

การพัฒนาเทคนิคการควบคุมอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกแบบซีพีคอนโทรลเลอร์
ร่วมกับระบบเอชดีไอบี

DEVELOPMENT CONTROL THERMOELECTRIC TECHNIQUE
BASED ON HYBRID CP CONTROLLER AND HDOB SYSTEM

สรายุทธ์ แยมประยูร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การพัฒนาเทคนิคการควบคุมอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกแบบซีพีกอนโทรลเลอร์
ร่วมกับระบบเอชดีไอบี

สรายุทธ์ แยมประยูร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาเทคนิคการควบคุมอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกแบบซีพียูคอนโทรลเลอร์ร่วมกับระบบเอชดีไอบี
ชื่อ-นามสกุล	ว่าที่ร้อยตรีสรายุทธ์ เข้มประยูร
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จักรี ศรีนนท์ฉัตร
ปีการศึกษา	2555

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ดร. อำนาจ เรืองวารี)

..... กรรมการ
(ดร. ณัฐภัทร พันธุ์คง)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คมกฤตย์ ชมสุวรรณ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย ผิวสอาด)

วันที่ เดือน พ.ศ. 2556

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาเทคนิคการควบคุมอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกแบบซีพียูคอนโทรลเลอร์ร่วมกับระบบเอชดีไอบี
ชื่อ - นามสกุล	ว่าที่ร้อยตรีสรายุทธ์ แยมประยูร
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร, Ph.D.
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

การป้อนกลับแบบ PID Controller มีการออกแบบที่ซับซ้อนและมีผลการตอบสนองที่ช้ากว่า P Controller ในขณะที่ P Controller นั้น มีโอเวอร์ชูตที่สูง ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ออกแบบตัวป้อนกลับแบบ CP Controller เพื่อชดเชยข้อด้อยของระบบทั้งสอง วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการพัฒนาเทคนิคการควบคุมอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ระบบเฝ้าสังเกตการณ์รบกวน (HDOB)

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอเทคนิคการป้อนกลับแบบ CP Controller ร่วมกับตัวชดเชยแบบ HDOB และพัฒนาระบบควบคุมแบบ 2 ทิศทาง (Bilateral Controller) ด้วยการใช้ประโยชน์จากเทคนิคระบบชดเชยแบบ HDOB ทั้งนี้ระบบดังกล่าวได้ออกแบบบน FPGA รุ่น Cyclone IV ของตระกูล Altera เนื่องจากหน่วยประมวลผลดังกล่าวสามารถออกแบบระบบให้ประมวลผลแบบขนานได้

จากผลการทดลองพบว่า ตัวป้อนกลับแบบ CP Controller ให้ผลการตอบสนองที่เร็วกว่า PID Controller มีวัตต์มารบกวน 7.5 % ตัวป้อนกลับตัวกล่าวได้มีการประยุกต์ร่วมกับระบบชดเชยแบบ HDOB ซึ่งผลลัพธ์การควบคุม ณ จุดอ้างอิงให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า 5.5 % เมื่อเทียบกับการไม่ใช้ระบบชดเชยดังกล่าว นอกจากนี้ ระบบยังได้มีการประยุกต์ใช้ตัวชดเชยแบบ HDOB ในการควบคุมแบบ 2 ทิศทางโดยการป้อนกลับอุณหภูมิเพื่อเพิ่มอัตราการขยายของระบบ ทั้งนี้จะส่งผลให้มีค่า ERROR ลดน้อยเหลือ 5.4%

คำสำคัญ : ระบบชดเชยแบบ HDOB ตัวป้อนกลับแบบ CP Controller การควบคุม 2 ทิศทาง

Thesis Title	Development Control Thermoelectric Technique Based on Disturbance Observer System
Name - Surname	Mr. Sarayut Yaemprayoon
Program	Electrical Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Jakkree Srinonchat, Ph.D.
Academic Year	2012

ABSTRACT

In the feedback control system, the PID Controller design is too complex and slow response when is compared with P Controller. However, P Controller is obtained the overshoot. Therefore, this thesis proposed the CP Controller for offset the disadvantages of both systems. This thesis presents a development control thermoelectric based on disturbance observer system.

This thesis proposes a CP controller feedback technique combination with compensates HDOB system. Moreover, the system is developed the bilateral controller with exploring compensates HDOB system. This system is design in Altera - FPGA Cynclone IV in order to it can design in parallel process.

The experimental results show that the CP controller obtains faster response than the PID controller object disturbance into the system 7.5%. This feedback controller is applied to operate combination with compensate HDOB system. The result shows that it provides 5.5 % better than the system without HDOB in the term of reference point. Moreover, the system is applied the compensate HDOB system into the bilateral control, which temperature feedback for increasing the gain of the system. By this reason, this technique can reduce the error to 5.4%

Keywords : HDOB, CP controller, bilateral control

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำข้อคิดเห็นและสนับสนุนในการทำวิจัย รวมถึงทุนวิจัยสำหรับอุปกรณ์ทดลองต่างๆ มาด้วยดีตลอด ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

กราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ให้คำแนะนำความรู้ และประสบการณ์ที่เป็นแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี และเป็นประโยชน์ในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ขอกราบขอบพระคุณ Professor Dr. Ohishi Kiyoshi และ ดร. เชาวลิต มิตรสันติสุข ที่ให้การสนับสนุน สั่งสอนและแนะนำทฤษฎีต่างๆ สำหรับงานวิจัยนี้ จนงานวิจัยสำเร็จตามวัตถุประสงค์ ลุล่วงด้วยดี ขณะที่ผู้วิจัยได้ทุนนักวิจัยแลกเปลี่ยนที่ประเทศญี่ปุ่น

ขอขอบคุณรุ่นพี่ เพื่อน น้องนิสิตที่ห้องปฏิบัติการและวิจัยทางด้านการประมวลผลสัญญาณ ที่ได้ช่วยเหลือเกี่ยวกับข้อมูล รวมถึงคำแนะนำต่างๆ ตลอดเวลาที่ทำวิจัยอย่างดียิ่ง

ท้ายนี้ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณ บิดามารดาที่ให้การสนับสนุนแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ว่าที่ร้อยตรีสรายุทธ์ เข้มประยูร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ข้อยกเว้นของการศึกษา.....	2
1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 วงจรสมมูลและสมการของระบบควบคุมอุณหภูมิด้วย Peltier.....	5
2.2 วงจรสมมูลและสมการของระบบควบคุมอุณหภูมิด้วย Peltier บนฟิวส์ดู.....	9
2.3 ระบบชดเชยแบบ HDOB.....	12
2.4 ระบบชดเชยแบบ HDOB บนฟิวส์ดู.....	15
2.5 ระบบกรองผ่านถั่วผ่านด้วยการโปรแกรม FPGA.....	17
2.6 ระบบป้อนกลับแบบ PID Controller ร่วมกับระบบชดเชยแบบ HDOB.....	19
2.7 ระบบป้อนกลับแบบ CP Controller ร่วมกับระบบชดเชยแบบ HDOB.....	23
2.8 ระบบป้อนกลับแบบ CP Controller ร่วมกับระบบชดเชยแบบ HDOB บนฟิวส์ดู.....	25
2.9 การควบคุมอุณหภูมิแบบ 2 ทิศทาง.....	26
2.10 หน่วยประมวลผลแบบ FPGA.....	29
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	33

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	35
3.1 ขั้นตอนการทดลอง.....	35
3.2 ไลออะแกรมของระบบ.....	38
3.3 การออกแบบวงจรจับกระแส.....	41
3.4 การติดตั้งชุดทดลอง.....	44
3.5 การเลือกค่าพารามิเตอร์สำหรับการทดลอง.....	46
3.6 การเปรียบเทียบผลการทดลอง.....	49
4 ผลการวิจัย.....	52
4.1 การกรองความถี่ต่ำผ่านด้วยการโปรแกรม FPGA.....	52
4.2 ผลทดสอบตัวป้อนกลับแบบแบบต่างๆและ HDOB.....	53
4.3 ผลทดสอบตัวป้อนกลับแบบ CP Controller และ HDOB.....	56
4.4 ผลทดสอบตัวป้อนกลับแบบ CP Controller และ HDOB บนผิววัสดุ.....	58
4.5 ผลการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิแบบ 2 ทิศทาง.....	61
4.6 สรุปผลการทดลอง.....	63
5 สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	65
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	65
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา.....	66
รายการอ้างอิง.....	67
ภาคผนวก.....	69
ภาคผนวก ก ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	70
ประวัติผู้เขียน.....	112

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	รายการตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัยนี้	5
3.1	ค่าอัตราการขยายตัวควบคุมโดยใช้วิธีการปฏิกิริยาของกระบวนการ (Process Reaction Method)	48
3.2	ค่าอัตราการขยายตัวควบคุมโดยใช้วิธีการวัฏจักรท้ายสุด	49
4.1	พารามิเตอร์และอัตราการขยายของตัวควบคุม CP Controller และ PID Controller	57
4.2	พารามิเตอร์และอัตราการขยายสำหรับตัวควบคุม CP Controller และ PID Controller บนฟิวอะลูมิเนียม	59



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	วงจรสมมูลของ Peltier Device และ Output ของระบบ..... 7
2.2	วงจรสมมูลของ Peltier Device และเอาต์พุตของระบบที่ติดตั้งแผ่นอะลูมิเนียม..... 10
2.3	บล็อกไดอะแกรมควบคุม Peltier..... 13
2.4	บล็อกไดอะแกรม โครงสร้างของ Motion DOB..... 13
2.5	บล็อกไดอะแกรม โครงสร้างของ HDOB..... 14
2.6	บล็อกไดอะแกรมระบบชดเชยแบบ HDOB 14
2.7	บล็อกไดอะแกรมควบคุม Peltier ด้วยการติดตั้งแผ่นอะลูมิเนียม 15
2.8	บล็อกไดอะแกรมควบคุม Peltier ด้วยการติดตั้งแผ่นอะลูมิเนียมด้วยระบบชดเชยแบบ HDOB..... 17
2.9	บล็อกไดอะแกรมควบคุม Peltier ด้วยระบบชดเชยแบบ HDOB ร่วมกับ LPF 19
2.10	บล็อกไดอะแกรมเทคนิคการป้อนกลับแบบ PID ร่วมกับ HDOB 22
2.11	บล็อกไดอะแกรม CP Controller ร่วมกับ HDOB 25
2.12	บล็อกไดอะแกรมควบคุม Peltier ด้วย CP Controller ร่วมกับ HDOB บนผิววัสดุ 26
2.13	บล็อกไดอะแกรมการควบคุม Peltier แบบ 2 ทิศทาง 28
2.14	บล็อกไดอะแกรมการควบคุม Peltier แบบ 2 ทิศทาง แบบเพิ่มอัตราขยาย 29
3.1	ขั้นตอนการทำงาน 36
3.2	อุปกรณ์ Peltier..... 37
3.3	ไดอะแกรมการต่อชุดทดลอง..... 38
3.4	Altera DE2-115 Development and Education Board 40
3.5	บล็อกไดอะแกรมการออกแบบ H-Bridge Currence Driver..... 42
3.6	วงจร (SCH) H-Bridge Currence Driver 42
3.7	แผ่นวงจร (PCB) H-Bridge Driver 43
3.8	ชุดทดลองระบบควบคุมอุณหภูมิ..... 44
3.9	Schematic ของระบบควบคุมอุณหภูมิ 45
3.10	การปรับค่าเกนของตัวควบคุมด้วยวิธีการปฏิบัติของกระบวนการ 47
3.11	การปรับค่าอัตราขยายของตัวควบคุมด้วยวิธีการวัฏจักรท้ายสุด..... 48
3.12	ไดอะแกรมขั้นตอนการทดลอง..... 50

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.1	การทดลอง LPF บน MATLAB เปรียบเทียบด้วย FPGA.....	53
4.2	ตัวป้อนกลับแบบ P PD และ PI Controller ร่วมกับระบบชดเชยแบบ HDOB	54
4.3	ตัวป้อนกลับแบบ PID Controller ร่วมกับตัวชดเชยแบบ HDOB.....	55
4.4	ตัวป้อนกลับแบบ PID Controller ร่วมกับตัวชดเชยแบบ HDOB และไม่ใช่ระบบ HDOB.....	55
4.5	ผลการทดลองการเปรียบเทียบระหว่าง CP Controller และ PID Controller	56
4.6	CP Controller เปรียบเทียบระหว่างการใช้ HDOB และไม่ใช่ HDOB.....	58
4.7	ผลการทดลอง P, PID และ CP Controller ร่วมกับ HDOB บนแผ่นอะลูมิเนียม	60
4.8	การควบคุมอุณหภูมิแบบ 2 ทิศทาง ด้วยระบบ HDOB	62



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

CP Controller	Customization Controller
FPGA	Field Programmable Gate Array
HDOB	Heat Disturbance Observer
LPF	Low Pass Filter
PID Controller	Proportional-Integral-Derivative Controller
PLPF	Programming Low Pass Filter



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนั้น เทคโนโลยีด้านการสื่อสารและด้านหุ่นยนต์นั้นมีความเป็นกับชีวิตมนุษย์มา ยิ่งขึ้น ในด้านของเทคโนโลยีการสื่อสารนั้นปัจจุบัน มนุษย์สามารถสื่อสารด้วยเสียงและภาพเท่านั้น ด้วยเทคโนโลยีต่างๆ ดังนั้น จึงมีศาสตร์หนึ่งที่ใช้ชื่อว่า Haptic หรือการส่งผ่านการสัมผัสซึ่งความเป็นไปได้ที่มีนักวิจัยหลายท่านจะพัฒนาการสื่อสาร ดังกล่าว Haptic นั้น คือ การส่งผ่านความรู้สึก หรือการสัมผัสจากที่หนึ่งสู่ที่หนึ่ง จากมนุษย์หรืออาจจะจากมนุษย์ในการควบคุมหุ่นยนต์ Haptic หรือความรู้สึกนั้นประกอบไปด้วยแรง (Force) และอุณหภูมิ (Temperature หรือ Thermal) หลายงานวิจัยที่มุ่งเน้นการวิจัยเกี่ยวกับการส่งผ่านแรงมนุษย์กับวัตถุ แต่การส่งผ่านแรงอย่างเดียวนั้นยังไม่เพียงพอ สำหรับระบบการส่งผ่านการสัมผัสระหว่างมนุษย์กับวัตถุอย่างสมบูรณ์แบบ เนื่องจากมนุษย์นั้น นอกจากจะมีการสัมผัสในส่วนของแรงแล้ว ยังมีการสัมผัสในส่วนของอุณหภูมิอีกด้วย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการพัฒนาเทคนิคการควบคุมอุณหภูมิโดยเทคนิคที่นำเสนอขึ้น ประกอบไปด้วย ตัวชดเชยแบบระบบเฟ้าสังเกตการณ์รบกวนด้านความร้อน (Disturbance Heat Observer หรือ HDOB) ร่วมกับตัวป้อนกับแบบ PID Controller และนำเสนอการปรับแต่งตัวควบคุมแบบสัดส่วน (CP Controller) ที่ใช้คุณสมบัติเด่นของ P Controller นอกจากนี้ เพื่อวิเคราะห์เทคนิคที่นำเสนอขึ้นสามารถใช้ได้กับการควบคุม Peltier บนผิววัสดุหรือในกรณีที่มีไหลจะมีการติดตั้งแผ่นอะลูมิเนียมและวิเคราะห์การควบคุมอุณหภูมิบนผิววัสดุด้วยเทคนิคที่นำเสนอดังกล่าว ในส่วนสุดท้ายที่จะเป็นแนวทางการพัฒนาระบบ Haptic คือ การออกแบบและพัฒนาการควบคุม อุปกรณ์เทอร์โม อิเล็กทริก แบบ 2 ทิศทาง หรือ Bilateral Control Temperature นั้นเอง จากเทคนิคต่างๆที่กล่าวมาข้างต้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้หน่วยประมวลผลแบบ FPGA ที่มีทรัพยากรหน่วยประมวลผลที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการออกแบบระบบดังกล่าว เทคนิคการป้อนกลับ ระบบชดเชยแบบ HDOB การวิเคราะห์อุณหภูมิที่ผิววัสดุ และการควบคุมอุณหภูมิแบบ 2 ทิศทาง ทฤษฎีและผลการทดลอง ได้อธิบายอยู่ในวิทยานิพนธ์นี้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เปรียบเทียบการควบคุมแบบใช้ระบบชดเชยแบบ HDOB

1.2.2 เปรียบเทียบการป้อนกลับแบบ P Controller และ PID Controller ด้วย CP Controller

1.2.3 ศึกษาและพัฒนากการควบคุมอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกแบบ 2 ทิศทาง (Bilateral Controller)

1.2.4 ใช้หน่วยประมวลผลของระบบควบคุมด้วย FPGA

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ออกแบบระบบชดเชยแบบ HDOB สำหรับระบบควบคุมอุณหภูมิ

1.3.2 พัฒนาตัวป้อนกลับแบบ CP Controller ที่ปรับปรุงมาจาก P Controller ร่วมกับระบบชดเชยแบบ HDOB

1.3.3 วิเคราะห์การควบคุมอุณหภูมิมบนผิววัสดุ ด้วยตัวป้อนกลับแบบ CP Controller ร่วมกับระบบชดเชยแบบ HDOB

1.3.4 ออกแบบการควบคุมอุณหภูมิแบบ 2 ทิศทาง

1.3.5 ออกแบบและพัฒนากการควบคุมอุณหภูมิด้วยหน่วยประมวลผลแบบ FPGA

1.4 ข้อยกเว้นของการศึกษา

1.4.1 ระบบที่ออกแบบในงานวิจัยนี้ใช้ได้กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกประเภท Peltier หรืออุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีคุณสมบัติเดียวกับ Peltier โดยช่วงของการควบคุมอุณหภูมิจะมีผลต่างจากอุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 8 องศา

1.4.2 หน่วยประมวลผลจะใช้ FPGA Controller ตระกูล Altera รุ่น Cyclone IV

1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ศึกษาการเขียนโปรแกรมควบคุมระบบด้วย FPGA

1.5.2 ศึกษาทฤษฎีการควบคุมป้อนกลับแบบ PID Controller CP Controller และการชดเชยระบบด้วย HDOB

1.5.3 ออกแบบและติดตั้งชุดทดลองอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้รับแนวทางการพัฒนาการควบคุมอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกด้วยการป้อนกลับแบบ CP Controller และชดเชยระบบด้วย DOB โดยหน่วยประมวลผลแบบ FPGA เพื่อเป็นแนวทางการควบคุมอุณหภูมิที่เสถียรภาพยิ่งขึ้น

1.6.2 สามารถนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการควบคุมอุณหภูมิหรืออุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกแบบ 2 ทิศทาง

1.6.3 สามารถนำไปใช้แนวทางการพัฒนาในระบบสื่อสารแบบ Haptic



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบัน หลายงานวิจัยที่มุ่งเน้นการควบคุมอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกด้วยวิธีต่างๆ เช่น การควบคุมการป้อนกลับแบบ P Controller, PID Controller หรือการควบคุมแบบตรรกศาสตร์ด้วย Fuzzy Logic ดังนั้น วิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอ การควบคุมด้วยการประยุกต์ใช้ระบบชดเชยแบบ Disturbance Observer (DOB) ที่นิยมใช้กับการควบคุมแบบ Motion Control หรือในทางควบคุม อุณหภูมิ คือ Heat Disturbance Observer (HDOB) และการปรับแต่งการป้อนกลับแบบ P Controller (Customization Proportion Controller, CP Controller) ด้วยหน่วยประมวลผลแบบ FPGA อีกทั้งยัง ออกแบบระบบด้วยอุปกรณ์ทางด้านดิจิทัลทั้งหมดเพื่อลดสัญญาณรบกวนที่เข้าสู่ระบบและง่ายต่อการออกแบบระบบที่ใช้หน่วยประมวลผลแบบ FPGA ระบบที่นำเสนอดังกล่าวนี้ ได้วิเคราะห์เพื่อ การควบคุมบนผิววัสดุด้วยเพื่อทดลองหรือประยุกต์ใช้ในลักษณะที่มีไหลภายนอกเข้ามาในระบบ นอกจากการนำเสนอด้วยชดเชยแบบ HDOB และระบบป้อนกลับแบบ CP Controller แล้ว งานวิจัยนี้ยัง ได้ประยุกต์ระบบ HDOB เพื่อการควบคุม 2 ทิศทาง (Bilateral Control) สำหรับพื้นฐานการวิจัยด้าน หุ่นยนต์สัมผัส (Haptic Temperature) อีกด้วย

วิธีการควบคุมอุณหภูมินั้นมีด้วยกันหลายวิธี เช่น ตัวควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ (PID Controller) ซึ่งเป็นการควบคุมที่ได้ผลดีและเป็นที่ยอมรับ แต่การควบคุมดังกล่าวนี้มีการ ตอบสนองที่ช้ากว่าและมีการออกแบบที่ซับซ้อนกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับควบคุมแบบสัดส่วน (P Controller) แต่ผลจากตัวควบคุมแบบสัดส่วนคือระบบมีโอเวอร์ชูต (Overshoot) ที่สูงตามมา ด้วย เหตุผลดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการพัฒนาการควบคุมอุณหภูมิโดยการปรับแต่งตัว ควบคุมแบบสัดส่วนเพื่อลดโอเวอร์ชูตของระบบ โดยใช้คุณสมบัติของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ประเภท Peltier นอกจากนี้ยังได้เห็นความสำคัญของตัวชดเชยของการรบกวนระบบแบบ DOB ซึ่ง ระบบดังกล่าวมีจุดเด่นคือ สามารถประมาณค่าปัจจัยด้านความร้อนต่างๆ ที่เข้ามารบกวนเพื่อชดเชย ระบบในการรักษาเสถียรภาพในการควบคุมที่ดีขึ้น นอกจากระบบป้อนกลับร่วมกับระบบชดเชย ดังกล่าวแล้วนั้น ระบบควบคุมยังได้มีการประยุกต์การโปรแกรมความถี่ต่ำผ่านด้วยการ โปรแกรมบน FPGA เพื่อลดสัญญาณรบกวนจาก Sensor และเป็นการเพิ่มความละเอียดสำหรับการควบคุมอีกด้วย (รายละเอียดได้อธิบายอยู่ในเนื้อหา) ในส่วนสุดท้ายสำหรับงานวิจัยนี้คือ การประยุกต์ระบบ HDOB เพื่อการควบคุมแบบ 2 ทิศทาง จากเทคนิคที่นำเสนองานวิจัยนี้จะเลือกใช้หน่วยประมวลผลแบบ FPGA เนื่องด้วยหน่วยประมวลผลดังกล่าวนี้มีทรัพยากรและความเร็วที่เสถียรภาพและรองรับการ

เขียนโปรแกรมที่นำเสนอ จากการอธิบายข้างต้น วงจรสมมูลของระบบความร้อน บล็อกไดอะแกรม ระบบควบคุมหรือเทคนิคต่างๆ ได้นำเสนอในหัวข้อนี้

2.1 วงจรสมมูลและสมการของระบบควบคุมอุณหภูมิด้วย Peltier

ในงานวิจัยนี้ สมการสำหรับการควบคุมอุณหภูมินั้น ได้วิเคราะห์มาจากวงจรสมมูล ซึ่ง สมการตัวแปรและคำอธิบายได้แสดงดังตารางที่ 2.1 วงจรสมมูลดังกล่าวได้ประยุกต์มาจากงานวิจัย ซึ่งอธิบายอยู่ใน [1] และ [2] วงจรสมมูลประกอบไปด้วย Peltier Device และเอาต์พุตของระบบ (Object) เช่น นิ้วมือมนุษย์ โลหะ และอื่นๆ ซึ่งเอาต์พุตดังกล่าว คือ การรบกวนทางด้านความร้อน (Heat Disturbance) นั่นเอง ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการประมาณดังกล่าวด้วย Heat Disturbance Observer (HDOB) และชดเชยเข้าระบบเพื่อเสถียรภาพของระบบควบคุม ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นที่มาของการวิจัยระบบชดเชยแบบ HDOB

ตารางที่ 2.1 รายการตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัยนี้

Variable	Definition
T	Temperature (C°)
q	Heat (W)
q_k	Heat physical constant in Peltier device (W)
$q_j/2$	Joule Heat in Peltier device (W)
C	Thermal Capacitance (J/K)
R	Thermal Resistance (K/W)
R_e	Electronic Resistance (Ω)
g_{dis}	Cutoff frequency (rad/s)
U	Voltage source (V)
I	Current source (A)
α	Seebeck coefficient of Peltier device (V/K)
s	Laplace operator
K_{pst}	Proportional gain start point
K_{psp}	Proportional gain stop point
K_p	Proportional gain

ตารางที่ 2.1 รายการตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัยนี้ (ต่อ)

Variable	Definition
K_i	Integral gain
K_d	Derivative gain
Subscripts: c	Cool side
Subscripts: h	Hot side
Subscripts: a	Aluminum sheet
Subscripts: p	Peltier device
Subscripts: o	Output Object
Subscripts: n	Nominal value
Subscripts: cmd	Command
Subscripts: cms	Compensate
Subscripts: $refref$	Referent
Subscripts: $dis dis$	Disturbance
Subscripts: max	Maximum value
Superscripts: \wedge	Estimation value

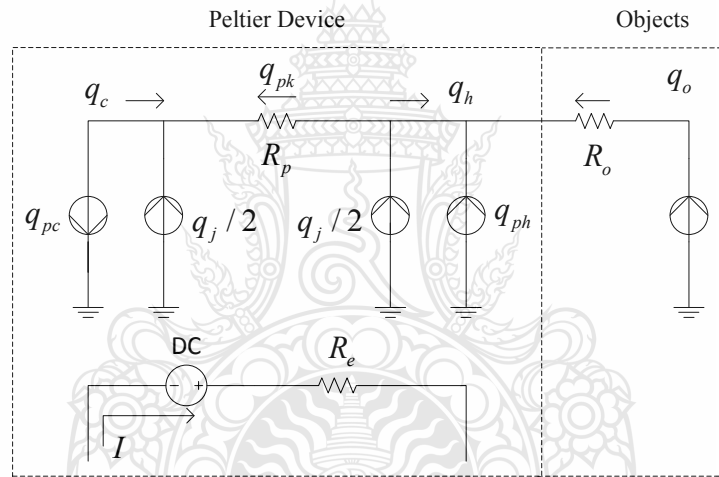
การวิเคราะห์ห้วงจรสมมูลของระบบควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก คือ อุปกรณ์ Peltier ดังแสดงในภาพที่ 2.1 (ก) ซึ่งจากภาพประกอบไปด้วยด้านร้อนและด้านเย็น กล่าวคือ อุปกรณ์ Peltier คือ เทอร์โมอิเล็กทริกที่ถ่ายเทความร้อนจากการจ่ายกระแส โดยการควบคุมด้านร้อนหรือด้านเย็นนั้นขึ้นอยู่กับ การควบคุมกระแสไฟฟ้าซึ่งวงจรดังกล่าวได้อธิบายในบทถัดไป ณ ด้านร้อนและด้านเย็นของ Peltier นั้น ความร้อนแบบจูล (Joule Heat) คือ ตัวแปรในการดูดซับและเสริมการเปลี่ยนแปลงความร้อนของอุปกรณ์

นอกจากนี้ อุปกรณ์ Peltier ดังกล่าว นั้นยังมีความร้อนทางกายภาพ (q_c) หรือความต้านทานการถ่ายโอน (R_p) กล่าวคือ อุปกรณ์ Peltier นั้นเมื่อจ่ายกระแสจะมองอุปกรณ์ดังกล่าวเป็นความต้านทานทางไฟฟ้า (R_e) หรือ โหลดของระบบ ซึ่งสามารถสรุปและประยุกต์ได้จาก [3] ในส่วนของ q_o หรือ Output ของระบบ ซึ่งอาจจะต่ออยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น อากาศ นิ้วมือ หรือวัสดุที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิ ปัจจัยหรือตัวแปรการรบกวนดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการประมาณค่าและระบบชดเชยแบบ HDOB

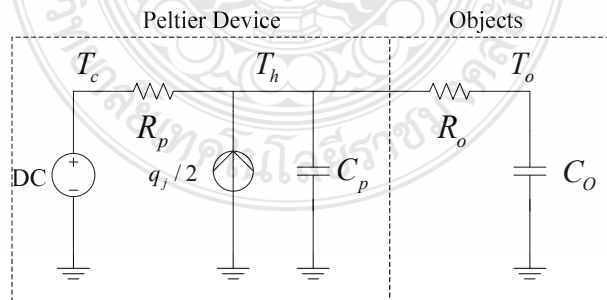
เพื่อวิเคราะห์สมการควบคุมระบบ ด้วยการจ่ายกระแสเพื่อควบคุมด้านร้อนสู่ Output ด้วยการแทนที่ Heat ด้านเย็นด้วยการจ่ายกระแส และเปลี่ยนการวิเคราะห์ในรูปแบบของ Heat สู่การถ่ายเทความร้อน (Thermal Capacitance) และอุณหภูมิ ดังภาพที่ 2.1 (ข) การวิเคราะห์ทั้งจรสมมูลจาก Thermal Capacitance จาก [4] สามารถสรุปสู่สมการดังนี้

$$C_p \frac{dT_h}{dt} = q_h \tag{2.1}$$

กล่าวคือ ความร้อนที่เกิดขึ้นนั้น แปรผันต่อเวลาและการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์ โดยค่าสัมประสิทธิ์ การถ่ายเทความร้อนจะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ Peltier รุ่นนั้นๆ



(ก) วงจรสมมูลของ Peltier Device และ Output ของระบบ



(ข) วงจรสมมูลของ Peltier Device และ Output ของระบบในรูปแบบของ Thermal Capacitance

ภาพที่ 2.1 วงจรสมมูลของ Peltier Device และ Output ของระบบ

จากภาพที่ 2.1 (ก) คือ วงจรสมมูลของ Peltier และ การวิเคราะห์ในกรณีที่มีวัตถุภายนอกเข้า (Object) สัมผัสที่ผิวของ Peltier ในรูปแบบของ Heat ส่วนภาพที่ 2.1 (ข) คือ การวิเคราะห์ในรูปแบบของการประจุความร้อนหรือ Thermal Capacitance โดยสมการสำหรับการควบคุมในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์มาจากวงจรสมมูลดังกล่าวซึ่งอธิบายดังต่อไปนี้

จากภาพที่ 2.1 (ก) ความร้อน (Heat) ที่จุด Hot Node ของ Peltier Device สามารถวิเคราะห์เป็นสมการได้ คือ

$$q_h = q_n + \frac{q_j}{2} - q_{pk} + q_o \quad (2.2)$$

ในทางตรงข้าม ถ้ากลับสถานะของ Peltier Device จาก Hot Node เป็น Cool Node สามารถวิเคราะห์สมการได้ คือ

$$q_c = -q_{pc} + \frac{q_j}{2} + q_{pk} - q_o \quad (2.3)$$

Peltier Device เป็นอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีสัมประสิทธิ์ที่เรียกว่า Seebeck คือ การวัดค่าความต่างของอุณหภูมิสูงสุดเมื่อจ่ายแรงดันสูงสุด ดังนั้นสมการของ ค่าสัมประสิทธิ์ Seebeck คือ

$$\alpha = \frac{U_{\max}}{T_{h\max}} \quad (2.4)$$

อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกนั้นมีสมการพื้นฐานของการวิเคราะห์ด้านความร้อนอยู่หลายสมการ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ

$$q = IU = I^2 R = \frac{T_{\text{different}}}{R} \quad (2.5)$$

จากสมการที่ 2.4 และ 2.5 แทนค่าลงในสมการที่ 2.2 สมการที่จุด Hot Node คือ

$$q_h = \alpha T_h I + \frac{I^2 R_e}{2} - \frac{T_h - T_c}{R_p} + q_o \quad (2.6)$$

และที่จุด Cool Node คือ

$$q_c = -\alpha T_c I + \frac{I^2 R_e}{2} + \frac{T_c - T_h}{R_p} - q_o \quad (2.7)$$

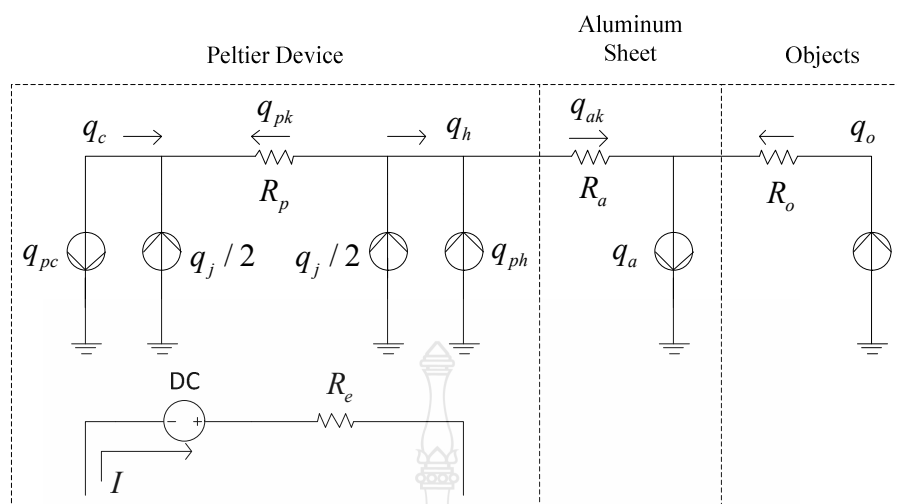
นอกจากนี้ Peltier Device นั้นเมื่อจ่ายกระแสเพื่อควบคุม T_h สามารถวิเคราะห์สมการ Heat ในรูปแบบความจุความร้อน (Thermal Capacitance) ในเทอมของอนุพันธ์ อุณหภูมิ/เวลา สมการดังกล่าวสามารถอธิบายได้ในสมการที่ 2.1 และสามารถวิเคราะห์วงจรสมมูลได้ดังภาพที่ 2.1 (ข) ซึ่งสมการดังกล่าวประยุกต์มาจากงานวิจัยอื่นซึ่งอธิบายอยู่ใน [3] และ [4] จากสมการที่ 2.1 และ 2.5 สามารถวิเคราะห์ให้เป็นสมการสำหรับควบคุมอุณหภูมิได้ คือ

$$C_p \frac{dT_h}{dt} = \alpha T_h I + \frac{I^2 R_e}{2} - \frac{T_h - T_c}{R_p} + q_o \quad (2.8)$$

จากสมการที่ 2.8 $C_p \frac{dT_h}{dt}$ คือ เอ็นทัลปีของระบบควบคุม (เอ็นทัลปีที่เกิดที่วิเคราะห์และวัดคือ T_h และ $\alpha T_h I$ คือ ค่าจริงจากการควบคุมหรือในส่วนของ Peltier ในส่วนของ $\frac{I^2 R_e}{2} - \frac{T_h - T_c}{R_p}$ คือ ค่าการรบกวนจากอุปกรณ์ และ q_o คือ ปัจจัยภายนอกที่เข้ามารบกวนระบบ ซึ่งปัจจัยการรบกวนดังกล่าวคือ Heat Disturbance ซึ่งสามารถออกแบบระบบควบคุมให้ประมาณค่าและชดเชยเข้าระบบด้วยโครงสร้างของ HDOB วิธีการดังกล่าวคือหนึ่งในวิธีที่นำเสนอซึ่งอธิบายอยู่ในหัวข้อ 2.2

2.2 วงจรสมมูลและสมการของระบบควบคุมอุณหภูมิด้วย Peltier บนผิววัสดุ

เพื่อทดลองเทคนิคที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ จึงได้วิเคราะห์การควบคุมอุณหภูมิบนผิววัสดุ เพื่อทดลองเทคนิค HDOB บนผิววัสดุ สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกทดลองแผ่นอลูมิเนียม เนื่องจากเป็นวัสดุที่นิยมนำมาระบายความร้อนให้กับอุปกรณ์ Semiconductor ซึ่งวงจรสมมูลนั้นสามารถสรุปได้ในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.2 วงจรสมมูลของ Peltier Device และเอาต์พุตของระบบที่ติดตั้งแผ่นอะลูมิเนียม

จากภาพที่ 2.2 เมื่อมีการวงจรสมมูลมีส่วนของอะลูมิเนียมเพิ่มเข้ามา Hot Node ร้อนสามารถวิเคราะห์สมการได้คือ

$$q_h = q_{ph} + \frac{q_j}{2} - q_{pk} - q_{ak} \quad (2.9)$$

ณ จุดแผ่นอะลูมิเนียมสามารถวิเคราะห์สมการที่เพิ่มเข้ามาจากข้างต้น คือ

$$q_a = q_{ak} - q_o \quad (2.10)$$

จากสมการที่ 2.3 และ 2.4 เมื่อวิเคราะห์ที่จุด Hot Node แทนลงสมการที่ 2.9 คือ

$$q_h = \alpha T_o I + \frac{I^2 R_e}{2} - \frac{T_h - T_c}{R_p} - \frac{T_a - T_h}{R_a} \quad (2.11)$$

เพื่อสรุปสมการควบคุมอุณหภูมิด้วยการวิเคราะห์ความร้อนด้วยการประยุกต์สมการที่ 2.1 การถ่ายเทความร้อน หรืออุณหภูมิต่อเวลา และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้วย จะได้สมการอุปกรณ์ Peltier คือ

$$C_p \frac{dT_h}{dt} = \alpha T_h I + \frac{I^2 R_e}{2} - \frac{T_h - T_c}{R_p} - \frac{T_a - T_h}{R_a} \quad (2.12)$$

และที่แผ่นอะลูมิเนียม คือ

$$C_a \frac{dT_a}{dt} = \frac{T_a - T_h}{R_a} + q_o \quad (2.13)$$

จากสมการที่ 2.12 กล่าวได้ว่า $C_p \frac{dT_h}{dt}$ คือ Output ของระบบจากอุปกรณ์ Peltier และ $\alpha T_h I$ คือ ค่าจริงจากการควบคุมของระบบ (ควบคุมกระแส และ Output คือ อุณหภูมิ แปรผันตรงกับค่าสัมประสิทธิ์) ในส่วนของ $\frac{I^2 R_e}{2} - \frac{T_h - T_c}{R_p}$ คือ ปัจจัยการรบกวนจากอุปกรณ์ Peltier ซึ่งจากวิธีที่นำเสนอ HDOB สามารถประมาณค่าดังกล่าวและแปลงกลับเป็นกระแสเพื่อชดเชยระบบ ในส่วนสุดท้าย $\frac{T_a - T_h}{R_a}$ คือ Heat ที่แผ่นอะลูมิเนียมนั่นเอง จากสมการดังกล่าว R_a คือ Thermal Resistant จุดต่อระหว่างผิว Peltier และ อะลูมิเนียม ซึ่งยากต่อการทราบค่าที่แน่นอนได้ ตัวแปรดังกล่าวจะแปรผันความแน่นของการติดตั้งแผ่นอะลูมิเนียม ด้วยจากเหตุผลดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการประมาณค่าในรูปแบบของ Heat หรือ HDOB ในส่วนของอะลูมิเนียมเพื่อชดเชยระบบนั่นเอง สรุปคือ ในส่วนของ HDOB นั้นจะมีการประมาณค่าใน 3 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนแรกจากปัจจัยต่างๆจากอุปกรณ์ Peltier ส่วนที่สอง คือ จากแผ่นอะลูมิเนียมเมื่อสรุปว่าแผ่นอะลูมิเนียมคือปัจจัยการรบกวนอย่างหนึ่ง และในส่วนสุดท้ายคือ จากการรบกวนของ Output จากระบบ จากสมการที่ 2.12 เมื่อประมาณค่า $\frac{T_a - T_h}{R_a}$ และ q_o ด้วย HDOB และแปลงกลับเป็นกระแสชดเชยระบบ ในส่วน T_a คือ การวัดจาก Sensor ดังนั้น Thermal Capacitance ของระบบ คือ

$$C_{pa} = C_a + C_p \quad (2.14)$$

เมื่อวิเคราะห์ที่แผ่นอะลูมิเนียม คือ การรบกวนด้านความร้อนแบบหนึ่ง สรุปได้ดังสมการที่ 2.15 คือ การรวมสมการควบคุมที่ 2.12 และ 2.13 นั่นเอง

$$C_{pa} \frac{d(T_h + T_a)}{dt} = \alpha T_h I + \frac{I^2 R_e}{2} - \frac{T_h - T_c}{R_p} + q_o \quad (2.15)$$

เมื่อ

$$T_o = T_h + T_a \quad (2.16)$$

จากสมการข้างต้น สามารถสรุปสมการได้สำหรับการควบคุมอุณหภูมิด้วยอุปกรณ์ Peltier บนแผ่นวัสดุ (สำหรับงานวิจัยนี้ใช้แผ่นอูมิเนียม) คือ

$$C_{pa} \frac{dT_o}{dt} = \alpha T_h I + \frac{I^2 R_e}{2} - \frac{T_h - T_c}{R_p} + q_o \quad (2.17)$$

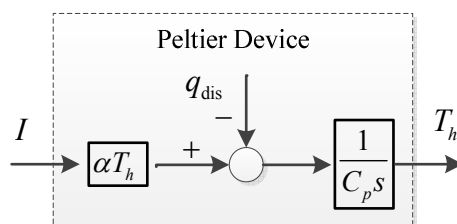
จากสมการที่ 2.17 สามารถสรุปได้ว่า เมื่อติดตั้งแผ่นอะลูมิเนียมที่ Peltier นั้น สมการควบคุมอุณหภูมิจะมีลักษณะเช่นเดียวกับการควบคุม Peltier อย่างเดียวเมื่อวิเคราะห์ให้ จุดเชื่อมต่อเป็น q_{dis} (Heat Disturbance) แบบหนึ่ง แต่จะมีตัวแปรที่เป็นปัจจัยเพิ่มเข้ามา คือ Thermal Capacitance ของแผ่นอะลูมิเนียมนั่นเอง จากสมการข้างต้น สามารถประยุกต์สู่บล็อกไดอะแกรม ซึ่งอธิบายซึ่งได้อธิบายอยู่ในหัวข้อ 2.2

2.3 ระบบชดเชยแบบ HDOB

จากสมการที่ 2.8 คือ สมการของระบบควบคุมอุณหภูมิที่สามารถสรุปเป็นบล็อกไดอะแกรมแสดงดังภาพที่ 2.3 อินพุตของระบบคือการกระแส (I) ที่จ่ายให้ Peltier และเอาต์พุตคืออุณหภูมิ (T_h) วัดค่าได้จาก Sensor ในส่วนของ q_{dis} (Heat Disturbance) คือ สัญญาณรบกวนด้านความร้อน ประกอบไปด้วย 2 ส่วน ด้วยกัน คือ จาก Peltier สรุปได้จาก $\frac{I^2 R_e}{2}$ และ $\frac{T_h - T_c}{R_p}$ ซึ่งอธิบายจากหัวข้อข้างต้น และในส่วนที่สอง คือ จาก Output (q_o) ของระบบ เช่น จาก Peltier นี้มีมีมนุษย์หรือโลหะต่างๆ ซึ่งหลักการดังกล่าวได้ประยุกต์มาจากพื้นฐานซึ่งอธิบายอยู่ใน [4] ดังนั้นความร้อนที่รบกวนเข้ามาในระบบสามารถวิเคราะห์ได้คือ

