

“เครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับบ่อหลอมตะกั่ว”

ไกรสร ยิ่งยุทธศักดิ์	ถิ่นน้อย ¹⁾ สุกใส ¹⁾ และ	ณัฐพล สายัณต์	สิบปรุ ¹⁾ ศรีโหมด ²⁾
1) ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า		คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
2) ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า		คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยศรีปทุม

Email : Sayan@spu.ac.th.

1 บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอเครื่องควบคุมอุณหภูมิบ่อหลอมตะกั่ว ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการเข้าไปดูงานของอาจารย์และนักศึกษาในโรงงานบริษัทโพโรเน็ค (ประเทศไทย) จำกัด โดยได้ศึกษาและรับฟังข้อมูลต่างๆ จากวิศวกรโรงงาน และได้ทราบถึงปัญหาที่น่าสนใจในกระบวนการผลิตในการเคลือบปลายขดลวดเหนียวนำด้วยตะกั่วในบ่อหลอมตะกั่ว

ซึ่งในรายละเอียดของปัญหาโรงงาน เกิดจากตะกั่วที่ถูกหลอมในบ่อตะกั่วมีอุณหภูมิไม่คงที่ตามผู้ปฏิบัติงานได้ปรับตั้งค่าไว้ ซึ่งทำให้เกิดความเสียหายกับชิ้นงาน เมื่อนำปลายขดลวดเหนียวนำไปจุ่มในบ่อหลอมตะกั่วที่มีอุณหภูมิสูงกว่าที่ปรับตั้งค่าไว้ ขดลวดเหนียวจะละลาย ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไป ตะกั่วก็จะไม่เคลือบติดที่ปลาย และผู้ปฏิบัติงานจะเสียเวลาในการคอยตรวจอุณหภูมิในบ่ออยู่เสมอ เพื่อให้อุณหภูมิเหมาะสมกับขดลวด ดังนั้นในโครงการนี้จึงได้จัดสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิบ่อหลอมตะกั่ว ด้วยการควบคุมอุณหภูมิแบบ พีไอดี

2 บทนำ

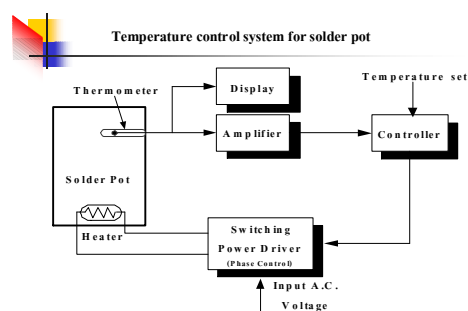
สำหรับตัวเหนียวนำเป็นอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง ประกอบอยู่ในแผงวงจร ซึ่งอยู่ในอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป เช่น วิทยุ โทรศัพท์ หรือ Computer ซึ่งก่อนการประกอบตัวเหนียวนำลงบนแผงวงจร ต้องผ่านขั้นตอนการเคลือบตะกั่ว ที่ปลายขดลวดเหนียวนำก่อน เพื่อช่วยในการบัดกรีให้ตัวเหนียวนำติดกับแผงวงจรและเพื่อไม่ให้ความร้อนจาก

ที่บัดกรีสัมผัสโดยตรงกับขดลวดซึ่งทำให้ขดลวดเหนียวนำละลายได้

ดังนั้นเราต้องควบคุมอุณหภูมิในบ่อหลอมตะกั่วให้มีความร้อนคงที่ ตามที่ผู้ปฏิบัติงานได้ปรับตั้งค่าไว้ซึ่งทำให้ลดชิ้นงานที่ต้องเสียไปในขั้นตอนนี้ การแก้ปัญหาดังกล่าวนี้เราได้นำระบบควบคุมอัตโนมัติ มาใช้ควบคุมอุณหภูมิในบ่อหลอมตะกั่วโดยพิจารณา ความแม่นยำ ความรวดเร็วและความมีเสถียรภาพของการตอบสนอง ซึ่งระบบควบคุมที่มีคุณสมบัติดังกล่าวนี้ ก็เป็นระบบควบคุมแบบทฤษฎีควบคุม พีไอดี

3 การออกแบบเครื่องควบคุมอุณหภูมิบ่อหลอมตะกั่ว

ในส่วนของการออกแบบ เครื่องควบคุมอุณหภูมิแสดงดังบล็อกไดอะแกรมรูปที่1และเนื้อหาของการออกแบบประกอบด้วย



ภาพที่ 1 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมอุณหภูมิบ่อหลอมตะกั่ว

