ระบบควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ LabVIEW

TEMPERATURE CONTROL PLANT USING LabVIEW

คริสติน วิลกินซัน

แพรวา แพงเทียน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

TEMPERATURE CONTROL PLANT USING LabVIEW

KRISTINE WILKINSON

PAIRVA PANGTHEIN

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN CONTROL ENGINEERING

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ LabVIEW

TEMPERATURE CONTROL PLANT USING LabVIEW

ผู้จัดทำ นางสาวคริสติน วิลกินซัน 60010118

นางสาวแพรวา แพงเทียน 60010750

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร.วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภินัย ฤกษ์รัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ระบบควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ LabVIEW

โดย
นางสาวคริสติน วิลกินซัน 60010118
นางสาวแพรวา แพงเทียน 60010750

อาจารย์ที่ปรึกษา
ศาสตราจารย์ ดร.วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภินัย ฤกษ์รัตน์

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิกระบวนการโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ระบบที่นำเสนอประกอบด้วย วงจรบริดจ์แบบใช้เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดี วงจรขยายอินสทรูเมนท์ วงจรปรับแต่งสภาพสัญญาณและเชื่อมต่อสัญญาณเอสซีอาร์ กล่องสำหรับทำความร้อนโดยใช้หลอดไฟชนิดไส้พร้อมพัดลมระบายอากาศ และโปรแกรม LabVIEW การควบคุมอุณหภูมิของระบบเป็นการควบคุมแบบพีไอดี ซึ่งสามารถกำหนดและสั่งการได้จากโปรแกรม LabVIEW โดยควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วง 30℃ ถึง 80℃ ในขณะที่คุณสมบัติการทำงานที่สำคัญของระบบยังสามารถปรับแต่งตามความเหมาะสมได้ผ่านโปรแกรม LabVIEW ผลการทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสมผ่านทางโปรแกรม LabVIEW ทำให้ระบบมีการทำงานเป็นไปตามที่คาดการณ์เอาไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

TEMPERATURE CONTROL PLANT USING LabVIEW

By

Miss Kristine Wilkinson 60010118

Miss Pairva Pangthein 60010750

Advisor

Prof.Dr. Worapong Tangsrirat

Asst.Prof.Dr. Apinai Rerkratn

Academic Year 2020

ABSTRACT

This thesis presents the design and construction of the temperature control plant using LabVIEW. The proposed plant consists of bridge circuit with RTD temperature sensor, instrumentation amplifier circuit, signal conditioner and transmission circuits, SCR (silicon controlled rectifier), heat box using an incandescent lamp with a ventilative fan and LabVIEW program. The temperature plant can be easily controlled through the built-in PID function on the LabVIEW. Furthermore, lamps in the plant have a variable brightness depending on a user-defined temperature which can be controlled between 30°C - 80°C. In addition, the other important parameters can also be adjusted accordingly via the user interface of the LabVIEW. Finally, the appropriate controller parameters evaluated by LabVIEW program demonstrate that the developed system functions correctly.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้ประสบผลสำเร็จไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความร่วมมือช่วยเหลือและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้าอย่างยิ่ง จากผู้มีพระคุณหลายท่าน อาทิ

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อภินัย ฤกษ์รัตน์ และ ศาสตราจารย์ ดร.วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์ ที่ได้ให้คำเสนอแนะ แนวคิด ข้อแนะนำ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆของโครงงานมาโดยตลอด อีกทั้งอาจารย์ท่านอื่นๆในหลักสูตรวิศวกรรมระบบควบคุม ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุมที่คอยให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ ผู้จัดทำจึงขอขอบคุณพระคุณในความอนุเคราะห์จากอาจารย์ทุกๆท่านที่ช่วยเหลือในการทำโครงงานครั้งนี้

ขอขอบคุณ นายนัชนัยน์ รุ่งเหมือนฟ้า และนางสาวพิชญานิน มูลเมือง ที่สละเวลา ให้คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือในเรื่องของการเรียบเรียงข้อมูลด้วยความเอาใจใส่มาโดยตลอด

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ดอน อิศรากร และ นายศุภวัตน์ ชัยสวัสดิ์ ที่ให้การช่วยเหลือในเรื่องของเครื่องมือที่ใช้ในการจัดสร้างชิ้นงาน อุปกรณ์ รวมถึงคำแนะนำทางด้านฮาร์ดแวร์และช่วยแก้ไขข้อผิดพลาดจนทำให้ชิ้นงานประสบผลสำเร็จ

ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่ช่วยเหลือในด้านต่างๆมาโดยตลอดและร่วมให้ข้อแนะนำรวมถึงกำลังใจในการทำโครงงานนี้ จึงทำให้โครงงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

คณะผู้จัดทำ
คริสติน วิลกินซัน
แพรวา แพงเทียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	**I**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**II**
กิตติกรรมประกาศ	**II**
สารบัญ	**IV**
สารบัญรูป	**VIII**
สารบัญตาราง	**XIV**
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	**1**
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	**1**
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	**1**
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	**1**
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	**2**
1.6 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	**2**
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	**3**
2.1 แผงไฟฟ้าเชื่อมต่อวงจร	**3**
2.1.1 โพรโตบอร์ด	3
2.2.3 แผ่นวงจรพิมพ์	3
2.2 ตัวต้านทาน	**4**
2.2.1 ตัวต้านทานแบบคงที่	4
2.2.2 ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้	5
2.3 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ RTD	**5**
2.3.1 วงจรและการต่อใช้งาน RTD	6
2.4 วงจรรวม	**7**
2.1.1 ชนิดของ IC	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 ออปแอมป์	**8**
2.5.1 หน้าที่ของขาที่ใช้งานของออปแอมป์	8
2.6 รีเลย์	**9**
2.6.1 จุดต่อใช้งานมาตราฐาน	10
2.6.2 ประเภทของรีเลย์	10
2.6.3 ประโยชน์ของรีเลย์	10
2.7 ทรานซิสเตอร์	**11**
2.8 ซีเนอร์ไดโอด	**11**
2.9 ไดโอดเปล่งแสง	**12**
2.10 เบรกเกอร์	**12**
2.11 เครื่องปรับกำลังไฟ SCR	**13**
2.11.1 ส่วนประกอบของ SCR	13
2.12 แหล่งจ่ายไฟ	**14**
2.13 อุปกรณ์ Bus-Powered Multifunction DAQ USB Device	**15**
2.13.1 ส่วนประกอบสำคัญของอุปกรณ์ NI USB-6008/6009 DAQ USB Device	15
2.14 วงจรบริดจ์ไฟฟ้ากระแสตรง	**16**
2.14.1 ประเภทของวงจรบริดจ์กระแสตรง	16
2.15 วงจรขยายอินสตรูเมนเตชั่น	**17**
2.15.1 ข้อดีของวงจรขยายอินสตรูเมนเตชั่น	17
2.16 ระบบควบคุมแบบ PID	**18**
2.16.1 P (Proportional)	18
2.16.2 I (Integral)	19
2.16.3 D (Derivative)	20
2.16.4 ผลของการเพิ่มค่า Gain อย่างอิสระ	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.16.5 สมการสุดท้ายของ PID Controller	21
2.17 วิธีการของซีเกลอร์-นิโคลส์ สำหรับใช้ปรับค่าอัตราขยายของตัวควบคุม PID	**22**
2.17.1 วิธีการปฏิกิริยาของกระบวนการของซีเกลอร์-นิโคลส์	22
2.17.2 วิธีการวัฏจักรสุดท้าย	25
2.17.3 วิธีลองผิดลองถูก	26
2.18 การออกแบบลายวงจรพิมพ์ด้วยโปรแกรม EAGLE	**29**
2.18.1 การเข้าใช้งานโปรแกรม EAGLE	30
2.18.2 วิธีวาดผังวงจร	30
2.19 โปรแกรม LabVIEW	**40**
2.19.1 Data flow and Programming	41
2.19.2 ส่วนประกอบต่างๆใน LabVIEW	42
2.19.3 ประเภทของข้อมูล	48
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	**49**
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	**49**
3.2 โครงสร้างของระบบ	**49**
3.3 การออกแบบและการสร้างวงจร Bridge และ Amplifier	**50**
3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ	50
3.3.2 การออกแบบ และการสร้างวงจร Bridge และ Amplifier	51
3.4 การออกแบบและการสร้างวงจรรีเลย์	**52**
3.4.1 การคำนวณและการใช้งานวงจร	52
3.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ	53
3.4.3 การออกแบบและการสร้างวงจรรีเลย์	54
3.5 ขั้นตอนการทำแผงวงจร PCB	**55**
3.6 การออกแบบ และประกอบโครงสร้างของระบบควบคุมอุณหภูมิ	**60**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.7 การทดสอบเครื่องปรับกำลังเอสซีอาร์เพื่อหาช่วงอุณหภูมิในการควบคุม 62

3.7.1 การทดสอบการวัดอุณหภูมิโดยการเชื่อมต่อเครื่องปรับกำลังเอสซีอาร์ 62

3.7.2 การหาค่าเวลาในการลดอุณหภูมิภายในระบบ 63

3.8 การปรับปรุงระบบ 64

3.9 การออกแบบโปรแกรม LabVIEW และการทดสอบระบบทดลอง 66

3.9.1 การต่อ Block Diagram ในโปรแกรม LabVIEW 66

3.9.2 การเขียน User Interface ในโปรแกรม LabVIEW 75

บทที่ 4 ผลการทดลอง 79

4.1 การทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสม 79

4.1.1 การคำนวณหาค่า PID ตามวิธีการปฏิกิริยาของกระบวนการของซีเกลอร์-นิโคลส์ 79

4.1.2 การคำนวณหาค่า PID ตามวิธีการวัฏจักรสุดท้าย 81

4.1.3 การปรับจูนค่า PID ตามวิธีลองผิดลองถูก 84

4.2 การทดสอบการควบคุมอุณหภูมิ 87

4.2.1 ผลการทดลองจากโปรแกรม LabVIEW 87

4.2.2 บันทึกผลการทดลองจากโปรแกรม LabVIEW 88

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 90

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 90

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน 90

5.3 แนวทางการแก้ไขปัญหา 91

เอกสารอ้างอิง 92

ภาคผนวก 94

ภาคผนวก ก เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ RTD 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โพรโตบอร์ด	3
2.2 แผ่นวงจรพิมพ์	3
2.3 ตัวต้านทานแบบคงที่	4
2.4 ตารางการอ่านค่าตัวต้านทานแบบคงที่	5
2.5 ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้	5
2.6 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ RTD	5
2.7 RTD แบบ 2 สาย	6
2.8 RTD แบบ 3 สาย	7
2.9 RTD แบบ 4 สาย	7
2.10 วงจรรวม	7
2.11 โครงสร้างพื้นฐานของออปแอมป์	8
2.12 ลักษณะทางไฟฟ้าของออปแอมป์	8
2.13 รีเลย์	9
2.14 การใช้งานของหลอดไฟ 1 หลอด	10
2.15 ทรานซิสเตอร์	11
2.16 โครงสร้างแบบ NPN และ PNP ตามลำดับ	11
2.17 ซีเนอร์ไดโอด	11
2.18 ไดโอดเปล่งแสงแต่ละสี	12
2.19 สัญลักษณ์ทางวงจรและขาของ LED	12
2.20 เบรกเกอร์	12
2.21 เครื่องปรับกำลังไฟ SCR	13
2.22 ส่วนประกอบของ SCR	14
2.23 Power Supply	14
2.24 DAQ USB Device	15
2.25 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ DAQ	15
2.26 ระบบพื้นฐานของ DAQ	16
2.27 วงจรบริดจ์ไฟฟ้ากระแสตรง	16
2.28 วงจรขยายอินสตรูเมนเตชั่น	17
2.29 Block Diagram ของ PID Controller	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.30 กราฟ P Controller	19
2.31 กราฟ I Controller	20
2.32 กราฟ D Controller ขณะกราฟพุ่งขึ้น	20
2.33 กราฟ D Controller ขณะกราฟพุ่งลง	21
2.34 กราฟ D Controller ขณะกราฟ slope = 0	21
2.35 โฟลวชาร์ตการทดลองด้วยวิธีการปฏิกิริยาของกระบวนการ	23
2.36 โฟลวชาร์ตกระบวนการของระบบวงปิด	23
2.37 กราฟผลตอบสนองต่อเวลา	24
2.38 โฟลวชาร์ตการทดลองด้วยวิธีวัฏจักรท้ายสุด	25
2.39 กราฟการแกว่งของระบบหลังจากปรับค่า Kp	26
2.40 กราฟการปรับค่า Kp ที่มากเกินไป	27
2.41 กราฟการปรับค่า Kp ที่น้อยเกินไป	27
2.42 กราฟการปรับค่า Kp ที่เหมาะสม	27
2.43 กราฟการปรับค่า Ti ที่มากเกินไป	28
2.44 กราฟการปรับค่า Ti ที่น้อยเกินไป	28
2.45 กราฟการปรับค่า Ti ที่เหมาะสม	28
2.46 กราฟการปรับค่า Td ที่มากเกินไป	28
2.47 กราฟการปรับค่า Td ที่น้อยเกินไป	29
2.48 กราฟการปรับค่า Td ที่เหมาะสม	29
2.49 โปรแกรม Autodesk EAGLE	29
2.50 Control Panel	30
2.51 New Project	30
2.52 เมนูย่อยของ New	31
2.53 หน้า Schematic	31
2.54 แถบเมนูหน้า Schematic	32
2.55 แถบเครื่องมือหน้า Schematic	33
2.56 หน้า Grid	35
2.57 หน้า Add	36
2.58 หน้าการทำงาน	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.59 การเชื่อมวงจร	37
2.60 Error ในลายวงจร	37
2.61 หน้าการทำงานจากคำสั่ง Board	38
2.62 จัดวางอุปกรณ์บน Board	39
2.63 กำหนดลายทองแดง	39
2.64 หน้า Autorouter Setup	40
2.65 ลายพิมพ์วงจรที่สมบูรณ์	40
2.66 คุณสมบัติของโปรแกรม LabVIEW	41
2.67 หลักการการทำงานของ LabVIEW	42
2.68 หน้าปัทม์ของโปรแกรม LabVIEW	43
2.69 Object ประเภท Control	43
2.70 Object ประเภท Indicators	44
2.71 Object ประเภท Decorations	44
2.72 Controls Palette ที่ใช้ในการออกแบบ Front Panel	45
2.73 Tools Palette ที่ใช้ในการออกแบบ Front Panel	45
2.74 Block Diagram ของ LabVIEW	46
2.75 ลักษณะของ Node	46
3.1 โครงสร้างของระบบ	49
3.2 การออกแบบวงจร Bridge และ Amplifier	51
3.3 การออกแบบผังวงจรของวงจร Bridge และ Amplifier	51
3.4 การสร้างวงจรพิมพ์ของวงจร Bridge และ Amplifier	52
3.5 วงจรพื้นฐานในการใช้งานรีเลย์	53
3.6 วงจรรีเลย์	53
3.7 การออกแบบวงจรรีเลย์	54
3.8 การออกแบบผังวงจรของวงจรรีเลย์	54
3.9 การสร้างวงจรพิมพ์ของวงจรรีเลย์	55
3.10 ลอกลายแผ่นทองแดง	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 ถมเส้นลายวงจร	56
3.12 แผ่นทองแดงในน้ำยากัดทองแดง	57
3.13 แผ่นทองแดงขณะถูกกรดกัด	57
3.14 แผ่นทองแดงที่กรดกัดออกจนหมดเรียบร้อย	58
3.15 แผ่นวงจรที่ทำความสะอาดแล้ว	58
3.16 บัดกรีตะกั่วตามลายเส้นวงจร	59
3.17 แผ่นวงจรที่บัดกรีสำเร็จ	59
3.18 แผ่นวงจรที่บัดกรีอุปกรณ์สำเร็จ	59
3.19 เลย์เอาท์จำลองของระบบควบคุมอุณหภูมิ	60
3.20 ระบบควบคุมอุณหภูมิหลังจากประกอบโครงสร้างลงบนแผ่นไม้จริง	62
3.21 การเชื่อมต่อเครื่องปรับกำลังเอสซีอาร์เพื่อทดลองวัดค่าอุณหภูมิ	63
3.22 ภายในของระบบ	64
3.23 บานพับปิดด้านบนของพัดลมระบายอากาศ	65
3.24 เลย์เอาท์กรอบของบานพับปิดด้านบนของพัดลมระบายอากาศ	65
3.25 กรอบของบานพับปิดด้านบนของพัดลมระบายอากาศ	65
3.26 กรอบและบานพับปิดด้านบนของพัดลมระบายอากาศ	66
3.27 การต่อ Block Diagram ในโปรแกรม LabVIEW	66
3.28 ส่วนตัวรับสัญญาณอินพุตจาก DAQ	67
3.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันและค่าอุณหภูมิที่ 1	67
3.30 ค่า Scaling and Mapping ที่ 1	68
3.31 ส่วนควบคุมอุณหภูมิ	68
3.32 ส่วนของการปรับค่า Setpoint	69
3.33 ส่วนส่งข้อมูลกลับ	69
3.34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิและค่าแรงดันที่ 2	70
3.35 ค่า Scaling and Mapping ที่ 2	70
3.36 ส่วนส่งข้อมูลกลับไปยังหลอดไฟ	71
3.37 ส่วนส่งข้อมูลกลับไปยังพัดลมระบายอากาศ	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.38 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิและค่าแรงดันที่ 5	72
3.39 ค่า Scaling and Mapping ที่ 5	72
3.40 ส่วนของหน้าจอแสดงผล	73
3.41 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิและค่าเปอร์เซ็นต์ที่ 3 และ 4	74
3.42 ค่า Scaling and Mapping ที่ 3 และ 4	74
3.43 หน้าจอ User Interface ในโปรแกรม LabVIEW	75
3.44 ส่วนกำหนดค่า Setpoint	75
3.45 ฟังก์ชัน Switch	76
3.46 ฟังก์ชัน Manual Control	76
3.47 ค่าพารามิเตอร์ของบล็อกตัวควบคุม PID	76
3.48 ค่าพารามิเตอร์ Output range	77
3.49 ปุ่ม Stop	77
3.50 กราฟฟิก Meter	77
3.51 กราฟฟิก Output	77
3.52 กราฟแสดงค่า SP, PV, MV	78
3.53 ส่วน Object ประเภท Decoration	78
4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาแบบ Open loop	79
4.2 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 0.45, Ti = 1.98, Td = 0.495	80
4.3 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 10, Ti = 0, Td = 0	81
4.4 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 80, Ti = 0, Td = 0	81
4.5 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 100, Ti = 0, Td = 0	82
4.6 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 120, Ti = 0, Td = 0	82
4.7 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 130, Ti = 0, Td = 0	82
4.8 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 135, Ti = 0, Td = 0	83
4.9 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 140, Ti = 0, Td = 0	83
4.10 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 84, Ti = 0.2, Td = 0.05	84
4.11 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 84, Ti = 0.2, Td = 0.1	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 84, Ti = 0.2, Td = 0.2	85
4.13 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 84, Ti = 0.5, Td = 0.1	85
4.14 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 84, Ti = 0.75, Td = 0.1	86
4.15 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 84, Ti = 0.5, Td = 0.1	86
4.16 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายในช่วงขาขึ้น 0-100%	87
4.17 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายในช่วงขาขึ้น 100-0%	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ผลของการเพิ่มค่า Gain อย่างอิสระ	21
2.2 เกณฑ์การปรับแต่งพารามิเตอร์แบบซีเกลอร์-นิโคลส์ตามวิธี Process Reaction Curve	24
2.3 เกณฑ์การปรับแต่งพารามิเตอร์แบบซีเกลอร์-นิโคลส์ตามวิธี Ultimate cycle method	26
2.4 เกณฑ์การปรับแต่งพารามิเตอร์แบบซีเกลอร์-นิโคลส์ตามวิธีการปฏิกิริยาของกระบวนการและวิธีการวัฏจักรสุดท้าย	26
2.5 คำศัพท์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม	42
3.1 ผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิโดยการเชื่อมต่อเครื่องปรับกำลังเอสซีอาร์	63
3.2 ผลการทดลองการหาค่าเวลาในการลดอุณหภูมิภายในระบบ	64
4.1 เกณฑ์การปรับแต่งพารามิเตอร์แบบซีเกลอร์-นิโคลส์ตามวิธี Process Reaction Curve	80
4.2 เกณฑ์การปรับแต่งพารามิเตอร์แบบซีเกลอร์-นิโคลส์ตามวิธี Ultimate cycle method	83
4.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมระบบ	87
4.4 บันทึกช่วงเวลาขาขึ้นของอุณหภูมิ	88
4.5 บันทึกช่วงเวลาขาลงของอณหภูมิ	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

เนื่องจากการฝึกปฏิบัติเป็นสิ่งสำคัญในสาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ชุดทดลองจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพราะทำให้ผู้ศึกษาสามารถนำทฤษฎีที่ศึกษามาใช้ได้จริง ได้เปรียบเทียบทฤษฎีในตำรากับการปฏิบัติ หากไม่มีชุดทดลองผู้ศึกษาอาจจะมองภาพรวมของสิ่งที่ศึกษาไม่ชัดเจน ทำให้ไม่เข้าใจสิ่งที่ศึกษาหรืออาจเกิดคำถามที่ไม่มีคำตอบในตำรา

เพื่อให้ผู้ศึกษาได้ทำการทดลองเพื่อศึกษา จึงมีการสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิโดยใช้โปรแกรม LabVIEW เป็นชุดลองในการศึกษาการทำงานของ Resistance Temperature Detectors (RTD) โปรแกรม LabVIEW และการปรับจูน PID Controllers นอกจากนี้ยังสามารถศึกษาการทำงานของสัญญาณแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน 0V – 5V อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

เพื่อใช้ในการศึกษา ทดสอบ และควบคุมการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระบบด้วยการใช้ LabVIEW

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง โปรแกรม LabVIEW และระบบควบคุมแบบ PID
2. ออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมที่สามารถเลือกใช้งานฟังก์ชันต่างๆบนโปรแกรม LabVIEW ได้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง และวงจรที่จะนำมาใช้
2. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการควบคุมแบบ PID และโปรแกรม LabVIEW
3. ออกแบบและต่อวงจร Bridge และ Amplifier
4. ออกแบบและต่อวงจรรีเลย์ เพื่อใช้ในการระบายความร้อนลงไปในวงจรทดลอง
5. ออกแบบและเขียนโปรแกรม LabVIEW ในการควบคุม
6. นำอุปกรณ์ทั้งหมดมาจัดวางและประกอบบนแผ่นไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

7. ทดลองเพื่อปรับหาค่าของระบบควบคุมแบบ PID ที่เหมาะสมที่สุด

8. ทดสอบการทำงานของระบบที่เสร็จสมบูรณ์ และบันทึกผล

9. ตรวจสอบความเรียบร้อย และตกแต่งความสวยงามของ PCB ระบบทดลองและโปรแกรม LabVIEW

10. สรุปผลและจัดทำเอกสารรายงานการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเพิ่มและลดอุณหภูมิได้ตามที่ตั้งค่าในโปรแกรม LabVIEW

2. สามารถสร้าง และเชื่อมต่อระบบควบคุมอุณภูมิได้

1.6 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์

เนื้อหาที่จะกล่าวในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 5 บท ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ เป็นการกล่าวถึงที่มาของปริญญานิพนธ์ วัตถุประสงค์ของการทำปริญญานิพนธ์ ขอบเขตของโครงงาน ขั้นตอนการดำเนินงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและรายละเอียดของปริญญานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎี หลักการ อุปกรณ์ และความรู้ที่เกี่ยวข้องในการออกแบบ เป็นการเพิ่มเติมความรู้ทฤษฎีและความเข้าใจในอุปกรณ์ต่างๆ ก่อนจะเริ่มการทำโครงงาน

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน เป็นการอธิบายขั้นตอนการทำชิ้นงานโดยละเอียดทั้งในด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน เป็นการแสดงผลการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ LabVIEW

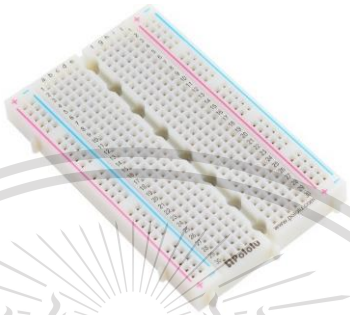
บทที่ 5 ผลสรุปและข้อเสนอแนะ เป็นบทสรุปภาพรวมของชิ้นงานรวมถึงสิ่งที่จะพัฒนาต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แผงไฟฟ้าเชื่อมต่อวงจร

2.1.1 โพรโตบอร์ด (Protoboard)



รูปที่ 2.1 โพรโทบอร์ด

เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเชื่อมต่อวงจรเพื่อทดสอบและดูผลลัพธ์ของวงจร ลักษณะของบอร์ดจะเป็นพลาสติกมีรู ภายใต้รูเหล่านั้นจะมีการเชื่อมต่อถึงกันอย่างมีรูปแบบตามทองแดงด้านใน เมื่อนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาเสียบ จะทำให้พลังงานไฟฟ้าสามารถไหลจากอุปกรณ์หนึ่ง ไปยังอุปกรณ์หนึ่งได้ พื้นที่การเชื่อมต่อกันของโพรโทบอร์ด จะแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

1. กลุ่มแนวตั้ง เป็นกลุ่มที่เป็นพื้นที่สำหรับการเชื่อมต่อวงจร วางอุปกรณ์ โดยจะมีช่องเว้นว่างกลางกลุ่มสำหรับเสียบไอซีแบบ DIP และยังเป็นการแบ่งเขตเชื่อมต่อออกจากกัน
2. กลุ่มแนวนอน เป็นกลุ่มที่มีการเชื่อมต่อกันในแนวนอน ใช้สำหรับพักไฟที่มาจากแหล่งจ่าย เพื่อใช้สำหรับเชื่อมต่อไฟจากแหล่งจ่ายเลี้ยงให้วงจรต่อไป และจะมีสี สัญลักษณ์สกรีนเพื่อบอกขั้วที่ของแหล่งจ่ายที่ควรนำมาพักไว้ โดยสีแดงจะหมายถึงขั้วบวก และสีดำหรือสีน้ำเงินจะหมายถึงขั้วลบ

2.1.2 แผ่นวงจรพิมพ์ (Print Circuit Board, PCB)

รูปที่ 2.2 แผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เป็นทางเดินสัญญาณไฟฟ้าของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ที่อยู่บนแผงวงจร ทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ เชื่อมต่อถึงกันได้ ผ่านทองแดงด้านใต้แผ่นและสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องตามที่ได้ออกแบบไว้ แผ่นวงจรพิมพ์ ประกอบไปด้วยแผ่นฐานหรือ ซับสเตรท (Substrate) ที่ทำจากแผ่นฉนวนบางๆ อัดยึดรวมกันด้วยพลาสติกประเภทเทอร์โมเซตติ้ง (Thermosetting plastic) เพื่อรองรับแผ่นตัวนำที่ใช้เชื่อมต่อสัญญาณไฟฟ้าระหว่างอุปกรณ์

2.2 ตัวต้านทาน (Resistor)

เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติในการต้านการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้ากล่าวคือ หากอุปกรณ์นั้นมีความต้านทานมาก กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านก็จะน้อยลง ตัวต้านทานทำด้วยลวดต้านทานหรือถ่านคาร์บอน เป็นต้น เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดพาสซีฟสองขั้ว ที่สร้างความต่างศักย์ไฟฟ้าคร่อมขั้วทั้งสอง (V) โดยมีสัดส่วนมากน้อยตามปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน (I) อัตราส่วนระหว่างความต่างศักย์ และปริมาณกระแสไฟฟ้า ก็คือ ค่าความต้านทานทางไฟฟ้า หรือค่าความต้านทานของตัวนำมีหน่วยเป็นโอห์ม (สัญลักษณ์ : Ω) ดังสมการ 2.1

$$\text{ความต้านทาน}(\mathrm{R}) = \frac{\text{ความต่างศักย์}(\mathrm{V})}{\text{กระแสไฟฟ้า}\ (\mathrm{I})} \qquad (2.1)$$

2.2.1 ตัวต้านทานแบบคงที่ (Fixed Resistor)

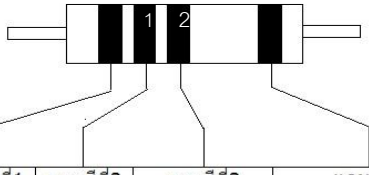
รูปที่ 2.3 ตัวต้านทานแบบคงที่

เป็นตัวต้านทานที่ไม่สามารถปรับค่าได้ สามารถตรวจสอบค่าได้จากแถบสี ซึ่งตัวต้านทานแบบค่าคงที่ยังแบ่งออกเป็นแบบ 4 แถบสี และ 5 แถบสี และอาจมี 6 แถบสีด้วย ซึ่งที่ใช้งานอย่างแพร่หลายคือแบบ 4 และ 5 แถบสี (Color Band)

1. แบบ 4 แถบสี (4 Bands Color) ตัวต้านทานแบบนี้จะมีทั้งหมด 4 แถบสี แบ่งเป็น 3 แถบสีทางซ้าย คือช่วงอ่านค่าหลัก และ 1 แถบสีทางขวาสุดคือค่าความผิดพลาด (Tolerance)

2. แบบ 5 แถบสี (5 Bands Color) ตัวต้านทานแบบนี้จะมีทั้งหมด 5 แถบสี แบ่งเป็น 4 แถบสีทางซ้าย คือช่วงอ่านค่าหลัก และ 1 แถบสีทางขวาสุดคือค่าความผิดพลาด (Tolerance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



สี	แถบสีที่1 หลักที่1	แถบสีที่2 หลักที่2	แถบสีที่3 ตัวคูณ	แถบสีที่4 ค่าความคลาดเคลื่อน	
				ตัวเลข	ตัวอักษร
ดำ	0	0	1	-	-
น้ำตาล	1	1	10	1%	F
แดง	2	2	100	2%	G
ส้ม	3	3	1,000	-	-
เหลือง	4	4	10,000	-	-
เขียว	5	5	100,000	0.50%	D
น้ำเงิน	6	6	1,000,000	0.25%	C
ม่วง	7	7	-	0.10%	B
เทา	8	8	-	0.05%	-
ขาว	9	9	-	-	-
ทอง	-	-	0.1	5%	J
เงิน	-	-	0.01	10%	K

รูปที่ 2.4 ตารางการอ่านค่าตัวต้านทานแบบคงที่

2.2.2 ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ (Variable Resistor)

รูปที่ 2.5 ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้

โครงสร้างภายในทำมาจากคาร์บอนเซรามิค หรือพลาสติกตัวนำ ส่วนมากจะถูกใช้ในงานที่ต้องการเปลี่ยนค่าความต้านทานบ่อย ๆ เช่น การปรับความสว่างไฟที่สามารถปรับหรี่ได้ หรือเพื่อปรับลดหรือเพิ่มเสียง สามารถประยุกต์ใช้ได้หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน

2.3 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ RTD (Resistance Temperature Detector)

รูปที่ 2.6 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ RTD

อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของลวดโลหะไปตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ซึ่งใช้ลวดความต้านทานเป็นแพลทินั่ม (Platinum) มีราคาค่อนข้างแพงเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เปรียบเทียบกับวัสดุชนิดอื่น แต่จะมีความเที่ยงตรง (precision) และมีความเป็นเชิงเส้น (linearity) สูงที่สุดในกราฟระหว่างอุณหภูมิกับความต้านทาน

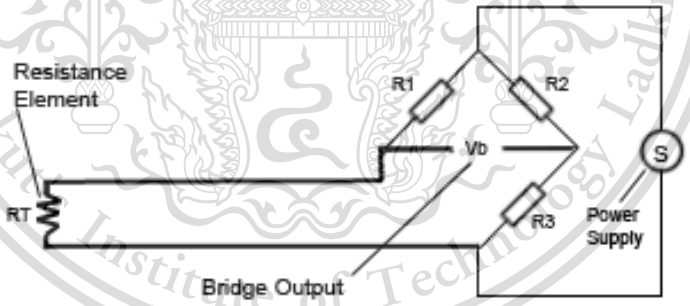
RTD มีอยู่หลายแบบด้วยกัน โดยชื่อเรียกจะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทาน (โอมห์ : Ω) อาทิเช่น Pt 100 คืออุปกรณ์ที่จะมีความต้านทาน 100 โอมห์ ที่อุณหภูมิ 0 °C และจะมีความต้านทานลดลงเรื่อยๆเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดย Pt 500 และ Pt 1000 ก็จะมีความต้านทาน 500 โอมห์ และ 1000 โอมห์ ที่ 0 °C และลดลงเรื่อยๆเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นตามลำดับ

2.3.1 วงจรและการต่อใช้งาน RTD

วงจรพื้นฐานของการต่อใช้งานอาร์ทีดี คือ วงจรวีทสโตนบริดจ์ ดังภาพ โดย RT คือ อาร์ทีดี R1, R2 และ R3 คือตัวต้านทานที่มีความเที่ยงตรงสูง (อุปกรณ์เหล่านี้จะอยู่ใน Temperature Control หรือ Temperature Indicator)

1. RTD แบบ 2 สาย

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ค่าความต้านทานของ RTD ก็จะเปลี่ยน ความสมดุลของบริดจ์ก็จะเปลี่ยนไป เกิดกระแสไหลไปที่ Vb กระแสนี้ก็จะถูกนำไปเปรียบเทียบและคำนวณกลับเป็นอุณหภูมิ วงจรนี้จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อ RTD อยู่ใกล้กับวงจรบริดจ์มากๆ เพราะถ้าสายยาว ค่าความผิดพลาดจะเกิดทันทีจากความต้านทานของสายที่ยาว ดังนั้น RTD แบบ 2 สาย จึงเหมาะกับการวัดที่ไม่ต้องการความแม่นยำมากนัก



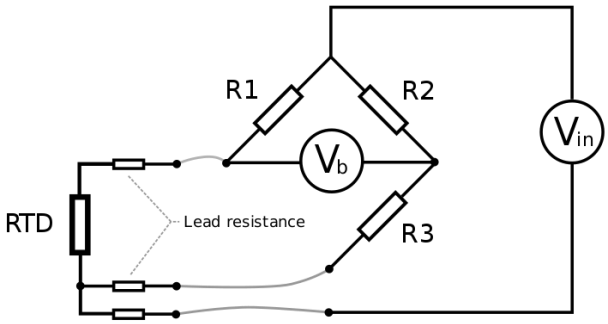
รูปที่ 2.7 RTD แบบ 2 สาย

2. RTD แบบ 3 สาย

วงจร RTD แบบ 3 สาย เป็นแบบมาตรฐานที่นิยมมากที่สุดในวงการอุตสาหกรรม สายทั้ง 3 จะต้องมีขนาดและความยาวเท่ากัน และอยู่ในช่วงอุณหภูมิเดียวกัน เพื่อให้ค่าความต้านทานของสายทั้ง 3 เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน เพื่อชดเชยความผิดพลาดที่เกิดจากความยาวของสาย

เนื่องจาก R1 = R3 ดังนั้นจะหักลบกันเหลือเพียงความต้านทานของ RTD เท่านั้นที่มีผลกับวงจร อุณหภูมิที่วัดได้ก็จะมีค่าถูกต้องโดยไม่ผิดเพี้ยนไปจากความยาวสาย

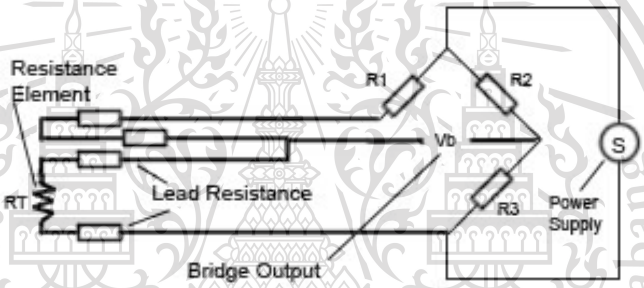
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.8 RTD แบบ 3 สาย

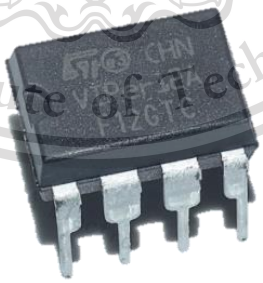
3. RTD แบบ 4 สาย

วงจร RTD แบบ 4 สาย เป็นแบบที่เลื่อนจุดต่อของบริดจ์ไปอยู่ภายนอก สายที่ต่อ RTD ทั้ง 4 เส้นจะต้องมีขนาด ความยาว และอยู่ในช่วงอุณหภูมิเดียวกันตลอดเหมือนวงจรการวัดแบบ 3 สาย แต่วิธีนี้ให้ความแม่นยำสูงกว่า



รูปที่ 2.9 RTD แบบ 4 สาย

2.4 วงจรรวม (Integrated Circuit, IC)



รูปที่ 2.10 วงจรรวม

วงจรรวม หรือ Integrated Circuit เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่รวมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ได้แก่ ทรานซิสเตอร์ ตัวต้านทาน ไดโอด เป็นต้น ที่ประกอบเป็นวงจรหรือส่วนหนึ่งของวงจรรวมไว้ในตัวเดียว ดังนั้นไอซีจึงมีหลายขา ไอซีมีหลายชนิดแล้วแต่หน้าที่การทำงาน IC มักจะมีหมายเลขประจำตัว เช่น หมายเลข 555 หมายเลข 741 เป็นต้น วิธีดูตำแหน่งขาของไอซี ให้สังเกตุจุดบนขอบตัว IC ขาข้างที่อยู่ใกล้จุดเรียกว่า ขาที่1 แล้วให้นับเรียงต่อกันไปตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้นำไปดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.1 ชนิดของ IC

1. Analog IC (ไอซีแบบแอนะล็อก) หรือ ไอซีเชิงเส้น Linear IC เป็นไอซีที่ทำหน้าที่ในการขยายสัญญาณ และควบคุมแรงดันไฟฟ้า ชนิดของไอซี ที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ เรียกว่า Op-Amp หรือ Operational Amplifier เป็นวงจรรวมที่ประกอบขึ้นทรานซิสเตอร์หลายๆตัวรวมกันภายใน IC ตัวเดียว จึงทำให้ไอซีออปแอมป์มีอัตราขยายสัญญาณสูงมาก