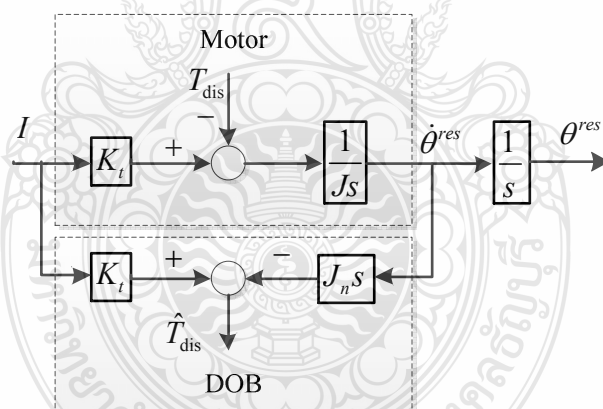
$$q_{dis} = \frac{I^2 R_e}{2} - \frac{T_h - T_c}{R_p} + q_o \quad (2.18)$$

สัญญาณรบกวนเหล่านี้คือปัญหาของระบบควบคุมอุณหภูมิ อย่างไรก็ตาม สัญญาณดังกล่าวสามารถชดเชยได้จากโครงสร้างของ HDOB ซึ่งได้อธิบายในงานวิจัยนี้ ดังนั้นบล็อกไดอะแกรมจากสมการที่ 2.8 สามารถสรุปได้คือ

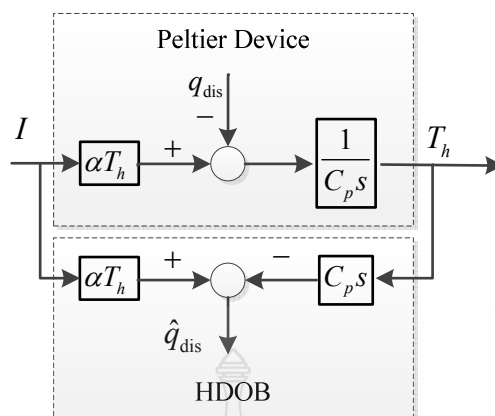


ภาพที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมควบคุม Peltier

สัญญาณรบกวนด้านความร้อนนั้น (q_{dis}) สามารถประมาณค่าได้จากโครงสร้างของ HDOB และเปลี่ยนเป็นกระแสเพื่อชดเชยเข้าสู่ระบบ โครงสร้างของ HDOB ได้ประยุกต์มาจาก ระบบ DOB ได้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในงานควบคุมการเคลื่อนไหว (Motion Control) เช่น [5] [6] และ [7] ซึ่งโครงสร้างสำหรับแสดงอยู่ในภาพที่ 2.4 ระบบ HDOB ได้ประยุกต์มาจาก DOB ซึ่งแสดงในภาพที่ 2.5 ระบบชดเชยแบบ HDOB นั้น คือ การเปรียบเทียบเอาต์พุตของระบบกับค่าจิตภาพของอินพุต ค่าความร้อนในเชิงจิตภาพของอินพุตนั้นประยุกต์มาจากสมการที่ 2.3 และ 2.4 และ ค่าจิตภาพทางด้านเอาต์พุตคือค่าที่ได้จากสมการที่ 2.1



ภาพที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างของ Motion DOB



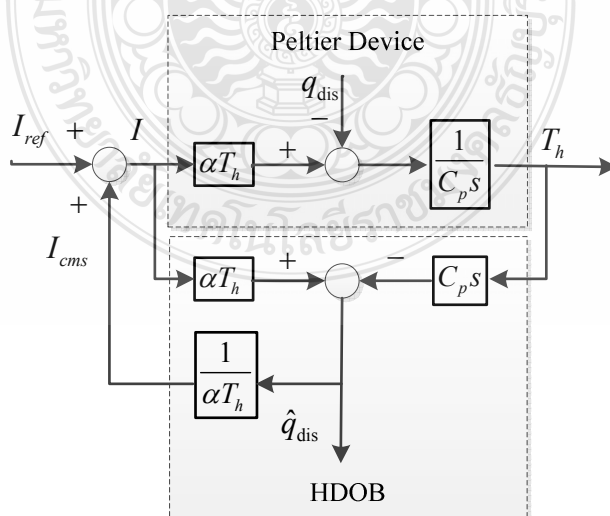
ภาพที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างของ HDOB

จากภาพข้างต้น ระบบดังกล่าวก็จะสามารถประมาณค่า \hat{q}_{dis} จากโครงสร้างของ HDOB หรือจากสมการที่ 2.19 นั้นเอง ดังนั้น เพื่อเสถียรภาพของระบบ แปลงค่า \hat{q}_{dis} ดังกล่าวสูงกระแสด้วยสมการที่ 2.20 ซึ่งสมการดังกล่าวประยุกต์มาจากสมการที่ 2.4 คือ

$$\hat{q}_{dis} = \alpha T_h - C_p s \quad (2.19)$$

$$I_{cms} = \frac{\hat{q}_{dis}}{\alpha T_h} \quad (2.20)$$

ดังนั้นบล็อกไดอะแกรมของระบบชดเชยแบบ HDOB แสดงดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 บล็อกไดอะแกรมระบบชดเชยแบบ HDOB

โครงสร้างของ HDOB แสดงอยู่ในภาพที่ 2.6 จากบล็อกไดอะแกรมข้างต้นคือตัวควบคุมแบบ Open Loop นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวควบคุมแบบ Close Loop โดยการประยุกต์ตัวควบคุมแบบ P Controller โดยใช้ชื่อเรียกใหม่ คือ CP Controller เพื่อเปรียบเทียบกับ PID Controller ซึ่งอธิบายในหัวข้อ 2.4

2.4 ระบบชดเชยแบบ HDOB บนผิววัสดุ

การควบคุมอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกหรือ Peltier นั้น เพื่อทดสอบวิธีที่นำเสนอด้วยการทดสอบการควบคุมที่ผิวอุปกรณ์ ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้อะลูมิเนียม เป็นวัสดุที่นิยมมาใช้ระบายความร้อนของอุปกรณ์ Semiconductor เพื่อเป็นแนวทางหนึ่งสำหรับควบคุมความร้อนของอุปกรณ์ดังกล่าว

จากระบบชดเชยที่นำเสนอข้างต้น เมื่อติดตั้งแผ่นระบบควบคุมอุณหภูมิจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนของ Peltier และ อะลูมิเนียม ซึ่งสมการควบคุมอ้างอิงได้จากสมการที่ 2.12 และ 2.13 อินพุตของระบบคือการกระแส (I) ที่จ่ายให้ Peltier และเอาต์พุตคืออุณหภูมิ (T_o) ดังนั้นสามารถวิเคราะห์ q_{dis} ได้ดังนี้

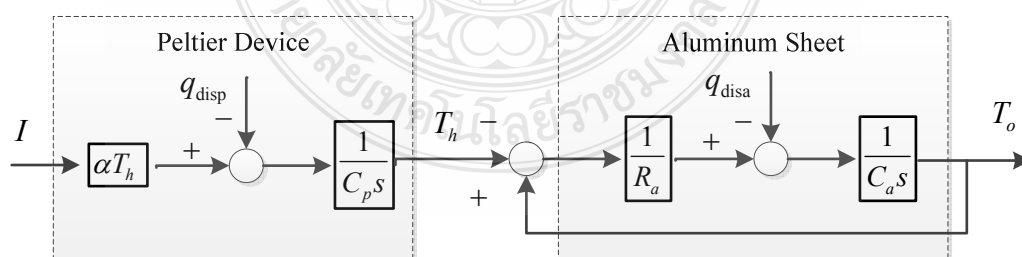
เมื่อวิเคราะห์ที่ Peltier

$$q_{disp} = \frac{I^2 R_e}{2} - \frac{T_h - T_c}{R_p} - \frac{T_a - T_h}{R_a} \quad (2.21)$$

และเมื่อวิเคราะห์ที่แผ่นอะลูมิเนียม

$$q_{disa} = \frac{T_h - T_c}{R_p} + q_o \quad (2.22)$$

ดังนั้น จากสมการดังกล่าวสามารถประยุกต์มาเป็นบล็อกไดอะแกรมดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมควบคุม Peltier ด้วยการติดตั้งแผ่นอะลูมิเนียม

จากภาพเมื่อประยุกต์ใช้ระบบ HDOB บนแผ่นอะลูมิเนียมและซดเซชเข้าสู่ระบบจะสรุปบล็อกไดอะแกรมสำหรับควบคุมดังภาพที่ 2.8 (ก)

จากภาพข้างต้น จะเห็นได้ว่า ระบบนั้นมีความซับซ้อนและยากต่อการออกแบบ กล่าวคือนอกจะต้องทราบค่าอุณหภูมิ T_o แล้วยังต้องวัดค่า T_h เพื่อวิเคราะห์ HDOB ในส่วนของ Peltier ด้วย และอีกเหตุผลหลักของความซับซ้อน คือ ปัจจัยของจุดต่อระหว่าง Peltier และ อะลูมิเนียมที่นั้นยากที่จะประมาณค่าได้ เนื่องด้วยขึ้นอยู่กับปัจจัยในการจับยึด หรือเรียกอีกอย่างว่า Thermal Resistance Connection ด้วยเหตุผลดังกล่าว งานวิจัยนี้จะสรุปให้ ความต้านทานระหว่างจุดต่อและแผ่นอะลูมิเนียมเป็นประเภทหนึ่งของ q_{dis} ดังนั้นเมื่อรวม q_{disp} และ q_{disa} เข้าด้วยกันสามารถสรุปสมการได้ดังนี้

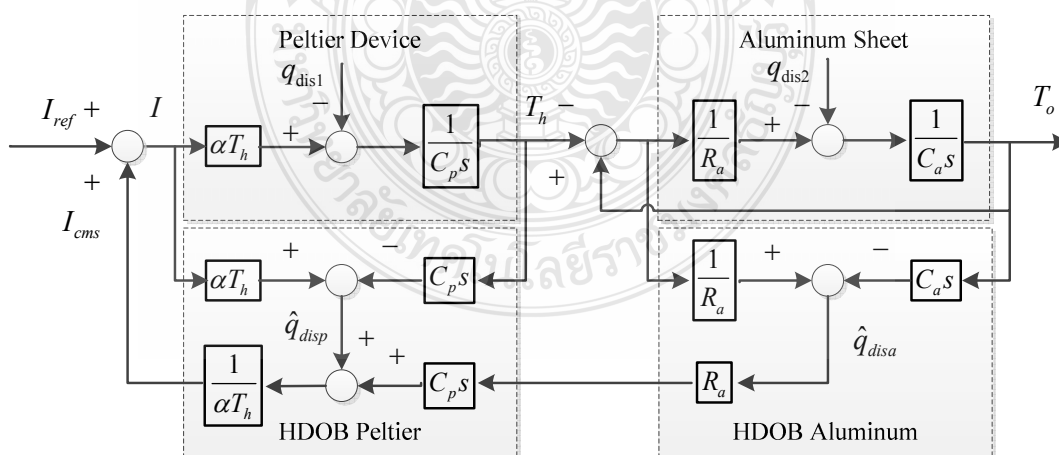
เมื่อ

$$q_{dispa} = q_{disp} + q_{disa} \quad (2.23)$$

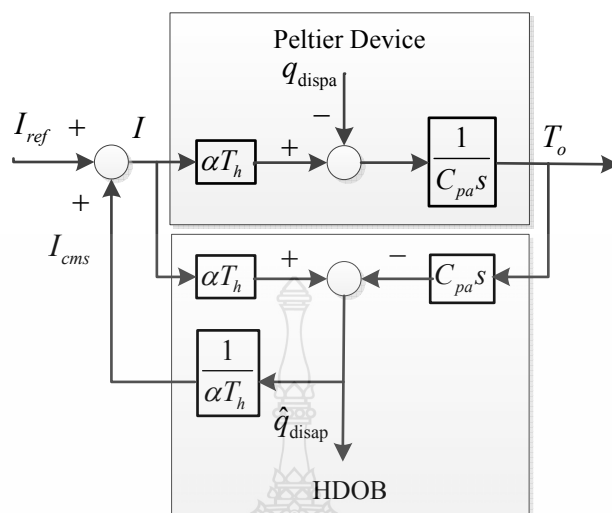
ดังนั้น

$$q_{dispa} = \frac{I^2 R_e}{2} - \frac{T_h - T_c}{R_p} + q_o \quad (2.24)$$

จากสมการที่ 2.24 เห็นได้ว่าสมการมีลักษณะเดียวกับ q_{dis} บน Peltier เท่านั้น แต่สมการการควบคุมนั้นจะต้องวิเคราะห์ค่า Thermal Capacitance เพิ่ม ดังนั้นบล็อกไดอะแกรมสำหรับควบคุม Peltier บนผิวอะลูมิเนียมแสดงดังภาพที่ 2.8 (ข)



(ก) บล็อกไดอะแกรมโดยรวม



(ข) บล็อกไดอะแกรมวิเคราะห์ขั้นใหม่

ภาพที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมควบคุม Peltier ด้วยการติดตั้งแผ่นอะลูมิเนียมด้วยระบบชดเชยแบบ HDOB

นอกจากนี้ ระบบยังได้ประยุกต์ใช้ตัวกรองความถี่ต่ำผ่านด้วยการโปรแกรมด้วย FPGA หรือ Programing Low Pass Filter (PLPF) ซึ่งอธิบายในหัวข้อ 2.5

2.5 ระบบกรองผ่านถี่ต่ำผ่านด้วยการโปรแกรม FPGA

ตัวกรองความถี่ต่ำผ่านด้วยการโปรแกรม FPGA นั้นได้มีการประยุกต์ใช้ 2 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนแรก ได้ประยุกต์ใช้จุด Sensor อุณหภูมิ เพื่อลดสัญญาณรบกวนจาก Sensor เช่น สัญญาณที่เกิดจากสายนำสัญญาณ Sensor และในส่วนสำคัญ คือ Sensor ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็น Sensor ประเภท Digital ทศนิยมขนาด 4 Bit ค่าความละเอียดแต่ละสเต็ป คือ 0.0625 C การโปรแกรม LPF นั้นในงานวิจัยนี้ได้ใช้ความละเอียดของทศนิยมเป็น 32 Bit ต่อสเต็ป ดังนั้น ทำให้การควบคุมระบบมีความละเอียดมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้ผลการควบคุมอุณหภูมิได้ผลลัพธ์ที่เสถียรภาพมากยิ่งขึ้น

ส่วนที่สอง คือ การประยุกต์ใช้ที่จุดของ HDOB เพื่อลดสัญญาณรบกวนจากระบบดังกล่าว เพื่อไม่ให้ระบบควบคุมเปลี่ยนแปลงรวดเร็วไป

สมการที่ใช้สำหรับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านด้วยการโปรแกรม FPGA คือ

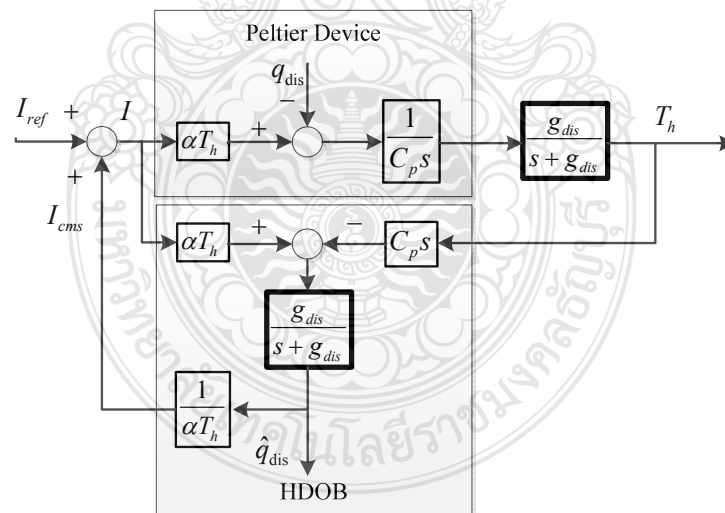
$$G_{LPF}(S) = \frac{g_{dis}}{s + g_{dis}} \quad (2.25)$$

ดังนั้น บล็อกไดอะแกรมควบคุม Peltier ด้วยระบบชดเชย HDOB ร่วมกับ LPF แสดงดังภาพที่ 2.9 (ก) และ สมการสำหรับ \hat{q}_{dis}

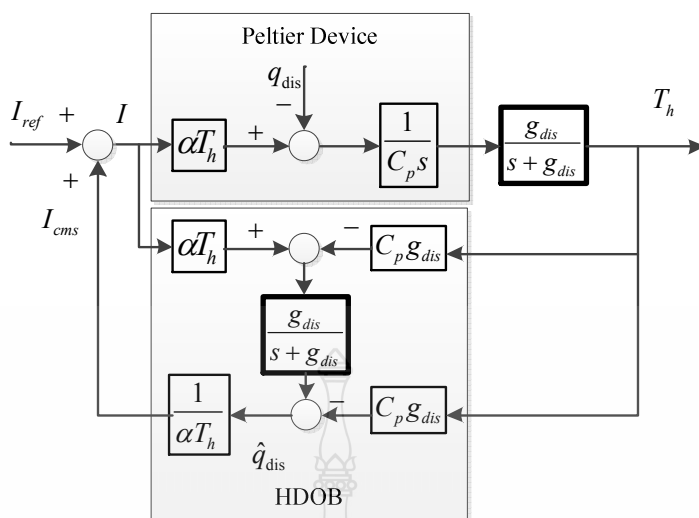
$$\hat{q}_{disLPF} = \frac{g_{dis}}{s + g_{dis}} (\alpha T_h - C_p s) \quad (2.26)$$

จากบล็อกไดอะแกรมและสมการที่ 2.24 จะเห็นระบบชดเชยจะต้องออกแบบระบบโปรแกรมด้วย Sampling Time 2 จุดด้วยกัน งานวิจัยนี้จะออกแบบสมการควบคุมใหม่ในส่วนของ HDOB และ LPF ใหม่ด้วยสมการที่ 2.27 และสรุปได้ที่บล็อกไดอะแกรมดังภาพที่ 2.9 (ข) เมื่อวิเคราะห์การควบคุม Peltier ด้วยการติดตั้งแผ่นอะลูมิเนียมสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 2.9 (ค)

$$\hat{q}_{disLPF} = \left(\frac{g_{dis}}{s + g_{dis}} (\alpha T_h + g_{dis} C_p) \right) - g_{dis} C_p \quad (2.27)$$



(ก) ระบบชดเชยแบบ HDOB ร่วมกับ LPF แบบที่ 1



(ข) ระบบชดเชยแบบ HDOB ร่วมกับ LPF แบบที่ 2

ภาพที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมควบคุม Peltier ด้วยระบบชดเชยแบบ HDOB ร่วมกับ LPF

จากวิธีที่นำเสนอ การพัฒนาเทคนิคการควบคุมอุณหภูมิหรือ Peltier ด้วยระบบ HDOB ร่วมกับ LPF ด้วยการโปรแกรมด้วย FPGA นั้น ที่กล่าวข้างต้นเป็นการควบคุมแบบ Open Loop เนื่องด้วยระบบควบคุมที่เสถียรภาพที่ประยุกต์ใช้ในปัจจุบัน มีเทคนิคการป้อนกลับ (Feedback Control) หรือระบบ Close Loop หลายเทคนิคด้วยกันซึ่งได้กล่าวในหัวข้อ 2.6 และวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอเทคนิคการป้อนกลับแบบประยุกต์ให้เหมาะกับ Peltier อีกด้วย

2.6 ระบบป้อนกลับแบบ PID Controller ร่วมกับระบบชดเชยแบบ HDOB

PID Controller เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณเป็นค่าความผิดพลาดที่หาจากความแตกต่างของตัวแปรในกระบวนการและค่าที่ต้องการ ตัวควบคุมจะพยายามลดค่าผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการ ค่าตัวแปรของ PID ที่ใช้จะปรับเปลี่ยนตามธรรมชาติของระบบ

วิธีคำนวณของ PID ขึ้นอยู่กับสามตัวแปรคือค่าสัดส่วน ปริพันธ์ และ อนุพันธ์ ค่าสัดส่วนกำหนดจากผลของความผิดพลาดในปัจจุบัน ค่าปริพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของผลรวมความผิดพลาดที่ซึ่งผ่านพ้นไป และค่าอนุพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด น้ำหนักที่เกิดจากการรวมกันของทั้งสามนี้จะใช้ในการปรับกระบวนการ

โดยการปรับค่าคงที่ใน PID ตัวควบคุมสามารถปรับรูปแบบการควบคุมให้เหมาะสมกับที่กระบวนการต้องการได้ การตอบสนองของตัวควบคุมจะอยู่ในรูปของการไหวตัวของตัวควบคุม จนถึงค่าความผิดพลาด ค่าโอเวอร์ชูต (Overshoots) และ ค่าแกว่งของระบบ (Oscillation) วิธี PID ไม่รับประกันได้ว่าจะเป็นระบบควบคุมที่เหมาะสมที่สุดหรือสามารถทำให้กระบวนการมีความเสถียรแน่นอน

การประยุกต์ใช้งานบางครั้งอาจใช้เพียงหนึ่งถึงสองรูปแบบ ขึ้นอยู่กับกระบวนการเป็นสำคัญ PID บางครั้งจะถูกเรียกว่าการควบคุมแบบ PI, PD, P ขึ้นอยู่กับว่าใช้รูปแบบใดบ้าง

การควบคุมแบบ PID ได้ชื่อตามการรวมกันของเทอมของตัวแปรทั้งสามตามสมการที่ 2.28

$$G_{out} = P_{out} + I_{out} + D_{out} \quad (2.28)$$

เมื่อ $P_{out}, I_{out}, D_{out}$ เป็นผลของสัญญาณขาออกจากระบบควบคุม PID จากแต่ละเทอมซึ่งนิยามตามรายละเอียดด้านล่าง

2.6.1 การควบคุมแบบสัดส่วน (Proportion Controller หรือ P Controller)

P Controller จะเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนของค่าความผิดพลาด การตอบสนองของสัดส่วนสามารถทำได้โดยการคูณค่าความผิดพลาดด้วยค่าคงที่ K_p หรือที่เรียกว่าอัตราขยายสัดส่วน สมการของการควบคุมแบบ P Controller คือ

$$P_{out} = K_p e(t) \quad (2.29)$$

เมื่อ P_{out} คือ สัญญาณขาออกของเทอมสัดส่วน

K_p คือ อัตราขยายสัดส่วน ตัวแปรปรับค่าได้

e คือ ค่าความผิดพลาด คือ ค่าอ้างอิง-ค่าปัจจุบัน หรือ SV-PV

t คือ เทอมของคาบเวลา

ผลอัตราขยายสัดส่วนที่สูงค่าความผิดพลาดก็จะเปลี่ยนแปลงมากเช่นกัน แต่ถ้าสูงเกินไประบบจะไม่เสถียรได้ ในทางตรงกันข้าม ผลอัตราขยายสัดส่วนที่ต่ำ ระบบควบคุมจะมีผลตอบสนองต่อกระบวนการน้อยตามไปด้วย

2.6.2 การควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral Controller หรือ I Controller)

I Controller เป็นสัดส่วนของขนาดความผิดพลาดและระยะเวลาของความผิดพลาด ผลรวมของความผิดพลาดในทุกช่วงเวลา (ปริพันธ์ของความผิดพลาด) จะให้ออฟเซตสะสมที่ควรจะเป็นในก่อนหน้า ความผิดพลาดสะสมจะถูกคูณ โดยอัตราขยายปริพันธ์ ขนาดของผลของเทอมปริพันธ์จะกำหนดโดยอัตราขยายปริพันธ์ K_i สมการซึ่งการควบคุมของ I Controller คือ

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (2.30)$$

เมื่อ I_{out} คือ สัญญาณขาออกของเทอมปริพันธ์
 K_i คือ อัตราขยายปริพันธ์ ตัวแปรปรับค่าได้

เทอมปริพันธ์ (เมื่อรวมกับเทอมสัดส่วน) จะเร่งกระบวนการให้เข้าสู่จุดที่ต้องการและขจัดความผิดพลาดที่เหลืออยู่ที่เกิดจากการใช้เพียงเทอมสัดส่วน แต่อย่างไรก็ตาม เทอมปริพันธ์เป็นการตอบสนองต่อความผิดพลาดสะสมในอดีต จึงสามารถทำให้เกิดโอเวอร์ชูตได้ (ข้ามจุดที่ต้องการและเกิดการหันเหไปทางทิศทางอื่น)

2.6.3 การควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Controller หรือ D Controller)

อัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดจากกระบวนการนั้นคำนวณหาจากความชันของความผิดพลาดทุกเวลา (นั่นคือ เป็นอนุพันธ์อันดับหนึ่งสัมพันธ์กับเวลา) และคูณด้วยอัตราขยายอนุพันธ์ K_d ขนาดของผลของเทอมอนุพันธ์ (บางครั้งเรียก อัตรา) ขึ้นกับ อัตราขยายอนุพันธ์ K_d ซึ่งสมการของการควบคุมแบบ D Controller คือ

$$D_{out} = K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2.31)$$

เทอมอนุพันธ์จะชะลออัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาออกของระบบควบคุมและด้วยผลนี้จะช่วยให้ระบบควบคุมเข้าสู่จุดที่ต้องการ ดังนั้นเทอมอนุพันธ์จะใช้ในการลดขนาดของโอเวอร์ชูตที่เกิดจากเทอมปริพันธ์และทำให้เสถียรภาพของการรวมกันของระบบควบคุมดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามอนุพันธ์ของสัญญาณรบกวนที่ถูกขยายในระบบควบคุมจะไวมากต่อการรบกวนใน

เทอมของความผิดพลาดและสามารถทำให้กระบวนการไม่เสถียรได้ถ้าสัญญาณรบกวนและอัตราขยายอนุพันธ์มีขนาดใหญ่เพียงพอ

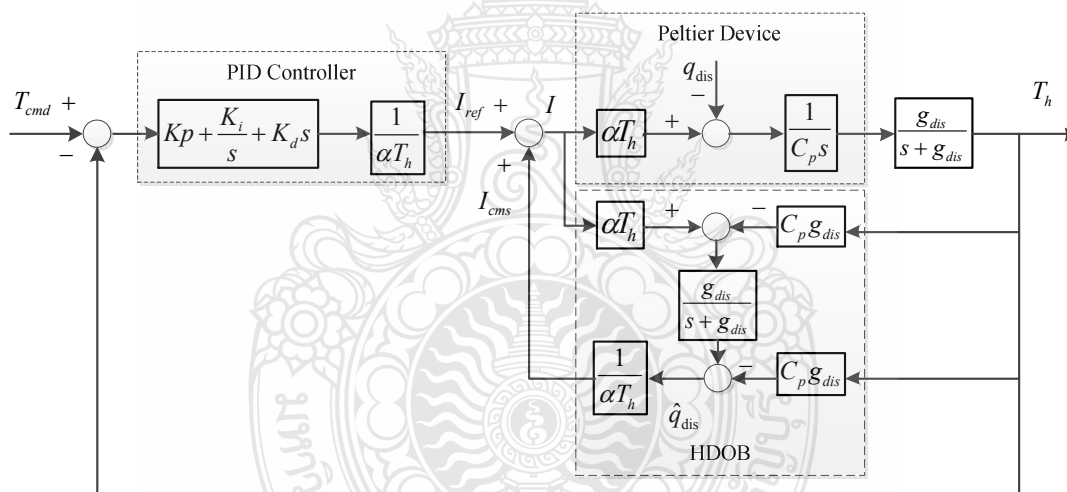
เทอมสัดส่วน ปริพันธ์ และอนุพันธ์ จะนำมารวมกันเป็นสัญญาณขาออกของการควบคุมแบบ PID กำหนดให้ $u(t)$ เป็นสัญญาณขาออก สมการสุดท้ายของวิธี PID คือ

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2.32)$$

ในเทอมของ S Domain คือ

$$G_{PID}(s) = Kp + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (2.33)$$

เมื่อระบบป้อนกลับแบบ PID Controller ร่วมกับ HDOB และ LPF ดังแสดงดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมเทคนิคการป้อนกลับแบบ PID ร่วมกับ HDOB

จากบล็อกไดอะแกรมข้างต้นสามารถสรุปทรานเฟอร์ฟังก์ชันของระบบ คือ

$$\frac{T_h}{T_{cmd}} = \frac{A}{B} \quad (2.34)$$

$$A = \alpha K_d s^4 + (\alpha K_p + 2\alpha g_{dis} K_d) s^3 + (2\alpha g_{dis} K_p + \alpha K_i + \alpha g_{dis}^2 K_d) s^2 + (\alpha g_{dis}^2 K_p + 2\alpha g_{dis} K_i) s + \alpha g_{dis}^2 K_i \quad (2.35)$$

$$B = \alpha_n C_p s^4 + (2\alpha_n C_p g_{dis} - \alpha_n C_p g_{dis} + \alpha g_{dis} K_d) s^3 + (\alpha_n C_p g_{dis}^2 - \alpha_n C_p g_{dis}^2 - \alpha C_{pn} g_{dis}^2 + \alpha g_{dis} K_p + \alpha g_{dis}^2 K_d) s^2 + (\alpha g_{dis} K_i + \alpha g_{dis}^2 K_p) s + \alpha g_{dis}^2 K_i \quad (2.36)$$

อย่างไรก็ตาม ผลตอบสนองของ PID Controller ได้ผลลัพธ์ที่ช้ากว่าและการออกแบบที่ยากกว่า P Controller โดยคุณสมบัติของ P Controller นั้นสามารถรักษาระดับอ้างอิงได้เร็วกว่า การออกแบบที่ยากกว่านั้น เนื่องจาก PID Controller นั้นต้องเลือกค่า Gain Kp Ki และ Kd ที่เหมาะสม การเลือกค่า Gain อาจมาจากการทดสอบหรือจากทฤษฎีต่างๆ ในขณะที่ P Controller เลือกค่า Gain เพียงค่าเดียวตามความต้องการของการตอบสนอง เมื่อมีปัจจัยภายนอกเข้ามารบกวนระบบ แต่การใช้ตัวควบคุมแบบ P Controller นั้นจะได้โอเวอร์ชูตที่สูงตามมาด้วย จากเหตุผลดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการพัฒนาการควบคุมอุณหภูมิโดยการใช้ CP Controller วิธีนี้สามารถลดโอเวอร์ชูตได้มากกว่า PID Controller และยังรักษาคูสมบัตินี้ของ P Controller ไว้ โดยใช้คุณสมบัติของ Peltier ขับกระแสโดย H-Bridge Current Driver วิธีการดังกล่าวได้อธิบายอยู่ในหัวข้อ 2.7

2.7 ระบบป้อนกลับแบบ CP Controller ร่วมกับระบบชดเชยแบบ HDOB

จุดสำคัญที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ คือ CP Controller ร่วมกับ HDOB โดยใช้หน่วยประมวลความเร็วสูงแบบ FPGA และวงจรควบคุมที่เป็น Digital เพื่อความสะดวกในการเขียนโปรแกรมด้วย FPGA ในส่วนที่นำเสนอหัวข้อนี้ คือ CP Controller หรือ การปรับแก้ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (Customization Proportion Controller) โดยใช้คุณสมบัติเด่นของ P Controller คือ มีผลการตอบสนองที่เร็ว และปรับปรุงเพื่อลดจุดด้อย คือ ลด Overshoot โดยการใช้ตัวขับกระแสแบบ H-Bridge จ่ายกระแสและกลับทิศของกระแสที่จ่ายให้กับ Peltier โดยการใช้คุณสมบัติของ Peltier คือ ด้านการร้อนหรือเย็นด้วยการเปลี่ยนทิศทางของกระแส (ลักษณะเช่นเดียวกับ DC Motor) โดยการพิจารณาจากคำสั่งอ้างอิง (Referent Command)

t_1 คือ จากจุดเริ่มต้นจนถึงตำแหน่งกึ่งกลางของตำแหน่งอ้างอิง จะควบคุมให้ Peltier อยู่ในสถานะร้อน ณ จุดนี้สามารถวิเคราะห์ทรานเฟอร์ฟังก์ชันจากบล็อกไดอะแกรมได้ คือ

$$\frac{T_h}{T_{cmd}} = \frac{\alpha K_{pt} S^2 + 2\alpha g_{dis} K_{pt} S + \alpha g_{dis}^2 K_{pt}}{C} \quad (2.37)$$

$$C = \alpha_n C_p S^3 + (2\alpha_n C_p g_{dis} - \alpha_n C_p g_{dis}) S^2 + (\alpha_n C_p g_{dis}^2 - \alpha_n C_p g_{dis}^2 - \alpha g_{dis}^2 C_{pn} + \alpha g_{dis} K_{pt}) S + \alpha g_{dis}^2 K_{pt} \quad (2.38)$$

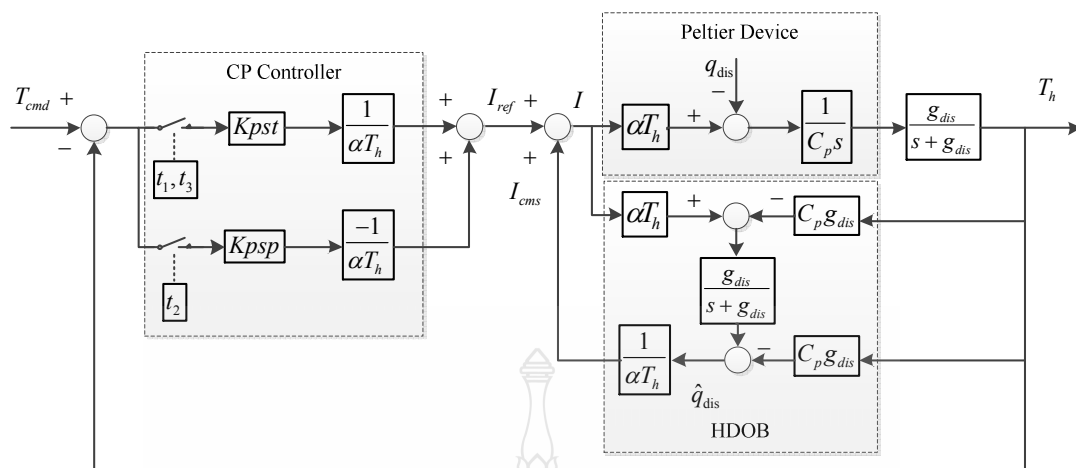
t_2 หลังอุณหภูมิผ่านตำแหน่งกึ่งกลางของตำแหน่งอ้างอิงถึงจุดโอเวอร์ชูตควบคุมจะเปลี่ยนทิศทางของกระแสจากด้านร้อนมาเป็นด้านเย็น จากวิธีการดังกล่าวมีความเป็นไปได้ที่จะลดโอเวอร์ชูตของระบบ เนื่องจากอุปกรณ์เทอโมอิเล็กทริกหรือ Peltier นั้นยังคงมีผิวหน้าที่ร้อนอยู่เมื่อหยุดจ่ายกระแสไปแล้วและต้องใช้เวลาที่ยาวนานกว่าที่จะกลับเข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิง เมื่อเทียบกับการเปลี่ยนผิวหน้าของ Peltier ให้เย็นแทนจะมีผลการตอบสนองตำแหน่งอ้างอิงที่ดีกว่า ในส่วนของการควบคุม Peltier ด้านเย็นนั้นสามารถวิเคราะห์มาเป็นทรานเฟอร์ฟังก์ชันได้ คือ

$$\frac{T_h}{T_{cmd}} = \frac{\alpha K_{pp} S^2 + 2\alpha g_{dis} K_{pp} S + \alpha g_{dis}^2 K_{pp}}{D} \quad (2.39)$$

$$D = \alpha_n C_p S^3 + (2\alpha_n C_p g_{dis} - \alpha_n C_p g_{dis}) S^2 + (\alpha_n C_p g_{dis}^2 - \alpha_n C_p g_{dis}^2 - \alpha g_{dis}^2 C_{pn} + \alpha g_{dis} K_{pp}) S + \alpha g_{dis}^2 K_{pp} \quad (2.40)$$

เมื่อ t_3 คือ เวลาคงตัวของระบบ

สำหรับวิธีนี้ สามารถที่จะลดโอเวอร์ชูตของระบบได้ เนื่องจาก Peltier ยังคงมีผิวหน้าที่ร้อนอยู่หลังจากผ่านตำแหน่งอ้างอิงไปแล้วแม้จะหยุดจ่ายกระแสให้กับ Peltier ก็ตาม ใช้เวลาที่ค่อนข้างนานที่จะกลับเข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิง ด้วยเหตุผลดังกล่าว วิธีการที่นำเสนอคือการเปลี่ยนการเปลี่ยนผิวหน้าของ Peltier ให้เย็นสามารถที่จะควบคุมให้เอาต์พุตอุณหภูมิกลับสู่ตำแหน่งอ้างอิงได้ดีกว่าการใช้ P Controller เพียงอย่างเดียว หรือแม้กระทั่งการใช้แบบ PID Controller จากการอธิบายข้างต้นสามารถตรวจสอบความถูกต้องได้จากผลการทดลอง

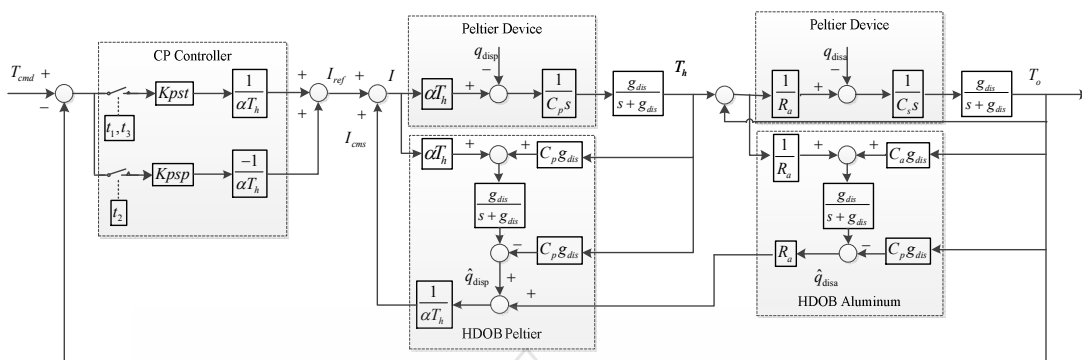


ภาพที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรม CP Controller ร่วมกับ HDOB

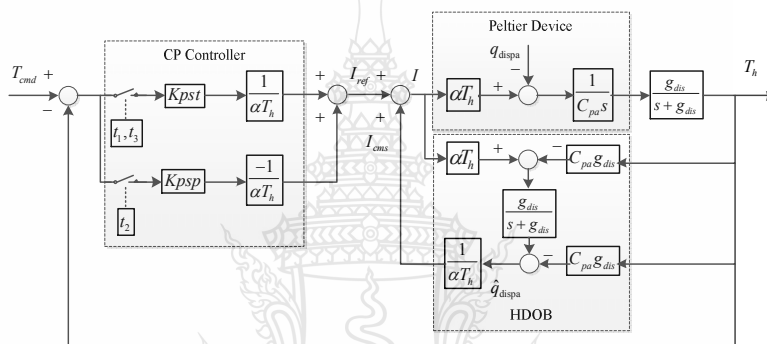
2.8 ระบบป้อนกลับแบบ CP Controller ร่วมกับระบบชดเชยแบบ HDOB บนผิววัสดุ

เพื่อทดสอบวิธีที่นำเสนอ CP Controller ร่วมกับ HDOB ด้วยหน่วยประมวลผล FPGA นั้น จึงมีการทดสอบติดตั้งผิวอะลูมิเนียมเพื่อยืนยันได้ว่า เทคนิคที่นำเสนอดังกล่าวนั้นสามารถควบคุมอุปกรณ์บนผิววัสดุได้ หรือสามารถควบคุมในกรณีที่มีโหลดของระบบได้ CP Controller ร่วมกับ HDOB บนผิวอะลูมิเนียมนั้น ยืนยันความถูกต้องด้วย PID Controller เช่นกัน ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวนี้แสดงอยู่ในบทที่ 4 และมีการเปรียบเทียบการใช้ร่วมกับระบบ HDOB และไม่ใช่ระบบดังกล่าวด้วย

หลักการของ CP Controller บนผิววัสดุนั้น ใช้หลักการเดียวกับ CP Controller ที่กล่าวในหัวข้อก่อนหน้า คือ ใช้ระบบหยุด Overshoot ด้วยการกลับทิศทางกระแสของ Peltier แต่ คาบเวลา t_1 , t_2 , K_{pst} และ K_{psp} จะเปลี่ยนไปตามความเหมาะสม ซึ่งอ้างอิงได้จาก [8] เนื่องด้วยระบบมีโหลดเพิ่มเข้ามา ระบบที่มีโหลดนั้น หากใช้พื้นฐานของ P Controller ที่มีผลการตอบสนองที่เร็ว นั้น มีความเป็นไปได้ที่จะให้ผลการควบคุมที่เสถียรภาพ ดังนั้นบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมเทอร์โมอิเล็กทริก หรือ Peltier ด้วยเทคนิคการป้อนกลับแบบ CP Controller และระบบชดเชยแบบ HDOB ด้วยหน่วยประมวลผลแบบ FPGA นั้นแสดงดังภาพที่ 2.12 (ก) และเมื่อสรุปตามที่กล่าวในหัวข้อ 2.4 คือ ผิววัสดุนั้น คือ การระบาย หรือ q_{dis} แบบหนึ่ง ก็สามารถสรุปบล็อกไดอะแกรมควบคุมได้ดังภาพที่ 2.12 (ข)



(ก) CP Controller ร่วมกับ HDOB โดยรวม



(ข) CP Controller ร่วมกับ HDOB แบบวัสดุ คือ q_{dis}

ภาพที่ 2.12 บล็อกไดอะแกรมควบคุม Peltier ด้วย CP Controller ร่วมกับ HDOB บนฟิวส์

2.9 การควบคุมอุณหภูมิแบบ 2 ทิศทาง

สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ให้ความสำคัญกับระบบควบคุม 2 ทิศทาง หรือ Bilateral Controller เนื่องด้วย ในปัจจุบันนั้นการสื่อสารและระบบหุ่นยนต์นั้นมีความสำคัญกับการดำรงชีวิตของมนุษย์อย่างยิ่ง การพัฒนาการควบคุมอุณหภูมิแบบ 2 ทิศทางนั้นเป็นศาสตร์หนึ่งในการพัฒนาเทคโนโลยีการส่งผ่านการสัมผัส หรือที่เรียกว่า Haptic คือ การส่งผ่านการสัมผัสจากจุดหนึ่งสู่จุดหนึ่ง อาจจะจากมนุษย์ผู้หุ่นยนต์ในสายงานหุ่นยนต์ หรือส่งผ่านการสัมผัสระหว่างมนุษย์สำหรับการสื่อสาร (ในปัจจุบันจะเห็นได้ว่าการสื่อสารของมนุษย์ด้วยเทคโนโลยีนั้น จะทำได้เพียงเสียงและภาพเท่านั้น) สรุปได้ว่าคำกล่าวที่ว่า Haptic คือ การสัมผัสของแรง (Force) และอุณหภูมิ (Temperature หรือ Thermal) นั้นเอง ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นพัฒนาเทคนิคการควบคุมอุณหภูมิ ด้วยการใช้เทคนิคระบบชดเชยแบบ HDOB ที่กล่าวไว้ข้างต้น และที่สำคัญ คือ ประยุกต์ใช้หน่วยประมวลผลแบบ FPGA ด้วยจากเหตุผล