3.1 วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) โดยใช้ฮอปแอมป์เพื่อขยายสัญญาณที่มาจาก Sensor อุณหภูมิ ซึ่งในบล็อกไดอะแกรมใช้เป็นตัวเทอร์โมคัปเปิล แต่สัญญาณที่ได้มีขนาดเล็กน้อยมากจึงต้องนำมาขยายเพื่อที่จะง่ายต่อการสร้างสัญญาณชุดควบคุม

3.2 ชุดควบคุมแบบ PID (Controller) ทำหน้าที่ควบคุมสัญญาณที่นำไปส่งให้ภาค Switching Power Driver โดยการคำนวณจากผลต่างของค่าเป้าหมายกับค่าตรวจวัดเพื่อนำมาสร้างเป็นสัญญาณควบคุม

3.3 วงจรชุดแสดงผลอุณหภูมิ (Display) โดยจะเป็นการแสดงผลค่าผลของอุณหภูมิจากตัว Sensor ในขณะที่ใช้งาน

3.4 ชุดวงจร TCA 785 ทำหน้าที่ ทรานส์สัญญาณให้ชุดขับกำลัง Switching Power Driver ทำงานจ่ายแรงดันให้ฮีตเตอร์

3.5 ชุด Switching Power Driver เป็นชุดขับกำลังจ่ายแรงดันให้กับฮีตเตอร์ ถูกควบคุมโดยชุดวงจรทรานส์สัญญาณ TCA 785

4 ผลการทดลอง

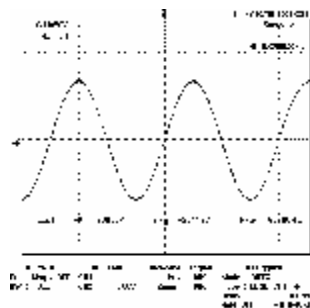
ในส่วนของการทดลองจะแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ

- การทดลองสัญญาณของ ทีซีเอ 785
- ผลตอบสนองของอุณหภูมิป้อนหลอมตะกั่วต่อ

อุณหภูมิเป้าหมาย

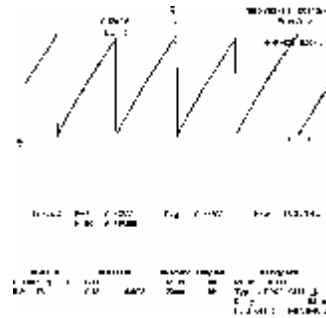
- ผลตอบสนองของอุณหภูมิป้อนหลอมตะกั่วต่อการ เปลี่ยนอุณหภูมิเป้าหมายและสิ่งรบกวนจากภายนอก(Disturbance)

4.1 การทดลองสัญญาณของ ทีซีเอ 785



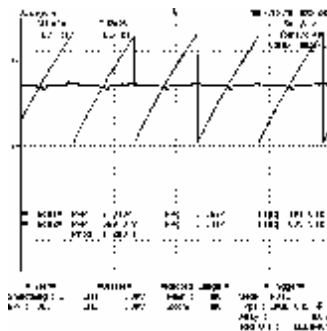
ภาพที่ 2 สัญญาณ sine ของแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับจ่ายเข้าที่ขา 5 ของ TCA 785

จากภาพที่ 2 เป็นสัญญาณซิงโครไนซ์ขึ้น เป็นการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส เข้าที่ขา 5 ของ TCA 785 โดยผ่านความต้านทานค่า 220 กิโลโอห์ม เพื่อป้องกันแรงดัน 220 โวลต์ ไม่ให้ต่อเข้าโดยตรงกับตัววงจรรวม



ภาพที่ 3 สัญญาณแรम्พ์ (ขา 10 ของ TCA 785)

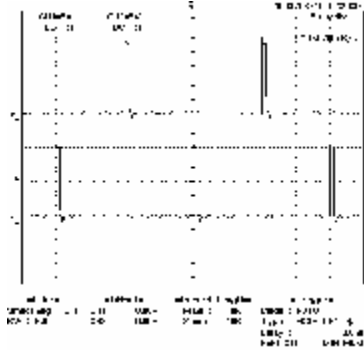
จากภาพที่ 3 เป็นสัญญาณแรम्พ์ที่วัดได้จากขา 10 โดยมีคาปาซิเตอร์ต่ออยู่หน้าขา 10 เรียกคาปาซิเตอร์นี้ว่า Ramp Capaciter เป็นตัวเก็บประจุที่เป็นเชิงเส้นเสรี ต่อเวลาที่เปลี่ยนแปลงซึ่งทำให้เกิดสัญญาณแรम्พ์ หรือเรียกคาปาซิเตอร์นี้ว่าเป็นตัวเก็บประจุสัญญาณลาดเอียง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 500 pF ถึง 1 μ F



ภาพที่ 4 สัญญาณเปรียบเทียบ(ขา10,11ของTCA 785)