2. Digital IC (ไอซีแบบดิจิตอล) ไอซีดิจิตอลเป็นไอซีที่ทำหน้าที่ในการเป็นสวิทช์ทางดิจิตอล และไมโครโพรเซสเซอร์

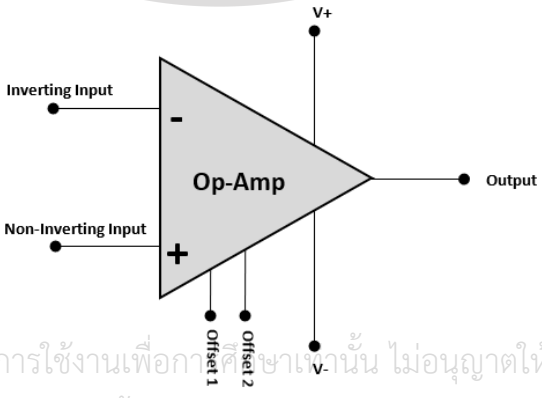
2.5 ออปแอมป์ (Operational Amplifier)

ออปแอมป์เป็นตัวขยายสัญญาณในรูปแบบของไอซี โดยจะจำแนกเป็นสองแบบ คือแบบ 8 ขา และ แบบ 14 ขา ซึ่งตัวไอซีจะเป็นพลาสติกและมีขาเป็นโลหะ โดยขาจะถูกจัดวางเป็น DIP : Dual In-Line Package ในตัวออปแอมป์จะมีโครงสร้างสำคัญอยู่ 3 อย่างคือ

1. ส่วนของสัญญาณเข้า (Differential)
2. ส่วนของการขยายสัญญาณ (Amplifier)
3. ส่วนของสัญญาณออก (Output)

รูปที่ 2.11 โครงสร้างพื้นฐานของออปแอมป์

2.5.1 หน้าที่ของขาที่ใช้งานของออปแอมป์



รูปที่ 2.12 ลักษณะทางไฟฟ้าของออปแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1. ขา V+ และ V- มีหน้าที่เป็นขาจ่ายไฟเลี้ยงให้กับออปแอมป์ โดยปกติแล้วต้องจ่ายไฟทั้งสองขาตามเงื่อนไข โดยปริมาณไฟเลี้ยงจะมีกำหนดมาใน Data sheet ของออปแอมป์

2. ขา Offset1 และ Offset2 ทั้งสองขานี้ใช้ต่อกับอุปกรณ์เพื่อป้องกันการเกิดออสซิเลตของออปแอมป์

3. ขา Output จะเป็นขาสัญญาณออก ซึ่งโดยปกติแล้วค่าแรงดันเอาท์พุทที่ขานี้ จะมีค่าสูงสุดไม่เกินค่าแรงดันที่เป็นไฟเลี้ยงออปแอมป์และในส่วนของกระแสเอาท์พุทนั้นจะมีค่าเท่ากับ 20mA

4. ขา Inverting Input หรือเรียกว่าขาอินพุทแบบกลับเฟส โดยจะเป็นขาอินพุทขาหนึ่งของออปแอมป์ หากเราป้อนสัญญาณเข้าที่ขานี้ โดยต่อขา Non-inverting Input เข้ากับกราวน์ เอาท์พุทที่ออกมานั้นจะมีสัญญาณต่างเฟสกัน กับสัญญาณอินพุทเป็นมุม 180 องศา

5. ขา Non-Inverting Input หรือเรียกว่า ขาอิทพุทแบบไม่กลับเฟส โดยจะเป็นขาอินพุทขาหนึ่งของออปแอมป์ ซึ่งถ้าเราทำการป้อนสัญญาณเข้าไปในขานี้ โดยต่อขา Inverting-Input เข้ากับกราวน์ สัญญาณที่ได้ออกมาจะเป็นเฟสเดียวกับสัญญาณอินพุท

2.6 รีเลย์ (Relay)

รูปที่ 2.13 รีเลย์

รีเลย์เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานแม่เหล็ก เพื่อใช้ในการดึงดูดหน้าสัมผัสของคอนแทคให้เปลี่ยนสถานะ โดยการทำงานคือป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวด เพื่อทำการปิดหรือเปิดหน้าสัมผัสคล้ายกับสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ ใช้ในการควบคุมวงจรต่าง ๆ ซึ่งทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ตรวจสอบสภาพการทำงานในวงจรกำลังไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลา หากระบบมีการทำงานที่ผิดปกติ รีเลย์จะเป็นตัวสั่งการให้ตัดส่วนที่ลัดวงจรหรือส่วนที่ทำงานผิดปกติออกจากระบบทันที มีส่วนประกอบสำคัญอยู่ 2 ส่วนคือ

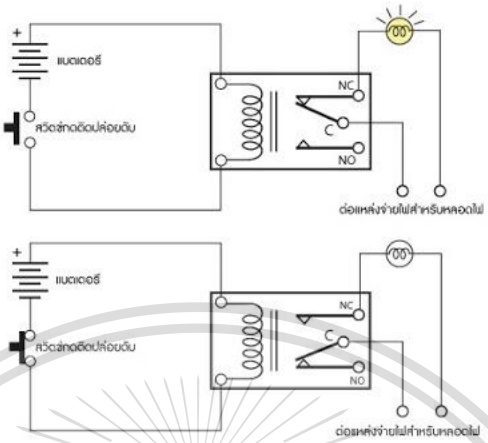
1. ส่วนของขดลวด (coil) เหนี่ยวนำกระแสต่ำ ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้แกนโลหะไปกระทุ้งให้หน้าสัมผัสต่อกัน ทำงานโดยการรับแรงดันจากภายนอกตกคร่อมที่ขดลวดเหนี่ยวนำนี้ เมื่อขดลวดได้รับแรงดัน จะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้แกนโลหะด้านในไปกระทุ้งให้แผ่นหน้าสัมผัสต่อกัน โดยค่าแรงดันที่รีเลย์ต้องการ ขึ้นกับชนิดและรุ่นตามที่ผู้ผลิตกำหนด

2. ส่วนของหน้าสัมผัส (contact) ทำหน้าที่เหมือนสวิตช์เมื่อมีการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก หน้าสัมผัสจะแตะกันและจ่ายกระแสไฟให้กับอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6.1 จุดต่อใช้งานมาตราฐาน

เป็นจุดต่อที่สำคัญซึ่งใช้ในการกำหนดการทำงานของตัวอุปกรณ์ที่ต้องการใช้รีเลย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การทำงานของหลอดไฟ 1 หลอด

1. จุดต่อ NC ย่อมาจาก Normally close หรือภาษาไทยเรียกว่าปกติปิด เพราะหากยังไม่จ่ายไฟให้ขดลวดเหนี่ยวนำหน้าสัมผัสจะติดกันและทำงานตลอด แต่เมื่อมีการจ่ายไฟเข้า หน้าสัมผัสจะเลิกแตะกัน โดยทั่วไปมักต่อจุดนี้เข้ากับอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการให้ทำงานตลอดเวลา

2. จุดต่อ NO ย่อมาจาก Normal open หรือภาษาไทยเรียกว่าปกติเปิด เพราะหากยังไม่จ่ายไฟให้ขดลวดเหนี่ยวนำหน้าสัมผัสจะไม่ติดกัน และเมื่อจ่ายไฟหน้าสัมผัสจึงจะแตะกัน โดยทั่วไปมักต่อจุดนี้เข้ากับอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการควบคุมการเปิดปิด เช่นสวิทซ์ไฟ หรือเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า

3. จุดต่อ C ย่อมากจาก common คือจุดร่วมที่ต่อมาจากแหล่งจ่ายไฟหลายๆจุด

2.6.2 ประเภทของรีเลย์

แบ่งออกตามลักษณะการใช้งานได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. รีเลย์กำลัง (Power relay) หรือมักเรียกกันว่าคอนแทกเตอร์ (Contactor) ใช้ในการควบคุมไฟฟ้ากำลัง มีขนาดใหญ่กว่ารีเลย์ธรรมดา

2. รีเลย์ควบคุม (Control Relay) มีขนาดเล็กกำลังไฟฟ้าต่ำ ใช้ในวงจรควบคุมทั่วไปที่มีกำลังไฟฟ้าไม่มาก หรือเพื่อการควบคุมรีเลย์หรือคอนแทกเตอร์ขนาดใหญ่อีกที

2.6.3 ประโยชน์ของรีเลย์

1. ทำให้ระบบส่งกำลังมีเสถียรภาพ (Stability) สูง โดยรีเลย์จะตัดวงจรเฉพาะส่วนที่เกิดความผิดปกติ ออกเท่านั้น ซึ่งจะเป็นการลดความเสียหายให้แก่ระบบได้มาก

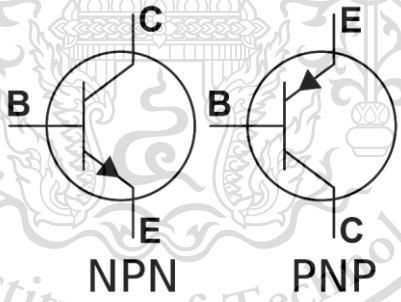
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. มีค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมเฉพาะส่วนที่เกิดความผิดปกติ
3. ลดความเสียหาย ไม่เกิดลุกลามไปยังอุปกรณ์อื่นๆ
4. ทำให้ระบบไฟฟ้าไม่ดับทั้งระบบเมื่อเกิดการทำงานผิดพลาดขึ้น

2.7 ทรานซิสเตอร์ (Transistor)

รูปที่ 2.15 ทรานซิสเตอร์

นำไปใช้งานในด้านขยายสัญญาณให้มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยการป้อนสัญญาณที่มีขนาดเล็กให้ทรานซิสเตอร์ ทรานซิสเตอร์จะนำกระแสได้มาก สามารถทำให้เกิดสัญญาณขนาดใหญ่ทางขาออกได้ และทรานซิสเตอร์ยังเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่สามารถทำหน้าที่ขยายสัญญาณไฟฟ้า เปิด/ปิดสัญญาณไฟฟ้า คงค่าแรงดันไฟฟ้า เป็นต้น การทำงานของทราสซิสเตอร์เปรียบได้กับวาล์วที่สามารถปรับขนาดกระแสไฟฟ้าขาออกที่มาจากแหล่งจ่ายแรงดันเดิมได้ ซึ่งสามารถแบ่งทรานซิสเตอร์ตามวิธีการใช้งานออกเป็น 2 ประเภท คือ NPN Transistor และ PNP Transistor



รูปที่ 2.16 โครงสร้างแบบ NPN และ PNP ตามลำดับ

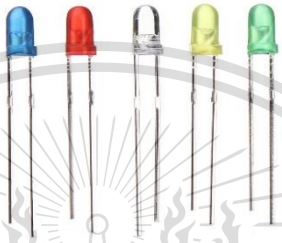
2.8 ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode)

รูปที่ 2.17 ซีเนอร์ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

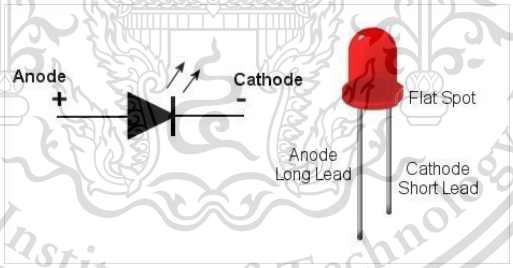
เป็นไดโอดชนิดพิเศษที่สร้างขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่รักษาแรงดันให้คงที่ มีโครงสร้างเหมือนไดโอดทั่วไป แต่ไดโอดทั่วไปเมื่อทำการไบอัสกลับจนถึงค่าแรงดันเบรกดาวน์จะทำให้เกิดการเสียหายกับไดโอดได้ แต่ซีเนอร์ไดโอดมีคุณสมบัติทำให้ค่าแรงดันเบรกดาวน์สูง และเสียหายได้ยากขึ้น และค่าแรงดันเบรกดาวน์หรือแรงดันซีเนอร์สามารถกำหนดได้ด้วยการควบคุมความหนาแน่นของสารเจือปน เมื่อให้ไบอัสกลับจะสามารถทนกระแสย้อนกลับได้สูงโดยไดโอดไม่เสียหาย แรงดันที่ตกค่อมตัวซีเนอร์ไดโอดจะเป็นตัวควบคุมและรักษาแรงดันให้คงที่

2.9 ไดโอดเปล่งแสง (Light-Emitting Diode)



รูปที่ 2.18 ไดโอดเปล่งแสงแต่ละสี

ไดโอดเปล่งแสงเป็นไดโอดประเภทหนึ่งและเป็นอุปกรณ์กึ่งตัวนำที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ทางเดียว เป็นอุปกรณ์พื้นฐานที่สำคัญ มีใช้อยู่ทั่วไปในวงจรอิเล็กทรอนิกส์และวงจรไฟฟ้า มีหน้าที่บังคับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ไดโอดชนิดนี้เมื่อมีไฟไหลผ่านจะมีการเปล่งแสงออกมา มีสัญลักษณ์ทางวงจร และขาดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 สัญลักษณ์ทางวงจรและขาของ LED

2.10 เบรกเกอร์ (Breaker)

รูปที่ 2.20 เบรกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เบรกเกอร์ คือสวิตช์ไฟฟ้าอัตโนมัติที่ออกแบบมาเพื่อป้องกันวงจรไฟฟ้าจากความเสียหายโดยทั่วไป มักเกิดจากโหลดไฟฟ้าเกินหรือไฟฟ้าลัดวงจรมีการทำงาน คือ ตัดกระแสไฟฟ้าหลังจากตรวจพบความผิดปกติในวงจรไฟฟ้า ถือว่าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ป้องกันกระแสเกินหรือลัดวงจร เช่นเดียวกับฟิวส์ แต่จะแตกต่างกันตรงที่เมื่อตัดวงจรแล้วสามารถที่จะปิดหรือต่อวงจรได้ทันทีหลังจากแก้ปัญหา

2.11 เครื่องปรับกำลังไฟ SCR (Silicon Control Rectifier)

รูปที่ 2.21 เครื่องปรับกำลังไฟ SCR

SCR เป็นอุปกรณ์ของโซลิดสเตท (Solid-State) จำพวกไทริสเตอร์ (Thyristor) มีโครงสร้างของสารกึ่งตัวนำต่อชนกัน ทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิด - ปิดวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง ข้อดีของอุปกรณ์นี้ คือไม่มีการเคลื่อนของหน้าสัมผัส เพราะเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำจึงทำให้ไม่เกิดประกายไฟที่หน้าสัมผัสส่งผลให้มีความปลอดภัยสูง มีหน้าที่ในการควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า โดยส่วนใหญ่มักนำไปใช้ในการควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าสำหรับงานที่มีการใช้กระแสสูงๆเช่น Heater นอกจากนั้นยังนำไปใช้ในงานด้านการควบคุม เตาหลอมที่ใช้ความร้อนสูงๆ, เทอร์โมสตัท, เทมเพอร์เรเจอร์คอนโทรลเลอร์, มอเตอร์ เป็นต้น

2.11.1 ส่วนประกอบของ SCR

1. VR สำหรับปรับตั้ง ปรับแรงดันเอาต์พุตแรงดันไฟและปรับหน่วงเวลาการเพิ่มแรงดันไฟเอาต์พุต

2. ขั้วต่อสัญญาณควบคุม ประกอบด้วยจุดต่อเอาต์พุตการเตือน, สัญญาณอินพุต, ไฟเลี้ยงบอร์ดควบคุม

3. Heat Sink ทำหน้าที่ระบายความร้อนให้กับ SCR

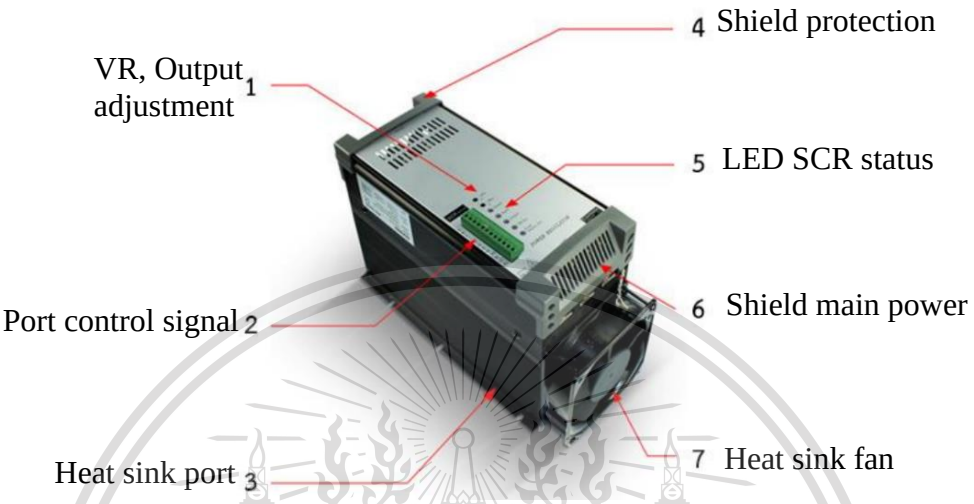
4. ฝาครอบด้านจ่ายโหลดมีการชิลด์เป็นส่วนที่ป้องกันไฟฟ้าดูด และเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ใช้งาน

5. หลอด LED แสดงสถานะการทำงานของเครื่องปรับแรงดันไฟ (Input, Output, Power)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

6. ฝาครอบพลาสติกด้าน Main Power เป็นส่วนที่ป้องกันไฟฟ้าดูด และเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ใช้งาน

7. พัดลมระบายความร้อน ทำหน้าที่ระบายความร้อนให้กับ SCR และ Heat Sink เพื่อให้เครื่องปรับ แรงดันไฟทำงานเป็นปกติ



รูปที่ 2.22 ส่วนประกอบของ SCR

2.12 แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)

รูปที่ 2.23 Power Supply

Power Supply เป็นอุปกรณ์ที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ โดยจะทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบเชิงเส้น โดยมีการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าแบบมีความถี่สาย (line frequency) ให้ได้แรงดันไฟฟ้า ในระดับที่ต้องการก่อน จากนั้นจะแปลงผ่านวงจรเรียงกระแสไปยังโหลดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

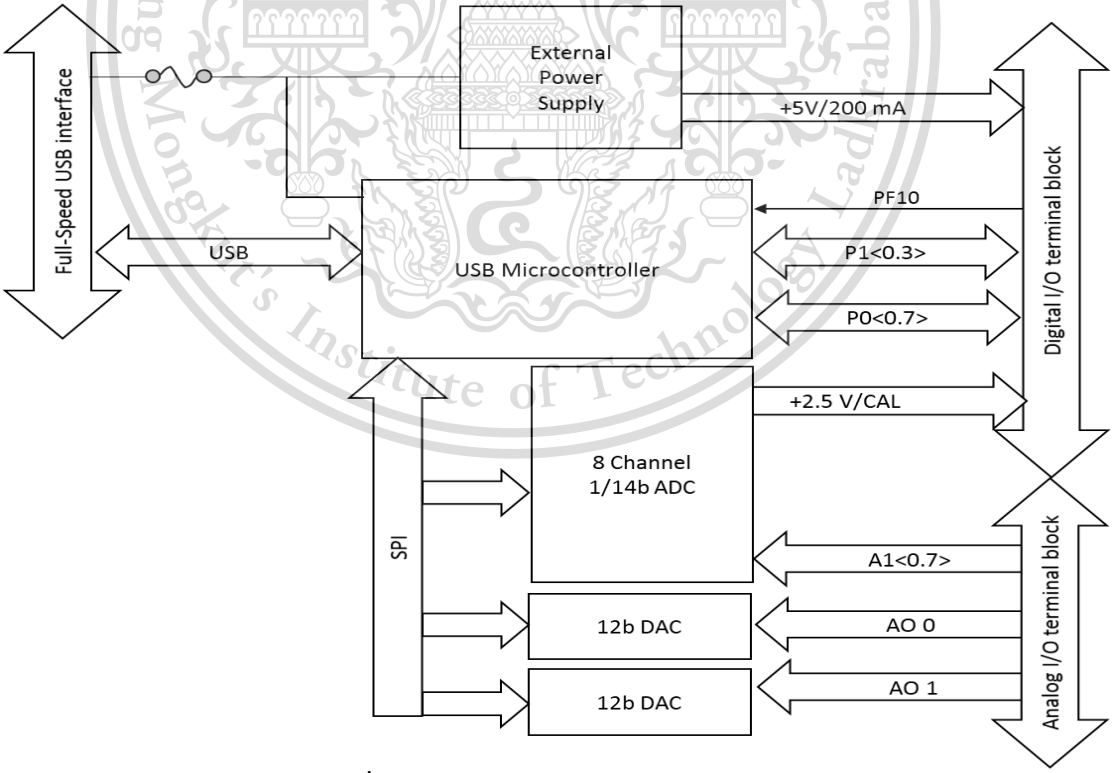
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.13 อุปกรณ์ Bus-Powered Multifunction DAQ USB Device

รูปที่ 2.24 DAQ USB Device

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เก็บข้อมูล/สัญญาณ จากแหล่งที่ต้องการวัด ทั้งในรูปแบบของ Analog และ Digital แล้วนำข้อมูล/สัญญาณมาจัดเก็บไว้เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ หรือนำเสนอข้อมูลในภายหลังบนเครื่องคอมพิวเตอร์

2.13.1 ส่วนประกอบสำคัญของอุปกรณ์ NI USB-6008/6009 DAQ USB Device

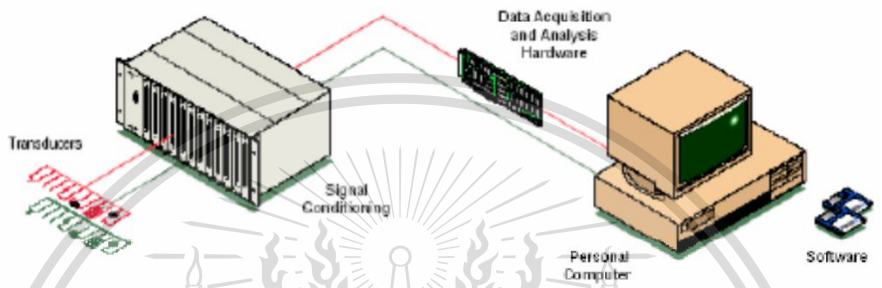


รูปที่ 2.25 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ DAQ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

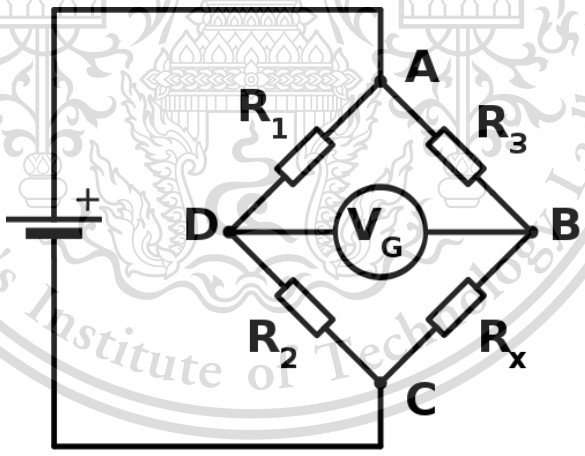
ระบบพื้นฐานของ DAQ มีส่วนประกอบ 5 ส่วน คือ

1. Transducers and sensors
2. Signals
3. Signal conditioning
4. DAQ hardware (Analog-to-Digital Converter (ADC) & Digital-to-Analog Converter (DAC))
5. Driver and application software



รูปที่ 2.26 ระบบพื้นฐานของ DAQ

2.14 วงจรบริดจ์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Bridge)



รูปที่ 2.27 วงจรบริดจ์ไฟฟ้ากระแสตรง

บริดจ์กระแสตรง หรือบริดจ์แบบวีทสโตน เป็นวงจรที่ใช้วัดค่าความต้านทานในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งให้ค่าความถูกต้องสูง

2.14.1 ประเภทของวงจรบริดจ์กระแสตรง

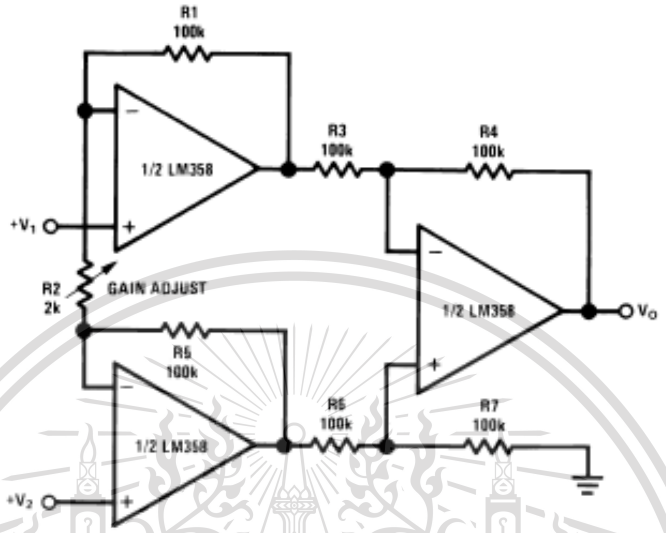
วงจรแบบบริดจ์กระแสตรงสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. วงจรบริดจ์แบบสมดุล (Balanced Bridge) คือ วงจรที่มีค่าความต่างศักดิ์ของแรงดันที่จุด B และจุด D เท่ากับศูนย์ หรือมีค่าของแรงดันทั้งสองจุดเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. วงจรบริดจ์แบบไม่สมดุล (Unbalanced Bridge) คือ วงจรที่มีค่าความต่างศักดิ์ของแรงดันที่จุด B และจุด D เท่ากับไม่เท่ากับศูนย์ หรือมีค่าของแรงดันทั้งสองจุดไม่เท่ากัน

2.15 วงจรขยายอินสตรูเมนเตชั่น (Instrumentation Amplifier)



รูปที่ 2.28 วงจรขยายอินสตรูเมนเตชั่น

วงจรขยายอินสตรูเมนท์ประกอบด้วยวงจรขยายแรงดันผลต่างภาคที่ 1 ซึ่งมีออปแอมป์ 2 ตัว แรกทำหน้าที่ขยายแรงดันผลต่างแบบไม่กลับเฟส และวงจรภาคที่ 2 มีออปแอมป์ 1 ตัวทำหน้าที่ขยายแรงดันแบบผลต่าง

2.15.1 ข้อดีของวงจรขยายอินสตรูเมนเตชั่น

1. อัตราขยายแรงดันของวงจรมีค่ามากซึ่งเหมาะสมกับการขยายสัญญาณที่มีขนาดเล็ก เช่น สัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor Signal) และสัญญาณจากวงจรบริดจ์

2. อัตราการกำจัดสัญญาณโหมดร่วมสูง (Common mode rejection ratio) ซึ่งโดยปกติแล้วสัญญาณรบกวนขั้วบวกและลบจะมีลักษณะเหมือนกัน

ดังนั้นวงจรขยายอินสตรูเมนเตชั่นเหมาะสมที่จะใช้ขยายสัญญาณขนาดเล็ก และมีสัญญาณโหมดร่วมที่เราไม่ต้องการ และจากการวิเคราะห์วงจรขยายอินสตรูเมนเตชั่นสามารถอธิบายได้ว่า

แรงดันเอาต์พุตของวงจรมีค่าเท่ากับ

$$V_{out} = \frac{R_4}{R_3}\left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right)(V_2 - V_1) \qquad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

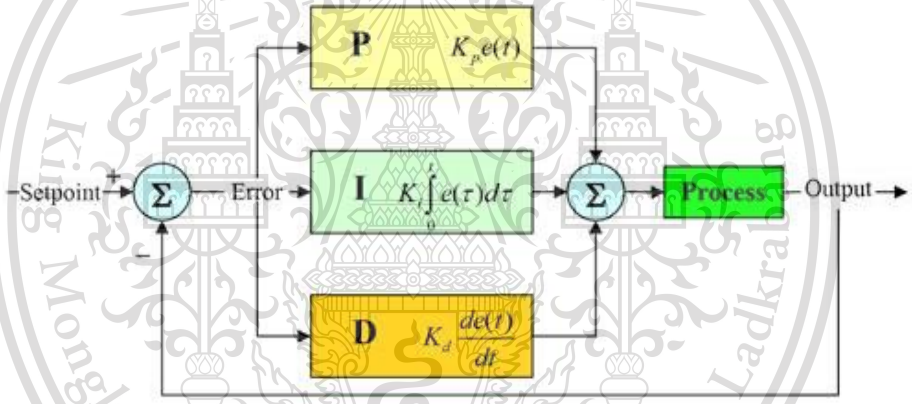
อัตราขยายของวงจรมีค่าเท่ากับ

$$A_{vd} = \frac{v_{out}}{v_2 - v_1} = \frac{R_4}{R_3}\left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \quad (2.3)$$

2.16 ระบบควบคุมแบบ PID

เป็นระบบควมคุมแบบป้อนกลับที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม โดยการทำงานของ PID Controller จะนำค่าความแตกต่างของตัวแปรในกระบวนการ และค่าที่ต้องการ นำมาหาค่าความผิดพลาด ซึ่งตัว Controller จะทำหน้าที่นำค่าความผิดพลาดมาคำนวณและควบคุมให้มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด

PID ย่อมาจาก Proportional-Integral-Derivative เป็นการนำตัวควบคุม P I และ D มารวมกัน วิธีการคำนวณจึงขึ้นอยู่กับตัวแปรสามตัว คือ P (Proportional), I (Integral) และ D (Derivative)



รูปที่ 2.29 Block Diagram ของ PID Controller

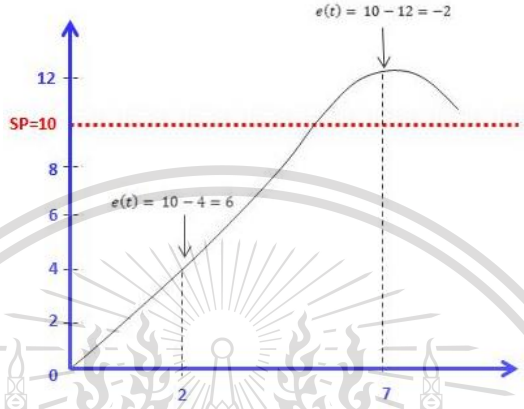
2.16.1 P (Proportional)

Proportional เป็นการนำค่าความผิดพลาด (Error) ณ เวลานั้นไปคูณกับ K_p Gain

$$P_{out} = K_P e(t) \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากกราฟ ที่เวลา t = 2 ค่าเอาต์พุตยังไม่ถึงค่าที่ต้องการ (Set point) ค่า e(t) ที่ t = 2 จะเป็นบวก เมื่อนำไปคูณกับ K_p จะทำให้ค่า P_{out} เป็นบวกจึงไปเพิ่มค่าเอาต์พุตให้ถึงค่าที่ต้องการ ในทำนองเดียวกันหากค่าเอาต์พุตเกินค่าที่ต้องการ เช่น ที่เวลา t = 7 ค่า e(t) จะติดลบ เมื่อนำไปคูณกับ K_p จะทำให้ค่า P_{out} เป็นลบจึงไปลดค่าเอาต์พุตให้เข้าสู่ค่าที่ต้องการ ดังนั้นถ้าค่า Proportional gain หรือ K_p มีค่ามาก จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุตที่เร็ว แต่หากมีค่ามากเกินอาจทำให้เกิด Overshoot ได้ง่าย



รูปที่ 2.30 กราฟ P Controller

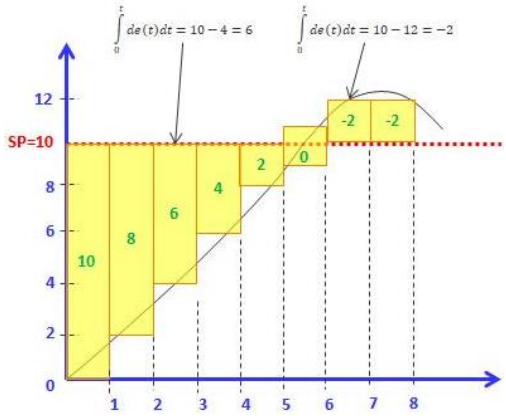
2.16.2 I (Integral)

Integral คือการหาพื้นที่ใต้กราฟของค่าความผิดพลาดจากเอาต์พุตกับค่าที่ต้องการ

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(T)\, dT \tag{2.5}$$

เมื่อค่าเอาต์พุตต่ำกว่าค่าที่ต้องการ ค่า Integral ของ e(t) จะเป็นค่าบวก เมื่อนำไปคูณกับ K_i ทำให้ค่า I_{out} เป็นบวกและไปเพิ่มเอาต์พุต ให้เข้าสู่ค่าที่ต้องการ ในทางกลับกันเมื่อค่าเอาต์พุตสูงกว่าค่าที่ต้องการ ค่า Integral ของ e(t) จะเป็นค่าลบ เมื่อนำไปคูณกับ K_i ทำให้ค่า I_{out} เป็นลบและไปลดเอาต์พุตให้เข้าสู่ค่าที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



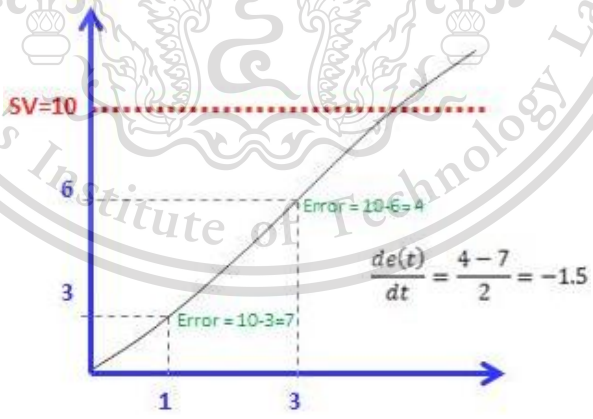
รูปที่ 2.31 กราฟ I Controller

2.16.3 D (Derivative)

Derivative คือการหา ความชันหรือ slope ของกราฟ

$$D_{out} = K_d \, d\big(e(t)\big) / dt \tag{2.6}$$

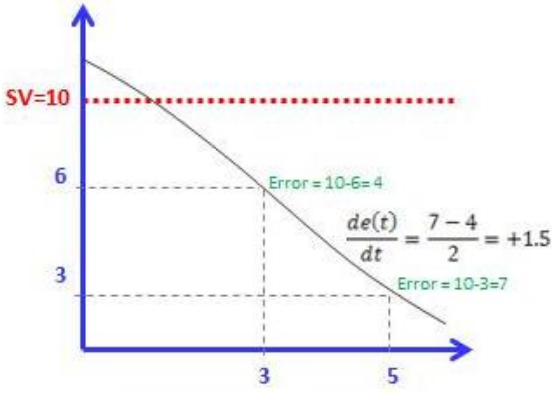
เมื่อกราฟชันขึ้นหรือพุ่งขึ้น slope ของกราฟจะเป็นบวก นั้นก็คือเอาต์พุตเป็นบวก แต่จะพิจารณาที่ค่า e(t) ค่า d(e(t))/dt ในขณะที่กราฟพุ่งขึ้นจึงมีค่าติดลบเมื่อนำไปคูณกับ K_d ค่า D_{out} จึงติดลบ เมื่อป้อนกลับส่งผลให้เอาต์พุตลดลง สรุปคือ D_{out} ลดอัตราการเร่งของกราฟเมื่อกราฟกำลังพุ่งขึ้น



รูปที่ 2.32 กราฟ D Controller ขณะกราฟพุ่งขึ้น

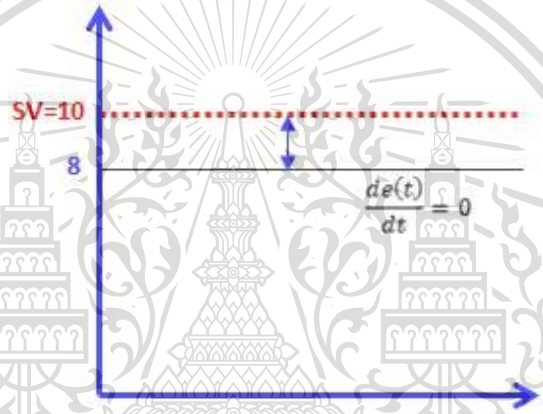
แต่หากกราฟพุ่งลงหรือลดลง slope ของเอาต์พุตจะติดลบ เช่นกันเราพิจารณาที่ค่า e(t) ค่า d(e(t))/dt ในขณะที่กราฟพุ่งลงจึงเป็นบวก เมื่อนำไปคูณกับ K_d ค่า D_{out} จึงเป็นบวก เมื่อป้อนกลับส่งผลให้เอาต์พุตเพิ่มขึ้น สรุปคือ D_{out} เพิ่มอัตราการเร่งของกราฟเมื่อกราฟกำลังพุ่งลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.33 กราฟ D Controller ขณะกราฟพุ่งลง

ในกรณีที่กราฟขนานกับแกน X หรือ slope = 0 D_{out} จะไม่มีผลต่อระบบ จากกราฟจะเห็นได้ว่ายังมีค่าความผิดพลาด (e(t)) อยู่ สรุปได้ว่า Derivative ไม่สามารถลดค่าความผิดพลาดได้



รูปที่ 2.34 กราฟ D Controller ขณะกราฟ slope = 0

2.16.4 ผลของการเพิ่มค่า Gain อย่างอิสระ

ตารางที่ 2.1 ผลของการเพิ่มค่า Gain อย่างอิสระ

Gain	ช่วงเวลาขึ้น (Rise time)	โอเวอร์ชูต (Overshoot)	เวลาเข้าสู่สมดุล (Settling time)	ความผิดพลาดสถานะคงตัว (Steady-state error)
Kp	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เร็วขึ้น	ลดลง
Ki	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เร็วขึ้น	ลดลง
Kd	ลดลงเล็กน้อย	ลดลงเล็กน้อย	ช้าลงเล็กน้อย	ตามทฤษฎีไม่มีผล

2.16.5 สมการสุดท้ายของ PID Controller

สมการสุดท้ายคือนำตัวแปร P (Proportional), I (Integral) และ D (Derivative) มารวมกันเป็นสมการ u(t) โดยเป็นเอาท์พุตของ PID Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$u(t) = K_P e(t) + K_i \int_0^t e(T)\,dT + K_d\, d\big(e(t)\big) / dt \qquad (2.7)$$

2.17 วิธีการของซีเกลอร์-นิโคลส์ สำหรับใช้ปรับค่าอัตราขยายของตัวควบคุม PID (Ziegler-Nichols tuning of PID regulators)