ของการควบคุม แบบ 2 ทิศทางดังกล่าว และในอนาคตจะมีการพัฒนาเทคนิคที่มากกว่า 2 ทิศทาง และร่วมกับระบบแรงเพื่อเป็นระบบ Haptic อย่างเต็มรูปแบบ ด้วยเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงมีการเลือกใช้ FPGA

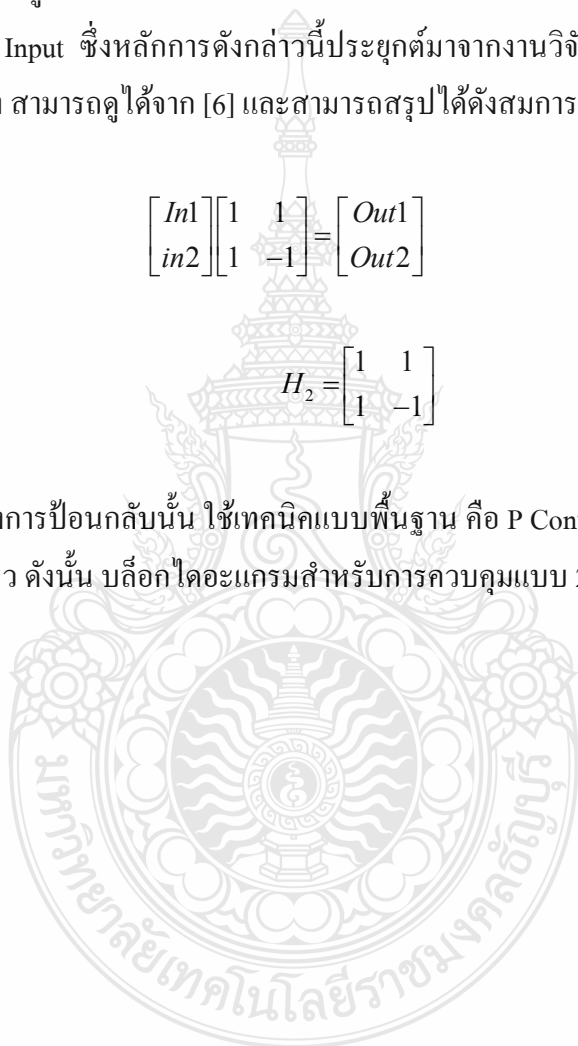
การพัฒนาเทคนิคการควบคุมอุณหภูมิแบบ 2 ทิศทาง นั้น ระบบได้ประยุกต์ใช้ HDOB เช่นเดียวกับที่กล่าวข้างต้น และใช้หลักการควบคุมอุณหภูมิแบบ Difference Mode Temperature เพื่อต้องการให้ผลลัพธ์อุณหภูมิที่เท่ากัน และใช้ Common Mode Heat ดังนั้น สมการในรูปของเมตริก ที่ควบคุม Output และ Input ซึ่งหลักการดังกล่าวนี้ประยุกต์มาจากงานวิจัยที่วิจัยเกี่ยวกับการควบคุมมอเตอร์แบบ 2 ทิศทาง สามารถดูได้จาก [6] และสามารถสรุปได้ดังสมการที่ 2.41 และ 2.42

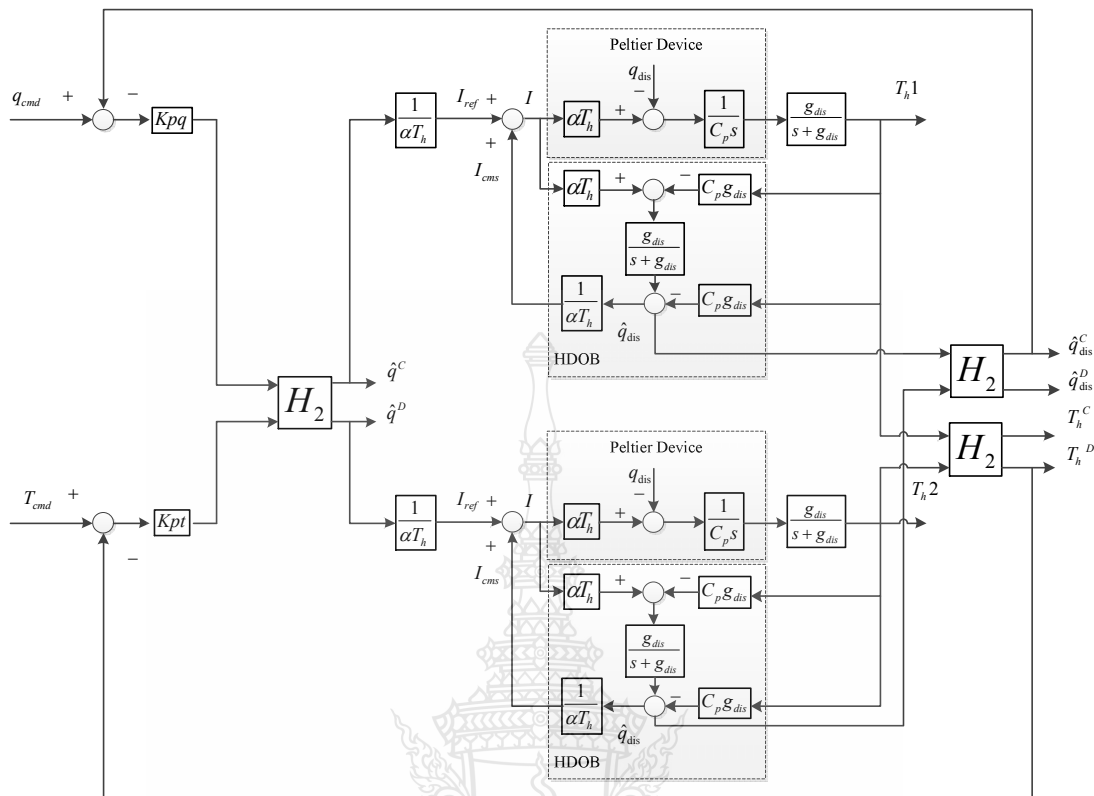
$$\begin{bmatrix} In1 \\ in2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Out1 \\ Out2 \end{bmatrix} \quad (2.41)$$

ให้

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (2.42)$$

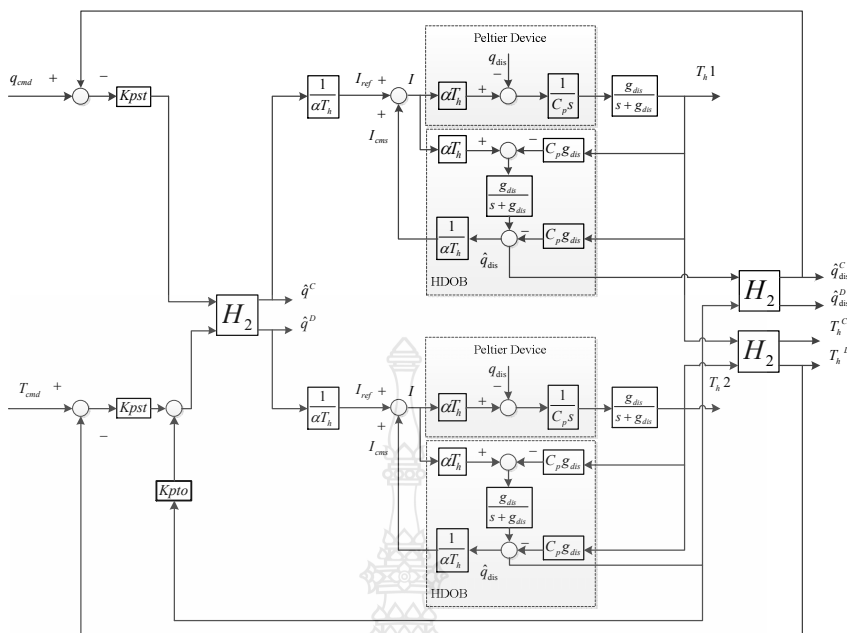
ในส่วนของการป้อนกลับนั้น ใช้เทคนิคแบบพื้นฐาน คือ P Controller เนื่องด้วยต้องการผลการตอบสนองที่รวดเร็ว ดังนั้น บล็อกไดอะแกรมสำหรับการควบคุมแบบ 2 ทิศทาง





ภาพที่ 2.13 บล็อกไดอะแกรมการควบคุม Peltier แบบ 2 ทิศทาง

จากผลการทดสอบ การเขียน โปรแกรมบน FPGA เพื่อทดลองหลักการตามบล็อกไดอะแกรมดังภาพที่ 2.13 ผลการทดสอบนั้น ระบบ T1 และ T2 นั้นมีค่า Error สูง หรือไม่สามารถแทรกให้ใกล้เคียงกันได้ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการเพิ่มอัตราการขยายเข้าที่ในส่วนของ T2 เนื่องด้วยเป็นการควบคุม Temperature Command ซึ่ง บล็อกไดอะแกรมสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 2.14 และความถูกต้องดังกล่าวสามารถยืนยันได้จากการทดลองในบทที่ 4



ภาพที่ 2.14 บล็อกไดอะแกรมการควบคุม Peltier แบบ 2 ทิศทาง แบบเพิ่มอัตราขยาย

2.10 หน่วยประมวลผลแบบ FPGA

FPGA หรือ อุปกรณ์ลอจิกแบบโปรแกรมได้ (Field Programmable Gate Array, FPGA) จัดเป็น อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดโปรแกรมได้ที่มีโครงข่ายการเชื่อมต่อภายในแบบเมตริกซ์ โครงสร้างภายในของ FPGA นั้นสามารถโปรแกรมให้มีหน้าที่การทำงานเหมือนลอจิกเกตพื้นฐาน เช่น AND, OR, XOR, NOT หรือรวมกันหลายๆ ชนิด (Combinational Logic) เพื่อให้ทำหน้าที่เพิ่มความซับซ้อนมากขึ้น เช่น Decoders หรือฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ใน FPGAs ทั่วไป นอกจากจะประกอบด้วยส่วนของวงจรถลอจิกแบบโปรแกรมได้แล้ว จะยังมีบล็อกของหน่วยความจำ ซึ่งอาจจะสร้างด้วยฟลิปฟล็อปอย่างง่าย หรือใช้พื้นที่ของสารกึ่งตัวนำสร้างเป็นหน่วยความจำจริงๆ อยู่ภายในก็ได้

ในการออกแบบวงจรถลอจิกอิเล็กทรอนิกส์ ที่มี FPGA อยู่บนแผงวงจรด้วยนั้น จะช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถลดขนาดของแผงวงจร รวมทั้งสามารถออกแบบได้รวดเร็ว ไม่ต้องทดสอบรายละเอียดภายในให้เสร็จสมบูรณ์ 100% ก็สามารถออกแบบแผงวงจรได้ เมื่อได้รับแผงวงจรและประกอบอุปกรณ์ต่างๆ เสร็จแล้ว จึงค่อยกำหนดหน้าที่การทำงานของ FPGA ได้ในภายหลัง ต่างจากการออกแบบด้วยลอจิกเกตขนาดเล็ก ที่ต้องออกแบบทางเดินของลายทองแดงให้เสร็จสมบูรณ์ก่อน และไม่สามารถแก้ไขได้ในภายหลัง นอกจากนี้ การใช้งาน FPGA สามารถโปรแกรมการทำงานได้ใน

ทุกขณะแม้แต่ขณะที่ส่งมอบงานแล้ว ก็ยังสามารถเข้าไปแก้ไขวงจรได้โดยง่ายดาย จึงเป็นที่มาของคำว่า “Field Programmable” ซึ่งก็หมายถึงโปรแกรมได้ในภาคสนามหรือที่พนักงานนั่นเอง อย่างไรก็ตามข้อกำหนด (Configuration) ของ FPGA จะหายไปหลังจากปิดไฟเลี้ยง ดังนั้น จะต้องมีหน่วยความจำภายนอก (Flash) มาคอยรักษาข้อกำหนดของ FPGA ไว้ ซึ่ง FPGA จะมีกระบวนการอ่านข้อกำหนดนั้นโดยอัตโนมัติหลังจากได้รับไฟเลี้ยง

การทำงานของ FGAs จะยังมีความเร็วที่ด้อยกว่า Application-Specific Integrated Circuit (ASIC) และเมื่อเปรียบเทียบขนาดทางกายภาพ พบว่าจะมีความหนาแน่นของวงจรที่น้อยกว่า รวมทั้งใช้กำลังงานมากกว่า ASIC อย่างไรก็ตาม FPGA มีข้อได้เปรียบตรงที่ใช้เวลาในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Time to Market) ที่น้อยกว่า สามารถแก้ไขวงจรได้หลังจากที่ใช้งานจริงในภาคสนาม และมีค่าแรงในการดำเนินการที่ต่ำกว่า (Non-Recurring Engineering) นอกจากนี้ ยังมี FPGA ชนิดที่โปรแกรมได้ครั้งเดียว (OTP) ซึ่งมีราคาต่ำกว่าโดย FPGA ชนิดนี้เมื่อโปรแกรมแล้วจะคล้ายกับ ASIC นอกจากนี้ยังมีการรวมหน่วยความจำ Config เข้าไว้ในอุปกรณ์ FPGA ซึ่งจะยังคงอยู่แม้ปิดไฟเลี้ยง เรียกว่า Complex Programmable Logic Devices

1) การโปรแกรมอุปกรณ์เอฟฟี่เอ

การดาวน์โหลดก่อนหน้านี้จำเป็นต้องทำการแปลงแบบวงจรรวมที่ได้ให้เป็นข้อมูลวงจร ซึ่งอยู่ในรูปของบิตสตรีม ก่อนแล้วจึงดาวน์โหลดไปเพื่อให้อุปกรณ์เอฟฟี่เอมีฟังก์ชันการทำงานตามโมเดลที่ผู้ออกแบบต้องการ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะใช้วิธีที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งโดยอุปกรณ์เอฟฟี่เอของแต่ละบริษัทผู้ผลิตที่ใช้คือ ในกรณีที่เป็นอุปกรณ์เอฟฟี่เอชนิดที่ต้องโปรแกรมโดยวิธี SRAM นั้น ในการใช้งานของผู้ออกแบบจะต้องเก็บข้อมูลวงจรไว้ในหน่วยความจำประเภท EPROM หรือ Serial PROM ด้วยเพื่อจะใช้งานสะดวกขึ้น คือในการใช้งานโมเดลครั้งต่อไปไม่ต้องดาวน์โหลดข้อมูลวงจรจากเครื่องคอมพิวเตอร์อีก เพราะมีข้อมูลวงจรเก็บอยู่ในหน่วยความจำอยู่แล้วแต่กรณีที่อุปกรณ์เอฟฟี่เอเป็นชนิดที่โปรแกรมโดยวิธี EPROM หรือ Anti-FUSE ก็ไม่จำเป็นต้องมีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลวงจร เพราะว่าอุปกรณ์เอฟฟี่เอชนิดนี้เมื่อดาวน์โหลดข้อมูลวงจรลงไปข้อมูลที่ดาวน์โหลดลงไปก็ยังคงอยู่ในอุปกรณ์เอฟฟี่เอและครั้งต่อไปก็ใช้งานโมเดลที่ออกแบบไว้

2) เครื่องมือสำหรับการออกแบบเอฟฟี่เอ

ส่วนสำคัญที่ใช้ในการทำเอฟฟี่เอคือซอฟต์แวร์ที่ใช้ตั้งแต่เขียนโค้ดอธิบายฮาร์ดแวร์ จนกระทั่งเมื่อทำการดาวน์โหลดในอุปกรณ์เอฟฟี่เอซึ่งในซอฟต์แวร์ที่ใช้นี้ต้องเป็นซอฟต์แวร์ที่ทำงานต่อเนื่องกันได้ สำหรับซอฟต์แวร์ที่ใช้ทำการจำลองการทำงานของวงจรมานั้น ต้องสามารถใช้งานต่อเนื่องกับซอฟต์แวร์ที่ใช้ทั้งระบบเพราะโมเดลที่ได้จากวิธีการทำขั้นตอนต่างๆ ด้วยซอฟต์แวร์ต่างๆ

ต้องเอามาจำลองการทำงานได้ และในการจำลองการทำงานของวงจรที่ใช้นั้นควรใช้ซอฟต์แวร์ตัวเดียวกันตลอดทั้งระบบเพื่อจะได้เปรียบเทียบผลได้ง่าย ในอดีตซอฟต์แวร์ส่วนใหญ่จะใช้งานอยู่บนคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูงอย่างเวิร์คสเตชัน โดยในปัจจุบันมีการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้งานพีซีเพิ่มขึ้น ซึ่งเราสามารถลดค่าใช้จ่ายในด้านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ตัวอย่าง โปรแกรมที่ใช้ เช่น Quatium II เป็นต้น

3) ภาษาวีเอชดีแอล

ปัจจุบันในการออกแบบระบบดิจิทัลมีความซับซ้อนและขนาดของระบบเพิ่มทุกขณะ ส่งผลให้มีการนำคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการออกแบบระบบดิจิทัลมากขึ้น อีกทั้งอุปกรณ์และวิธีการออกแบบใหม่ๆ ได้พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยอำนวยความสะดวกให้นักออกแบบมากขึ้น การออกแบบโดยใช้การวาดวงจร (Capture Schematic) ผู้ออกแบบจะต้องมีทักษะสูงในการออกแบบ และต้องใช้เวลามากในการออกแบบ จำลองการทำงาน และตลอดจนถึงการแก้ไขความถูกต้องของระบบ (Debugging) สำหรับภาษาบรรยายฮาร์ดแวร์เอชดีแอล ก็เป็นเครื่องมือที่ได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องในการปรับปรุงขบวนการออกแบบระบบดิจิทัลให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

4) ประสิทธิภาพเป็นมาของภาษาวีเอชดีแอล

ภาษาวีเอชดีแอลเป็นภาษาบรรยายฮาร์ดแวร์ประเภทหนึ่งและเป็นภาษาโปรแกรมระดับสูงที่ใช้ในการออกแบบฮาร์ดแวร์ในระบบดิจิทัล ตัวภาษาสามารถบรรยายพฤติกรรมการทำงานในรูปแบบลำดับขั้น (Hierarchy) และสามารถเขียนได้หลายรูปแบบ ดังนั้นภาษาวีเอชดีแอลจึงน่าสนใจที่จะศึกษาและนำไปใช้งานเป็นอย่างยิ่ง สำหรับมาตรฐานของภาษาที่ใช้บรรยายพฤติกรรมวงจรหรือฮาร์ดแวร์ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ต้องเป็นภาษาที่นำไปเขียนในรูปแบบระบบดิจิทัลและมีคุณสมบัติที่สามารถเข้าใจได้ทั้งมนุษย์และเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยไม่มีการแปลหรือเปลี่ยนแปลงอีก

2. ต้องเป็นภาษาที่เขียนขึ้นสำหรับใช้จำลองการทำงานของวงจร

3. ต้องการภาษาที่เป็นมาตรฐานหรือภาษากลางที่ทำให้สามารถเผยแพร่ผลงานการออกแบบกันภายในกลุ่มนักออกแบบด้วยกันได้

ก. การออกแบบระบบดิจิทัล

ในการออกแบบระบบดิจิทัล จะเริ่มต้นจากการกำหนดหน้าที่การทำงานของระบบที่ต้องการซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วระบบดิจิทัลประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นระบบฮาร์ดแวร์และส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์โดยทั่วไปแล้วการออกแบบทั้ง 2 ส่วน ดังกล่าวนี้นี้จะต้องทำไปพร้อมๆ กัน หลังจากนั้นจะเป็นขั้นตอนการกำหนดหน้าที่การทำงานของระบบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ โดยใน

ระหว่างการออกแบบนั้นผู้ออกแบบจะต้องมีการทดสอบการทำงานร่วมกันเพื่อให้สามารถแก้ไขความผิดพลาดในการออกแบบที่เกิดขึ้น

ข. การออกแบบจากบนลงล่าง (Top - Down Design)

ในการพัฒนางจรรวมดิจิทัลขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อน ผู้ออกแบบมักจะมองการออกแบบในรูปของบล็อกไดอะแกรมก่อนที่จะทำวิเคราะห์ให้ลึกถึงรายละเอียดต่อไป ภาษาวีเอสดีแอลนั้นอนุญาตให้อธิบายและวิเคราะห์การทำงานของแต่ละบล็อก รวมถึงการปรับปรุงการทำงานจากผลที่วิเคราะห์เพื่อให้ได้การทำงานตามต้องการ นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มเติมในรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนได้ ซึ่งหลักการนี้สอดคล้องกับหลักการออกแบบจากบนลงล่าง

ขั้นตอนของการออกแบบจากบนลงล่าง การออกแบบจากบนลงล่างในแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

1) สร้างข้อกำหนดของความถี่และความถี่ระบบ เพื่อหาแนวความคิดและหลักการในการแก้ปัญหา

2) เขียนรูปแบบของระบบที่ต้องการออกแบบโดยภาษาวีเอสดีแอลหรือภาษาเอสดีแอลอื่นๆ สำหรับบรรยายพฤติกรรมการทำงาน พร้อมทั้งจำลองการทำงาน เพื่อเปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องกับข้อกำหนด

3) หลังจากที่ได้หลักการขั้นต้นพร้อมแนวความคิดที่ผ่านการตรวจสอบแล้วหลักการนี้จะถูกเพิ่มเติมในรายละเอียดลงมา เป็นลำดับขั้นที่สอง จนกระทั่งอยู่ในระดับที่จะนำไปผลิตวงจรจริง หรือสังเคราะห์ในขั้นตอนนี้เองเทคโนโลยีที่จะมารองรับ วงจรออกแบบจะถูกกำหนดขึ้น และระบบช่วยการออกแบบจะสังเคราะห์วงจรที่ได้จากรูปแบบที่เขียนขึ้นให้อยู่ในรูปของวงจรที่ประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือวงจรในระดับเกต และการเชื่อมต่อระหว่างกันของอุปกรณ์เหล่านั้นหรือไม่ก็อยู่ในรูปของ Netlist ที่สามารถนำไปผลิตในอุปกรณ์อื่นได้

4) หลังจากการสังเคราะห์วงจรให้อยู่ในระดับเกตหรือ Netlist แล้ว ข้อมูลนี้จะใช้สำหรับจำลองการทำงานในเรื่อง ความถูกต้องของฟังก์ชันพร้อมก็นำข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเวลาเข้ามาประกอบการพิจารณาด้วย ซึ่งตามปกติแล้วอุปกรณ์ ทางอิเล็กทรอนิกส์ทุกชิ้นจะมีเวลาหน่วงของการแพร่กระจาย (Propagation Delay Time) เสมอ ถึงแม้ว่าจะเป็น เวลาที่น้อยมากในระดับนาโนวินาทีก็ตาม แต่ถ้าภายในวงจรหนึ่งประกอบด้วยเกตของฟังก์ชันต่างๆ จำนวน 10,000 เกต ขึ้นไป เวลาดังกล่าวนี้จะสะสมกันมากขึ้น จนอาจทำให้การทำงานของวงจรรวมทั้งหมดผิดพลาดไป หรือไม่สามารทำงานในย่านความถี่สัญญาณนาฬิกาที่สูงได้

1) ผลิตเป็นวงจร โดยนำข้อมูลที่ได้จากการสังเคราะห์มาผลิต ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของแผงวงจรไฟฟ้า ที่ประกอบด้วยอุปกรณ์หลายๆ ชิ้น หรืออยู่ในรูปของวงจรรวม ASIC

2) ทำการตรวจสอบการทำงานและตัวแปรทางด้านเวลาทั้งหมด เพื่อความถูกต้องของวงจร เป็นครั้งสุดท้ายก่อนนำไปรวมเข้ากับอุปกรณ์อื่นๆ ให้เป็นระบบบิจิตอล เนื่องจากในขั้นตอนนี้ วงจรที่ออกแบบ จะประกอบด้วยจุดต่อทางอินพุตและเอาต์พุต ซึ่งเป็นจุดต่อสำหรับการรับและส่งสัญญาณกับภายนอก

3) นำวงจรที่ออกแบบไว้ประกอบเข้ากับอุปกรณ์อื่นๆ ให้เป็นระบบที่สมบูรณ์ แล้วทำการทดสอบการทำงานทั้งระบบร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ อีกครั้งเพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยด้านอุณหภูมิหรือการควบคุมอุณหภูมิเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นมีการพัฒนามากมายหลายแนวทางที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนั้นๆ สำหรับงานวิจัยนี้ จึงได้คัดเลือกผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและใกล้เคียงกับงานที่กำลังศึกษาอยู่เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาดังนี้

2.3.1 งานวิจัยของ [1] และ [2] ได้ทำวิจัยเรื่อง PSPICE-Compatible Equivalent Circuit of Thermoelectric Coolers และ Modeling and Analysis of Thermoelectric Modules โดยนักวิจัยได้วิเคราะห์เกี่ยวกับวงจรสมมูลและสมการของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ประเภท Peltier Device โดยการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSPICE ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์วงจรสมมูลและสมการสำหรับออกแบบระบบควบคุมสำหรับงานวิจัยนี้

2.3.2 งานวิจัยเรื่อง [3] ได้กล่าวเกี่ยวกับการใช้ระบบชดเชยแบบ DOB (Disturbance Observer) เพื่อควบคุมการเคลื่อนไหวหรือหุนยนต์ซึ่งเป็นพื้นฐานหลักของระบบชดเชยแบบ HDOB สำหรับงานวิจัยนี้

2.3.3 งานวิจัยของ [4] ได้วิเคราะห์เกี่ยวกับอุปกรณ์ Peltier ในรูปแบบของวงจรสมมูลซึ่งงานวิจัยได้นำประยุกต์สมการในงานวิจัยดังกล่าวเพื่อเป็นสมการการควบคุมอุณหภูมิที่กล่าวข้างต้น

2.3.4 งานวิจัยของ [5-7] ได้กล่าวเกี่ยวกับกรประยุกต์ใช้ระบบ DOB ในการใช้งานร่วมกับด้านต่างๆ ในรูปแบบของการควบคุมมอเตอร์หรือด้านการควบคุมการเคลื่อนไหว โดยงานวิจัยดังกล่าวได้แสดงถึงการควบคุมแบบ 2 ทิศทาง โดยประยุกต์ใช้ระบบ HDOB ร่วมกับทฤษฎีต่างๆ

2.3.5 งานวิจัยของ [9] ได้กล่าวถึงการควบคุมอุณหภูมิ โดยใช้หลักการของระบบ Fuzzy Logic ร่วมกับตัวป้อนกลับ PID Controller ส่งผลให้การควบคุมอุณหภูมิมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นกว่าการใช้ระบบป้อนกลับเพียงอย่างเดียว

2.3.6 งานวิจัยของ [10-11] ได้ทำวิจัยเรื่อง A Method to Control A Peltier Device Based on Heat Disturbance Observer เป็นการนำเสนอการควบคุมอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกโดย Peltier Device ด้วยการตรวจจับปัจจัยการรบกวนด้วยระบบ DOB และชดเชยค่าดังกล่าวเข้าสู่ระบบควบคุม ด้วยการป้อนกลับแบบ P Controller อีกทั้งผู้วิจัยได้กล่าวถึงตัวกรองความถี่ ที่ความถี่ Cut off ต่างๆ มีผลต่อเสถียรภาพของระบบควบคุม นอกจากนี้ นักวิจัยทั้งสองยังได้ทำวิจัยเรื่อง Heat Inflow Control of Peltier Device Based on Heat Inflow Observer ซึ่งได้กล่าวถึงการประมาณค่าการไหลเข้าของความร้อนโดยระบบ DOB และการประมาณค่าดังกล่าวมีการป้อนกลับเพื่อควบคุมระบบทำให้ระบบควบคุมมีเสถียรภาพยิ่งขึ้น

2.3.7 งานวิจัยของ [12] และ [13] ได้ทำวิจัยเรื่อง Experimental Study on Operator Based Nonlinear Temperature Control of an Aluminum Plate Actuated by a Peltier Device ได้ศึกษาการทดลองการควบคุมอุณหภูมิบนแผ่นอะลูมิเนียม โดยใช้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกประเภท Peltier Device โดยการควบคุมดังกล่าวได้ประยุกต์พื้นฐานของโมเดลของ Peltier Device และแผ่นอะลูมิเนียม

2.3.4 งานวิจัยของ [14] ได้ทำวิจัยเรื่อง Thermal Bilateral Control with Scaled Thermal Information Using Peltier Device ผู้วิจัยได้นำเสนอการควบคุมการแพร่กระจายความร้อนแบบ 2 ทิศทาง ด้วยการประยุกต์โครงสร้างของระบบควบคุมมาจากตัวควบคุมการไหลความร้อน โดยใช้พื้นฐานของระบบ DOB โดยนักวิจัยทั้งสองได้ใช้หน่วยประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ด้วยระบบปฏิบัติการ Linux

2.3.7 งานวิจัยของ [15] ได้ทำวิจัยเรื่อง Thermal Bilateral Coupling in Teleoperators นักวิจัยได้นำเสนอการส่งผ่านอุณหภูมิ 2 ทิศทาง (Bilateral Coupling) ระยะไกลโดยใช้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกประเภท Peltier เป็นตัวสร้างอุณหภูมิ

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นด้วยเทคนิคการควบคุมอุณหภูมิแบบต่างๆ งานวิจัยนี้จึงนำเสนอเทคนิคตัวป้อนกลับแบบ CP Controller ร่วมกับระบบชดเชยแบบ HDOB และใช้ทฤษฎีดังกล่าววิเคราะห์ที่ผิววัสดุอีกด้วย และประยุกต์ใช้ระบบชดเชยแบบ HDOB ในการควบคุมแบบ 2 ทิศทาง โดยใช้ตัวประมวลผลแบบ FPGA

บทที่ 3

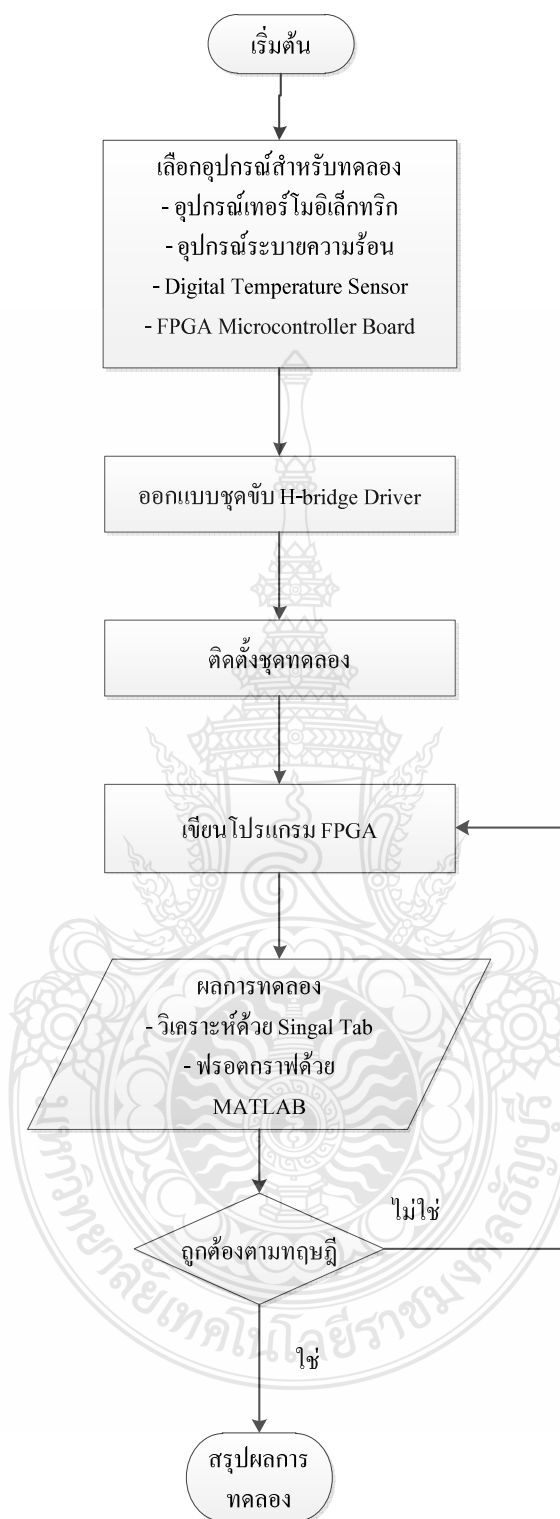
วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์การควบคุมอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (Peltier) ด้วยการชดเชยด้วยระบบ HDOB ร่วมกับเทคนิคการป้อนกลับแบบ CP Controller ซึ่งประยุกต์มาจาก P Controller โดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ด้วย PID Controller นอกจากการนำเสนอระบบชดเชยร่วมกับระบบป้อนกลับแล้วนั้น งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์การควบคุมแบบ 2 ทิศทาง (Bilateral Controller) ด้วยการประยุกต์ใช้ตัวชดเชยแบบ HDOB เช่นกัน โดยใช้หน่วยประมวลผลแบบ FPGA และใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบดิจิทัลทั้งหมดเพื่อเสถียรภาพของระบบควบคุมอุณหภูมิซึ่งจะกล่าวในบทนี้

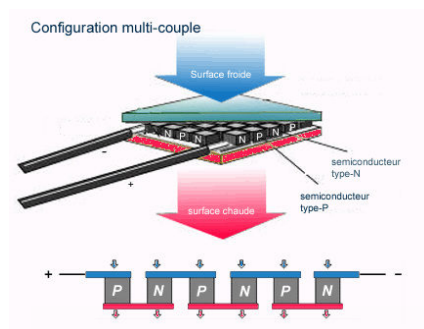
3.1 ขั้นตอนการทดลอง

จากวิทยานิพนธ์นี้ สามารถสรุปขั้นตอนการทำงานได้ ดังภาพที่ 3.1 โดย เริ่มจากการเลือกอุปกรณ์ ส่วนแรก คือ อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกซึ่งในงานวิจัยเพื่อเลือกอุปกรณ์ให้ตรงกับเทคนิคที่นำเสนอจึงเลือกใช้ Peltier คือ อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ทำหน้าถ่ายเทความร้อนให้ด้านหนึ่งร้อนและด้านหนึ่งเย็นด้วยการจ่ายกระแส และการกลับทิศทางของกระแส นั้น คือการกลับสถานะผิวของ Peltier นั้นเอง โครงสร้างของ Peltier นั้นแสดงดังภาพที่ 3.2 (ก) และตัวอย่างนั้นแสดงดังภาพที่ 3.2 (ข) Peltier นั้นมีข้อจำกัดเรื่องของอุณหภูมิที่สูงเกินพิกัดที่ระบุไว้ใน สเปกของ Peltier รุ่นนั้นๆ ดังนั้นการใช้งานต้องมีระบบระบายความร้อนซึ่งตัวอย่างที่ใช้งานและการติดตั้งนั้นแสดงดังภาพที่ 3.2 (ค) และ (ง) ในส่วนของอุปกรณ์ระบายความร้อนนั้นประกอบไปด้วย Heat Sink และชุดพัดลม โดยการติดตั้งนั้นเป็นไปได้มีการจัดวางตำแหน่งดัง Schematic ดังภาพที่ 3.4 และมีการติดตั้ง Digital Temperature Sensor ที่ Peltier ในส่วนสุดท้ายในการจัดหาอุปกรณ์ คือ บอร์ด FPGA รุ่นที่เลือกใช้ Cyclone IV ติดตั้งอยู่บนบอร์ดที่พัฒนาด้วยบริษัท Telasic รุ่น Altera DE2-115 Development and Education Board ภาพบอร์ดแสดงดังภาพที่ 3.5 การติดตั้งบอร์ดโดยรวม

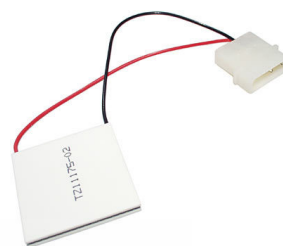
ในส่วนของวงจรขับกระแสนั้น มีการออกแบบซึ่งนักวิจัยของงานวิจัยนี้ด้วย Peltier นั้นเป็นแบบ Low Voltage (Max 3.8 V) ในขณะที่บอร์ดขับกระแสสูงแบบ H-Bridge แบบทั่วไปนั้นใช้แรงดันขั้นต่ำที่ 12 V ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่ต้องมีการออกแบบวงจรขับกระแสดังกล่าวซึ่งได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.3



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงาน



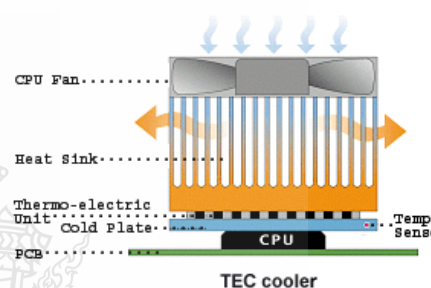
(ก) โครงสร้างของ Peltier



(ข) อุปกรณ์ Peltier



(ค) ตัวอย่างการใช้งาน Peltier



(ง) ตัวอย่างการติดตั้งใช้งาน Peltier

ภาพที่ 3.2 อุปกรณ์ Peltier

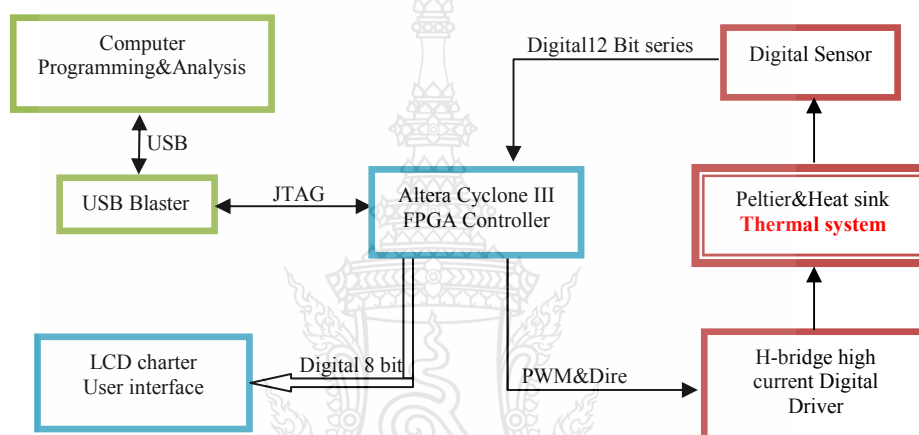
การติดตั้งชุดทดลองนั้น ประกอบไปด้วย FPGA บอร์ด และอุปกรณ์ต่อพ่วง H-Bridge, Digital Sensor, Driver Peltier และชุดระบายความร้อน เพื่อให้ระบบทั้งหมดพร้อมที่จะเก็บผลการทดลอง โดยการติดตั้งนั้นได้อธิบายอยู่ในหัวข้อ 3.5

เมื่อติดตั้งอุปกรณ์เสร็จสิ้นและทดสอบระบบทั้งหมดแล้ว เช่น การอ่านค่า Sensor การแสดงผลจอ LCD การขับกระแส และอื่นๆ ขั้นตอนต่อไป คือ เขียนโปรแกรมควบคุมตามเทคนิคต่างๆ ที่นำเสนอไว้ในบทที่ 2 โปรแกรมที่ใช้เขียนนั้น คือ ภาษา VHDL และ Verilog ด้วย Compiler Quartus II ของ FPGA ตระกูล Altera การเขียนโปรแกรมนั้น เริ่มจากการทดลอง การโปรแกรม LPF ทดลองเทคนิคการป้อนกลับและระบบชดเชยแบบ HDOB และทดลองการควบคุมแบบ 2 ทิศทาง การเขียนโปรแกรมควบคุมนั้นจะเก็บผลด้วย Signal Tab บน Quartus II และนำผลลัพธ์ที่ได้แสดงค่าบน

MATLAB หากผลลัพธ์ที่ได้ไม่เป็นไปตามทฤษฎีหรือได้ผลลัพธ์ที่ไม่ถูกต้อง ขั้นตอนการดำเนินงานก็จะแก้ไขปรับปรุงเพื่อผลลัพธ์ที่ถูกต้อง

3.2 ใตอะแกรมของระบบ

ใตอะแกรมของระบบควบคุมอุณหภูมิหรือชุดทดลองที่ติดตั้งนั้นจะ ประกอบไปด้วย Computer สำหรับเขียนโปรแกรมและวิเคราะห์ค่า, FPGA Board, LCD Display, Peltier, H-bridge Driver และ Digital Sensor ซึ่งใตอะแกรมการต่อขึ้นแสดงดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ใตอะแกรมการต่อชุดทดลอง

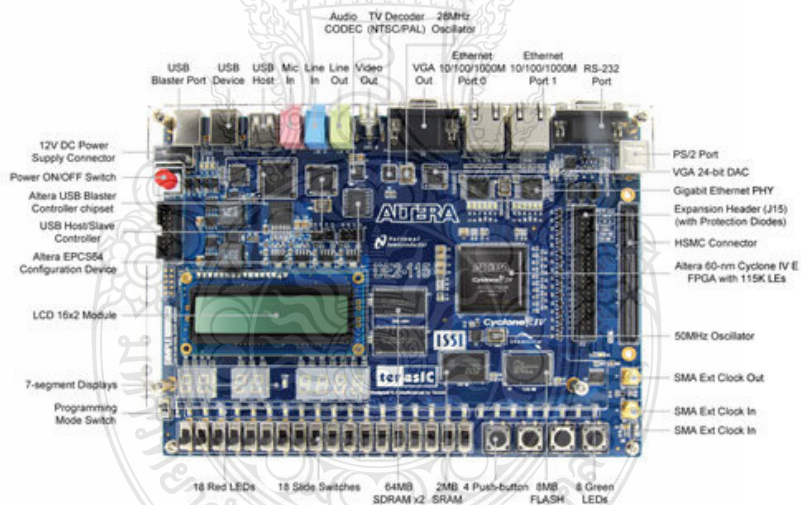
จากภาพระบบประกอบไปด้วย

1) หน่วยประมวลผล FPGA ตระกูล Altera รุ่น Cyclone IV เบอร์ 4CE115 หน่วยประมวลผลดังกล่าวติดตั้งอยู่บนบอร์ดของบริษัท Terasic รุ่น Altera DE2-115 Development and Education Board แสดงดังภาพที่ 3.4 ซึ่งมีคุณสมบัติของบอร์ดและอุปกรณ์ดังนี้

