

สำนักงานหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องต้มน้ำสำหรับทดสอบสายเคเบิลตามมาตรฐาน ICEA S 66-524
BOILER FOR CABLE TESTING WITH ICEA S 66-524



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่..... ปีการศึกษา 2545

เลขทะเบียน..... 49893

วัน, เดือน, ปี..... 2 มี.ย. 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น การนำออกจำหน่าย หรือหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2545

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องต้มน้ำสำหรับทดสอบสายเคเบิลตามมาตรฐาน ICEA S 66-524

BOILER FOR CABLE TESTING WITH ICEA S 66-524

ผู้จัดทำ

- | | | |
|----------------|--------------|-----------------------|
| 1. นายกิตติคุณ | ชำนาญไพร | รหัสประจำตัว 42010025 |
| 2. นายปัทมา | อินทรประสงค์ | รหัสประจำตัว 42010197 |
| 3. นายพงศกร | อยู่จันทร์ | รหัสประจำตัว 42010210 |
| 4. นายวิทวัส | พันธ์ตะเกา | รหัสประจำตัว 42010328 |



อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องดัดน้ำสำหรับทดสอบสายเคเบิลตามมาตรฐาน ICEA S 66-524

นายกิตติคุณ	ชำนาญไพโร	(42010025)
นายปัทมา	อินทรประสงค์	(42010197)
นายพงศกร	อยู่จันทร์	(42010210)
นายวิวัฒน์	พันธ์ตะเกา	(42010328)
รศ.ศิริวัฒน์	โพธิเวชกุล (อาจารย์ที่ปรึกษา)	
ปีการศึกษา 2545		

บทคัดย่อ

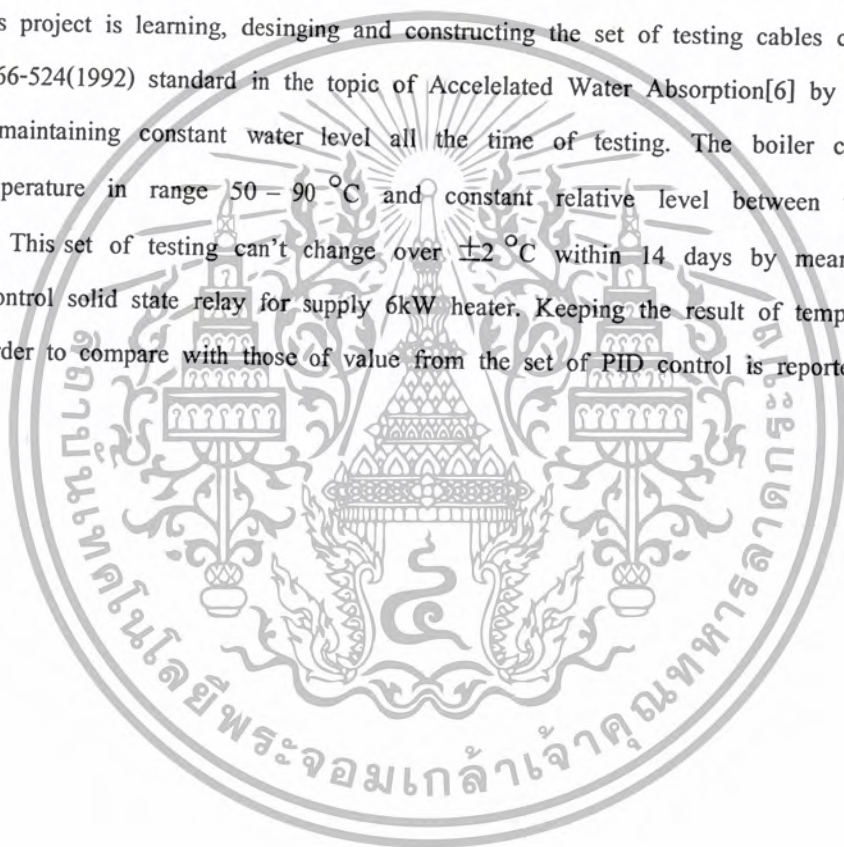
โครงการนี้เป็นการศึกษาออกแบบและจัดสร้าง ชุดทดสอบสายเคเบิลเพื่อใช้ในการทดสอบตามมาตรฐาน ICEA S 66-524 (1992) ในหัวข้อ Accelerated Water Absorption [6] ซึ่งจะต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิของน้ำและรักษาระดับน้ำให้คงที่ตลอดระยะเวลาการทดสอบ เครื่องดัดน้ำสำหรับทดสอบสายเคเบิล สามารถดัดน้ำให้มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 50 – 90 องศาเซลเซียสและรักษาระดับน้ำให้คงที่ โดยมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของน้ำ ภายในเครื่องดัดน้ำจะต้องมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่เกิน ± 2 องศาเซลเซียสภายในระยะเวลา 14 วัน โดยจะอาศัยหลักการควบคุมอุณหภูมิจากชุดควบคุมแบบ PID สั่งงานชุดโซลิตสเตตนำกระแส เพื่อให้ฮีตเตอร์ขนาด 6 กิโลวัตต์ทำงาน ในการเก็บผลอุณหภูมิจะใช้ DATA Recorder เป็นตัวเก็บผลและเปรียบเทียบกับค่าจากชุดควบคุมที่ใช้

BOILER FOR CABLE TESTING WITH ICEA S 66-524

Mr.Kitikhun	Chumnannprai	(42010025)
Mr.Patcha	Intaraprasong	(42010197)
Mr.Phongsakron	Yoojun	(42010210)
Mr.Wittawat	Puntapao	(42010328)
Assoc.Prof. Siriwat	Potivejkul	(Advisor)

Abstract

This project is learning, designing and constructing the set of testing cables conforming to ICEA S 66-524(1992) standard in the topic of Accelerated Water Absorption[6] by controlling water and maintaining constant water level all the time of testing. The boiler can control water's temperature in range $50 - 90^{\circ}\text{C}$ and constant relative level between water and temperature. This set of testing can't change over $\pm 2^{\circ}\text{C}$ within 14 days by means of PID control to control solid state relay for supply 6kW heater. Keeping the result of temperature by DATA Recorder to compare with those of value from the set of PID control is reported.