ในระบบการควบคุมแบบป้อนกลับ ตัวควบคุมจะทำหน้าที่รักษาค่าตัวแปรกระบวนการให้มีค่าเท่ากับค่าเป้าหมายเสมอ แต่ในกรณีที่เกิด Disturbance ในระบบ หรือมีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย จะทำให้ค่าตัวแปรกระบวนการมีค่าต่างจากเป้าหมายไปชั่วขณะหนึ่ง ตัวควบคุมจะต้องทำให้ค่าตัวแปรกระบวนการให้มีค่าเท่ากับค่าเป้าหมายในเวลาที่รวดเร็วที่สุด โดยการปรับตั้งสัญญาณควบคุมที่ถูกต้องเหมาะสมจากการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์พีไอดี แต่การจะจำลองทางคณิตศาสตร์หากจะให้เป็นตัวแทนการทำงานจริงอย่างแม่นยำนั้นค่อนข้างยาก ดังนั้นจึงมีวิธีการหรือสูตรสำเร็จออกมาให้สำหรับผู้ออกแบบระบบควบคุมและใช้เป็นกฎพื้นฐาน (Empirical based rule) ซึ่งวิธีการดังกล่าวคือ วิธีของ ซีเกลอส์-นิโคลส์ มีวิธีที่นิยมใช้ในทางปฏิบัติ 3 วิธี คือ

1. วิธีการปฏิกิริยาของกระบวนการของซีเกลอร์-นิโคลส์ (Process reaction curve method – Open loop method)
2. วิธีการวัฏจักรท้ายสุด (Ultimate cycle method – Close loop)
3. วิธีลองผิดลองถูก (Trial & Error)

วิธีการดังกล่าวมีเพื่อจุดประสงค์ในการปรับค่าอัตราการขยายตัวของ PID ให้สามารถทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยสามารถปรับเลือกให้ตัวควบคุมนั้นมีผลตอบสนองชั่วขณะ (Transient-Response) หรือการตอบสนองในสถานะคงตัว (Steady-State) ได้ตามลักษณะการใช้งาน

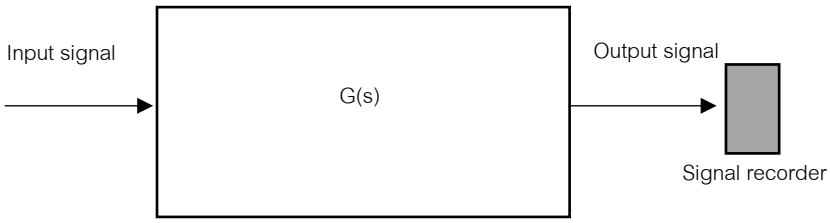
ดังที่ทราบว่าการออกแบบระบบควบคุมในเบื้องต้น จะต้องมีการเลือกรูปแบบของตัวควบคุม คำนวณหาค่าอัตราขยายของตัวควบคุม และจะต้องจำลองระบบพลศาสตร์ที่ต้องการจะควบคุมอย่างสมบูรณ์ โดยจำลองระบบให้อยู่ในรูปแบบสมการการเคลื่อนที่ หรือสมการฟังก์ชันถ่ายโอน โดยค่าจากการคำนวนจะต้องถูกต้องแม่นยำ ระบบควบคุมจึงจะทำงานได้ตรงตามจุดประสงค์ที่ต้องการ

2.17.1 วิธีการปฏิกิริยาของกระบวนการของซีเกลอร์-นิโคลส์ (Process reaction curve method – Open loop method)

เรียกอีกชื่อว่า เส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการ (Process reaction curve) ทำได้โดยการใส่ฟังก์ชันอินพุต ที่เป็นฟังก์ชั่นหนึ่งหน่วยเข้าไปในระบบ โดยเมื่อระบบทำงานด้วยอินพุตแล้ว ให้บันทึกสัญญาณเอาต์พุตเอาไว้ด้วยอุปกรณ์บันทึก (Signal recorder) แบบต่างๆ วิธีนี้จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอดี จากผลตอบสนองเวลาของระบบหรือกระบวนการที่ถูกควบคุมแบบลูปเปิดต่ออินพุตแบบสเต็ป เมื่อบันทึกสัญญาณเอาต์พุตที่ได้มาแล้ว จะต้องนำมาคำนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หาค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากสัญญาณดังกล่าว โดยค่าที่ได้ออกมาจะนำไปใช้ในการออกแบบ หาค่าเกนของตัวควบคุมแบบต่างๆต่อไป



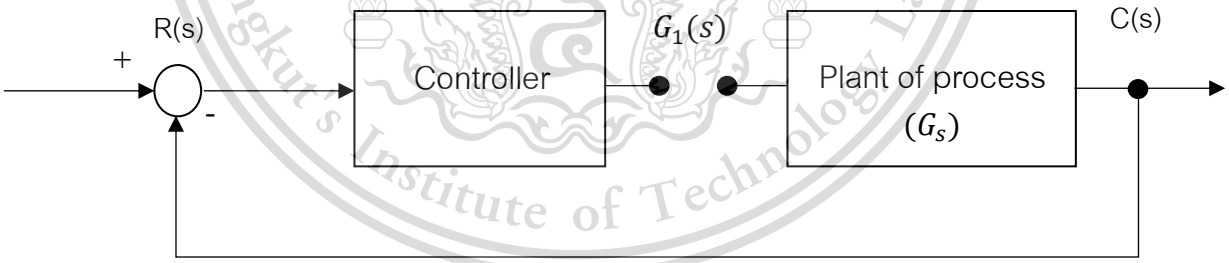
รูปที่ 2.35 โฟลวชาร์ตการทดลองด้วยวิธีการปฏิกริยาของกระบวนการ

การตอบสนองของระบบ เมื่อมีการให้อินพุตนี้คือฟังก์ชันแบบขั้นบันไดและทำการอ่านและบันทึกค่าตอบสนองนี้ลงบนกระดาษจะพบว่า เส้นที่ตอบสนองนี้จะมีลักษณะคล้ายตัว S จึงถูกเรียกอีกแบบว่า เส้นโค้งปฏิกิริยากระบวนการ ซึ่งการตอบสนองแบบนี้จะคล้ายกลับระบบที่มีอันดับหนึ่ง (First order system) จากเส้นโค้งนี้สามารถนำมาคำนวนหาค่า P , PI , PID ได้

ขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์พีไอดี

มีหลักการ คือ เริ่มต้นด้วยการปรับตัวควบคุมให้อยู่ในตำแหน่ง Manual Mode แล้วทำการปรับค่า MV ไว้ค่าๆหนึ่งให้คงที่ตลอดในช่วงการทดลองหาค่า แล้วสังเกต PV จากนั้นลากเส้น Tangent line แล้วทำการหาค่าอัตราขยายของกระบวนการ K ค่าเวลาคงที่ของกระบวนการ t และค่า t0 แสดงได้ดังนี้

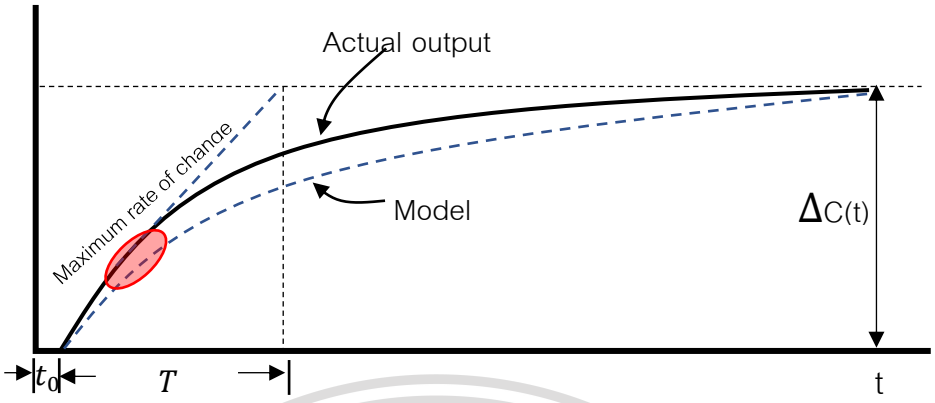
1. ป้อนสัญญาณแบบ Step เข้าที่จุดอ้างอิง R1(s) ของระบบที่ต้องการทดสอบ



รูปที่ 2.36 โฟลวชาร์ตกระบวนการของระบบวงปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. วัดค่าจากสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากกระบวนการ จะใช้เวลามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับผลตอบสนองที่ได้มาจากการทดสอบ โดยปกติจะมีลักษณะข้อมูลดังรูปที่ 2.37



รูปที่ 2.37 กราฟผลตอบสนองต่อเวลา

3. ทำการประมาณค่าโดยเขียนเส้นตรงให้สัมผัสกับกราฟที่จุดที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าสูงสุด (Maximum rate of change) ของสัญญาณเอาต์พุต เส้นตรงที่ลากสัมผัสกับกราฟนี้ในส่วนที่เท่ากับศูนย์จะได้ค่าเวลาไร้การตอบสนอง t0

4. จากข้างต้น จะได้สมการ

$$C(s) = G(s)R_1(s) = \frac{K}{Ts+1} x \frac{A}{s} \quad (2.8)$$

เมื่อ t0 คือช่วงเวลาไร้ผลตอบสนอง, T คือค่าเวลาคงตัว, A คือค่าอัตราขยายของระบบ

5. นำมาคำนวณหาค่าพารามิเตอร์พีไอดีจากเกณฑ์การปรับแต่งพารามิเตอร์ อ้างอิงจากตารางที่ 2.2

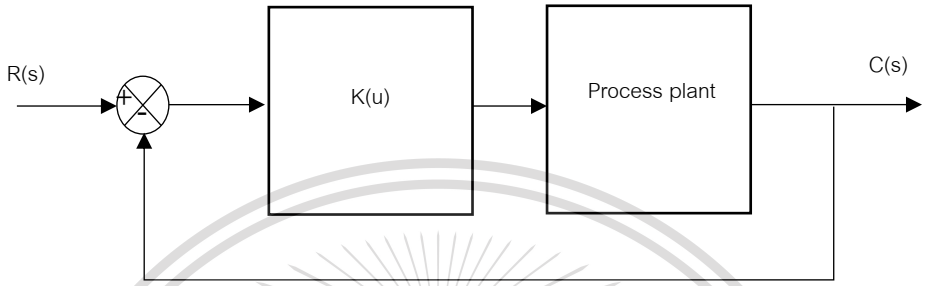
ตารางที่ 2.2 เกณฑ์การปรับแต่งพารามิเตอร์แบบซีเกลอร์-นิโคลส์ตามวิธี Process Reaction Curve

ชนิดของตัวควบคุม	K_P	T_t	T_P
P	$\frac{1}{K}(\frac{T}{t_0})$	-	-
PI	$\frac{0.9}{K}(\frac{T}{t_0})$	$\frac{t_0}{0.3}$	-
PID	$\frac{1.2}{K}(\frac{T}{t_0})$	$2t_0$	$\frac{t_0}{2}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.17.2 วิธีการวัฏจักรท้ายสุด (Ultimate cycle method – Close loop)

วิธีนี้จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี จากผลตอบสนองเวลาของระบบหรือกระบวนการที่ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพี แบบลูปปิดต่ออินพุตแบบ Unit Step (ตัวควบคุมทำงานในแบบ Automatic Mode) โดยปรับพารามิเตอร์ของ Integral และ Derivative และหลักการทั่วไปในการออกแบบระบบนี้คือ ระบบและตัวควบคุมที่ใช้ในการออกแบบป้อนกลับจะเป็นสัดส่วน (Proportional control)



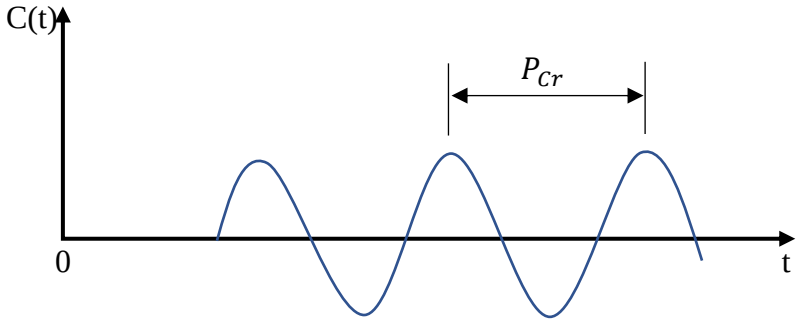
รูปที่ 2.38 โฟลวชาร์ตการทดลองด้วยวิธีการวัฏจักรท้ายสุด

รูปที่ 2.38 แสดงการต่อวงจรแบบสัดส่วนนี้เข้ากับระบบจริงที่ต้องการจะควบคุม แล้วค่อยๆ เพิ่มอัตราขยายที่ K ให้มากขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งมีการแกว่ง (Oscillate) และเริ่มจะเข้าใกล้จุดที่ระบบเริ่มไม่เสถียรภาพ หรือการปรับค่าเกน K จนกระทั่งรากบางตัวของสมการในระบบปิดนี้ มีค่าอยู่บนแกนจินตภาพ เมื่อถึงจุดใดจุดหนึ่งนี้แล้วให้บันทึกค่า K ที่ตำแหน่งนี้ไว้ และอนุมานให้ K = K(u) ในขณะเดียวกันก็ต้องวัดค่าคาบของการแกว่ง (Period of oscillate) โดยค่าที่วัดได้นี้จะอนุมานให้เป็น P(u) (Ultimate period) โดยขณะวัดไม่ควรวัดตอนค่าแอมพลิจูดแกว่งมากนัก เมื่อได้พารามิเตอร์ทั้ง K(u) และ P(u) มาแล้ว สามารถนำมาคำนวนหาค่าอัตราขยายที่เหมาะสม สำหรับตัวควบคุมแบบ P, PI และ PID ต่อไป

ขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์พีไอดี

ในการคำนวณตามวิธีของซิกเกอร์-นิโคลส์ ให้ทำการปรับพารามิเตอร์ตัวควบคุมให้เหลือแค่ Kp อย่างเดียวโดยการปรับ Ti ให้มีค่ามากที่สุด และปรับ Td ให้มีค่าน้อยที่สุด หลังจากนั้นให้ป้อนอินพุตเข้าสู่ระบบ และปรับค่า Kp จนกระทั่งผลการตอบสนองของระบบมีการแกว่งเกิดขึ้น เมื่อปรับจนได้ผลลัพธ์ตามข้างต้นแล้ว ให้บันทึกค่าอัตราการควบคุมแบบ P ที่ทำให้ระบบมีการแกว่งแบบคงที่ (Kcr), และคาบเวลาการแกว่งตัว (Pcr)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.39 กราฟการแกว่งของระบบหลังจากปรับค่า Kp

และนำมาคำนวณหาค่าพารามิเตอร์พีไอดีจากเกณฑ์การปรับแต่งพารามิเตอร์ อ้างอิงจากตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์การปรับแต่งพารามิเตอร์แบบซีเกลอร์-นิโคลส์ตามวิธี Ultimate cycle method

ชนิดของตัวควบคุม	K_P	T_i	T_d
P	$0.5K_{Cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{Cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{Cr}$	0
PID	$0.6K_{Cr}$	$0.5P_{Cr}$	$0.125P_{Cr}$

โดยสามารถสรุปเกณฑ์การปรับแต่งพารามิเตอร์พีไอดีแบบซิกเลอร์-นิโคลส์ของวิธีการปฏิกิริยาของกระบวนการและวิธีการวัฏจักรสุดท้ายได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 เกณฑ์การปรับแต่งพารามิเตอร์แบบซีเกลอร์-นิโคลส์ของวิธีการปฏิกิริยาของกระบวนการและวิธีการวัฏจักรสุดท้าย

รูปแบบการควบคุม	วิธีปฏิกิริยาของกระบวนการ	วิธีวัฏจักรสุดท้าย
ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID Control)	$K_P = \frac{1.2}{RL}$	$K_P = 0.6K_{PU}$
	$T_L = 2L$	$T_L = 0.5P_U$
	$T_D = 0.5L$	$T_D = 0.125P_U$

2.17.3 วิธีลองผิดลองถูก (Trial & Error)

Trial & error คือการลองผิดลองถูกปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆและสังเกตุลักษณะของกราฟเอาท์พุตที่เกิดขึ้น โดยการควบคุมจะเป็นระบบปิดและตำแหน่งการควบคุมจะต้องอยู่ใน Automatic Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

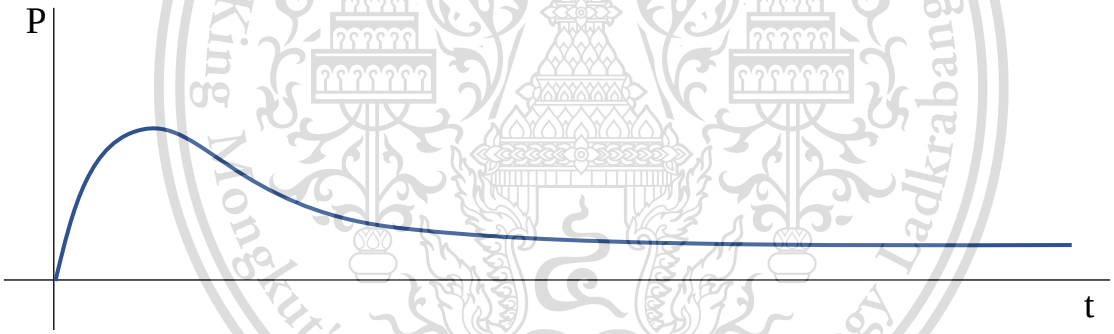
ขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์พีไอดี

1. ให้ตัวควบคุมทำงานในรูปแบบ Proportional Control เพียงอย่างเดียว

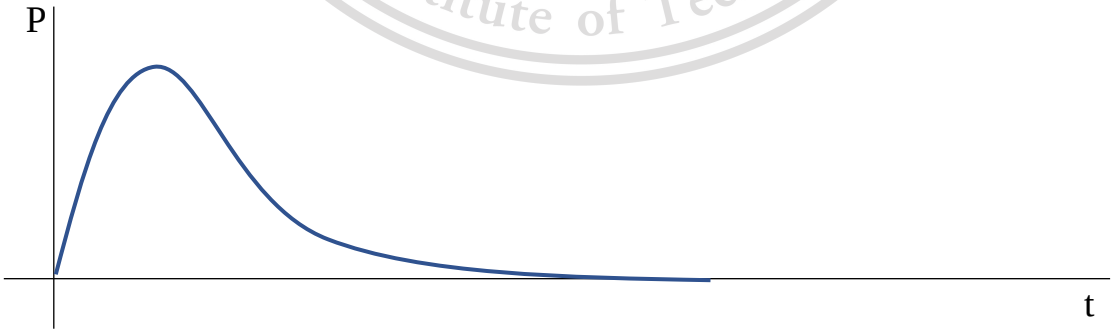
2. ปรับค่า Kc จนกระทั่งค่า PV เข้าใกล้ค่าเป้าหมายซึ่งโดยทั่วไปก็จะต่ำกว่าค่าเป้าหมายเล็กน้อย

3. ปรับค่า Ti เพิ่มขึ้นเพื่อชดเชยค่า Offset ที่เกิดขึ้นแล้วดูผลว่าค่า PV เข้าสู้เป้าหมายตามที่ต้องการ ถ้ายังไม่เข้าสู่เป้าหมาย ให้ปรับขึ้นจนกระทั่งได้ตามต้องการ และลด Kc เพื่อลดการแกว่ง สามารถเทียบลักษณะกราฟที่ได้กับรูปที่ 2.40 – 2.48

รูปที่ 2.40 กราฟการปรับค่า Kp ที่มากเกินไป

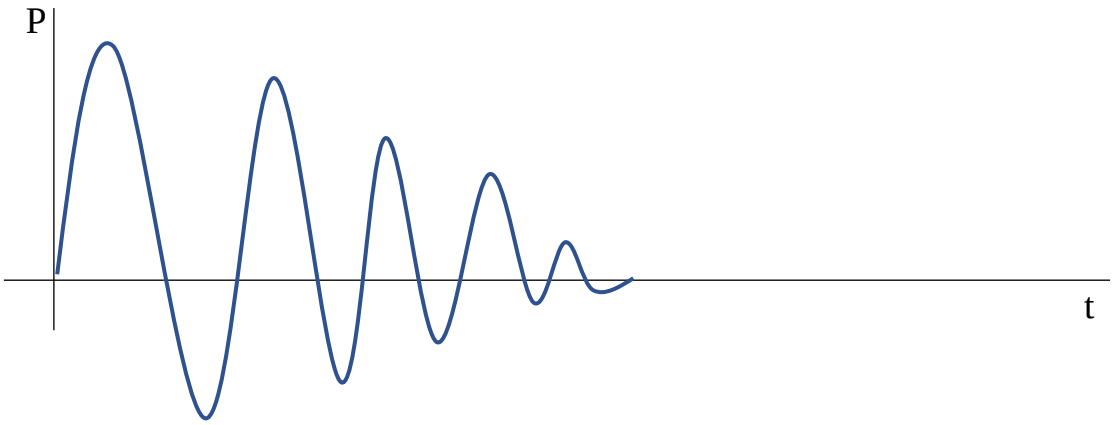


รูปที่ 2.41 กราฟการปรับค่า Kp ที่น้อยเกินไป



รูปที่ 2.42 กราฟการปรับค่า Kp ที่เหมาะสม

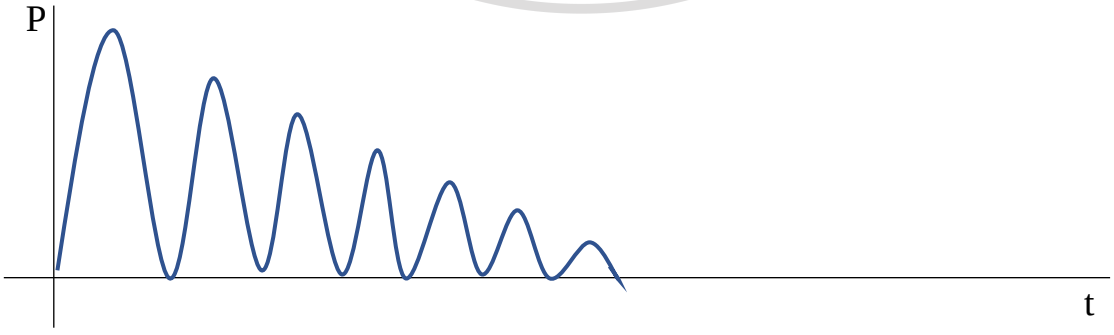
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.43 กราฟการปรับค่า Ti ที่มากเกินไป

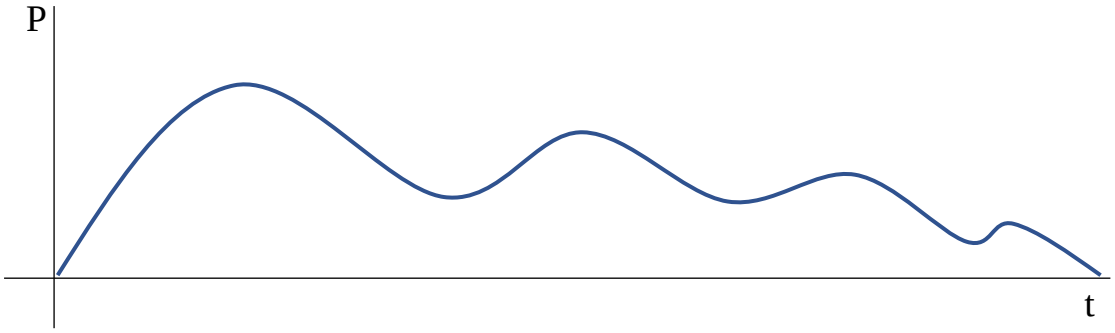
รูปที่ 2.44 กราฟการปรับค่า Ti ที่น้อยเกินไป

รูปที่ 2.45 กราฟการปรับค่า Ti ที่เหมาะสม



รูปที่ 2.46 กราฟการปรับค่า Td ที่มากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.47 กราฟการปรับค่า Td ที่มากเกินไป

รูปที่ 2.48 กราฟการปรับค่า Td ที่เหมาะสม

2.18 การออกแบบลายวงจรพิมพ์ (PCB) ด้วยโปรแกรม EAGLE

รูปที่ 2.49 โปรแกรม Autodesk EAGLE

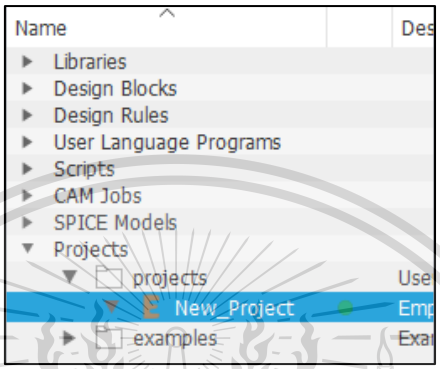
Autodesk Eagle เป็นโปรแกรม CAD (Computer Aided Design) สำหรับออกแบบโมดูลที่ใช้ในการออกแบบเค้าโครงของ Printed Circuit Board (PCB) ซึ่งโปรแกรมนี้มี Schematic Editor, Layout Editor, Library Editor และ Autorouter modules เพื่อช่วยออกแบบ PCB อีกทั้งยังมีคุณสมบัติอื่น ๆ เช่นคำสั่งที่กำหนดด้วยตนเอง การจำลองและฟังก์ชันการนำเข้าและส่งออกข้อมูล มีอินเทอร์เฟซที่เรียบง่าย พร้อมด้วยเครื่องมือและฟังก์ชันในการใช้งานที่มีประสิทธิภาพมากมาย ซึ่งโปรแกรม EAGLE มีจุดเด่นหลายประการ เช่น ตัวโปรแกรมมีขนาดเล็กจึงทำให้ใช้ทรัพยากรของเครื่องคอมพิวเตอร์ไม่สูงมาก และทำให้มีความเร็วในการทำงานค่อนข้างดี มีรุ่นที่ให้ผู้สนใจทำการดาวน์โหลดได้ฟรีโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย โดยสามารถติดตั้งโปรแกรม EAGLE ลงบนระบบปฏิบัติการได้หลายระบบ นอกจากนี้โปรแกรม EAGLE ยังมี Library ที่ให้เลือกใช้งานมากมายและสามารถดาวน์โหลด Library เพิ่มเติมจากผู้ผลิตได้อีกโดยไม่มีค่าใช้จ่าย อีกทั้งยังมีการแจกจ่าย Library อื่นๆ ที่มีการทำขึ้นอีกทางอินเทอร์เน็ตเป็นจำนวนมากอีกด้วย จึงทำให้เกิดความสะดวกอย่างมากสำหรับผู้ใช้งานโปรแกรม EAGLE ในการออกแบบลายวงจรพิมพ์ แต่อย่างไรก็ตามโปรแกรม EAGLE ก็มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ข้อจำกัดในการใช้งานอยู่บ้าง กล่าวคือสามารถออกแบบลายวงจรพิมพ์ได้ไม่เกินสองหน้า และมีขนาดของแผ่นวงจรพิมพ์หรือแผ่น PCB ใหญ่ได้ไม่เกิน 4 x 3.2 นิ้ว

2.18.1 การเข้าใช้งานโปรแกรม EAGLE

การเริ่มต้นใช้งานให้ไปที่ Start⟶ All Program ⟶ EAGLE Layout Editor ⟶ จากนั้นคลิกที่ EAGLE ก็จะได้หน้า Control Panel ดังรูปที่ 2.50



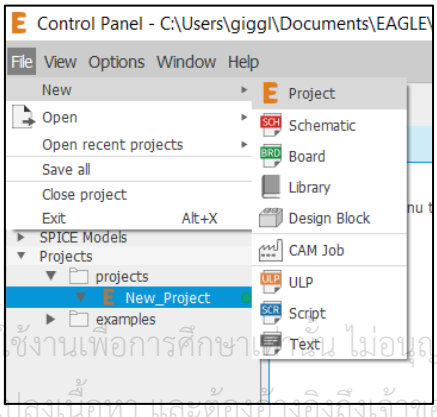
รูปที่ 2.50 Control Panel

มีส่วนประกอบหลักของ Control Panel ดังต่อไปนี้

1. Libraries คือ ส่วนที่จัดเก็บรวบรวมตัวอุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้ในโปรแกรม EAGLE เช่น สัญลักษณ์ของตัวอุปกรณ์และรายละเอียดต่างๆของตัวอุปกรณ์
2. Design Rules คือ ส่วนที่เก็บและกำหนดกฎเกณฑ์ต่างๆ ในการสร้างลายวงจร เช่น ความกว้างของลายทองแดง ระยะห่างระหว่างลายทองแดง
3. Projects เป็นที่จัดเก็บโปรเจคงานที่สร้างขึ้นมา

2.18.2 วิธีวาดผังวงจร (Schematic)

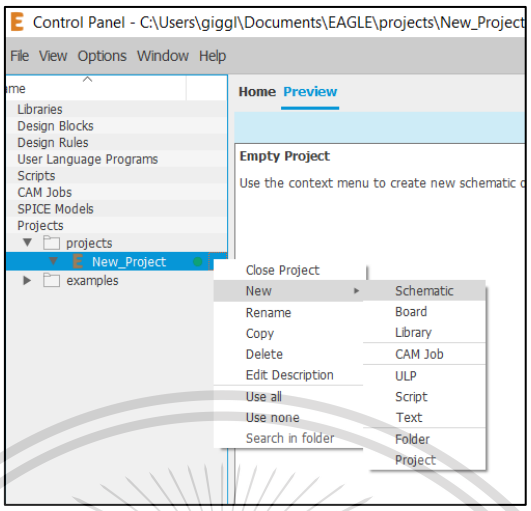
1. เปิดโปรแกรม EAGLE ซึ่งจะพบหน้าต่าง Control panel
2. เริ่มสร้างโปรเจคใหม่ โดยไปที่ File ⟶ New ⟶ Project



รูปที่ 2.51 New Project

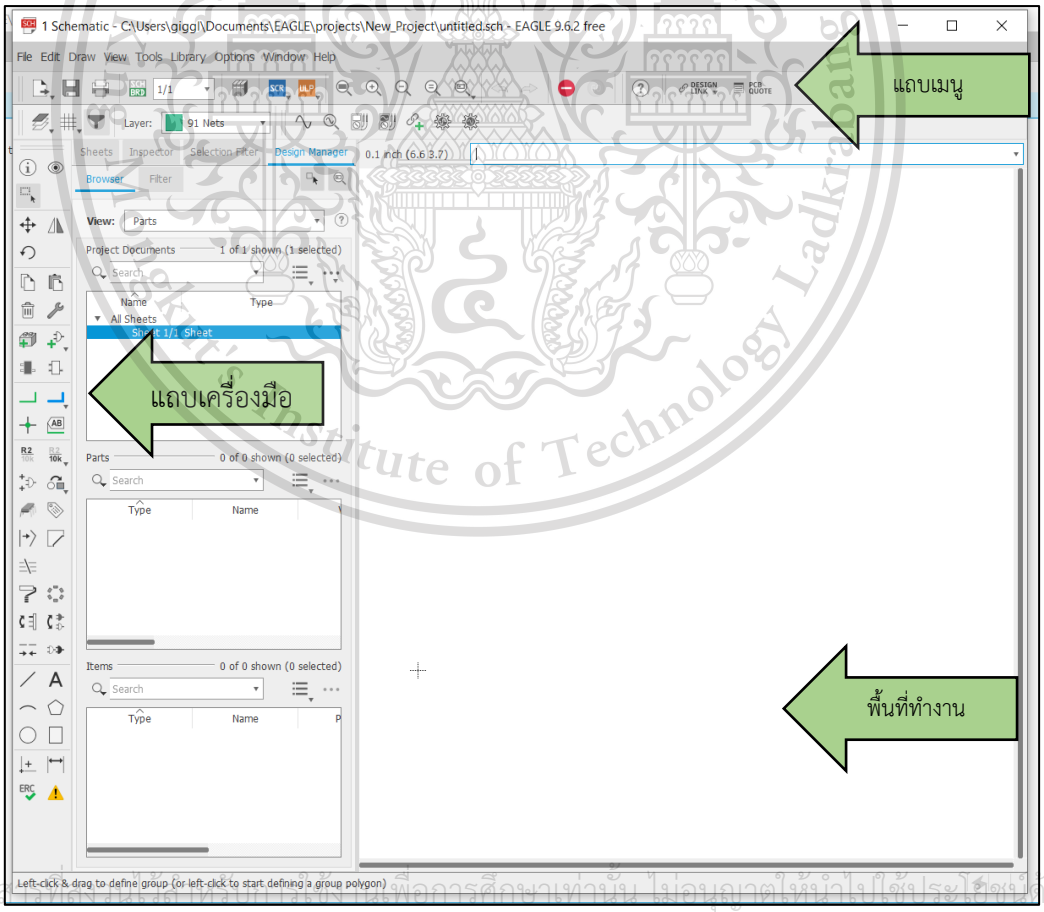
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. สร้างไฟล์เพื่อวาดผังวงจร โดยคลิกขวาที่โปรเจค แล้วเลือกเมนูย่อย New ⟶ Schematic



รูปที่ 2.52 เมนูย่อยของ New

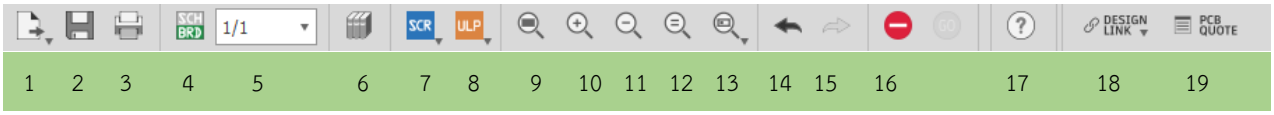
จะปรากฏหน้าต่าง Schematic ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2.53 หน้า Schematic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยแถบเมนูมีหน้าที่การทำงานดังนี้

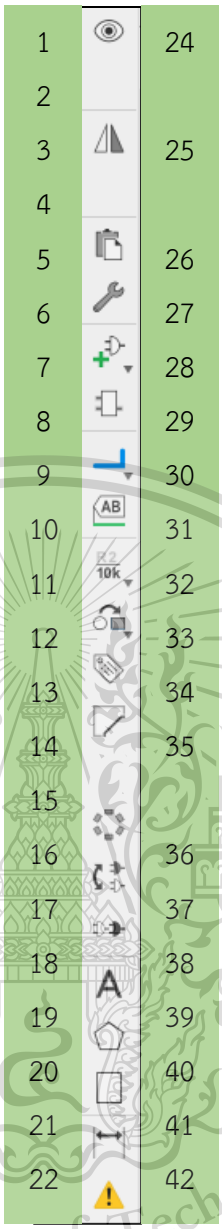


รูปที่ 2.54 แถบเมนูหน้า Schematic

1. Open ใช้สำหรับเปิดไฟล์งาน
2. Save ใช้สำหรับบันทึกงานที่ทำ
3. Print ใช้สำหรับสั่งพิมพ์
4. Switch to board ใช้สำหรับการสลับโหมดการทำงาน
5. Sheet ใช้สำหรับเลือกหน้าเอกสาร
6. Library Manager ใช้สำหรับเพิ่ม Library ให้กับ Schematic
7. Script ใช้สำหรับสร้างไฟล์รายการ
8. ULP ใช้สำหรับจัดเก็บเป็นไฟล์สกุล ULP
9. Zoom to fit ใช้ขยายพื้นที่ทำงานให้อุปกรณ์พอดีกับหน้าจอ
10. Zoom in ใช้ขยายพื้นที่ทำงาน
11. Zoom out ใช้ย่อขนาดพื้นที่ทำงาน
12. Redraw ใช้สำหรับวาดจอภาพในมุมมองเดิมซ้ำอีกครั้ง
13. Zoom select ใช้สำหรับขยายการทำงานของพื้นที่ที่เลือก
14. Undo ใช้ยกเลิกการใช้คำสั่งล่าสุดแล้วกลับไปใช้คำสั่งก่อนหน้านี้
15. Redo ใช้ตรงข้ามกับคำสั่ง Undo
16. Stop ใช้ยกเลิกคำสั่ง
17. Help ใช้เรียกดูคู่มือใช้งาน
18. Search an order ใช้สำหรับค้นหาและเรียกใช้งานคำสั่ง
19. PCB Service ใช้สำหรับเรียกดูบริการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

และแถบเครื่องมือมีหน้าที่การทำงานดังนี้



รูปที่ 2.55 แถบเครื่องมือหน้า Schematic

1. Info	ใช้สำหรับการดูลายละเอียดต่างๆของตัวอุปกรณ์แต่ละตัว
2. Group	ใช้สำหรับการรวมอุปกรณ์เป็นกลุ่ม
3. Move	ใช้สำหรับเคลื่อนย้ายตัวอุปกรณ์
4. Rotate	ใช้สำหรับหมุนตัวอุปกรณ์ไปทางด้านซ้ายทีละ 90 องศา
5. Copy	ใช้สำหรับคัดลอกตัวอุปกรณ์
6. Delete	ใช้สำหรับลบตัวอุปกรณ์
7. Add a design block	ใช้สำหรับเพิ่มวงจรที่สมบูรณ์จากตัวอย่าง
8. Module	ใช้สำหรับเลือก Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

9. Net	ใช้สำหรับแยกสายสัญญาณออกจาก Bus เพื่อเชื่อมต่อกับขาของตัวอุปกรณ์
10. Junction	ใช้สำหรับสร้างจุดต่อในวงจร
11. Name	ใช้สำหรับกำหนดชื่อให้กับตัวอุปกรณ์
12. Reposition attributes	ใช้สำหรับการเปลี่ยนตำแหน่ง
13. Edit3d	ใช้สำหรับแก้ไขในรูแปบบสามมิติ
14. Split	ใช้เพิ่มหรือเคลื่อนย้ายสัญญาณ
15. Slice	ใช้กำหนดชื่อและค่าอุปกรณืเพื่อเคลื่อนย้าย
16. Paintroller	ใช้สำหรับคัดลอกแกน Y
17. Pinswap	ใช้สำหรับสลับสายสัญญาณที่ต่ออยู่กับขาของตัวอุปกรณ์
18. Optimice	ใช้สำหรับสรุปและจัดลายเส้นวงจรให้เหมาะสมที่สุด
19. Line	ใช้สำหรับลากสายสัญญาณเชื่อมต่อกับขาของตัวอุปกรณ์
20. ARC	ใช้สำหรับวาดรูปเส้นโครง
21. Circle	ใช้สำหรับวาดรูปวงกลม
22. Mark	ใช้สำหรับกำหนดตำแหน่ง X, Y บนพื้นที่ทำงาน
23. ERC	ใช้สำหรับตรวจสอบความถูกต้องในการเชื่อมต่อสายสัญญาณกับตัวอุปกรณ์
24. Show	ใช้แสดงวัตถุให้เด่นชัด และแสดงรายละเอียดด้านซ้าย
25. Mirror	ใช้สำหรับกลับตัวอุปกรณ์
26. Past	ใช้สำหรับวางตัวอุปกรณ์หลังจากที่ใช้คำสั่ง Copy หรือ Cut
27. Change	ใช้สำหรับเปลี่ยนแปลงค่าอุปกรณ์
28. Add part	ใช้สำหรับเพิ่ม หรือเรียกใช้ตัวอุปกรณ์
29. Port	ใช้สำหรับกำหนดจุดเชื่อมต่อของอุปกรณ์
30. Bus	ใช้สำหรับลากสายสัญญาณเชื่อมต่อกับขาของตัวอุปกรณ์แบบหลายเส้น
31. Label	ใช้แสดงชื่อ Net บนสายสัญญาณ
32. Value	ใช้สำหรับกำหนดค่าให้ตัวอุปกรณ์
33. Replace	ใช้สำหรับแทนที่ตัวอุปกรณ์
34. Attribute	ใช้สำหรับกดหนดคุณสมบัติของอุปกรณ์
35. Miter	ใช้ทำให้สายสัญญาณไม่เป็นมุมฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