1. หน่วยประมวลผล Cyclone® IV EP4CE115
 - 114,480 Logic Elements (LEs)
 - 3,888 Embedded Memory (Kbits)
 - 266 Embedded 18 x 18 Multipliers
 - General-Purpose PLLs
 - 528 User I/Os

2. อุปกรณ์สำหรับโปรแกรม Configuration Device and USB-Blaster Circuit
 - EPCS64 Serial Configuration Device
 - On-Board USB-Blaster Circuitry
 - JTAG And AS Mode Configuration Supported
3. หน่วยความจำ (Memory Devices)
 - 128MB (32Mx32 Bit) SDRAM
 - 2MB (1Mx16) SRAM
 - 8MB (4Mx16) Flash With 8-Bit Mode
 - 32K Bit EEPROM
4. Switches and Indicators
 - 18 Switches and 4 Push-Buttons
 - 18 Red and 9 Green LEDs
 - Eight 7-Segment Displays
5. Audio
 - 24-Bit Encoder/Decoder(CODEC)
 - Line-In, Line-Out, and Microphone-In Jacks
6. Display 16x2 LCD Module
7. On-Board Clocking Circuitry
 - Three 50MHz Oscillator Clock Inputs
 - SMA Connectors (External Clock Input/Output)
8. SD Card Socket Provides SPI and 4-Bit SD Mode For SD Card Access
9. Two Gigabit Ethernet Ports
 - Integrated 10/100/1000 Gigabit Ethernet
 - Supports Industrial Ethernet IP Cores
10. 172-Pin High Speed Mezzanine Card (HSMC) Configurable I/O Standards
(Voltage Levels: 3.3/2.5/1.8/1.5V)
11. USB Type A and B
 - Provide Host and Device Controller Compliant with USB 2.0
 - Support Data Transfer at Full-Speed and Low-Speed

- PC Driver Available
- 12. 40-pin Expansion Port Configurable I/O Standards (Voltage Levels: 3.3/2.5/1.8/1.5V)
- 13. VGA-Out Connector VGA DAC (High Speed Triple DACs)
- 14. DB-9 Serial Connector RS232 Port with Flow Control
- 15. PS/2 Connector PS/2 Connector For Connecting a PS2 Mouse or Keyboard to the DE2-115
- 16. Remote Control Infrared Receiver Module
- 17. TV-in Connector TV Decoder (NTSC/PAL/SECAM)
- 18. Power
 - Desktop DC Input
 - Switching and Step-Down Regulators LM3150MH



ภาพที่ 3.4 Altera DE2-115 Development and Education Board

2) Computer สำหรับเขียนโปรแกรม FPGA ด้วยภาษา VHDL หรือ Verilog และวิเคราะห์สัญญาณควบคุม โปรแกรมที่ใช้สำหรับเขียนคือ Quartus II ของ Altera และใช้ USB Baster เป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่าง FPGA และ Computer การเก็บผลการทดลองนั้นจะใช้ฟังก์ชัน Signal Tab

ของ Quartus II และแสดงกราฟหรือยืนยันข้อความถูกต้องของผลการทดลองบางส่วนด้วยโปรแกรม MATLAB

3) LCD Character 16x2 ติดตั้งอยู่ที่บอร์ด FPGA เป็นอุปกรณ์สำหรับแสดงผลอุณหภูมิ และอุณหภูมิอ้างอิง เพื่อความสะดวกในการปฏิบัติงาน

4) Peltier ใช้รุ่น ETC-031-14-11-E ซึ่งติดตั้งอยู่บน Heat Sink และติดตั้งพัดลมระบายความร้อน Peltier รุ่นดังกล่าวมีคุณสมบัติดังนี้

1. I_{max} : 8.5A
2. U_{max} : 3.8 V
3. Q_{max} : 20 W
4. Dt_{max} : 72 K
5. R_{ac} : 0.38 Ohm
6. Dimensions : 20x20x3.8 mm

5) H-Bridge Driver เป็นอุปกรณ์ขับเคลื่อนที่สามารถกลับทิศทางได้สำหรับจ่ายให้ Peltier ทำงานด้าน PWM ซึ่งรายละเอียดการออกแบบแสดงในหัวข้อ 3.3

6) Digital Temperature Sensor ใช้รุ่น DS18B20 เป็น Sensor ขนาด 12 Bit สำหรับอ่านค่าอุณหภูมิ โดยแบ่งเป็นจำนวนเต็ม 8 Bit และทศนิยม 4 Bit

3.3 การออกแบบวงจรขับเคลื่อน

การออกแบบวงจรขับเคลื่อนสำหรับวิทยานิพนธ์นี้เป็นแบบ H-Bridge เพื่อสนับสนุนเทคนิคการป้อนกลับที่นำเสนอ รองรับกระแสสำหรับ Peltier และ ออกแบบให้เป็นแบบ Digital เพื่อง่ายต่อการควบคุมด้วย FPGA เหตุผลที่ต้องออกแบบวงจร H-Bridge คือ

Peltier ใช้กระแสสูง -> ออกแบบวงจรให้เป็น Output Mosfet High Current เพื่อรองรับโหลด

Peltier รุ่นที่เลือกใช้ Low Voltage (3.8V) -> วงจรที่ออกแบบให้ Output รองรับโวลต์ต่ำ (H-Bridge ที่มีขายในท้องตลาดจะใช้แรงดันได้ต่ำสุด 9-12 V เนื่องด้วยแรงดันที่จ่ายให้กับชุดขับ Gate นั้นต้องใช้ไฟประมาณ 9-12 V วงจรที่ออกแบบดังกล่าวแยกชุดขับ Gate และ Output)

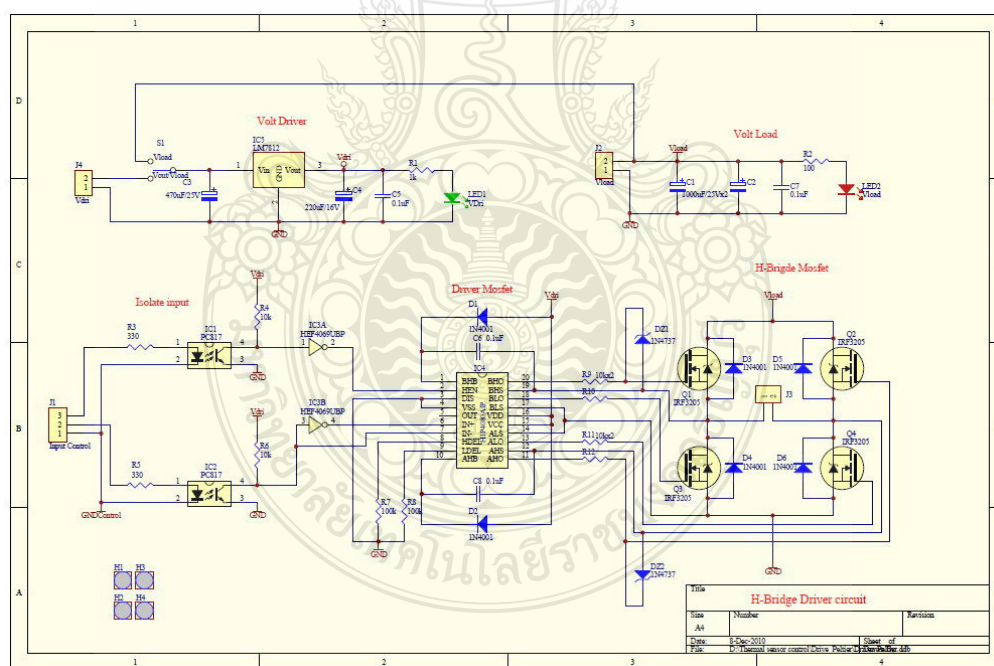
ออกแบบการควบคุมให้เป็น Digital เพื่อสะดวกต่อการควบคุมด้วย FPGA และมีความแม่นยำกว่าแบบ Analog การควบคุมโดย 2 อินพุต เท่านั้น คือ Direction (ควบคุมทิศทางกระแส) และ PWM (ปรับปริมาณกระแส)

วงจรถูกออกแบบให้ Isolate ระบบไฟระหว่าง Output และ Input เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่เข้าสู่ระบบควบคุม

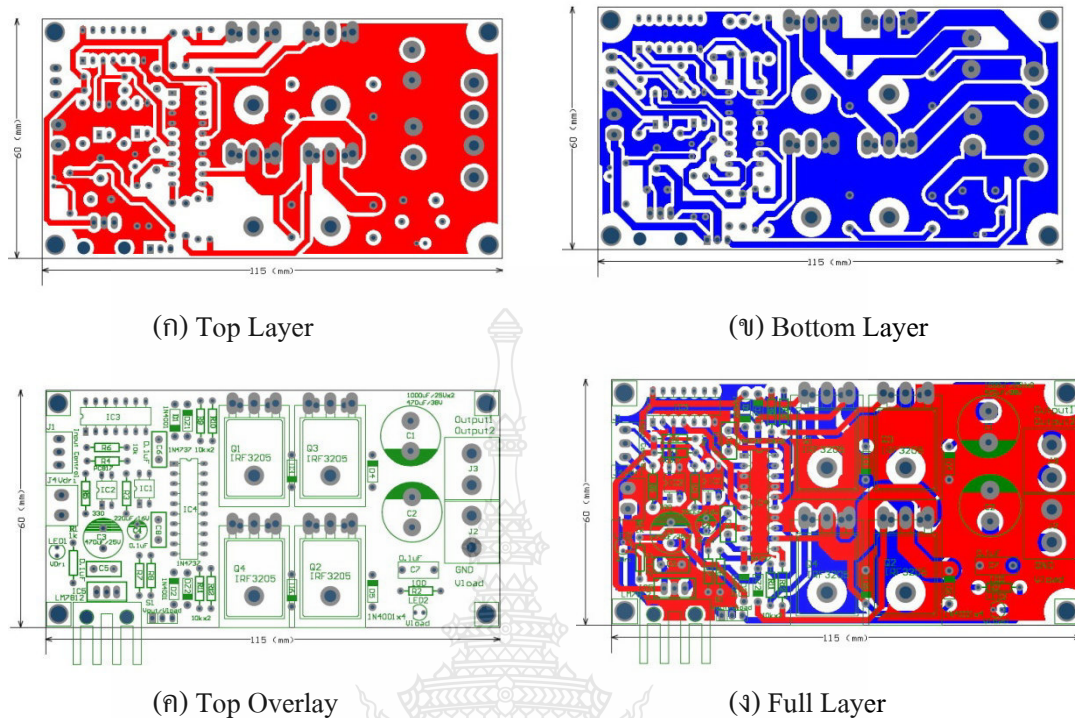
บล็อกไดอะแกรมของการออกแบบระบบแสดงดังภาพที่ 3.5 จากบล็อกไดอะแกรม วงจรที่ออกแบบประกอบไปด้วย การควบคุมจาก FPGA นั้น มีระบบ Isolation เพื่อแยกระบบไฟ Input และ Output เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่เข้าสู่ FPGA หรือระบบควบคุม ถัดมาคือ ชุดขับ Mosfet วงจรส่วนนี้ใช้ไฟขั้นต่ำ 9 VDC และสุดท้าย คือ ส่วน Mosfet กระแสที่จะรองรับ โหลดมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับรุ่น Mosfet ที่ใช้ดังกล่าว ดังนั้น จากระบบที่กล่าวสามารถศึกษาและออกแบบเป็นวงจรตามภาพที่ 3.6 และออกแบบแผงวงจร (PCB) แสดงดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมการออกแบบ H-Brigde Currence Driver



ภาพที่ 3.6 วงจร (SCH) H-Brigde Curren Driver



ภาพที่ 3.7 แผงวงจร (PCB) H-Bridge Driver

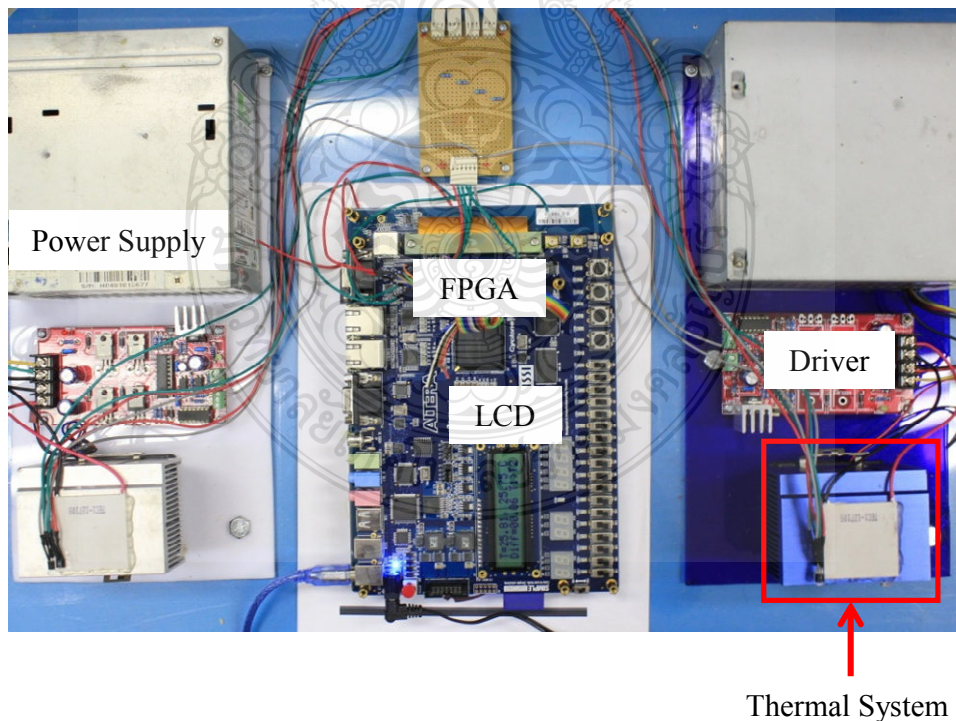
จากภาพที่ 3.6 วงจรที่ออกแบบมีหลักการทำงาน โดยเริ่มจากชุด Input Isolate ด้วย Opto PC817 สำหรับ PIN Direction และ PWM และผ่าน Not Gate เพื่อป้องกันการรบกวนของอัลกอริทึมการควบคุม เข้าสู่ชุดขับ Gate เบอร์ HIP4080 IC ดังกล่าวเป็นตัวจัดไบอัสให้กับ Output Mosfet ในส่วนของแหล่งจ่ายไฟนั้นจะประกอบไปด้วย 2 ชุดด้วยกัน คือ สำหรับจ่ายให้กับชุดขับ Gate สามารถใช้ได้กับ Voltage 9-12 V และสำหรับ Output ของระบบ ซึ่งการออกแบบจะขึ้นอยู่กับการรองรับแรงดันของ Mosfet ได้รูนั่นๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้จ่ายให้กับ Peltier 3.3 V และจากภาพที่ 3.7 คือ ผลจากการออกแบบวงจรจากภาพที่ 3.6 ซึ่งออกแบบเป็น 2 Layer วงจร H-Bridge ดังกล่าวที่ออกแบบนั้นแสดงในชุดติดตั้งการทดลองแสดงในหัวข้อ 3.4

3.4 การติดตั้งชุดทดลอง

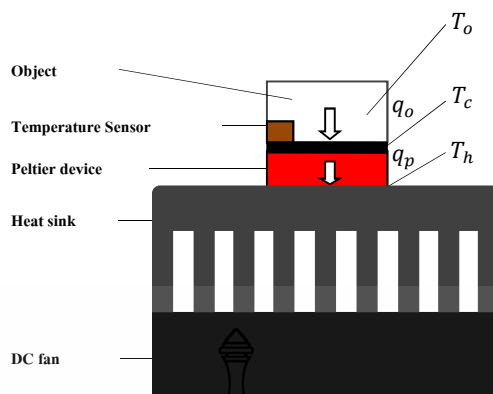
เพื่อยืนยันความถูกต้องของวิธีที่นำเสนอ นั้น สามารถยืนยันได้จากผลการทดลอง ดังนั้นจะมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับชุดทดลอง ซึ่งในหัวข้อนี้ได้อธิบายการติดตั้งชุดทดลองกล่าวคือ

ชุดทดลองวิธีที่นำเสนอ นั้นแสดงดังภาพที่ 3.8 อุปกรณ์หลักสำหรับชุดทดลองประกอบไปด้วย Controller Unit, Current Driver Circuit และ Thermal System ในส่วนของ Controller Unit งานวิจัยนี้ได้ใช้หน่วยประมวลผลความเร็วสูงแบบ FPGA ด้วยความถี่ 50 MHz ในส่วนของ Current Driver Circuit นั้นเป็นอุปกรณ์จ่ายกระแสให้กับ Peltier และออกแบบให้สามารถกลับทิศทางกระแสเพื่อกลับทิศทางของผิวร้อนหรือเย็นของ Peltier นำเสนอตัวควบคุมแบบ CP Controller โดยการเชื่อมต่อระหว่าง FPGA และ Driver นั้นจะควบคุมกระแสแบบ PWM และควบคุมทิศทางด้วย Logic

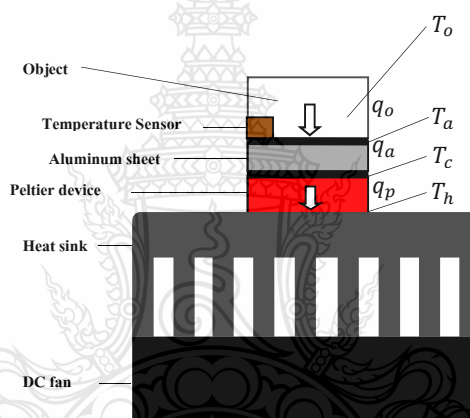
ในส่วนของ Thermal System ประกอบไปด้วย Peltier ประกอบอยู่บนฮีตซิงค์ที่ติดตั้งพัดลมระบายความร้อน และด้านบนของ Peltier ติดตั้ง Digital Temperature Sensor สำหรับวัดค่าอุณหภูมิ จากคำอธิบายจะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ทั้งหมดเป็นแบบ Digital ซึ่งส่งผลให้ระบบง่ายต่อการออกแบบระบบที่ใช้หน่วยประมวลผลแบบ FPGA และป้องกันสัญญาณรบกวนได้ดีกว่าระบบที่เป็น Analog ในส่วนของการติดตั้ง Thermal System แสดงดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 ชุดทดลองระบบควบคุมอุณหภูมิ



(ก) Schematic ของระบบควบคุมอุณหภูมิ



(ข) Schematic ของระบบควบคุมอุณหภูมิที่ติดตั้งแผ่นอะลูมิเนียม

ภาพที่ 3.9 Schematic ของระบบควบคุมอุณหภูมิ

จาก Schematic ข้างต้นนั้น วิจารณ์มูลจากภาพที่ 2.1(ก) และ 2.1 (ข) อ้างอิงจาก Schematic นี้ ซึ่งประกอบไปด้วย Peltier ติดตั้งอยู่บน Heat Sink เพื่อระบายความร้อนโดยมีพัดลมติดอยู่ที่ Heat Sink ด้านบนของ Peltier นั้นติดตั้ง Digital Temperature Sensor เพื่ออ่านค่าอุณหภูมิ สำหรับการติดตั้งแผ่นอะลูมิเนียม จากทฤษฎีที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 สรุปได้ว่า อะลูมิเนียม นั้น คือ การรบกวนอย่างหนึ่งจึงติดตั้งแผ่นอะลูมิเนียมที่บน Peltier และ Sensor อยู่บนแผ่นอะลูมิเนียม

3.5 การเลือกค่าพารามิเตอร์สำหรับการทดลอง

สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ ค่าพารามิเตอร์ในส่วนของอุปกรณ์ควบคุม หรืออุปกรณ์ Peltier และค่าพารามิเตอร์สำหรับการเลือกอัตราการขยายของการควบคุมแบบ PID Controller และแบบ CP Controller ในส่วนของอุปกรณ์ Peltier พารามิเตอร์ต่างๆ ได้สรุปมาจากคู่มือของ Peltier ในส่วนของอัตราการขยาย วิทยานิพนธ์นี้ใช้หลักการของ Ziegler Nichols โดยสามารถอธิบายเบื้องต้นได้ดังนี้

ปัญหาของการใช้งานตัวควบคุมแบบ PID ก็คือ ค่าอัตราการขยายของตัวควบคุมซึ่งมีอยู่ด้วยกันถึง 3 ตัว คือ K_p , K_i และ K_d ควรจะมีค่าเป็นเท่าใดจึงจะเหมาะสมกับกระบวนการนั้น ๆ ในทางทฤษฎีแล้วค่าเกณฑ์เหล่านี้จะสามารถหาได้อย่างถูกต้องถ้าทราบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นจึงเป็นที่มาการอธิบายวิธีการปรับค่าอัตราการขยายตัวควบคุมแบบ PID ในกรณีที่ไม่มีทราบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ โดยจะใช้วิธีการปรับค่าเกณฑ์ตัวควบคุมแบบ PID ของซีเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols) ร่วมกับ ตารางแสดงผลกระทบของค่าอัตราการขยายในตัวควบคุมแบบ PID ต่อการตอบสนองของระบบ โดยการเลือกค่าพารามิเตอร์นั้นตัวแปรที่ใช้ในการเลือกอธิบายได้ดังนี้

1. ช่วงเวลาขึ้น (Rise Time, T_r) หมายถึง ช่วงเวลาที่ผลตอบสนองเมื่อสัญญาณเอาต์พุตเพิ่มจาก 10% จนถึง 90 % หรือจาก 5% ถึง 95% หรือจาก 0% ถึง 100% ดังนั้นการกำหนดช่วงเวลาขึ้นจำเป็นกำหนดว่าวัดโดยใช้ช่วงเวลาไหน

2. เวลาของค่ายอด (Peak Time, T_p) หมายถึง เวลาที่สัญญาณผลการตอบสนองมีค่าสูงสุดค่าแรกของผลการตอบสนองนั้น ๆ

3. โอเวอร์ชูตสูงสุด (Maximum Overshoot, M_p) หมายถึง ค่าการตอบสนองสูงสุดที่วัดจากสถานะอยู่ตัวสุดท้าย (Final Steady State) การบอกค่าโอเวอร์ชูตสูงสุดมักจะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์

4. เวลาเข้าที่ (Settling Time, T_s) หมายถึง เวลาที่ผลการตอบสนองลดลงจนเริ่มเข้าไปอยู่ในช่วงที่กำหนด ซึ่งจะวัดเทียบกับค่าสุดท้ายของผลการตอบสนองในสถานะอยู่ตัวสุดท้าย (Final Steady State) ค่าที่นิยามกำหนดสำหรับช่วงนี้มักจะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ เช่น 1%, 2% หรือ 5% เป็นต้น

จากนิยามของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดขึ้น เราจะใช้พารามิเตอร์เหล่านี้เป็นตัวพิจารณาการปรับค่าอัตราการขยายต่างๆ ของตัวควบคุมแบบ PID ต่อไป

3.5.1 วิธีการของซีเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols) ในการปรับค่าเกนตัวควบคุมแบบ PID

ในปี ค.ศ. 1942 ซีเกลอร์และนิโคลส์ได้พัฒนาวิธีการปรับค่าเกนของตัวควบคุมแบบ PID ขึ้นโดยอาศัยการทดลองและวิเคราะห์ผลโดยเปรียบเทียบกับกระบวนการต่างๆ ในอุตสาหกรรม และใช้เกณฑ์ IAE กับผลการตอบสนองของระบบโดยมีสัญญาณอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นหนึ่งหน่วย (Unit-Step Input)

วิธีการของซีเกลอร์-นิโคลส์ที่ใช้ในการปรับค่าเกนตัวควบคุมนี้สามารถทำให้การตอบสนองของระบบเมื่อมีอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นหนึ่งหน่วย มีลักษณะการแกว่งแบบลดลงด้วยอัตราหนึ่งในสี่ ซึ่งหมายความว่าโอเวอร์ชูตที่สองจะน้อยกว่า 25% ของค่าโอเวอร์ชูตตัวแรก การปรับค่าเกนของตัวควบคุมด้วยวิธีการของซีเกลอร์-นิโคลส์มีด้วยกันสองวิธีคือ วิธีการปฏิริยาของกระบวนการ (Process Reaction Method) และ วิธีการวัฏจักรท้ายสุด (Ultimate Cycle Method)

3.5.2 วิธีการปฏิริยาของกระบวนการ (Process Reaction Method)

การปรับค่าเกนของตัวควบคุมด้วยวิธีการนี้จะใช้ระบบเปิด (Open-Loop System) โดยเริ่มจากป้อนอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นไปยังกระบวนการดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 การปรับค่าเกนของตัวควบคุมด้วยวิธีการปฏิริยาของกระบวนการ

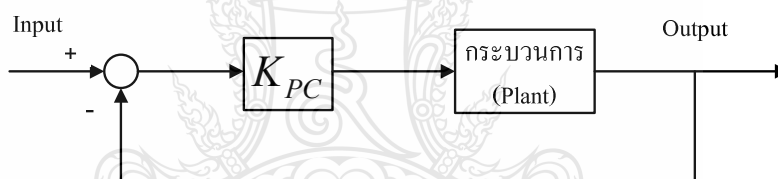
หลังจากป้อนอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นไปยังกระบวนการแล้วให้ทำการวัดตัวแปรต่าง ๆ จากผลการตอบสนองของกระบวนการดังภาพที่ 7 จากนั้นนำค่าตัวแปรที่ได้ไปคำนวณหาค่าเกนของตัวควบคุมตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าอัตราการขยายตัวควบคุมโดยใช้วิธีการปฏิบัติการของกระบวนการ (Process Reaction Method)

ชนิดตัวควบคุม	K_p	$1/T_i$	T_d
P	P/RL	-	-
PI	$0.9P/RL$	$1/3.33L$	-
PID	$1.2P/RL$	$1/2L$	$0.5L$

3.5.2 การวัฏจักรท้ายสุด (Ultimate Cycle Method)

การปรับค่าเกนตัวควบคุมด้วยวิธีการวัฏจักรท้ายสุด เริ่มจากทำให้ระบบและตัวควบคุมเป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับชนิดสัดส่วน (Proportional Control) เพียงอย่างเดียว หรือ ถ้าผู้อ่านใช้ตัวควบคุมแบบ PID อยู่แล้วในระบบก็ให้ทำการลดค่าเกนตัวควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral Control) และตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Control) ลงให้เหลือน้อยที่สุด ดังภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 การปรับค่าอัตราการขยายของตัวควบคุมด้วยวิธีการวัฏจักรท้ายสุด

จากนั้นค่อยๆ เพิ่มค่าเกนตัวควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control) ให้มีค่ามากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งระบบเริ่มมีการแกว่ง (Oscillate) ด้วยแอมพลิจูด (Amplitude) คงที่สถานะนี้ระบบเริ่มไม่มีความสมดุล (Unstable) นั่นเอง ทำการบันทึกค่าอัตราการขยายตัวควบคุมแบบสัดส่วนตรงตำแหน่งนี้ไว้ สมมุติให้มีค่าเท่ากับ K_{pc} ในขณะเดียวกันก็ทำการวัดคาบเวลาการแกว่งไว้ด้วยสมมุติให้มีค่าเป็น T_c จากค่าของ K_{pc} และ T_c เราจะสามารถคำนวณค่าเกนของตัวควบคุมได้จากตารางที่

3.2

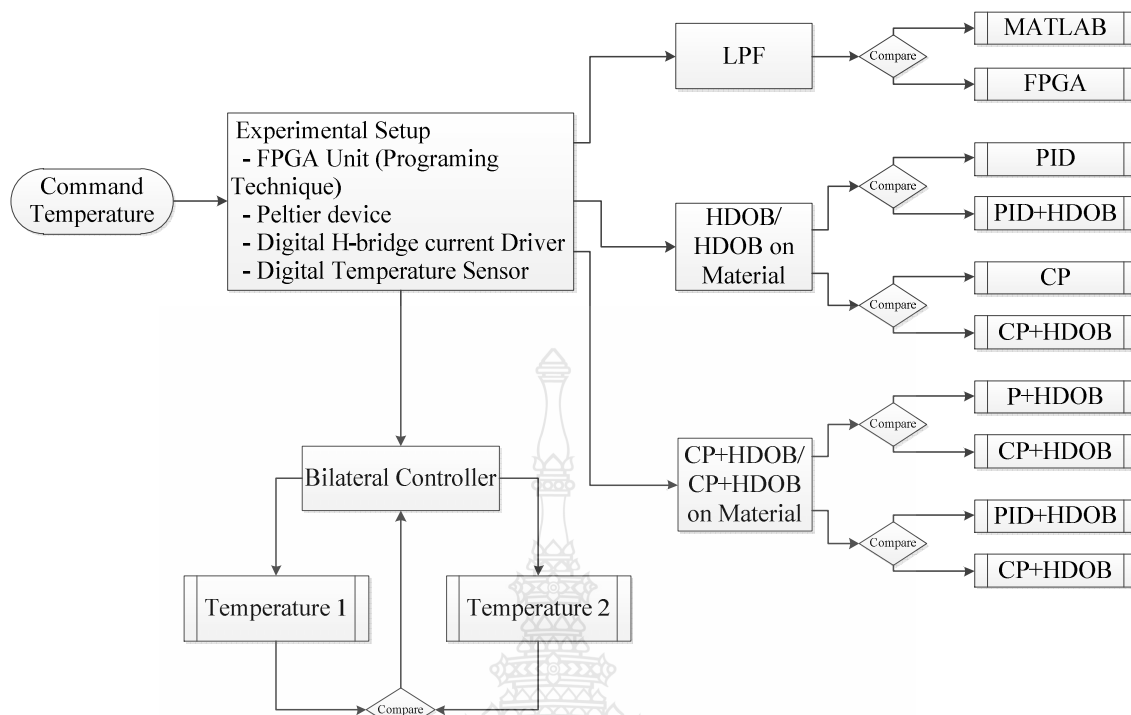
ตารางที่ 3.2 ค่าอัตราขยายตัวควบคุมโดยใช้วิธีการวัฏจักรท้ายสุด

ชนิดตัวควบคุม	K_p	$1/T_i$	T_d
P	$0.5K_{pc}$	-	-
PI	$0.5K_{pc}$	$1.2/T_c$	-
PID	$0.6K_{pc}$	$2/T_c$	$T_c/8$

สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ ได้เลือกใช้การเลือกอัตราขยายด้วยวิธี การวัฏจักรท้ายสุด (Ultimate Cycle Method) ซึ่งจะเห็นได้ว่าจะต้องดำเนินการทดลองตัวป้อนกลับแบบ P Controller ก่อนซึ่งได้ผลลัพธ์ดังบทที่ 4 ภาพที่ 4.2 (ก) สำหรับการคำนวณค่าพารามิเตอร์ ซึ่งวิธีที่นำเสนอ CP Controller นั้นก็เช่นเดียวกัน ดังนั้นค่าพารามิเตอร์จากการคำนวณดังกล่าว แสดงดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 โดยจากการทดสอบนั้นจะมีการปรับแต่งค่าเล็กน้อยเพื่อผลลัพธ์ที่ดีที่สุดสำหรับการควบคุม

3.6 การเปรียบเทียบผลการทดลอง

ในวิทยานิพนธ์นี้ เทคนิคการป้อนกลับแบบ CP Controller ที่ปรับปรุงมาจาก P Controller ร่วมกับระบบชดเชยแบบ HDOB CP Controller ดังกล่าวนั้นได้เปรียบเทียบกับตัวป้อนกลับที่ได้รับ การยอมรับ คือ PID Controller ซึ่งในฟังก์ชันของการป้อนกลับและระบบชดเชยนั้นมีการประยุกต์ใช้ ตัวกรองความถี่ต่ำด้วยการ โพรแกรม (LPF) อีกด้วย และในส่วนสุดท้าย คือ การนำเสนอการควบคุม แบบ 2 ทิศทาง โดยการประยุกต์ใช้ระบบ HDOB เช่นกัน เทคนิคที่นำเสนอทั้งหมดนั้นใช้หน่วยประมวลผล FPGA และวงจรที่เป็น Digital ทั้งระบบ โดยการเปรียบเทียบเอาต์พุตต่างๆ สามารถดูได้จากไดอะแกรมในภาพที่ 3.9 ได้มีการเปรียบเทียบดังนี้



ภาพที่ 3.12 ไลอะแกรมขั้นตอนการทดลอง

จากภาพที่ 3.12 ส่วนแรก คือ LPF หรือตัวกรองความถี่ต่ำผ่านด้วยการโปรแกรม จากที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 ข้างต้น LPF ออกแบบเพื่อลดสัญญาณรบกวนและเพิ่มความละเอียดในการควบคุมสำหรับ Sensor Digital ระบบที่งานวิจัยนี้ออกแบบนั้น คือ การ Simulation ฟังก์ชัน LPF บน MATLAB และเพื่อยืนยันความถูกต้องการในเขียนฟังก์ชันที่ต้องการในเขียนโปรแกรมด้วย FPGA นั้นจะเปรียบเทียบผลลัพธ์จาก FPGA ด้วย MATLAB

ส่วนที่สอง คือ ระบบชดเชยแบบ HDOB ที่นำเสนอ คือ การเปรียบเทียบค่า Output ด้วย Input และเปรียบเทียบค่าที่ประมาณได้ชดเชยสู่ระบบเพื่อลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น ดังนั้นการเปรียบเทียบระบบชดเชยแบบ HDOB นั้นเปรียบเทียบด้วยการออกโปรแกรมให้ใช้และไม่ใช้ระบบดังกล่าว ร่วมกับตัวป้อนกลับที่นิยม คือ PID Controller และ CP Controller นอกจากนั้น เมื่อติดตั้งแผ่นอะลูมิเนียมหรือการทดสอบการควบคุมบนผิววัสดุนั้น ก็จะมีการเปรียบเทียบเช่นเดิมอีก

ส่วนที่สาม คือ ตัวป้อนกลับแบบ CP Controller คือ การประยุกต์มาจาก P Controller โดยอาศัยคุณสมบัติเด่น คือ มีผลการตอบสนองที่เร็วและออกแบบง่าย การปรับปรุง คือ การลด Overshoot ดังนั้นการเปรียบเทียบ ส่วนแรก คือ การเปรียบเทียบระหว่าง P และ CP Controller เพื่อเปรียบเทียบการปรับปรุงของ CP Controller และส่วนที่ 2 คือ การเปรียบเทียบระหว่าง PID Controller เนื่องด้วย

PID Controller เป็นตัวป้อนกลับที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีและได้รับการยอมรับ โดยทุกการเปรียบเทียบนั้นจะใช้ร่วมกับระบบชดชชชแบบ HDOB

ส่วนสุดท้าย คือ การควบคุมแบบ 2 ทิศทาง หรือ Bilateral Controller การควบคุมแบบดังกล่าวนี้วัตถุประสงค์เพื่อให้ Output Temperature ทั้ง 2 ด้าน นั้นมีค่าที่เท่ากัน ระบบจึงเปรียบเทียบค่าทั้ง 2 อยู่ตลอดเวลาและป้อนกลับเพื่อชดชชชให้ใกล้เคียงกันเสมอ

จากการเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอข้างต้น ผลการทดลองต่างๆ แสดงดังบทที่ 4



บทที่ 4

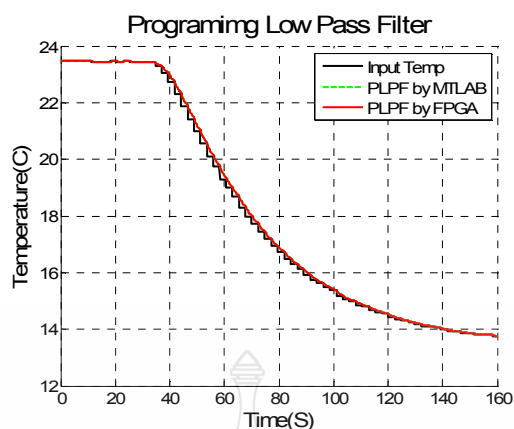
ผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ คือ การนำเสนอตัวชดเชยแบบ HDOB ร่วมกับเทคนิคการป้อนกลับแบบต่างๆ และนำเสนอเทคนิคการป้อนกลับแบบ CP Controller ร่วมกับระบบ HDOB ด้วยการใช้หน่วยประมวลผลแบบ FPGA ด้วยวงจรควบคุมทั้งหมดแบบ Digital ระบบชดเชยแบบ HDOB นั้นประยุกต์มาจากการควบคุมในศาสตร์ของ Motion Controller และ ในส่วน CP Controller นั้น คือ การปรับแต่งตัวควบคุมแบบ P Controller นั้นเอง นอกจากนี้ระบบยังได้มีการประยุกต์การโปรแกรม LPF ด้วย FPGA ซึ่งมีการประยุกต์ใช้งาน 2 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนแรก สำหรับ Digital Temperature Sensor เพื่อลดสัญญาณรบกวนจาก Sensor หรือสายนำสัญญาณ และเพิ่มจำนวน Bit ของทศนิยมของตัว Sensor เพื่อให้การควบคุมนั้นมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น และส่วนที่สอง คือ การประยุกต์ใช้ในส่วนของ HDOB เพื่อลดสัญญาณรบกวนจาก Output ของระบบที่เข้ามาเป็นปัจจัยในการรบกวนนั่นเอง

นอกจากนำเสนอการควบคุมอุณหภูมิด้วย Peltier ด้วยเทคนิคการป้อนกลับและการชดเชยข้างต้นแล้ว งานวิจัยนี้ยังนำเสนอการควบคุมแบบ 2 ทิศทาง หรือ Bilateral Controller ระบบได้ประยุกต์ใช้ HDOB เช่นเดียวกับที่กล่าวข้างต้น และใช้หลักการควบคุมอุณหภูมิแบบ Difference Mode Temperature เพื่อต้องการให้ผลลัพธ์อุณหภูมิที่เท่ากัน และใช้ Common Mode Heat ในส่วนของการป้อนกลับนั้น ใช้เทคนิคแบบพื้นฐาน คือ P Controller เนื่องด้วยต้องการผลการตอบสนองที่รวดเร็ว จากวิธีที่นำเสนอข้างต้นนั้น ความถูกต้องสามารถยืนยันได้จากผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 การกรองความถี่ต่ำผ่านการโปรแกรม FPGA

การกรองความถี่ต่ำผ่านการโปรแกรมด้วย FPGA นั้น คือ การนำอัลกอริทึมของทรานเฟอร์ฟังก์ชันของ LPF นั้นเขียนโปรแกรมใน FPGA ด้วยภาษา VHDL โดยการทดลองนั้นได้มีการนำค่าจาก Digital Temperature Sensor ส่งค่าเพื่อจำลองใน MATLAB เพื่อเป็นการยืนยันอัลกอริทึมใน FPGA นั้นถูกต้องหากมีผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นที่เปรียบเทียบระหว่าง Temperature Input, Temperature LPF บน MATLAB และ Temperature LPF บน FPGA แสดงดังภาพที่ 4.1

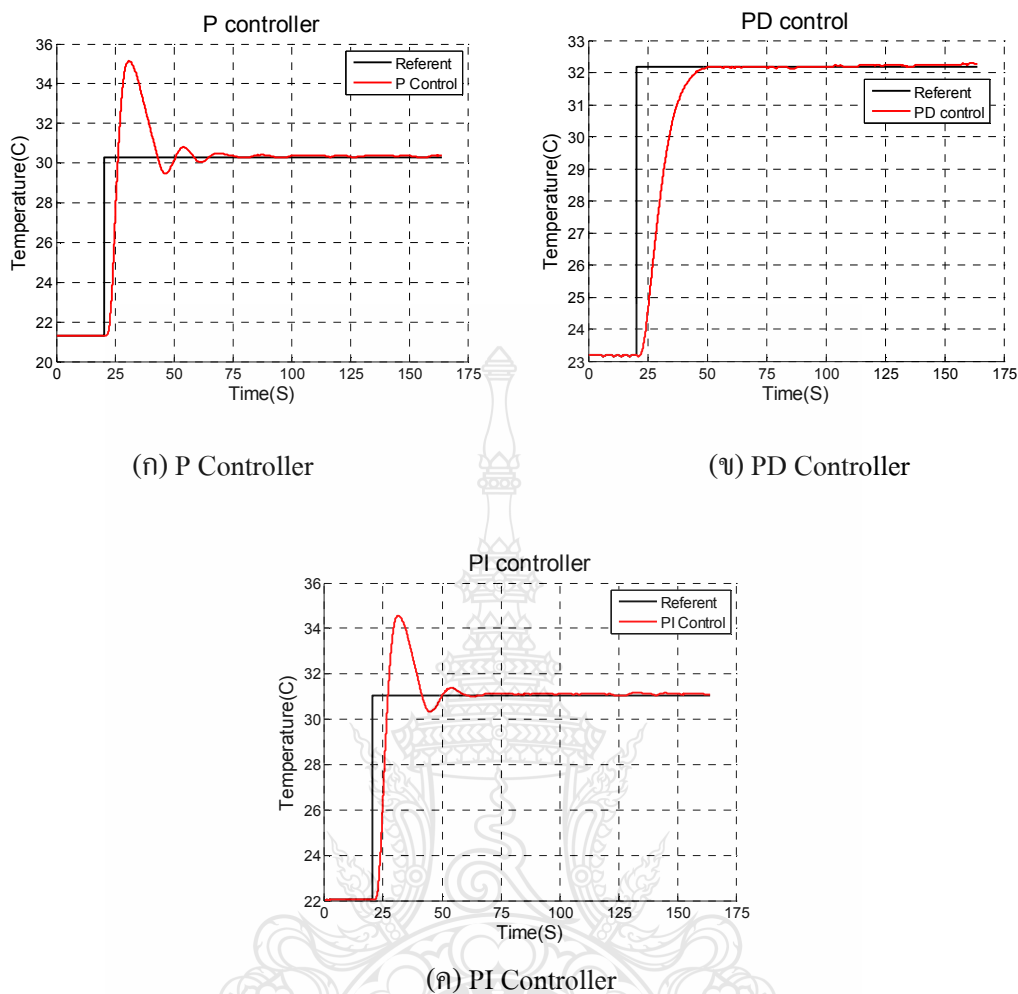


ภาพที่ 4.1 การทดลอง LPF บน MATLAB เปรียบเทียบกับ FPGA

จากการทดลอง ผลปรากฏว่าการใช้ LPF บน MATLAB และ FPGA นั้น ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเป็นการยืนยันได้ว่า การโปรแกรม LPF บน FPGA นั้นถูกต้อง ดังนั้นฟังก์ชันโปรแกรมดังกล่าวจึงเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมควบคุมเพื่อเสถียรภาพของระบบ ซึ่งได้แสดงในหัวข้อ 4.2

4.2 ผลทดสอบป้อนกลับแบบต่างๆ ร่วมกับ HDOB

ระบบ HDOB นั้น คือ ตัวชดเชย คือ สัญญาณรบกวนต่างๆ เข้าสู่ระบบ หรือการออกแบบระบบที่ Non Linear เพื่อให้ Liner นั้นเอง เพื่อเสถียรภาพของระบบ อย่างไรก็ตามจากที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 ระบบชดเชยดังกล่าวยังคงเป็นระบบเป็น Open Loop ดังนั้น จึงได้มีการทดสอบ ตัวป้อนกลับแบบต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วย P, PD, PI และ ที่สำคัญสุด คือ PID Controller ซึ่งผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ตัวป้อนกลับแบบ P, PD และ PI Controller ร่วมกับระบบชดเชยแบบ HDOB