กิตติกรรมประกาศ

โครงการเครื่องดื่มน้ำสำหรับทดสอบสายเคเบิลตามมาตรฐาน ICEA S 66-524 นี้สำเร็จได้ด้วยดีก็เพราะความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ทางผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

- คุณพ่อ คุณแม่ และญาติ พี่น้องทุกคน ที่ให้การเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน จนมีวันนี้
 - รศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล และครูอาจารย์ทุกท่าน สำหรับความรู้ที่ได้รับ
 - พี่เล็ก พี่เก่ง พี่สิด พี่เม็ก พี่โชติ และพี่ ๆ ป.โท ห้อง Staff 2 ทุกคน ที่คอยให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจ ในทุก ๆ เรื่อง
 - เพื่อนๆ ภาควิชากรรมไฟฟ้าห้อง B, W สำหรับน้ำใจและความเป็นเพื่อนที่ไม่เคยขาดหาย
 - พี่เปี่ยม และเจ้าหน้าที่ห้อง Store สำหรับอุปกรณ์และเครื่องมือ
 - บริษัทไทยสาขาไฟฟ้า จำกัด และบริษัทจรุงไทย วายน์แอนด์เคเบิล จำกัด(มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ได้คู่ต้นแบบเครื่องดื่มน้ำและขั้นตอนการทดสอบ
 - หนังสือทุก ๆ เล่มที่ให้ความรู้จนสามารถทำโปรเจกให้ลุล่วง
 - สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สถานที่ที่ได้ร่ำเรียนมา
- ขอคุณพระศรีรัตนตรัยจงคุ้มครอง ให้มีความสุขความเจริญ กันทุกคนเทอญ

ผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อไทย	I
บทคัดย่ออังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูปภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
1.5 เนื้อหาของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสายเคเบิล	3
2.2 ทฤษฎีที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ	5
2.2.1 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)	5
2.2.2 ทฤษฎีการควบคุมแบบ PID คอนโทรล	8
2.2.3 ฮีตเตอร์ (Heater)	20
2.3 ทฤษฎีที่ใช้ในการควบคุมระดับน้ำ	21
2.3.1 ก้านอิเล็กโทรด (Electrode)	21
2.3.2 โซลินอยด์วาล์ว (Solinoid Value)	22
2.4 วงจรแหล่งจ่ายไฟ (Voltage Regulator)	22
บทที่ 3 การออกแบบ	24
3.1 การออกแบบหม้อต้ม	24
3.1.1 ตัวหม้อ	25
3.1.2 ฉนวนกันความร้อน	25
3.2 การออกแบบส่วนควบคุมอุณหภูมิ	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.1 วงจรที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิ	26
3.2.2 เทอร์โมคัปเปิล	27
3.2.3 วงจรขยายสัญญาณเทอร์โมคัปเปิล	27
3.2.4 ฮีตเตอร์	28
3.3 การออกแบบวงจร PID Control	30
3.4 การออกแบบส่วนควบคุมระดับน้ำ	31
3.4.1 ก้านอิเล็กทรอนิกส์	31
3.4.2 โซลินอยด์วาล์ว	32
3.4.3 วงจรควบคุมระดับน้ำ	32
3.5 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง	34
3.6 การจัดวางอุปกรณ์	35
บทที่ 4 การทดสอบและวิเคราะห์ผล	36
4.1 มาตรฐานการทดสอบ Accelerated Water absorption ที่ระบุไว้ใน ICEA S 66-524	36
4.1.1 เงื่อนไขการทดสอบ	36
4.1.2 อุณหภูมิที่ใช้ในการดัม	36
4.1.3 ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ	36
4.1.4 เวลาที่ใช้ในการดัม	36
4.2 ขั้นตอนในการทดสอบ Accelerated Water absorption ตามมาตรฐาน ICEA S 66-524	36
4.3 ผลการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิ	37
4.4 ผลการทดสอบหม้อต้มน้ำที่อุณหภูมิ 50 °C ถึง 90 °C	39
4.5 ผลการทดสอบหม้อต้มน้ำที่อุณหภูมิ 75 °C	42
4.6 วิเคราะห์ผลการทดสอบ	45
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน	46
5.1 สรุปผลการออกแบบตัวหม้อ	46
5.2 สรุปผลการควบคุมอุณหภูมิ	46
5.3 สรุปคุณสมบัติของเครื่อง	47
5.4 แนวทางในการพัฒนาโครงการในอนาคต	47

ภาคผนวก

เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติเปรียบเทียบเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน Type ต่าง ๆ	7
ตารางที่ 4-1 แสดงค่าต่างๆที่ทดสอบขณะยังไม่ใส่สายเคเบิล	42
ตารางที่ 4-2 แสดงค่าต่างๆที่ทดสอบขณะใส่สายเคเบิล	44



สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2-1 แสดงไคอะแกรมเฟสเซอร์ของกระแสและเฟสเซอร์ของโวลต์เตจ	3
รูปที่ 2-2 รูปวงจรเสมือนแบบขนาน	4
รูปที่ 2-3 แสดงวงจร “ซีเบ็ค โวลต์เตจ”	5
รูปที่ 2-4 ระบบควบคุมวงจรเปิด	9
รูปที่ 2-5 ระบบควบคุมวงจรปิด	9
รูปที่ 2-6 ตัวแปรต่อเนื่อง	10
รูปที่ 2-7 ตัวแปรดิสครีท	10
รูปที่ 2-8 ตัวแปรไม่ต่อเนื่อง	11
รูปที่ 2-9 บล็อก P Controller	11
รูปที่ 2-10 บล็อก P Controller ในรูปสมการลาปลาซ	12
รูปที่ 2-11 บล็อก I Controller	12
รูปที่ 2-12 บล็อก I Controller ในรูปสมการลาปลาซ	13
รูปที่ 2-13 บล็อก PI Controller ในรูปสมการลาปลาซ	14
รูปที่ 2-14 สัญญาณขาเข้า PI Controller แบบ Unit Step	14
รูปที่ 2-15 สัญญาณออกจาก PI Controller	14
รูปที่ 2-16 บล็อก PD Controller ในรูปสมการลาปลาซ	15
รูปที่ 2-17 สัญญาณขาเข้า PD Controller แบบ Unit ramp	15
รูปที่ 2-18 สัญญาณออกจาก PD Controller	16
รูปที่ 2-19 บล็อก PID Controller ในรูปสมการลาปลาซ	17
รูปที่ 2-20 สัญญาณขาเข้า PID Controller แบบ Unit ramp	17
รูปที่ 2-21 สัญญาณออกจาก PID Controller	17
รูปที่ 2-22 เปรียบเทียบผลการตอบสนองของระบบควบคุมต่างๆต่อการ เปลี่ยนแปลงของ Step input	18
รูปที่ 2-23 วงจร P Controller ในรูปของวงจรออปแอมป์	19
รูปที่ 2-24 วงจร I Controller ในรูปของวงจรออปแอมป์	19
รูปที่ 2-25 วงจร PD Controller ในรูปของวงจรออปแอมป์	19
รูปที่ 2-26 วงจร PI Controller ในรูปของวงจรออปแอมป์	20
รูปที่ 2-27 วงจร PID Controller ในรูปของวงจรออปแอมป์	20
รูปที่ 2-28 การใช้งานก้อนอิเล็กทรอนิกส์	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2-29 วงจรใช้งานไอซีเบอร์ 78XX	23
รูปที่ 2-30 วงจรสำหรับใช้งานของตระกูล 78xx และ 79xx	23
รูปที่ 3-1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงาน	24
รูปที่ 3-2 ตัวหม้อ	25
รูปที่ 3-3 ฉนวนแบบใยหิน	26
รูปที่ 3-4 เทอร์โมคัปเปิล type K	27
รูปที่ 3-5 วงจรขยายสัญญาณเทอร์โมคัปเปิล	28
รูปที่ 3-6 ขดลวดความร้อนแบบรัดท่อ	29
รูปที่ 3-7 แสดงการต่อของอุปกรณ์ต่าง ๆ	30
รูปที่ 3-8 แสดงหน้าตู้ควบคุม	30
รูปที่ 3-9 บล็อกไดอะแกรมส่วนควบคุมระดับน้ำ	31
รูปที่ 3-10 ก้านอิเล็กทรอนิกส์	31
รูปที่ 3-11 โซลินอยด์วาล์ว	32
รูปที่ 3-12 วงจรควบคุมระดับน้ำ	33
รูปที่ 3-13 การลดการระเหยของน้ำและการป้องกันไอน้ำเกาะบริเวณสายไฟ	33
รูปที่ 3-14 ถังน้ำสำรอง	34
รูปที่ 3-15 วงจรจ่ายไฟกระแสตรง	34
รูปที่ 3-16 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ต่าง ๆ	35
รูปที่ 3-17 รูปเครื่องคัมน์น้ำพร้อมใช้งาน	35
รูปที่ 4-1 แสดงการทดสอบหม้อต้มน้ำ	37
รูปที่ 4-2 กราฟแสดงอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ PID Control	38
รูปที่ 4-3 การรักษาอุณหภูมิที่ 50°C	39
รูปที่ 4-4 การรักษาอุณหภูมิที่ 60 °C	40
รูปที่ 4-5 การรักษาอุณหภูมิที่ 70 °C	40
รูปที่ 4-6 การรักษาอุณหภูมิที่ 80 °C	41
รูปที่ 4-7 การรักษาอุณหภูมิที่ 90 °C	41
รูปที่ 4-8 กราฟแสดงอุณหภูมิและเวลาขณะที่ยังไม่ใส่สายเคเบิล	43
รูปที่ 4-9 กราฟแสดงอุณหภูมิและเวลาขณะที่ใส่สายเคเบิล	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของโครงการ

ในอุตสาหกรรมการผลิตสายเคเบิล จำเป็นต้องมีการทดสอบสายเคเบิลก่อนที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งหม้อต้มก็เป็นส่วนหนึ่งของเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ และหม้อต้มที่ได้มาตรฐาน ซึ่งสามารถใช้ทดสอบฉนวนของสายไฟในปัจจุบัน ก็มีจำนวนน้อยมากเมื่อเทียบกับความต้องการ และมีราคาค่อนข้างแพงมาก ด้วยเหตุนี้เองจึงได้เกิดแนวความคิดจัดทำโครงการนี้ขึ้น เพื่อให้สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเป็นแหล่งให้บริการการทดสอบฉนวนสายเคเบิล แก่บริษัทและหน่วยงานต่าง ๆ

และเนื่องจากโครงการนี้ มีส่วนของการออกแบบในด้านของตัวหม้อต้ม ที่สามารถใช้ความคิดได้อย่างอิสระ และในส่วนของการควบคุมต่างๆ ก็มีการนำอุปกรณ์ควบคุมชนิดต่างๆ มาทดลองควบคุมและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการควบคุมแบบต่างๆ แล้วตัดสินใจเลือกวิธีการควบคุมที่เหมาะสมกับองค์ประกอบต่างๆ เช่น ตัวหม้อ ฮีตเตอร์ ด้านราคา เป็นต้น แล้วนำมาใช้งาน ซึ่งวิธีการควบคุมอุณหภูมิที่ใช้จะเป็น ทฤษฎีการควบคุมแบบ PID คอนโทรล ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อเทคโนโลยีทั้งในปัจจุบันและในอนาคต จึงคิดว่าโครงการนี้เป็นโครงการหนึ่งที่น่าสนใจ

โดยโครงการนี้ได้ทำการออกแบบหม้อต้มน้ำให้ได้ตามมาตรฐานการทดสอบ ซึ่งจะควบคุมอุณหภูมิ , ระดับน้ำ ให้คงที่ตลอดระยะเวลาการทดสอบ และจะควบคุมตลอดระยะเวลาการทดสอบ 14 วัน ในส่วนของการเก็บข้อมูล จะทำการเก็บข้อมูลค่าของผลอุณหภูมิจาก Data Recorder เปรียบเทียบการผลที่แสดงออกทางชุดควบคุม มีค่าความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ให้ได้ตามมาตรฐาน ICEA S 66-524

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- ศึกษามาตรฐาน ICEA S 66-524 เพื่อทำการออกแบบและจัดทำหม้อต้มสายเคเบิล
- ออกแบบและจัดทำหม้อต้มเพื่อรองรับการทดสอบสายเคเบิลในปัจจุบัน
- ออกแบบและจัดทำหม้อต้มสายเคเบิลที่มีต้นทุนต่ำและได้มาตรฐาน เพื่อเป็นต้นแบบในการผลิตจำหน่ายในเชิงธุรกิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- หม้อต้มใช้รูปทรงกระบอกขนาด 200,960 ลูกบาศก์เซนติเมตร รัศมี 40 cm. สูง 40 cm. ใช้ขดลวดความร้อนขนาด 2 กิโลวัตต์ จำนวน 3 ตัว ต่อแบบขนานใช้กับไฟ 1 เฟส 50Hz , 220 V ในการจ่าย และตรวจจับอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K
- สร้างวงจรที่ใช้ในการควบคุมการจ่ายพลังงานให้ขดลวดความร้อนเพื่อทำอุณหภูมิในหม้อต้มในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 50-90 องศาเซลเซียส และเปรียบเทียบการควบคุมแบบต่างๆ
- หม้อต้มสามารถทำการทดสอบสายเคเบิลตามมาตรฐาน ICEA S 66-524 ได้

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- ได้เครื่องต้นแบบเพื่อทดสอบสายเคเบิลที่ได้มาตรฐานและมีต้นทุนการผลิตต่ำ
- ใช้ทดสอบสายเคเบิลได้ตามที่มาตรฐาน ICEA S 66-524 กำหนด
- ทำให้ได้ความรู้จากการทำเพื่อไปประยุกต์ใช้พัฒนาอย่างอื่นต่อไป

1.5 เนื้อหาของปริญญานิพนธ์

เนื้อหาของปริญญานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงตั้งแต่ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องตั้งแต่ มาตรฐาน ICEA S 66-524 ทฤษฎีของ PID Control ,ทฤษฎีการควบคุมระดับน้ำ การออกแบบส่วนประกอบต่างๆของโครงการ ผลของการทดสอบ ผลของการควบคุมอุณหภูมิ การสรุปผลผลและแนวทางในการพัฒนาต่อไป ซึ่งจะกล่าวไว้โดยแยกเป็นบทๆ

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสายเคเบิลที่ใช้ทดสอบ

ค่าการปาดและค่าแฟกเตอร์พลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริก ($C\text{-tan}\delta$ in Dielectric Material)