36. Pattern ใช้สำหรับสร้าง Pattern โดยระบุค่าเองได้

37. Gateswap ใช้สำหรับสลับตัวอุปกรณ์

38. Invoke ใช้ดูอุปกรณ์ที่มี Part

39. Text ใช้สำหรับเขียนข้อความ

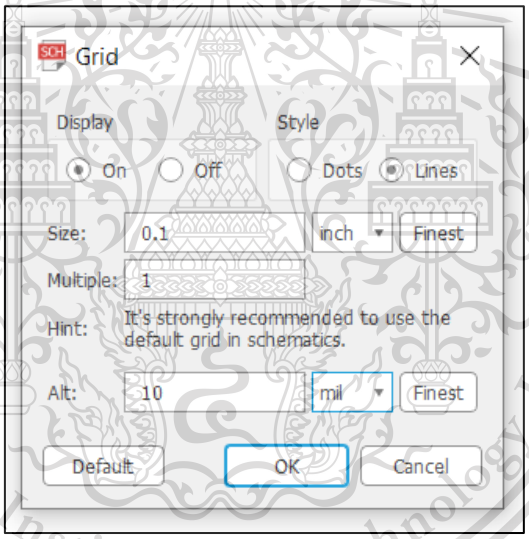
40. Polygon ใช้สำหรับวาดรูปห้าเหลี่ยม

41. Rect ใช้สำหรับวาดรูปสี่เหลี่ยม

42. Dimension ใช้สำหรับกำหนดระยะ

43. Errors ใช้สำหรับแสดงผลการตรวจสอบความถูกต้องในการเชื่อมต่อสายสัญญาณกับตัวอุปกรณ์

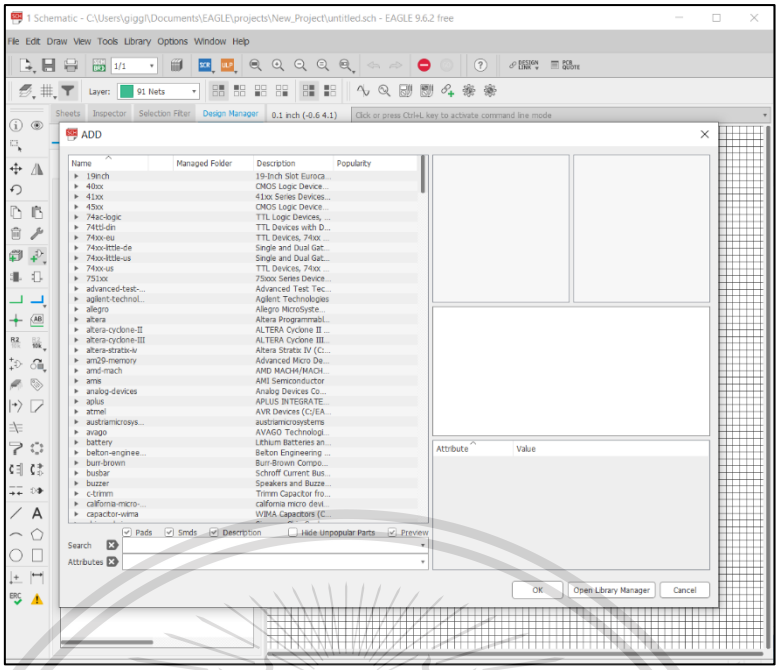
4. กำหนดขนาดของกริดเพื่อให้ง่ายต่อการวาดวงจร โดยเข้าไปที่ View ⟶ Grid โดยในส่วนของ Display ให้กำหนดเป็น ON และ Style เลือกว่าจะให้กริดเป็นแบบจุดหรือเป็นแบบเส้นทึบ Size และ Alt ให้กำหนดค่าแล้วกดปุ่ม OK



รูปที่ 2.56 หน้า Grid

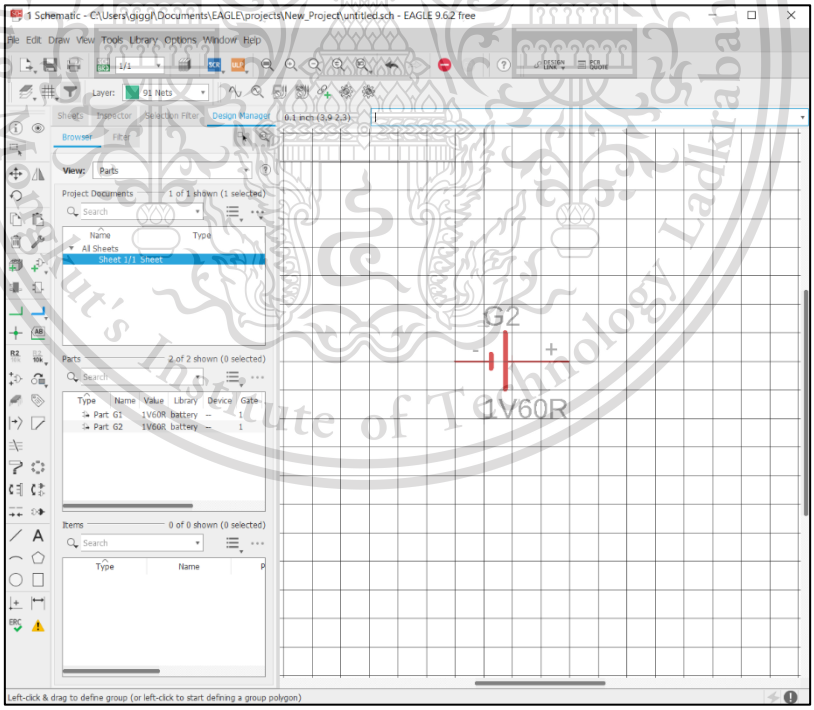
5. เริ่มต้นวาดวงจรโดยการเพิ่มอุปกรณ์โดยคำสั่ง Add และค้นหาอุปกรณ์ตามหมวดหมู่หรือพิมพ์รหัส แล้วกดปุ่ม OK จะได้อุปกรณ์ติดกับเมาส์ หากต้องการหมุนอุปกรณ์ ให้คลิกเมาส์ขวาหนึ่งครั้ง และเมื่อต้องการวางอุปกรณ์ให้คลิกเมาส์ซ้ายหนึ่งครั้ง ต่อมาจึงกดปุ่ม STOP เพื่อหยุดการวางอุปกรณ์ชิ้นนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.57 หน้า Add

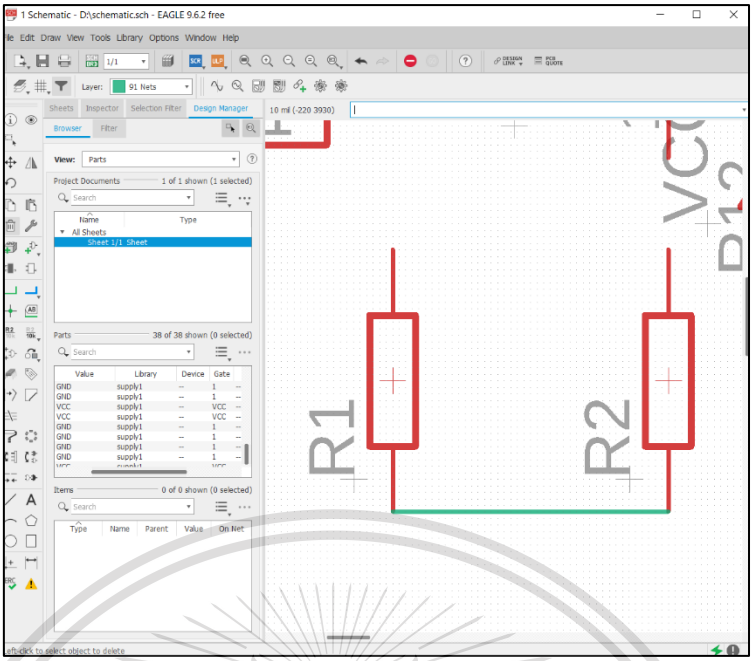
6. กำหนดชื่อโดยใช้คำสั่ง Name และกำหนดค่าให้กับอุปกรณ์โดยใช้คำสั่ง Value หากต้องการลบอุปกรณ์ที่ไม่ได้ใช้งานออก ทำได้โดยใช้คำสั่ง Del



รูปที่ 2.58 หน้าการทำงาน

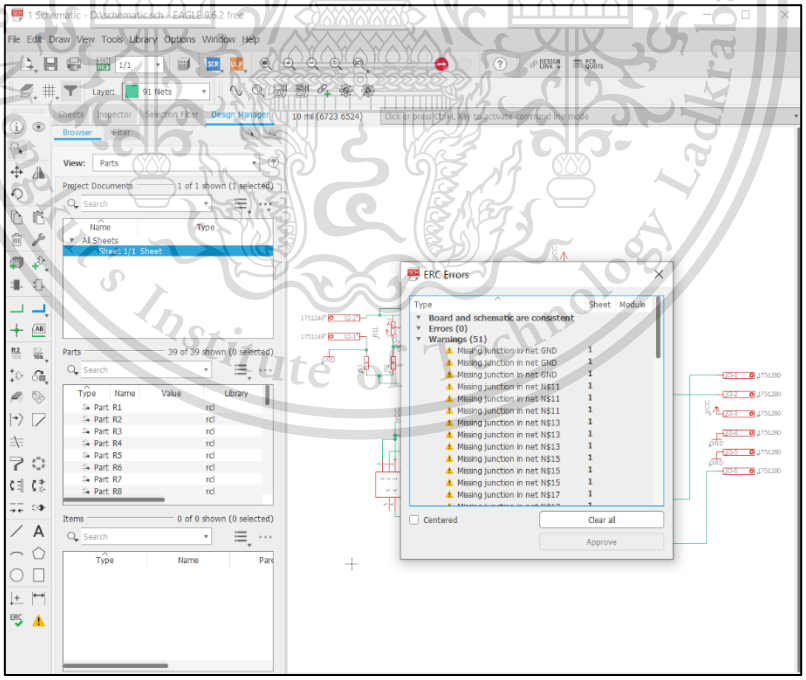
7. ทำการวาดลายวงจรโดยใช้คำสั่ง Wire เชื่อมวงจร โดยคลิกเมาส์ซ้ายที่ขาอุปกรณ์ที่ต้องการแล้วลากเชื่อมกับอีกขาของอุปกรณ์อีกตัวหนึ่ง แล้วคลิกเมาส์ซ้ายสองครั้ง ส่วนการกำหนดจุดเชื่อมต่อให้ใช้คำสั่ง Junction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.59 การเชื่อมวงจร

8. เมื่อวาดลายวงจรเสร็จแล้ว ให้ตรวจสอบความถูกต้องของลายวงจรด้วยคำสั่ง Erc และใช้คำสั่งดูผลการตรวจสอบ Error โดยต้องไม่เกิดความผิดพลาดในลายวงจรที่ถูกต้อง หากมีความผิดพลาด ต้องแก้ไขวงจรให้ถูกต้องสมบูรณ์ก่อน

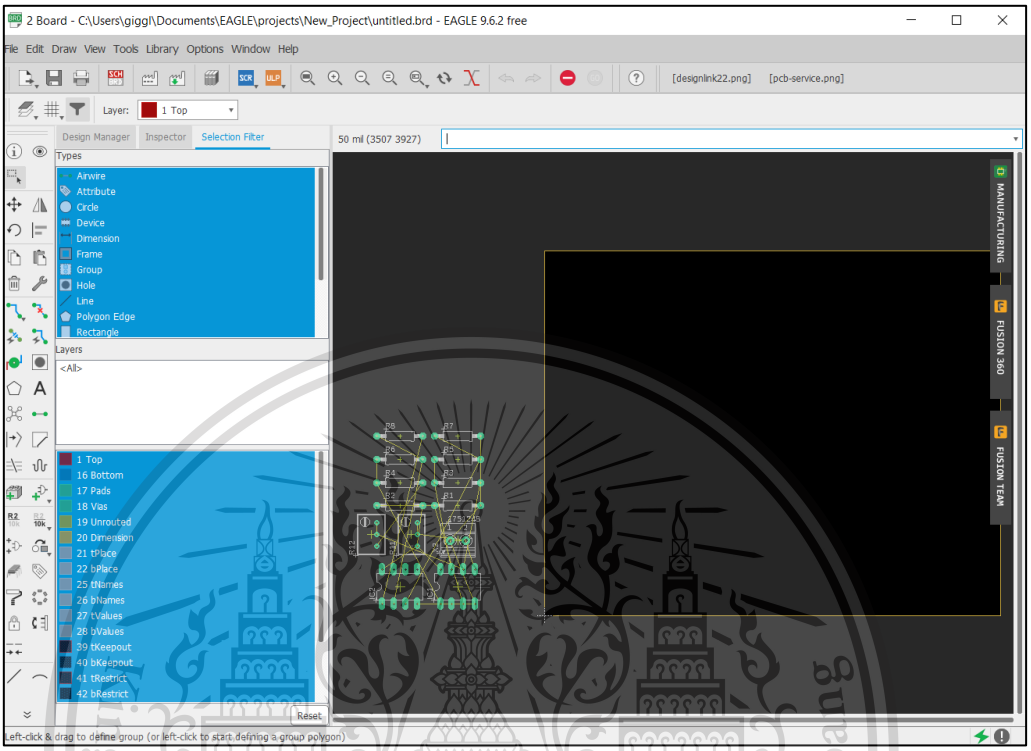


รูปที่ 2.60 Error ในลายวงจร

9. บันทึกไฟล์ Schematic โดยคำสั่ง Save โดยมีนามสกุลเป็น .sch ขั้นตอนต่อไปคือการสร้างวงจรพิมพ์โดยใช้คำสั่ง Board

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

10. สังเกตได้ว่า มีกรอบสี่เหลี่ยมสีดำอยู่ทางด้านขวาของหน้าต่าง ซึ่งหมายถึงขนาดของ PCB ซึ่งต้องนำ Footprint ของวงจรที่สร้างขึ้นมาวางในกรอบสีเทานี้ โดยจะเห็นว่า วงจรที่สร้างขึ้นจะมีเส้นสีเหลืองลากโยงระหว่างขาของอุปกรณ์ ซึ่งหมายถึงว่าอุปกรณ์นั้นต่ออยู่กับอุปกรณ์อะไร



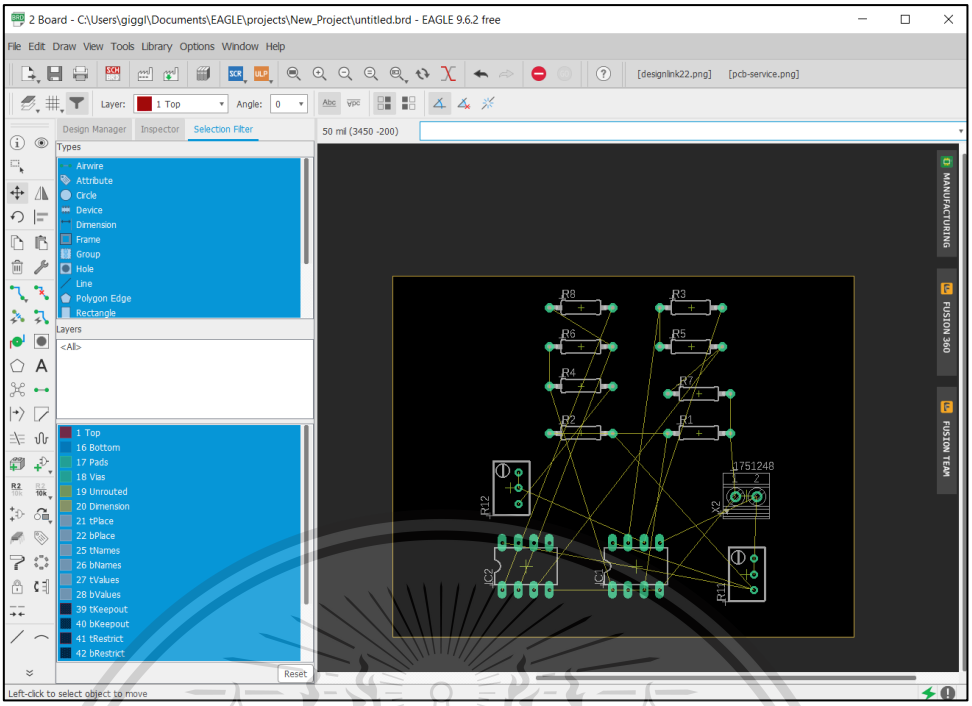
รูปที่ 2.61 หน้าการทำงานจากคำสั่ง Board

สำหรับแถบเครื่องมือใหม่ จะมีคำสั่งใหม่ดังนี้

- Routh ใช้สำหรับวาดลายทองแดงลงบนแผ่นวงจรพิมพ์
- Ripup ใช้สำหรับยกเลิกลายทองแดงที่วาดแล้ว
- Drc ใช้สำหรับกำหนดกฎในการเดินลายทองแดงเช่น ขนาดของลายทองแดงเป็นต้น
- Auto ใช้สำหรับการเดินลายทองแดงแบบ Auto

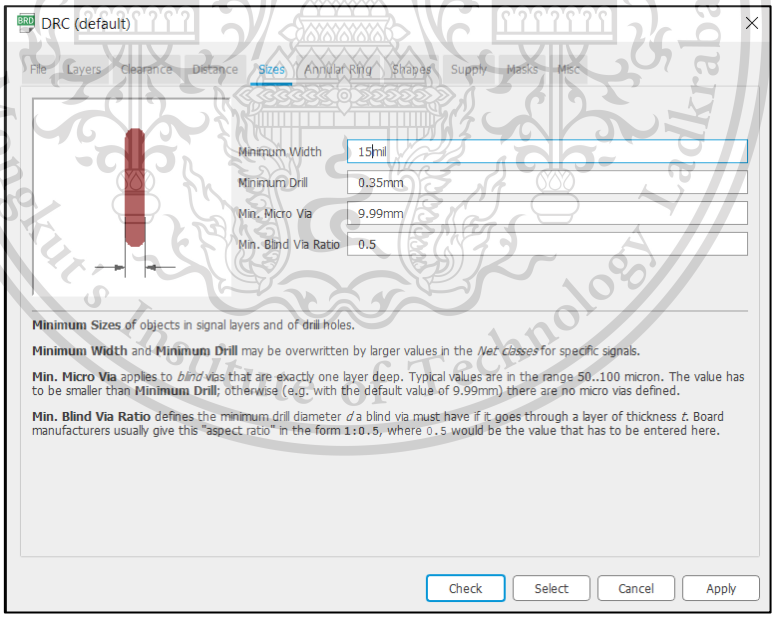
11. ใช้คำสั่ง Move เพื่อย้ายตัวอุปกรณ์ไปจัดวางใหม่บน Board ภายในกรอบสีดำ และใช้คำสั่งนี้ในการกำหนดขนาดของแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.62 จัดวางอุปกรณ์บน Board

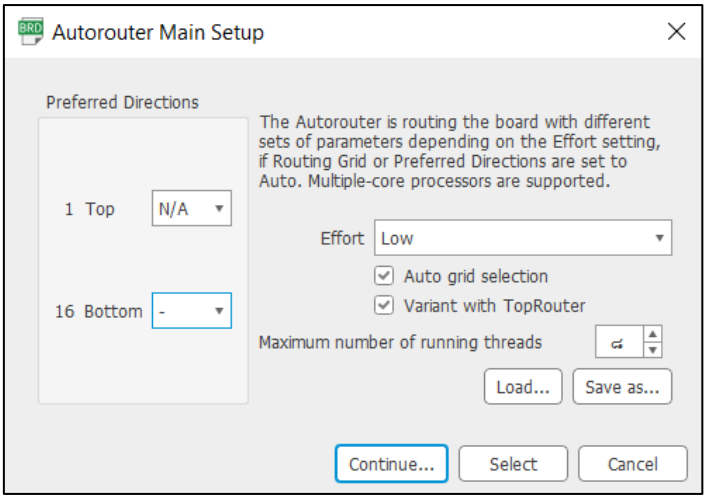
12. กำหนดลายทองแดง โดยใช้คำสั่ง Drc โดยเลือกที่ Size กำหนดขนาด Minimum Width แล้วกดปุ่ม select



รูปที่ 2.63 กำหนดลายทองแดง

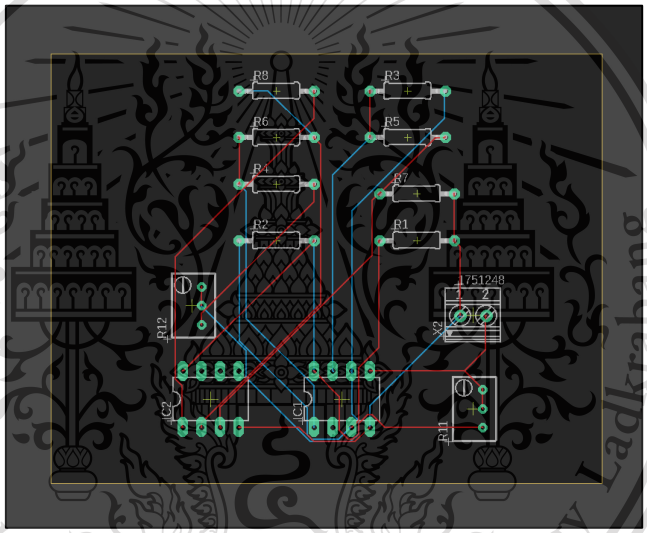
13. เริ่มทำการเดินลายทองแดงแบบ Auto โดยใช้คำสั่ง Autorouter ไปกำหนดลายทองแดงของด้านที่จะเดินลายวงจร โดย N/A หมายความว่าไม่ใช้ด้านนั้น และเครื่องหมาย - หมายความว่าใช้ เสร็จแล้วกดปุ่ม OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.64 หน้า Autorouter Main Setup

14. จะได้ลายวงจรพิมพ์ที่เสร็จสมบูรณ์



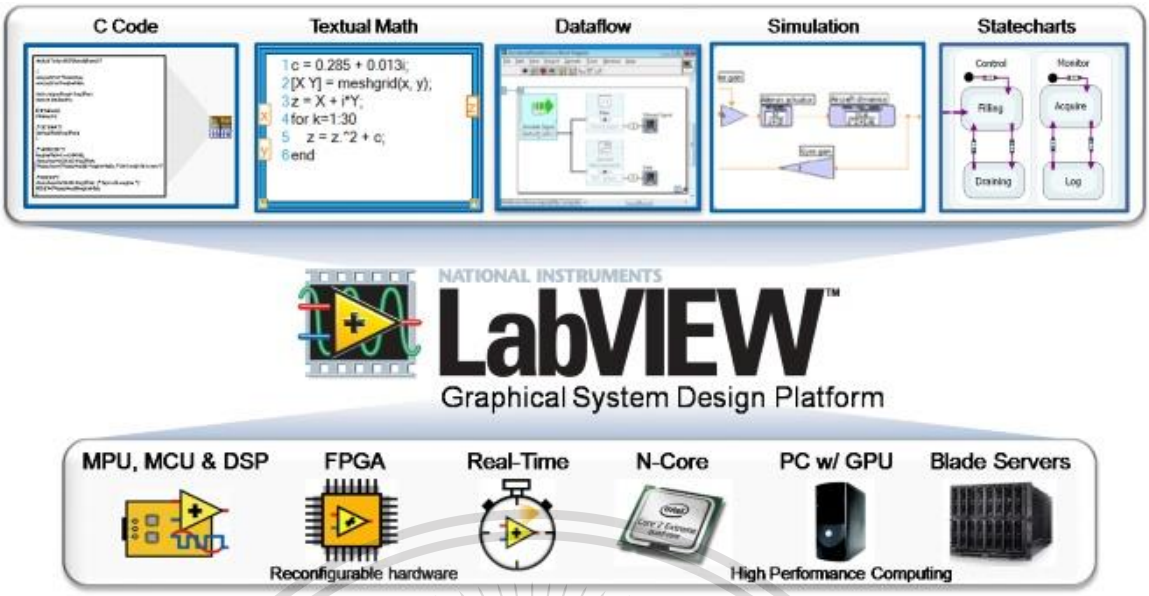
รูปที่ 2.65 ลายวงจรพิมพ์ที่สมบูรณ์

15. บันทึกไฟล์ลายวงจรพิมพ์ที่เสร็จสมบูรณ์โดยคำสั่ง Save โดยมีนามสกุลเป็น .brd
16. สามารถสั่งพิมพ์ลายวงจรได้ทางเครื่องพิมพ์ โดยไปที่ File ⟶ Print แล้วกดปุ่ม OK

2.19 โปรแกรม LabVIEW

LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ LabVIEW จะเรียกว่า Virtual Instrument (VI) ซึ่งหมายถึง เครื่องมือวัดเสมือน และในรายงานนี้จะใช้ LabVIEW 2014 เนื่องจากมีฟังก์ชันการทำงานครอบคลุมและเหมาะสมดังรูปที่ 2.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.66 คุณสมบัติของโปรแกรม LabVIEW

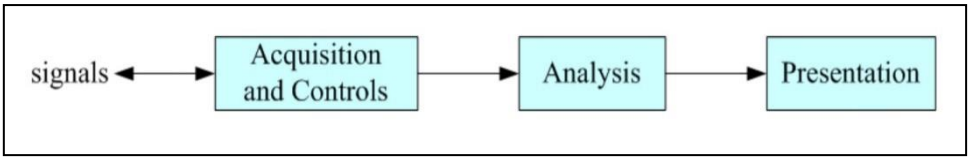
การเขียนโปรแกรมด้วย LabVIEW เป็นการเขียนโปรแกรมด้วยภาษารูปภาพ (Graphical Language) ที่อาศัยหลักการเขียนโปรแกรมแบบการไหลของข้อมูลหรือ Data Flow ซึ่งคล้ายคลึงกับการทำงานของบล็อกไดอะแกรม (Block Diagram) ที่มีการไหลเข้า (Input) ของ ข้อมูล และการไหลออก (Output) ของข้อมูลของบล็อกไดอะแกรม โดยจะทำงานจากบล็อก ไดอะแกรมหนึ่งไปยังอีกบล็อกไดอะแกรมหนึ่งต่อไปเรื่อยๆ จนกว่าจะครบทุกบล็อกไดอะแกรม LabVIEW เป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphical User Interface) ซึ่งเป็นการเขียน โปรแกรมติดต่อระหว่างส่วนเชื่อมต่อกับส่วนผู้ใช้และอุปกรณ์ภายนอกอื่นเพื่อใช้ในการวัด ทดสอบ และควบคุม

2.19.1 Data flow and Programming

เนื่องจาก LabVIEW เป็นโปรแกรมที่ใช้รูปภาพ หรือสัญลักษณ์แทนการเขียนเหมือนโปรแกรมปกติทั่วไป การเขียนด้วยภาษา G เป็นการเขียนโดยใช้หลักการของ Data Flow ซึ่งเมื่อเริ่มส่งข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม จะต้องกำหนดทิศทางการไหลของข้อมูลว่าจะไปที่ส่วนใด ผ่านการประมวลผลและคำนวณในส่วนใดบ้างและ จะแสดงผลอย่างไร ซึ่งลักษณะการเขียนภาษา G หรือ Data Flow นี้จะมีลักษณะเหมือนกับการเขียน Block Diagram ก่อนการเขียนโปรแกรมจะต้องเขียน Flow Chart ให้เสร็จสิ้นก่อน หลังจากตรวจสอบ Flow Chart เรียบร้อย แล้วจึงนำไปเขียนโปรแกรมซึ่งจะมีความสะดวกมากขึ้น ถ้าหากการเขียน Flow Chart ของ LabVIEW ก็คือการเขียนโปรแกรมนั่นเองซึ่งเป็นการลดขั้นตอนการทำงานลงไปได้เป็นอย่างมาก LabVIEW จะมี Front Panel ซึ่งเปรียบเสมือนได้กับสิ่งที่ผู้ใช้จะเห็นและควบคุมการทำงาน ผู้ใช้สามารถสร้างรูปแบบขึ้น เองได้อย่างรวดเร็ว โดย LabVIEW จะแสดงผลและควบคุมการทำงานผ่านทางคอมพิวเตอร์ พื้นที่ส่วนเขียนโปรแกรมจะเรียกว่า Block Diagram เปรียบเสมือนกับ Hardware ภายในเครื่องมือวัดโดย LabVIEW จะ เขียนโปรแกรมโดยอาศัยรูปภาพ โดยอาศัยหลักการทำงานของเครื่องมือวัดหรือการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือจำหน่ายในเชิงการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และไม่อนุญาตให้นำไปลงในสื่อออนไลน์ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเว็บไซต์ หรือสื่อสังคมออนไลน์ใดๆ
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

คุมทำให้ผู้ใช้สามารถออกแบบตามที่ต้องการ หลักการดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ดังรูปที่ 2.67



รูปที่ 2.67 หลักการการทำงานของ LabVIEW

1. Acquisition เป็นส่วนที่รับข้อมูล (Input) จากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ระบบ ในที่นี้คือคอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลที่เข้าสู่ระบบนี้อาจมาจากการ์ด DAQ (สำหรับสัญญาณทางไฟฟ้า)

2. Analysis หลังจากที่ได้รับข้อมูลแล้วอาจจะผ่านฟังก์ชันในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งจะแสดงผลในรูปที่ สื่อความหมายในสิ่งที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปแสดงแทนสื่อที่วัดและใช้งานได้

3. Presentation คือ การแสดงผลในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน โดยอาจแสดงบนหน้าจอ คอมพิวเตอร์ เช่น DMM (Digital Multimeter) หรือ Spectrum Analysis จะแสดงสัญญาณในรูปความถี่ในส่วนของคำศัพท์ที่ใช้ในโปรแกรมมีดังนี้

ตารางที่ 2.5 คำศัพท์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม

LabVIEW	โปรแกรมพื้นฐาน	หน้าที่
VI	Program	ตัวโปรแกรมหลัก
Function	function	ฟังก์ชันสำเร็จรูปที่สร้างขึ้นมากับโปรแกรมนั้นเช่น sin, log เป็นต้น
SubVI	Subroutine	โปรแกรมย่อยที่ถูกเรียกใช้โดยโปรแกรมหลัก
Front Panel	user interface	ส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้
Block Diagram	Program code	การเขียนตามขั้นตอนของที่แต่ละโปรแกรมกำหนดขึ้น

2.19.2 ส่วนประกอบต่างๆใน LabVIEW

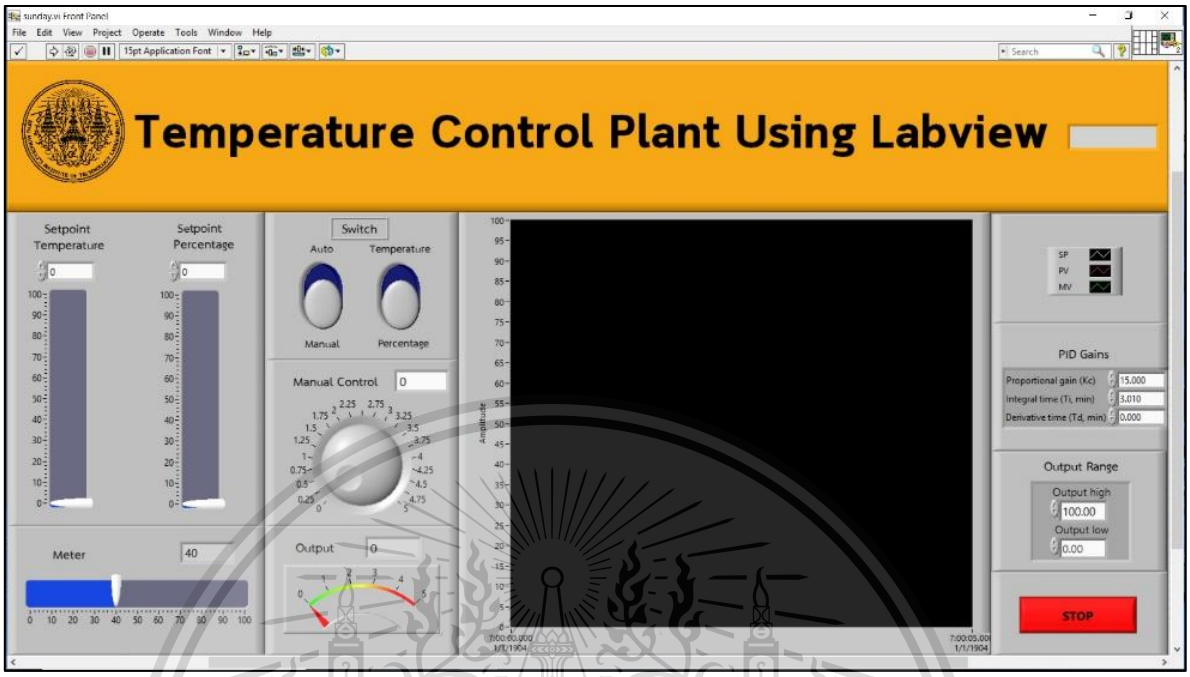
โปรแกรม LabVIEW มีลักษณะเสมือนกับเครื่องมือทางวิศวกรรมปรากฏทางจอภาพ มีการทำงานของอุปกรณ์เสมือนจริง โดยมีส่วนประกอบ 3 ส่วนดังต่อไปนี้

1. Front Panel

หน้าปัทม์ เป็นส่วนที่ใช้สื่อความระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรม (หรือที่นิยมเรียก User Interface) โดยทั่วไป จะมีลักษณะเหมือนกับหน้าปัทม์ของของเครื่องมือหรือ อุปกรณ์ที่ใช้งานด้านการวัดทั่วไป ซึ่งหน้าต่างนี้ใช้สำหรับออกแบบหน้าปัทม์ด้านหน้าของเครื่องมือ วัดให้เหมือนกับหน้าปัทด้านหน้าของเครื่องมือวัดของจริง ทำได้โดยนำเอาอุปกรณ์ที่ต้องการ มาวางลงบนตำแหน่งใดๆ เช่น โวลุ่มปรับค่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

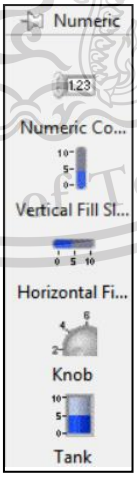
หลอดไฟแอลอีดี เทอร์โมมิเตอร์ กราฟแสดง ผล มิเตอร์แสดงค่า เกจแสดงค่า สวิตช์เปิดปิด หรือ ปุ่มกด เป็นต้น



รูปที่ 2.68 หน้าปัทม์ของโปรแกรม LabVIEW

ซึ่ง Object ที่อยู่บน Front Panel จะมีอยู่ 3 ประเภท คือ

1. Control คือประเภทที่รับค่าจากผู้ใช้ (Input) ซึ่งผู้ใช้สามารถพิมพ์ค่าลงไป หรือเปลี่ยนแปลงค่าได้ เป็นการกำหนดค่าหรือแหล่งของข้อมูล เช่น ปุ่มหมุน ปุ่มเลื่อน สวิตช์ ดังรูปที่ 69 เป็นต้น



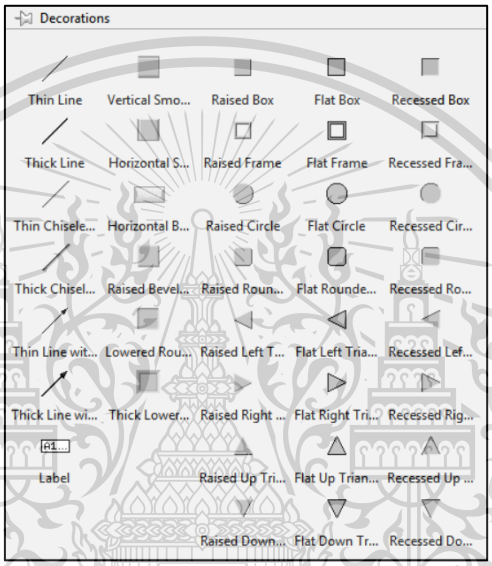
รูปที่ 2.69 Object ประเภท Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. Indicators คือประเภทที่ใช้แสดงค่าต่างๆจากแหล่งข้อมูลมาแสดงผลเท่านั้น (Output) ผู้ใช้ไม่สามารถแก้ไขได้ เช่น กราฟ มิเตอร์ LED

รูปที่ 2.70 Object ประเภท Indicators

3. Decorations เป็น Object ที่ไม่เกี่ยวข้องกับโปรแกรมและcode บน Block Diagram แต่มีไว้เพื่อความสวยงาม เป็นระเบียบของ Front panel



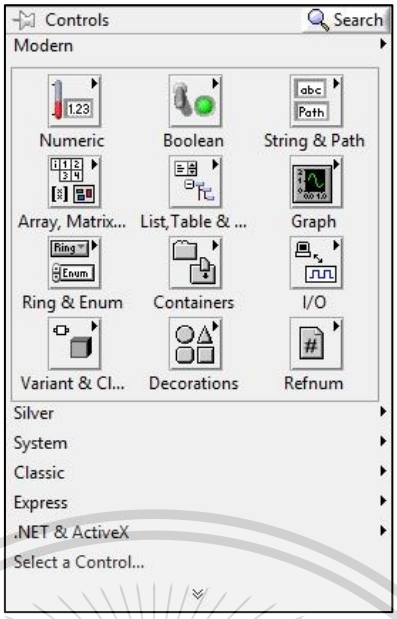
รูปที่ 2.71 Object ประเภท Decorations

เครื่องมือที่ใช้ออกแบบ Front Panel

เครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบ Front Panel จะประกอบไปด้วย Control Palette และ Tools Palette

