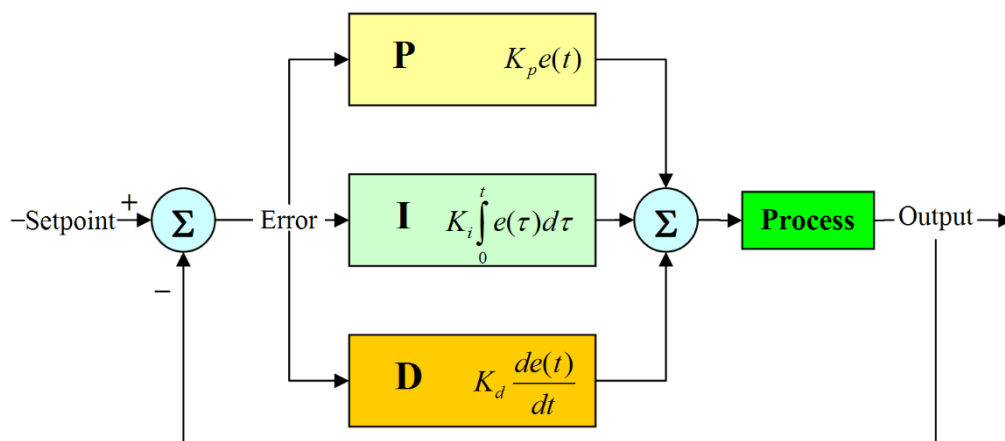
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการจัดสร้างโครงงาน Temperature calibration จำเป็นต้องใช้ทฤษฎีและหลักการที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิภายในกล่องดังต่อไปนี้

2.1 PID Control หรือ Proportional Integral Derivative Control

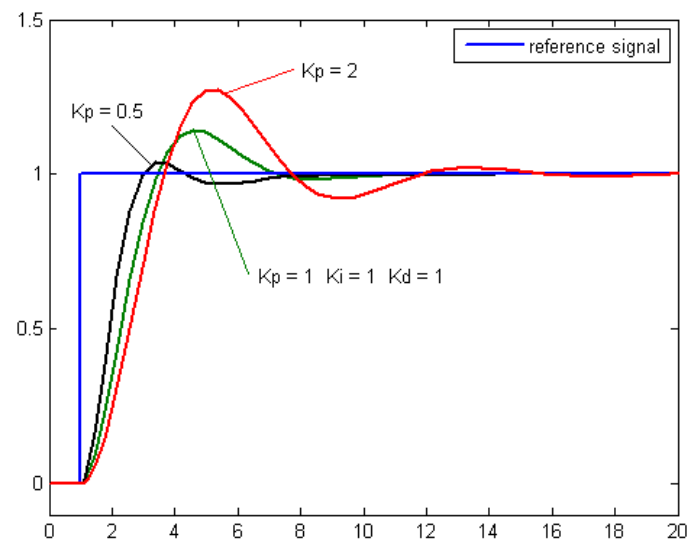
PID controller เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ซึ่งค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณเป็นค่าความผิดพลาดที่ได้มาจากการแตกต่างของตัวแปรในกระบวนการและค่าที่ต้องการควบคุม โดย PID controller จะพยายามลดค่าผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการ ค่าตัวแปรของ PID ที่ใช้จะปรับเปลี่ยนตามการนำไปใช้งานของผู้ใช้

โดยผลของ PID controller จะขึ้นอยู่กับตัวแปรสามตัวแปรคือค่าสัดส่วน ปริพันธ์ และอนุพันธ์ ค่าสัดส่วนกำหนดจากผลของความผิดพลาดในปัจจุบันค่าปริพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของผลรวมความผิดพลาดที่ซึ่งพ่วงผ่านไปและค่าอนุพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด ผลที่เกิดจากการรวมกันของทั้งสามนี้จะใช้ในการปรับกระบวนการ โดยการปรับค่าคงที่ใน PID ตัวควบคุมสามารถปรับรูปแบบการควบคุมให้เหมาะกับที่กระบวนการต้องการได้ การตอบสนองของตัวควบคุมจะอยู่ในรูปของการไหวตัวของตัวควบคุมจนถึงค่าความผิดพลาด ค่า Overshoots และ ค่าแกว่งของระบบ (oscillation)



รูปที่ 1

2.1.1 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional : P)



รูปที่ 2 กราฟ PV ต่อเวลา, K_p กำหนดเป็น 3 ค่า (K_i และ K_d คงที่)

เทอมของสัดส่วน (บางครั้งเรียก อัตราขยาย) จะเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนของค่าความ

ผิดพลาด การตอบสนองของสัดส่วนสามารถทำได้โดยการคูณค่าความผิดพลาดด้วยค่าคงที่ K_p หรือที่เรียกว่าอัตราขยายสัดส่วน

เทอมของสัดส่วนจะเป็นไปตามสมการ

$$P_{out} = K_p e(t)$$

เมื่อ

P_{out} = สัญญาณขาออกของเทอมสัดส่วน

K_p = อัตราขยายสัดส่วนและตัวแปรปรับค่าได้

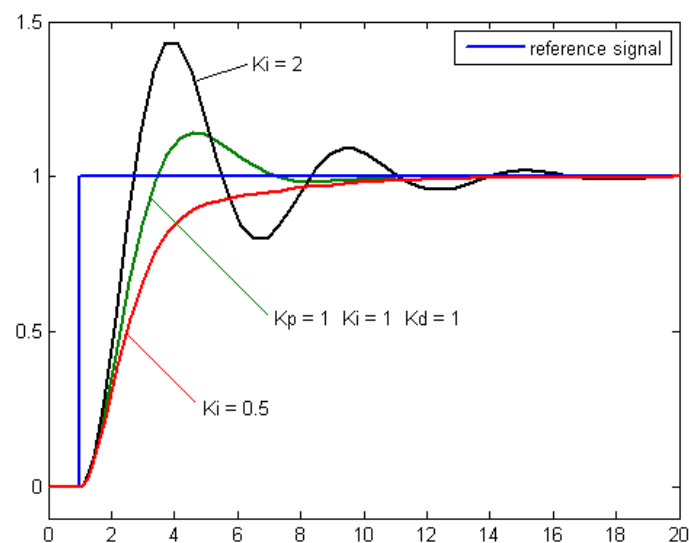
e = ค่าความผิดพลาด = $SP - PV$

t = เวลา

ผลอัตราขยายสัดส่วนที่สูงค่าความผิดพลาดก็จะเปลี่ยนแปลงมากเช่นกัน แต่ถ้าสูงเกินไประบบจะไม่เสถียรได้ ในทางตรงกันข้าม ผลอัตราขยายสัดส่วนที่ต่ำ ระบบควบคุมจะมีผลตอบสนองต่อกระบวนการน้อยตามไปด้วย