จากภาพสังเกตได้ว่า

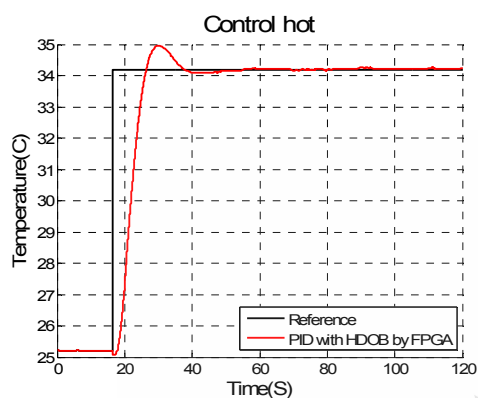
ภาพที่ 4.2 (ก) P Controller มี Overshoot ที่สูง แต่มีเวลาเริ่มที่เร็ว และง่ายต่อการออกแบบ

ภาพที่ 4.2 (ข) PD Controller สามารถลด Overshoot ได้ทั้งหมด แต่มีเวลาเริ่มที่ช้า และการออกแบบซับซ้อนกว่า P Controller

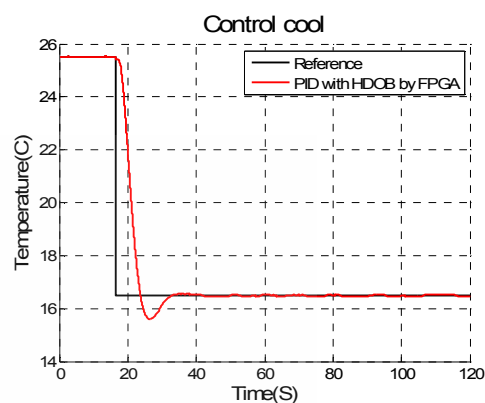
ภาพที่ 4.2 (ค) PI Controller มี Overshoot ที่สูงเช่นเดียวกับ P Controller แต่ได้เวลาคงตัวที่ดีกว่า และการออกแบบซับซ้อนกว่า P Controller

จากตัวป้อนกลับแบบ P, PD, PI Controller ข้างต้น จึงทดลองตัวป้อนกับแบบ PID Controller ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.3 สามารถลด Overshoot ได้และมีเวลาเริ่มที่ค่อนข้างเร็ว แต่ยังช้ากว่า

แบบ P Controller และมีการออกแบบค่อนข้างซับซ้อนที่สุด เนื่องจาก PID Controller ต้องเลือกค่าอัตราขยาย K_p , K_i และ K_d ซึ่งจะต้องปรับแต่งให้เหมาะสม



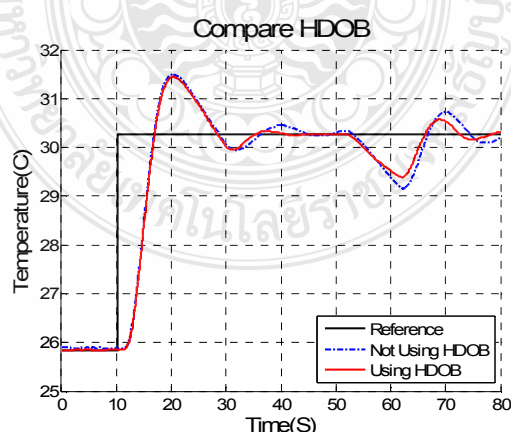
(ก) PID Controller Control Hot



(ข) PID Controller Control Cool

ภาพที่ 4.3 ตัวป้อนกลับแบบ PID Controller ร่วมกับตัวชดเชยแบบ HDOB

เพื่อทดสอบการชดเชยแบบ HDOB งานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดสอบโดยการใช้แผ่นอะลูมิเนียมจากภายนอกเข้ามาสัมผัสที่หน้า Peltier เพื่อทดสอบเมื่อมีปัจจัยเข้ามารบกวนระบบ ณ เวลาประมาณ 50-70 วินาที ดังแสดงดังภาพที่ 4.4 คือ การเปรียบเทียบตัวป้อนกลับแบบ PID Controller ที่มีการใช้ร่วมกับ HDOB และไม่ใช่ระบบ HDOB



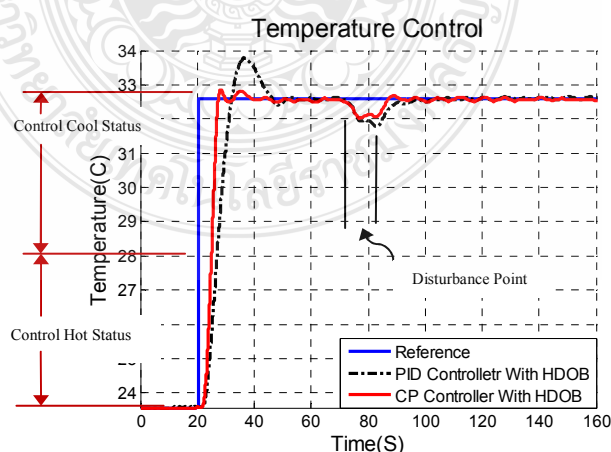
ภาพที่ 4.4 ตัวป้อนกลับแบบ PID Controller ร่วมกับตัวชดเชยแบบ HDOB และไม่ใช่ระบบ HDOB

จากภาพที่ 4.4 จึงสรุปได้ว่าการใช้ตัวชดเชยแบบ HDOB นั้นจะส่งผลให้ระบบควบคุมมีเสถียรภาพมากขึ้น กล่าวคือ เข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิงได้ดีกว่า และเมื่อมีปัจจัยภายนอกมารบกวนก็จะออกจากตำแหน่งอ้างอิงน้อยกว่าและกลับสู่ตำแหน่งอ้างอิงได้เร็วกว่า จึงสามารถยืนยันได้ว่าระบบชดเชยแบบ HDOB นั้นส่งผลให้ระบบเสถียรภาพยิ่งขึ้น

จากข้อดี ข้อด้อย ของตัวควบคุมข้างต้น งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอตัวควบคุมใหม่สำหรับควบคุมอุณหภูมิ ที่เรียกว่า CP Controller โดยการปรับปรุงจาก P Controller ที่มีคุณสมบัติการตอบสนองที่รวดเร็วและง่ายต่อการออกแบบ ที่ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า PID Controller ซึ่งมีการออกแบบที่ซับซ้อนกว่า ซึ่งอธิบายในหัวข้อ 4.3

4.3 ตัวป้อนกลับแบบ CP Controller ร่วมกับตัวชดเชยแบบ HDOB

CP Controller (Customization Proportion Controller) นั้น คือ ตัวควบคุมที่ปรับแต่งมาจาก P Controller โดยการควบคุมแบบกลับสถานะของ Peltier เพื่อลด Overshoot ของระบบ โดยการทดลองในงานวิจัยนี้คือ การควบคุมด้านร้อน ตั้งแต่จุดเริ่มต้นจนถึงจุดกึ่งกลางของอุณหภูมิที่ต้องการ และกลับสถานะของ Peltier ให้เป็นด้านเย็นเพื่อหยุดด้านร้อนของ Peltier ที่ร้อนอยู่ที่อุณหภูมิอ้างอิงหรืออุณหภูมิที่ต้องการ (Command Temperature) การกลับสถานะของ Peltier นั้น คือ การเปลี่ยนทิศทางกระแสที่จ่ายให้กับ Peltier (ลักษณะเช่นเดียวกับการกลับทิศทางของ DC มอเตอร์) การเปลี่ยนทิศทางกระแสนั้น งานวิจัยนี้ได้มีการออกแบบวงจร H-Bridge Current Driver สำหรับขับกระแสและเปลี่ยนทิศทางให้กับ Peltier ดังกล่าว ความถูกต้องของวิธีที่นำเสนอดังกล่าวสามารถยืนยันได้จากผลการทดลองซึ่งแสดงอยู่ในภาพที่ 4.5



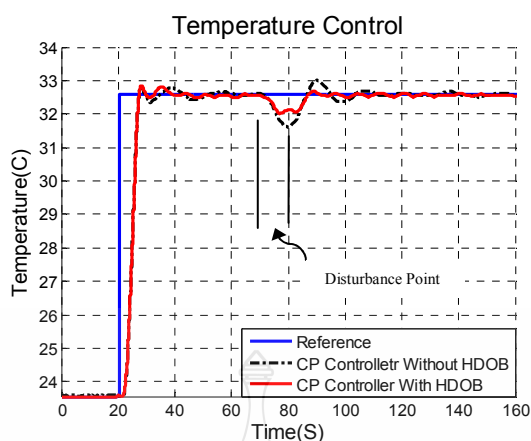
ภาพที่ 4.5 ผลการทดลองการเปรียบเทียบระหว่าง CP Controller และ PID Controller

จากภาพที่ 4.5 เห็นได้ว่า CP Controller มีเวลาเริ่มที่ดีกว่าค่า และ มี Overshoot ที่ต่ำกว่า จากช่วงเวลา 70-80 วินาที เมื่อมีสัญญาณภายนอก (Disturbance Point) เข้ามารบกวนการควบคุม ระบบ CP Controller ให้ผลตอบสนองที่ดีกว่า เนื่องจากยังคงคุณสมบัติของ P Controller ซึ่งมีผลตอบสนองที่เร็ว นอกจากนี้ CP Controller ยังมีการออกแบบที่ง่ายกว่า PID Controller เนื่องจาก CP Controller มีการเลือกอัตราขยาย (K_p) ในการควบคุมเพียงค่าเดียว ในขณะที่ PID Controller ต้องมีการเลือกค่าอัตราขยาย (K_p , K_i , K_d) ที่เหมาะสมและต้องหาทฤษฎีอ้างอิงค่าอัตราขยายที่เลือกดังกล่าว จากวิธีที่นำเสนอสามารถสรุปได้ว่า CP Controller นั้นให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าและมีการออกแบบที่ง่ายกว่า PID Controller ซึ่งพารามิเตอร์หรืออัตราขยายต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์และอัตราขยายของตัวควบคุม CP Controller และ PID Controller

Parameter	Value
K_{pst}	1.5
K_{psp}	10
K_p	0.1
K_i	0.24
K_p	0.05
g_{dis}	π (rad / s)
C_p	0.8 (W / K)
α	0.0127 (V / K)
U_{max}	3.3 V
I_{max}	8.5 A

เพื่อยืนยันว่าเทคนิคที่นำเสนอ CP Controller ร่วมกับ HDOB งานวิจัยนี้จะได้ทดลอง CP Controller ระหว่างการใช้ระบบชดเชยแบบ HDOB และ ไม่ใช้ระบบดังกล่าว ผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 CP Controller เปรียบเทียบระหว่างการใช้ HDOB และไม่ใช่ HDOB

จากภาพที่ 4.6 คือ การควบคุมด้วยตัวป้อนกลับแบบ CP Controller ร่วมกับระบบชดเชยแบบ HDOB และไม่ใช่ระบบ HDOB การทดสอบจะเห็นได้ว่า ระบบที่ใช้ HDOB นั้นสามารถควบคุมให้อยู่ที่จุดอ้างอิงได้ดีกว่าไม่ใช่ระบบดังกล่าว และที่เวลาประมาณ 70 วินาที ได้ทดสอบโดยการใช้แผ่นอะลูมิเนียมสัมผัสไปที่ผิวของ Peltier เพื่อทดสอบปัจจัยการรบกวนจากภายนอกเข้าสู่ระบบ จากผลการทดลองก็เป็นไปตามทฤษฎีที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 คือ ระบบชดเชยแบบ HDOB นั้นให้ผลลัพธ์ควบคุมที่ดีกว่า

4.4 ตัวป้อนกลับแบบ CP Controller ร่วมกับตัวชดเชยแบบ HDOB บนผิววัสดุ

เพื่อทดสอบเทคนิคการป้อนกลับแบบ CP Controller และระบบชดเชยแบบ HDOB งานวิจัยนี้จะได้มีการทดสอบติดตั้งแผ่นอะลูมิเนียมเพื่อทดสอบ การใช้เทคนิคดังกล่าวในการควบคุมอุณหภูมิบนผิววัสดุ และเพื่อทดสอบเทคนิคดังกล่าวในกรณีที่มีโหลดเข้ามาในระบบ

วิธีที่นำเสนอ คือ CP Controller ควบคุมอุณหภูมิบนผิวอะลูมิเนียมสามารถยืนยันได้จากหลายผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.7 อุณหภูมิที่ต้องการ คือ อุณหภูมิที่ต่างจากอุณหภูมิห้อง 8 องศา เนื่องจากเป็นช่วงอุณหภูมิที่ให้ผลลัพธ์การควบคุมที่ดีที่สุดสำหรับ Peltier รุ่นที่ใช้ในงานวิจัยนี้ พารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับการควบคุมแสดงอยู่ในตารางที่ 3.2

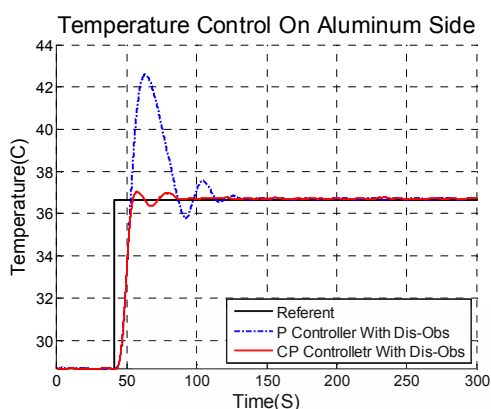
ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์และอัตราขยายสำหรับตัวควบคุม CP Controller และ PID Controller บนพีวอะลูมิเนียม

Parameter	Value
K_{pst}	1.5
K_{psp}	4
K_p	0.1
K_i	0.15
K_d	0.5

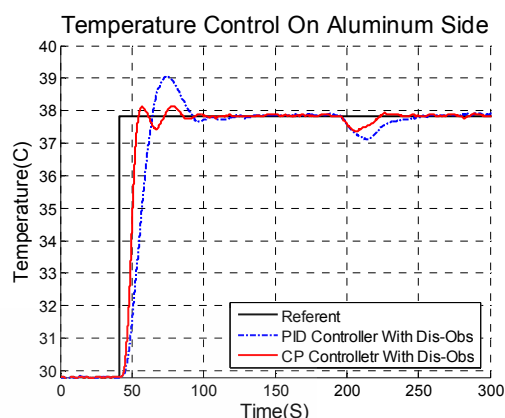
วิธีที่นำเสนอ ในส่วนที่ 1 CP Controller คือ เปลี่ยนทิศทางของกระแสเพื่อลด Overshoot ของระบบควบคุม ด้วยวิธีการดังกล่าวผลการทดลอง P Controller เปรียบเทียบกับ CP Controller แสดงอยู่ในภาพที่ 4.7 (ก) วิธีการที่นำเสนอ นั้นยังคงรักษาคุณสมบัติของ P Controller ซึ่งเป็นวิธีที่มีผลตอบสนองที่เร็วเมื่อเปรียบเทียบกับ PID Controller ดังแสดงในภาพที่ 4.7 (ข) ณ เวลา 200 วินาที การทดลองได้ใช้ Peltier สัมผัสไปที่แผ่นอะลูมิเนียมเพื่อทดสอบการรบกวนจากภายนอกสำหรับการควบคุม CP Controller นั้นมีผลตอบสนองตำแหน่งอ้างอิงที่ดีกว่า PID Controller เช่นกัน

ในส่วนของ HDOB ภาพที่ 4.7 (ค) คือ การเปรียบเทียบระหว่างการใช้อัตราขยายแบบ HDOB และไม่ใช่ระบบดังกล่าว จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้ระบบชดเชยแบบ HDOB ให้ผลตอบสนองการควบคุมที่ระดับอ้างอิงได้ดีกว่าการไม่ใช่ตัวชดเชยดังกล่าว จากภาพที่ 4.7 (ง) คือ การทดลองสัญญาณภายนอกที่รบกวนเข้ามาในระบบที่เวลาประมาณ 200 วินาที เช่นกัน จะเห็นได้ว่าการไม่ใช่ระบบชดเชยแบบเมื่อควบคุมอุณหภูมิที่ระบบมีภาระโหลด (แผ่นอะลูมิเนียม) ทำให้การควบคุมนั้นไม่ได้เสถียรภาพ (Unstable) หรือเข้าสู่ระดับอ้างอิงได้ช้ากว่าการตัวชดเชยแบบ HDOB

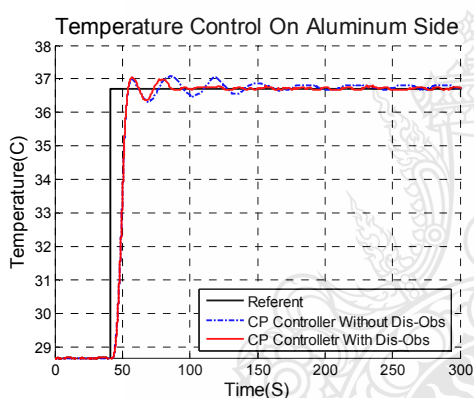
จากวิธีที่นำเสนอ CP Controller + HDOB สามารถสรุปได้ว่า CP Controller คือ การปรับปรุง P Controller ที่มี Overshoot สูง และยังคงคุณสมบัติของ P Controller ไว้ คือ มีผลตอบสนองที่เร็ว และวิธีที่นำเสนอได้มีการประยุกต์ใช้ HDOB เพื่อประมาณค่า Heat ที่เข้ามารบกวนระบบและเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าเข้าไปชดเชยในระบบควบคุมเพื่อเสถียรภาพของระบบโดยใช้หน่วยประมวลผลความเร็วสูงแบบ FPGA และวงจรควบคุมที่เป็น Digital จากวิธีที่นำเสนอดังกล่าวสามารถยืนยันได้จากผลการทดลองในภาพที่ 4.7



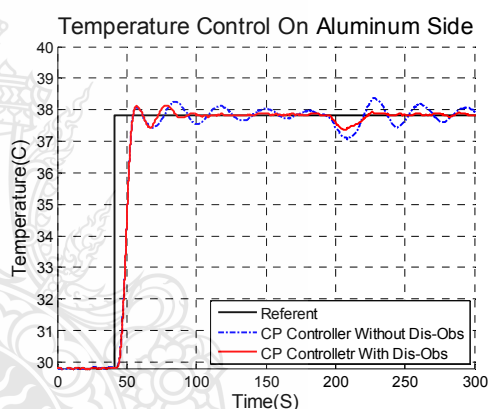
(ก) การเปรียบเทียบการป้อนกลับระหว่าง
CP Controller และ P Controller



(ข) การเปรียบเทียบการป้อนกลับระหว่าง
CP Controller และ PID Controller มี
โหลดภายนอกเข้ามารบกวนระบบ



(ค) CP Controller ร่วมกับ HDOB และไม่ใช่
HDOB



(ง) การเปรียบเทียบระหว่างการใช้ตัวควบคุม
แบบ HDOB ณ เวลาประมาณ 200 วินาทีจาก
จุดเริ่มต้นมีสัญญาณภายนอกเข้ามารบกวน
ระบบ

ภาพที่ 4.7 ผลการทดลอง P, PID และ CP Controller ร่วมกับ HDOB บนแผ่นอะลูมิเนียม

จากการทดสอบข้างต้น จะเห็นได้ว่า P Controller นั้นเมื่อมีโหลดเข้ามาในระบบหรือแผ่นอะลูมิเนียม จะทำให้มี Overshoot สูงมาก เนื่องด้วยผิวของแผ่นอะลูมิเนียมนั้นยังคงที่จากจุดอ้างอิงไป และใช้เวลานานในการที่จะกลับสู่ตำแหน่งอ้างอิงและสาเหตุที่ทำให้มี Overshoot สูงเนื่องจากการควบคุมที่มีโหลดนั้นต้องใช้อัตราการขยายที่สูง จะส่งผลให้มี Overshoot สูงตามมาด้วย ผลการทดลอง

จะเห็นได้ว่า CP Controller นั้นสามารถลด Overshoot ดังกล่าวได้จึงส่งผลให้เข้าสู่ระดับอ้างอิงได้เร็วกว่า การเปรียบเทียบระหว่าง P และ CP Controller นั้นเพื่อแสดงให้เห็นว่าความแตกต่างที่ CP Controller ประยุกต์มาจาก P Controller

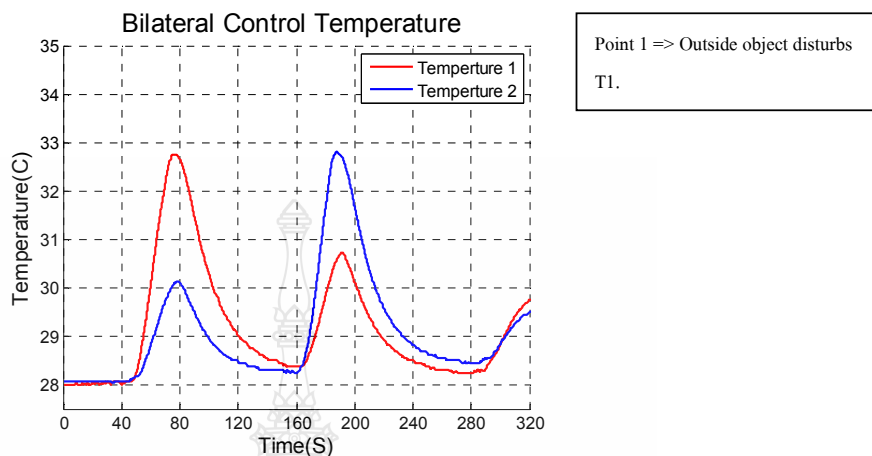
ตัวป้อนกลับแบบ PID Controller นั้นได้รับการยอมรับว่าเป็นตัวป้อนกลับที่ให้ผลลัพธ์ดีและนิยมใช้ จากผลการทดลองนั้น งานวิจัยนี้จึงเปรียบเทียบตัวป้อนกลับที่นำเสนอ CP Controller เปรียบเทียบกับ PID Controller ในการควบคุมอุณหภูมิบนผิวอะลูมิเนียมด้วย Peltier จากการทดลองสรุปได้ว่า CP Controller นั้นเวลาในการเริ่มต้นที่ดีกว่าและเมื่อมีวัตถุภายนอกมารบกวนระบบ CP Controller นั้นก็ออกจากตำแหน่งอ้างอิงที่น้อยกว่าและกลับสู่ตำแหน่งอ้างอิงที่เร็วกว่า เนื่องจากคุณสมบัติของ CP Controller ที่ประยุกต์มาจาก P Controller ที่ให้ผลการตอบสนองที่เร็วกว่า PID การปรับแต่ง P Controller คือ การปรับแต่งเพื่อลด Overshoot ของระบบนั่นเอง จากการทดลองสามารถยืนยันเทคนิคการควบคุมที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 และ 3

เทคนิคที่นำเสนอ นั้น นอกจากเทคนิคการป้อนกลับแบบ CP Controller แล้ว งานวิจัยนี้ได้แนะนำตัวชดเชยแบบ HDOB บนผิววัสดุด้วย จากที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.4 และ 2.8 คือ การสรุปให้ไหลลด หรือวัสดุที่ติดตั้งอยู่บนเทอร์โมอิเล็กทริกหรือ Peltier นั้น คือ การรบกวนจากภายนอกประเภทหนึ่ง ทฤษฎีดังกล่าวนี้ สามารถยืนยันได้จากการทดลองข้างต้น ดังภาพที่ 4.7 (ก) และ (ง) สามารถสรุปได้ว่า การใช้ตัวชดเชยแบบ HDOB นั้นในสถานะที่มีไหลลด หรือวัสดุอะลูมิเนียม ให้ผลลัพธ์ในการควบคุมอุณหภูมิที่จุดอ้างอิงได้ดีกว่า และเมื่อมีปัจจัยภายนอกมารบกวนระบบการใช้ระบบชดเชยแบบ HDOB นั้นก็จะรักษาระดับอ้างอิงได้ดีกว่า

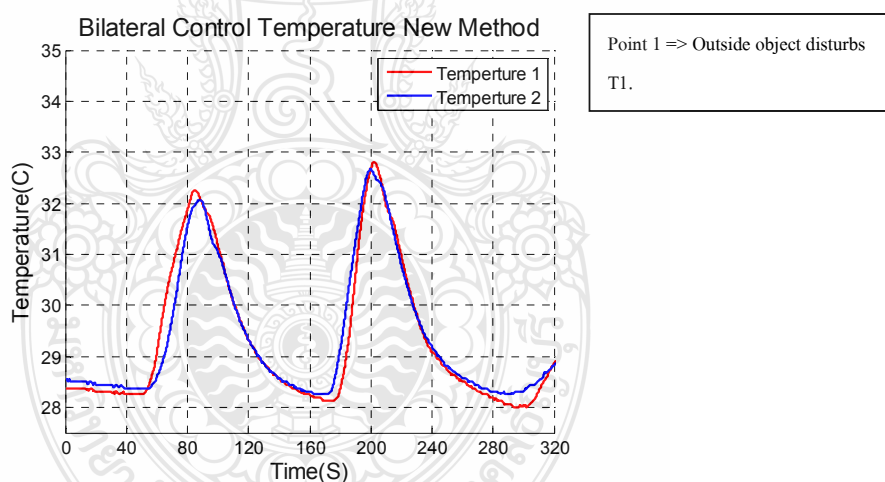
4.5 การควบคุมอุณหภูมิแบบ 2 ทิศทาง

เทคนิคการควบคุมอุณหภูมิแบบ 2 ทิศทางนั้น ได้อธิบายหลักการไว้ดังหัวข้อที่ 2.9 โดยผลลัพธ์จากบล็อกไดอะแกรมภาพที่ 2.13 ด้วยการโปรแกรมด้วย FPGA นั้นแสดงดังภาพที่ 4.8 (ก) กราฟสีแดง คือ T1 ในประมาณ 40-80 วินาที นั้น คือ การทดลองมีปัจจัยภายนอกเข้าไปสัมผัสที่ระบบหรือสัมผัสที่ Peltier กราฟสีน้ำเงินหรือ T2 มีการเปลี่ยนแปลงค่าเพื่อให้เข้าใกล้ อุณหภูมิของ T1 ที่มีการเปลี่ยนแปลง และเวลาประมาณ 160-200 วินาที ก็เช่นเดียวกัน คือ มีปัจจัยภายนอกเข้ามาสัมผัสที่ T2 และ T1 มีการเปลี่ยนแปลงค่าเพื่อเข้าใกล้ T2 จากการทดสอบจะเห็นได้ว่า ค่าการเปลี่ยนแปลงระหว่าง T1 และ T2 ค่อนข้างมาก ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอ การเพิ่มอัตราการด้วยการป้อนกลับจาก เอาต์พุต อุณหภูมิ เพื่อให้การเปลี่ยนแปลงค่านั้น มี ERROR ที่น้อยกว่าวิธีเดิม ดังแสดงใน

บล็อกรายละเอียดภาพที่ 2.14 ดังนั้นความถูกต้องของวิธีที่นำเสนอดังกล่าวสามารถยืนยันได้จากภาพที่ 4.8 (ข)



(ก) ผลการทดลองการควบคุมอุณหภูมิแบบ 2 ทิศทาง



(ข) ผลการทดลองการควบคุมอุณหภูมิแบบ 2 ทิศทาง แบบป้อนกลับจากอุณหภูมิ Output

ภาพที่ 4.8 การควบคุมอุณหภูมิแบบ 2 ทิศทาง ด้วยระบบ HDOB

จากผลการทดลองระบบ 2 ทิศทาง แบบป้อนกลับจาก Output ข้างต้นนั้น จะเห็นได้ว่าระบบมีค่า ERROR น้อยลง เนื่องด้วยการป้อนกลับค่าอุณหภูมิจาก Output ด้วยค่าอัตราขยายที่เหมาะสมนั้นจะส่งผลให้ได้ผลลัพธ์ของการอ้างอิงอุณหภูมิแต่ละส่วนที่ดีขึ้น

4.6 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองข้างต้นนั้นประกอบด้วยหลายส่วนด้วยกัน ดังนี้

ส่วนแรก การทดลองการโปรแกรมตัวกรอง LPF ด้วย FPGA หรือ PLPF ตัวกรองดังกล่าว นั้นมีความสำคัญการออกแบบ คือ ส่วนแรก ในส่วนของ Digital Temperature Sensor LPF นั้นจะช่วยในการลดสัญญาณรบกวนความถี่สูง เช่น การรบกวนที่เกินจากสายนำสัญญาณ หรือจุดต่อต่างๆ เป็นต้น และส่วนที่สำคัญ LPF ที่ Sensor อีกปัจจัยหนึ่ง คือ Digital Sensor ที่ใช้นั้นเป็นเบอร์ที่มีทศนิยมขนาด 4 Bit นั้นหมายความว่า การเปลี่ยนแปลงแต่ละสแต็ปนั้นจะอยู่ที่ 0.0625 องศา การโปรแกรม LPF ด้วย FPGA นั้นมีการประยุกต์ใช้งานถึง 32 Bit ทำให้การเปลี่ยนแปลงแต่ละสแต็ปมีความละเอียดสูง ส่งผลให้การควบคุมหรือการป้อนกลับนั้นมีความละเอียดสูงตามด้วย ส่งผลให้ระบบมีเสถียรภาพในการควบคุม ซึ่งการโปรแกรม LPF ด้วย FPGA นั้นยืนยันความถูกต้องของฟังก์ชันด้วยการเปรียบเทียบผลการทดลองกับโปรแกรม MATLAB ผลการทดลองดังกล่าวแสดงดังภาพที่ 4.1

ส่วนที่ 2 คือ การทดลองการป้อนกลับแบบต่างๆ คือ P PD PI และ PID Controller ร่วมกับตัวชดเชย HDOB ด้วยการโปรแกรมด้วย FPGA เพื่อเป็นการเปรียบเทียบข้อเด่น ข้อด้อย ของตัวป้อนกลับแบบต่างๆ และได้มีการเปรียบเทียบตัวระบบที่ใช้ HDOB และไม่ใช้ระบบดังกล่าว เพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์เมื่อมีปัจจัยภายนอกเข้ามารบกวน ร่วมกับตัวป้อนกลับแบบ PID Controller จากกราฟผลการทดลองสรุปได้ว่า การใช้ระบบ HDOB นั้น ให้ผลลัพธ์ในที่จุดอ้างอิงได้ดีกว่าการไม่ใช้ระบบดังกล่าว จึงสามารถยืนยันได้ว่าระบบชดเชยแบบ HDOB ที่กล่าวไว้ตามทฤษฎีที่สามารถชดเชยปัจจัยการรบกวนต่างๆ ได้นั้นเป็นไปตามทฤษฎีดังกล่าว

ส่วนที่ 3 คือ การพัฒนาเทคนิคการป้อนกลับ โดยการปรับแต่งตัวป้อนกลับแบบ P Controller และใช้ชื่อใหม่ คือ CP Controller ตัวป้อนกลับดังกล่าวนี้ใช้คุณสมบัติเด่นของ P Controller ที่มีผลการตอบสนองที่เร็วและออกแบบง่าย และปรับแต่งเพื่อลด Overshoot ซึ่งเป็นจุดเสียของ P Controller นั้นเอง จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับ PID Controller นั้นให้ความรวดเร็วในการตอบสนองเมื่อมีปัจจัยภายนอกมารบกวนระบบได้ดีกว่า และมีเวลาเริ่มที่เร็วกว่าอีกด้วย นอกจากนี้ CP Controller นั้นยังได้ออกแบบให้ใช้ร่วมกับระบบชดเชยแบบ HDOB เช่นกัน จากผลการทดสอบการใช้ระบบ HDOB และไม่ใช้ระบบดังกล่าวร่วมกับเทคนิค CP Controller นั้น การใช้ระบบชดเชยแบบ HDOB ให้ผลลัพธ์ในการอ้างอิงตำแหน่งได้ดีกว่าเมื่อมีปัจจัยภายนอกเข้ามารบกวนระบบ

ส่วนที่ 4 เพื่อการทดสอบเทคนิคการป้อนกลับ CP Controller และระบบชดเชยแบบ HDOB กับการควบคุมที่มีโหลดหรือควบคุมบนผิวของอุปกรณ์ จึงติดตั้งแผ่นอะลูมิเนียมเพื่อทดสอบ

และสรุปตามทฤษฎีว่า แผ่นอะลูมิเนียม นั้น คือ สัญญาณรบกวนแบบหนึ่งที่มีประมาณค่าด้วยระบบ HDOB และชดเชยเข้าสู่ระบบ จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า CP Controller นั้นให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า PID Controller ที่นิยมใช้อย่างชัดเจน และระบบชดเชยแบบ HDOB ก็เช่นเดียวกัน ในการควบคุมที่มีโหลดนั้นจะส่งผลให้ระบบสั้นได้ง่ายมีโหลดสูง ระบบชดเชยแบบ HDOB สามารถประมาณค่าสั่งดังกล่าวและชดเชยสู่ระบบส่งผลให้การควบคุมอ้างอิงตำแหน่งได้ดีขึ้นอย่างชัดเจนเช่นกัน อาจจะกล่าวได้ว่าระบบชดเชยแบบ HDOB นั้น คือ การประมาณค่าระบบที่ Non Linear ให้เป็น Linear ได้

ส่วนสุดท้าย คือ การนำเสนอการควบคุมแบบ 2 ทิศทาง โดยใช้ระบบชดเชยแบบ HDOB ร่วมด้วย การควบคุมแบบ 2 ทิศทางแบบ Real Time จำเป็นต้องมีหน่วยประมวลผลที่เหมาะสม ดังนั้นเป็นเหตุผลให้งานวิจัยนี้ เลือกหน่วยประมวลผลแบบ FPGA เนื่องด้วยหน่วยประมวลผลดังกล่าวนี้เป็นหน่วยประมวลผลความเร็วสูงและประมวลผลแบบขนาน การออกแบบระบบแบบ Real Time หรือการควบคุมแบบ 2 ทิศทาง ที่มีการประยุกต์ใช้ระบบชดเชยแบบ HDOB ดังนั้น FPGA จะเหมาะสมกับการออกแบบระบบดังกล่าว หรือต่อไปในอนาคตหากมีการพัฒนาการควบคุมมากกว่า 2 ทิศทาง FPGA ก็ยังคงเหมาะสมเช่นกัน การควบคุมแบบ 2 ทิศทาง ที่นำเสนอ นั้น ได้มีการพัฒนาด้วยการป้องกันจาก เอาต์พุต อุณหภูมิ เนื่องจากปัญหาที่มี ERROR ค่อนข้างสูงอีกด้วย

ผลการทดลองทั้งหมดข้างต้นนั้น สามารถยืนยันเทคนิคที่นำเสนอทั้งหมดได้ และจากเทคนิคที่นำเสนอ นั้นสามารถเป็นแนวทางการพัฒนาการควบคุมอุณหภูมิ หรืออุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก อื่นๆ ที่มีคุณสมบัติคล้ายกับ Peltier รวมถึงเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบ Haptic ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญของการทำวิทยานิพนธ์นี้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากเทคนิคที่นำเสนอข้างต้นนั้น ส่วนแรก ระบบชดเชยแบบ HDOB จากทฤษฎีที่นำเสนอ ระบบชดเชยดังกล่าวนั้น คือ การเปรียบเทียบค่า Output ด้วย Input และประมาณค่าส่วนต่างเพื่อเปลี่ยนเป็นกระแสชดเชยระบบนั่นเอง ซึ่งความถูกต้องของวิธีการดังกล่าวนี้สามารถยืนยันได้จากผลการทดลอง กล่าวคือ ระบบชดเชยแบบ HDOB นั้น สามารถรักษาระดับอ้างอิงได้ดีกว่าการไม่ใช้ระบบดังกล่าว และเมื่อมีปัจจัยภายนอกเข้ามาในระบบ ก็เช่นเดียวกัน ระบบชดเชยแบบ HDOB นั้นสามารถรักษาระดับอ้างอิงได้ดีกว่า ด้วยการพัฒนาร่วมกับตัวป้อนกลับแบบ PID Controller

นอกจากนั้น ได้มีการพัฒนาเทคนิคการป้อนกลับแบบ CP Controller ที่พัฒนาข้อเด่นของ P Controller และปรับปรุงส่วนที่เป็น Overshoot จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการใช้ตัวป้อนกลับแบบ CP Controller ร่วมกับ HDOB ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้ตัวป้อนกลับแบบ PID Controller และที่สำคัญคือ การออกแบบตัวป้อนกลับแบบ CP Controller ที่พัฒนามาจาก P Controller นั้นออกแบบได้ง่ายกว่า เนื่องจาก P Controller มีการเลือกค่าอัตราขยายของระบบเพียงค่าเดียว ทำให้การปรับแต่งเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดนั้นออกแบบได้ง่ายกว่าแบบ PID Controller

เทคนิคที่นำเสนอข้างต้น ได้มีการทดสอบโดยการติดตั้งแผ่นอะลูมิเนียมด้านบนของ Peltier เพื่อทดสอบในกรณีที่วิธีการที่นำเสนอมีภาระโหลดเพื่อทดสอบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถใช้ได้กับกรณีที่มีโหลด ซึ่งผลจากการทดลอง วิธีการที่นำเสนอให้ผลลัพธ์ที่ดีเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าเทคนิคที่นำเสนอข้างต้นนั้น สามารถใช้งานได้ดีกับการควบคุมอุณหภูมิที่มีโหลดของระบบหรือบนผิววัสดุ

ในส่วนสุดท้าย คือ การควบคุมอุณหภูมิแบบ 2 ทิศทาง การพัฒนาเทคนิคดังกล่าวได้นั้นได้มีการประยุกต์ใช้ระบบชดเชยแบบ HDOB เช่นเดียวกัน และเพื่อให้ผลลัพธ์ในการอ้างอิงอุณหภูมิทั้ง 2 ด้าน ที่มี ERROR ค่อนข้างน้อยจึงออกแบบระบบให้มีการป้อนกลับค่าอุณหภูมิจาก Output เข้าสู่ระบบ จากผลการทดลองจึงให้ผลลัพธ์การอ้างอิงอุณหภูมิต่อกันทั้ง 2 ด้าน ที่ดีกว่า

ด้วยจากเทคนิคต่างๆ ที่นำเสนอข้างต้น งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้หน่วยประมวลผลแบบ FPGA ซึ่งเหมาะกับงานที่เป็น Real Time ซึ่งไม่ว่าจะเป็นการนำเสนอ PID Controller ร่วมกับ HDOB หรือ CP Controller ร่วมกับ HDOB และที่สำคัญระบบควบคุมแบบ 2 ทิศทาง ซึ่งทุกๆ เทคนิค นั้นก็จะมีการใช้ร่วมกับการโปรแกรม LPF ดังระบบเป็นหลายเทคนิค (Multi System) นั้น หน่วยประมวลผลที่

ความเร็วสูงและที่สำคัญมีกระบวนการประมวลผลแบบขนาน (Parallel Process) เหมาะสมกับเทคนิคที่นำเสนอทั้งหมดดังกล่าว และนอกจากนั้น งานวิจัยในอนาคตมีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาการควบคุมอุณหภูมิมากกว่า 2 ทิศทาง หรืออาจจะมีการรวมกับระบบแรง เพื่อวิจัยระบบ Haptic อย่างเต็มรูปแบบ

จากวิธีที่นำเสนอข้างต้นสามารถเป็นแนวทางสำหรับการควบคุมอุณหภูมิที่มีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น และเป็นแนวทางสำหรับการสื่อสารด้านการสัมผัส (Haptic System) ต่อไปในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอเทคนิคการชดเชยระบบแบบ HDOB ร่วมกับตัวป้อนกลับแบบ PID Controller และเพื่อหาตัวป้อนกลับที่ออกแบบได้ง่ายและให้ผลตอบสนองที่ดีกว่านั้นจะประยุกต์คุณสมบัติเด่นของ P Controller คือ มีผลการตอบสนองที่เร็วและออกแบบระบบได้ง่าย ด้วยการปรับแต่งแบบลด Overshoot โดยใช้หลักการกลับทิศทางกระแสหรือกลับสถานะของผิว Peltier ดังนั้นการป้อนกลับดังกล่าวนั้นจะใช้ได้กับ Peltier หรือระบบใดๆ ที่มีคุณสมบัติเดียวกับ Peltier คือสามารถกลับสถานะควบคุมแบบร้อนหรือเย็นด้วยการกลับทิศทางของกระแส

เพื่อทดสอบเทคนิคการป้อนกับแบบ CP Controller และตัวชดเชยแบบ HDOB นั้นสามารถใช้ได้เมื่อระบบมีโหลด หรือเมื่อมีวัสดุมาติดตั้ง การวิเคราะห์และออกแบบดังกล่าวนี้สามารถเป็นแนวทางในการควบคุมอุณหภูมิด้วย Peltier ในกรณีที่มีโหลดหรือบนผิววัสดุได้ แม้จะเป็นจากอะลูมิเนียมเป็นวัสดุอื่น หากสรุปว่าวัสดุอื่นๆ คือ การรบกวนจาก Output แบบหนึ่ง ก็สามารถประมาณค่าการรบกวนดังกล่าวและเปลี่ยนเป็นกระแสเพื่อชดเชยระบบได้

ในส่วนสุดท้ายการควบคุมอุณหภูมิแบบ 2 ทิศทาง ตามที่ได้กล่าวข้างต้น ด้วยเหตุผลที่ทำงานวิจัยนี้เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาระบบ Haptic การพัฒนาการควบคุมแบบ 2 ทิศทาง นั้นจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาระบบ Haptic และอาจมีการพัฒนาระบบ Haptic Temperature ร่วมกับ Haptic Force เพื่อเป็นระบบการส่งผ่านความรู้สึกหรือการสัมผัสแบบเต็มรูปแบบ

รายการอ้างอิง

- [1] Simon Lineykin; Shmuel Ben-Yaakov. "PSPICE-Compatible Equivalent Circuit of Thermoelectric Coolers," **Power Electronics Specialists Conference, 2005. PESC '05. IEEE 36th**, June 2005. pp.608-612.
- [2] Simon Lineykin, Shmuel Ben-Yaakov, "Modeling and Analysis of Thermoelectric Modules," **IEEE Transactions on Industry Applications**, Vol.43, No. 4, March-April 2007. pp.505-512.
- [3] Chakib Alaoui, "Peltier Thermoelectric Modules Modeling and Evaluation," **International Journal of Engineering (IJE)**, April 2011. pp. 114 - 121.
- [4] K. Ohnishi, "Advanced motion control in robotics," **Industrial Electronics Society, 1989. IECON '89., 15th Annual Conference of IEEE**, 1989. pp. 356 – 359.
- [5] C. Mitsantisuk, K. Ohishi, S. Urushihara, S. Katsura, "Kalman Filter-Based Disturbance Observer and its Applications to Sensorless Force Control," **Advanced Robotics.**, No. 1, October 2011. pp.335-353.
- [6] C. Mitsantisuk, S. Katsura, K. Ohishi, "Force Control of Human-Robot Interaction Using Twin Direct-Drive Motor System Based on Modal Space Design," **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, vol. 57, no. 4, April 2010. pp.1383-1392.
- [7] M.J. Nandayapa Alfaro, C. Mitsantisuk, K. Ohishi, "Velocity Control Based on a Wide Range of Velocity Estimation in FPGA," **IEEJ/Japan Conference on Industrial Instrumentation and Control**, 2011. pp. 89-94.
- [8] Sarayut Yaemprayoon, Chowarit Mitsantisuk, Kiyoshi Ohishi, Jakkree Srinonchat "Development Control Thermoelectric Technique Using Customized Proportional Controller And Disturbance Observer," **2011 International Conference on Computer and Computational Intelligence**, December 2011. pp. 996-1001.