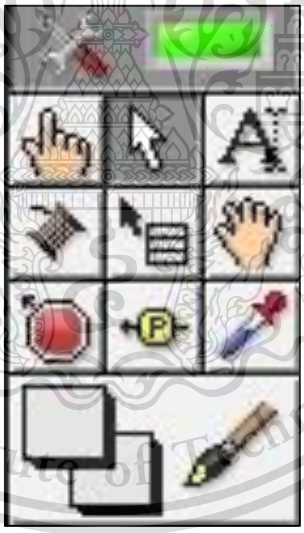
1. Controls Palette ใช้ในการออกแบบ Front Panel ซึ่งเป็นส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) โดยจะจัดเป็นกลุ่มต่างๆ เช่น กลุ่มของตัวเลข (Numeric) ซึ่งภายในกลุ่มจะมี Control และ Indicator ต่างๆที่เกี่ยวกับตัวเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.72 Controls Palette ที่ใช้ในการออกแบบ Front Panel

2. Tools Palette คือ เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม ซึ่งจะใช้ทั้งการออกแบบ Front Panel และ Block Diagram ในส่วนนี้จะกล่าวถึง Tools Palette สำหรับออกแบบ Front Panel



รูปที่ 2.73 Tools Palette ที่ใช้ในการออกแบบ Front Panel

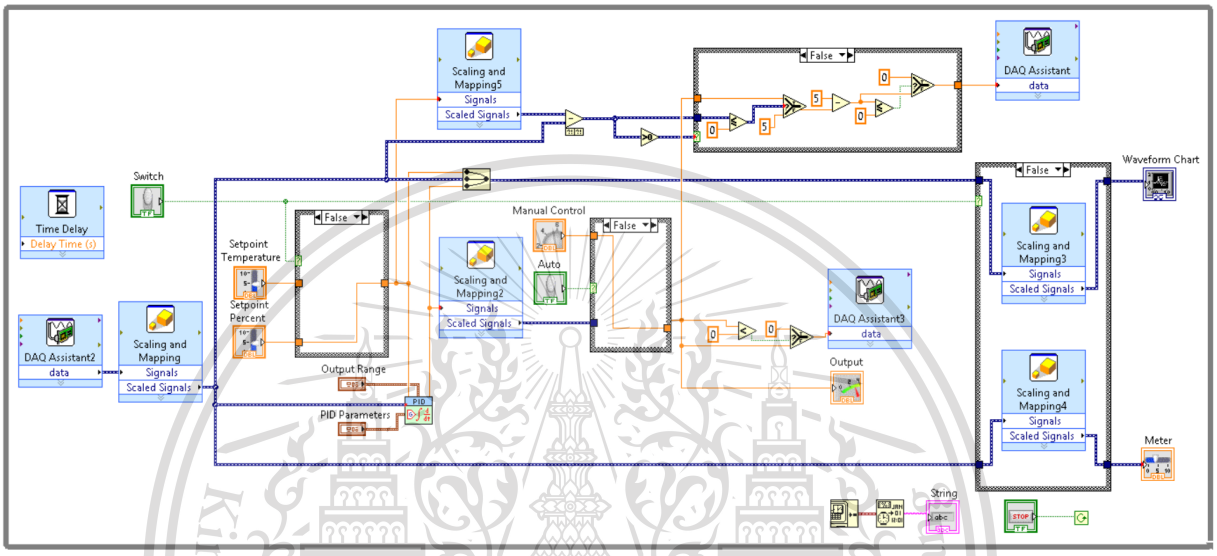
2. Block Diagram

การกำหนด Object ให้มีขั้นตอนหรือกระบวนการการวิเคราะห์ต่างๆตามที่ต้องการนั้น ต้องกำหนด การทำงานที่เกิดขึ้นหลัง Front Panel ซึ่งก็คือ Block Diagram หรือมองได้ว่าเป็นการเขียนโค้ดในภาษา G และข้อดีคือ LabVIEW จะมีการตรวจสอบความผิดพลาดของโปรแกรมตลอดเวลา ทำให้โปรแกรมจะทำงาน ได้ก็ต่อเมื่อไม่มีข้อผิดพลาดในโปรแกรมเท่านั้น ส่วนประกอบภายใน Block Diagram จะประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- ฟังก์ชัน
- ค่าคงที่
- โปรแกรมควบคุมการทำงาน หรือ โครงสร้าง

จากนั้นในแต่ละส่วนจะปรากฏในรูปของ Block จากนั้น ดำเนินการต่อสาย (Wire) สำหรับ Block ที่เหมาะสมเข้าด้วยกัน เพื่อกำหนดลักษณะการไหลของข้อมูลระหว่าง Block เหล่านั้น ทำให้ข้อมูลได้ รับการประมวลผลตามที่ต้องการ และแสดงผลออกมาให้แก่ผู้ใช้ต่อไป



รูปที่ 2.74 Block Diagram ของ LabVIEW

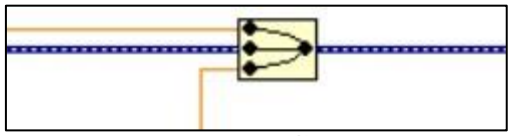
ซึ่งพิจารณาองค์ประกอบใน Block Diagram จะพบว่าใน Block Diagram มีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนคือ

1. Terminal

เมื่อสร้าง Control หรือ Indicator บน Front Panel จะปรากฏ Terminal ซึ่งคล้ายกับสถานีของข้อมูล ทำหน้าที่เป็นต้นทางของข้อมูล Control และข้อมูลปลายทางของ Indicator

2. Node

Node คือคำเรียก Object ใน Block Diagram ที่ใช้ประมวลผลข้อมูล มีหน้าที่วิเคราะห์ข้อมูล เช่น บวก ลบ หรือเปรียบเทียบข้อมูลต่างๆ มี Input หรือ Output และจะทำงานตามหน้าที่เมื่อมีการรันโปรแกรม มีลักษณะดังรูปที่ 2.75



รูปที่ 2.75 ลักษณะของ Node

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แบ่งเป็นสามชนิดหลัก

1. Function คือ Node ที่มีหน้าที่พื้นฐานของคอมพิวเตอร์ ซึ่งไม่สามารถเข้าไปดูรายละเอียดภายในได้อีก เช่น การบวก การคูณ

2. SubVIs หรือในภาษาทางซอฟต์แวร์อาจจะเรียกว่า Subroutine หรือ Subprogram คือ โปรแกรมย่อยที่ ถูกเขียนขึ้นมาเพื่อถูกนำมาเรียกใช้ในอีกโปรแกรมหนึ่ง สามารถเปิดเข้าไปดู Front panel และ Block diagram ได้เมื่อ double click ที่ Icon

3. Express VIs เป็น subVIs ประเภทพิเศษคือเมื่อเลือก Express VI มาวางบน Block Diagram มันจะ ปรากฏหน้าต่าง Configuration ขึ้นมาเพื่อให้เข้าไปป้อนค่า Parameters ต่างๆตามต้องการ และเมื่อป้อนค่าเสร็จก็จะสร้างโค้ดไว้ ภายในอัตโนมัติตามที่ได้ตั้งค่าไว้ ซึ่งความสามารถของ Express VI นี้ทำให้สามารถลดการต่อสาย Input ลง เพราะ Parameter ทั้งหมดได้ถูกสร้างขึ้นมาแล้วถูกเก็บไว้ ภายในเรียบร้อยแล้ว

3. Wires

เป็นการต่อสายเพื่อเชื่อมการส่งข้อมูลระหว่าง terminal หรือ node ต่างๆใน Block diagram เข้าด้วยกัน ซึ่ง Wire นี้จะเป็นการกำหนดข้อมูลการไหลเข้าออกของ Terminal ไปยัง Node

เครื่องมือที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมบน Block Diagram

LabVIEW ใช้ Function Palette ซึ่งจะมี Function และ SubVI ต่าง ๆที่มีอยู่แล้วให้ผู้ใช้เลือกใช้ โดย Function และ SubVI จัดเป็นกลุ่ม ๆ เช่น Numeric Function จะมี Function ต่าง ๆ เกี่ยวกับตัวเลข เช่น บวก ลบ คูณ หาร โดยใช้Tools Palette สำหรับ Block diagram

1. Operation Tool ใช้ในการเปลี่ยนแปลงค่าหรือเลือกค่าคงที่ใน Block Diagram

2. Position/Size/Select ใช้ในการเลือก/เคลื่อนย้าย/จัดขนาดของสิ่งที่สร้างขึ้นบน Block Diagram

3. Edit Text Tool ใช้ในการแก้ไขข้อความที่เป็นตัวอักษร หรือเพิ่มข้อความลงบน Front Panel

4. Icon และ Connector

เปรียบเสมือนโปรแกรมย่อย Subroutine ในโปรแกรมปกติทั่วไป โดย Icon จะหมายถึง Block Diagram ตัวหนึ่งที่มีการส่งข้อมูลเข้าและออกผ่านทาง Connector ซึ่งใน LabVIEW เราจะเรียก Subroutine นี้ว่า SubVI ข้อดีของการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา G นี้ก็คือสามารถสร้าง VI ทีละส่วนขึ้นมาให้ทำงานด้วย ตัวเองได้อย่างอิสระ จากนั้นในภายหลังหากต้องการก็สามารถเขียนโปรแกรมอื่นขึ้นมาเพื่อเรียกใช้งาน VI ที่เคยสร้างขึ้นก่อนหน้านี้ ทีละตัว ซึ่งทำให้ VI ที่เขียนขึ้นก่อนกลายเป็น SubVI ไป การเขียนในลักษณะนี้เรียกว่า เขียนเป็น Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.19.3 ประเภทของข้อมูล

โปรแกรม LabVIEW แบ่งข้อมูลเป็น 6 ชนิด ดังนี้

1. Numeric คือข้อมูลประเภทตัวเลข มีทั้งจำนวนเต็มซึ่งใน Block Diagram จะเห็นเป็นสีน้ำเงิน และ จำนวนทศนิยมจะเห็นเป็นสีส้ม และสามารถเปลี่ยนไปมาได้โดนการคลิกขวาที่ตัวเลขนั้น แล้วเลือก representation และเลือกประเภทตัวเลขได้

2. Boolean คือข้อมูลประเภทที่มีสองค่า คือ True และ False บน Block Diagram จะแสดงข้อมูล เป็นสีเขียว และสำหรับ Front Panel ตัว Boolean จะมีลักษณะเป็น ตัว Control หรือ สวิตซ์ ถ้าเป็น Output ก็จะเป็น LED หรือหลอดไฟประเภทต่างๆ

3. String คือข้อมูลประเภทที่เป็นตัวอักษร Icon จะแสดงเป็นสีชมพู สำหรับการแสดงผลจะมีอยู่ 4 แบบ คือ

- Normal Display คือ การแสดงปกติ
- Code Display คือ การแสดงแบบโค้ด
- Password Display คือ การแทนตัวอักษรด้วย
- Hex Display คือ การแสดงผลเป็นรหัสเลขฐานสิบหก

4. Enum คือข้อมูลประเภทแสดงให้ผู้ใช้เห็นเป็นตัวหนังสือ แต่ค่าจริงของมันคือตัวเลข ดังนั้นบน Block Diagram เราจึงมองเห็นข้อมูลประเภทนี้เป็นสีน้ำเงินซึ่งเหมือนกับจำนวนเต็ม

5. Dynamic เป็นข้อมูลที่อยู่ในรูปของ Waveform บน Block Diagram ถูกแสดงด้วยสีน้ำเงินเข้ม ซึ่งภายในจะประกอบด้วย Array ของเวฟฟอร์ม Time Stamp m, ชื่อของสัญญาณ ข้อมูลประเภท Dynamic นี้ส่วนใหญ่ใช้ใน Express VI จำพวกการอ่าน กำเนิดและวิเคราะห์สัญญาณ

6. Time Stamp เป็นข้อมูลที่ประกอบด้วยวันที่และเวลา Time Stamp บน Block diagram เป็นสีน้ำตาลเส้นหน้า สามารถนำมาแปลงให้เป็นวันที่และเวลาแบบ String ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

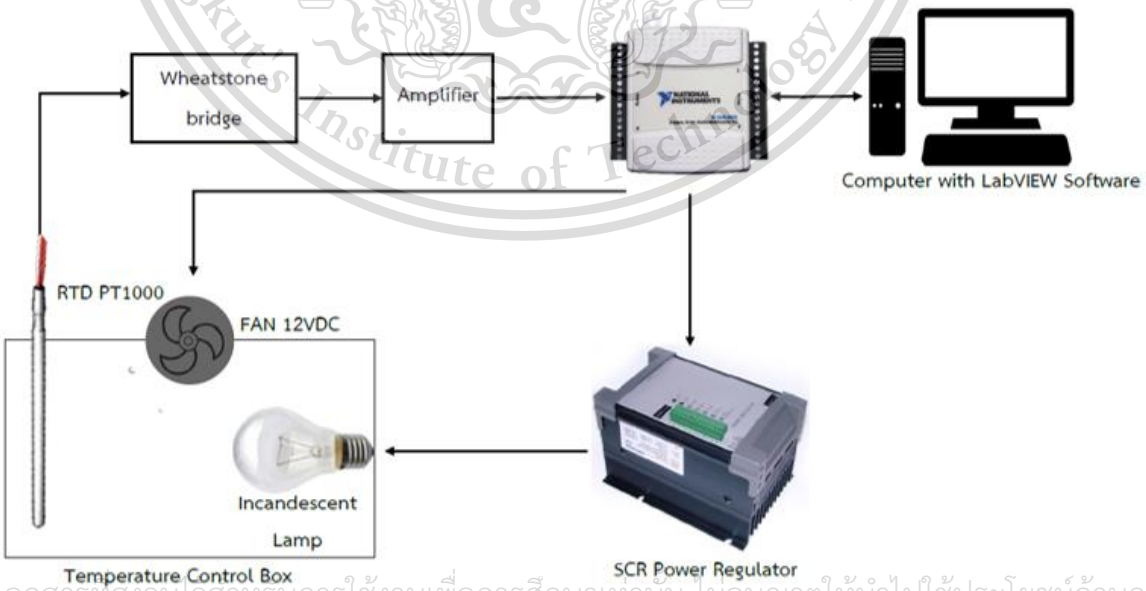
บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนของการดำเนินงานได้วางแผนไว้ดังนี้

1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง และวงจรที่จะนำมาใช้
2. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการควบคุมแบบ PID และโปรแกรม LabVIEW
3. ออกแบบและต่อวงจร Bridge และ Amplifier
4. ออกแบบและต่อวงจรรีเลย์ เพื่อใช้ในการระบายความร้อนลงไปในวงจรทดลอง
5. ออกแบบและเขียนโปรแกรม LabVIEW ในการควบคุม
6. นำอุปกรณ์ทั้งหมดมาจัดวางและประกอบบนแผ่นไม้
7. ทดลองเพื่อปรับหาค่าของระบบควบคุมแบบ PID ที่เหมาะสมที่สุด
8. ทดสอบการทำงานของระบบที่เสร็จสมบูรณ์ และบันทึกผล
9. ตรวจสอบความเรียบร้อย และตกแต่งความสวยงามของ PCB ระบบทดลองและโปรแกรม LabVIEW
10. สรุปผลและจัดทำเอกสารรายงานการวิจัย

3.2 โครงสร้างของระบบ



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วิธีการดำเนินงานสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 Hardware

- การออกแบบและการต่อวงจร Bridge และ Amplifier
- การออกแบบ และประกอบโครงสร้างของระบบควบคุมอุณหภูมิ

ส่วนที่ 2 Software

- การออกแบบโปรแกรม LabVIEW และการทดสอบระบบทดลอง

3.3 การออกแบบและการสร้างวงจร Bridge และ Amplifier

3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ

1. ตัวต้านทานแบบคงที่ (Fixed Resistor) 100kΩ 6 ตัว
2. ตัวต้านทานแบบคงที่ (Fixed Resistor) 1kΩ 2 ตัว
3. ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ (Variable Resistor) 2kΩ 25 รอบ 1 ตัว
4. ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ (Variable Resistor) 50kΩ 25 รอบ 1 ตัว

ค่าความต้านทานหาจากสูตร $v_0 = 1 + \frac{2R_1}{R_2(v_2 - v_1)}$

โดย R_1 = 100kΩ

R_2 = ตัวต้านทานที่ต้องการหาค่า

V_O = Output V_2

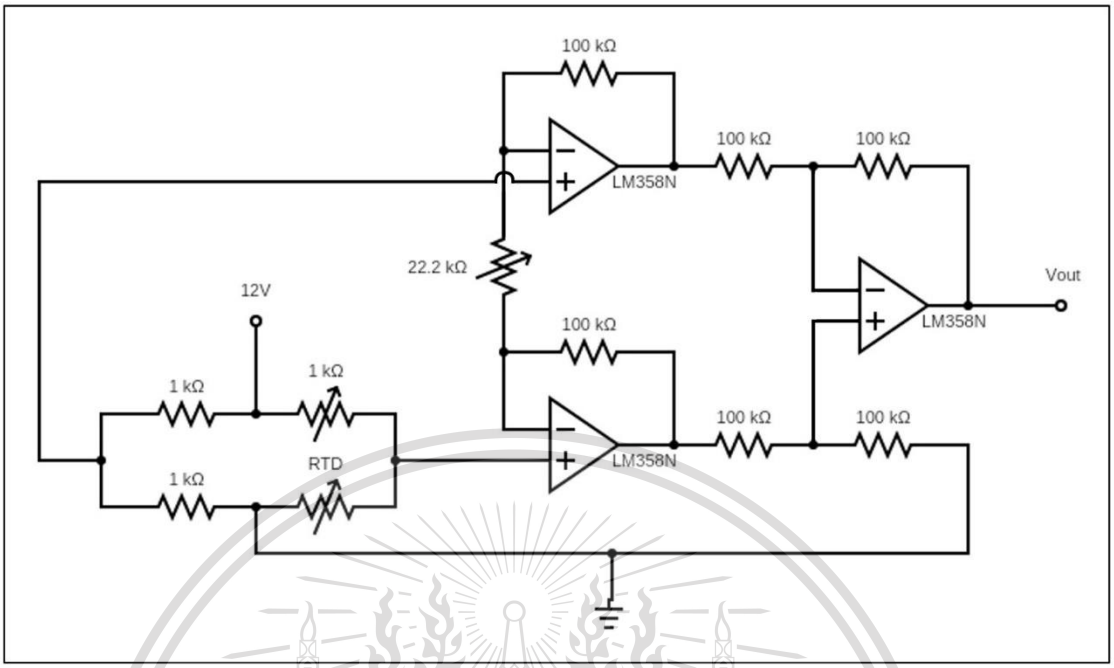
V_1 มาจาก Wheatstone bridge circuit

ได้ค่าความต้านทานของ R_2 = 22.22kΩ

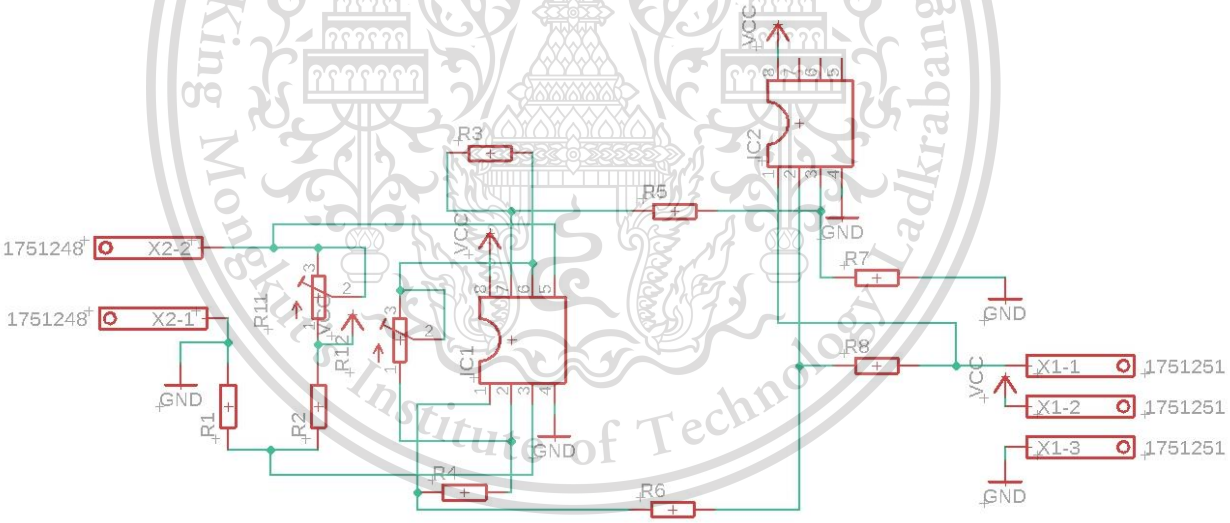
5. โพรโทบอร์ด (Protoboard) 1 บอร์ด
6. แผ่นวงจรพิมพ์ (Print Circuit Board) 1 แผ่น
7. ไอซีสำเร็จรูป เบอร์ LM358 2 ตัว
8. RTD Pt1000 (Resistance Temperature Detector) 1 ตัว
9. SCR (Silicon Control Rectifier) เบอร์ SCR-1A030 1 เครื่อง
10. แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply) 12V 3A 1 เครื่อง
11. DAQ (Data acquisition) NI USB 6009 1 ตัว
12. หลอดไฟแบบไส้ 1 ดวง
13. พัดลมระบายความร้อนขนาดเล็ก 12V 3A 1 ตัว
14. เบรกเกอร์ 30A 1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.2 การออกแบบ และการสร้างวงจร Bridge และ Amplifier

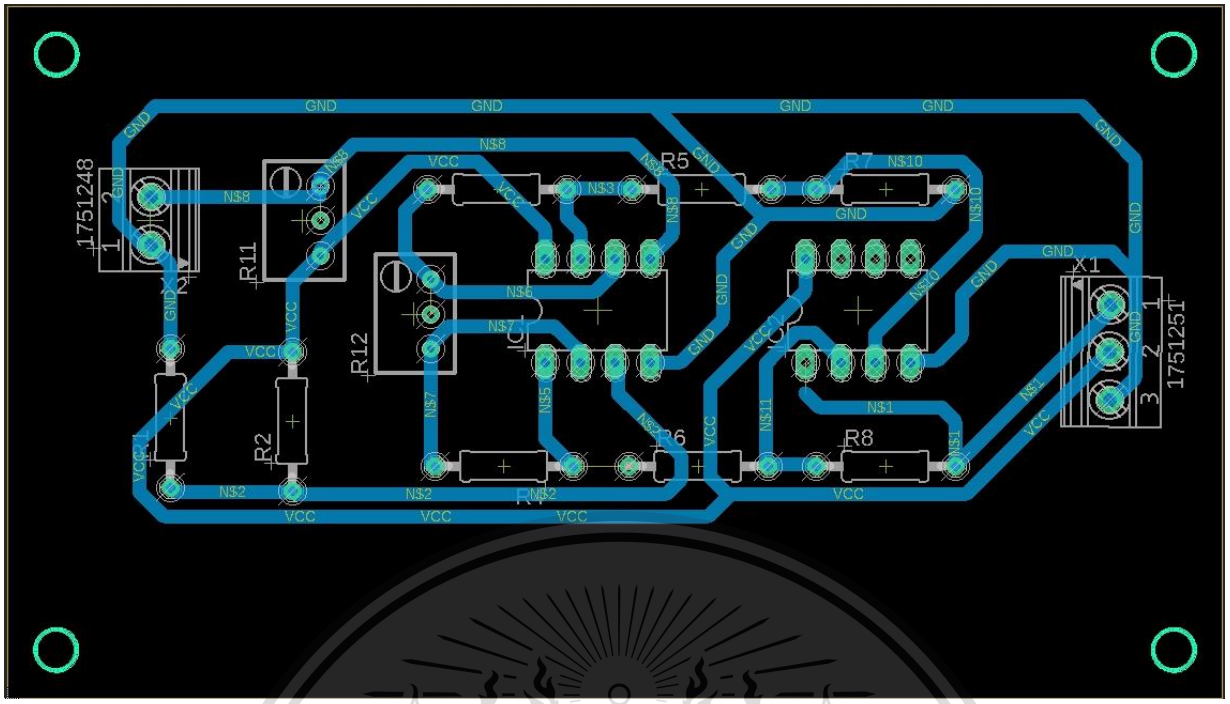


รูปที่ 3.2 การออกแบบวงจร Bridge และ Amplifier



รูปที่ 3.3 การออกแบบผังวงจร (Schematic) ของวงจร Bridge และ Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

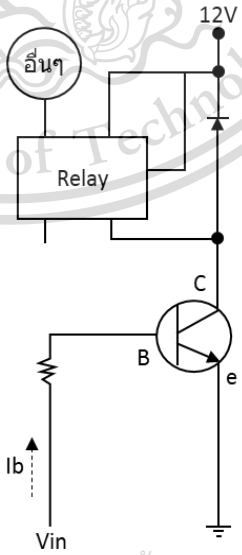


รูปที่ 3.4 การสร้างวงจรพิมพ์ (Board) ของวงจร Bridge และ Amplifier

3.4 การออกแบบและการสร้างวงจรรีเลย์

3.4.1 การคำนวณและใช้งานวงจร

หลักการของวงจร คือ เมื่อมีแรงดันไหลผ่านจุด B วงจรจะทำงานโดยปล่อยให้แรงดันไหลผ่านจุด C ไปจุด E ได้



รูปที่ 3.5 วงจรพื้นฐานในการใช้งานรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากคุณสมบัติของรีเลย์

มีความต้านทานในขาคอยล์เท่ากับ 400 Ω มีค่า DC Current Gain Hfe Min=64, Max=246

ที่ตำแหน่งขา C

มีแรงดันเท่ากับ 11.9 V จึงมีกระแสไหลในเส้นเท่ากับ

$$IC = \frac{Vc}{Rc} = \frac{11.9}{400} = 29.75\ mA$$

ที่ตำแหน่งขา B

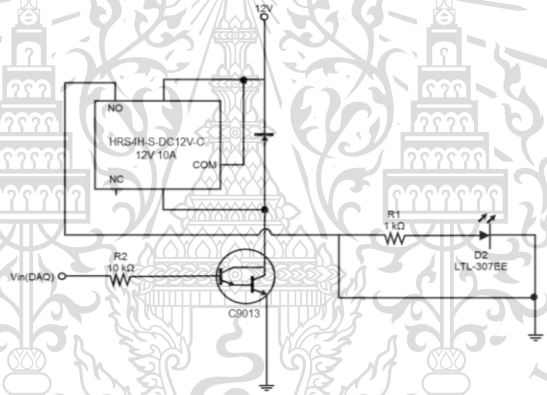
มีกระแสไหลในเส้นเท่ากับ

$$IB = \frac{IC}{Min\ Hfe} = \frac{0.02975}{64} = 464.8\ \mu A$$

จึงสามารถคำนวณหาค่าความต้านทาน เท่ากับ

$$Rb = \frac{Vcontrol - Vbe}{Ib} = \frac{5 - 0.7}{464.8 \times 10^{6}} = 9251.3\ \Omega$$

จึงออกแบบวงจรใชงานรีเลย์ได้ดังรูปที่ 3.6



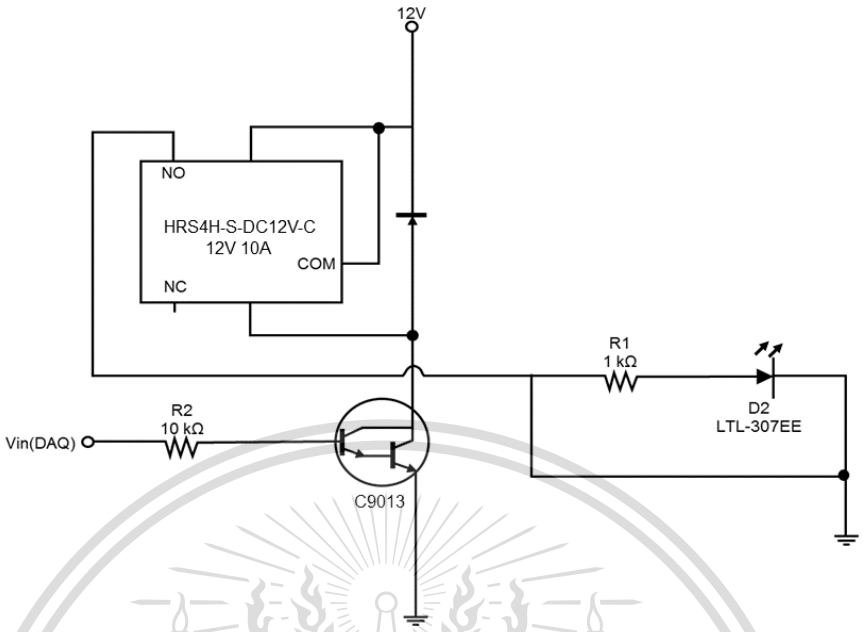
รูปที่ 3.6 วงจรรีเลย์

3.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ

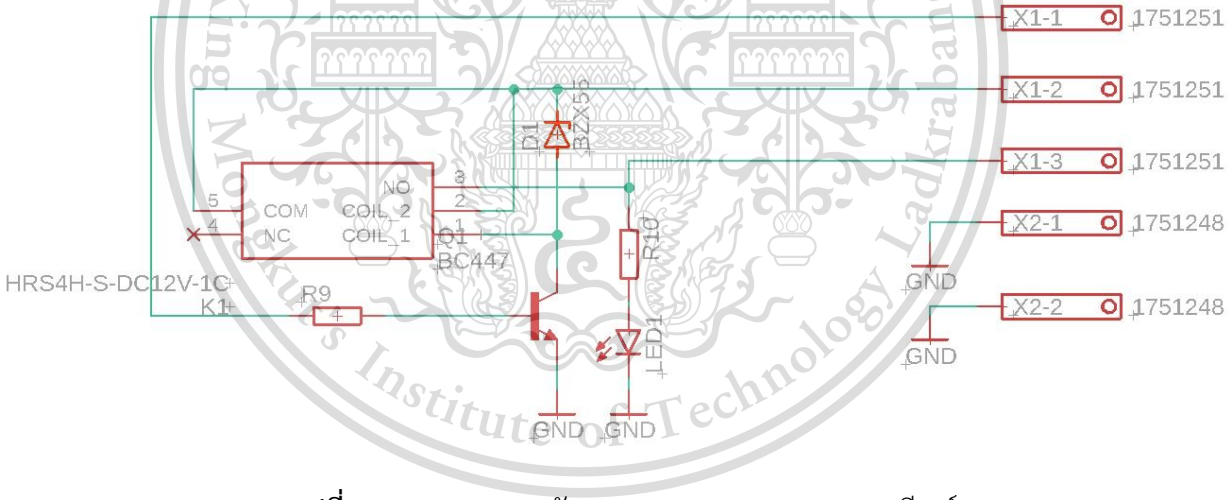
1. ตัวต้านทานแบบคงที่ (Fixed Resistor) 10kΩ	1 ตัว
2. ตัวต้านทานแบบคงที่ (Fixed Resistor) 1kΩ	1 ตัว
3. ไดโอดเปล่งแสง (LED)	1 ตัว
4. โพรโทบอร์ด (Protoboard)	1 บอร์ด
5. แผ่นวงจรพิมพ์ (Print Circuit Board)	1 แผ่น
6. ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode) เบอร์ 1N4148	1 ตัว
7. ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN เบอร์ S9013	1 ตัว
8. รีเลย์ รุ่น HRS4H-S-DC12V-C 12V 10A	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.4.3 การออกแบบ และการสร้างวงจรรีเลย์

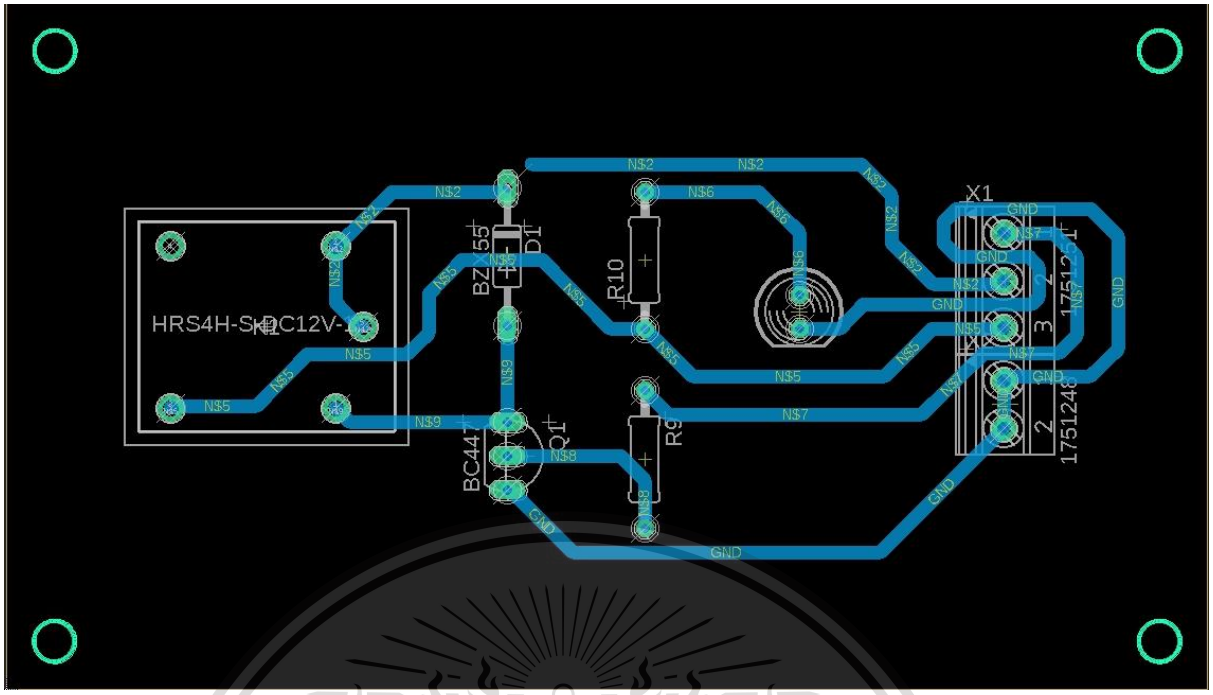


รูปที่ 3.7 การออกแบบวงจรรีเลย์



รูปที่ 3.8 การออกแบบผังวงจร (Schematic) ของวงจรรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.9 การสร้างวงจรพิมพ์ (Board) ของวงจรรีเลย์

3.5 ขั้นตอนการทำแผงวงจร PCB

1. ปริ้นวงจรที่ออกแบบจากโปรแกรม Eagle ลงบนกระดาษชนิดมันวาว โดยก่อนปริ้นให้ตรวจสอบว่า Mirror แล้วทุกครั้ง

2. ตัดแผ่นเคลือบทองแดงให้ได้ขนาดที่ต้องการ มีการเว้นระยะห่างระหว่างรูยึด Bolt และขอบแผ่นไม่ให้ใกล้เกินไป

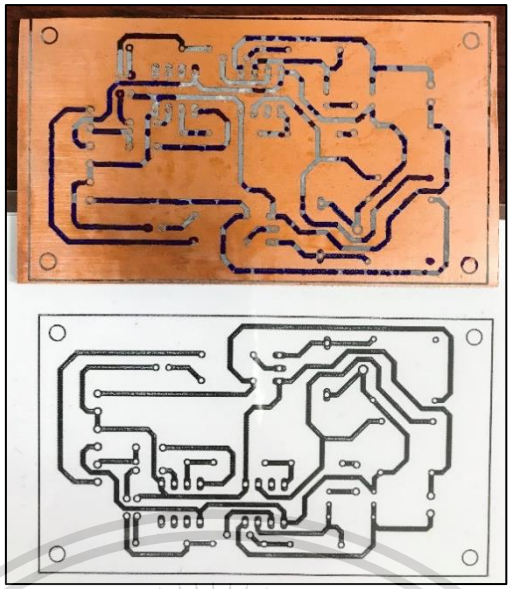
3. ขัดแผ่นเคลือบฝั่งที่มีทองแดงด้วยใยขัด เพื่อกำจัดคราบสนิม

4. นำแผ่นกระดาษฝั่งที่มีผิวมันวาว ทาบลงบนแผ่นฝั่งเคลือบทองแดงให้พอดีตามที่กำหนด

5. นำเตารีดนาบลงบนกระดาษ ออกแรงกดในระดับเดียวกันจน รีดให้ทั่วทั้งแผ่นเป็นเวลาประมาณ 5-7 นาที

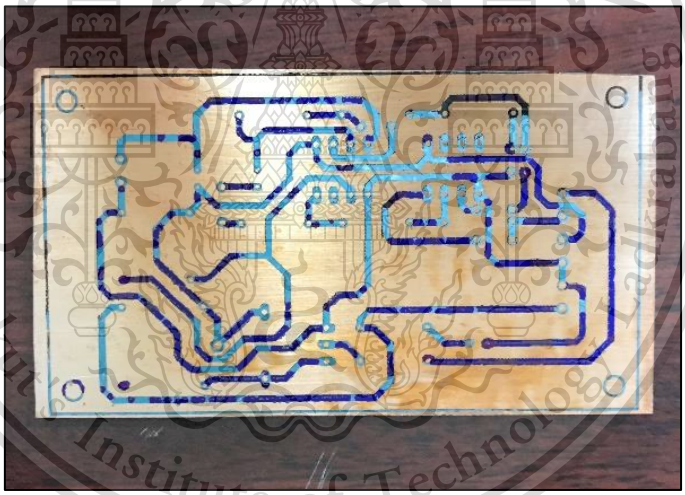
6. พักแผ่นเคลือบทองแดงให้เย็นลง จากนั้นค่อยๆลอกกระดาษออก โดยนำแผ่นแช่น้ำ และขัดด้วยแปรงเบาๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.10 ลอกลายแผ่นทองแดง

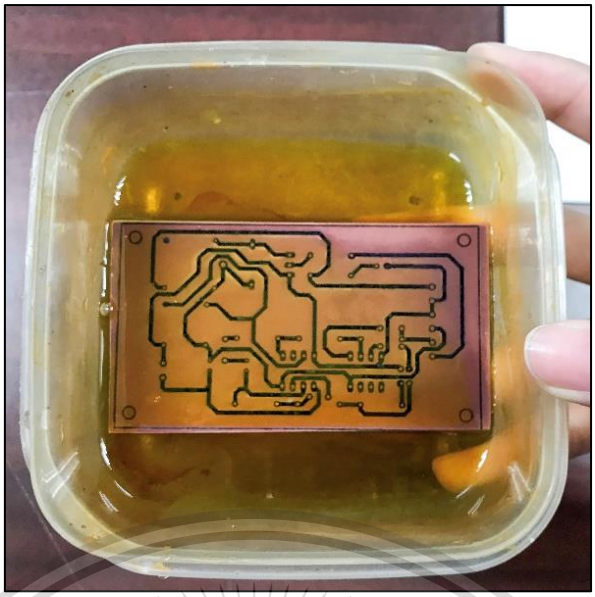
7. นำปากกาชนิดลบออกยากหรือปากกา Permanent ถมลายเส้นวงจรให้ชัดเจน สามารถเขียนแทนลายที่ขาดหายไปจากการลอกได้