2.1.2 ตัวควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral: I)

คุณสมบัติของตัวควบคุมปริพันธ์ในการกำจัดความคลาดเคลื่อน(ออฟเซต) เป็นข้อดีอย่างมากจึงเป็นที่นิยมใช้กับระบบควบคุมป้อนกลับอย่างไรก็ตามตัวปริพันธ์ก็มีข้อเสีย นั่นคือทำให้เกิดความล่าช้า (Capacity-like Lag) และทำให้ช่วงเวลาของการแกว่งยาวนานขึ้น โดยทั่วไป ระบบแบบสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์มีช่วงเวลาของการแกว่งนานกว่าระบบเชิงสัดส่วนอย่างเดียว 50% สำหรับระบบที่มีค่าคงตัวเวลา (Time Constant) น้อย (เช่น ระบบควบคุมอัตราการไหล) ปัญหานี้จะไม่มีผลมากนักแต่สำหรับระบบที่มีค่าคงตัวเวลามาก (เช่น ระบบควบคุมระดับ) ปัญหานี้อาจมีผลมากจนทำให้ระบบเข้าสู่จุดวิกฤติที่ไม่สามารถยอมรับได้ภาพที่แสดงให้ให้เห็นการเปลี่ยนพารามิเตอร์ $K_i = 0.5, 1$ และ 2 เมื่อ $K_p = 1$ และ $K_d = 1$ เทียบกับอินพุตเป็นสัญญาณขั้นบันได



รูปที่ 3 : กราฟ PV ต่อเวลา, K_i กำหนดเป็นสามค่า (K_p และ K_d คงที่)

ผลจากเทอมปริพันธ์ (บางครั้งเรียก reset) เป็นสัดส่วนของขนาดความผิดพลาดและระยะเวลาของความผิดพลาด ผลรวมของความผิดพลาดในทุกช่วงเวลา (ปริพันธ์ของความผิดพลาด) จะให้ออฟเซตสะสมที่ควรจะเป็นในก่อนหน้า ความผิดพลาดสะสมจะถูกคูณโดยอัตราขยายปริพันธ์ ขนาดของผลของเทอมปริพันธ์จะกำหนดโดยอัตราขยายปริพันธ์ K_i

เทอมปริพันธ์จะเป็นไปตามสมการ

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$$

เมื่อ

I_{out} = สัญญาณขาออกของเทอมปริพันธ์

K_i = อัตราขยายปริพันธ์, ตัวแปรปรับค่าได้

e = ค่าความผิดพลาด = SP – PV

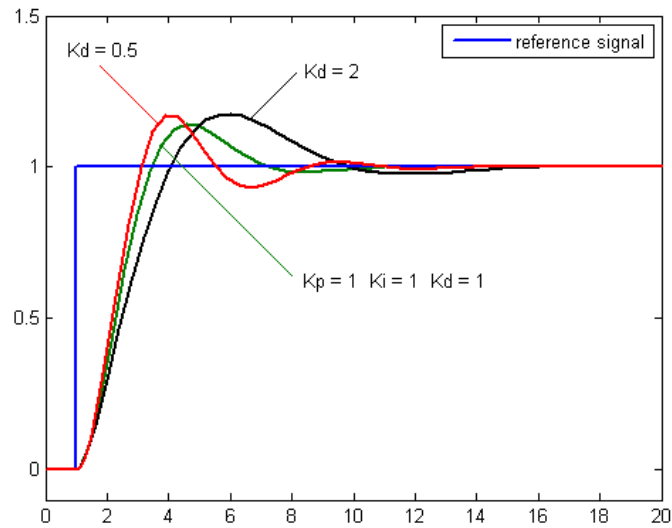
t = เวลา

τ = ตัวแปรปริพันธ์หุ่น

เทอมปริพันธ์ (เมื่อรวมกับเทอมสัดส่วน) จะเร่งกระบวนการให้เข้าสู่จุดที่ต้องการและขจัดความผิดพลาดที่เหลืออยู่ที่เกิดจากการใช้เพียงเทอมสัดส่วน แต่อย่างไรก็ตาม เทอมปริพันธ์เป็นการตอบสนองต่อความผิดพลาดสะสมในอดีต จึงสามารถทำให้เกิด Overshoots ได้ (ข้ามจุดที่ต้องการและเกิดการหันเหไปทางทิศทางอื่น)

2.1.3 ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative: D)

ตัวควบคุมอนุพันธ์เป็นตัวควบคุมที่ก่อให้เกิดผลตรงข้ามกับตัวควบคุมปริพันธ์ ดังนั้นจึงใช้ในการปรับปรุงความล่าช้าของเวลา (Time Lag) มาก ๆ ทำให้ผลตอบสนองเร็วขึ้นในช่วงและช่วงเวลากว้างที่สั้นลง ข้อเสียของอนุพันธ์คือมีผลตอบสนองที่ไวต่อสัญญาณรบกวนเป็นอย่างมากเพราะมีผลตอบสนองโดยตรงต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงที่วัดได้ ดังนั้นแม้สัญญาณรบกวนจะมีขนาดเล็ก แต่อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาออกของตัวควบคุม จึงเป็นไปได้ที่จะใช้อนุพันธ์ในการควบคุมผลของการรบกวน



รูปที่ 4 : กราฟ PV ต่อเวลา, สำหรับ Kd 3 ค่า (Kp และ Ki คงที่)

อัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดจากกระบวนการนั้นคำนวณหาจากความชันของความผิดพลาดทุกๆเวลา (นั่นคือ เป็นอนุพันธ์อันดับหนึ่งสัมพันธ์กับเวลา) และคูณด้วยอัตราขยายอนุพันธ์ K_d ขนาดของผลของเทอมอนุพันธ์ (บางครั้งเรียก อัตรา) ขึ้นกับ อัตราขยายอนุพันธ์ K_d เทอมอนุพันธ์เป็นไปตามสมการ

$$D_{out} = K_d \frac{d}{dt} e(t)$$

เมื่อ

D_{out} = สัญญาณขาออกของเทอมอนุพันธ์

K_d = อัตราขยายอนุพันธ์, ตัวแปรปรับค่าได้

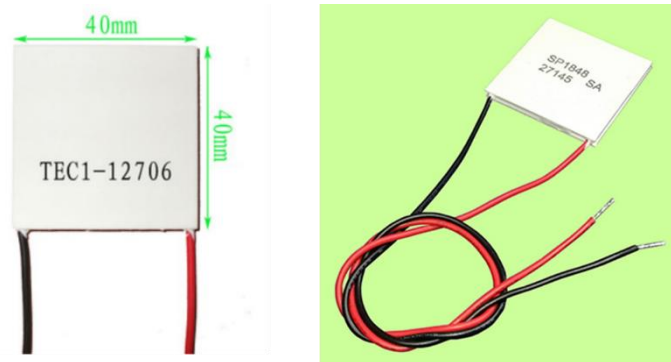
e = ค่าความผิดพลาด = SP – PV

t = เวลา

เทอมอนุพันธ์จะชะลออัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาออกของระบบควบคุมและด้วยผลนี้จะช่วยให้ระบบควบคุมเข้าสู่จุดที่ต้องการ ดังนั้นเทอมอนุพันธ์จะใช้ในการลดขนาดของ Overshoots ที่เกิดจากเทอมปริพันธ์และทำให้เสถียรภาพของการรวมกันของระบบควบคุมดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามอนุพันธ์ของสัญญาณรบกวนที่ถูกขยายในระบบควบคุมจะไวมากต่อการรบกวนในเทอมของความผิดพลาดและสามารถทำให้กระบวนการไม่เสถียรได้ถ้าสัญญาณรบกวนและอัตราขยายอนุพันธ์มีขนาดใหญ่เพียงพอ

2.2 ตัวให้ความร้อน-เย็น Peltier

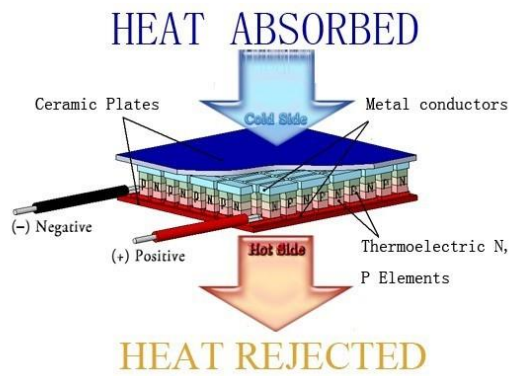
แผ่นเพเทียร์ (Peltier) เป็นอุปกรณ์ทำความเย็นขึ้น ข้อดีคือสามารถทำความเย็นได้โดยไม่ส่งเสียงดังรบกวน ซึ่งต่างกับเครื่องปรับอากาศทั่วไปที่ส่งเสียงดังเวลาทำงาน แผ่นเพเทียร์เป็นที่นิยมของเหล่านักประดิษฐ์จากทั่วทุกมุมโลกที่พยายามจะนำเอาแผ่นเพเทียร์นี้ไปสร้างเป็นเครื่องปรับอากาศอย่างง่ายรวมทั้งตู้เย็นอย่างง่าย จึงนิยมเรียกแผ่นเพเทียร์นี้ว่า แผ่นทำความเย็น



รูปที่ 5 : รูปแผ่น Peltier

แผ่นเพเทียร์จะทำความเย็นได้ก็ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจากภายนอกเหมือนกันกับเครื่องปรับอากาศทั่วไป กระแสไฟฟ้าจากภายนอกที่ไหลผ่านแผ่นเพเทียร์จะมีผลทำให้ด้านหนึ่งของแผ่นเพเทียร์สามารถดูดความร้อน (heat absorbed) เพื่อนำความร้อนไปทิ้ง (heat rejected) ที่ด้านตรงข้ามได้ ผลที่ตามมาคือด้านที่ดูดความร้อนจะมีอุณหภูมิลดลง แต่ด้านที่นำความร้อนไปทิ้งจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นดังแสดงในรูปด้านล่าง

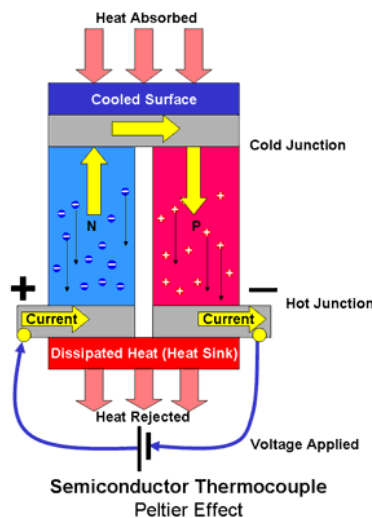
ข้อควรระวังในการใช้แผ่นเพเทียร์เพื่อทำความเย็นคือ จะต้องมีการระบายความร้อนของด้านที่ร้อนอยู่ตลอดเวลาเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสะสมของพลังงานความร้อนซึ่งอาจจะทำให้แผ่นเพเทียร์เสียหายได้ ดังนั้นแผ่นเพเทียร์จึงต้องมี heat sink หรือตัวระบายความร้อนเป็นอุปกรณ์เสริมที่ขาดไม่ได้เสมอ



รูปที่ 6 : การทำความเย็นของแผ่นเพเทียร์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากภายนอก

วัสดุที่อยู่เบื้องหลังการทำความเย็นของแผ่นเพเทียร์คือ วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก (thermoelectric material) ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด N (มีอิเล็กตรอนประจุลบเป็นพาหะนำไฟฟ้า) และชนิด P (มีโฮลประจุบวกเป็นพาหะนำไฟฟ้า) ต่อเข้าด้วยกันแบบอนุกรมเชิงไฟฟ้าอยู่ภายในแผ่นเพเทียร์ วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่นิยมใช้ทำแผ่นเพเทียร์ในปัจจุบันคือ Bi_2Te_3 ชนิด N และ P

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก อิเล็กตรอนภายในวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด N จะถูกขับเคลื่อนให้วิ่งสวนทางกันกับกระแสไฟฟ้า แต่โฮลภายในวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด P จะถูกขับเคลื่อนให้วิ่งไปในทิศทางเดียวกันกับกระแสไฟฟ้า ในขณะที่ประจุไฟฟ้าเหล่านี้เคลื่อนที่พวกมันก็จะดึงเอาพลังงานความร้อนติดตัวไปด้วย และยังถ้าต่อวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด N และชนิด P เข้าด้วยกันแบบอนุกรมเชิงไฟฟ้าแล้วความร้อนที่ประจุไฟฟ้าดูดเอาไปด้วยได้ก็จะเพิ่มมากขึ้น นี่คือการค้นพบฟิสิกส์ของการไหลของความร้อนซึ่งก่อให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านทั้งสองของแผ่นเพเทียร์เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลภายในแผ่นเพเทียร์ เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าปรากฏการณ์เพเทียร์ (Peltier effect) ดังแสดงในรูปด้านล่าง