- [9] Zhen-Jie Yan, Yang Xue, Jian-Hua Ye, Hong Qian, Xu-Hong Yang, "Main Steam Temperature Composite Control System Based on Variable Universe Fuzzy Logic Control Integrated With immune And Self-Tuning Pid Controller," **Proceedings of the Eighth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Baoding, July 2009**. pp.712-716.
- [10] Hidetaka Morimitsu, Seiichiro Katsura, "A Method to Control a Peltier Device Based on Heat Disturbance Observer," **IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society**, No. 4, November 2007. pp.1222-1227.
- [11] Hidetaka Morimitsu, Seiichiro Katsura, "Heat Inflow Control of Peltier Device Based on Heat Inflow Observer," **SICE Annual Conference 2010**, August 2010. pp. 996-1001.
- [12] Mingcong Deng, Akira Inoue, Yuichiro Tahara, "Experimental Study on Operator Based Nonlinear Temperature Control of an Aluminum Plate Actuated by a Peltier Device," **SICE Annual Conference 2008**, August 2008. pp.1405-1408.
- [13] Mingcong Deng, Akira Inoue, Soitiro Goto, "Operator Based Thermal Control of An Aluminumplate With A Peltier Device," **ICIC International**, Vol. 4, No. 12, December 2008. pp. 3219-3229.
- [14] Hidetaka Morimitsu, Seiichiro Katsura, "Thermal bilateral control with scaled thermal information using peltier device," **System Integration (SII), 2011 IEEE/SICE International Symposium**, December 2011. pp. 521 – 526.
- [15] Drif, A, Citerin, J, Kheddar, A., "Thermal bilateral coupling in teleoperators," **Intelligent Robots and Systems, 2005. (IROS 2005). 2005 IEEE/RSJ International Conference**, August 2005. pp. 1301 – 1306.

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



ICCCI 2011

Proceedings of the
2011 International Conference
on Computer and
Computational Intelligence

December 2-4, 2011
Bangkok, Thailand



Three Park Ave.
New York, NY 10016
www.asme.org



ORGANIZING COMMITTEES

Conference General Chairs

Dr. Steve Thatcher, School of Electrical and Information Engineering, University of South Australia, Australia

Dr. Xiaoxiao Zhou, Nanyang Technological University, Singapore

Program Committee Chairs

Dr. Parag Kulkarni, CEO and Chief Scientist, EKLaT Research, Senior Professor, UGSM-Monarch Switzerland

Dr. R.Sivakumar, R.M.K. Engineering College, India

Dr. Yi Hang, International Association of Computer Science and Information Technology, Singapore

Conference Steering Chairs

Dr. Xu Chuanxiao, International Association of Computer Science and Information Technology, Singapore

Prof. S.Arumuga Perumal, S.T. Hindu College, India

Dr. Xu Huaiyu, Northeastern University of China, China

Publication Chair

Dr. Yi Xie, IACSIT Chengdu Section, China

Dr. Wang Hao, International Association of Computer Science and Information Technology, Singapore

	DETECTOR AND LINE OPERATOR	
	<i>XIAOYING YANG, YAN SUN AND SHUANGJIU XIAO</i>	
C084	CAR BODY PAINT DEFECT DETECTION AND CLASSIFICATION	236
	<i>PARISA KAMANI, ELAHEH NOURSADEGHI, AHMAD AFSHAR AND FARZAD TOWHIDKHAH</i>	
C006	MIDRS: A METAHEURISTIC BASED ON DETERMINISTIC FINITE AUTOMATA AND SIMULATED ANNEALING TECHNIQUE FOR BI-OBJECTIVE OPTIMIZATION COMBINATORIAL PROBLEMS	242
	<i>ELIAS D. NINO, JUSTO SARABIA, CARLOS ARDILA, WILSON NIETO AND AGUSTIN BARRIOS</i>	
C086	DEVELOPMENT CONTROL THERMOELECTRIC TECHNIQUE USING CUSTOMIZED PROPORTIONAL CONTROLLER AND DISTURBANCE OBSERVER	247
	<i>SARAYUT YAEMPRAYOON, CHOWARIT MITSANTISUK OHISHI LABORATORY, KIYOSHI OHISHI AND JAKKREE SRINONCHAT</i>	
C087	STATISTICAL TONGUE COLOR DISTRIBUTION AND ITS APPLICATION	255
	<i>XINGZHENG WANG AND DAVID ZHANG</i>	
C089	KINEMATICS OF UPPER EXTREMITY AND WALKING FRAME AMBULATION	261
	<i>CHOO CHNG TAT AND S. PARASURAMAN</i>	
C093	DYNAMIC OBJECT TRACKING IN OCCLUSION & SAME BACKGROUND IN VIDEO	266
	<i>ATISH KHOBRADE, KISHOR KULAT and C DETHE</i>	
C009	A NOVEL ANT COLONY INSPIRED ALGORITHM FOR THE MONO-OBJECTIVE OPTIMIZATION OF COMBINATORIAL PROBLEMS	271
	<i>ELIAS D. NINO, NOELIA OROZCO, RICARDO DAZA, ELIZABETH BARRERA, LUIS CORREA, CARLOS ARDILA AND WILSON NIETO</i>	
C098	A MACHINE LEARNING APPROACH TO EXPRESSION MODELING FOR THE SINGING VOICE	276
	<i>MARIA-CRISTINA MARINESCU AND RAFAEL</i>	

**DEVELOPMENT CONTROL THERMOELECTRIC TECHNIQUE
USING CUSTOMIZED PROPORTIONAL CONTROLLER AND
DISTURBANCE OBSERVER**

1ST SARAYUT YAEMPRAYOON
Signal Processing Research Laboratory,
Department of Electronic and
Telecommunication Engineering,
Rajamangala University of Technology
Thanyaburi, Thailand, 12110
Sarayut_Yaemprayoon@hotmail.com

**2ND CHOWARIT MITSANTISUK
OHISHI LABORATORY,**
Department of Electrical Engineering,
Nagaoka University of Technology,
Nagaoka, Niigata, Japan, 940-2188
chowarit@stn.nagaokaut.ac.jp

3RD KIYOSHI OHISHI
Ohishi Laboratory,
Department of Electrical Engineering,
Nagaoka University of Technology,
Nagaoka, Niigata, Japan, 940-2188
ohishi@vos.nagaokaut.ac.jp

4TH JAKKREE SRINONCHAT
Signal Processing Research Laboratory,
Department of Electronic and
Telecommunication,
Rajamangala University of Technology
Thanyaburi, Pathumthani, Thailand, 12110
Jakkree.s@en.rmutt.ac.th.

ABSTRACT

This paper proposes a development method to control thermoelectric by using customization proportional controller. Moreover, the system applied heat disturbance observer to estimation value heat disturbance outside object into the system. In the equipment part, Peltier device is selected to be the thermoelectric module device. This device is a type suitable for analysis thermal system, because the device has a fast respond and good stability, it is comparison with the device in this group. Also this proposal used high speed controller (FPGA) for the programming to control system. Moreover, about the circuit driver current and sensor temperature used digital system. It protected noise working well and easy to program with FPGA. The result of this research can be guideline for analysis to control thermal systems or to control temperature for various applications.

KEY WORDS

Customization Proportional controller (CP controller), Proportional-Integral-Derivative controller (PID controller), Temperature control, Heat disturbance, Heat disturbance observer (HDOB).

1 INTRODUCTION

Recently, Haptic robot control has been the important technology. It is expected that robots help us or that robots working in various fields instead of us. Therefore, researchers focused on the force sensation between human to robot or object sure as [1]. However, only the force is insufficient for the complete Haptic sensation, because about human Haptic have sensation force and temperature. Therefore, this research is proposed development the temperature controller. The proposal method is applied customization proportional controller (CP controller) and using disturbance observer (DOB). In the controller unit, we are used high speed FPGA, and the circuits are used only the digital system. It is

protected noise working well. Therefore, this method can obtained more robust system.

The methods to control temperature have various such as a fuzzy logic with PID controller [2], which this controller is working well and popular. However, the response of the PID controller is slower and more complication to design than P controller. Generally, the P controller was able to obtain a good tracking of a reference point, when the objects disturb in to system. However, the result of this controller is an overshoot. For this reason, we propose developing the temperature control by using CP controller. This method can be reduced the overshoot of the system. It is used the characteristic of the Peltier device as explanation in [3], while the method stills properties of the P controller. Moreover, we saw the importance about the DOB of combination with CP controller, because the research is applied P controller with this method as explanation in [4], [5]. The result of this system can be obtained more than the robust controller.

Tab. 1 lists of variable and subscripsts definition

<i>Variable</i>	<i>Definition</i>
T	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)
q	Heat (W)
q_k	Heat physical constant in Peltier device (W)
$q_{j/2}$	Joule Heat in Peltier device (W)
C	Thermal Capacitance (J/K)
R	Thermal Resistance (K/W)
R_e	Electronic Resistance (Ω)
g_{dis}	Cutoff frequency (rad/s)
U	Voltage source (V)
I	Current source (A)
α	Seebeck coefficient of Peltier device (V/K)
s	Laplace operator
K_{pt}	Proportional gain start point
K_{pp}	Proportional gain stop point
K_p	Proportional gain
K_i	Integral gain
K_d	Derivative gain
<i>Subscripts: c</i>	Cool side
<i>Subscripts: h</i>	Hot side
<i>Subscripts: p</i>	Peltier device
<i>Subscripts: o</i>	Output Object
<i>Subscripts: n</i>	Nominal value
<i>Subscripts: cmd</i>	Command
<i>Subscripts: cms</i>	Compensate
<i>Subscripts: ref</i>	Referent
<i>Subscripts: dis</i>	Disturbance
<i>Subscripts: max</i>	Maximum value
<i>Superscripts: ^</i>	Estimation value

The heat disturbances into system are the problem to control the thermal system. However, the DOB can be estimated the amount of heat disturbance by

comparing the output of the system with nominal value of input. The disturbance observer is used mainly in the field of motion control as shown in [6], and the heat DOB (HDOB) is used the structure of DOB from motion control. By the proposal system, the effect of the heat disturbance is compensated by conversion to the current source. In addition, the DOB is easy to implement and simple to design. Moreover, some workings need to know the heat value. The heat sensor need to set up in the device, and it has a limited bandwidth. However, heat value can be estimated with the HDOB by using only the temperature sensor. In addition, the heat sensor has a lot of noise, while disturbance observer with FPGA programming low pass filter (LPF) can reduce them. Therefore, the information is explained in this paper, and the validity can be confirmed by experimental results.

2. EQUIVALENT CIRCUIT AND EQUATION CONTROLLER

In this research, the equations of the temperature control are analyzed from the equivalent circuit as shown in Fig. 1. It is applied from another research as explanation in the [7]. The equivalent circuit consists of Peltier device and objects. The objects are human's finger, materials or others. This is factor of the heat disturbance into system, and it can compensate with HDOB. The object is connected to the hot side node, because the experiment in this research focused on the hot temperature control. The cool side is the same. It is dependent on the application. The variables and subscripts are used in this research given in the

In the Fig. 1, the heat at the hot side node of the Peltier device can analyze to

$$q_h = q_{ph} + \frac{q_I}{2} - q_k + q_o \quad (1)$$

In the opposite note, the device reverses to the cool side. The equation becomes

$$q_c = -q_{pc} + \frac{q_I}{2} + q_k - q_o \quad (2)$$

The Peltier device has a seebeck effect. It is a measurement from the magnitude of an inducing maximum voltage in response to a maximum

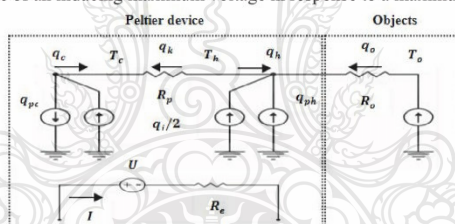


Fig. 1 shows equivalent circuit of the thermal system

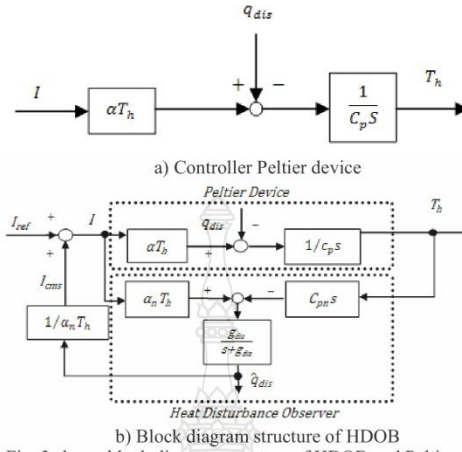


Fig. 3 shows block diagram structure of HDOB and Peltier device temperature difference. The equation of seebeck coefficient becomes

$$\alpha = \frac{U_{max}}{T_{hmax}} \quad (3)$$

The thermoelectric modules have a basic equation of the heat. The equation using in this research is

$$q = IU = I^2 R = \frac{T_{different}}{R} \quad (4)$$

From the equation (3) and (4) is instead in the equation (1).The equation at the hot side node is

$$q_h = \alpha T_h I + \frac{I^2 R_e}{2} - \frac{T_h - T_c}{R_p} + q_o \quad (5)$$

The cool side note becomes

$$q_c = -\alpha T_c I + \frac{I^2 R_e}{2} + \frac{T_c - T_h}{R_p} - q_o \quad (6)$$

Moreover, the heat equations can be analyzed from the thermal capacitance in terms of temperature/time derivative. It can be explained to the equation (7). This equation is applied from another research as shown in the [4].

$$C_p \frac{dT_h}{dt} = q_h \quad (7)$$

From equations (5) and (7) can found the equation of the temperature control flowing

$$C_p \frac{dT_h}{dt} = \alpha T_h I + \frac{I^2 R_e}{2} - \frac{T_h - T_c}{R_p} + q_o \quad (8)$$

In the equation (8), $C_p \frac{dT_h}{dt}$ is the output of the system, and $\alpha T_h I$ is the actual value of the control system or Peltier device part. In the heat disturbance section, $\frac{I^2 R_e}{2}$ and $\frac{T_h - T_c}{R_p}$ are the disturbance value of the device, and q_o is the outside object

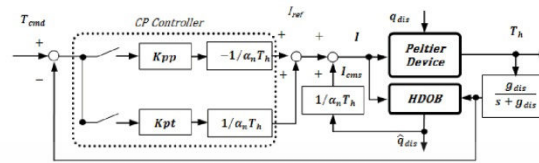


Fig. 3 shows Block diagram of the temperature control with proposal method

into system. The heat disturbance value can be designed to compensate with structure of the HDOB, and the proposal method is explained in next section.

3 PROPOSAL METHOD DESIGN

The equation (8) is the temperature control in this research, and it becomes to the block diagram as shown in the Fig. 2 a). Input of the system is current source and output of the system is temperature value. The q_{dis} are heat disturbance such as Peltier device, human's finger or material. Therefore, heats disturb into system as analyzing in the next equation

$$q_{dis} = \frac{I^2 R_e}{2} - \frac{T_h - T_c}{R_p} + q_o \quad (9)$$

These heat disturbances are the problem to control the thermal system. However, it can be compensate by the structure of the DOB. It is explained in the next subsection.

3.1 HEAT DISTURBANCE OBSERVER

The heat disturbance can be estimated by the structure of the DOB, and conversion to the current source is compensated into system. The estimation method is compared the output of the system with nominal value of input. The heat nominal input is applied from equation (3) and (4), and the nominal output is obtained from equation (6). Moreover, the system is used the LPF to reduce noise in the section of HDOB and digital temperature sensor. The transfer function of the filter is shown as $G(S) = \frac{g_{dis}}{s + y_{dis}}$ (10)

The structure of the HDOB is shown in the Fig. 2 b). However, only this controller is open loop of the system control. Therefore, this research is proposed the close loop by applying CP controller. It is explained in the next subsection.

3.2 CUSTOMIZATION PROPORTIONAL CONTROLLER

The final block diagram is shown in Fig. 3. It including the point of this research is a CP controller. The method of this controller is used the H-bridge driver circuit to put the current and to reverse the direction current source of the Peltier device. By using the characteristic of this device, it is possible to change to hot or cool status on the surface with the reversing direction of the current (same as a DC motor). By considering of the reference command, from the start point to the haft of reference are controlled to the hot status. In this point, the transfer function from block diagram is shown as following

$$\frac{T_h}{T_{cmd}} = \frac{\alpha K_{pt} S^2 + 2\alpha g_{dis} K_{pt} S + \alpha g_{dis}^2 K_{pt}}{A} \quad (11)$$

Where: $A = \alpha_n C_p S^3 + (2\alpha_n C_p g_{dis} - \alpha_n C_p g_{dis}) S^2 + (\alpha_n C_p g_{dis}^2 - \alpha_n C_p g_{dis}^2 - \alpha g_{dis}^2 C_{pn} + \alpha g_{dis} K_{pt}) S + \alpha g_{dis}^2 K_{pt}$

After the half to the peak of the overshoot, the reversing direction of current is changed to control from the hot status to cool status. By using the proposal method, it is possible to reduce the overshoot of the system, because the Peltier device still has surface hot, while the controller not put the current source. It is a long time down to the referent position. Therefore, we have ideal to propose this method. Thus the transfer function of this point is realized as following

$$\frac{T_h}{T_{cmd}} = -\frac{\alpha K_{pp} S^2 + 2\alpha g_{dis} K_{pp} S + \alpha g_{dis}^2 K_{pp}}{B} \quad (12)$$

Where: $B = \alpha_n C_p S^3 + (2\alpha_n C_p g_{dis} - \alpha_n C_p g_{dis}) S^2 + (\alpha_n C_p g_{dis}^2 - \alpha_n C_p g_{dis}^2 - \alpha g_{dis}^2 C_{pn} + \alpha g_{dis} K_{pp}) S + \alpha g_{dis}^2 K_{pp}$

In the section of CP controller, it is changing to the PID controller. The transfer function becomes

$$\frac{T_h}{T_{cmd}} = \frac{C}{D} \quad (13)$$

Where: $C = \alpha K_d s^4 + (\alpha K_p + 2\alpha g_{dis} K_d) s^3 + (2\alpha g_{dis} K_p + \alpha K_i + \alpha g_{dis}^2 K_d) s^2 + (\alpha g_{dis}^2 K_p + 2\alpha g_{dis} K_i) s + \alpha g_{dis}^2 K_i$

Where: $D = \alpha_n C_p s^4 + (2\alpha_n C_p g_{dis} - \alpha_n C_p g_{dis} + \alpha g_{dis} K_d) s^3 + (\alpha_n C_p g_{dis}^2 - \alpha_n C_p g_{dis}^2 - \alpha C_{pn} g_{dis}^2 + \alpha g_{dis} K_p + \alpha g_{dis}^2 K_d) s^2 + (\alpha g_{dis} K_i + \alpha g_{dis}^2 K_p) s + \alpha g_{dis}^2 K_i$

In this method, It can be reduced the overshoot, because the Peltier device still has surface hot after the reference position, while the controller not put the current source. It is a long time to down. In this reason, the method quickly to reverse the surface to cool can be obtained good tacking the reference more than only the P controller. In described above, the experiment is shown in the next section.

4. EXPERIMENTS

In the proposal method, the validity can be confirmed by experimental. The next subsection is shown the experimental setup, and several experimental results.

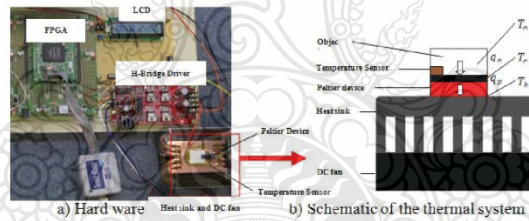


Fig. 4 shows experimental setup

4.1 EXPERIMENTAL SETUP

The experimental setup is shown in Fig. 4 a). The controller unit is used high speed FPGA. It is suitable for the temperature control and combination with force for the complete Haptic sensation in the future. The FPGA controls Peltier by using Mosfet H-bridge to put the current with PWM and to reverse direction the current by 1 wire interface. The temperature value is measured by using digital sensor with 1 wire interface also. In the Fig. 4 b), it is a schematic of the thermal system. The thermoelectric module is Peltier device. The device is used in many applications, such as a small refrigerator or CPU coolers. It is a suitable type for analysis thermal system, because it has a relatively fast response among thermal devices. The device using only a DC power source is easy to drive, and it can change cool side or hot side by reversing direction of the current source. As a result, the temperature control becomes more robust to those disturbances consequently, because the system is only used digital. It is easy to programming with FPGA and protection noise working well.

4.2 EXPERIMENTAL RESULTS

The proposal method to control temperature is confirmed by experiment. Several experiment results are shown in the Fig. 5 and Fig. 6. The temperature command is set to difference 9 °C from temperature room. The parameters are used in these experiments given in the Tab. 2.

The CP controller method is changed the direction of current to reduce the overshoot. In this method, the experimental result comparison between P controller and CP controller is shown in the Fig. 5. The proposal method retains the properties of the P controller. Therefore, it is giving a faster response when comparison with PID controller as shown the Fig. 6 a). At the time around 70 s, we are used aluminum plate touching to the Peltier device for testing the outside object disturbance into system. The CP controller has response to tacking better than the PID controller.

In the Fig. 6 b), The CP controller is a comparison between using and not using the HDOB. It is testing disturbance into system around 70 s also. The result can be confirmed that the proposal CP controller based on HDOB obtaining the better results to reject the disturbance.

Tab. 2 parameters value

Parameter	Value
K_{pt}	1.5
K_{pp}	10
K_p	0.1
K_i	0.24
K_d	0.05
g_{dis}	1 (rad/s)
C_p	0.8 (W/K)
α	0.0127 (V/K)
U_{max}	3.3 V
I_{max}	8.5 A

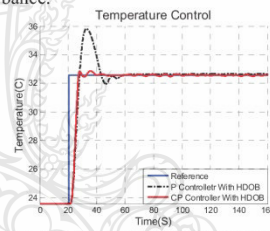
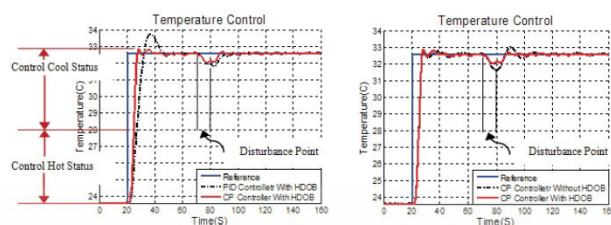


Fig. 5 shows experiment P and CP



a) CP and PID controller with HDOB b) CP controller with HDOB and without HDOB

Fig. 6 shows experiment of the temperature control outside object disturbance

5. SUMMARIES

In the results of the development method to control temperature, the CP controller can be obtained better results than the PID controller. Because it still used characteristic of the P controller, while the customization is a method for reducing the overshoot. Moreover, the system is combined the HDOB. The response can give better tracking of the referent comparison with not using HDOB. The result of this research can be used to guideline the analysis of temperature control with Peltier device for applications obtaining better stability. In the future research, we will focus on the bilateral temperature controller and combination with force. This system can be applied to complete the Haptic sensation system between human and robot or material.

REFERENCES

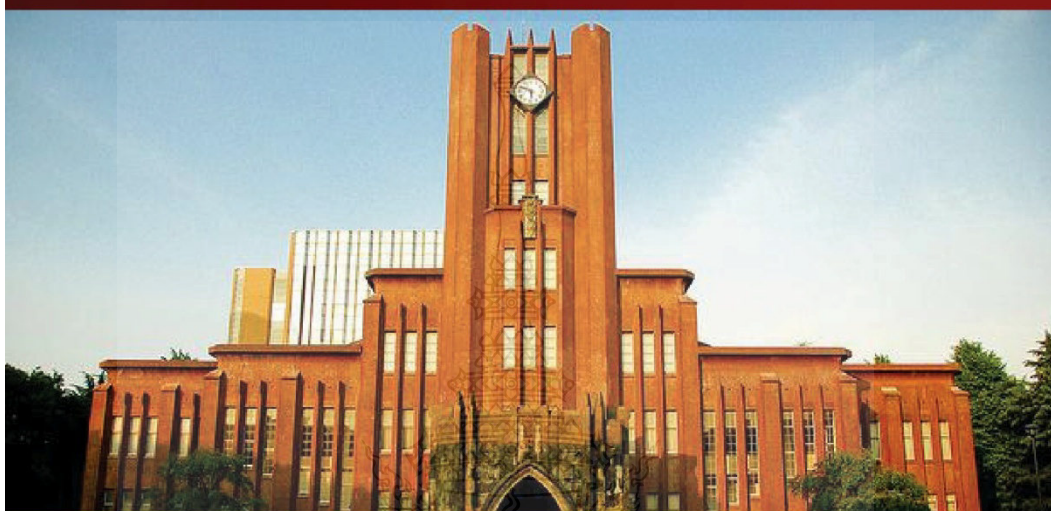
- [1] C. Mitsantisuk; S. Katsura; K. Ohishi. Force Control of Human-Robot Interaction Using Twin Direct-Drive Motor System Based on Modal Space Design. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2010.4, PP:1383-1392.
- [2] Zakariah Yusuf; Zuriati Janin; Mohd Nasir Taib. Fuzzy Logic Controller for Glycerin Bleaching Temperature Control, 2010 6th International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA), 2010.6, PP:1-5.
- [3] Simon Lineykin; Shmuel Ben-Yaakov. PSPICE-Compatible Equivalent Circuit of Thermoelectric Coolers, Power Electronics Specialists Conference, 2005. PESC '05. IEEE 36th, 2005.6, pp.608-612.
- [4] Hidetaka Morimitsu; Seiichiro Katsura. A Method to Control a Peltier Device Based on Heat Disturbance Observer, IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, 2007.4, PP:1222-1227.
- [5] Hidetaka Morimitsu; Seiichiro Katsura. Construction of Heat Inflow Control System Based on Disturbance Heat Flow Estimation, th France-Japan and 6th Europe-Asia Congress on Mechatronics, MECHATRONICS '10-YOKOHAMA, 2010.10, PP:591-596.
- [6] Seiichiro Katsura; Yuichi Matsumoto; Kouhei Ohnishi. Modeling of Force Sensing and Validation of Disturbance Observer for Force Control. IEEE Transactions On Industrial Electronics, 2007.2, PP:530-538.
- [7] Simon Lineykin; Shmuel Ben-Yaakov. Modeling and Analysis of Thermoelectric Modules. IEEE Transactions On Industry Applications, 2007.4, PP:505-512.

Thailand-Japan 2011



International Academic Conference

The University of Tokyo, Hongo Campus
November 26th, 2011 Tokyo, Japan



TJIA2011 Conference Program

08:00 - 09:00	Registration	
09:00 - 09:10	Opening Ceremony	Main Hall
	- Welcome Address: Prof. Akihiko Tanaka , Vice President, The University of Tokyo	
	- Inauguration: H.E. Virasakdi Futrakul , Ambassador, The Royal Thai Embassy, Tokyo	
09:10 - 10:40	Keynote Sessions	Main Hall
	- Emeritus Prof. Yongyuth Yuthavong , National Science and Technology Development Agency, Thailand	
	- Dr. Pailin Chuchottaworn , President of PTT Public Company Limited, Thailand	
	- Prof. Masaki Saito , Professor, Research Laboratory for Nuclear Reactor, Tokyo Institute of Technology, Japan	
10:40 - 11:00	Photo Session (Morning Break)	
11:00 - 12:30	Parallel Technical Sessions 1	(See schedule inside)
12:30 - 13:10	Luncheon	
13:10 - 14:20	Job Fair Sessions	Main Hall
14:20 - 14:30	Afternoon Break 1	
14:30 - 16:00	Parallel Technical Sessions 2	(See schedule inside)
16:00 - 16:10	Afternoon Break 2	
16:10 - 17:40	Parallel Technical Sessions 3	(See schedule inside)
17:40 - 17:50	Afternoon Break 3	
17:50 - 18:10	Closing Ceremony	Main Hall
	- Emeritus Prof. Wiwut Tanthapanichakoon , Tokyo Institute of Technology, Japan	
18.10 - 19.20	Special Seminar and TSAJ Meeting (in Thai)	Main Hall
19.30 - 21.00	Banquet	Second Refectory



Organizer: Thai Students' Association in Japan under the Royal Patronage (TSAJ)
3-14-6 Kami-Osaki, Shinagawa-ku, Tokyo 141-0021 E-mail: tjia2011@tsaj.org

Committee

Honorable Committee:

H.E. Virasakdi Futrakul	H.E. Ambassador, Royal Thai Embassy, Tokyo
Mr. Manopchai Vongphakdi	Consul General, Royal Thai Consulate-General, Osaka
Prof. Dr. Michinari Hamaguchi	President of Nagoya University
Prof. Minoru Takahashi	President of Nagoya Institute of Technology
Prof. Dr. Yoshihito Watanabe	Vice-President for Research and International Planning of Nagoya University
Dr. Thaweesak Koanantakool	President of the National Science and Technology Development Agency, Thailand (NSTDA)
Prof. Dr. Suthiporn Jittmittraparb	Secretary General Office of the National Research Council of Thailand (NRCT)
Assoc. Prof. Vudtechai Kapilakachana	President of Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus
Prof. Saward Tantaratana	Director of the Thailand Research Fund (TRF)
Mrs. Kasemsri Homchean	Governor of Thailand Institute of Scientific and Technological (TISTR)
Dr. Supachai Lorlowhakarn	Director of National Innovation Agency (NIA)
Prof. Katsufumi Narita	Dean of Graduate School of International Development, Nagoya University
Prof. Masayoshi Fuji	Director of Research Center for Composite Materials, Nagoya Institute of Technology
Dr. Vichai Saechout	President of the Association of Thai Professionals in Japan (ATPIJ)

Advisory Committee:

Prof. Emeritus Wiwut Tanthapanichakoon	Senior Research Advisor, SCG Chemicals, Chair Professor in Particle Technology, Chulalongkorn University
Ms. Alinee Thanawatsuggasari	Minister Counselor (Education), Office of Educational Affairs, Tokyo
Mr. Jullapong Thaveesri	Minister-Counselor (Industrial), Royal Thai Embassy, Tokyo
Assoc. Prof. Weerasak Udomkitdecha	Director of National Metal and Material Center, Thailand
Prof. Sirirug Songsivilai	Director of National Nanotechnology Center, Thailand
Dr. Pansak Siriruchatapong	Director of National Electronics and Computer Technology Center, Thailand
Dr. Kanyawim Kirtikara	Director of National Center of Genetic Engineering and Biotechnology, Thailand
Assoc. Prof. Tawatchai Charinpanitkul	Director of Thai Powder Technology Center, Chulalongkorn University

Assoc. Prof. Charan Bunyakarn	Dean of Faculty of Engineering, Prince of Songkhla University
Assoc. Prof. Sunate Kampeeraparb	Graduate School of International Development, Nagoya University
Mr. Patt Padhamachit	Consul, Royal Thai Consulate-General, Osaka
Mr. Wanlapa Jitsomboon	Consul, Royal Thai Consulate-General, Osaka
Dr. Noppawan Tanpipat	President of the National Science and Technology Development Agency, Thailand (NSTDA)
Dr. Takuji Yamamoto	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Japan
Assoc. Prof. Takashi Shirai	Nagoya Institute of Technology
Dr. Suparp Artjarayasripong	Director of Biotechnology Department, Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR)
Ms. Peesamai Jenwanitpanjakul	Former Deputy Governor Research and Development, Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR)

Academic Committee:

Dr. Kajornsak Faungnawakij	NANOTEC, Thailand
Assoc. Prof. Punya Charusiri	Chulalongkorn University
Dr. Yongsak Kachonpadungkitti	Thammasat University
Dr. Miti Ruchanurucks	Kasetsart University
Dr. Supattarachai Chompun	Kasetsart University
Asst. Prof. Dr. Manop Wongsaisuwan	Chulalongkorn University
Dr. Panuwat Dan-Klang	Burapha University
Asst. Prof. Dr. Wathanyoo Khaisongkram	Tokyo University of Agriculture and Technology
Assoc. Prof. Dr. Malinee Chaisupakitsin	King Mongkut Institute of Technology Ladkrabang
Dr. Sumonman Niamlang	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Dr. Pim-on Rujitanaroj	Nanyang Technological University
Assoc. Prof. Dr. Thanaruk Theeramunkong	Sirindannahorn International Institute of Technology, Thammasat University
Assoc. Prof. Dr. Cholwich Nattee	Sirindannahorn International Institute of Technology, Thammasat University
Dr. Akara Prayote	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Asst. Prof. Dr. Jittat Fakcharoenphol	Kasetsart University
Asst. Prof. Dr. Arnon Rungsawang	Kasetsart University
Dr. Gorn Tepvorachai	Bank of Thailand
Asst. Prof. Dr. Wiphada Wettayaprasit	Prince of Songkhla University
Dr. Sirinnapa Saranwong	National Food Research Institute, NARO, Japan
Dr. Atitaya Panuvatvanich	Asian Institute of Technology

Dr. Sutee Wangtueai	Burapa University
Dr. Preesan Rakwatın	Japan Aerospace Exploration Agency
Dr. Tanuspong Pokavanich	Tokyo Institute of Technology
Prof. Kono Yasuyuki	Kyoto University
Dr. Ukrit Watchareeruetai	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Prof. Jun Nakajima	Ritsumeikan University
Dr. Yindee Sutthisawat	Kasetsart University
Dr. Apita Bunsiri	Kasetsart University
Dr. Arthit Makarasen	Chulabhorn Research Institute (CRI), Thailand
Assoc. Prof. Dr. Ratana Rujiravanit	Chulalongkorn University
Asst. Prof. Dr. Hathaikarn Manuspiya	Chulalongkorn University
Asst. Prof. Dr. Thammanoon Sreethawong	Chulalongkorn University
Asst. Prof. Pornapa Sujaridworakun	Chulalongkorn University
Dr. Anyarat Watthanaphanit	Chulalongkorn University
Asst. Prof. Dr. Nisachon Tangsangiumvisai	Chulalongkorn University
Dr. Tanagorn Jennawasin	Toyota Technological Institute
Assoc. Prof. Maturöse Sawangbumrung	Maejo University
Dr. Sunchai Payungporn	Chulalongkorn University
Asst. Dr. Teera Chewonarin	Chiang Mai University
Dr. Kumiko Ogawa	Ministry of Health, Labour and Welfare, National Institute of Health Sciences
Assoc. Prof. Dr. Patamawadee Suzuki	Thammasat University
Assoc. Prof. Dr. Niramön Sutummakid	Thammasat University
Assoc. Prof. Dr. Siripen Supakankunti	Chulalongkorn University
Dr. Charuk Singhaprecha	Kasetsart University
Assoc. Prof. Dr. Kriengkrai Techakanont	Thammasat University
Assoc. Prof. Dr. Supawat Rungsuriyawiboon	Thammasat University
Asst. Prof. Dr. Peera Charoenporn	Thammasat University
Dr. Anuwat Cholpaisal	Dhurakij Pundit University
Dr. Sunetra Lekuthai	Ministry of Finance
Dr. Panadda Pradniwat	Thammasat University
Prof. Pokpong Junvith	Thammasat University
Prof. Atchara Patoomnakul	Kasetsart University
Prof. Itthipong Mahathanaseth	Kasetsart University
Assoc. Prof. Dr. Tatre Jantarakolica	Thammasat University



Organizing Committee:**Chairperson**

Mr. Thanet Praneenarat The University of Tokyo

Co-chairperson and Head of Academic Staff

Mr. Seksak Chouichom Hiroshima University

Co-chairperson and Head of Facilities

Mr. Pubate Vidtayasuk Nagoya University

Sponsor Affair

Mr. Apiluck Eiad-Ua Nagoya Institute of Technology

Chairperson Advisors

Dr. Surawut Chuangchote Kyoto University
 Mr. Thanit Templuem Kyoto University
 Mr. Pramote Puengjinda Kyoto University
 Mr. Nutthachai Pongprasert The University of Tsukuba
 Ms. Naruekamon Janjirawuttikul Nagoya University

Academic and Editorial Staff

Mr. Nuttapol Tanadchangsang Tokyo Institute of Technology
 Mr. Nawatt Silawan Tokyo Institute of Technology
 Mr. Natt Leelawat Tokyo Institute of Technology
 Ms. Supattra Jiawkok
 Ms. Naruekamon Janjirawuttikul Nagoya University
 Ms. Vorawan Kongjinda Nagoya University
 Mr. Panuphong Pootawang Tokyo Institute of Technology
 Ms. Pornsiri Pitchakarn
 Ms. Panisa Vishuphong Nagoya University
 Mr. Supawat Sukhaparamate Nagoya University
 Ms. Poranee Pinunsottikul Nagoya University

Proceedings

Mr. Witawat Rungjiratananon The University of Tokyo
 Mr. Thanet Praneenarat The University of Tokyo
 Mr. Palakon Kotchapansompote The University of Tokyo
 Ms. Vissuta Jiwariyavej The University of Tokyo
 Ms. Sathita Kaveevivitchai The university of Tokyo
 Mr. Isarun Chamveha The University of Tokyo
 Mr. Wiennat Mongkulmann The University of Tokyo
 Mr. Jatuwat Sangsanont The University of Tokyo
 Ms. Oraphan Krityakien The University of Tokyo
 Mr. Sikornron Wattanasarn The University of Tokyo
 Ms. Kwanrattana Songsathaporn The University of Tokyo
 Mr. Theeraphol Wattanavekin The University of Tokyo

Registration

Ms. Ratklao Siriwach	Osaka University
Ms. Ratama Daduang	Osaka University
Ms. Nadda Chawalarat	Osaka University
Ms. Laksamee Tippayawat	Osaka University
Ms. Juthaporn Sangwallek	Osaka University

Coordination

Mr. Promchanok Techataveekijkul	Tokyo Institute of Technology
Mr. Panuphong Pootawang	Nagoya University
Mr. Tanit Templuem	Kyoto University
Mr. Patarapon Laueboonchu	Ritsumeikan Asia Pacific University

Website

Mr. Narun Asvarujanon	Ritsumeikan Asia Pacific University
Mr. Swit Phuvipadawat	Tokyo Institute of Technology
Mr. Nuttapol Sangsuriyachot	The University of Tokyo

Ceremony

Mr. Supawat Sukhaparamate	Nagoya University
Mr. Sarun Pravitrangul	Nagoya University

Public Relations

Ms. Naruekamon Janjirawuttikul	Nagoya University
Mr. Supawat Sukhaparamate	Nagoya University
Ms. Panisa Vishuphong	Nagoya University

Graphics and Design

Mr. Pubate Vidtayasuk	Nagoya University
Mr. Cholrit Luangjinda	Kyoto Institute of Technology

Multimedia

Mr. Akkawat Ruammaitree	Nagoya University
Ms. Phanida Roidoung	

Transportation/Access & Accommodation

Ms. Poranee Pinunsottikul	Nagoya University
Ms. Monsicha Meesuwan	Nagoya University
Mr. Panuphong Pootawang	Nagoya University
Ms. Arissara Sinudom	Nagoya University
Ms. Bralee Chayasombat	Nagoya University
Mr. Phuwat Ta-Inta	Gifu University

City Coordinator

Mr. Promchanok Techataveekijkul	Tokyo
Mr. Papat Fungtammasarn	Kanazawa
Ms. Kwanchanok Sattasuk	Ehime
Mr. Niti Pitakteeratham	Hokkaido

Prof. Kwantree Sengprachatanarak	Okinawa
Mr. Seksak Chouichom	Hiroshima
Mr. Prinya Lorjeerachunkul	Kyoto
Mr. Chayooth Theeravithayangkura	Osaka
Ms. Sukunya Chumchuen	Nagano
Ms. Panisa Vishuphong	Nagoya
Mr. Weerasak Pitaksaringkarn	Tsukuba
Ms. Jutatip Wiwuthanapantuwong	Nagaoka
Mr. Parkpoom Pienchob	Niigata
Mr. Nutthanun Moolsradoo	Saitama
Ms. Passaporn Vichai	Oita
Ms. Busarin Chongcharoenyanon	Kyushu
Ms. Amornphan Krairat	Kobe

Secretary

Ms. Vissuta Jiwariyavej	The University of Tokyo
Ms. Kaewkan Wasanasuk	Toyota Technological Institute
Mr. Supawat Sukhaparamate	Nagoya University
Ms. Amornphan Krairat	Kobe University
Ms. Tanyaporn Tamrongtarakul	Kanazawa University

Treasurer

Ms. Vorawan Kongjinda	Nagoya University
Mr. Chaiyut Kwaenkasikum	Chubu University

Registration

- Registration was made via website of TJIA2010 (<http://tjia.tsaj.org/>)

Submission Format and Review Process

- Only one paper per participant will be accepted and published in the TSAJ proceedings. The authors are recommended to submit an introductory abstract together with the submission form via internet (TSAJ website). In addition, both submission of abstracts and full papers should be also sent through email.
- Extended Abstract: 2 pages (A4 paper) in English with not more than 250 word-abstract including discussion section describing what kind of benefits can the research contributes to Thailand, or what are the pitfalls or limitations of research if it is to be implemented in Thailand.
- All extended abstracts were reviewed by the academic committee in Thailand and Japan. Then, comments were given to the authors in order to help them made revisions as appropriate.