รูปที่ 3.11 ถมเส้นลายวงจร

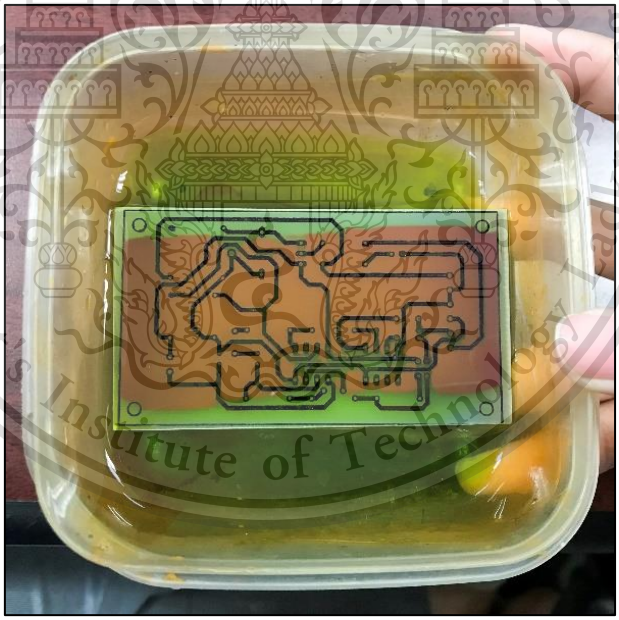
8. ผสมน้ำยากัดทองแดงและน้ำเปล่า ในอัตราส่วน1:2 เทลงในภาชนะพลาสติก จากนั้นนำแผ่นเคลือบทองแดงลงไปแช่น้ำยาให้โดยต้องให้แผ่นทองแดงจมทั้งแผ่น จากนั้นจึงเขย่าเบาๆในภาชนะเป็นเวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.12 แผ่นทองแดงในน้ำยากัดทองแดง

9. เมื่อแผ่นเคลือบทองแดงถูกกรดกัด ทองแดงจะหลุดจนแผ่นเป็นสีขาว เมื่อทองแดงส่วนที่ไม่ใช่ลายเส้นหลุดออกจนครบทั่วทั้งแผ่น ให้นำแผ่นเคลือบทองแดงขึ้นและล้างน้ำที่มีคุณสมบัติเป็นเบสอ่อนๆ เช่นสบู่ล้างจนสะอาด



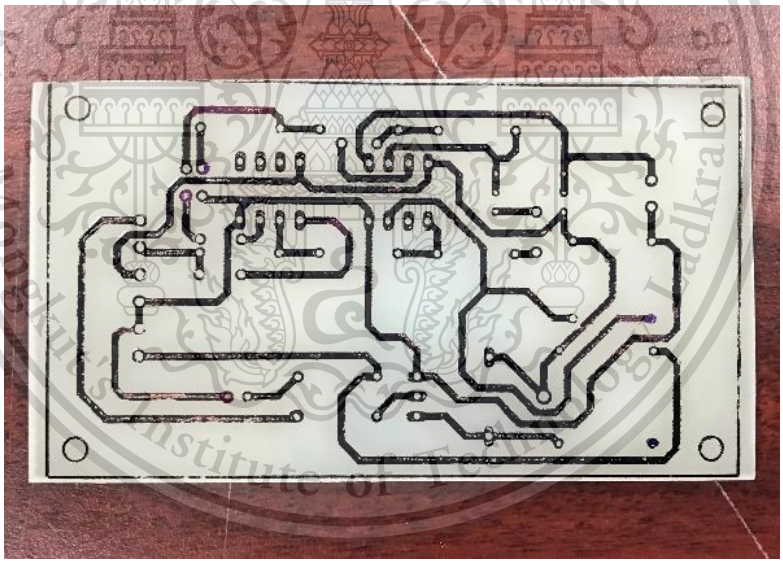
รูปที่ 3.13 แผ่นทองแดงขณะถูกกรดกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.14 แผ่นทองแดงที่กรดกัดออกจนหมดเรียบร้อย

10. เจาะรูที่ตำแหน่งของขาอุปกรณ์ดังที่ระบุไว้ในลายวงจรด้วยสว่านเจาะรูโดยใช้ดอกสว่านขนาดเล็ก

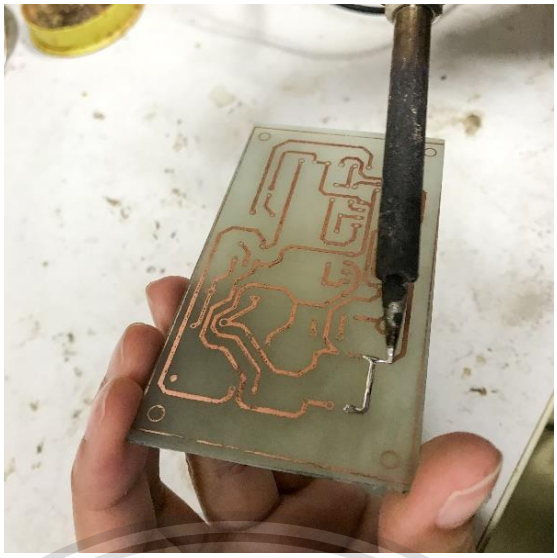
11. ใช้ทินเนอร์ในการทำความสะอาดหมึกปากกาที่ติดอยู่ที่แผ่นเคลือบทองแดงจนสะอาด



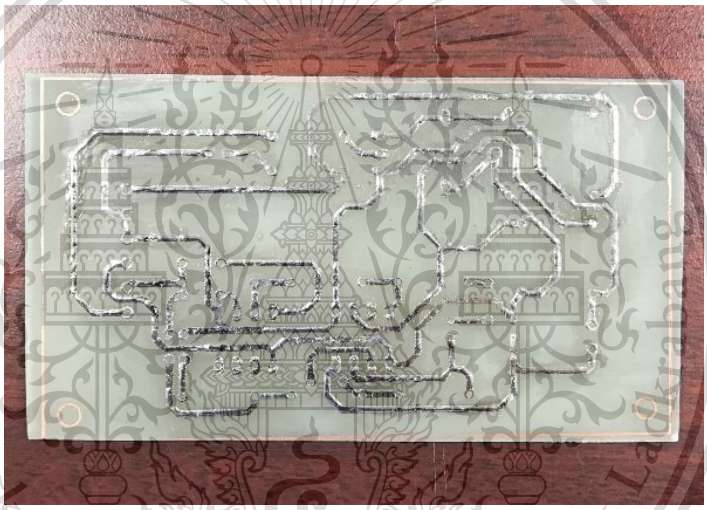
รูปที่ 3.15 แผ่นวงจรที่ทำความสะอาดแล้ว

12. ขัดลายเส้นทองแดงด้วยใยขัดอีกครั้งเพื่อกำจัดคราบมัน ต่อจากนั้นให้บัดกรีตะกั่วตามลายเส้นวงจรเพื่อป้องกันสนิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

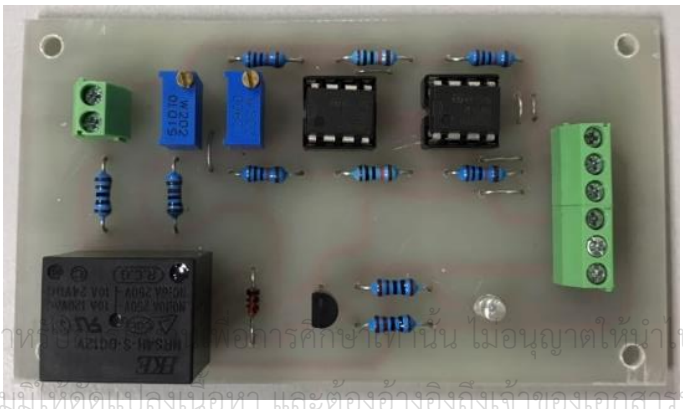


รูปที่ 3.16 บัดกรีตะกั่วตามลายเส้นวงจร



รูปที่ 3.17 แผ่นวงจรที่บัดกรีสำเร็จ

13. นำอุปกรณ์ต่างๆต่อลงแผ่นวงจรตามที่ออกแบบ และบัดกรีขาของอุปกรณ์ลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ข้อควรระวังหลังจากกัดแผ่นเสร็จใหม่ คือระหว่างบัดกรีอุปกรณ์อย่าจ่อหัวแร้งกับเส้นวงจรชิดและนานเกินไป เพราะอาจทำให้เส้นทองแดงหลุดได้



รูปที่ 3.18 แผ่นวงจรที่บัดกรีอุปกรณ์สำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.6 การออกแบบ และประกอบโครงสร้างของระบบควบคุมอุณหภูมิ

โครงสร้างของระบบควบคุมอุณหภูมิประกอบไปด้วย 6 ส่วนหลัก ได้แก่

1. DAQ มีหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งค่าอุณหภูมิจากRTD และโปรแกรม LabVIEW

2. PLANT มีหน้าที่เป็นระบบทดลอง จำลองการทำความร้อนและการระบายความร้อนของระบบ

3. SWITCH มีหน้าที่ป้องกันวงจรไฟฟ้าจากความเสียหายที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าส่วนเกิน

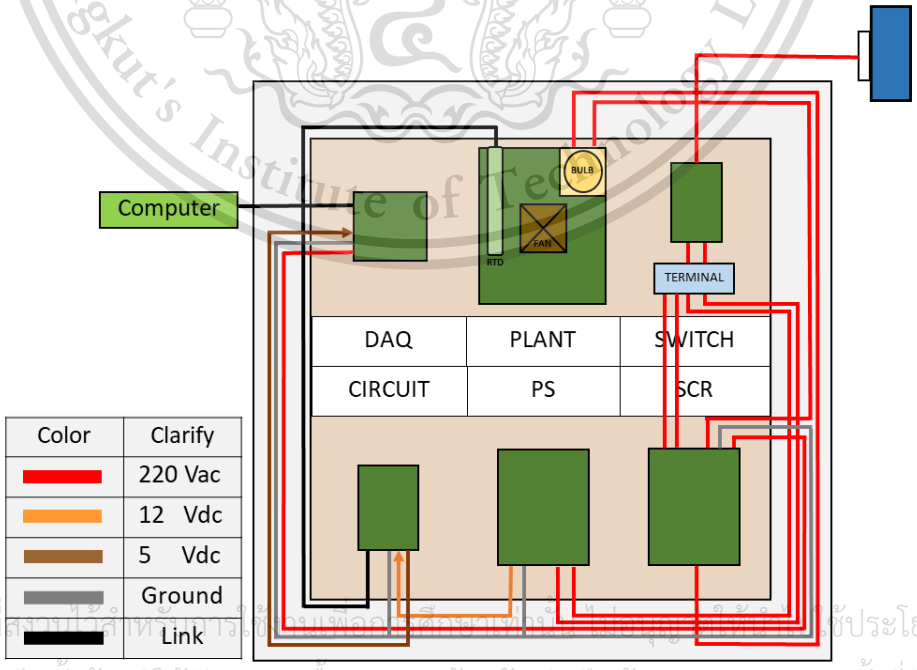
4. CIRCUIT มีหน้าที่รับความต้านทานจาก RTD เป็นค่าแรงดัน นำไปขยายสัญญาณก่อนส่งไปที่ DAQ

5. SCR มีหน้าที่ควบคุมความสว่างของหลอดไฟ

6. POWER SUPPLY มีหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบ

เมื่อนำทุกส่วนมาประกอบกันบนแผ่นไม้จะเป็นดังรูปที่ 3.19 โดยเส้นตรงแต่ละสี แทนแรงดันไฟฟ้าที่ต่างกัน

- เส้นตรงสีแดง แทนไฟฟ้า 220 Vac
- เส้นตรงสีส้ม แทนไฟฟ้า 12 Vdc
- เส้นตรงสีน้ำตาล แทนไฟฟ้า 5 Vdc
- เส้นตรงสีเทา แทนเส้นกราวด์
- เส้นตรงสีดำ แสดงการเชื่อมต่อปกติของอุปกรณ์



รูปที่ 3.19 เลย์เอาท์จำลองของระบบควบคุมอุณหภูมิ

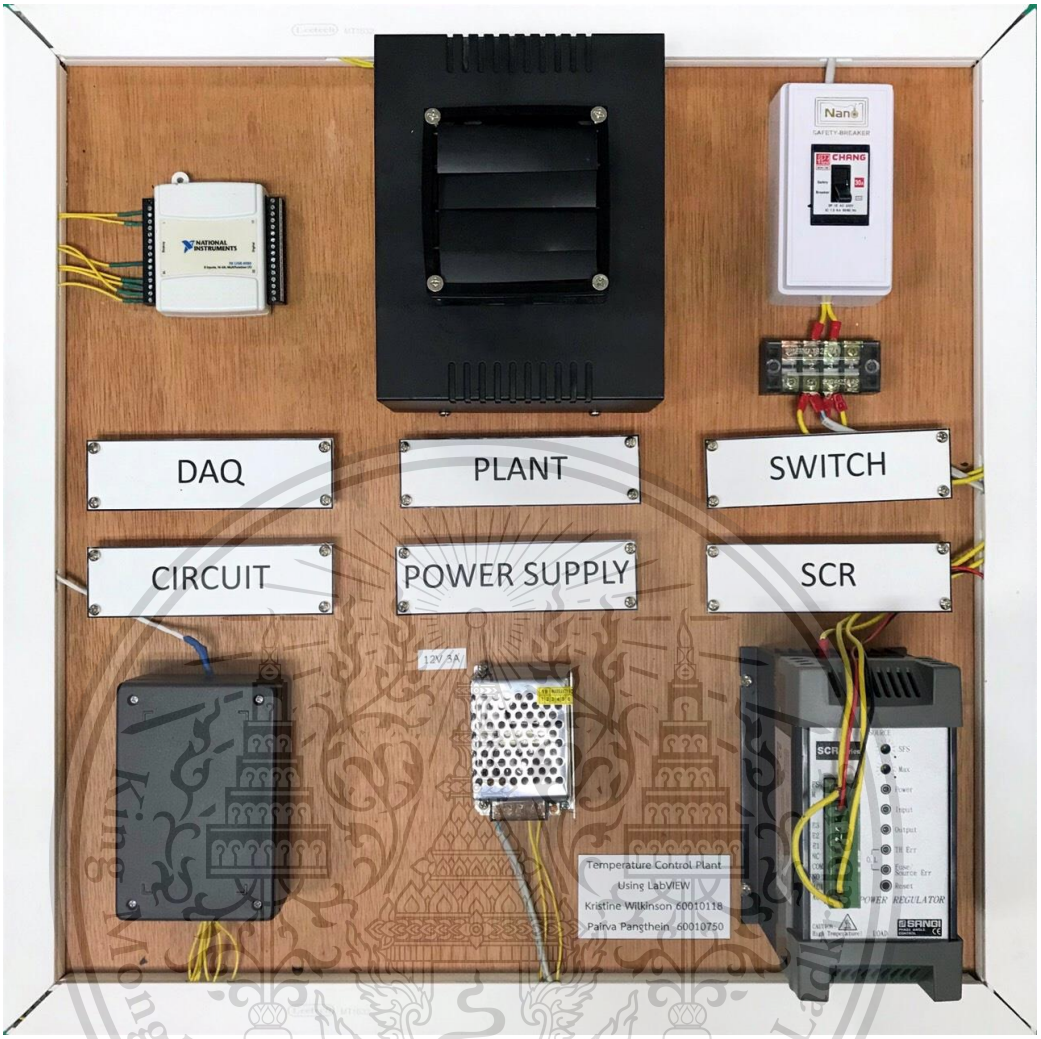
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อุปกรณ์มีการเชื่อมต่อสายไฟไปยังหลายส่วนได้แก่

1. DAQ:ต่อไฟเลี้ยง 220 Vac ใน Port AO0 พร้อมกราวด์จาก SCR ใน Port GND
   ต่อเชื่อมกับวงจร ใน Port AI0
   ต่อเชื่อมกราวด์กับวงจร
   ต่อเชื่อมกราวด์กับ Power Supply
2. PLANT: ต่อเชื่อม RTD เข้ากับวงจร
   ต่อ LOAD จาก SCR เข้าหลอดไฟขาที่หนึ่ง
   ต่อ FS จาก SCR ซึ่งเชื่อมกับขาเบรกเกอร์ เข้าหลอดไฟขาที่สอง
3. SWITCH: ต่อไฟ 220 Vac เข้าจากไฟบ้าน
   ต่อ FS จาก SCR ซึ่งเชื่อมกับหลอดไฟขาที่สอง ที่จุด Terminal
   ต่อ SOURE ซึ่งเชื่อมกับ AC1 ที่จุด Terminal
4. CIRCUIT: ต่อเชื่อมกับ RTD
   ต่อเชื่อมกับ DAQ
   ต่อเชื่อมกราวด์
   ต่อเชื่อมไฟ 12 Vdc จาก Power Supply
5. SCR: ต่อ LOAD เข้าหลอดไฟ
   ต่อ FS เข้าหลอดไฟและเบรกเกอร์
   จำหน่ายไฟเลี้ยงให้ DAQ
   ต่อ SOURCE ซึ่งเชื่อมกับ AC1 เข้าเบรกเกอร์
6. POWER SUPPLY: จำหน่ายไฟ 12 Vdc ให้แก่วงจร
   ต่อเชื่อมกราวด์กับ DAQ
   ต่อไฟเลี้ยงมาจากเบรกเกอร์ ที่จุด Terminal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ซึ่งเมื่อนำแต่ละส่วนมาประกอบกันลงบนแผ่นไม้จริง จะได้ดังรูปที่ 3.20



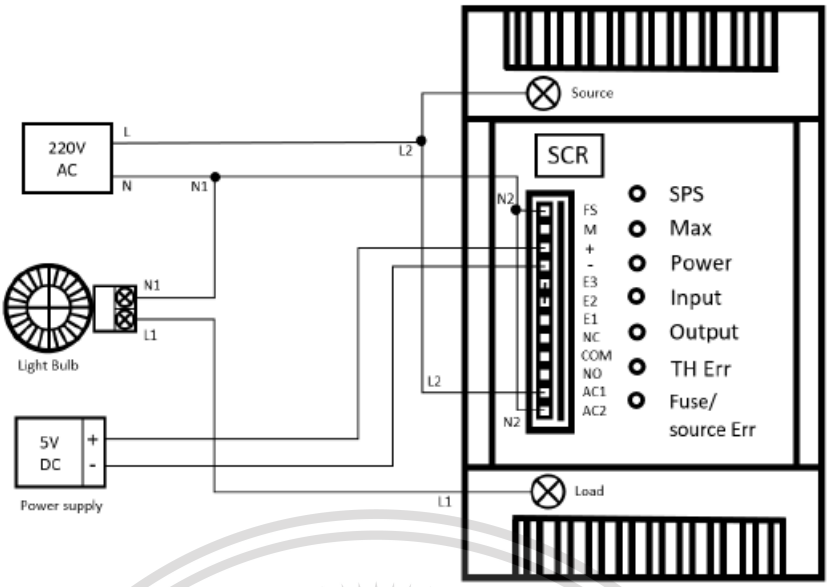
รูปที่ 3.20 ระบบควบคุมอุณหภูมิหลังจากประกอบโครงสร้างลงบนแผ่นไม้จริง

3.7 การทดสอบเครื่องปรับกำลังเอสซีอาร์เพื่อหาช่วงอุณหภูมิในการควบคุม

3.7.1 การทดสอบการวัดอุณหภูมิโดยการเชื่อมต่อเครื่องปรับกำลังเอสซีอาร์

ทดสอบด้วยการทำการทดลองวัดค่าอุณหภูมิ โดยใช้ Power Supply ให้แรงดันที่ใช้อยู่ในช่วง 0 – 5 Vdc (เลือกสัญญาณเอาต์พุตเป็น S2) เพื่อใช้ในการควบคุมแรงดันที่ออกจากเครื่องปรับกำลังเอสซีอาร์เพื่อไปขับหลอดไฟขนาด 100 W และทำการจับเวลาที่อุณหภูมิคงที่ที่ค่าแรงดันนั้นๆ โดยอุณหภูมิห้องที่ใช้ในการทำการทดสอบคือ 25°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.21 การเชื่อมต่อเครื่องปรับกำลังเอสซีอาร์เพื่อทดลองวัดค่าอุณหภูมิ

ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิโดยการเชื่อมต่อเครื่องปรับกำลังเอสซีอาร์

Input Voltage (VDC)	Output Voltage (VAC)	Temperature (°C)	Time (min.)
0	0.1	25	-
1	51.4	38	19.27
2	139.5	75	24.52
3	188	101	22.56
4	216	118	19.14
5	225	124	12.47

จากผลการทดสอบวัดอุณหภูมิ ได้เลือกช่วงที่ใช้ในการควบคุม คือ

ที่ 0 % อุณหภูมิ 30°C

ที่ 100 % อุณหภูมิ 80°C

3.7.2 การหาค่าเวลาในการลดอุณหภูมิภายในระบบ (Cool down)

ภายในกล่องที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิ มีการใช้พัดลมเพื่อช่วยในการระบายความร้อนเพื่อให้การลดอุณหภูมิทำได้เร็วขึ้น แสดงได้ดังตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.2 ผลการทดลองหาค่าเวลาในการลดอุณหภูมิภายในระบบ

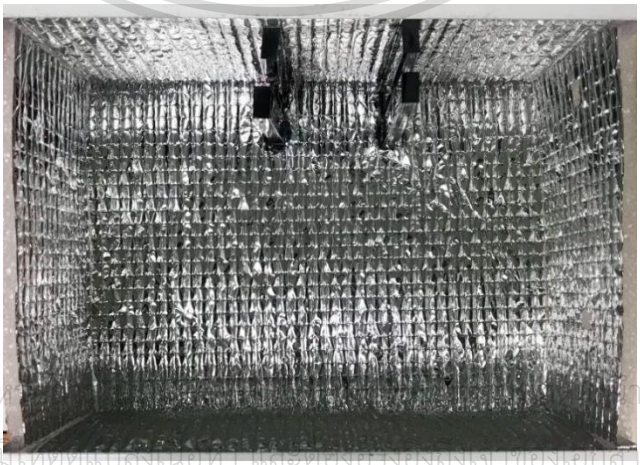
อุณหภูมิ(°C)	เวลาในการลดอุณหภูมิ (sec.)			
	ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2	ทดลองครั้งที่ 3	เวลาเฉลี่ย
110 – 100	7.84	6.48	6.25	6.86
100 - 90	10.00	9.60	9.66	9.75
90 – 80	10.03	10.41	10.18	10.21
80 – 70	15.99	15.86	15.91	15.92
70 – 60	22.02	22.07	22.23	22.11
60 – 50	37.55	37.93	37.86	37.78
50 – 40	63.24	62.09	64.80	63.38
40 – 30	158.96	158.92	159.31	159.06
30 - 25	289.83	294.05	294.82	292.90

จากผลการทดลองหาช่วงอุณหภูมิจะได้ช่วงที่เหมาะสม คือ 30°C - 80°C เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิมีความสอดคล้องกัน และในการทดลองแต่ละครั้งมีอุณหภูมิห้องที่ไม่เท่ากันอาจทำให้อุณหภูมิสูงไม่ถึง 100°C หรืออาจจะลดอุณหภูมิลงไม่ได้มากนัก

3.8 การปรับปรุงระบบ

จุดประสงค์ในปรับปรุงคือการเก็บอุณหภูมิในพลานต์ให้คงที่ ไม่เกิดการระบายไปยังภายนอก และป้องกันอุณหภูมิภายนอกเข้ามารบกวนเพื่อให้อุณหภูมิในระบบเสถียรและใช้งานการควบคุมพลานต์ได้อย่างแม่นยำ

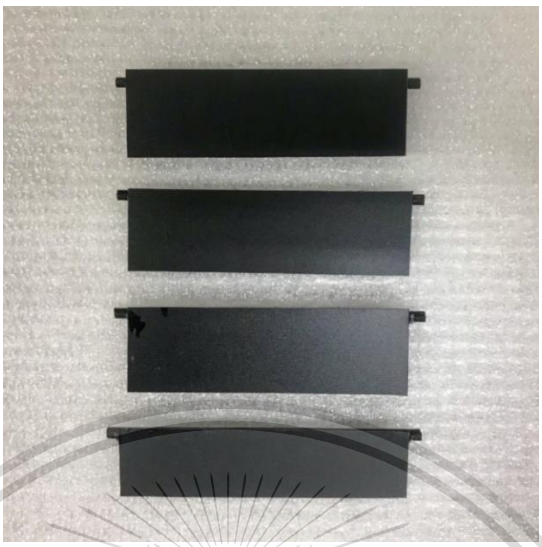
1. ทำการตัดฟอยล์ให้เข้ากับรูปทรงของและแปะเข้าที่ผนังของระบบ เพื่อทำเป็นฉนวนกันอุณหภูมิ และให้ระบบเป็นระบบปิด อุณหภูมิภายในระบบเสถียรและแม่นยำ



รูปที่ 3.22 ภายในของระบบ

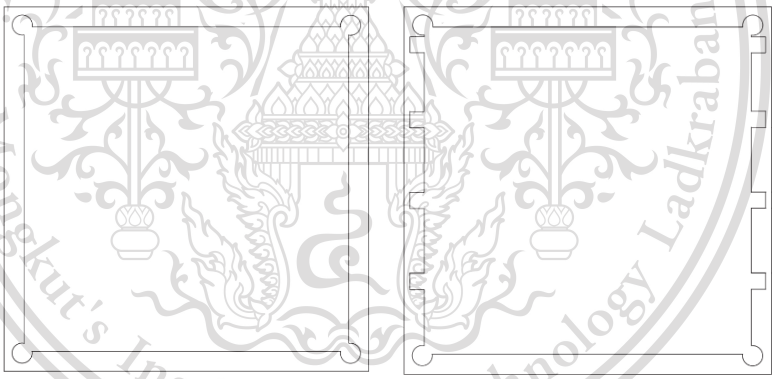
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. วัดขนาดของช่องที่จะใส่บานพับและทำบานพับสำหรับเปิด/ปิดระบบ โดยบานพับที่ทำขึ้นจะต้องปิดช่องได้เกือบทั้งหมดเพื่อให้อุณหภูมิในระบบเสถียร

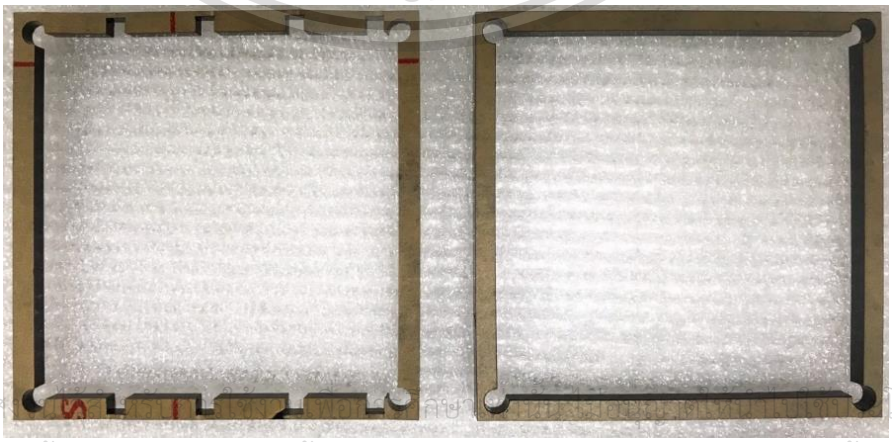


รูปที่ 3.23 บานพับปิดด้านบนของพัดลมระบายอากาศ

3. ทำโครงกรอบสร้างและบากร่องไว้ สำหรับติดตั้งบานพับที่สามารถเปิด/ปิดได้เพื่อปิดช่องว่างของพัดลม โดยระยะห่างร่องที่จะทำการบากสามารถวัดและทำได้เมื่อทำบานพับเสร็จแล้ว



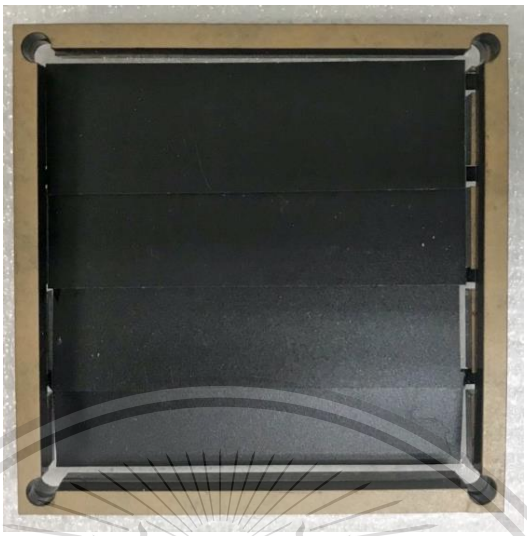
รูปที่ 3.24 เลย์เอาท์กรอบของบานพับปิดด้านบนของพัดลมระบายอากาศ



รูปที่ 3.25 กรอบของบานพับปิดด้านบนของพัดลมระบายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4. ติดตั้งบานพับเข้ากับระบบ โดยประกบกรอบโครงสร้างเข้าด้วยกัน โดยพื้นที่ที่บากไว้เพื่อให้บานพับหมุนเปิด/ปิดได้ หลังจากประกบแล้วจะต้องไม่แน่นเกินไปหรือขัดตัวขณะใช้งาน

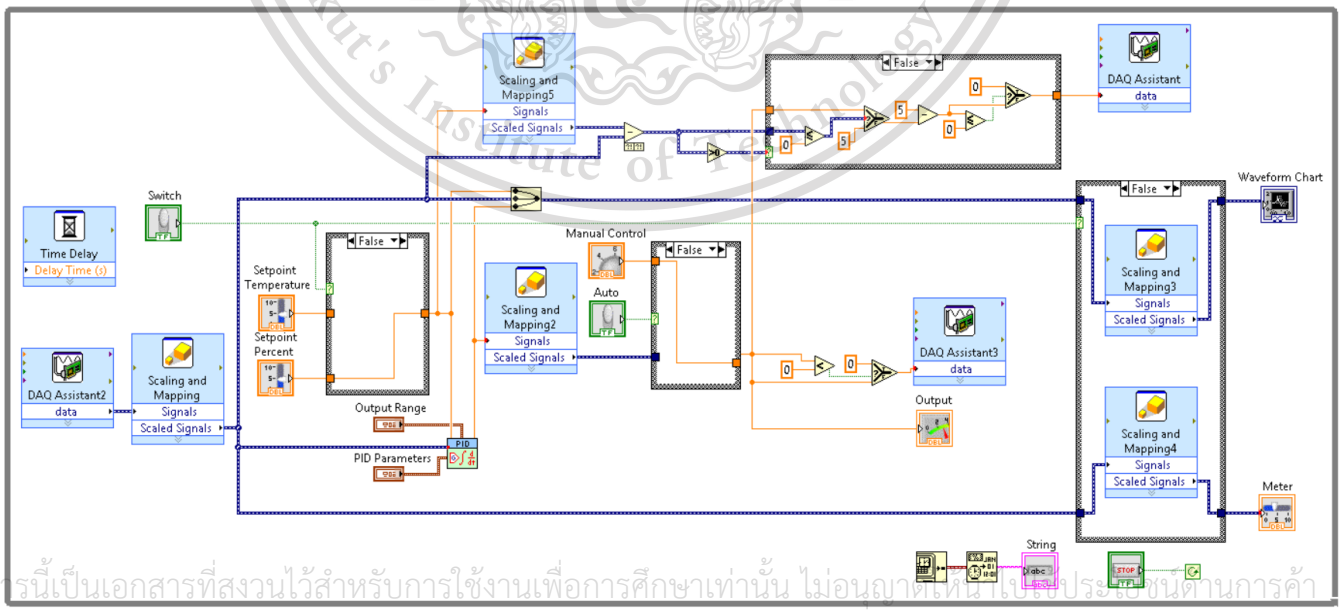


รูปที่ 3.26 กรอบและบานพับปิดด้านบนของพัดลมระบายอากาศ

3.9 การออกแบบโปรแกรม LabVIEW และการทดสอบระบบทดลอง

3.9.1 การต่อ Block Diagram ในโปรแกรม LabVIEW

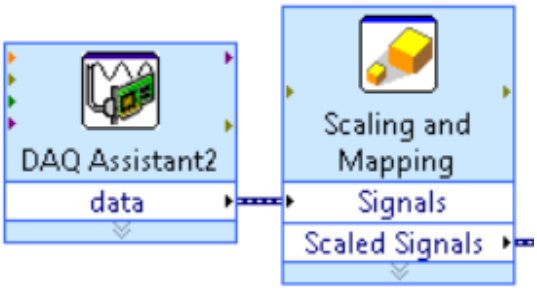
เมื่อส่งสัญญาณที่ได้จากการวัดค่า ผ่านวงจร Bridge และ Amplifier แล้ว สัญญาณจะเข้าสู่ตัว DAQ แล้วจะส่งข้อมูลมาแสดงผล และถูกควบคุมผ่านโปรแกรม LabVIEW สามารถแบ่งเป็นหัวข้อการใช้งานย่อยๆได้ คือ



รูปที่ 3.27 การต่อ Block Diagram ในโปรแกรม LabVIEW

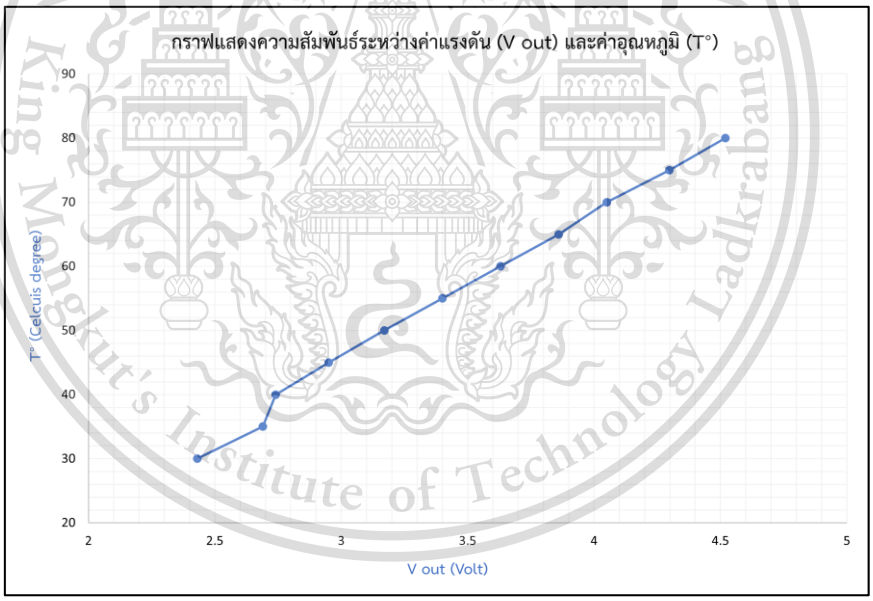
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1. ส่วนตัวรับสัญญาณอินพุตจาก DAQ



รูปที่ 3.28 ส่วนตัวรับสัญญาณอินพุตจาก DAQ

ต้องเลือกใช้ฟังก์ชัน DAQ Assistant จากนั้นเมื่อสัญญาณที่ได้รับมีค่าแรงดันแล้ว จึงนำมาแปลงค่าเป็นอุณหภูมิในฟังก์ชัน Scaling and Mapping ซึ่งจะแสดงผลออกมาเป็นอุณหภูมิที่ตรงกับอุณหภูมิจริงที่ RTD ได้รับ โดยแปลงค่าจากสัญญาณ 0V - 5V ที่เข้ามา ให้เป็นค่าอุณหภูมิ 0°C - 100°C โดยมีการคำนวณค่า Scaling โดยเปรียบเทียบเพื่อแปลงค่าแรงดัน Vout 2.43 V ถึง 4.52 V เป็นค่าอุณหภูมิในช่วง 30°C ถึง 80°C มีลักษณะดังรูปที่ 3.29



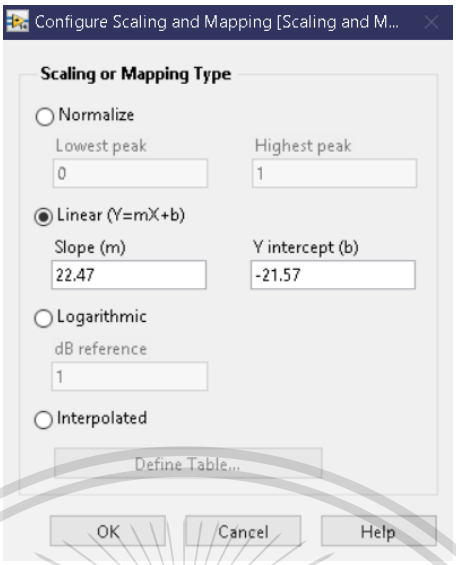
รูปที่ 3.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันและค่าอุณหภูมิที่ 1

จาก $m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$ และ $y = mx + b$

จะได้ค่า m = 22.47 และ b = -21.57

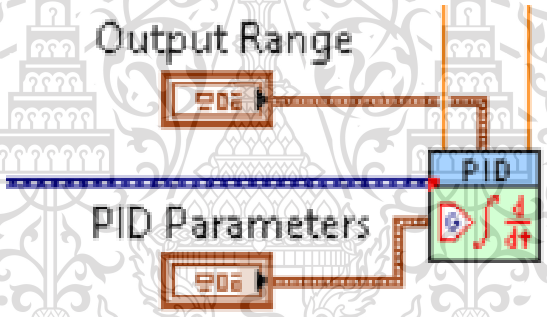
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ระบุค่าจากการคำนวณลง Configure Scaling and Mapping ดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 ค่า Scaling and Mapping ที่ 1

2. ส่วนควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 3.31 ส่วนควบคุมอุณหภูมิ

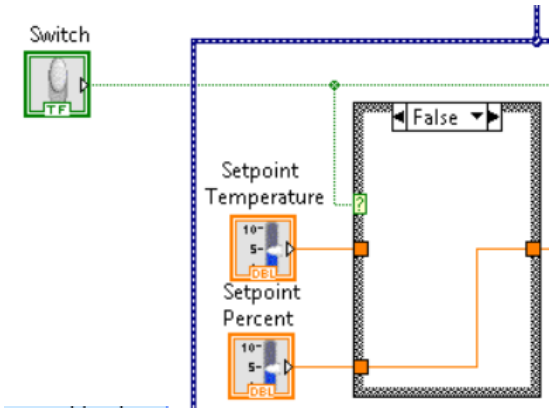
เมื่อทำการแปลงข้อมูลจากแรงดันเป็นอุณหภูมิแล้ว จึงนำมาควบคุมในตัวบล็อกควบคุมพีไอดี โดยสามารถกำหนดโหมดการควบคุมและกำหนดค่าเป้าหมาย (Setpoint) ได้ ในที่นี้กำหนดช่วงของเป้าหมายอยู่ที่ 0°C - 100°C