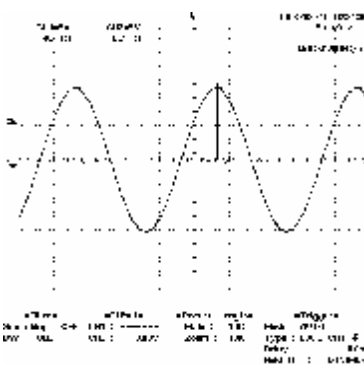
จากภาพที่ 4 เป็นสัญญาณ Ramp Voltage รวมกับ Control Voltage ที่ขา 10 และ 11 ของ TCA 785 โดยใช้ฮอสซิลโลสโคปทั้ง 2 Channel ทำการวัดสัญญาณแล้วนำมาเปรียบเทียบกันทั้ง 2 Channel ซึ่งจะทำให้ได้เอาต์พุตของ Comparator ที่

จ่ายเป็นพัลส์ Comparator จะทำการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและแรงดันพื้นเลื่อย โดยแรงดันที่ขา 10 จะทำการควบคุมแรงดันขา 11 ให้ Output Pulse มีค่าพอเหมาะกับการควบคุมมูมทริก

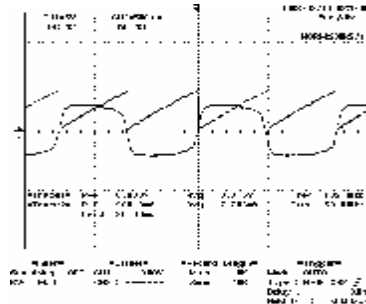


ภาพที่ 5 สัญญาณเอาต์พุต (ขา 14,15 ของ TCA 785)

จากภาพที่ 5 เป็นสัญญาณ Output Voltage โดยใช้ฮอสซิลโลสโคป ทั้ง 2 Channel ทำการวัดที่ขา 14 และ 15 ของ TCA 785 Output Voltage ที่ได้จากขา 14 จะทำการจ่ายพัลส์ออกมาในช่วงแรงดันเป็นไซเคิลลบ (ภาพบน) และ Output Voltage ที่ได้จากขา 15 จะทำการจ่ายพัลส์ออกมาในช่วงแรงดันเป็นไซเคิลบวก (ภาพล่าง) จาก Output Voltage ที่ขา 14 และขา 15 นำมาผ่านชุดขยายสัญญาณ และผ่านหม้อแปลงพัลส์ เพื่อนำสัญญาณไปจุดชนวนไทรสเตอร์ ในวงจรเรียงกระแส 1 เฟส แบบควบคุมเต็มบริดจ์ต่อไป



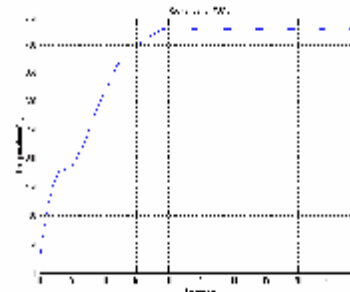
ภาพที่ 6 เป็นรูปสัญญาณSineเปรียบเทียบกับสัญญาณ Pulse ขาที่ 14 ของ TCA 785



ภาพที่ 7 สัญญาณเปรียบเทียบ(ขา 5,10ของTCA 785)

ภาพที่ 7 เป็นรูปสัญญาณแรมพ์ขาที่ 10 เปรียบเทียบกับสัญญาณของขา 5 ของ TCA 785 เมื่อผ่านความต้านทาน 220 กิโลโห์ม

4.2 ผลตอบสนองของอุณหภูมิบ่อหลอมตะกั่วต่ออุณหภูมิเป้าหมาย

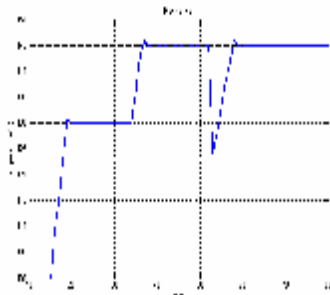


ภาพที่ 8 ผลตอบสนองของอุณหภูมิบ่อหลอมตะกั่วต่อเป้าหมาย

จากภาพคือผลที่ได้จากการทดลองเมื่อปรับค่าเป้าหมายเท่ากับ 430°C (8.6V) คงที่ เริ่มต้นจากอุณหภูมิห้อง ในช่วงอุณหภูมิ 26°C ถึง 429°C ฮีตเตอร์จะทำงานเต็มกำลัง(200W) จากกราฟจะสังเกตเห็นได้ว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิแบ่งออกได้ 3 ช่วง คือ 0°C ถึง 180°C , 180°C ถึง 370°C และ 370°C ถึง 430°C สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากผลของการเปลี่ยนสถานะของตะกั่ว ณ ช่วงอุณหภูมิต่างๆ ในแต่ละช่วงอุณหภูมิจะมีค่าคงที่ทางเวลาที่แตกต่างกันออกไปจึงส่งผลให้อัตราการ