ค่าพลังงานที่สูญเสียในไดอิเล็กตริก (Dielectric) ภายใต้การป้อนโวลเตจ เรียกว่า พลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริก (Dielectric loss) ; P

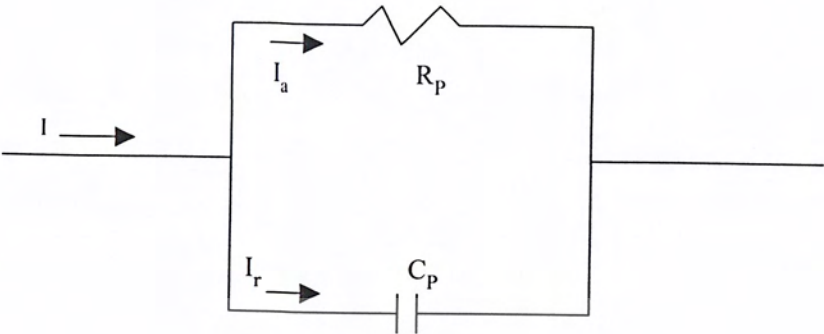


มุมพลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริก (Dielectric loss angle ; δ) คือ มุมที่รวมกับมุมเฟสของไดอิเล็กตริก (ϕ) ได้ 90 องศา มุม ϕ คือ มุมต่างกันระหว่างเฟสเซอร์ของโวลเตจและเฟสเซอร์ของกระแส เมื่อป้อนโวลเตจกระแสกลับแก่วงจรคาปาซิทีฟ ในอุดมคติแล้ววงจรคาปาซิทีฟจะมีเฟสเซอร์ของกระแสนำหน้าเฟสเซอร์ของโวลเตจอยู่ 90 องศา และ $\delta = 0$ แต่ในความเป็นจริงแล้ว กระแส I (ดูรูปที่ 2-1) จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ กระแสแอคทีฟ I_u และกระแสรีแอคทีฟ I_r และจะได้

$$\delta = 90 - \phi \quad (2.1)$$

ไดอิเล็กตริกโดยทั่วไปเมื่อป้อนโวลต์เตจจะเป็นวงจรเสมือนแบบขนาน (Parallel equivalent circuit)
วงจร สมมูลจะเป็นแบบขนาน R, C ดังรูปที่ 2-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-2 วงจรเสมือนแบบขนาน

จากรูปที่ 2-2 จะได้ว่า

$I_r = U \omega C_p$ (2.2)

$I_a = \frac{U}{R}$ (2.3)

$\tan \delta = \frac{I_r}{I_a} = \frac{1}{\omega C_p R_p}$ (2.4)

พลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริก (dielectric loss) คือ

$P = U \omega C \tan \delta$ (2.5)

หรือ

$P = \frac{U^2}{R}$ (2.6)

แฟกเตอร์พลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริก ($\tan \delta$) คือค่าแทนเจนต์ของมุม δ เป็นอัตราส่วนระหว่าง กระแสแอคทีฟและกระแสรีแอคทีฟและ

2.2 ทฤษฎีที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ

2.2.1 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

หลักการของเทอร์โมคัปเปิลมีอยู่ว่า เมื่อนำลวดโลหะ 2 เส้นที่ทำด้วยโลหะต่างชนิดกันมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกัน ถ้าปลายจุดต่อทั้งสองมีอุณหภูมิต่างกัน จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเส้นลวดทั้งสองนี้ โดยปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง และถ้าเปิดปลายจุดต่อข้างหนึ่งออก จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นที่ปลายด้านที่เปิด แรงเคลื่อนไฟฟ้านี้เรียกว่า “ซีเบ็ค โวลต์เตจ” (Seebeck Voltage)



รูปที่ 2-3 แสดงวงจร “ซีเบ็ค โวลต์เตจ”

ปริมาณของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะแปรผันโดยตรงกับผลต่างอุณหภูมิของปลายจุดต่อทั้งสอง โดยมี ความสัมพันธ์ดังนี้

$$e_{AB} = \alpha \Delta T \quad (2.7)$$

เมื่อ e_{AB} คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้ (Seebeck Voltage)
 α คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของซีเบ็ค (Seebeck Coefficient) เป็นค่าคงที่มีหน่วยเป็น Vol/K
 ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิของปลายจุดต่อทั้งสอง

กฎการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากความร้อน (Thermoelectric Laws)

1. กฎของวงจรโลหะชนิดเดียวกัน (Law of the Homogeneous Circuit) ในวงจรที่ประกอบขึ้นด้วยโลหะชนิดเดียวกัน จะไม่เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ ณ ปลายจุดต่อทั้งสอง

กระแสไฟฟ้าจะเกิดขึ้นในกรณีที่ลวดทั้งสองเป็นโลหะต่างชนิดกันเท่านั้น แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง

2. กฎของโลหะแทรก (Law of Intermediate Metals) ในวงจรเทอร์โมคัปเปิล ถ้ามีโลหะแทรกอยู่ในส่วนหนึ่งส่วนใดของวงจร หากจุดต่อของปลายโลหะแทรกทั้งสองมีอุณหภูมิเท่ากันแล้ว โลหะแทรกนี้จะไม่มีส่วนต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ในทางปฏิบัติมีอยู่เสมอ เช่น ขั้วต่อ หรือสายทองแดงที่ใช้ต่อเข้ามิเตอร์

3. กฎของอุณหภูมิแทรก (Law of Intermediate Temperature) แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น โดยเทอร์โมคัปเปิลชุดใด ๆ ที่มีอุณหภูมิที่จุดต่อต่างกัน จะมีค่าเท่ากับผลบวกทางพีชคณิตของแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิลชุดนั้น

ปรากฏการณ์ของเทอร์โมคัปเปิล (Phenomena) ที่ควรทราบ

1. ในเทอร์โมคัปเปิลคู่เดียวกัน อุณหภูมิที่มีผลคือ อุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสองเท่านั้น อุณหภูมิบนจุดต่าง ๆ ตามสายจะไม่มีผลต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น
2. การต่อขั้วเทอร์โมคัปเปิลเข้าด้วยกัน ผลที่ได้คือแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ย
3. การต่อเทอร์โมคัปเปิลสองชุดกลับขั้วกันเป็นการวัดผลต่างของอุณหภูมิ
4. การเพิ่มเทอร์โมคัปเปิลที่จุดวัดอุณหภูมิหนึ่ง จะไม่มีผลต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น
5. การต่ออนุกรมเทอร์โมคัปเปิล แรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะเป็นผลรวมของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชุด

เทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน

เทอร์โมคัปเปิลมีหลายชนิด (Type) ให้เลือก แล้วแต่ย่านอุณหภูมิ และลักษณะการใช้งาน โดยความแตกต่างของแต่ละชนิดนี้ เกิดจากการเลือกใช้วัสดุ (Element) ของโลหะ ที่จะนำมาเชื่อมเข้าด้วยกันให้แตกต่างกัน เพราะโลหะแต่ละชนิดย่อมมีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะตัวของมันอยู่แล้ว เมื่อนำโลหะชนิดต่าง ๆ กันมาจับคู่เข้าด้วยกัน จะทำให้คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลที่ได้แตกต่างกันไป นอกจากนี้ ได้มีการทดลองผสมโลหะต่างชนิดกันเข้าด้วยกัน เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของโลหะเดิมให้ดีขึ้น หรือเพื่อใช้แทนโลหะบางชนิดที่ใช้อยู่เดิม เช่น แพลทินัม เนื่องจากมีราคาสูง ตัวอย่างโลหะผสมที่เกิดขึ้น เช่น

โครเมล (Cromel) คือ นิกเกิล 90% + โครเมียม 10%

อลูเมล (Alumel) คือ นิกเกิล 95% + อลูมิเนียม 2% + แมงกานีส 2% + ซิลิกอน 1%

คอนสแตนแตน (Constantan) คือ ทองแดง 60% + นิกเกิล 40% เป็นต้น

การใช้งานเทอร์โมคัปเปิล ควรเลือกใช้ให้ถูกต้องและเหมาะสมกับงานนั้น ๆ โดยสิ่งที่ควรพิจารณา มีหลายข้อ เช่น ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้งาน, ราคา, ความก่กร่อนของสารที่เทอร์โมคัปเปิลสัมผัส, ลักษณะบรรยากาศที่เป็น Oxidizing, Reducing, Inert หรือ Vacuum เป็นต้น

ส่วนประกอบของเทอร์โมคัปเปิล

1. ตัวเทอร์โมคัปเปิล คือส่วนที่นำเส้นลวด 2 เส้นมาเชื่อมต่อกันด้วยวิธีต่าง ๆ เพื่อเป็นจุดใช้วัดอุณหภูมิ
2. ครอบโลหะป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิล (Metal Sheath) คือส่วนที่หุ้มคู่สายของเทอร์โมคัปเปิล เพื่อให้มีความเรียบร้อยและแข็งแรง ลักษณะการประกอบตัวเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับ Metal Sheath มีหลายแบบ ได้แก่
 - 2.1 แบบเปลือย - จุดต่อสำหรับวัดไม่มี Metal Sheath หุ้ม, ให้ผลการวัดไวที่สุด แต่ชำรุดง่ายและอายุการใช้งานสั้น
 - 2.2 แบบ Ungrounded Junction - จุดต่อของคู่สายไม่เชื่อมต่อกับอยู่กับ Metal Sheath ,ทนทานที่สุด แต่ให้ผลการวัดช้า
 - 2.3 แบบ Grounded Junction - สายทั้งคู่ของเทอร์โมคัปเปิลถูกเชื่อมต่อกับลงบน Metal Sheath , ให้ผลการวัดไวกว่าแบบ Ungrounded Junction แต่ถ้ามีกระแสไฟฟ้ารั่วจากอุปกรณ์อื่นมาที่ Metal Sheath จะทำให้ผลการวัดผิดพลาดได้
3. ฉนวนของเทอร์โมคัปเปิล เป็นส่วนที่ใช้กั้นระหว่างตัวเทอร์โมคัปเปิลกับ Metal Sheath ส่วนใหญ่จะเป็นสารประเภท แมกนีเซียมออกไซด์, อะลูมิเนียมออกไซด์ หรือเบอริลเลียมออกไซด์
4. เทอร์โมเวลล์ (Thermowell) ใช้เสริมความแข็งแรงให้ตัวเทอร์โมคัปเปิล และป้องกันไม่ให้เทอร์โมคัปเปิลสัมผัสกับสารที่ต้องการวัดอุณหภูมิโดยตรง
5. Extension Wire คือสายที่ใช้ในการเชื่อมต่อ หรือต่อเพิ่มจากตัวเทอร์โมคัปเปิลที่มีอยู่แล้ว

ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติเปรียบเทียบเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน Type ต่าง ๆ

Type	ส่วนผสม	ย่านอุณหภูมิใช้งาน		แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้ mV
		°C	°F	
B	แพลทินัม – 30% โรเดียม	0 ถึง 1820	32 ถึง 3310	0 ถึง 13.814
R	แพลทินัม – 6% โรเดียม			
	แพลทินัม – 13% โรเดียม	- 50 ถึง 1768	- 60 ถึง 3210	-02.26 ถึง 21.108
S	แพลทินัม			
	แพลทินัม – 6% โรเดียม	- 50 ถึง 1768	- 60 ถึง 3210	-0.236 ถึง 18.698
J	แพลทินัม			
K	เหล็ก/คอนสแตนแตน	- 210 ถึง 760	- 350 ถึง 1400	-8.096 ถึง 42.922
K	โครเมิล/อะลูเมล	- 270 ถึง 1372	- 450 ถึง 2500	-6.458 ถึง 54.875
T	ทองแดง/คอนสแตนแตน	- 270 ถึง 400	- 450 ถึง 750	-6.258 ถึง 20.869
E	โครเมิล/คอนสแตนแตน	- 270 ถึง 1000	- 450 ถึง 1830	-9.835 ถึง 76.358
แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดกับจุดเยือกแข็งของน้ำ				

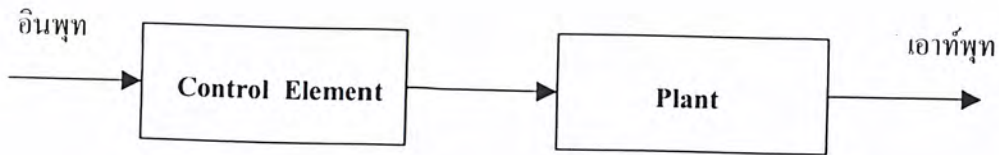
2.2.2 ทฤษฎีการควบคุมแบบ PID ก่อนโทรล

ชนิดของระบบควบคุม

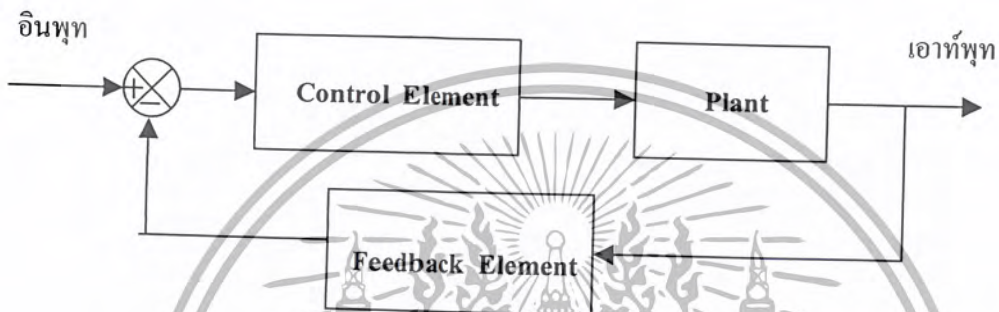
ระบบควบคุมสามารถจำแนกออกเป็นชนิดใหญ่ๆ สองกลุ่มคือ ระบบควบคุมวงจรมีการเปิดและระบบควบคุมวงจรมีการปิด