PID เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ โดยพารามิเตอร์ที่จำเป็นต้องกำหนด ได้แก่

1. Setpoint กำหนดโดยผู้ใช้
2. Process variable เป็นค่าของอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม
3. PID gains เป็นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมให้เข้าใกล้ค่า Setpoint
4. Output range กำหนดในช่วง 0 - 100
5. Output เป็นค่าที่ส่งออกมาเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้เป็นไปตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. ส่วนของการปรับค่า Setpoint

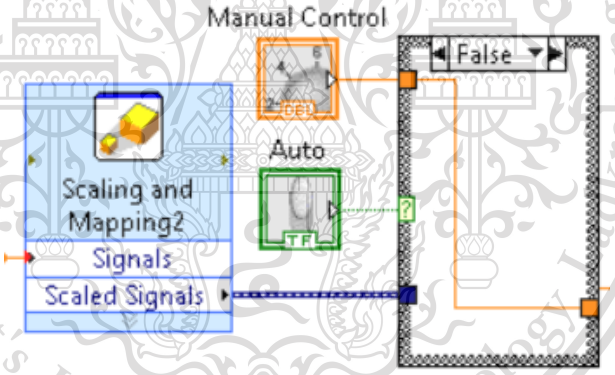


รูปที่ 3.32 ส่วนของการปรับค่า Setpoint

เพื่อให้สะดวกต่อความต้องการของผู้ใช้งาน ผู้ใช้งานสามารถเลือกได้ว่าต้องการกรอกค่า Setpoint ในรูปแบบของอุณหภูมิหรือเปอร์เซนต์ได้ด้วยการกดเลือก Switch ตามต้องการ โดย

- Case True จะเป็นการกรอกค่า Setpoint ในรูปแบบของอุณหภูมิ
- Case False จะเป็นการกรอกค่า Setpoint ในรูปแบบของเปอร์เซนต์

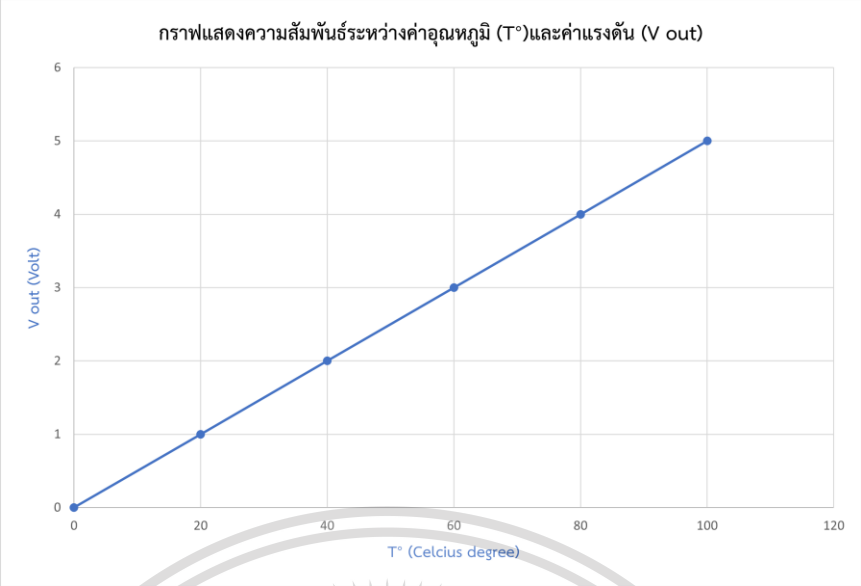
4. ส่วนส่งข้อมูลกลับ



รูปที่ 3.33 ส่วนส่งข้อมูลกลับ

เนื่องจากค่าที่อยู่ในโปรแกรมตอนนี้เป็นค่า 0°C - 100°C ซึ่งจำเป็นที่จะต้องแปลงจากอุณหภูมิเป็นแรงดันเพื่อส่งออกไปให้ตัว DAQ จึงต้องมีฟังก์ชั่น Scaling and Mapping ซึ่งคำนวณโดยการเปรียบเทียบเพื่อแปลงค่าแรงดัน Vout ในช่วง 0°C - 100°C แปลงเป็นค่าแรงดันระหว่าง 0V - 5V มีลักษณะดังรูปที่ 3.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

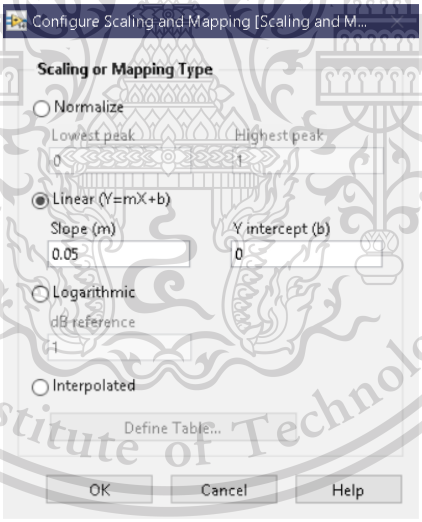


รูปที่ 3.34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิและค่าแรงดันที่ 2

จาก $m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$ และ $y = mx + b$

จะได้ค่า m = 0.05 และ b = 0

ระบุค่าจากการคำนวณลง Configure Scaling and Mapping ดังรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 ค่า Scaling and Mapping ที่ 2

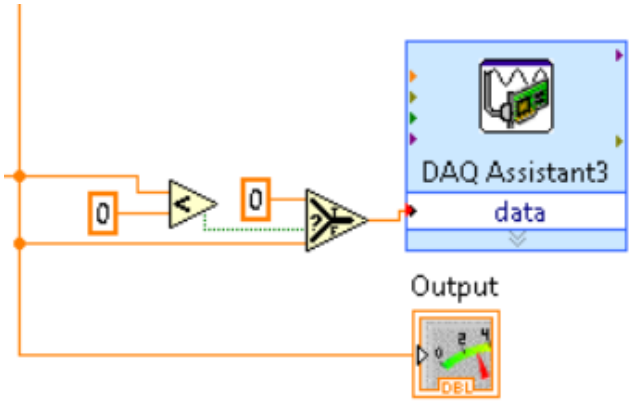
เมื่อทำการแปลงค่าเป็นค่าแรงดัน ผู้ใช้งานสามารถเลือกใน Case ได้ว่าจะใช้ค่าที่ได้จากตัวควบคุม PID ออกไปควบคุมระบบ หรือในบางกรณีผู้ใช้งานอาจจะต้องการควบคุมระบบด้วยตนเอง ก็สามารถใช้ฟังก์ชั่น Manual Control ได้ โดย

- Case True จะเป็นการนำค่า Output ที่ได้จากตัวควบคุม PID ออกไปควบคุมระบบ
- Case False จะเป็น Manual Control สามารถเลือกปรับตามความต้องการได้ตั้งแต่ 0V - 5V

ซึ่งในส่วนของการส่งข้อมูลกลับจะถูกส่งออกไปยัง 2 ที่ด้วยกัน คือ ส่งไปยังหลอดไฟ และส่งไปยังพัดลมระบายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5. ส่วนของการส่งข้อมูลกลับไปยังหลอดไฟ

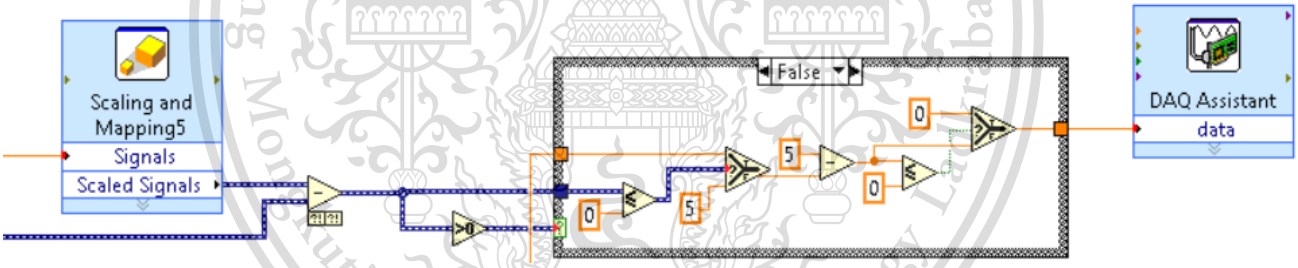


รูปที่ 3.36 ส่วนส่งข้อมูลกลับไปยังหลอดไฟ

เมื่อแปลงข้อมูลเป็นค่าเป็น 0V – 5V แล้ว เราจะใช้ Select Function และ Less Function เพื่อแก้ค่าความผิดพลาด ก่อนจะถูกส่งออกไปทาง DAQ Assistant และแสดงค่าที่มิเตอร์ Output โดยถ้า

- ค่าข้อมูลที่ได้มีค่าน้อยกว่า 0V ค่าจะออกเป็น 0V
- ค่าข้อมูลที่ได้มีค่ามากกว่า 0V ค่าจะออกเป็นค่านั้นๆทันที

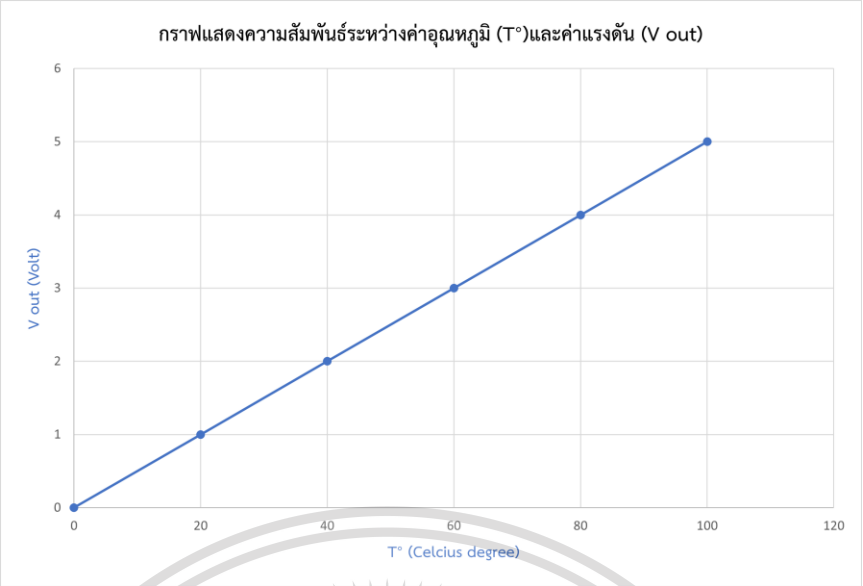
6. ส่วนของการส่งข้อมูลกลับไปยังพัดลมระบายอากาศ



รูปที่ 3.37 ส่วนส่งข้อมูลกลับไปยังพัดลมระบายอากาศ

การส่งข้อมูลกลับไปยังพัดลมระบายอากาศมีหลักการคือ ถ้าค่าใกล้เคียงค่าเป้าหมายแล้ว พัดลมจะทำการเปิดเพื่อระบายอากาศออก ซึ่งต้องใช้ Less Function ในการเปรียบเทียบค่าระหว่างค่าเป้าหมาย และค่าที่ได้จากกระบวนการ แต่เนื่องจากค่าที่ได้จากกระบวนการที่อยู่ในโปรแกรมตอนนี้เป็นค่า 0°C - 100°C ซึ่งจำเป็นที่จะต้องแปลงจากอุณหภูมิเป็นแรงดันเพื่อส่งออกไปให้ตัว DAQ จึงต้องมีฟังก์ชั่น Scaling and Mapping ซึ่งคำนวณโดยการเปรียบเทียบเพื่อแปลงค่าแรงดัน Vout ในช่วง 0°C - 100°C แปลงเป็นค่าแรงดันระหว่าง 0V - 5V มีลักษณะดังรูปที่ 3.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

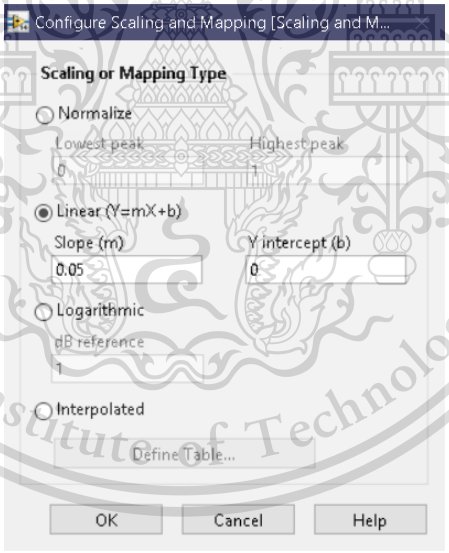


รูปที่ 3.38 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิและค่าแรงดันที่ 5

จาก $m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$ และ $y = mx + b$

จะได้ค่า m = 0.05 และ b = 0

ระบุค่าจากการคำนวณลง Configure Scaling and Mapping ดังรูปที่ 3.39



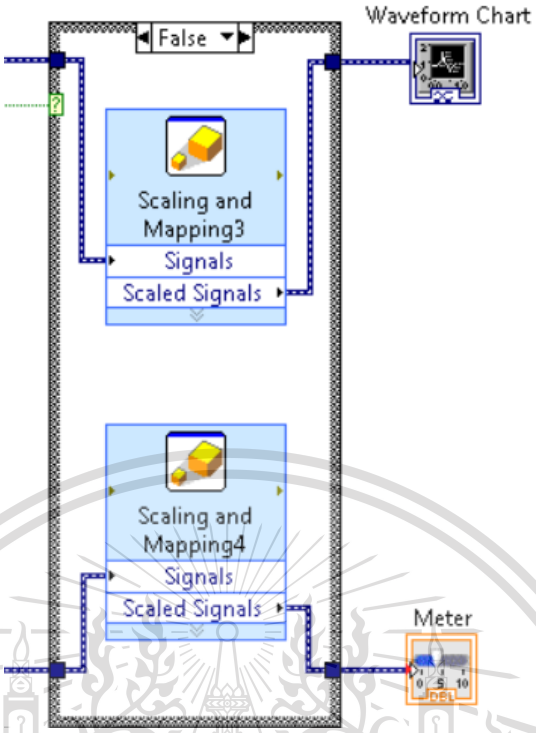
รูปที่ 3.39 ค่า Scaling and Mapping ที่ 5

เมื่อผ่านการใช้ Less Function แล้วจะไปเข้า Greater than 0 Function ก่อนที่จะเข้าไปยัง Case Structure ต่อไป

- Case True ค่าเป้าหมายและค่าที่ได้จากกระบวนการมีค่าห่างกัน พัดลมระบายอากาศจะไม่ทำงาน
- Case False ค่าเป้าหมายและค่าที่ได้จากกระบวนการมีค่าเท่ากัน หรือซ้อนทับกัน พัดลมระบายอากาศจะเริ่มทำงานต่อไปเรื่อยๆ จนกว่าค่าจะไม่ซ้อนทับกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

7. ส่วนของหน้าจอแสดงผล



รูปที่ 3.40 ส่วนของหน้าจอแสดงผล

ในส่วนของหน้าจอแสดงผล จะมี 2 ส่วนหลักๆ คือ

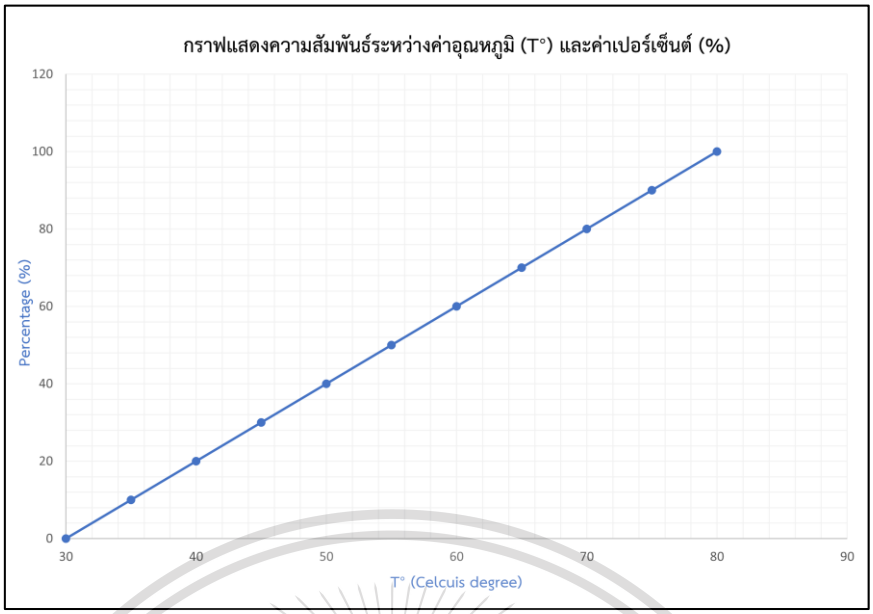
1. Waveform Chart แสดงผลออกมาเป็นกราฟ มี 3 ค่าที่แสดง คือ SP, PV, และ MV
2. Meter แสดงผลออกมาเป็น Meter

ในส่วนของหน้าจอแสดงผล จะมีการใช้ Case structure เช่นกัน โดยมีการเลือก Case ได้ผ่าน Switch อันเดียวกับที่ใช้เลือก Setpoint มี 2 Case คือ

- Case True เป็นการแสดงค่าออกมาในรูปแบบของอุณหภูมิ
- Case False เป็นการแสดงค่าออกมาในรูปแบบของเปอร์เซนต์

ใน Case ของเปอร์เซนต์ ต้องมีการแปลงค่า เนื่องจากในระบบตอนนี้เป็นค่าอุณหภูมิอยู่จึงต้องแปลงให้เป็น 0 - 100% โดยเปรียบเทียบเพื่อแปลงค่าอุณหภูมิในช่วง 30°C - 80°C เป็นค่าเปอร์เซนต์ในช่วง 0 - 100% มีลักษณะดังรูปที่ 3.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

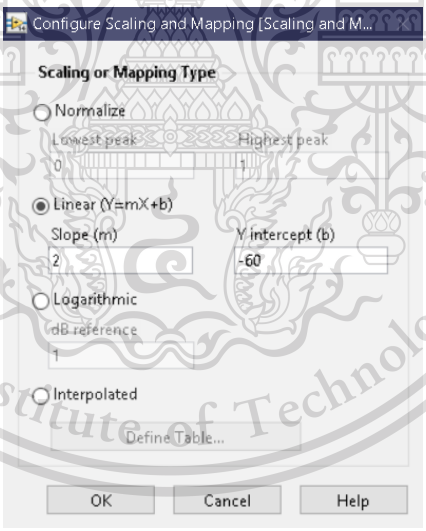


รูปที่ 3.41 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิและค่าเปอร์เซ็นต์ที่ 3 และ 4

จาก $m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$ และ $y = mx + b$

จะได้ค่า m = 2 และ b = -60

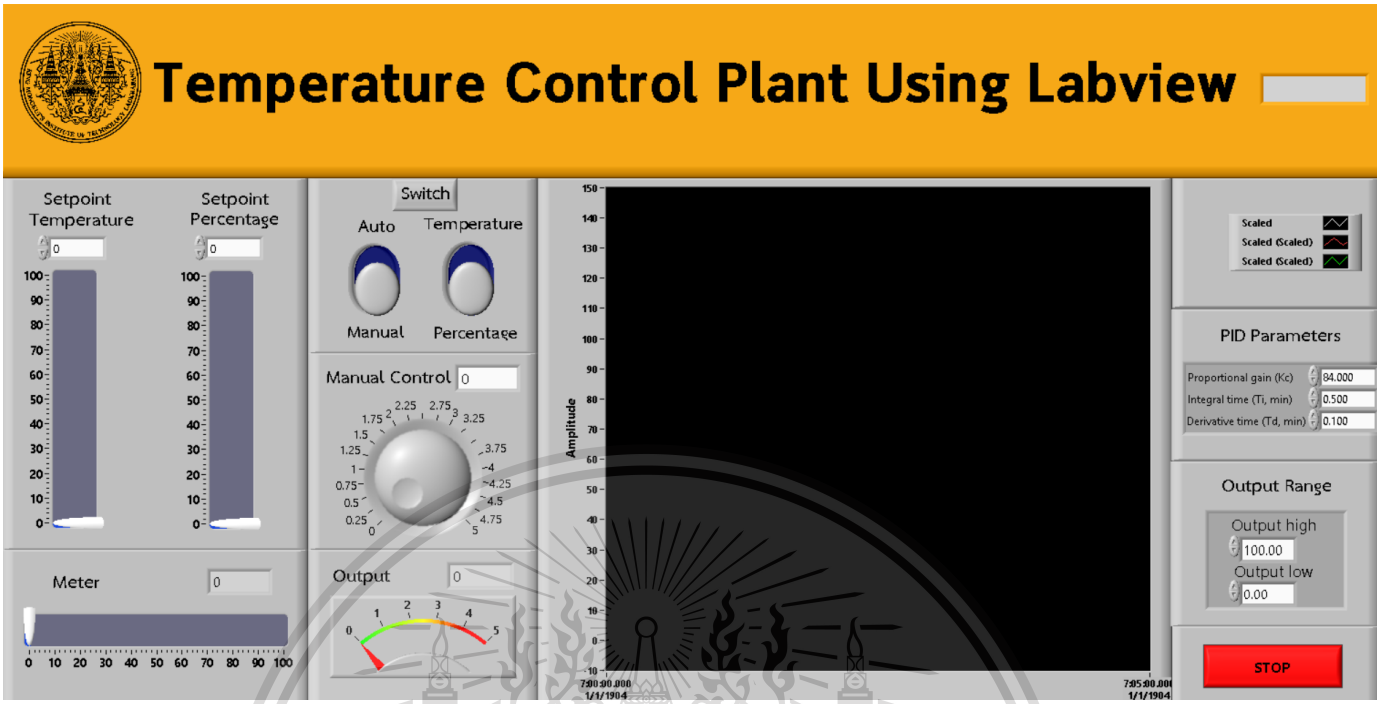
ระบุค่าจากการคำนวณลง Configure Scaling and Mapping ดังรูปที่ 3.42



รูปที่ 3.42 ค่า Scaling and Mapping ที่ 3 และ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.9.2 การเขียน User Interface ในโปรแกรม LabVIEW

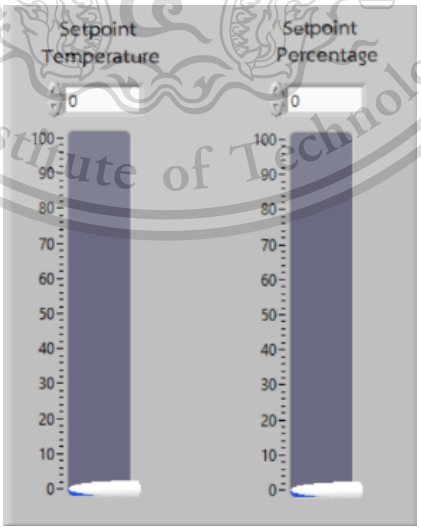


รูปที่ 3.43 หน้าจอ User Interface ในโปรแกรม LabVIEW

User Interface เป็นส่วนที่ผู้ใช้งานใช้ในการติดต่อสื่อสารกับโปรแกรม LabVIEW เพื่อใช้ในการควบคุมอุณหภูมิและดูผลของการควบคุม โดยมีส่วนแสดงผลแบ่งเป็น 3 ส่วนดังนี้

1. ส่วน Object ประเภท Control

1. ส่วนกำหนดค่า Setpoint โดยผู้ใช้งานสามารถใส่ค่าเป้าหมายที่ต้องการเป็นอุณหภูมิหรือเปอร์เซนต์ลงไปได้

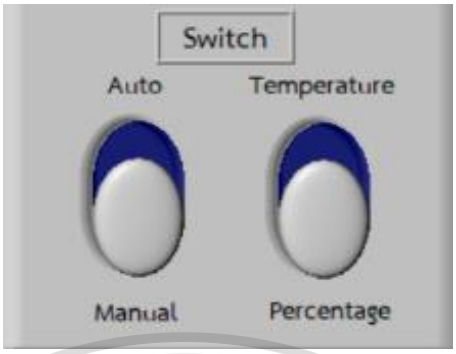


รูปที่ 3.44 ส่วนกำหนดค่า Setpoint

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

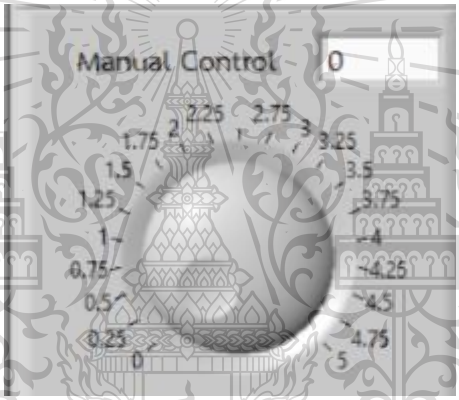
2. ฟังก์ชัน Switch ใช้ในการเลือกว่าต้องการเลือก

- การใช้งานในโหมด Auto หรือ Manual
- การกรอกค่าและการแสดงผลเป็นอุณหภูมิ หรือเปอร์เซนต์



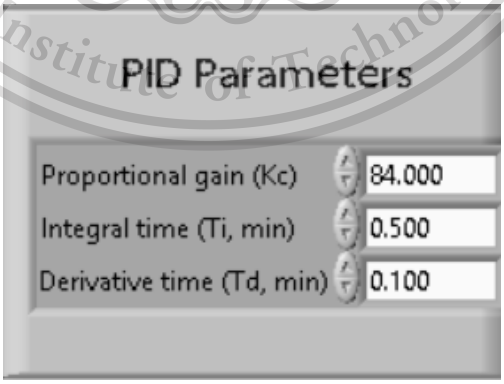
รูปที่ 3.45 ฟังก์ชัน Switch

3. ฟังก์ชัน Manual Control ผู้ใช้งานสามารถกำหนดค่าที่ต้องการควบคุมได้ด้วยตนเอง



รูปที่ 3.46 ฟังก์ชัน Manual Control

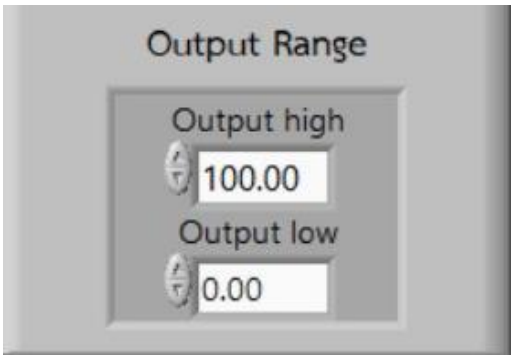
4. ค่าพารามิเตอร์ของบล็อกตัวควบคุม PID ผู้ใช้งานต้องเป็นคนกำหนดค่าเอง



รูปที่ 3.47 ค่าพารามิเตอร์ของบล็อกตัวควบคุม PID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5. ค่าพารามิเตอร์ Output range ใช้ในการปรับช่วงของค่าที่จะออกมา



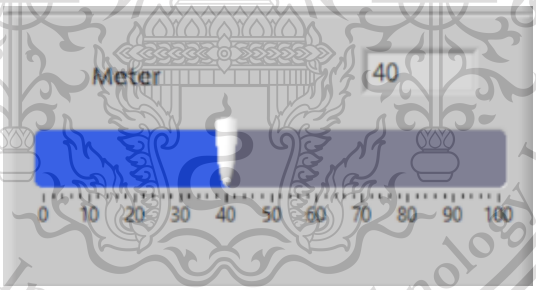
รูปที่ 3.48 ค่าพารามิเตอร์ Output range

6. ปุ่ม Stop เป็นการกดหยุดเพื่อปิดระบบทั้งหมด เมื่อเกิดความผิดปกติในระบบควบคุม

รูปที่ 3.49 ปุ่ม Stop

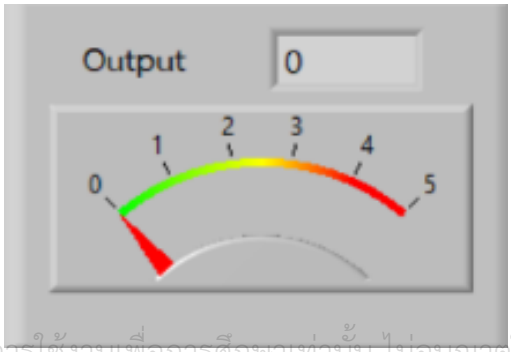
2. ส่วน Object ประเภท Indicator

1. กราฟฟิก Meter แสดงค่าอุณหภูมิ หรือค่าเปอร์เซนต์ ณ ปัจจุบัน



รูปที่ 3.50 กราฟฟิก Meter

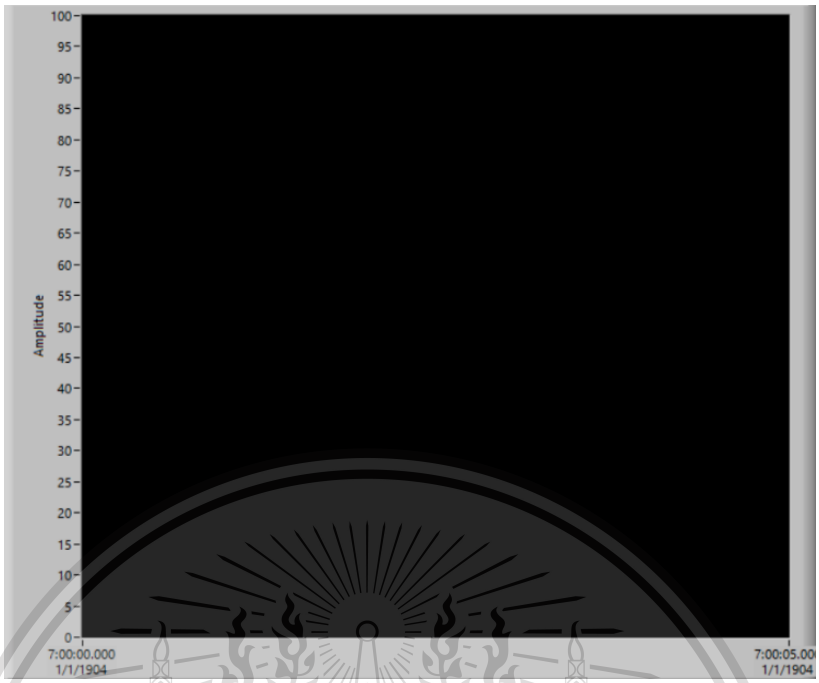
2. กราฟฟิก Output แสดงค่าเอาต์พุตที่ออกไปควบคุมระบบ



รูปที่ 3.51 กราฟฟิก Output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. กราฟแสดงค่าเป้าหมาย, ค่าตัวแปรกระบวนการ และค่าเอาต์พุตของกระบวนการ



รูปที่ 3.52 กราฟแสดงค่า SP, PV, MV

3. ส่วน Object ประเภท Decoration

1. ตราสถาบัน
2. ชื่อของระบบที่จะควบคุม
3. วันที่ และเวลา

รูปที่ 3.53 ส่วน Object ประเภท Decoration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 การทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสม

4.1.1 การคำนวณหาค่า PID ตามวิธีการปฏิกิริยาของกระบวนการของซีเกลอร์-นิโคลส์ (Process reaction curve method – Open loop method)

กำหนดการใช้งานเป็น Manual และกำหนดให้หลอดไฟให้ความร้อนเต็มที่ที่ 5 Vdc บันทึกผลอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงจุดสูงสุดที่ระบบสามารถทำได้

รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาแบบ Open loop

เนื่องจากค่า t1 และ t2 จะเท่ากับตำแหน่งที่ 0.283 และ 0.632 ของกราฟ 0-1 C(t) ดังนั้นที่กราฟอุณหภูมิ 0°C ถึง 116°C

ณ อุณหภูมิเริ่มต้น 26°C มีตำแหน่งค่า 0.283 เท่ากับ 51.47°C และ
ตำแหน่งค่า 0.632 เท่ากับ 82.889°C

เมื่อลากเส้นตรงจากจุดที่ 51.47 °C จนถึงเส้น PV พบว่ามีค่าเวลาเท่ากับ 3.24 นาที และเส้นตรงจากจุดที่ 82.889 °C จนถึงเส้น PV พบว่ามีค่าเวลาเท่ากับ 7.74 นาที

คำนวณหาค่า T และ t0 จากสมการ Zigler Nichols

$$T = \frac{3}{2}(t_2 - t_1)$$

$$t_0 = t_2 - T$$

$$K = \frac{\Delta Temperature}{\Delta Voltage}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อค่า K ของระบบเท่ากับ 18 จะได้ค่า T= 6.75 และ t0= 0.99 จากนั้นนำไปคำนวณหาค่า Kp Ki Kd จากเกณฑ์การปรับแต่งพารามิเตอร์แบบซิกเกอร์-นิโคลส์ตามวิธีการปฏิกิริยาของกระบวนการดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เกณฑ์การปรับแต่งพารามิเตอร์แบบซีเกลอร์-นิโคลส์ตามวิธี Process Reaction Curve

ชนิดของตัวควบคุม	K_P	T_t	T_P
P	$\frac{1}{K}(\frac{T}{t_0})$	-	-
PI	$\frac{0.9}{K}(\frac{T}{t_0})$	$\frac{t_0}{0.3}$	-
PID	$\frac{1.2}{K}(\frac{T}{t_0})$	$2t_0$	$\frac{t_0}{2}$

เมื่อคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ตามเกณฑ์ดังกล่าว จะได้ค่า Kp = 0.45, Ti = 1.98, Td = 0.495 ซึ่งเมื่อนำไปเป็นค่าพารามิเตอร์ PID ของระบบ จะได้ผลดังรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.2 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 0.45, Ti = 1.98, Td = 0.495

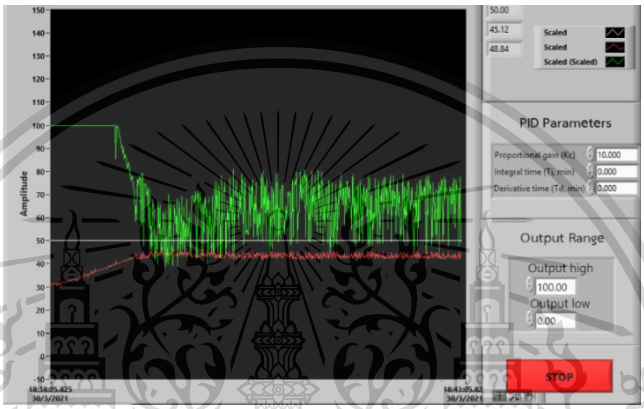
จากกราฟจะสังเกตได้ว่า ค่า PV (Process Variable) ไม่ลู่เข้าค่า SP (Set point) ดังนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการถัดไป คือการคำนวณหาค่า PID ตามวิธีการวัฏจักรสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.2 การคำนวณหาค่า PID ตามวิธีการวัฏจักรสุดท้าย (Ultimate cycle method – Close loop)

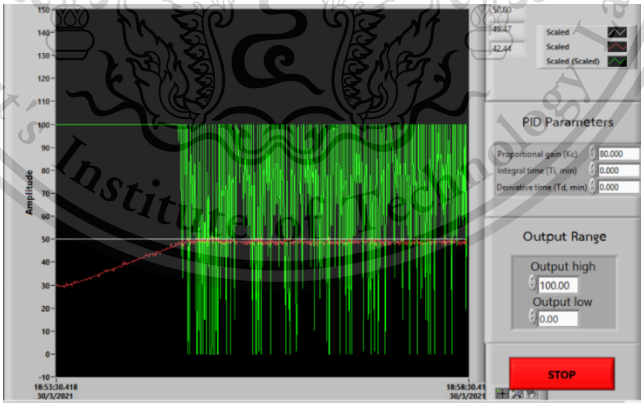
เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ PID ที่ได้จากการคำนวณแบบวิธีการปฏิกิริยาของกระบวนการเป็นค่าที่ยังไม่เหมาะสม จึงต้องคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ PID อีกครั้งโดยใช้วิธีการวัฏจักรสุดท้าย โดยให้ค่า Ti และ Td ให้เป็นศูนย์ และปรับค่า Kc (Kp) จากเดิมเพิ่มขึ้นจนกว่ากราฟจะมี Oscillation และแอมพลิจูดที่คงที่

ผลกราฟเมื่อปรับค่า Kc เพิ่มขึ้นจนเท่ากับ 10 มี Oscillation และ แอมพลิจูดที่ยังไม่คงที่



รูปที่ 4.3 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 10, Ti = 0, Td = 0

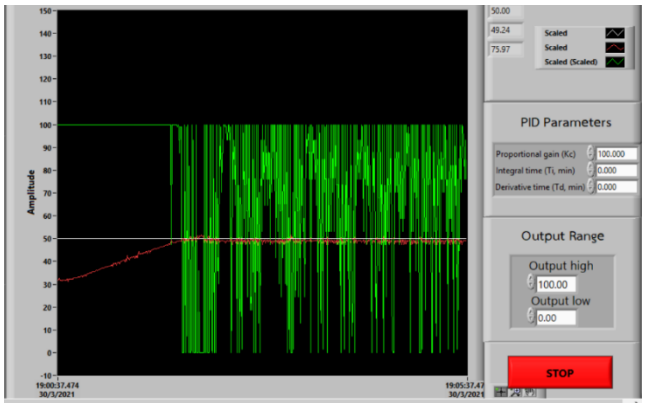
ผลกราฟเมื่อปรับค่า Kc เพิ่มขึ้นจนเท่ากับ 80 มี Oscillation และ แอมพลิจูดที่ยังไม่คงที่



รูปที่ 4.4 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 80, Ti = 0, Td = 0

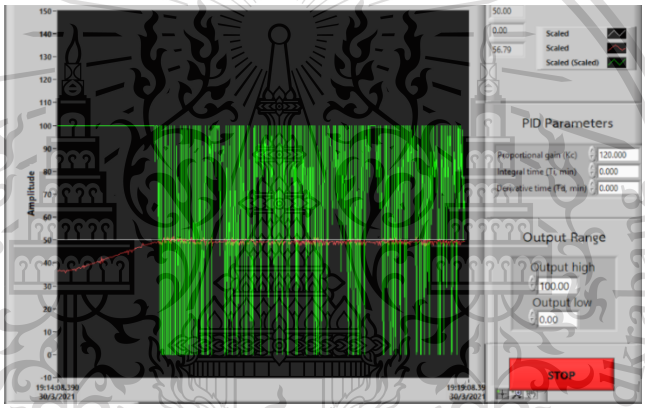
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลกราฟเมื่อปรับค่า Kc เพิ่มขึ้นจนเท่ากับ 100 มี Oscillation และ แอมพลิจูดที่ยังไม่คงที่