รูปที่ 7 : การเกิดปรากฏการณ์ซีเบค

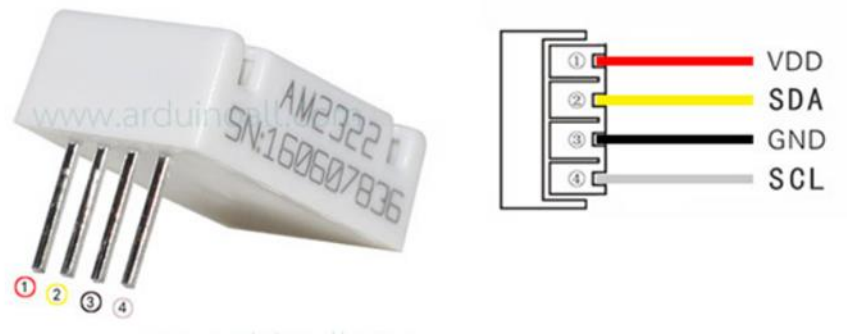
2.3 Sensor AM2322

AM2322 เซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้นแบบดิจิทัลเป็นเซ็นเซอร์คอมโพสิต ค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ออกมาเป็นสัญญาณดิจิทัลที่ปรับเทียบแล้ว ใช้เทคโนโลยีการเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นแบบพิเศษเพื่อให้มั่นใจถึงความน่าเชื่อถือสูงและมีเสถียรในระยะยาว เซ็นเซอร์ประกอบด้วย การตรวจจับแบบ capacitive และการวัดอุณหภูมิแบบเฉพาะที่มีความแม่นยำสูง ซึ่งเชื่อมต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง มีการตอบสนองที่รวดเร็วเป็นพิเศษ มีความสามารถในการป้องกันการรบกวนและมีประสิทธิภาพสูง



รูปที่ 8

การใช้งาน AM2322 Temperature and humidity Sensor จะใช้ขา SDA ในการรับ/ส่งข้อมูล ขา SCL ใช้เป็นสายสัญญาณนาฬิกาใช้สำหรับควบคุมการรับ-ส่งข้อมูล และมีขา VDD ในการจ่ายไฟ



รูปที่ 9

ข้อมูลเชิงเทคนิคเกี่ยวกับ AM2322

- ใช้แรงดันไฟเลี้ยง VDD ได้ในช่วง 3.1V ถึง 5.5V
- มี 4 ขา (ขา 1 : VDD ขา 2 : SDA ขา 3 : GND ขา 4 : SCL)
- ใช้งานได้สองแบบ: normal mode (ใช้ทั้ง 3 ขา) และ parasite power mode
- สามารถนำไอซีมาพ่วงต่อกันในบัสเดียว (เส้นสัญญาณ DQ) ได้หลายอุปกรณ์
- วัดอุณหภูมิได้ในช่วง -40 °C ถึง +80 °C
- วัดความชื้นได้ในช่วง 0%RH ถึง 99%RH
- มีความแม่นยำ ± 0.3 °C สำหรับอุณหภูมิ
- มีความแม่นยำ ± 2 %RH สำหรับความชื้น

parameter	conditions	min	typ	max	unit
The resolution of the			0.1		%RH
Scale range		0		99.9	%RH
accuracy ¹	25°C		± 2		%RH
repetitive			± 0.1		%RH
interchangeability		Completely interchangeable			
The response time ²	1/e(63%)		<5		S
hysteresis			± 0.3		%RH
drift ³	Typical values		<0.5		%RH/yr

รูปที่ 10 AM2322 Relative humidity performance table

parameter	conditions	min	typ	max	unit
The resolution of the			0.1		°C
			16		bit
accuracy			± 0.3		°C
repetitive		-40		80	°C
interchangeability			± 0.2		°C
The response time		Completely interchangeable			
hysteresis	1/e(63%)		<5		S
drift			± 0.1		°C/yr

រូបថត ១១ AM2322 Relative temperature performance table

Parameters'	conditions	min	typ	max	unit
The power supply voltage		3.1	5	5.5	V
Power consumption ⁴	dormancy	8	10		μA
	measure		500		μA
	averaging		200	250	μA
Low level output voltage	I_{OL} ⁵	0		300	mV
High level output voltage	$R_p < 25\text{ k}\Omega$	90%		100%	VDD
Low level input voltage	descend	0		30%	VDD
High level input voltage	uplift	70%		100%	VDD
R_{pu} ⁶	VDD = 5V VIN = VSS	30	45	60	kΩ
The output current	open		8		mA
	Three states (close)	10	20		μA
Sampling period		2			S