SESSION 1		Computer Science & Engineering		Medical & Life Science		Economics		Monetary Economics, Finance & Business	
Electrical Engineering & Mechanical Engineering Room 1B		Chair: Anon Nishara		Chair: Yongyuth Yuthavong		Chair: Woraphat Rata-apha		Chair: Naoyuki Ishimura	
Discussion Forum: The Studies in Japan (Cancelled)		Chair: Supasit Wongratamchai		Chair: Woraphat Rata-apha		Chair: Woraphat Rata-apha		Chair: Sakakot Manepong	
11:00-12:30	Autonomous Collision Avoidance System Design Based on Risk Potential Field	21	Assessing traffic condition using fuzzy logic with feature based approach	18	The Evolution of Risk Preference	18	Thailand Volatility Index (TVIX) and Its Application to Investment (Cancelled)	18	Bronchial Asthma Prevalence in Thailand
13:00-14:30	3-Axis Force Measurement of a Human Trigrin in Mountain Region	22	Privacy in Contact-Aware Services	19	Psychiatric Disorders: From Genetic Approach to Molecular Research	19	Comparison of Risk-Sharing Mechanism between Religious-based versus non-Religious based Microfinance Institution and between Shariah Microfinance Evidence from Yogyakarta, Indonesia	19	Ayu Fitrati, The University of Tokyo
15:00-17:40	Development of Injection-Locked Quadrature Oscillator	23	An Anonymity-Aware Privacy in Contact-Aware Services	20	Proactive Efficacy of Ginkgo Tea Against Influenza Infection	20	100-A Comparative Study of Inflation Dynamics in East Asian Countries	20	Lalith Mukti, Hitecubash University
18:00-19:30	Fast Online and Incremental Learning Towards the Society	24	Study on the Effect of a Search Engine on the User's Search Behavior	21	Innovative Communication in Rotational (Cancelled)	21	From Mouse ES Cells and iPSC cells: An Assessment for the Therapeutic Transplantation	21	Bank Phongsakulrajith, Chulalongkorn University
20:00-21:30	Analysis of Process Parameters in Mold Surface Polishing with Inorganic Polishing Slurry	25	Study on the Effect of a Search Engine on the User's Search Behavior	22	Generation of Photoreceptor Cells from Mouse ES Cells and iPSC cells	22	The Product Development of Community Banking: A Case Study of "1 for 100" Program	22	Siraporn Rattanasri, Chulalongkorn University
22:00-23:30	The Fabrication of Titanium Alloy without Nickel Having Biocompatibility for Using in Formation of Pore P.N.Junctions Using a Spin-on Coating Technology	26	Study on the Effect of a Search Engine on the User's Search Behavior	23	Genetic Engineering in Rotational (Cancelled)	23	Diagnostic Procedures for Fungal Diseases (Student Workshop)	23	Narabon Noyak, Pwintanajit Technology, Thailand
24:00-25:30	Smart Structures and Smart Materials Based on Optical Fiber Bragg Grating	27	Study on the Effect of a Search Engine on the User's Search Behavior	24	Genetic Engineering in Rotational (Cancelled)	24	Genetic Engineering in Rotational (Cancelled)	24	Chulalongkorn University

SESSION 2		Computer Science & Engineering		Medical & Life Science		Economics		Monetary Economics, Finance & Business	
Electrical Engineering & Mechanical Engineering Room 3B		Chair: Damri Rademamad		Chair: Chaitida Piyatharongchai		Chair: Srirama Sarawong		Chair: Theodorak Chontohsuwan	
Discussion Forum: Learning from the Great Eastern Japan Earthquake - The Stepping Forward to the Effective Preparation for Future Disasters		Chair: Srirama Sarawong		Chair: Srirama Sarawong		Chair: Srirama Sarawong		Chair: Theodorak Chontohsuwan	
14:30-16:00	Quick Acquisition Walking Passenger Scanning System	28	Image Pre-Processing Method for Thai Mobile OCR	25	Near Infrared Spectroscopy: A Tool for Food Quality Control	25	Quality of Food in Micronesian and Polynesian Islands: A Study in Thailand	25	Prithonak Ni-Ngom, Mahon Worarat, Kees University
16:30-18:00	3-Axis Force Measurement of a Human Trigrin in Mountain Region	29	How to Write Award-Winning Papers: Many Award-Winning Papers Characteristics	26	Quality of Food in Micronesian and Polynesian Islands: A Study in Thailand	26	Quality of Food in Micronesian and Polynesian Islands: A Study in Thailand	26	Prithonak Ni-Ngom, Mahon Worarat, Kees University
18:30-20:00	Fingerprint-Based Indoor Localization System Using Emitting Diodes	30	Comparative Study of Image Heat Orientation Estimation	27	Quality of Food in Micronesian and Polynesian Islands: A Study in Thailand	27	Quality of Food in Micronesian and Polynesian Islands: A Study in Thailand	27	Prithonak Ni-Ngom, Mahon Worarat, Kees University
20:30-22:00	Development of Haptic Feedback Interface for Visual Impaired People on Their Computer-Based Operands	31	Study on the Effect of a Search Engine on the User's Search Behavior	28	Quality of Food in Micronesian and Polynesian Islands: A Study in Thailand	28	Quality of Food in Micronesian and Polynesian Islands: A Study in Thailand	28	Prithonak Ni-Ngom, Mahon Worarat, Kees University
22:30-24:00	Analysis of Process Parameters in Mold Surface Polishing with Inorganic Polishing Slurry	32	Study on the Effect of a Search Engine on the User's Search Behavior	29	Quality of Food in Micronesian and Polynesian Islands: A Study in Thailand	29	Quality of Food in Micronesian and Polynesian Islands: A Study in Thailand	29	Prithonak Ni-Ngom, Mahon Worarat, Kees University

SESSION 3		Computer Science & Engineering		Medical & Life Science		Economics		Monetary Economics, Finance & Business	
Electrical Engineering & Mechanical Engineering Room 4B		Chair: Nawatt Silawan		Chair: Srirama Sarawong		Chair: Srirama Sarawong		Chair: Theodorak Chontohsuwan	
Discussion Forum: Learning from the Great Eastern Japan Earthquake - The Stepping Forward to the Effective Preparation for Future Disasters		Chair: Srirama Sarawong		Chair: Srirama Sarawong		Chair: Srirama Sarawong		Chair: Theodorak Chontohsuwan	
16:00-17:40	Development of Injection-Locked Quadrature Oscillator	33	Fast Online and Incremental Learning Towards the Society	30	Quality of Food in Micronesian and Polynesian Islands: A Study in Thailand	30	Quality of Food in Micronesian and Polynesian Islands: A Study in Thailand	30	Prithonak Ni-Ngom, Mahon Worarat, Kees University
18:00-19:30	Analysis of Process Parameters in Mold Surface Polishing with Inorganic Polishing Slurry	34	Image Pre-Processing Method for Thai Mobile OCR	31	Quality of Food in Micronesian and Polynesian Islands: A Study in Thailand	31	Quality of Food in Micronesian and Polynesian Islands: A Study in Thailand	31	Prithonak Ni-Ngom, Mahon Worarat, Kees University
20:00-21:30	Macro Plasma Sputtering in SEM	35	How to Write Award-Winning Papers: Many Award-Winning Papers Characteristics	32	Quality of Food in Micronesian and Polynesian Islands: A Study in Thailand	32	Quality of Food in Micronesian and Polynesian Islands: A Study in Thailand	32	Prithonak Ni-Ngom, Mahon Worarat, Kees University
22:00-23:30	The Fabrication of Titanium Alloy without Nickel Having Biocompatibility for Using in Formation of Pore P.N.Junctions Using a Spin-on Coating Technology	36	Study on the Effect of a Search Engine on the User's Search Behavior	33	Quality of Food in Micronesian and Polynesian Islands: A Study in Thailand	33	Quality of Food in Micronesian and Polynesian Islands: A Study in Thailand	33	Prithonak Ni-Ngom, Mahon Worarat, Kees University
24:00-25:30	Smart Structures and Smart Materials Based on Optical Fiber Bragg Grating	37	Study on the Effect of a Search Engine on the User's Search Behavior	34	Quality of Food in Micronesian and Polynesian Islands: A Study in Thailand	34	Quality of Food in Micronesian and Polynesian Islands: A Study in Thailand	34	Prithonak Ni-Ngom, Mahon Worarat, Kees University

DEVELOPMENT OF TEMPERATURE CONTROLLER BY USING CUSTOMIZED PROPORTIONAL CONTROLLER BASED ON DISTURBANCE OBSERVER

Sarayut Yaemprayoon¹⁾, Chowarit Mitsuntisuk²⁾, Kiyoshi Ohishi³⁾, and Jakkree Srinonchat⁴⁾

ABSTRACT: This paper proposes a development method to control temperature by using customization proportional controller. Moreover, the system applied disturbance observer to estimate heat disturbance value outside object into the system. In the equipment part, the thermoelectric module used Peltier device. This device is a type suitable for analysis thermal system, because the device has a fast respond and good stability. Also this paper used high speed FPGA controller for the programming to control system. The result of this research can be applied to control temperature for various applications.

KEY WORDS: Temperature control, CP controller, Heat Disturbance Observer (HDOB)

1. INTRODUCTION

The temperature controlling has various methods such as a PID Controller, which this controller is working well. However, the response of the PID controller is slower and more complicate to design than P controller. Generally, the P controller was able to obtain a good tracking of a reference point. However, the result of this controller is an overshoot. For this reason, this research proposes the development of temperature control by using customization proportional controller (CP controller). This method can be reduced the overshoot of the system by using the characteristic of the Peltier device.

Moreover, a disturbance observer (DOB) applied to compensate the heat disturbance. From the previous research, many researches utilized the DOB to obtain high robustness in motion control system [1] and temperature control as shown in [2]. The advantage point of DOB is able to estimate the heat disturbance into system and compensation them.

2. CONTROLLER DESIGN

The equations of the temperature controls in this research analyzed from the equivalent circuit from another research as shown in [3]. The equivalent circuit consists of Peltier device part and objects part. The variables used in this research given in the Table 1. From analysis research above, the synopsis of the equation using in this research is

$$C_p \frac{dT_h}{dt} = \alpha T_h I + \frac{I^2 R_p}{2} - \frac{T_h - T_c}{R_p} + q_o \quad (1)$$

In the equation, $C \frac{dT_h}{dt}$ is the output of the system, and $\alpha T_h I$ is the actual value of the control system or Peltier device part. In the disturbance section, $\frac{I^2 R_p}{2}$

and $\frac{T_h - T_c}{R_p}$ are the disturbance value of the device, and q_o is the outside object into system.

In this research, the block diagram of the proposed temperature control is shown in the Fig. 1. It consists of actual control or Peltier device (block black line) and nominal value or programming with FPGA (block blue line). The nominal values consist of CP controller and disturbance observer. In the block diagram, the objects that heat disturbance into the system calculated as follows,

$$q_{dis} = \frac{I^2 R_p}{2} - \frac{T_h - T_c}{R_p} + q_o \quad (2)$$

The heat disturbance (q_{dis}) can be estimated by using the HDOB (\hat{q}_{dis}) and this value compensate into system in the term of current source (I_{ems}). Therefore, this system can be obtained the robust controller. The method of the HDOB estimates by using a nominal value input comparison with output.

The H-bridge driver circuit used to reverse the direction of the current source of the Peltier device. By using the characteristic of this device, it is possible to change to hot or cool status on the surface with the reversing direction of the current (same as a DC motor). By considering of the reference command, from the start point to the midpoint of reference controlled to the hot status. In this point, the

Table 1 variable definition

Variable	Definition
T_h, T_c	Temperature hot side, cool side (°C)
q_o	Heat outside (W)
C_p	Thermal Capacitance Peltier (J/K)
R_p	Thermal Resistance Peltier (K/W)
R_e	Electronic Resistance (Ω)
R_{cut}	Cutoff frequency (rad/s)
I_r, I_{ref}	Current source, reference (A)
α	Seebeck coefficient of Peltier device (V/K)
s	Laplace operator
K_{start}, K_{stop}	Proportional gain start point, stop point
Subscripts: n	Nominal value

1) Master student, Department of Electronic and Telecommunication, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand (Sarayut_Yaemprayoon@hotmail.com)

2) JSPS Post doctoral, Department of Electrical Engineering, Nagaoka University of Technology, Japan (chowarit@stn.nagaokaut.ac.jp)

3) Professor, Department of Electrical Engineering, Nagaoka University of Technology, Japan (ohishi@vos.nagaokaut.ac.jp)

4) Doctor, Department of Electronic and Telecommunication, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand (Jakkree.s@en.rmutt.ac.th)

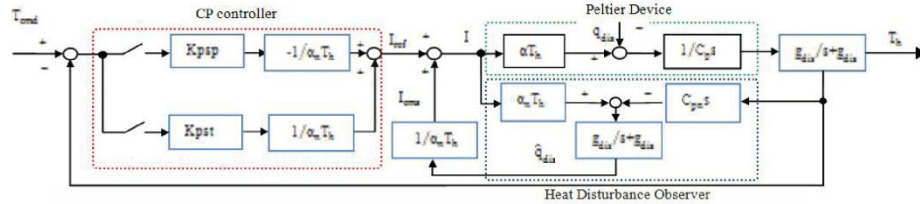


Fig. 1 shows block diagram of the temperature control in this research.

$$\frac{T_b}{T_{cmd}} = \frac{\alpha K_{pst} S^2 + 2\alpha g_{dis} K_{pst} S + \alpha g_{dis}^2 K_{pst}}{\alpha_n C_p S^3 + (2g_{dis} \alpha_n C_p - \alpha_n C_p g_{dis}) S^2 + (\alpha_n C_p g_{dis}^2 - \alpha_n C_p g_{dis}^2 - \alpha g_{dis}^2 C_{pn} + \alpha g_{dis} K_{pst}) S + \alpha g_{dis}^2 K_{pst}} \quad (3)$$

$$\frac{T_b}{T_{cmd}} = \frac{\alpha K_{psp} S^2 + 2\alpha g_{dis} K_{psp} S + \alpha g_{dis}^2 K_{psp}}{\alpha_n C_p S^3 + (2g_{dis} \alpha_n C_p - \alpha_n C_p g_{dis}) S^2 + (\alpha_n C_p g_{dis}^2 - \alpha_n C_p g_{dis}^2 - \alpha g_{dis}^2 C_{pn} + \alpha g_{dis} K_{psp}) S + \alpha g_{dis}^2 K_{psp}} \quad (4)$$

transfer function from block diagram is shown as follows in the (3).

After the midpoint to the peak of the overshoot, reversing direction of current changes to control from hot status to cool status. By using the proposed method, it is possible to reduce the overshoot of the system. Therefore, the transfer function of this point realized as follows in the (4).

In this method, It can be reduced the overshoot, because the Peltier device still has surface hot, while the controller not put the current source. It can only down by different of the temperature room and it is a long time to down. In this reason, the method quickly to reverse the surface to cool can be obtained good tacking the reference more than only the P controller. In described above, the validity can be confirmed by experimental results in the next section.

3. EXPERIMENT

In the experimental setup, the controller unit used high speed FPGA. It controls Peltier device version ETC-031-14-11-E by using Mosfet H-bridge driver to put the current with PWM and to reverse direction the current. The temperature value is measured by using digital version DS18B20. The system is only used the digital system. It is easy to programming with FPGA and protection noise working well.

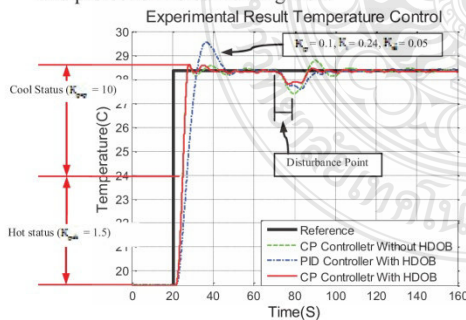


Fig. 2 shows experiment result.

The proposal method confirmed by experiment. Several experiment results are shown in this section. The temperature command (T_{cmd}) reference (black line) is set to difference 9 °C from temperature room. The g_{dis} used 0.5 rad/s.

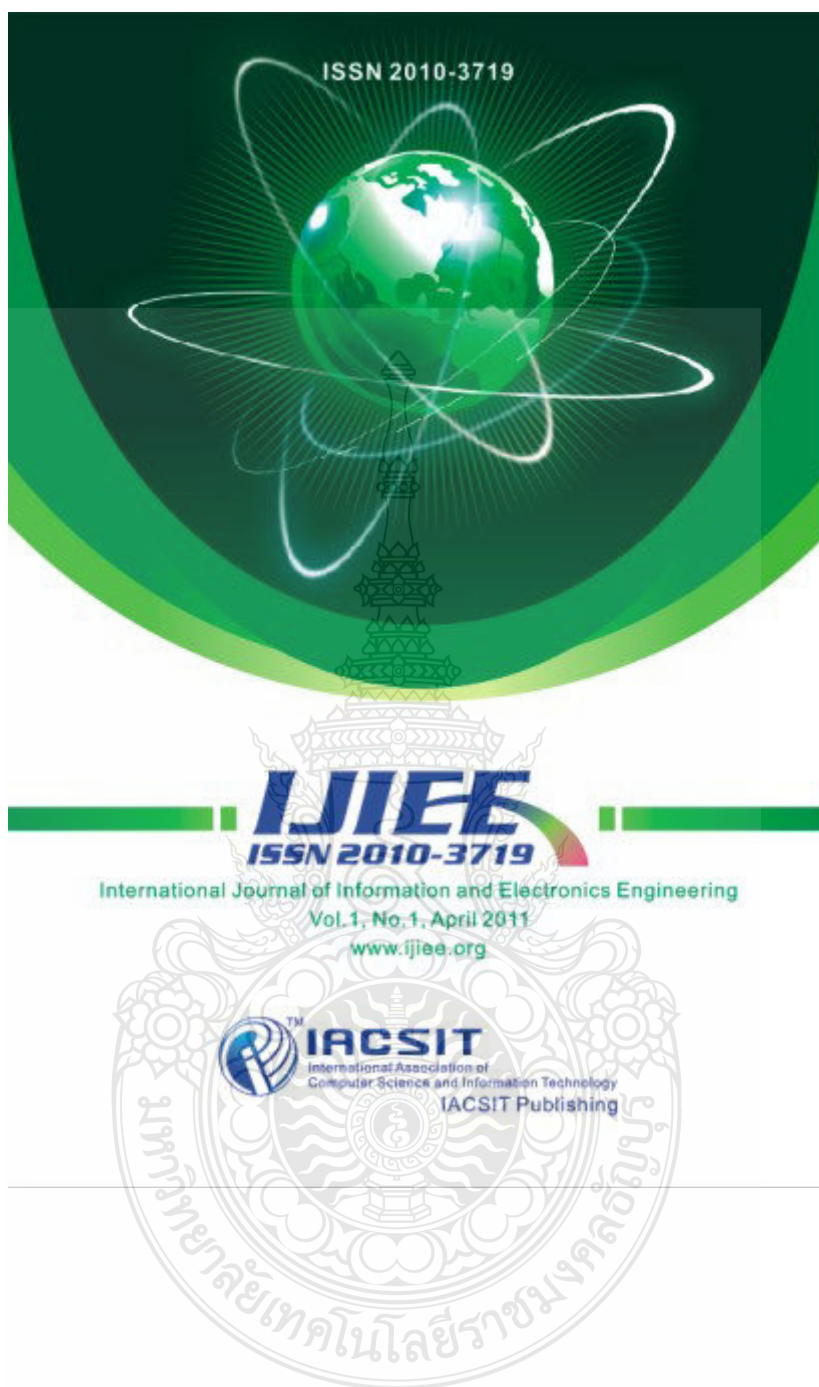
In the Fig. 2, the CP controller (red and green line) has an overshoot less than PID controller (blue line) and start time faster than also. At the time around 70 – 80 s, the outside object disturbs into system. We are use aluminum plant to touch on the Peltier device. The CP controller with HDOB (red line) is a good tracking reference position more than PID controller with HDOB and CP controller without HDOB also. In this experiment, it can be confirmed the validity of the proposal method.

4. CONCLUSIONS

From the development of the method to control temperature, the CP controller provides better results than the PID controller, because it still used characteristic of the P controller, while the customization is a method for reducing the overshoot. Moreover, the system applied HDOB in conjunction with the CP controller. The response of this method can give the robust system. The result of this research can be guideline the analysis of temperature control with Peltier device for applications obtaining better stability. In the future, we will focus on the bilateral controller with force sensation by using this method also.


REFERENCES

- [1] C. Mitsantisuk, S. Katsura, K. Ohishi, "Force Control of Human-Robot Interaction Using Twin Direct-Drive Motor System Based on Modal Space Design," IEEE Transactions on Industrial Electronics., Vol. 57, No. 4,2010, pp.1383-1392.
- [2] Hidetaka Morimitsu, Seiichiro Katsura, "A Method to Control a Peltier Device Based on Heat Disturbance Observer," IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society., No. 4.2007, pp.1222-1227.
- [3] Simon Lineykin, Shmuel Ben-Yaakov, "Modeling and Analysis of Thermoelectric Modules," IEEE Transactions On Industry Applications., Vol.43, No. 4,2007, pp.505-512.



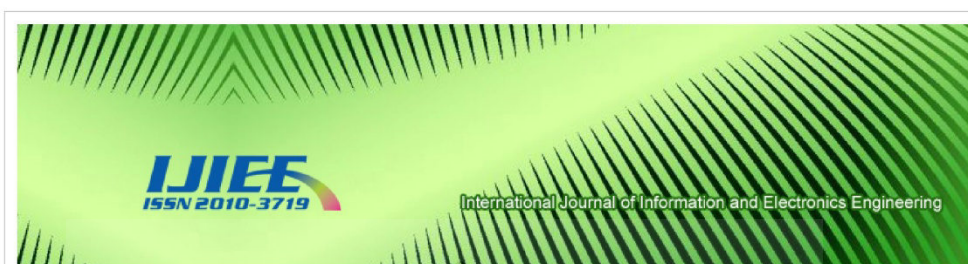

IJEE
ISSN 2010-3719
International Journal of Information and Electronics Engineering

Home Content Editors Reviewers Submission Topics Contact Purchase Conferences	<div style="text-align: right; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">Editor in Chief</div> <div style="text-align: right;">Home</div> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">  </div> <p>Prof. Chandratilak De Silva Liyanage Faculty of Science University of Brunei Darussalam Brunei Darussalam</p> <div style="text-align: center; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">Editorial Board</div> <p>Prof. Chii-Jen Chen, Yuanpei University, Taiwan Prof. Guangjun Xie, Department of Applied Physics, Hefei University of Technology, China Prof. Gheorghe Sabau, Academy of Economics Studies Bucharest, Romania Prof. Huanjing Wang, Western Kentucky University, USA Prof. Jivesh Govil, George Washington University, USA Prof. Jun Guo, East China Normal University, China Prof. K.Balasubramanian, European University of Lefke, Turkish Republic of Northern Cyprus, Turkey Prof. Rajesh Kumar, Malaviya National Institute of Technology, Jaipur, India Prof. Sang C. Park, Ajou University, Korea Prof. S. Kishore Reddy, Swarna Bharathi College of Engineering, KHAMMAM, AP, India Prof. T. Rama Rao, SRM University, Chennai, India Prof. Takayama Tsuyoshi, Iwate Prefectural University, Japan Prof. V.Saravanan, Karunya University, India Prof. Xie Wei, Wuhan University, China Prof. Yonghong Zhang, Nanjing University of Information Science and Technology, China Prof. Zhi-Kai Huang, Nanchang Institute of Technology, China</p>
<small>Copyright 2008-2010. International Journal of Information and Electronics Engineering (IJEE) www.ijee.org ijee@vip.163.com</small>	



International Journal of Information and Electronics Engineering

Home	<h2 style="text-align: center;">Reviewers</h2> <p>Prof. Akhilesh R. Upadhyay, Sagar Institute of Research and Technology, India Sangita Roy, Indian Institute of Technology Patna, Navin Government Polytechnic Campus, India Sukumar Senthilkumar, School of Mathematical Sciences, Universiti Sains Malaysia, Malaysia Syed Jahangir Badashah, Madina Engineering College, India Dr. Yucong Duan, University of Bourgogne, France Prof. Santosh Naik, S B M Jain College of Engineering, India Dr. Akshay K. Rathore, University of Wuppertal, Germany Dr. Manoj Kumar Jain, Vikram University, India Dr. Deng Liao, Concordia University, Canada Dr. Hanumanthappa.J, University o Mysore, India Punit Pandey, Jaypee Institute of Engineering & Technology, India Prof. Mahesh T R, Jain University, India Prof. Dr. SUNIL KUMAR KHATRI, Lingaya's University India Prof. N.Ch.Sriman Narayana Iyengar, VIT University, India Dr. T.C.Manjunath, Rajarajeshwari College of Engg., India Prof. Er. Kanwalvir Singh Dhindsa, B.B.S.B.Engg.College, India Dr. S.Ramakrishnan, Dr.Mahalingam College of Engineering & Technology, India Prof. R.Mariappan, Vinayaka Missions University, India Prof. S.Mahesh Anand, Vellore Institute of Technology, India Prof. Anil K Ahlawat, UP Technical University, India Prof. Sudeep Thepade, SVKM's NMIMS University, India Dr. Ayyaswamy Kathirvel, Anna University, India Prof. Parvinder Singh Sandhu, Institute of Engineering & Bio-Technology, India Prof. Shinde Subhash Keshavrao, Bharati Vidyapeeth College of Engineering, India Prof. Dayanand R.Ingle, College of Engineering Navi Mumbai, India Dr. Ashwani Kush, IIT kanpur and Kurukshetra University India Dr. Dai Qing, Daqing Petroleum Institute, China Prof. Pupong Pongcharoen, Naresuan University, Thailand Prof. Mohamed Othman, Universiti Putra Malaysia, Malaysia Dr. Muhammed Farhan Abdul-Hameed AL-Rawi</p>	Home
Content		
Editors		
Reviewers		
Submission		
Topics		
Contact		
Purchase		
Conferences		
		<p>Copyright 2008-2010. International Journal of Information and Electronics Engineering (IJIEE) www.ijee.org ijee@vip.163.com</p>



Home	Article#	Article Title & Authors (Volume 2 Number 2 March 2012)	Page
Content		Contents	
Editors			
Reviewers			
Submission			
Topics			
Contact			
Purchase			
Conferences			
	61	Instantaneous Cycle-Slip Detection and Repair of GPS Data Based on Doppler Measurement <i>Zhoufeng Ren, Liyan Li, Jie Zhong, and Minjian Zhao</i>	96
	62	Industrial Processes Applied to Embedded Systems Curriculum <i>Razvan Bogdan, Versavia Ancusa, and Mircea Popa</i>	102
	63	Multiscale PCA based Quality Controlled Denoising of Multichannel ECG Signals <i>L. N. Sharma, S. Danadapat, and A. Mahanta</i>	107
	64	Novel Method to Control Temperature on Aluminum Side Using Customized Proportional Controller Based on Disturbance Observer <i>Sarayut Yaemprayoon, Chowarit Mitsuntisuk, Kiyoshi Ohishi, and Jakkree Srinoncha</i>	112
	65	Suitable Capacitor Requirements for Dynamic Desired Voltage Sag Compensation on Distribution Network Using DVR <i>Sunil Kumar Gupta and H. P. Tiwari</i>	119
	66	Simulation Model for Switching of Mobile Base Station <i>Akshata U., Gopika D. K., Vikas M. N., and Hameem Shanavas I.</i>	125
	67	An Improvement on TCP Congestion Control Protocol for Next Generation Networks <i>Nazbanoo Farzaneh, Reza Monsefi, Mohammad Hossein Yaghmaee, and Amir Hossein Mohajerzadeh</i>	130
	68	Tackling Spoofing Attacks Using Broadband Access Concentrators <i>Bharat Joshi, D. T. V. Ramakrishna Rao, and Pavan Kurapati</i>	136
	69	Key Update Strategies for Wireless Sensor Networks <i>Ender Yüksel, Hanne Riis Nielson, and Flemming Nielson</i>	141
	70	Model of Complex Searching Over Structured P2P Overlay under Dynamic Environment <i>Saiful Khan and Abdullah Gani</i>	146
	71	System Level Approach to NoC Design Space Exploration <i>R. K. Jena</i>	151
	72	Low Power Voltage Controlled Ring Oscillator Design with Substrate Biasing <i>Manoj Kumar, Sandeep K. Arya, and Sujata Pandey</i>	156
	73	Hardware Implementation of Adaptive Algorithms for Noise Cancellation <i>Raj Kumar Thenua and S. K. Agrawal</i>	160
	74	A Genetic Algorithm-Based Approach for Energy-Efficient Clustering of Wireless Sensor Networks <i>A. Zahmatkesh and M. H. Yaghmaee</i>	165
	75	Coordinate Based Directed Routing Protocol <i>Subarno Banerjee, Supriya Roy, and P. K. Guha Thakurta</i>	170
	76	A CPW Fed E-Shaped Reconfigurable Antenna with Frequency Diversity <i>Ch. Sulakshana and L. Anjaneyulu</i>	174
	77	GBFTS: Group Based Fault Tolerant Scheme in Wireless Sensor Networks <i>Indrajit Banerjee, Prasenjit Chanak, Hafizur Rahaman, and Nachiketa Das</i>	179
	78	Multiplierless FIR Filter Implementation on FPGA <i>S. M. Badave and A. S. Bhalchandra</i>	185
	79	Line Based Robust Script Identification for Indian Languages <i>Bhupendra Kumar, Aniket Bera, and Tushar Patnaik</i>	189

80	Cloud Computing: Future Generation Computing Systems as the 5th Utility <i>Alok Kumar Vishwakarma</i>	193
81	Corpuscular Random Number Generator <i>Harsh Bhasin</i>	197
82	Wavelet Transform for Detection of Conserved Motifs in Protein Sequences with Ten Bit Physico-Chemical Properties <i>J. K. Meher, M. K. Raval, P. K. Meher, and G. N. Dash</i>	200
83	Maximizing Network Lifetime through Varying Transmission Radii with Energy Efficient Cluster Routing Algorithm in Wireless Sensor Networks <i>T. Venu Madhav and N. V. S. N. Sarma</i>	205
84	Improved ICI Self Cancellation Scheme for Phase Rotation Error Reduction in OFDM System <i>Miftahur Rahman, Preyom Kanti Dey, and M. F. Rabbi Ur Rashid</i>	210
85	ETSHRA: Energy Efficient Threshold Sensitive Hierarchical Routing Algorithm for Cognitive Wireless Sensor Networks <i>Shahansha Quadri and Garimella Rama Murthy</i>	213
86	A Novel Symmetrical Heuristic Coefficient for Urban Microcellular Environments <i>Puspraj Singh Chauhan and Sanjay Soni</i>	218
87	A QoS framework for Next Generation Networks Based on Metro Ethernet <i>Elyas Mohamadzadeh Kosari, Mohammad Hossein Yaghmaee Moghaddam, Maryam Taheri Tehranian, and Edris Shahany</i>	223
88	DBR: Distance Based Routing Protocol for VANETS <i>Ramakrishna M</i>	228
89	A Survey on Dynamic Honey Pots <i>Hamid Mohammadzadeh.e.n, Roza Honarbakhsh, and Omar Zakaria</i>	233
90	Modeling Cloud Software-As-A-Service: A Perspective <i>Ritu Sharma and Manu Sood</i>	238
91	Certificate Path Discovery by Constructing Virtual Hierarchy to Administer Trust Relationship using Peer to Peer PKI in MANETS <i>Sushma Nayak and Ramakrishna M</i>	243
92	Opportunistic Routing: Opportunities and Challenges <i>Arka Prokash Mazumdar, and Ashok Singh Sairam</i>	247
93	The Base Strategy for ID3 Algorithm of Data Mining Using Havrda and Charvat Entropy Based on Decision Tree <i>Nishant Mathur, Sumit Kumar, Santosh Kumar, and Rajni Jindal</i>	253
94	Delay Estimation for Global RC Interconnect Using Inverse Gamma Distribution Function <i>V. Maheshwari, Sumita Gupta, V. Satyanarayan, R. Kar, D. Mandal, and A. K. Bhattacharjee</i>	259
95	Estimation of RC Global Interconnect Slew in 0.18 μ m Technology Using Inverse Gamma Distribution Function <i>Vikas Maheshwari, Sumita Gupta, V. Satyanarayana, R. Kar, D. Mandal, A. K. Bhattacharjee</i>	264
96	BIST to Diagnosis Delay Fault in the LUT of Cluster Based FPGA <i>Nachiketa Das, Hafizur Rahaman, and Indrajit Banerjee</i>	269
97	Identification and Proof of Ownership by Watermarking Relational Databases <i>Vidhi Khanduja and O. P. Verma</i>	274
98	Application of Superposition Coding for Subcarrier and Bit Allocation in Downlink OFDM Systems <i>Karan Nathwani, Aditya Trivedi, and Kalpana Goyal</i>	278
99	Adaptive Fair Resource Allocation and Packet Dependent Scheduling Using Cross-Layer Design in Multiuser OFDM Systems <i>Kalpana Goyal, Aditya Trivedi, and Karan Nathwani</i>	284
100	A New Palm Print Based Fuzzy Vault System for Securing Cryptographic Key <i>Om Prakash Verma and Devesh Bharathan</i>	289

Copyright 2008-2010. International Journal of Information and Electronics Engineering (IJIEE)
www.ijee.org
ijee@vip.163.com

Novel Method to Control Temperature on Aluminum Side Using Customized Proportional Controller Based on Disturbance Observer

Sarayut Yaemprayoon, Chowarit Mitsuntisuk, Kiyoshi Ohishi, and Jakkree Srinoncha

Abstract—This paper proposes the novel method to control temperature on the aluminum side by using customized proportional controller. Moreover, the system is applied disturbance observer to estimate heat disturbance, and compensate it. In the equipment part, the thermoelectric module is used Peltier device. This device is a type suitable for analysis thermal system, because the device has a fast respond and high stability. Also this proposal used high speed FPGA controller for the programming and signal processing. The result of this research can be guideline to analysis thermal systems on the aluminum side for various applications.

Index Terms—Customization proportional controller (CP controller), proportional–integral–derivative controller (PID controller), temperature control, heat disturbance and disturbance observer.

I. INTRODUCTION

Many researches focus on the transmission force from human to robot or object [1], [2]. However, only the force is insufficient for the complete Haptic sensation. In order to the human Haptic have force and temperature sensation. Therefore, this research is proposed development the temperature controller. The proposal method is used customization proportional controller (CP controller) and applying disturbance observer (DOB). This method can obtained more robust system. Therefore, the information is explained in this paper, and the validity can be confirmed by experimental results.

The temperature controlling has various methods such as a fuzzy logic with Proportional–Integral–Derivative (PID) controller [3], which this controller works well. However, the response of the PID controller is slower and more complicate than P controller. Generally, the P controller is able to obtain a good tracking of a reference point. However, the result of this controller is an overshoot. For this reason, this research proposes developing temperature control by using CP controller. This method can be reduced the overshoot of the system by using the characteristic of the Peltier device [4]. Moreover, It can notice the importance of combination between disturbance observer and CP controller, because the research is applied P controller with this method as explanation in [5]. The result of this system can obtain more than the robust controller.

The disturbance observer is mainly used in the field of

motion control [6] and can estimate the amount of force disturbance by comparing the output of the system with nominal value of input. In the temperature control, disturbance of the system is named a heat disturbance, and using the structure of disturbance observer. Therefore, this paper, heat disturbance observer is named HDOB. By the proposed system, the effect of the heat disturbance is compensated conversion for the current source. The disturbance observer is simple to design and easy to implement. Moreover, the heat sensor has a limited bandwidth, and need to set up in the object, whilst heat value can be estimated with the disturbance observer. In addition, the heat sensor has a lot of noise, while disturbance observer with programming low pass filter can reduce them.

In the equipment part, the thermoelectric module is used Peltier device. This device is a suitable type for analysis thermal system, because it has a relatively fast response among thermal devices [7]. It is used in many applications, such as a small refrigerator or CPU coolers. The device using only a DC power source is easy to drive, and it can change cool side or hot side by reversing direction of the current source. In the experiment setup, the top of the Peltier side is arranged the aluminum sheet, because it is the same include loader and analysis temperature control with material [8], [9]. Moreover, some object of the temperature control need to contact with the material. In the controller unit part, this research is used high speed FPGA. It is suitable for the temperature control and combination with force for the complete Haptic sensation in the future. The FPGA controls Peltier by using H-bridge to put current and to revert direction. The temperature value is measure by using digital sensor with range from -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$. As a result, the temperature control becomes more robust to those disturbances consequently, because the system is only used digital. It is easy to programming with FPGA and protection noise working well.

The contents of this paper will be written as follows. The equivalent circuit of the thermal system is given in the section II. Using equation is analyzed from equivalent circuit. Meanwhile, the proposed method CP controller with disturbance observer is explained in section III. The validity of proposal method is confirmed by experimental results in section IV. The last section is conclusion of this research.

II. EQUIVALENT CIRCUIT AND MODELING SYSTEM DESCRIPTION

The equations of the temperature control in this research are analyzed from the equivalent circuit as shown in Fig. 1. It is applied from another research as shown in [10]. The

Manuscript received January 25, 2012; revised February 30, 2012.

The authors are with the Department of Electronic and Telecommunication, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand. (Sarayut_Yaemprayoon@hotmail.com; chowarit@stn.nagaokaut.ac.jp; ohishi@vos.nagaokaut.ac.jp; Jakkree.s@en.rmutt.ac.th)

equivalent circuit consists of Peltier device, aluminum sheet and objects. The objects are contact with aluminum side such as human's finger or materials. This is factor heat disturbance into system, and it is can compensate with disturbance observer. The aluminum sheet is connected to the hot side node, because the experiment in this research focused on the hot temperature control. The cool side is the same. It is depended on the application. The definitions of the equivalent circuit and equation are used in this research given in the Table I.

R	Thermal Resistance (K/W)
R _e	Electronic Resistance (Ω)
g _{dis}	Cutoff frequency (rad/s)
U	Voltage (V)
I	Current source (A)
α	Seebeck coefficient of Peltier device (V/K)
s	Laplace operator
K _{pst}	Proportional gain start point
K _{psp}	Proportional gain stop point
Subscripts: c	Cool side
Subscripts: h	Hot side
Subscripts: p	Peltier device
Subscripts: a	Aluminum Plant
Subscripts: o	Output
Subscripts: n	Nominal value
Subscripts: cmd	Command
Subscripts: cms	Compensate
Subscripts: dis	Disturbance
Superscripts: ^	Estimation value

TABLE I. LISTS OF VARIABLE AND SUBSCRIPTS DEFINITION

Parameter	Value
T	Temperature (°C)
q	Heat flow (W)
q _h	Heat physical constant (W)
q _{pa}	Heat connection between Peltier device and aluminum
q _i /2	Joule Heat in Peltier device (W)
C	Thermal Capacitance (J/K)

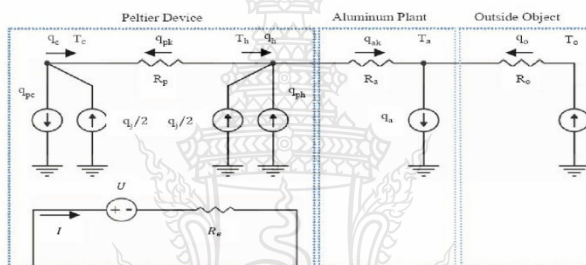
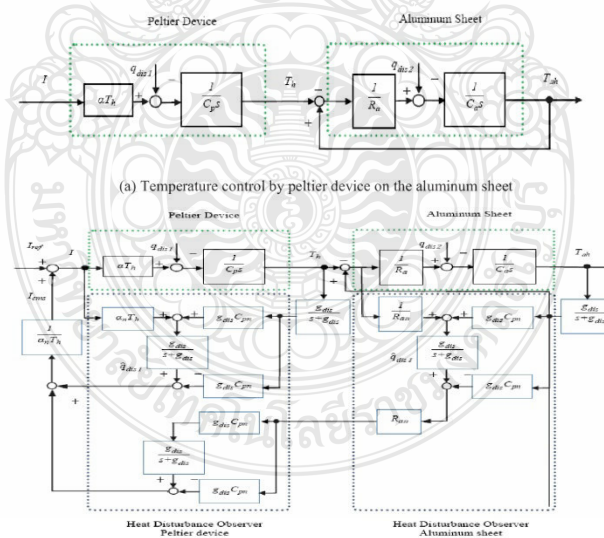


Fig 1. Modeling of the thermal system in this research



(b) Temperature control by Peltier device on the aluminum sheet with HDOB. Fig. 2. Block diagram of the temperature control on the aluminum sheet (Open loop).

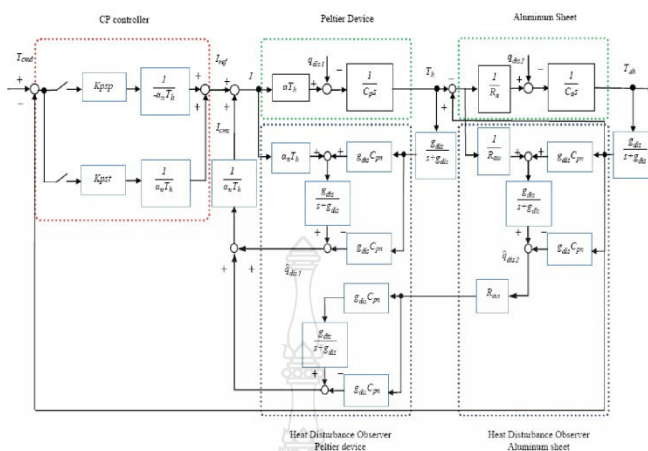


Fig. 3. Block diagram of the temperature control on the aluminum sheet (close loop).

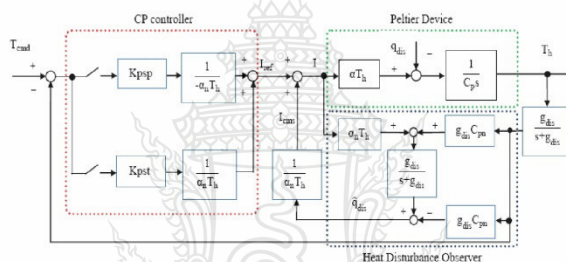


Fig. 4. Block diagram of the temperature control (improvement).

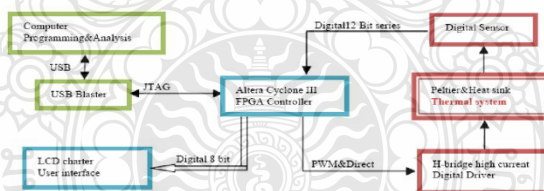


Fig. 5. Schematic block diagram control.

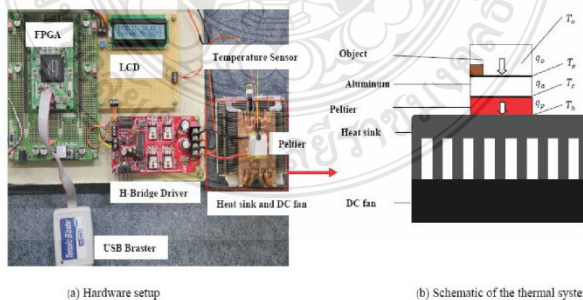


Fig. 6. Experiment setup.