เพิ่มขึ้น ของอุณหภูมิมีค่าความชัน(Slope)ที่ต่างกันไปด้วย ดังนั้นถ้าหากต้องการให้ตัวควบคุมสามารถทำงานได้ประสิทธิภาพสูงสุด การออกแบบระบบจะต้องเลือกค่าคงที่ทางเวลาของระบบ ณ ช่วงอุณหภูมิใช้งานมาคำนวณ เพราะค่าคงที่ทางเวลาจะส่งผลต่อตัวควบคุม ในการสร้างสัญญาณออกไปควบคุมอุณหภูมิในช่วงที่อุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่เซตไว้

4.3 ผลตอบสนองของอุณหภูมิบ่อหลอมตะกั่วต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิเป้าหมาย และสิ่งรบกวนจากภายนอก(Disturbance)



ภาพที่ 9 ผลตอบสนองของอุณหภูมิบ่อหลอมตะกั่วต่อการเปลี่ยนเป้าหมายและสิ่งรบกวนจากภายนอก

จากภาพมีการทำงานออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงที่เปลี่ยนเป้าหมายจาก 430°C (8.6 V) เป็น 445°C (8.9 V) และช่วงที่อุณหภูมิลดลงจาก 445°C เป็น 424°C เป็นผลกระทบของสิ่งรบกวนจากภายนอกเมื่อเพิ่มภาระ(Load) ให้กับบ่อหลอมตะกั่ว จะพบว่าหลังจากที่อุณหภูมิของบ่อหลอมตะกั่วลดลงถึงจุดต่ำสุดแล้ว ตัวควบคุมจะสร้างสัญญาณออกไปควบคุมอุณหภูมิของบ่อหลอมตะกั่วให้ได้ค่าที่เซตตามเดิม จากผลการทดลองจะสังเกตเห็นว่าในช่วงอุณหภูมิที่ 400°C ขึ้นไปจะมีความชันของอัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่เท่ากัน ทั้งนี้เพราะช่วงนี้จะมีค่าคงที่ทางเวลาเดียวกันดังที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น

5 สรุปผลการทดลอง

จุดประสงค์ของโครงการบ่อหลอมตะกั่วนี้ เพื่อลดความเสียหายของชิ้นงานในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่อง



ภาพที่ 10 ภาพด้านหน้าของเครื่องควบคุมอุณหภูมิบ่อหลอมตะกั่ว



ภาพที่ 11 ภาพด้านบนของเครื่องควบคุมอุณหภูมิบ่อหลอมตะกั่ว

จากบ่อหลอมตะกั่วที่โรงงานนี้ใช้อยู่ไม่สามารถควบคุมให้อุณหภูมิให้คงที่ได้ ดังนั้นโครงการนี้จึงสร้างขึ้นเพื่อปรับปรุงและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น โดยให้บ่อหลอมตะกั่วจะต้องควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่สุด เท่าที่จะเป็นไปได้ และบ่อหลอมตะกั่วจะต้องสามารถ ทำอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงใช้งานจริง (มากกว่า 400 องศาเซลเซียส) ผลที่ได้จากโครงการมีดังนี้

- ช่วงการทำอุณหภูมิที่บ่อหลอมตะกั่วสามารถทำได้คือ 26°C - 493°C ใช้เวลาทำอุณหภูมิ 18 นาที
- ค่าความผิดพลาดในช่วงอุณหภูมิคงที่ $\pm 5^{\circ}\text{C}$
- มีโอเวอร์ชูตเกิดขึ้น 2°C

- ตัวควบคุมสามารถตอบสนองต่อความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต และจากสภาพแวดล้อมได้ทันที โดยการรักษาอุณหภูมิให้คงที่

6 เอกสารอ้างอิง

[1] ไมตรี วรุฒจรรยากุล ทฤษฎีวงจรไฟฟ้าเล่ม 4
ศูนย์การพิมพ์พลชัย : กรุงเทพมหานคร พิมพ์ครั้งที่
2, 2538.

[2] มงคล ทองสงคราม อิเล็กทรอนิกส์ 2 ห้าง
หุ้นส่วนจำกัด วิ.เจ. พรินติ้ง : กรุงเทพมหานคร
พิมพ์ครั้งที่ 4, 2543.

[3] สุวลัย กลั่นความดี ระบบควบคุม สำนักพิมพ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : กรุงเทพมหานคร
พิมพ์ครั้งที่ 1, 2537

[4] ชัยยงค์ แก้วมงคล อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เล่ม 1
บริษัท สยามสปอร์ต ซินดิเคท จำกัด: กรุงเทพมหานคร
พิมพ์ครั้งที่ 3, 2543