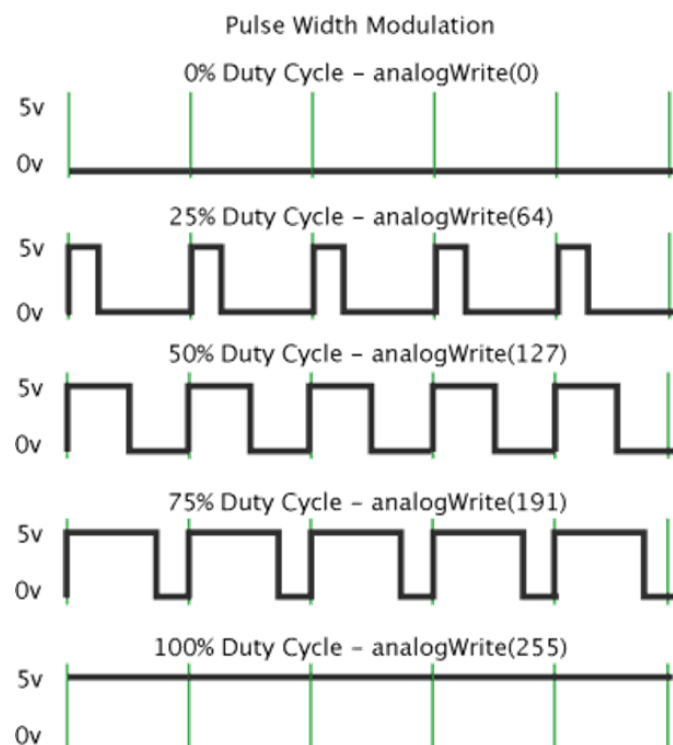
រូបថត ១២ AM2322 The dc feature

2.4 Motor drive L298N

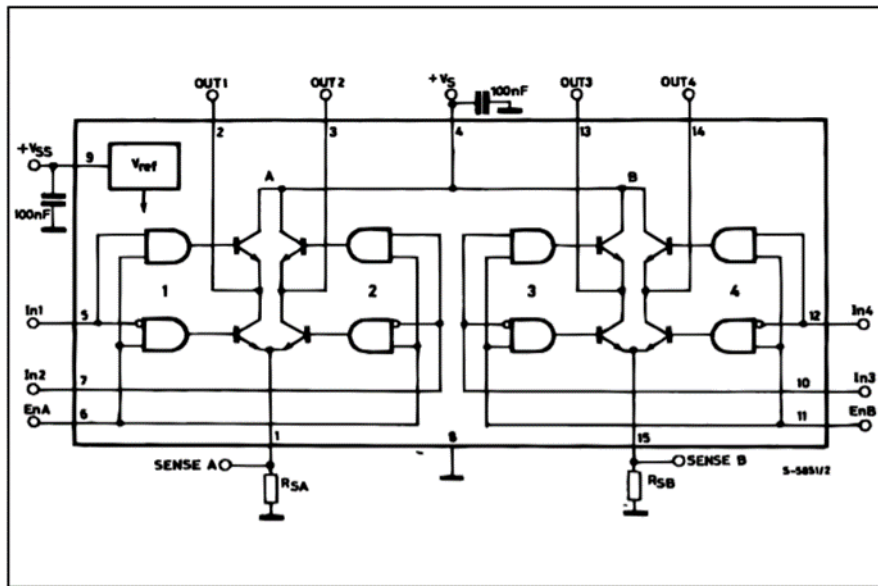
L298N เป็นชุดขับมอเตอร์ชนิด H-Bridge ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในการควบคุมทิศทางและความเร็วของมอเตอร์ ซึ่งสามารถควบคุมมอเตอร์ได้ทั้งหมด 2 Channel

วงจร H-Bridge ของ L298N เป็นวงจรที่สามารถใช้ควบคุมกระแสได้ทั้งขั้วบวกและลบด้วยการควบคุม pulse width modulation (PWM) เป็นการควบคุมแบบ digital ที่มีการนำมาใช้กันมาก โดยส่วนมากเพื่อเป็นการประหยัดพลังงานและ สามารถควบคุม output ได้ โดยมีการกระตุ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานน้อยมาก กล่าวคือวงจรพวกนี้จะมีการปล่อยการสูญเสียพลังงานน้อยกว่าวงจรอื่นๆมาก โดยเฉพาะการควบคุมโวลต์หลอดกระแส output

PWM คือเทคนิคการส่งสัญญาณแบบSwitch หรือ ส่งค่าดิจิทัล 0-1 โดยให้สัญญาณความถี่ที่การควบคุมระยะเวลาสัญญาณสูงและสัญญาณต่ำ ที่ต่างกัน ก็จะทำให้ค่าแรงดันเฉลี่ยของสัญญาณSwitch ต่างกันด้วย



รูปที่ 13



รูปที่ 14 Block diagram Motor L298

ยกตัวอย่างตารางการทำงานเมื่อต่อกับมอเตอร์

ENA	IN1	IN2	คำอธิบาย
0	N/A	N/A	มอเตอร์ A ไม่ทำงาน
0	LOW	LOW	มอเตอร์ A หยุดการทำงานแบบหมุนอิสระ (แบบไมเบรค)
0-255	LOW	HIGH	มอเตอร์ A ทำงานและหมุนกลับหลังด้วยความเร็วที่ ENA
0-255	HIGH	LOW	มอเตอร์ A ทำงานและหมุนเดินหน้าด้วยความเร็วที่ ENA
0	HIGH	HIGH	มอเตอร์ A หยุดการทำงานแบบทันที (แบบเบรค)

รูปที่ 15 ตารางการทำงานของ Motor A

ENA	IN1	IN2	คำอธิบาย
0	N/A	N/A	มอเตอร์ B ไม่ทำงาน
0	LOW	LOW	มอเตอร์ B หยุดการทำงานแบบหมุนอิสระ (แบบไมเบรค)
0-255	LOW	HIGH	มอเตอร์ B ทำงานและหมุนกลับหลังด้วยความเร็วที่ ENB
0-255	HIGH	LOW	มอเตอร์ B ทำงานและหมุนเดินหน้าด้วยความเร็วที่ ENB
0	HIGH	HIGH	มอเตอร์ B หยุดการทำงานแบบทันที (แบบเบรค)