In the Fig. 1, hot side node of the Peltier device can analyze to

$$q_h = q_{ph} + \frac{q_j}{2} - q_{pk} - q_{ak} \quad (1)$$

Therefore, the device reverts to cool side. The equation becomes

$$q_c = -q_{pc} + \frac{q_j}{2} + q_{pk} + q_{ak} \quad (2)$$

On the aluminum sheet, the equation can analyze to

$$q_a = q_{ak} - q_o \quad (3)$$

The thermoelectric modules have a basic equation of the heat. The equation using in this research is

$$q = IU = I^2 R = \frac{T_{\text{different}}}{R} \quad (4)$$

Moreover, the seedback coefficient (5) of the Peltier is measure from applying maximum voltage to the device per temperature changing. Analysis to the equation becomes

$$\alpha = \frac{U_{\text{max}}}{T_{h\text{max}}} \quad (5)$$

From equation (4) and (5) instead of equation (1) to

$$q_h = \alpha T_o I + \frac{I^2 R_e}{2} - \frac{T_h - T_c}{R_p} - \frac{T_a - T_h}{R_a} \quad (6)$$

In addition, the heat equations explained above. It can analyze from the thermal capacitance in terms of temperature/time derivative. It can be explained to the equation (7). This equation is applied from another research as shown in [11].

$$C_p \frac{dT_h}{dt} = q \quad (7)$$

The equation of the temperature control in is explained in next equation.

$$C_p \frac{dT_h}{dt} = \alpha T_h I + \frac{I^2 R_e}{2} - \frac{T_h - T_c}{R_p} - \frac{T_a - T_h}{R_a} \quad (8)$$

$$C_a \frac{dT_a}{dt} = \frac{T_a - T_h}{R_a} - q_o \quad (9)$$

From the equation (8), $C_p \frac{dT_h}{dt}$ is output of the Peltier device, and $\alpha T_h I$ is actual value of the control system or control Peltier device part. In the disturbance section, $\frac{I^2 R_e}{2} - \frac{T_h - T_c}{R_p}$ are heat disturbance in the Peltier device. In the equation (9), it is aluminum sheet section. Also $C_a \frac{dT_a}{dt}$ is output of the aluminum sheet or output of the system, $\frac{T_a - T_h}{R_a}$ is heat physical constant of the aluminum sheet. Therefore, q_o is output heat disturbance into system. Moreover, installation between Peltier and aluminum is a kind of thermal resistance. It is kind of the heat disturbance (q_{pa}). All of the disturbance value can be designed to compensate with structure of the

disturbance observer. Therefore, the equation (8) and (9) become to block diagram Fig. 2 (a), and HDOB with low pass filter as shown in the Fig. 2 (b), and the final block diagram and proposal method is explained in the next section.

III. CONTROLLER DESIGN

To design the temperature control, the block diagram is shown in Fig. 3. It consists of actual control (block black line) and nominal value or programming with FPGA (block blue line). In the block diagram, the nominal value is also 2 parts the CP controller and disturbance observer. It is propose method in this research.

In the Fig. 3, the frame of the Peltier device is converted from equation (8) to block diagram. Therefore, heats disturb into system as shown in the next equation.

$$q_{dis1} = \frac{I^2 R_e}{2} - \frac{T_h - T_c}{R_p} \quad (10)$$

Moreover, the frame of the aluminum sheet is converted from equation (8) to block diagram also. Therefore, heats disturbance is

$$q_{dis2} = q_o + q_r \quad (11)$$

The heat disturbance are the problem to control the thermal system, but it can be estimated and compensated by the structure of the disturbance observer. The estimation method is compared the output of the system with nominal value of input. The heat nominal input of the Peltier device is applied from equation (3) and (4). It becomes to

$$q_{ref} = I \alpha T_o \quad (12)$$

Nominal value input of the aluminum sheet is applied from

$$q_a = \frac{T_a - T_h}{R_a} \quad (13)$$

The nominal output is obtained from equation (8) and (9). Moreover, the system is used low pass filter (LPF) to reduce noise in the section of heat disturbance observer and digital temperature sensor. The transfer function of the filter is shown as

$$G(S) = \frac{g_{dis}}{s + g_{dis}} \quad (14)$$

The last frame of the block is a CP controller. It uses this method, because the response of the PID controller is slower P controller. Generally, the P controller is able to obtain a good tracking of a reference point. Moreover, the PID controller is also more complicated to design, because the system needs to choose three gain (Kp, Ki, Kd), while P controller is selected the single best gain (Kp). However, the result of this controller is an overshoot. For this reason, this research is proposed the development of temperature control by using CP controller. This method can be reduced the overshoot of the system by using the characteristic of the Peltier device.

The H-bridge driver circuit is used to put the current and to reverse the direction current source of the Peltier device. By using the characteristic of this device, it is possible to change to hot or cool status on the surface with the reversing direction of the current (same as a DC motor). By considering of the reference command, from the start point to the 30% of reference are controlled to the hot status.

After the 30% to the peak of the overshoot, the reversing direction of current is changed to control from the hot status to cool status. By using the proposed method, it is possible to reduce the overshoot of the system. It is use 30% to reverse, because from the experimental is the best result.

From block diagram in Fig. 3, it can improve to easy than. The method explains in the next section.

IV. IMPROVEMENT CONTROLLER DESIGN

In the Fig.3, this block diagram is difficult to fine thermal resistant of the joint between Peltier device and aluminum sheet, because it depends on the process of the connection. Moreover, it is also difficult to program by FPGA. However, the section of aluminum sheet can see in the kind of the heat disturbance. Therefore, it can use block diagram in the Fig. 4 to control temperature on aluminum side, while HDOB is

$$q_{dis} = \frac{I^2 R_c}{2} - \frac{T_h - T_c}{R_p} + q_o + q_{pa} \quad (15)$$

The disturbance observer is applied structure from motion control. The block is shown in the frame of the heat disturbance in the Fig. 4. Motion control is estimated force disturbance, while thermal control system is the heat estimation. Therefore, the heat estimation is described as

$$\hat{q}_{dis} = \frac{\alpha_n T_{on} s_{dis} I^2 g_{dis} c_p T_o s}{s^2 g_{dis}} \quad (16)$$

From the Fig.4, transfer function of the start point is shown as following

$$\frac{T_h}{T_{cmd}} = \frac{\alpha K_{pt} s^2 + 2\alpha g_{dis} K_{pt} s + \alpha g_{dis}^2 K_{pt}}{A} \quad (17)$$

where: $A = \alpha_n c_p s^3 + (2\alpha_n c_p g_{dis} - \alpha_n c_p g_{dis}) s^2 + (\alpha_n c_p g_{dis}^2 - \alpha_n c_p g_{dis}^2 - \alpha g_{dis}^2 c_{pn} + \alpha g_{dis} K_{pt}) s + \alpha g_{dis}^2 K_{pt}$

After the 30% to the peak of the overshoot, the transfer function of this point is realized as following

$$\frac{T_h}{T_{cmd}} = \frac{\alpha K_{pp} s^2 + 2\alpha g_{dis} K_{pp} s + \alpha g_{dis}^2 K_{pp}}{B} \quad (18)$$

where: $B = \alpha_n c_p s^3 + (2\alpha_n c_p g_{dis} - \alpha_n c_p g_{dis}) s^2 + (\alpha_n c_p g_{dis}^2 - \alpha_n c_p g_{dis}^2 - \alpha g_{dis}^2 c_{pn} + \alpha g_{dis} K_{pp}) s + \alpha g_{dis}^2 K_{pp}$

In the section of CP controller, it is changing to the PID controller. The transfer function becomes

$$\frac{T_h}{T_{cmd}} = \frac{C}{D} \quad (19)$$

where: $C = \alpha K_d s^4 + (\alpha K_p + 2\alpha g_{dis} K_d) s^3 + (2\alpha g_{dis} K_p + \alpha K_i + \alpha g_{dis}^2 K_d) s^2 + (\alpha g_{dis}^2 K_p + 2\alpha g_{dis} K_i) s + \alpha g_{dis}^2 K_i$

where: $D = \alpha_n c_p s^4 + (2\alpha_n c_p g_{dis} - \alpha_n c_p g_{dis} + \alpha g_{dis} K_d) s^3 + (\alpha_n c_p g_{dis}^2 - \alpha_n c_p g_{dis}^2 - \alpha c_{pn} g_{dis}^2 + \alpha g_{dis} K_p + \alpha g_{dis}^2 K_d) s^2 + (\alpha g_{dis} K_i + \alpha g_{dis}^2 K_p) s + \alpha g_{dis}^2 K_i$

In this method, It can be reduced the overshoot, because the Peltier device still has surface hot after the reference position, while the controller not put the current source. It is a long time to down. In this reason, the method quickly to reverse the surface to cool can be obtained good tacking the reference more than only the P controller. In described above, the experiment is shown in the next section.

The method in Fig.4 is shown in [12], and it can apply to control temperature. This method can be confirmed by experimental result as show in the next section.

V. EXPERIMENTS

To confirm the validity of the proposal method, several experiment setup and results are conducted in this section.

A. Experimental Setup

The schematic block diagram of the temperature control is shown in Fig. 5. The block diagram consists of:

- Altera Cyclone III FPGA is used EP3C120F780C8N version to control system.
- Computer uses for programming FPGA and analysis signal data. The programming is applied VHDL language with Quartus II software, and using USB blaster connected between computer and FPGA.
- LCD character displays value temperature and referent temperature.
- Peltier device is used version ETC-031-14-11-E. The device is arranged on the heat sink and DC fan to dissipate the endothermic heat flow.
- The H-bridge driver is used to put current and to reverse direction current for Peltier device with mosfet IRF3205 (Maximum 110A). It is control voltage by FPGA with series PWM.
- The digital temperature sensor used DS18B20 version with 12 bit for reading temperature.

The experiment hardware setup is shown in Fig. 6 (a). The main equipments are controller unit, driver current and thermal system. The FPGA controller unit is used high speed with a clock frequency 50 MHz (20ns). The driver can be supplied the current to the device, and it can be reversed direction of the current to hot or cool on the Peltier device. A method to reverse direction current is proposed method in this research.

The last main equipment is a thermal system. The schematic of this system is given in the Fig. 6 (b). The Peltier device is mounted on the heat sink with DC fan to dissipate the endothermic heat flow, and top side of device arranged aluminum sheet. The top of aluminum is arranged digital temperature sensor to measure the temperature value. In the explanation above, the system control is used only the digital. It easy to control by FPGA, because it is not used digital to analog convertor (DAC) or analog to digital convertor (ADC). It is easy to programming, and digital system is protected

noise working well.

B. Experimental Result

The proposed control system design is confirmed by experiment. Several experiment results are shown in the Fig. 6. The temperature command is set to difference 8 °C from temperature room. The parameters are used in these experiments given in the Table II.

Firstly, CP controller method is changed the direction of current to reduce the overshoot. In this method, the experimental result comparison between P controller and CP controller is shown in the Fig. 7 (a). The proposal method retains the properties of the P controller. Therefore, it is giving a faster response when comparison with PID controller as shown the Fig. 7 (b). At the time around 200 s, we are used another Peltier to touch the aluminum sheet for testing the outside object disturbance into system. The CP controller has response to tacking better the PID controller.

Secondly, the Fig. 7 (c) is a comparison between using and

not using the disturbance observer. From the experimental results it can be seen that, the robust controller can be obtained by using disturbance observer. The Fig. 7 (d) is experiment when the object disturbance in to system at the time around 200 s. it can be confirmed that the proposed CP controller based on disturbance observer is obtain the better results to reject the disturbance.

TABLE II. PARAMETER USE IN THIS EXPERIMENT

Parameter	Value
K_{psl}	1.5
K_{psp}	4
K_p	0.1
K_i	0.15
K_d	0.5
g_{dis}	1 (rad/s)
C_p	0.8 (W/K)
α	0.0127 (V/K)

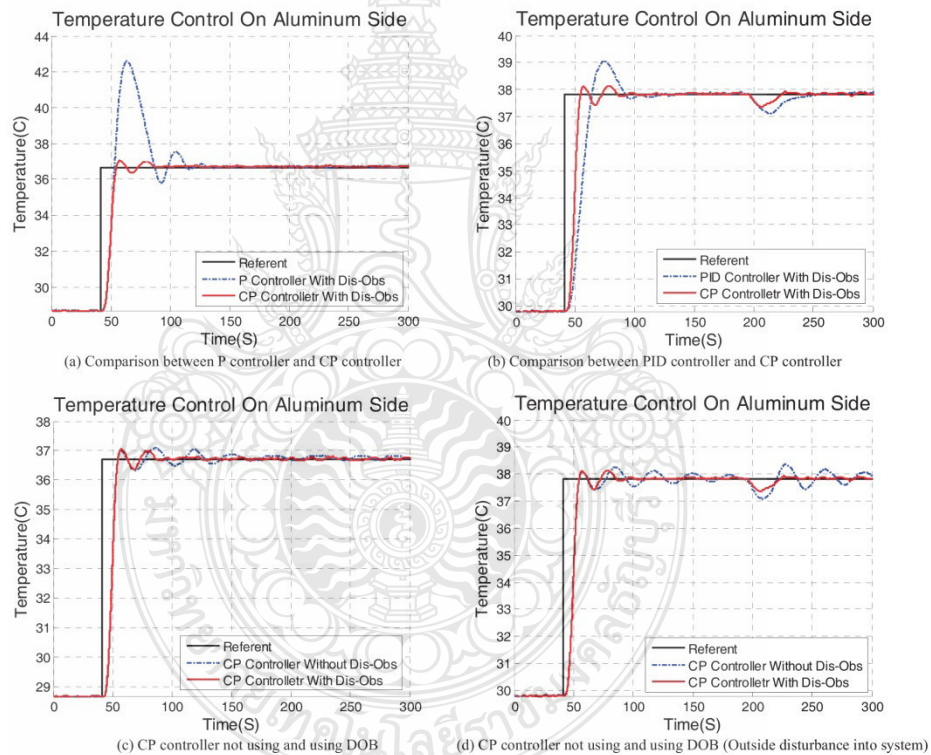


Fig. 7. Experiment result.

VI. CONCLUSION

From the development of the method to control temperature, the CP controller provides better results than the

PID controller, because it still used characteristic of the P controller, while the customization is a method for reducing the overshoot. Moreover, the system is applied disturbance observer in conjunction with the CP controller. The response

of this method can give the robust system. It can be used to guideline the analysis of temperature control with Peltier device on the aluminum sheet for applications obtaining better stability. In the future research, we will focus on the bilateral temperature controller and combination with force. This system can be applied to complete the Haptic sensation system between human and robot or material.



Sarayut Yaemprayoon received the bachelor's degree in electronic and telecommunication engineering from Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT), Thailand, in 1995 where he is currently studying toward the master's degree in the Department of Electrical Engineering, RMUTT also. From 2010 to 2011, He has research student in His research interests include Haptic temperature control by FPGA controller.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by Nagaoka University of Technology Japan (Motion Control Laboratory) in conjunction with Rajamangala University of Technology Thanyaburi Thailand (Signal Processing Research Laboratory).

REFERENCES

- [1] C. Mitsantisuk, S. Katsura, and K. Ohishi, "Force Control of Human-Robot Interaction Using Twin Direct-Drive Motor System Based on Modal Space Design," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 57, no. 4, pp.1383-1392, April 2010.
- [2] M. J. Nandayapa Alfaro, C. Mitsantisuk, and K. Ohishi, "Velocity Control Based on a Wide Range of Velocity Estimation in FPGA," *IEEE/Japan Conference on Industrial Instrumentation and Control*, pp. 89-94, 2011.
- [3] Z.-J. Yan, Y. Xue, J.-H. Ye, H. Qian, and X.-H. Yang, "Main Steam Temperature Composite Control System Based on Variable Universe Fuzzy Logic Control Integrated With Immune And Self-Tuning Pid Controller," in *Proc. of the Eighth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Baoding*, pp.712-716, July 2009.
- [4] S. Lineykin and S. Ben-Yaakov, "PSPICE-Compatible Equivalent Circuit of Thermoelectric Coolers," *Power Electronics Specialists Conference, 2005. PESC '05. IEEE 36th*, pp.608-612, June 2005.
- [5] H. Morimitsu and S. Katsura, "A Method to Control a Peltier Device Based on Heat Disturbance Observer," *IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, no. 4, pp.1222-1227, November 2007.
- [6] C. Mitsantisuk, K. Ohishi, S. Urushihara, and S. Katsura, "Kalman Filter-Based Disturbance Observer and its Applications to Sensorless Force Control," *Advanced Robotics*, No. 1, pp.335-353, October 2011.
- [7] C. Alaoui, "Peltier Thermoelectric Modules Modeling and Evaluation," *International Journal of Engineering (IJE)*, pp. 114 - 121, April 2011.
- [8] M. Deng, A. Inoue, and Y. Tabara, "Experimental Study on Operator Based Nonlinear Temperature Control of an Aluminum Plate Actuated by a Peltier Device," *SICE Annual Conference 2008*, pp.1405-1408, August 2008.
- [9] M. Deng, A. Inoue, and S. Goto, "Operator Based Thermal Control Of An Aluminumplate With A Peltier Device," *ICIC International*, vol. 4, no. 12, pp. 3219-3229, December 2008.
- [10] S. Lineykin and S. Ben-Yaakov, "Modeling and Analysis of Thermoelectric Modules," *IEEE Transactions On Industry Applications*, vol.43, no. 4, pp.505-512, March-april 2007.
- [11] H. Morimitsu and S. Katsura, "Heat Inflow Control of Peltier Device Based on Heat Inflow Observer," *SICE Annual Conference 2010*, pp. 996-1001, August 2010.
- [12] S. Yaemprayoon, C. Mitsantisuk, K. Ohishi, and J. Srinonchat "Development Control Thermoelectric Technique Using Customized Proportional Controller and Disturbance Observer," *2011 International Conference on Computer and Computational Intelligence*, pp. 996-1001, December 2011.

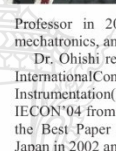


Chowarit Mitsantisuk received the B.S.degree in electrical engineering from Thammasat University, Pathumthani, Thailand, in 2003 and the M.S. degree and Ph.D. degrees in electrical engineering from Nagaoka University of Technology, Nagaoka, Japan, in 2007, and 2004, respectively. From 2010, he was a Postdoctoral in Nagaoka University of Technology by JSPS scholarship. His research interests include motion control, force control, human-robot interaction, sensor fusion, and real-world haptics. In the 2009, He was IEEE IES student scholarship award and best presentation award.



Kiyoshi Ohishi received the B.E., M.E., and Ph.D. degrees in electrical engineering from Keio University, Yokohama, Japan, in 1981, 1983, and 1986, respectively.

From 1986 to 1993, he was an Associate Professor with the Osaka Institute of Technology, Osaka, Japan. Since 1993, he has been with the Department of Electrical Engineering, Nagaoka University of Technology, Nagaoka, Japan, where he became a Professor in 2003. His research interests include power electronics, mechatronics, and motion control.



Dr. Ohishi received the Outstanding Paper Awards at the 1985 IEEE International Conference on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation (IECON) and the Best Paper Awards at IECON'02 and IECON'04 from the IEEE Industrial Electronics Society. He also received the Best Paper Award from the Institute of Electrical Engineers of Japan in 2002 and 2009.

Jakkree Srinonchat received his undergraduate degree from Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT), Thailand, in 1995, and his Ph.D. in Electrical Engineering, major signal processing from University of Northumbria at Newcastle, UK, in 2005. He awarded the scholarship from Royal Academic of Engineering, UK in 2002, to do the research "stochastic encoding" and also awarded the scholarship from IEEE organization to research "optimization signal codebook" in 2003.

He is currently a lecturer of Department of Electronics and Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering, RMUTT, Thailand.

His research on the signal processing, especially FPGA Design, speech and image processing, is published in the proceeding of international conference and journal. He is currently the advisor of the Signal Processing Research Laboratory, which establishes to provide and services the new design and solution to industry.



ICICTES 2013



**24-26 Jan.
2013**

The International Conference on
Information and Communication Technology
for Embedded Systems

Bann Amphawa Resort Amphawa, Samutsongkhram, Thailand



ICICTES 2013, Samutsongkhram, Thailand 24-26 January 2013

❧
**The 2013 International Conference on Information and
 Communication Technology for Embedded Systems (ICICTES 2013)**

Proceedings

January 24-26, 2013

Bann Amphawa Resort, Samutsongkhram, THAILAND

❧ *Organized by* ❧

*Kasetsart University
 Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University
 National Electronics and Computer Technology Center, NSTDA
 Tokyo Institute of Technology*

❧ *Technical Sponsors* ❧

*Information Technology (ECTI) Association of Thailand
 IEEE Thailand Section*

Organizing Committee

Honorary Chairs

Vudtechai Kapilakanchana, *President of Kasetsart Univ, Thailand*
 Nobuo Fujii, *Tokyo Inst Tech, Japan*
 Somkit Lertpaithoon, *Rector of Thammasat Univ, Thailand*
 Pansak Siriruchatapong, *Director of Nat'l Electronics & Computer Tech Center, Thailand*

General Chairs

Hiroaki Kunieda, *Tokyo Inst Tech, Japan*
 Thanya Kiatiwat, *Kasetsart Univ, Thailand*
 Somnuk Tangtermsirikul, *SIIT Thammasat Univ, Thailand*
 Asanee Kawtrakul, *Nat'l Electronics & Computer Tech Center, Thailand*
 Somnuk Sirisoonthorn, *Nat'l Sci Tech Development Agency, Thailand*

Technical Program Chairs

Pisut Raphisak, *Kasetsart Univ, Thailand*
 Usana Tuntoolavest, *Kasetsart Univ, Thailand*
 Wiroonsak Santipach, *Kasetsart Univ, Thailand*
 Tsuyoshi Isshiki, *Tokyo Inst Tech, Japan*
 Kamol Kaemarungsi, *Nat'l Electronics & Computer Tech Center, Thailand*
 Kanokvate Tungpimolrut, *Nat'l Electronics & Computer Tech Center, Thailand*
 Chalie Charoenlarnnoppa, *SIIT Thammasat Univ, Thailand*
 Thanaruk Teeramunkong, *SIIT Thammasat Univ, Thailand*
 Waree Kongprawechnon, *SIIT Thammasat Univ, Thailand*
 Tsang-Yi Wang, *Nat'l Sun Yat-sen Univ, Taiwan*
 Naveen Arulsevan, *Nokia Siemens Networks, India*

Finance Chairs

Suneat Pranonsatit, *Kasetsart Univ, Thailand*
 Gun Srijuntongsiri, *SIIT Thammasat Univ, Thailand*
 Teera Phatrapornnant, *Nat'l Electronics & Computer Tech Center, Thailand*

International Advisory

Stanislav S. Makhanov, *SIIT Thammasat Univ, Thailand*
 Akinori Nishihara, *Tokyo Inst Tech, Japan*
 Nobuhiko Sugino, *Tokyo Inst Tech, Japan*

Local Arrangement Chairs

Siroj Sirisukprasert, *Kasetsart Univ, Thailand*
 Itthisek Nilkhamheng, *SIIT Thammasat Univ, Thailand*

Publicity Chairs

Srijidtra Mahapakulchai, *Kasetsart Univ, Thailand*
 Pakinee Aimmanee, *SIIT Thammasat Univ, Thailand*
 Prapun Suksompong, *SIIT Thammasat Univ, Thailand*

Publication Chairs

Denchai Worasawate, *Kasetsart Univ, Thailand*
 Miti Ruchanurucks, *Kasetsart Univ, Thailand*
 Somsak Kittipiyakul, *SIIT Thammasat Univ, Thailand*
 Toshiaki Kondo, *SIIT Thammasat Univ, Thailand*

General Secretaries

Teerasit Kasetkasem, *Kasetsart Univ, Thailand*

ICICTES 2013, Samutsongkhram, Thailand 24-26 January 2013

❧ Reviewer List ❧

We would like to express our sincere gratitude to the following individuals and anonymous reviewers for their efforts in the reviewing process of ICICTES2013

Aimmanee, Pakinee	Nitchot, Athitaya
Athikulwongse, Krit	Patanavijit, Vorapoj
Bunnun, Pished	Phaisangittisagul, Ekachai
Buranarach, Marut	Phatrapornnant, Teera
Chana, Idriss	Punyasai, Chumnarn
Charoenlarnnoppa, Chalie	Raksapatcharawong, Mongkol
Chinrungrueng, Jatuporn	Raphisak, Pisut
Covanich, Wutthipat	Ruchanurucks, Miti
Danklang, Panuwat	Sanposh, Peerayot
Garagate, Chugiat	Santipach, Wiroonsak
Gordon, Steve	Siddhichai, Supakorn
Intarapanich, Apichart	Sinthanayothin, Chanjira
Isshiki, Tsuyoshi	Skolthanasarat, Siriya
Kaemarungsi, Kamol	Srisuchinwong, Banlue
Kasetkasem, Teerasit	Sugino, Nobuhiko
Keinprasit, Rachaporn	Suksompong, Prapun
Kittipiyakul, Somsak	Sukvichai, Kanjanapan
Kondo, Toshiaki	Suntisrivaraporn, Boontawee
Kongprawechnon, Waree	Thainimit, Somying
Kuhirun, Waroth	Thanapatay, Dusit
Kunieda, Hiroaki	Thanawattano, Chusak
Lamsrichan, Poonlap	Uyyanonvara, Bunyarit
Li, Dongju	Vanichchanunt, Pisit
Makhanov, Stanislav	Vanijjirattikhan, Rangsarit
Mamat, Kritsada	Wattanapanitch, Woradorn
Marukatat, Sanparith	Worasawate, Denchai
Nilkhamhang, Itthisek	Wutiwiwatchai, Chai
Nishihara, Akinori	

ICICTES 2013, Samutsongkhram, Thailand 24-26 January 2013

❧ **Table of Contents** ❧

• Keynote Speech	i
○ Prof. Dr. Katsushi Ikeuchi	ii
○ Prof. Dr. Monai Krairiksh	iii
○ Prof. Dr. Hiroshi Nagahashi	v
• Invited Talk	vii
○ Prof. Dr. Kenji Kise	viii
○ Dr. Kamol Kaemarungsi	ix
○ Prof. Dr. Kazuhiko Fukawa	x
○ Prof. Dr. Woradorn Wattanapanitch	xi
• Session 1A: Hardware/software co-design	
○ January 24, 2013 : 15:00 - 16:40 Room A	1
• Session 1B: Image processing applications	
○ January 24, 2013 : 15:00 - 16:40 Room B	4
• Session 2A: Human interface	
○ January 25, 2013 : 10:20-12:00 Room A	6
• Session 2B: Image and other applications	
○ January 25, 2013 : 10:20-12:00 Room B	8
• Session 3A: Communications	
○ January 25, 2013 : 13:40-15:20 Room A	10
• Session 3B: Other applications	
○ January 25, 2013 : 13:40-15:20 Room B	13
• Session 4: Short papers	
○ January 25, 2013 : 15:40-16:40 Room A	15
• Session 5A: Communications	
○ January 26, 2013 : 10:00-11:20 Room A	18
• Session 5B: Other applications	
○ January 26, 2013 : 10:00-11:20 Room B	20
• Author Index	A-1

ICICTES 2013, Samutsongkhram, Thailand 24-26 January 2013

Designing FPGA Low Pass Filter for Improvement Control Peltier Device base on Heat Disturbance Observer

Sarayut Yaemprayoon
Department of Electronic and Telecommunication Engineering
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Pathumthani, Thailand, 12110
Sarayut_Yaemprayoon@hotmail.com

Kiyoshi Ohishi
Department of Electrical Engineering
Nagaoka University of Technology
Nagaoka, Niigata, Japan, 940-2188
ohishi@vos.nagaokaut.ac.jp

Chowarit Mitsantisuk
Department of Electrical Engineering
Kasetsart University
Jatujak, Bangkok, Thailand 10900
fengcrn@ku.ac.th

Jakkree Srinonchat
Department of Electronic and Telecommunication Engineering
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Pathumthani, Thailand, 12110
Jakkree.s@en.rmutt.ac.th

Abstract— This paper proposes a designing FPGA low pass filter for improvement control Peltier device. This system is also applied heat disturbance observer to estimation value of the heat disturbance the system. Peltier device is selected to be the thermoelectric module device. It is a type suitable for analysis thermal system in order to fast respond and good stability when, it compares with another device. It is also applied the low pass filter, which designs on FPGA, to reduce noise and increase the resolution of the digital temperature sensor. Moreover the circuits are design on the digital system only. It protects noise working well and easy to program with FPGA. Therefore, the experimental result shows that it can be guideline for the analysis to control thermal system various application.

Keywords—Field Programmable Gate Array (FPGA), Proportional-Integral-Derivative controller (PID controller), Temperature control, Heat disturbance, Heat Disturbance Observer (HDOB), Programming Low Pass Filter (PLPF)

I. INTRODUCTION

Many application controls system demand recently higher processing resource. The haptic robot is also an academic field called "Haptic" sure as [1], which deals with the acquisition, transmission and reproduction of tactile sensation. However, many work had focused on the force sensation between human to robot or object sure as [2]. However, the human have a Haptic with force and temperature sensation Therefore, this research is proposed development the temperature control with FPGA controller unit base on HDOB and PLPF.

The propose method is used FPGA controller because this paper is proposed technical HDOB and PLPF with real time controller. Therefore, the parallel processing is suitability resource for the temperature contro. For example, this controller unit is used in [3]. Moreover, the FPGA will suit the programming Haptic temperature (Real time bilateral temperature control) in the future work.

The HDOB technical is programmed by FPGA. It is a method estimation heat disturbance into the system and converts to current source compensate. The heat disturbances are problem to control the robustness temperature. The HDOB can be estimated the amount of heat disturbance by comparing the output of the system with nominal value of input. This method is applied from [4]. The disturbance observer is used mainly in the field of motion control as shown in [5], and the HDOB is used the structure of disturbance observer (DOB) from motion control. By the proposal system, the effect of the heat disturbance is compensated by conversion to the current source. In addition, the DOB is easy to implement and simple to design. The compensate system by HDOB has been proposed by [6]. Finally, the method is also applied PLPF to reduce the noise by FPGA. It is used in the HDOB and sensor section. Moreover, the circuits are design on the digital system only. This can protect noise working well. This system is therefore possible to obtain more robustness. Therefore, the information is explained in this article, and the validity can be confirmed by experimental results.

II. EQUIVALENT CIRCUIT AND EQUATION CONTROLLER

The control temperature equations are analyzed from the equivalent circuit of the Peltier device as shown in Fig. 1 which is explained in [7]. The equivalent circuit consists of Peltier device and objects. The objects are human's finger, materials or others. This factor is kind of the heat disturbance into system, and it can compensate with HDOB.

According to this experiment, it focuses on hot temperature control, the object is therefore connected to the hot side node. The variables and subscripts are used in the Tab. I.

From Fig. 1, the note of the hot side can be analysis a heat to

ICICTES 2013, Samutsongkhram, Thailand 24-26 January 2013

$$q_h = q_h + \frac{q_j}{2} - q_k + q_o \quad (1)$$

The Peltier devices control hot or cool by reverting direction of the current source. Therefore, the equation is

$$q_c = -q_{pc} + \frac{q_j}{2} + q_k - q_o \quad (2)$$

The Peltier device has a seebeck effect. It is a measurement from the magnitude of an inducing maximum voltage in response to a maximum difference. This coefficient can also notice in the datasheet of the Peltier device. The equation of seebeck coefficient is

$$\alpha = \frac{U_{\max}}{T_{\text{diff max}}} \quad (3)$$

The thermoelectric modules in this experiment can be defined as equation (4)

$$q = IU = I^2 R \quad (4)$$

From the equation (3) and (4) is taken into equation (1). Therefore the equation at the hot side node is

$$q_h = \alpha T_h I + \frac{I^2 R_e}{2} - \frac{T_h - T_c}{R_p} + q_o \quad (5)$$

The cool side note becomes

$$q_c = -\alpha T_c I + \frac{I^2 R_e}{2} + \frac{T_c - T_h}{R_p} - q_o \quad (6)$$

Moreover, the heat equations can be analyzed from the thermal capacitance in terms of temperature/time derivative. It can be explained to the equation (7).

$$C_p \frac{dT_h}{dt} = q_h \quad (7)$$

From equations (5) and (7) can be noticed the equation of the temperature control flowing as

$$C_p \frac{dT_h}{dt} = \alpha T_h I + \frac{I^2 R_e}{2} - \frac{T_h - T_c}{R_p} + q_o \quad (8)$$

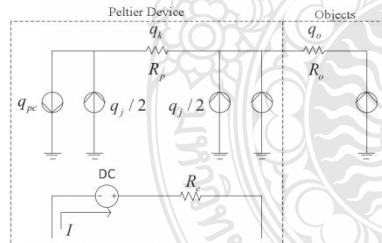


Fig. 1 equivalent circuit of the thermal system

In the final equation, is the output of the system, and is the actual value of the control system or Peltier device part. When the current source (I) is supplied, the temperature is then changed (and measure value by digital temperature). In the heat disturbance section and (Peltier device heat disturbance) are the disturbance value of the device, and object heat disturbance is the outside term. The heat disturbance value can be designed to compensate with structure of the HDOB, and the proposal method is explained in next section.

III. DESIGN TECHNICAL CONTROLLER

From the equation (8), the actual value of the control system or Peltier device part is

$$C_p \frac{dT_h}{dt} = \alpha T_h I \quad (9)$$

Where $C_p \frac{dT_h}{dt}$ is output and $\alpha T_h I$ is input control by current. Therefore, this equation becomes to block diagram as show in Fig.2 in the section Peltier device. Moreover, the final equation can know the object of the heat disturbance. It analysis to

$$g_{dis} = \frac{I^2 R_e}{2} - \frac{T_h - T_c}{R_p} + q_o \quad (10)$$

TABLE 1. LISTS OF VARIABLE AND SUBSCRIPTS

Variable	Definition
T	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)
q	Heat (W)
q_k	Heat physical constant in Peltier device (W)
$q_j/2$	Joule Heat in Peltier device (W)
C	Thermal Capacitance (J/K)
R	Thermal Resistance (K/W)
R_e	Electronic Resistance (Ω)
g_{dis}	Cutoff frequency (rad/s)
U	Voltage source (V)
I	Current source (A)
α	Seebeck coefficient of Peltier device (V/K)
s	Laplace operator
K_p	Proportional gain
K_i	Integral gain
K_d	Derivative gain
Subscripts: c	Cool side
Subscripts: h	Hot side
Subscripts: p	Peltier device
Subscripts: o	Output Object
Subscripts: n	Nominal value
Subscripts: cmd	Command
Subscripts: cms	Compensate
Subscripts: ref	Referent
Subscripts: dis	Disturbance
Subscripts: max	Maximum value
Superscripts: \wedge	Estimation value

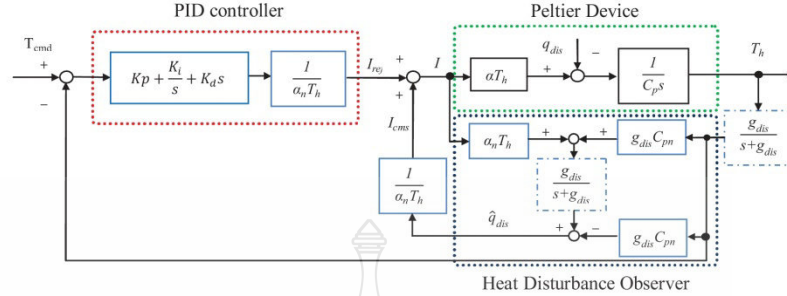


Fig.2 Block diagram of the temperature control with PID controller and HDOB

These heat disturbances are the problem to control the temperature system. However, it can be compensated by the structure of the HDOB. It is explained in the next subsection.

A. Heat Disturbance Observer

This article proposes the compensate system by HDOB. This method is compared the output of the system with nominal value of input. Therefore, it can know different heat which is heat disturbance of the system. It converts to the current source by equation. The heat nominal input is applied from equation (3) and (4), and the nominal output is obtained from equation (7).

B. Programing Low Pass Filter

Moreover, the system is used the PLPF to reduce noise in the section of HDOB and temperature sensor. Moreover, the resolution of the DS18B20 temperature sensor is used decimal 4 bits corresponding to increments of 0.5°C, 0.25°C, 0.125°C, and 0.0625°C per step. Therefore, the PLPF in this research is used program decimal resolution 32 bit °C per step. It is possible to obtain the robust temperature control. Therefore, the transfer function of the filter is analyzed to

$$g(s) = \frac{g_{dis}}{s + g_{dis}} \tag{11}$$

From the HDOB and PLPF method is become to the block diagram as show in Fig.2 in the section of the heat disturbance observer.

However, only this method is open loop of the system control. Therefore, this research chooses the close loop by applying PID controller. It is explained in the next subsection.

C. PID controller with HDOB

This paper proposes compensate method of the HDOB by programming FPGA controller unit. However, HDOB needs a combination with close loop controller to obtain robust controller. This experiment is used PID controller because PID controller is popular in the feedback controller system. The final block diagram is shown in Fig. 2. It is included the feedback PID controller by equation.

$$C(s) = Kp + \frac{K_i}{s} + K_d s \tag{12}$$

In the final block diagram, the transfer function is

$$\frac{T_h}{T_{cmd}} = \frac{A}{B} \tag{13}$$

Where:

$$A = \alpha K_p s^4 + (\alpha K_p + 2\alpha g_{dis} K_d) s^3 + (2\alpha g_{dis} K_p + \alpha K_i + \alpha g_{dis}^2 K_d) s^2 + (\alpha g_{dis}^2 K_p + 2\alpha g_{dis} K_i) s + \alpha g_{dis}^2 K_i$$

Where:

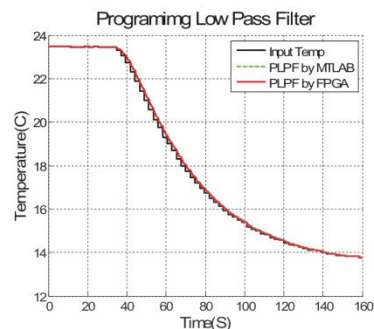
$$B = \alpha_n C_p s^4 + (2\alpha_n C_p g_{dis} - \alpha_n C_p g_{dis} + \alpha g_{dis} K_d) s^3 + (\alpha_n C_p g_{dis}^2 - \alpha_n C_p g_{dis}^2 - \alpha C_{pm} g_{dis}^2 + \alpha g_{dis} K_p + \alpha g_{dis}^2 K_d) s^2 + (\alpha g_{dis} K_i + \alpha g_{dis}^2 K_p) s + \alpha g_{dis}^2 K_i$$

From the final block diagram, it consists of control Peltier device (To control the current source by H-bridge driver and to measure temperature by digital sensor), HDOB and PID FPGA is used as a controller in this experiment because it can perform parallel processing, so it is used to be controller in this experiment.

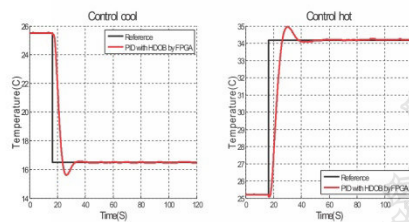
IV. EQUIPMENT PART

The equipment part is used digital component because it needs to program and connect with FPGA. Moreover, the digital component is protected noise working well. The FPGA is used to control the Peltier by using Mosfet H-bridge current driver. It puts the current control by PWM and reverse direction of the current by I wire interface. The temperature value is also measured by using digital sensor with I wire interface. The thermoelectric module is the Peltier device which is used in many applications, such as a small refrigerator or CPU coolers. It is a suitable type for analysis temperature system because it has a relatively fast response among thermal devices. The device uses only a DC power source because it is easy to drive. It can change cool side or hot side by reversing direction of the current source. As a

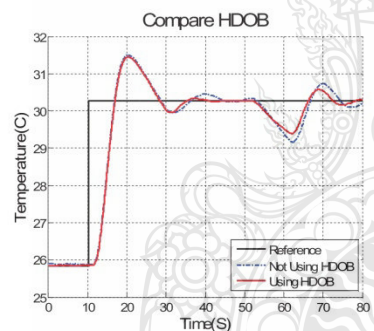
ICICTES 2013, Samutsongkhram, Thailand 24-26 January 2013



a) PLPF by MTLAB and FPGA



b) PID with FPGA control hot
c) PID with FPGA control cool



d) Compare using HDOB and non-using HDOB

Fig. 3 experimental results

result, the temperature control becomes more robust to those disturbances.

V. EXPERIMENTS RESULTS

Firstly, the Fig.3 a) shows the result of the PLPF. It is measured from digital temperature sensor section and is

compared with simulation on software MTLAB (matrix laboratory) and FPGA to confirm the validity.

Secondly, the PID controller with HDOB is shown in the Fig. 3 b) and c). It is programmed by FPGA controller unit and is applied the PLPF. In the experimental result, the temperature command is set to difference 9°C from temperature room.

Finally, the Fig. 3 d) is testing the point of the HDOB. It is a comparison using and non-using HDOB. At the time 60 seconds, we used aluminum plate touching to the Peltier device for testing the outside object disturbance into system. It can summary that using HDOB provides a good tacking than non- using HDOB. Therefore, it is possible to obtain the robust temperature controller.

VI. CONCLUSION

This article proposes the HDOB compensate and PLPF technical by programming with FPGA. The HDOB is used to estimation object of the heat disturbance and convese to the current compensate to the system. Moreover, the system is applied the PLPF for reducing the noise and increasing the resolution of the temperature value. Therefore, the FPGA is suitable for the technical propose method in the order to it has a faster and paraller process. Moreover, It can program by real time control system. The further work will focus on the bilateral temperature controller and combination with force. This system can be applied to complete the Haptic sensation system between human and robot or material. The FPGA suits.

REFERENCES

- [1]Hidetaka Morimitsu, Seiichiro Katsura, "Thermal Bilateral Control with Scaled Thermal Information Using Peltier Device," SI International 2011, 2011.12, PP:512-526.
- [2]C. Mitsantisuk, TP, Phuong Tran, S. Katsura, K. Ohishi, "Combining Position and Acceleration Information for High Performance of Bilateral Control using Kalman-Filter-Based Disturbance Observer," IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, 2010, 11, PP: 2069 - 2074.
- [3]Zhou Runjing, Xu Hongwei, "Design of Fuzzy Temperature Control System Based on FPGA Control," Automation and Systems Engineering (CASE), 2011.6, PP:1-4.
- [4]Hidetaka Morimitsu, Seiichiro Katsura, "Construction of Heat Inflow Control System Based on Disturbance Heat Flow Estimation," th France-Japan and 6th Europe-Asia Congress on Mechatronics, MECHATRONICS '10-YOKOHAMA, 2010.10, PP:591-596.
- [5]Seiichiro Katsura, Yuichi Matsumoto, Kouhei Ohnishi, "Modeling of Force Sensing and Validation of Disturbance Observer for Force Control," IEEE Transactions On Industrial Electronics, 2007.2, PP:530-538.
- [6]Hidetaka Morimitsu, Seiichiro Katsura, A Method to Control a Peltier Device Based on Heat Disturbance Observer," IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, 2007.4, PP:1222-1227.
- [7] Simon Lineykin, Shmuel Ben-Yaakov, "Modeling and Analysis of Thermoelectric Modules," IEEE Transactions On Industry Applications, 2007.4, PP:505-512.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	ว่าที่ร้อยตรีสรายุทธ์ แยมประยูร
วัน เดือน ปีเกิด	31 พฤษภาคม 2529
ที่อยู่	40/50 ม.1 ต. คลองเจ็ด อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
การศึกษา	
2550 – 2553	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และ โทรคมนาคมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
2548 – 2550	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงสาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลสุวรรณภูมิ วิทยาเขตนนทบุรี
2545 – 2548	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์วิทยาลัยเทคนิคชุมพร
ประสบการณ์การทำงาน	
2552 – ปัจจุบัน	บริษัท อิเล็กทรอนิกส์โปร ดีไซน์ จำกัด ตำแหน่ง กรรมการผู้จัดการ