ระบบควบคุมที่แสดงอยู่ในรูปวงจรที่ 2.4 นั้นจะพบว่าอินพุตที่เข้าสู่ระบบจะนำมาใช้ควบคุมเอาต์พุตโดยตรง ความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตกับอินพุตจะเป็นตัวบอกถึงคุณลักษณะของพลานต์และองค์ประกอบส่วนควบคุม (Control Element) ในกรณีของระบบควบคุมวงจรมีการปิดที่แสดงในรูปที่ 2.5 นั้นพบว่าอินพุตถูกปรับเปลี่ยนด้วยเอาต์พุตที่ได้ก่อนที่จะป้อนเข้าสู่ระบบควบคุม เนื่องจากเอาต์พุตถูกป้อนกลับมาผ่านทางอุปกรณ์ส่วนป้อนกลับ (Feedback Element) เพื่อหักล้างกับอินพุต โดยทั่วไปจึงเรียกระบบปิดว่า ระบบควบคุมป้อนกลับแบบลบ (Negative Feedback System) หรืออาจเรียกง่ายๆ ว่า ระบบควบคุมป้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-4 ระบบควบคุมวงจเปิด



รูปที่ 2-5 ระบบควบคุมวงจปิด

ระบบจะเป็นเชิงเส้น (linear) ถ้าหากว่าทุกองค์ประกอบต่างก็เป็นเชิงเส้น และระบบจะไม่เป็นเชิงเส้นถ้าทุกองค์ประกอบต่างไม่เป็นเชิงเส้น

ระบบไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (time-invariant system) เป็นระบบที่มีพารามิเตอร์ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา เอาต์พุตที่ได้จากระบบดังกล่าวจะไม่ขึ้นกับเวลา ดังนั้นสัมประสิทธิ์ของสมการอนุพันธ์ที่ใช้อธิบายระบบดังกล่าวจะเป็นค่าคงที่ ส่วนระบบที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (time-variant system) นั้นจะมีสัมประสิทธิ์ของสมการอนุพันธ์เป็นตัวแปรของเวลา

ระบบดีเทอร์มินิสติก (deterministic) เป็นระบบที่สามารถทำนายและเกิดการซ้ำได้ถ้าไม่เช่นนั้นแล้วระบบดังกล่าวจะเรียกว่าสโตคาสติกหรือแรนดอม (stochastic or random) ดังนั้นการวิเคราะห์ระบบแบบสโตคาสติกจะใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็น (probability theory) ช่วยในการประมวลผล

ระบบตัวแปรเดียว (single variable system) เป็นระบบที่เพียงหนึ่งอินพุตและหนึ่งเอาต์พุต ส่วนระบบหลายตัวแปร (multivariable) จะมีหลายอินพุตและหลายเอาต์พุต

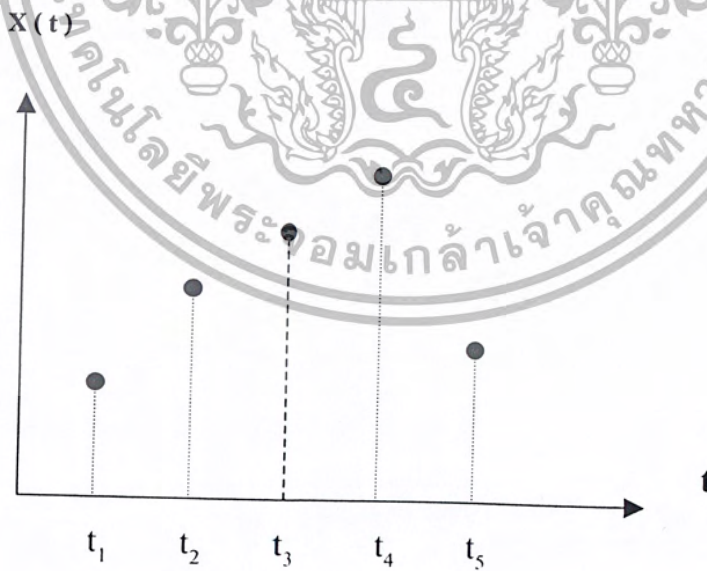
ระบบตัวแปรต่อเนื่อง (continuous-variable system) เป็นระบบที่ทุกตัวแปรมีความต่อเนื่องในแกนเวลา ซึ่งจะนำไปอธิบายสมการอนุพันธ์ของระบบ ระบบตัวแปรดิสครีต (discrete-variable system) จะมีหนึ่งตัวแปรหรือมากกว่านั้นที่รู้ค่าช่วงเวลาในช่วงเวลาหนึ่ง สมการที่ใช้ในระบบดิสครีตนี้เรียกว่า สม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การความแตกต่าง (difference equation) ระบบตัวแปรไม่ต่อเนื่อง (discontinuous variable system)
 สัญญาณที่ใช้ในระบบจะมีลักษณะเป็นการปิด - เปิด (on - off)

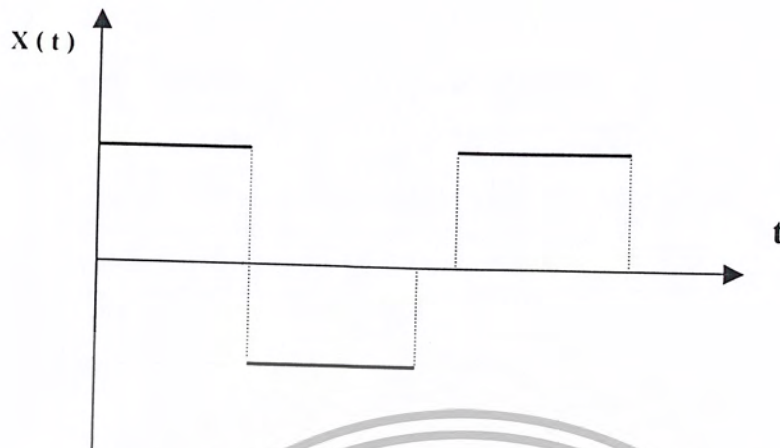


รูปที่ 2-6 ตัวแปรต่อเนื่อง



รูปที่ 2-7 ตัวแปรดิสกรีท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



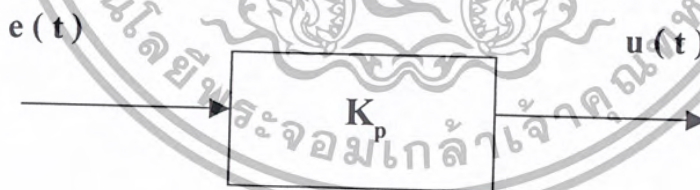
รูปที่ 2-8 ตัวแปรไม่ต่อเนื่อง

การควบคุมในแบบต่าง

แบบของการควบคุมที่จะกล่าวถึงในหลักๆ ก็มีอยู่ 5 แบบด้วยกัน ดังนี้

P Controller (Proportional Controller)