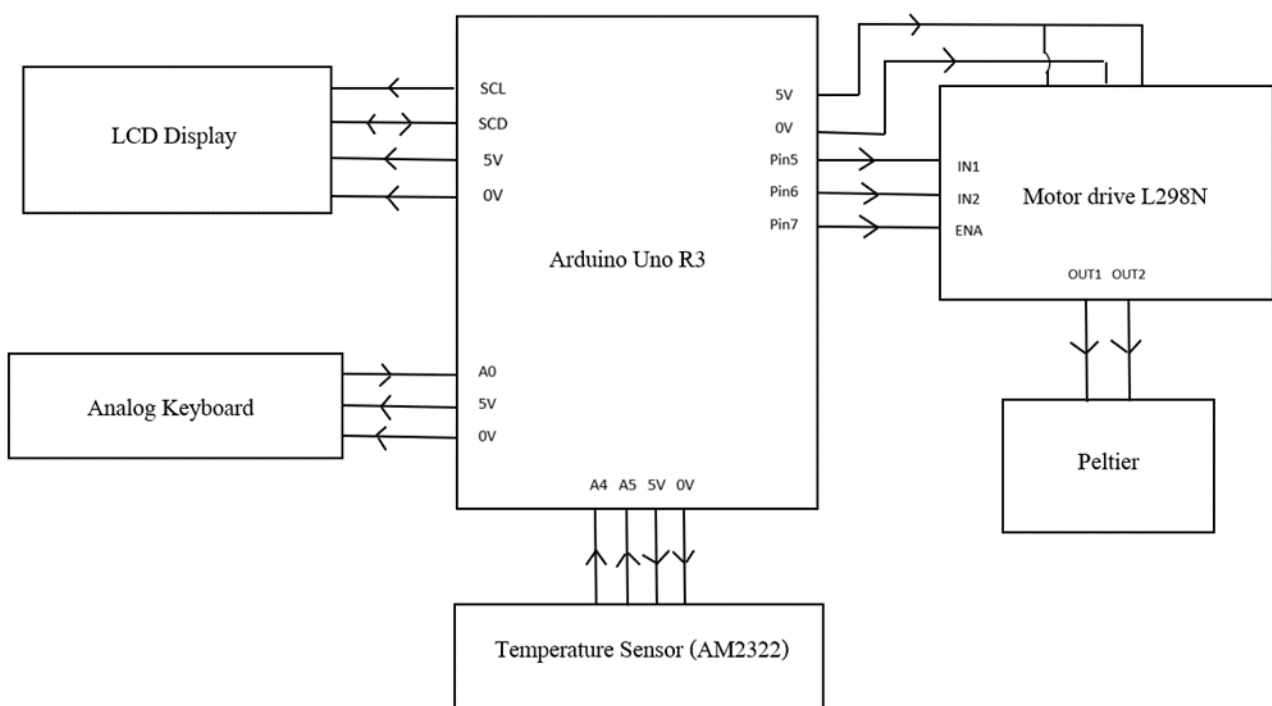
รูปที่ 16 ตารางการทำงานของ Motor B

บทที่ 3

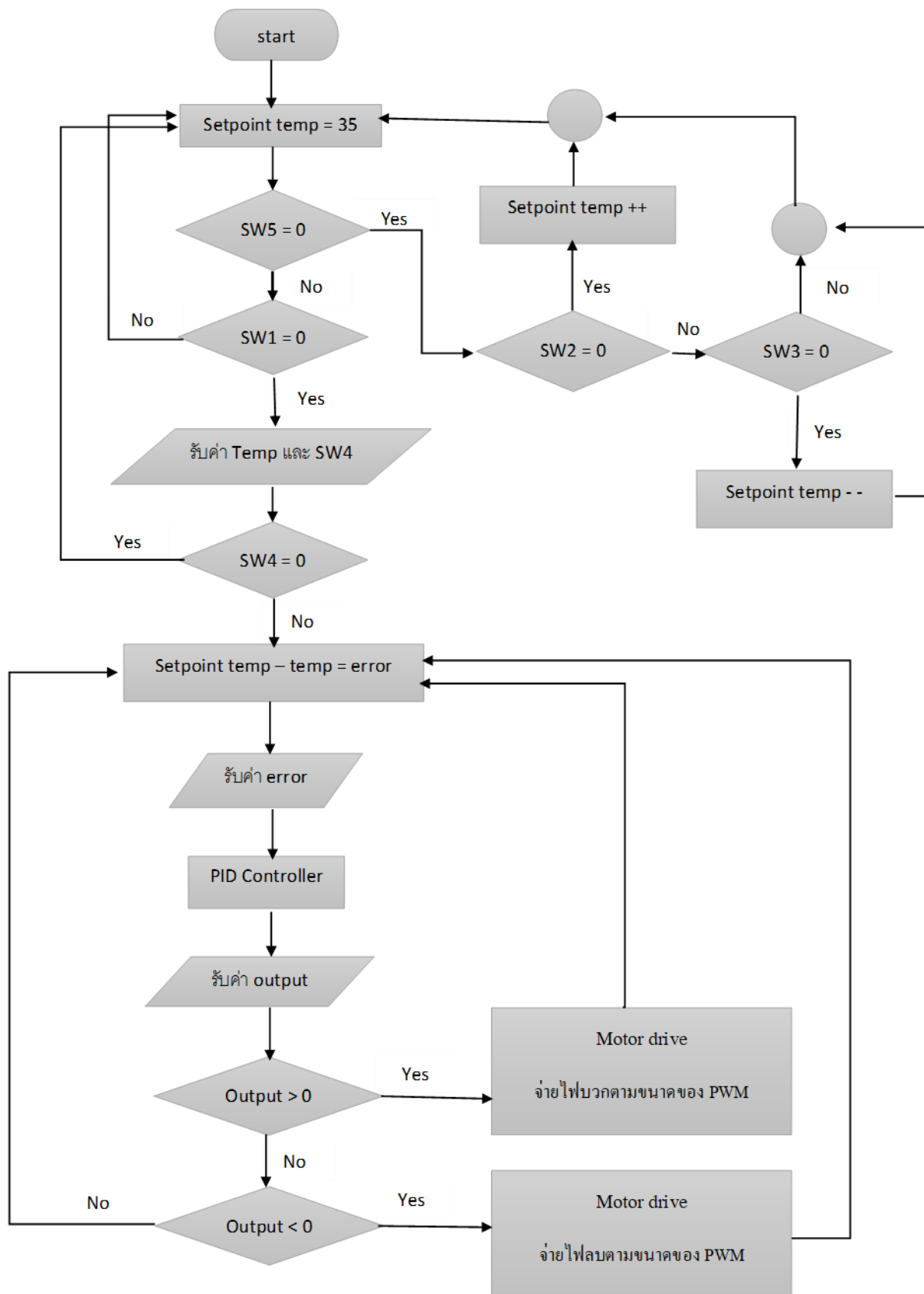
วิธีการดำเนินโครงการ

ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอโมเดลของโครงการเพื่อให้โครงการเป็นไปตามวัตถุประสงค์ โดยจะกล่าวถึงลำดับขั้นตอนการทำงานผ่าน Flow chart เป็นลำดับแรกและกล่าวลำดับขั้นตอนการทำงานของงานที่ออกแบบไว้ ซึ่งรายละเอียดของงานมีดังนี้

3.1 การออกแบบ Flow Chart



รูปที่ 17 ภาพโดยรวมของการต่อวงจรทั้งหมด



รูปที่ 18 flowchart แสดงการทำงานของระบบทั้งหมด

```

void loop() {
  sensor_vule = analogRead(joystick_pin);
  //analogWrite(speedPinA,255);
  //digitalWrite(dir1PinA,LOW);
  //digitalWrite(dir2PinA,HIGH);
  if(k==1){
    lcd.print("tempSet: ");
    lcd.setCursor(9, 0);
    lcd.print(temp);
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("menu      OK");
    delay(500);
    lcd.clear();
    if(sensor_vule > static_vule[4] && sensor_vule < static_vule[3]){
      k=0;
      Joystick1();
    }
  }
  //delay(1000);
  if(sensor_vule > static_vule[0] && sensor_vule < static_vule[0]+200){
    i = 0;