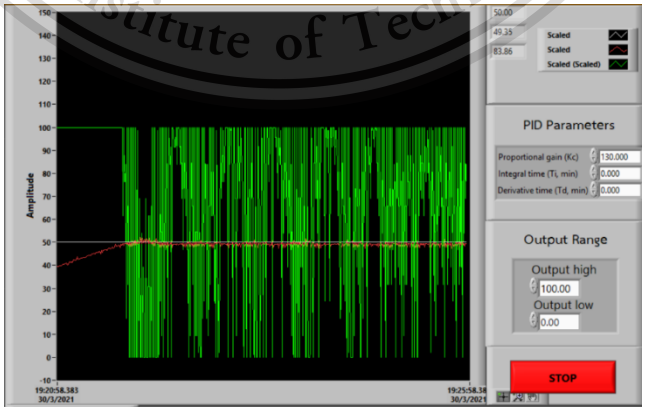
รูปที่ 4.5 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 100, Ti = 0, Td = 0

ผลกราฟเมื่อปรับค่า Kc เพิ่มขึ้นจนเท่ากับ 120 มี Oscillation และ แอมพลิจูดที่ยังไม่คงที่



รูปที่ 4.6 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 120, Ti = 0, Td = 0

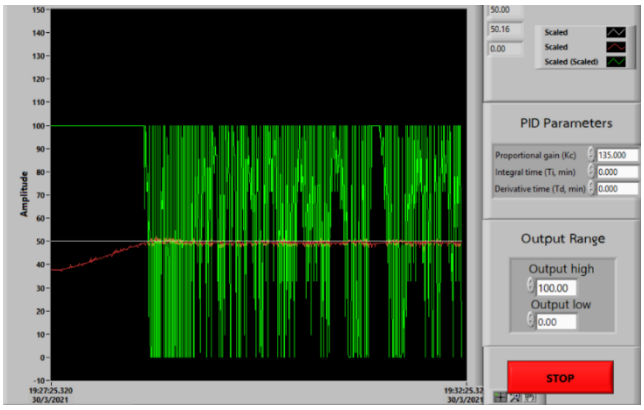
ผลกราฟเมื่อปรับค่า Kc เพิ่มขึ้นจนเท่ากับ 130 มี Oscillation และ แอมพลิจูดที่ยังไม่คงที่



รูปที่ 4.7 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 130, Ti = 0, Td = 0

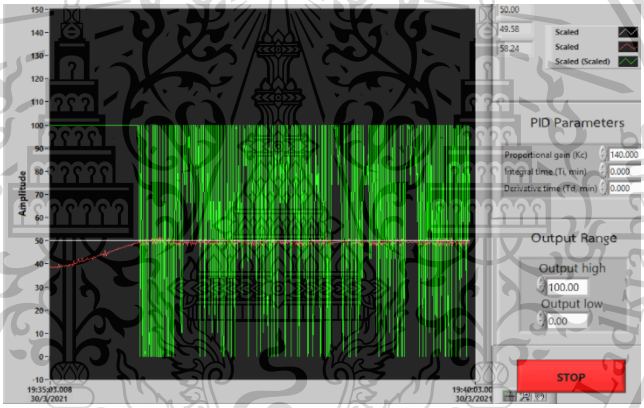
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลกราฟเมื่อปรับค่า Kc เพิ่มขึ้นจนเท่ากับ 135 มี Oscillation และ แอมพลิจูดที่ยังไม่คงที่



รูปที่ 4.8 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 135, Ti = 0, Td = 0

ผลกราฟเมื่อปรับค่า Kc เพิ่มขึ้นจนเท่ากับ 140 สังเกตได้ว่ากราฟมี Oscillation และ แอมพลิจูดที่คงที่



รูปที่ 4.9 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 140, Ti = 0, Td = 0

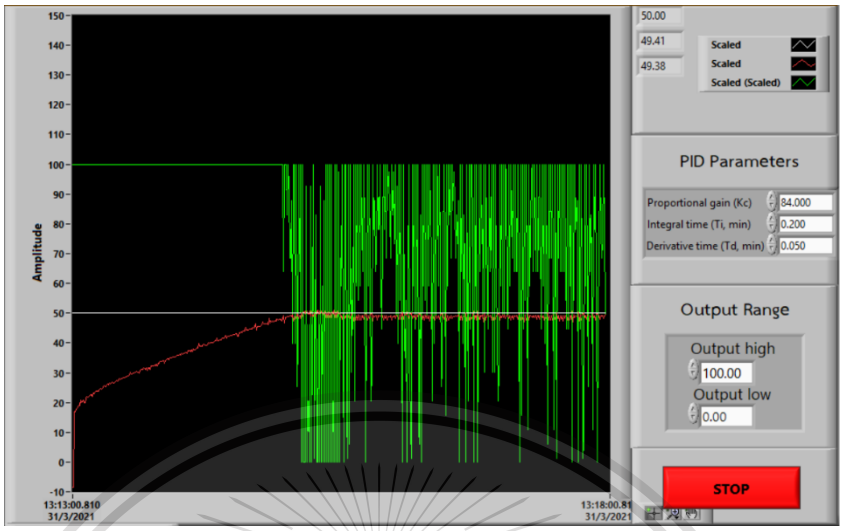
โดยค่า Kc =140 เป็นค่า Kcr ที่ทำให้ระบบมี Oscillation และ แอมพลิจูดคงที่ จึงเป็นค่า Kcr ที่เหมาะสม สามารถนำไปคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ตามเกณฑ์การหาค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เกณฑ์การปรับแต่งพารามิเตอร์แบบซีเกลอร์-นิโคลส์ตามวิธี Ultimate cycle method

ชนิดของตัวควบคุม	K_P	T_i	T_d
P	$0.5K_{Cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{Cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{Cr}$	0
PID	$0.6K_{Cr}$	$0.5P_{Cr}$	$0.125P_{Cr}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อค่า Kcr = 140 ที่เวลา 0.4 นาที จะคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ ได้เท่ากับ Kp =84, Ti =0.2, Td=0.05 และนำไปเป็นค่าพารามิเตอร์ของระบบ ได้ผลดังรูป



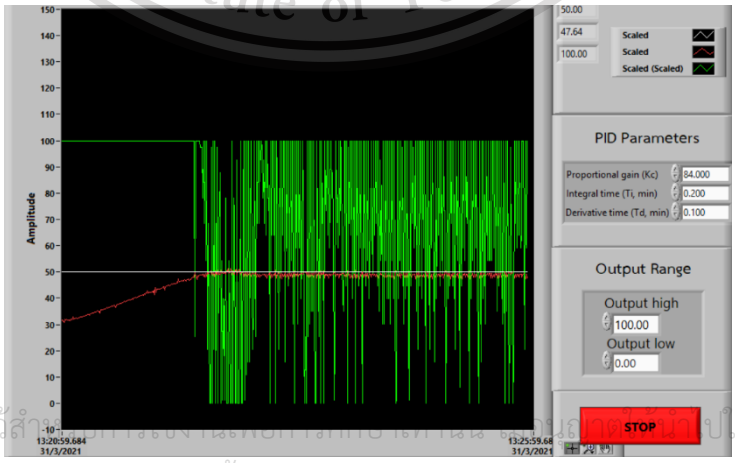
รูปที่ 4.10 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 84, Ti = 0.2, Td = 0.05

จากกราฟจะพบว่าค่า PV เข้าใกล้ค่า SP ที่ต้องการแล้ว และกราฟมีลักษณะลู่เข้าและ ถือเป็นค่าที่มีความเหมาะสมตามต้องการ แต่เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด จึงเข้าสู่กระบวนการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ตามวิธี Trial & Error

4.1.3 การปรับจูนค่า PID ตามวิธีลองผิดลองถูก (Trial & Error)

ทำการทดลองเพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด โดยปรับค่า Td และ Ti เพิ่มจากเดิมเพื่อสังเกตผลตอบสนองที่เปลี่ยนแปลงไป

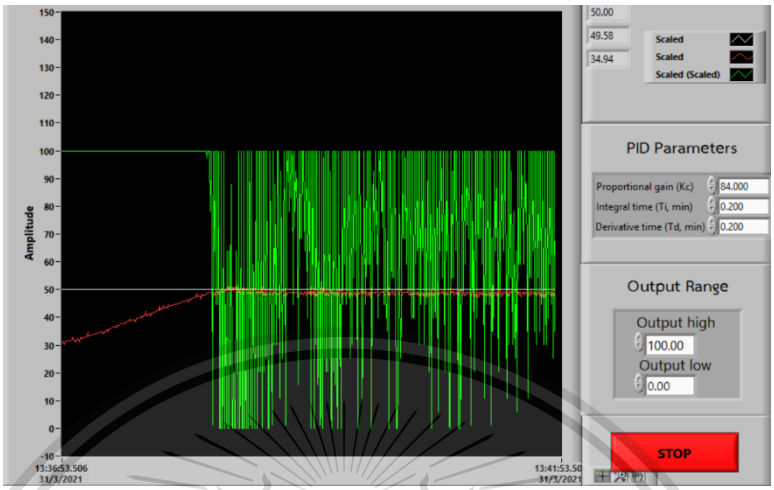
ผลกราฟเมื่อปรับค่า Td เพิ่มขึ้นจนเท่ากับ 0.1 จะสังเกตได้ว่า PV มีเสถียรภาพมากขึ้นเล็กน้อย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 4.11 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 84, Ti = 0.2, Td = 0.1

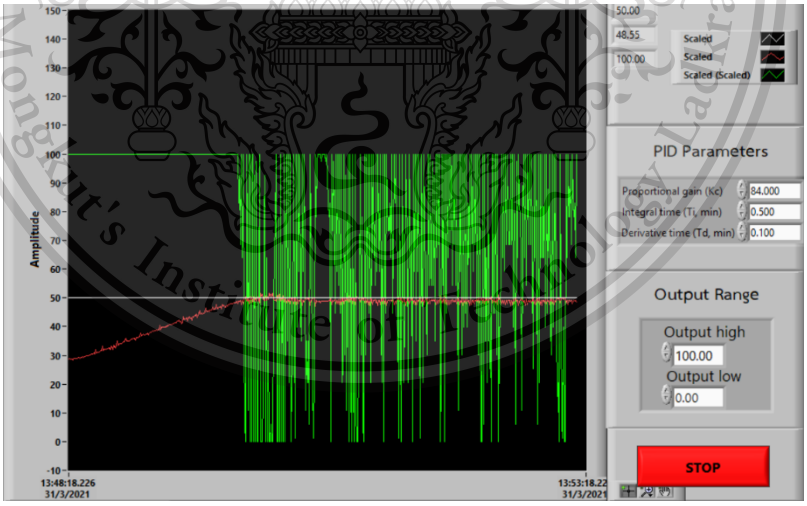
ผลกราฟเมื่อปรับค่า Td เพิ่มขึ้นจนเท่ากับ 0.2 จะสังเกตได้ว่า ค่า Td = 0.2 ทำให้กราฟมีความเสถียรเท่ากับ ค่า Td = 0.1 ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า Td =0.1 ซึ่งเป็นค่า Td ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ระบบเสถียร



รูปที่ 4.12 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 84, Ti = 0.2, Td = 0.2

เมื่อได้ค่า Td ที่เหมาะสมแล้ว ปรับค่า Ti เพิ่มจากเดิม เพื่อสังเกตผลตอบสนองที่เปลี่ยนแปลงไป

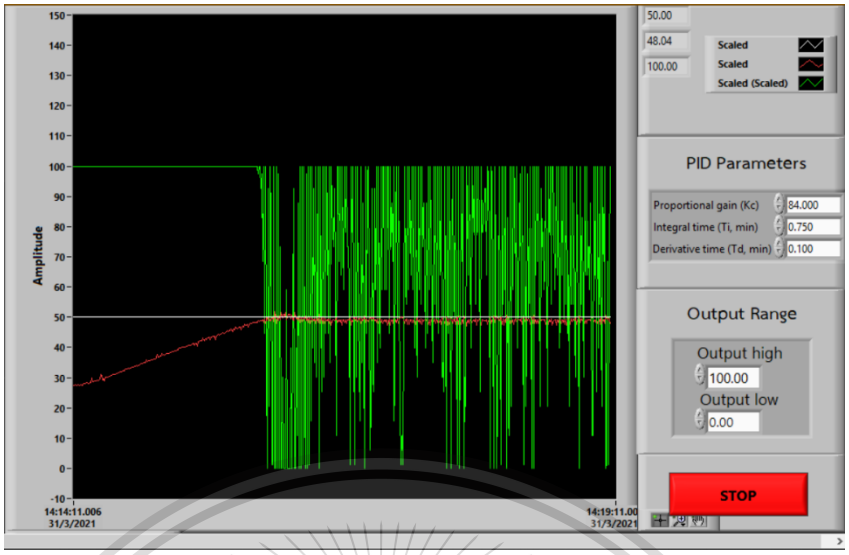
ผลกราฟเมื่อปรับค่า Ti เพิ่มขึ้นจนเท่ากับ 0.5



รูปที่ 4.13 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 84, Ti = 0.5, Td = 0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

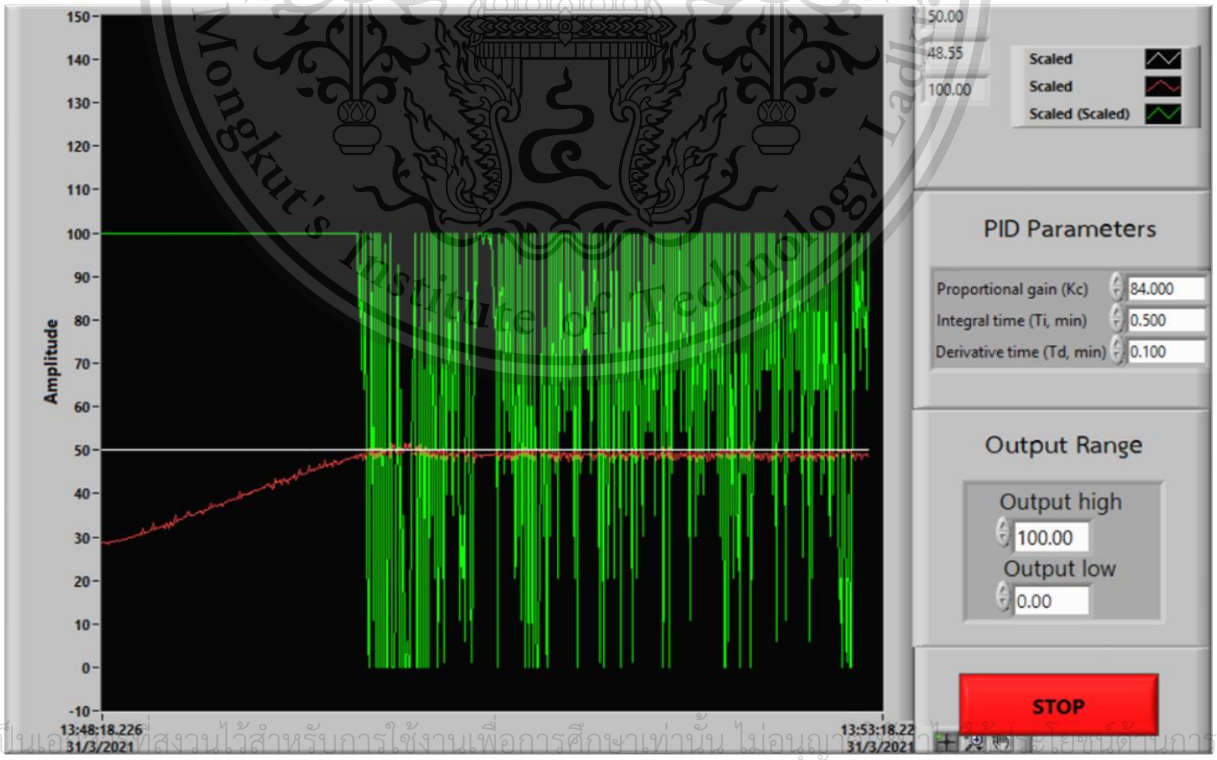
ผลกราฟเมื่อปรับค่า Ti เพิ่มขึ้นจนเท่ากับ 0.75



รูปที่ 4.14 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 84, Ti = 0.75, Td = 0.1

จากรูปที่ 4.13 และ 4.14 สังเกตได้ว่าที่ค่า Ti =0.5 เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ค่า PV ใกล้เคียงค่า SP อย่างต่อเนื่อง จึงเลือกใช้ค่า Ti =0.5

จึงสามารถสรุปผลค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ได้เท่ากับ Kp =84 ,Ti =0.5 ,Td =0.1 จากค่าพารามิเตอร์ดังกล่าว มีผลตอบสนองของระบบดังนี้



รูปที่ 4.15 ผลกราฟที่ค่าพารามิเตอร์ Kp = 84, Ti = 0.5, Td = 0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 การทดสอบการควบคุมอุณหภูมิ

กำหนดค่าเป้าหมายของอุณหภูมิในช่วงขาขึ้น ซึ่งเปลี่ยนแปลงจาก 0%-25%, 25%-50%, 50-75%, 75%-100% และช่วงขาลง ซึ่งเปลี่ยนแปลงจาก 100%-75%, 75%-50%, 50%-25%, 25%-0% ทำการบันทึกผลตั้งแต่ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายจนเข้าสู่สภาวะคงที่ โดยมีค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในโปรแกรม LabVIEW ดังตารางที่ 4.3

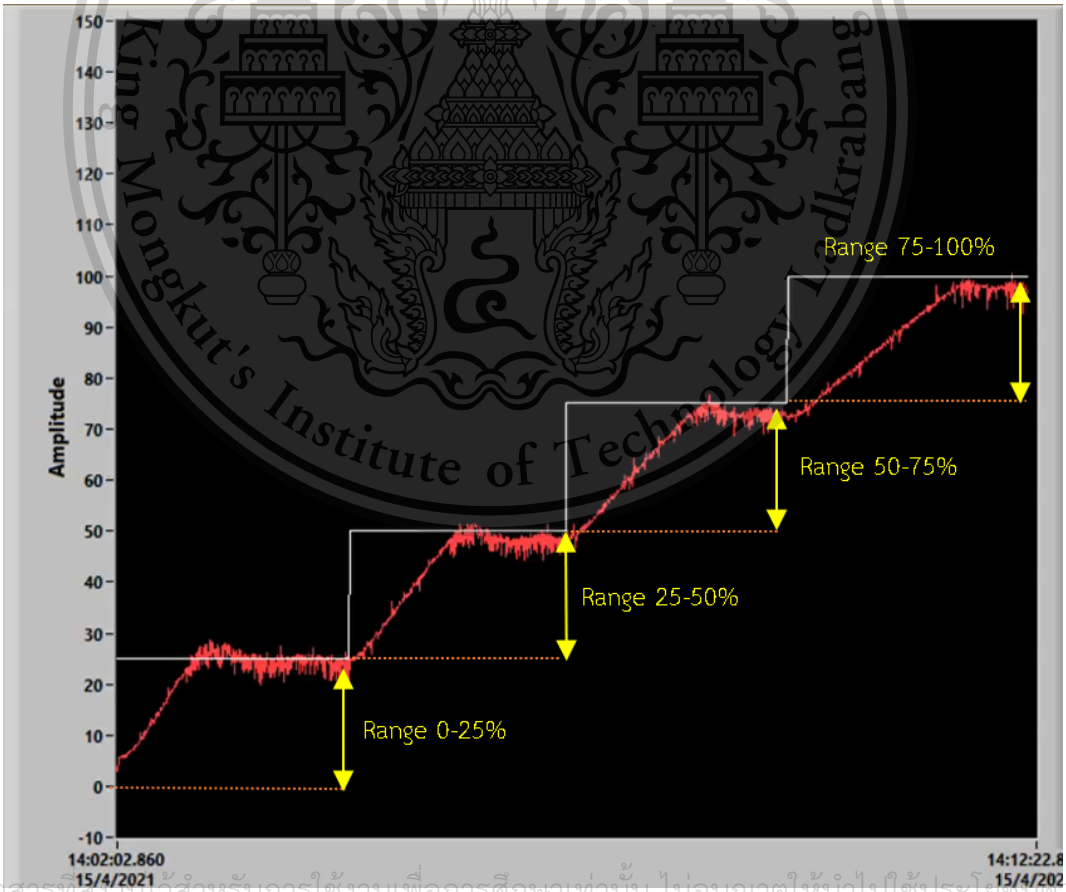
ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมระบบ

Kc	Ti	Td
84	0.5	0.1

4.2.1 ผลการทดลองจากโปรแกรม LabVIEW

1. ช่วงขาขึ้น 0-100%

เลือกโหมดการทำงานเป็นโหมด Percentage โดยป้อนค่าเปอร์เซ็นในแต่ละช่วง ได้แก่ 0%-25%, 25%-50%, 50-75%, 75%-100% โดยเปลี่ยนค่าทุก 2 นาที 30 วินาที

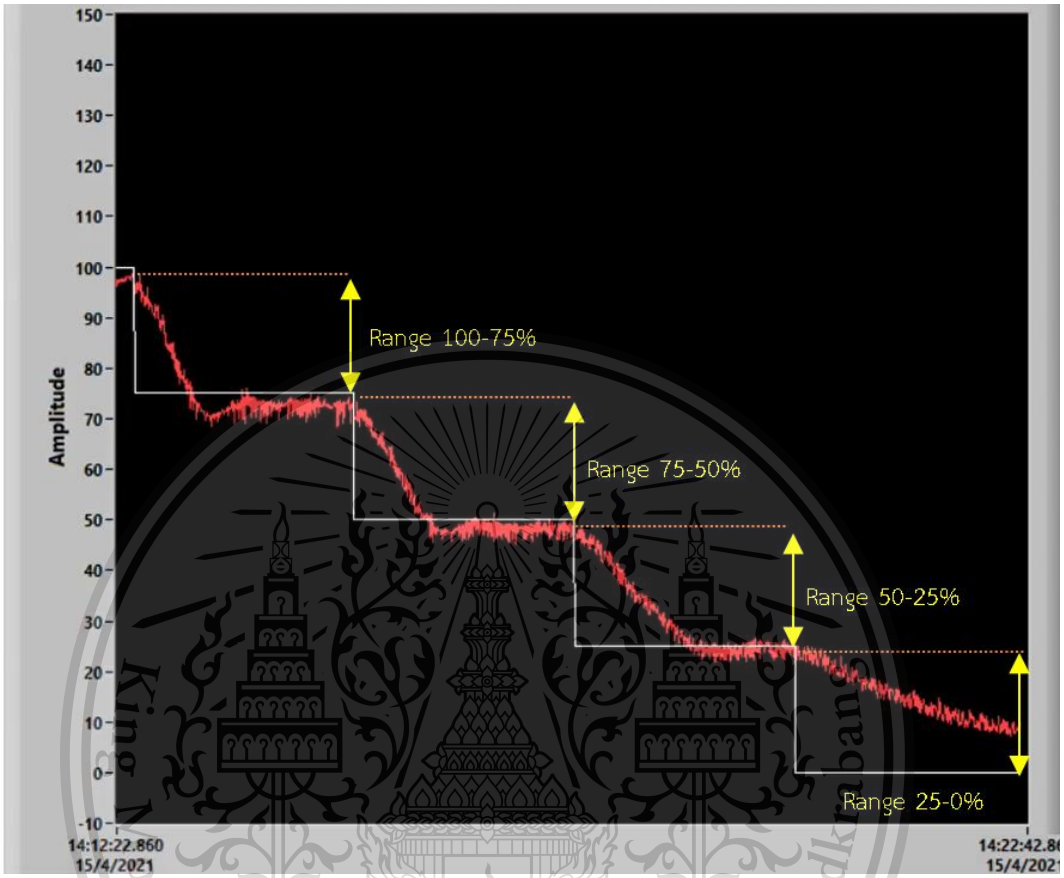


รูปที่ 4.16 ผลการเปลี่ยนค่าเป้าหมายในช่วงขาขึ้น 0-100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. ช่วงขาลง 100-0%

เลือกโหมดการทำงานเป็นโหมด Percentage โดยป้อนค่าเปอร์เซ็นในแต่ละช่วง ได้แก่ 100%-75%, 75%-50%, 50%-25%, 25%-0% โดยเปลี่ยนค่าทุก 2 นาที 30 วินาที



รูปที่ 4.17 ผลการเปลี่ยนค่าเป้าหมายในช่วงขาลง 100-0%

4.2.2 บันทึกผลการทดลองจากโปรแกรม LabVIEW

ตารางที่ 4.4 บันทึกช่วงเวลาขาขึ้นของอุณหภูมิ

%	Temp (°C)	การทดลองครั้งที่ 1 (minutes)	การทดลองครั้งที่ 2 (minutes)	การทดลองครั้งที่ 3 (minutes)
0-25%	42.5	1.51	1.49	1.50
25-50%	55	2.11	2.16	2.09
50-75%	67.5	1.42	1.49	1.45
75-100%	80	2.15	2.18	2.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.5 บันทึกช่วงเวลาขาลงของอุณหภูมิ

%	Temp (°C)	การทดลองครั้งที่ 1 (minutes)	การทดลองครั้งที่ 2 (minutes)	การทดลองครั้งที่ 3 (minutes)
100-75%	67.5	0.58	1.00	0.57
75-50%	55	1.04	0.56	0.59
50-25%	42.5	0.55	0.56	0.56
25-0%	30	1.46	1.45	1.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินงานตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมา เริ่มจากขั้นตอนแรกคือศึกษาค้นคว้าข้อมูลของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง วงจรที่จะนำมาใช้ หลักการของการควบคุมแบบ PID และโปรแกรม LabVIEW พร้อมทำความเข้าใจกับขอบเขตของโครงงาน ดังนั้นจึงได้แบ่งส่วนของการดำเนินงานเป็นทั้งหมด 3 ส่วน คือ

1. ส่วนของการสร้างด้านฮาร์ดแวร์ ในส่วนนี้ได้ศึกษาถึงหลักการการทำงานของวงจรในระบบอุปกรณ์ที่นำมาประกอบเข้าด้วยกัน วิธีการเดินสายไฟที่ถูกต้อง รวมถึงการออกแบบชิ้นงานให้สอดคล้องกับความต้องการ และวัตถุประสงค์ให้มากที่สุด

2. ส่วนของการเขียนโปรแกรมด้านซอร์ฟแวร์ เป็นส่วนของการเขียนโปรแกรม LabVIEW เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์และตัวระบบควบคุมอุณหภูมิ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ง่ายโดยการควบคุมผ่านหน้าจอ User Interface ในโปรแกรม LabVIEW

3. หลังจากที่ได้ออกแบบและประกอบระบบควบคุมอุณหภูมิเรียบร้อยแล้ว จึงนำชิ้นงานมาทำการทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสม และทดลองจากโปรแกรม LabVIEW พบว่าระบบควบคุมอุณหภูมิสามารถใช้งานได้จริง ค่าพารามิเตอร์ที่ทดสอบได้ทำให้ระบบเกิดความเสถียร และการออกแบบโปรแกรม LabVIEW สามารถให้ผู้ใช้งานใช้ได้จริง

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน

1. เนื่องจากตัวผู้จัดทำโครงงานมีความไม่เชี่ยวชาญในเรื่องของวงจร อุปกรณ์และวิธีการใช้งาน จึงต้องใช้เวลาในการศึกษาหาข้อมูล

2. ในการต่อวงจร และการประกอบระบบควบคุมอุณหภูมิจำเป็นต้องใช้ทักษะในการบัดกรีและเชื่อมโยงสาย จึงต้องใช้เวลาในการวางแผนและปฏิบัติ

3. การออกแบบในโปรแกรม LabVIEW ยังขาดความชำนาญในการออกแบบ ซึ่งจำเป็นต้องใช้เวลาในการศึกษารูปแบบการออกแบบโปรแกรมเพิ่มเติม และยังมีข้อบกพร่อง ไม่เชี่ยวชาญในการต่อ Block diagram ทำให้เกิดข้อผิดพลาด ไม่สามารถใช้งาน Block diagram ที่ออกแบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.3 แนวทางการแก้ไขปัญหา

1. ศึกษาและสอบถามแนวทางเพิ่มเติมจากสื่อการสอนต่างๆ รวมถึงอาจารย์ที่ปรึกษา

2. วางแผนโครงสร้างของด้านฮาร์ดแวร์ทั้งหมดก่อนทำการประกอบ

3. ศึกษาการเขียนโปรแกรมและสอบถามอาจารย์ที่ปรึกษา และเพื่อนที่มีความชำนาญในการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

[1] **“โพรโทบอร์ด”,** https://sites.google.com/site/somyongregina/academic/electronic/protoboard, Regina Coeli College.

[2] **“PCB”,** https://www.klongthom.co.th/sara1000detail.php?param=86&name=%E0%B9%81%E 0%B8%9C%E0%B9%88%E0 %E0% %B8%A3, คลองถม เซ็นเตอร์.

[3] **“ตัวต้านทาน”**, https://medium.com/@pattanapong.sriph/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%A7%E0%B8%B1% %B8%B2, SPMe studio.

[4] **“ตัวต้านทานแบบคงที่และตัวต้านทานแบบปรับค่าได้”**, http://www.rmutphysics.com/charud/ol dnews/0/285/22/resistor1/resistor2.html, ดร.อภิชาติ อนุกูลเวช.

[5] **“วงจรบริดจ์ไฟฟ้ากระแสตรง”**, http://www.rmutphysics.com/charud/virtualexperiment/labphysics2/meter/DC%20Bridge.html, ฟิสิกส์ราชมงคล.

[6] **“IC”**, https://www.mahachaielectronics.com/category/4/ic, มหาชัยอิเล็คทรอนิกส์.

[7] **“Op-amp”**, http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/286/16/1/electric/R-L/chap5_1.htm, ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

[8] **“วงจรขยายอินสตรูเมนเตชั่น (Instrumentation amplifier)”**, http://pws.npru.ac.th/thawatchait/data/files/Chapter%_OpAmp%20Circuits_01_ok.pdf, thawatchait.

[9] **“RTD”**, http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4260/rtd-%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B8%B5, ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์.

[10] **“SCR”**, https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/device/thyrister/scr.html, ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[11] **“Tryristor Power Regulator SCR Series”**, https://www.sangchaimeter.com/support_detail/Power-Regulator-SCR, บริษัท แสงชัยมิเตอร์ จำกัด.

[12] **“แหล่งจ่ายไฟ”**, https://sites.google.com/site/cp5810122113022/power-supply, นายนพรัตน์ ผลประสิทธิ์.

[13] **“PID Controller”**, https://medium.com/maestro19/engineering-pid-controller-part-1-33a8f6d2 7fa8, keerati rounghirun.

[14] **“อธิบายผลของ PID อย่างง่ายๆด้วยกราฟ”**, https://automation360blog.wordpress.com/2018/01/01/pid-by-graph/, automation360blog.

[15] **“โปรแกรม LabVIEW”**, http://www.labview-developer.com/Article/Detail/62495, พิพัฒน์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

[16] **“Data Acquisition”**, http://www.ni.com/data-acquisition/, National Instrumentation.

[17] **“Practical Activity#1- 2-Wire vs. 3-Wire RTD bridge”**, https://sites.google.com/site/kmitl58010092/lab-iv-opamp-signal, นายกิตติชัย สังข์พยุง.

[18] **“LMx58-N Low-Power, Dual-Operational Amplifiers”**, https://www.electronicafacil.net/datasheets/LM258N.html, Texas instrument.

[19] **“เกณฑ์การปรับแต่งพารามิเตอร์แบบซิกเกอร์-นิโคลส์ตามวิธี Process Reaction Curve”**, ปภณพรรธน์ ศิรมกิตติวรพงษ์, วัสพล กุลชัยกุล และวัชรี สอดศรี, ‘‘การควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุมแบบแบบ PID โดยใช้ LabVIEW’’, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2555.

[20] **“เกณฑ์การปรับแต่งพารามิเตอร์แบบซิกเกอร์-นิโคลส์ตามวิธี Ultimate cycle method”**, ทนง มุมแดง, ไพฑูรย์ ศรีอาจ, ‘‘การออกแบบกระบวนการควบคุมอัตโนมัติ’’, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2555.

[21] **“การหาค่าพารามิเตอร์พีไอดี”**, https://thaicontrol.wordpress.com/2011/11/27/pid-tuning/eng. sut.ac.th/me/2014/document/AutomaticControl/2013, วสันต์ สมคะเณย์, อมรพรรณ จิตจินดากุล และอิทธิมา เบญจพรหมผดุง, ‘‘การออกแบบตัวควบคุมพีไอดีสำหรับควบคุมตำแหน่งเชิงมุมของแขนกลสองข้อต่อ’’, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2551.

[22] **“พีไอดีในระบบควบคุม”**, https://automation360blog.wordpress.com/2018/01/01/pid-by-graph/, ปภณพรรธ์ ศิรกิตติวรพงษ์, วัสพล กุลชัยกุล และวัชรี สอดศรี, ‘‘การควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุมออกแบบ PID โดยใช้ LabVIEW’’, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2555.

[23] **“การใช้งานโปรแกรม Eagle”**, ธงชัย พจน์เสถียร, นรินทร์ ธรรมารักษ์วัฒนะ และวรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์, ‘‘การออกแบบลายวงจรพิมพ์โดยใช้โปรแกรม EAGLE’’,Electrical & Control ,ปีที่ 10,หน้า 35-42,กันยายน 2554.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ก

เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ RTD

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
-80	683,25	687,27	691,29	695,3	699,31	703,32	707,33	711,34	715,34	719,34	723,35
-70	723,35	727,35	731,34	735,34	739,34	743,33	747,32	751,32	755,3	759,29	763,28
-60	763,28	767,26	771,25	775,23	779,21	783,19	787,17	791,14	795,12	799,09	803,06
-50	803,06	807,03	811	814,97	818,94	822,9	826,87	830,83	834,79	838,75	842,71
-40	842,71	846,66	850,62	854,57	858,53	862,48	866,43	870,38	874,33	878,27	882,22
-30	882,22	886,16	890,1	894,04	897,99	901,92	905,86	909,8	913,73	917,67	921,6
-20	921,6	925,53	929,46	933,39	937,32	941,24	945,17	949,09	953,02	956,94	960,86
-10	960,86	964,78	968,7	972,61	976,53	980,44	984,36	988,27	992,18	996,09	1000
0	1000	1003,9	1007,8	1011,7	1015,6	1019,5	1023,4	1027,3	1031,2	1035,1	1039
10	1039	1042,9	1046,8	1050,7	1054,6	1058,5	1062,4	1066,3	1070,2	1074	1077,9
20	1077,9	1081,8	1085,7	1089,6	1093,5	1097,3	1101,2	1105,1	1109	1112,9	1116,7
30	1116,7	1120,6	1124,5	1128,3	1132,2	1136,1	1140	1143,8	1147,7	1151,5	1155,4
40	1155,4	1159,3	1163,1	1167	1170,8	1174,7	1178,6	1182,4	1186,3	1190,1	1194
50	1194	1197,8	1201,7	1205,5	1209,4	1213,2	1217,1	1220,9	1224,7	1228,6	1232,4
60	1232,4	1236,3	1240,1	1243,9	1247,8	1251,6	1255,4	1259,3	1263,1	1266,9	1270,8
70	1270,8	1274,6	1278,4	1282,2	1286,1	1289,9	1293,7	1297,5	1301,3	1305,2	1309
80	1309	1312,8	1316,6	1320,4	1324,2	1328	1331,8	1335,7	1339,5	1343,3	1347,1
90	1347,1	1350,9	1354,7	1358,5	1362,3	1366,1	1369,9	1373,7	1377,5	1381,3	1385,1
100	1385,1	1388,8	1392,6	1396,4	1400,2	1404	1407,8	1411,6	1415,4	1419,1	1422,9
110	1422,9	1426,7	1430,5	1434,3	1438	1441,8	1445,6	1449,4	1453,1	1456,9	1460,7
120	1460,7	1464,4	1468,2	1472	1475,8	1479,5	1483,3	1487	1490,8	1494,6	1498,3
130	1498,3	1502,1	1505,8	1509,6	1513,3	1517,1	1520,8	1524,6	1528,3	1532,1	1535,8
140	1535,8	1539,6	1543,3	1547,1	1550,8	1554,6	1558,3	1562	1565,8	1569,5	1573,3
150	1573,3	1577	1580,7	1584,5	1588,2	1591,9	1595,6	1599,4	1603,1	1606,8	1610,5
160	1610,5	1614,3	1618	1621,7	1625,4	1629,1	1632,9	1636,6	1640,3	1644	1647,7
170	1647,7	1651,4	1655,1	1658,9	1662,6	1666,3	1670	1673,7	1677,4	1681,1	1684,8
180	1684,8	1688,5	1692,2	1695,9	1699,6	1703,3	1707	1710,7	1714,3	1718	1721,7
190	1721,7	1725,4	1729,1	1732,8	1736,5	1740,2	1743,8	1747,5	1751,2	1754,9	1758,6
200	1758,6	1762,2	1765,9	1769,6	1773,3	1776,9	1780,6	1784,3	1787,9	1791,6	1795,3
210	1795,3	1798,9	1802,6	1806,3	1809,9	1813,6	1817,2	1820,9	1824,6	1828,2	1831,9
220	1831,9	1835,5	1839,2	1842,8	1846,5	1850,1	1853,8	1857,4	1861,1	1864,7	1868,4
230	1868,4	1872	1875,6	1879,3	1882,9	1886,6	1890,2	1893,8	1897,5	1901,1	1904,7
240	1904,7	1908,4	1912	1915,6	1919,2	1922,9	1926,5	1930,1	1933,7	1937,4	1941
250	1941	1944,6	1948,2	1951,8	1955,5	1959,1	1962,7	1966,3	1969,9	1973,5	1977,1
260	1977,1	1980,7	1984,3	1987,9	1991,5	1995,1	1998,7	2002,3	2005,9	2009,5	2013,1
270	2013,1	2016,7	2020,3	2023,9	2027,5	2031,1	2034,7	2038,3	2041,9	2045,5	2049
280	2049	2052,6	2056,2	2059,8	2063,4	2067	2070,5	2074,1	2077,7	2081,3	2084,8
290	2084,8	2088,4	2092	2095,6	2099,1	2102,7	2106,3	2109,8	2113,4	2117	2120,5
300	2120,5	2124,1	2127,6	2131,2	2134,8	2138,3	2141,9	2145,4	2149	2152,5	2156,1

รูปที่ ก.1 ตารางการแปลงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานและอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.