ในระบบ P คอนโทรลนี้ รูปแบบการคอนโทรลจะมีลักษณะอย่างบล็อกไดอะแกรมดังนี้

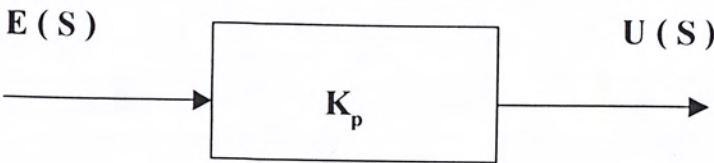


รูปที่ 2-9 บล็อก P Controller

$e(t)$ คือ สัญญาณขาเข้า (Actuating error signal)

$u(t)$ คือ สัญญาณขาออก (Output of Controller)

รูปแบบสมการลาปลาซ



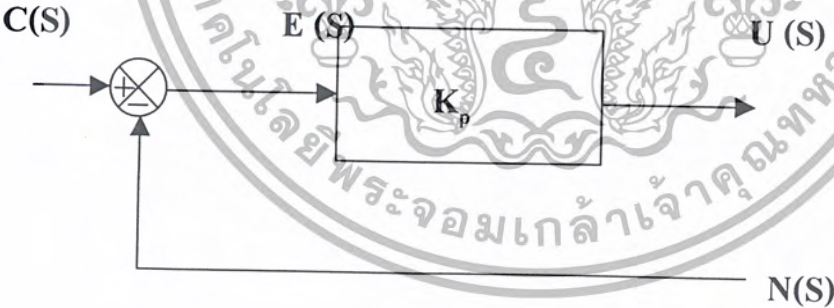
รูปที่ 2-10 บล็อก P Controller ในรูปสมการลาปลาซ

$$\frac{U(S)}{E(S)} = K_p \tag{2.8}$$

K_p คือ อัตราการขยาย (Proportional gain)

I Controller (Integral Controller)

รูปแบบของการควบคุมแบบ I คอนโทรล ถ้าของเอาต์พุต ($U(t)$) จะถูกเปลี่ยนไปเป็นสัดส่วนกับ $e(t)$ รูปแบบของบล็อก I Controller เป็นดังนี้



รูปที่ 2-11 บล็อก I Controller

$$\frac{d u(t)}{dt} = K i c(t) \tag{2.9}$$

$$u(t) = K_i \int e(t) dt \tag{2.10}$$

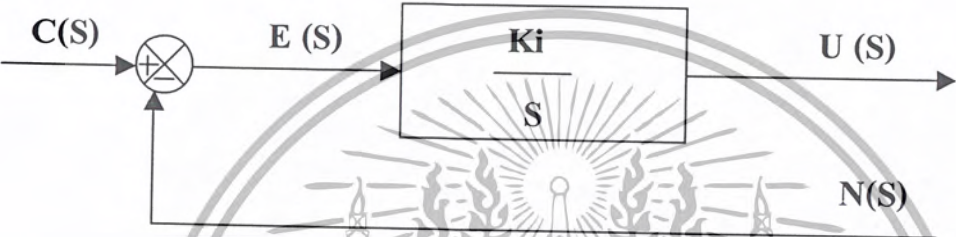
K_i = adjustable Constant

ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน ของ I Controller

$$\frac{U(S)}{E(S)} = \frac{K_i}{S}$$

(2.11)

สามารถเขียนทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันให้อยู่ในรูปบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



รูปที่ 2-12 บล็อก I-Controller ในรูปสมการลาปลาซ

PI Controller

รูปแบบการควบคุมของ PI Controller สามารถอธิบายได้เป็นสมการดังนี้

$$U(t) = K_p e(t) + K_p \int \frac{e(t)}{T_i} dt$$

(2.12)

เมื่อเปลี่ยนรูปสมการมาอยู่ในรูปสมการแบบทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน

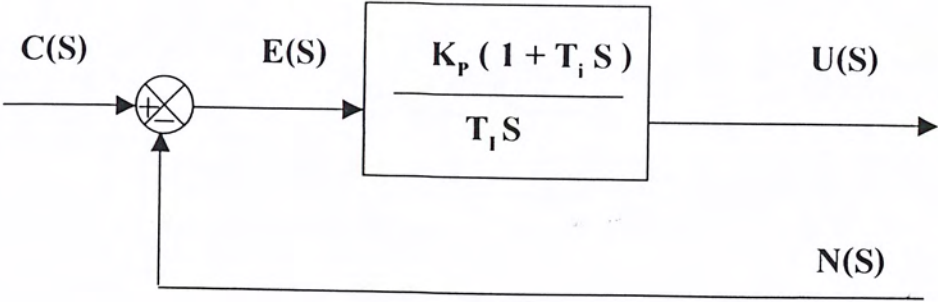
$$U(S) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i S} \right)$$

(2.13)

K_p = proportional gain

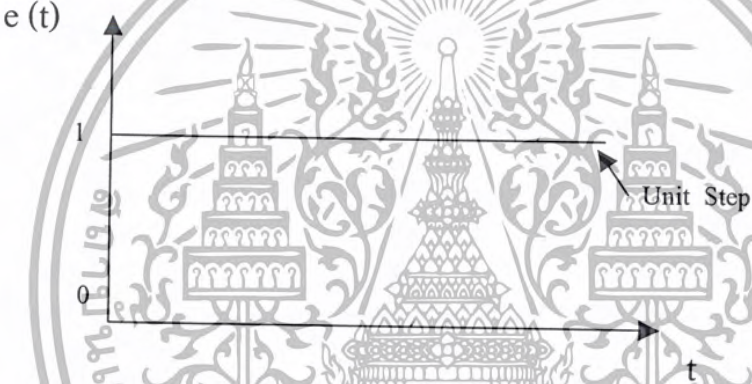
T_i = integral time

$1/T_i$ = reset rate



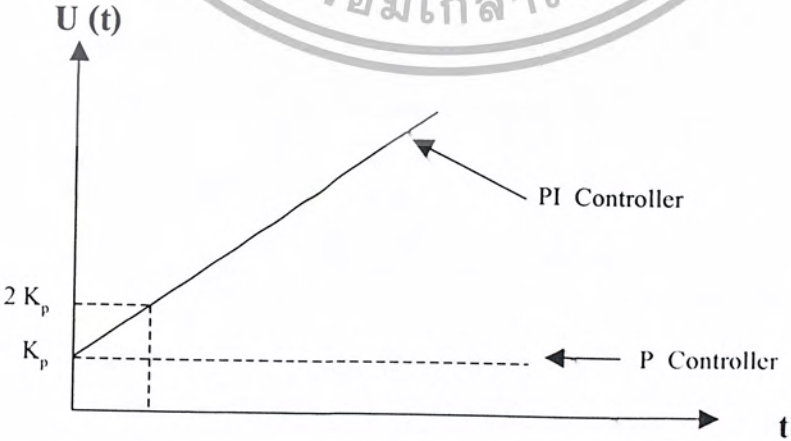
รูปที่ 2-13 บล็อก PI Controller ในรูปสมการลาปลาซ