```

รูปที่ 19 code ตัวอย่างการทำงาน

```

if(sensor_vule > static_vule[0] && sensor_vule < static_vule[0]+200){
  i = 0;
  k = 0;
  // lcd.print("temp : ");
  }
  if(i==0){
    if(sensor_vule > static_vule[1] && sensor_vule < static_vule[0]){
      k = 1;
      i = 1;
    }

    //lcd.clear();
    lcd.print("tempSet : ");
    lcd.setCursor(9, 0);
    lcd.print(temp);
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("up");
    lcd.setCursor(6, 1);
    lcd.print("down");
    //delay(1000);

```

รูปที่ 20 code ตัวอย่างการทำงาน

ตารางแสดงคำอธิบายของค่าต่างๆใน Flowchart

คำศัพท์	คำอธิบาย
Setpoint Temp	เป็นอุณหภูมิที่ผู้ใช้ต้องการที่จะทำการทดสอบ
SW1	สวิตช์ที่ใช้ในการเข้า Loop การทำงานของ PID
SW2	สวิตช์ที่ใช้ในการเพิ่มค่า Setpoint Temp
SW3	สวิตช์ที่ใช้ในการลดค่า Setpoint Temp
SW4	สวิตช์ที่ใช้ในการออกจาก Loop การทำงานของ PID
SW5	สวิตช์ที่ใช้ในการเข้าไปในเมนูเพื่อกดเพิ่มหรือลดค่าของ Setpoint Temp
Error	ค่า Setpoint Temp – Temp (ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ในปัจจุบัน)
Output	ค่าที่ได้จากการผ่าน PID Controller
Motor drive	อุปกรณ์ที่ใช้ในการจ่ายแรงดันบวกกลับให้กับ Peltier
Peltier	ตัวปรับเปลี่ยนอุณหภูมิร้อนเย็น

3.2 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

1) การเลือกฟังก์ชันการทำงานของระบบ

บริเวณหน้าจอของ LCD จะปรากฏข้อความอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิที่ปรากฏบริเวณนี้จะเป็น Setpoint Temp โดยเมื่อเลือกกด SW5 จะสามารถเพิ่มหรือลดค่าของ Setpoint Temp ได้



รูปที่ 21 ภาพแสดงหน้าจอเริ่มต้น

2) เพิ่มหรือลดค่า Setpoint Temp

เนื่องจากในบางครั้งเราต้องกำหนดค่า Setpoint Temp ในแต่ละครั้งที่แตกต่างกันออกไปตามการใช้งานในขณะนั้น ส่วนนี้จึงเป็นการเพิ่มค่า Setpoint Temp และลดค่าของ Setpoint Temp ตามที่ต้องการ



รูปที่ 22 หน้าจอที่แสดงหลังกดเมนู



รูปที่ 23 หน้าจอแสดงหลังจากกดปุ่มเพิ่มค่า Setpoint



รูปที่ 24 หน้าจอที่แสดงหลังจากกดปุ่มเพิ่มค่า Setpoint



รูปที่ 25 หน้าจอหลังจากเลือกค่า Setpoint

3) เริ่มต้นการทำงาน

หลังจากกำหนดค่าอุณหภูมิ Setpoint Temp แล้วให้กดปุ่ม SW1 เพื่อเริ่มการทำงาน โดยการทำงาน ในที่นี้คือการเข้า PID Control เพื่อให้ค่าอุณหภูมิในกล่อง (Temperature bath) เท่ากับค่า Setpoint Temp

3.1) อ่านค่าอุณหภูมิจาก AM2322 Temperature and humidity Sensor

อุณหภูมิและความชื้นที่ได้จาก AM2322 Temperature and humidity Sensor จะเป็นค่าที่วัดได้จาก Temperature bath โดยจะทำค่าอุณหภูมิที่วัดได้ในปัจจุบันไปลบกับค่า Setpoint Temp ค่าที่ได้จะเป็น

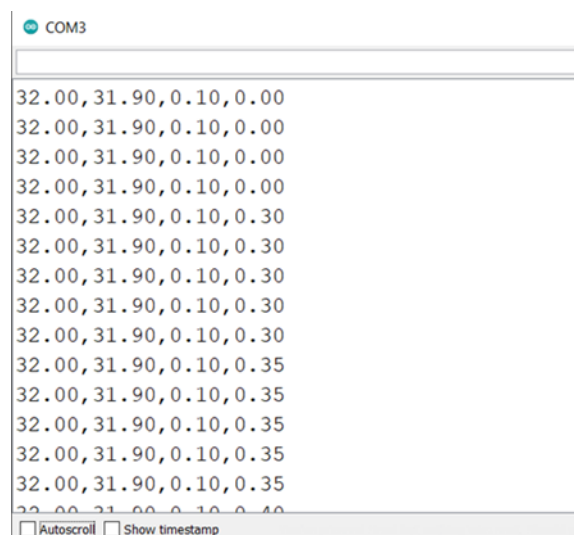
$$\text{Setpoint Temp} - \text{Temp} = \text{Error}$$

3.2) การทำ PID Controller

PID Controller มีตัวแปรที่สำคัญได้แก่ K_p , K_i , K_d โดยค่าที่ได้จะต้องผ่านการนำไปพลอตกราฟ เพื่อดูผลของกราฟ จากนั้นนำค่าตัวแปรต่างๆที่ได้มาเขียนลงใน code โดยการเลือกใช้ค่าตัวแปรต่างๆ สามารถศึกษาได้ตามทฤษฎีในบทที่ 2

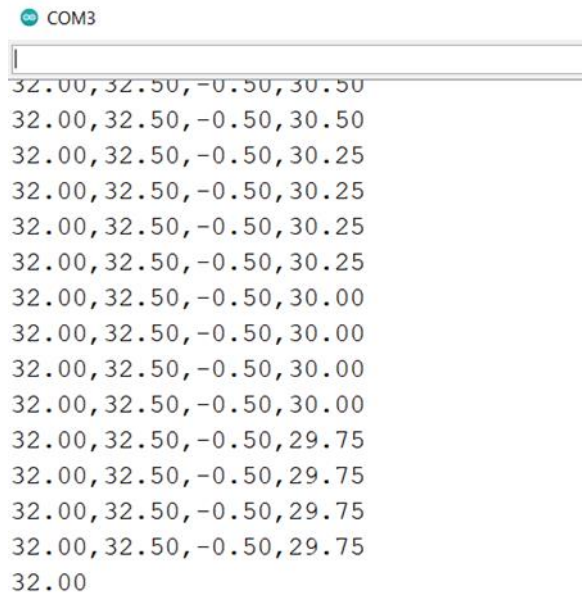
3.3) การจ่ายแรงดันของ Motor drive

นำค่า Output ที่ได้จาก PID มาควบคุมการจ่ายแรงดันให้กับ Peltier โดยขนาดของแรงดันที่จ่าย ออกไปจะขึ้นอยู่กับค่าของ PWM ที่ได้จาก Output หากค่า PWM มากก็จะจ่ายแรงดันออกไปมาก หากค่า PWM น้อยจะจ่ายแรงดันออกไปน้อย



รูปที่ 26 ค่าของ Setpoint, Input, Error , Output ตามลำดับ

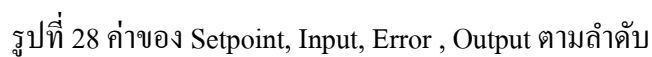
จากรูปที่ 26 จะเห็นเมื่อมีค่า Error เกิดขึ้น Output ที่ได้จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจาก Output พยายามที่จะทำให้ค่า error กลับมาเท่ากับ 0 โดยการเพิ่มค่าขึ้นเรื่อย ๆ หากค่า Error มีค่าน้อยกว่า 0 ผลที่ได้จะทำให้ Output จะเป็นไปตามรูปด้านล่าง



```
COM3
32.00,32.50,-0.50,30.50
32.00,32.50,-0.50,30.50
32.00,32.50,-0.50,30.25
32.00,32.50,-0.50,30.25
32.00,32.50,-0.50,30.25
32.00,32.50,-0.50,30.25
32.00,32.50,-0.50,30.00
32.00,32.50,-0.50,30.00
32.00,32.50,-0.50,30.00
32.00,32.50,-0.50,30.00
32.00,32.50,-0.50,29.75
32.00,32.50,-0.50,29.75
32.00,32.50,-0.50,29.75
32.00,32.50,-0.50,29.75
32.00
```

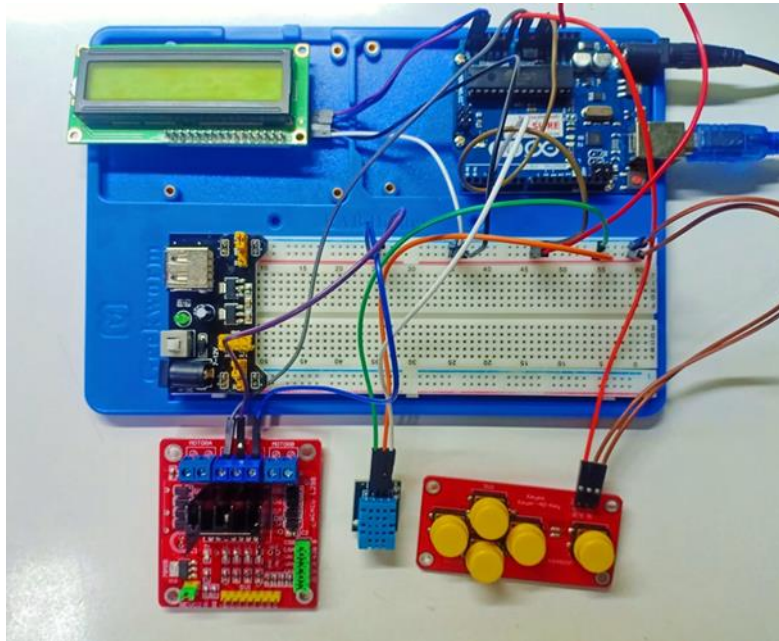
รูปที่ 27 ค่าของ Setpoint, Input, Error , Output ตามลำดับ

จากรูปที่ 27 จะเห็นเมื่อมีค่า Error เกิดขึ้น Output ที่ได้จะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจาก Output พยายามที่จะทำให้ค่า error กลับมาเท่ากับ 0 โดยการลดค่าลงเรื่อย ๆ หากค่า Error มีค่าเท่ากับ 0 ผลที่ได้จะทำให้ Output จะเป็นไปตามรูปด้านล่าง



3.4) การปรับเปลี่ยนอุณหภูมิร้อนเย็นของ Peltier

4) ทำงานตามคำสั่งต่อไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะมีการสั่งหยุด



รูปที่ 28 รูปของวงจรที่ต่อออกมา

จากรูปที่ 28 เป็นรูปของการต่อวงจรขึ้นมาจริงๆ แต่ภายในรูปยังไม่ใช้ตัวชิ้นงานทั้งหมดทั้งนี้ยังขาดการต่อแผ่นปรับอุณหภูมิร้อนเย็น Peltier และ Temperature bath ที่ขาดไป ดังนั้นวงจรในรูปจึงยังไม่ใช่วงจรที่สมบูรณ์ของโครงการนี้

3.3) สรุปผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาและทดลองต่อวงจรผลที่ได้คือสามารถต่อวงจรการทำงานของระบบออกมาได้ครบทั้งวงจรโดยมีการปรับเปลี่ยนตัวอุปกรณ์หรือเพิ่มอุปกรณ์ขึ้นมาเพื่อให้วงจรสามารถทำงานได้ ปัญหาที่พบคือตัววงจรยังไม่สามารถทำงานตามที่ออกแบบได้ทั้งหมดเนื่องจาก Code ที่เขียนมีความผิดพลาด นอกจากนี้ยังติดปัญหาในเรื่องของอุปกรณ์กล่องที่ใช้เป็นอุปกรณ์ปิดในการเพิ่มลดค่าอุณหภูมิเนื่องจากอุปกรณ์ที่ของตัวนักศึกษาไม่เพียงพอ

บรรณานุกรม

- [1] A. Schilling, X. Zhang and O. Bossen, “Heat flowing from cold to hot without external intervention by using a thermal inductor,” *Sci. Adv.* 5, 7 pages (2019).
- [2] L. Yang, Z. G. Chen, M. S. Dargusch, and J. Zou, “High Performance Thermoelectric Materials: Progress and Their Applications,” *Adv. Energy Mater.* 8, 1701797 (2017).
- [3] Jacob F. Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications. 3rd ed. New York: Springer; 2004.