เมื่อให้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณรูปกราฟ Unit Step ดังนี้



รูปที่ 2-14 สัญญาณขาเข้า PI Controller แบบ Unit Step

เมื่อให้สัญญาณอินพุตตามรูปแล้ว จะได้สัญญาณเอาต์พุตออกจาก PI Controller ดังรูป



รูปที่ 2-15 สัญญาณออกจาก PI Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PD Controller

รูปแบบการควบคุมของ PD Controller สามารถอธิบายได้เป็นสมการดังนี้

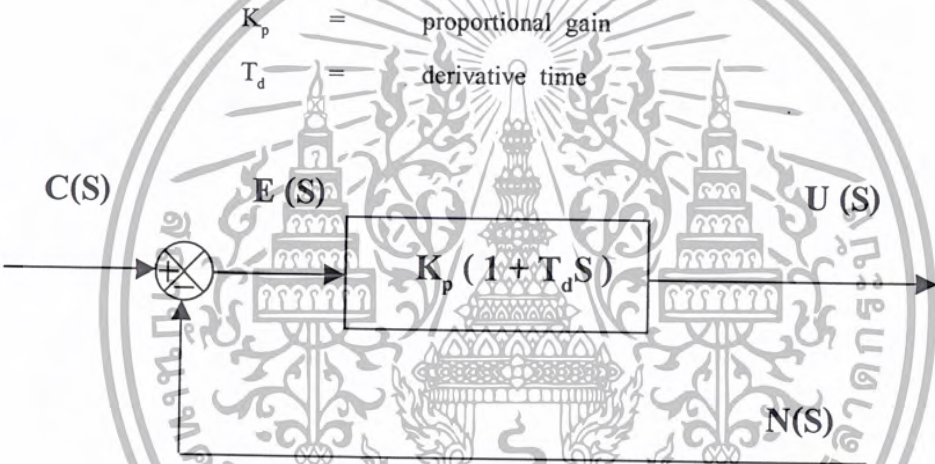
$$U(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{d e(t)}{dt}$$

(2.14)

เมื่อเปลี่ยนรูปสมการมาอยู่ในรูปสมการแบบทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน

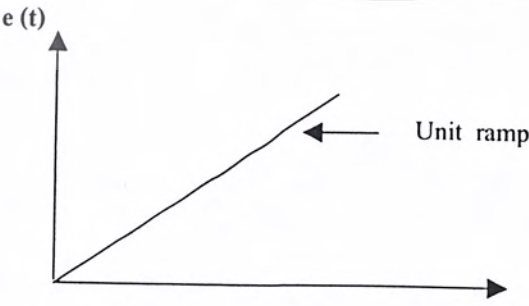
$$\frac{U(S)}{E(S)} = K_p (1 + T_d S)$$

(2.15)



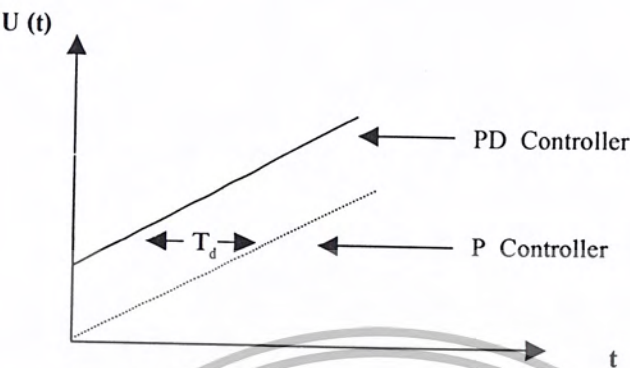
รูปที่ 2-16 บล็อก PD Controller ในรูปสมการลาปลาซ

เมื่อให้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณรูปกราฟ Unit ramp ดังนี้



รูปที่ 2-17 สัญญาณขาเข้า PD Controller แบบ Unit ramp

เมื่อให้สัญญาณอินพุตตามรูปแล้ว จะได้สัญญาณเอาต์พุตออกจาก PD Controller ดังรูป



รูปที่ 2-18 สัญญาณออกจาก PD Controller

- การควบคุมแบบ PD Controller มีข้อดีและข้อเสียดังนี้
- ข้อดี สามารถตอบสนองช่วง Transient ได้ดี และรวดเร็ว
 - ข้อเสีย อาจเกิด noise เนื่องจาก Amplifier สูง และ Saturated effect ของ Actuator

PID Controller

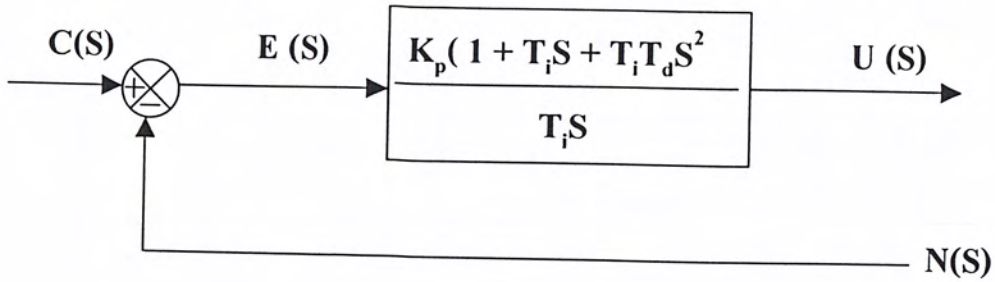
รูปแบบการควบคุมของ PD Controller สามารถอธิบายได้เป็นสมการดังนี้

$$U(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \tag{2.15}$$

เมื่อเปลี่ยนรูปสมการมาอยู่ในรูปสมการแบบทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน

$$\frac{U(S)}{E(S)} = K_p (1 + T_d S) \tag{2.16}$$

- K_p = proportional gain
 T_i = integral time
 T_d = derivative time



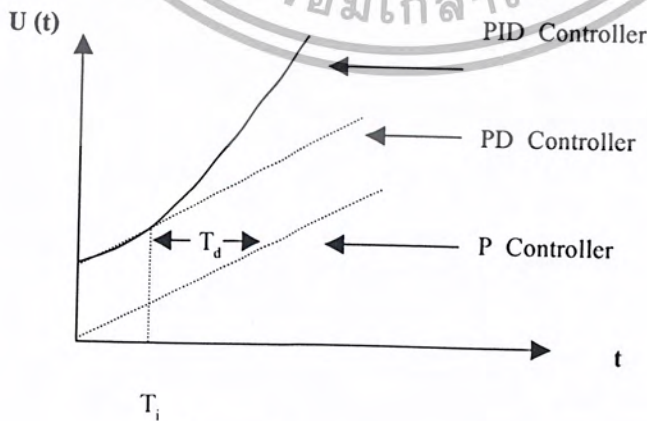
รูปที่ 2-19 บล็อก PID Controller ในรูปสมการลาปลาซ

เมื่อให้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณรูปกราฟ Unit ramp ดังนี้



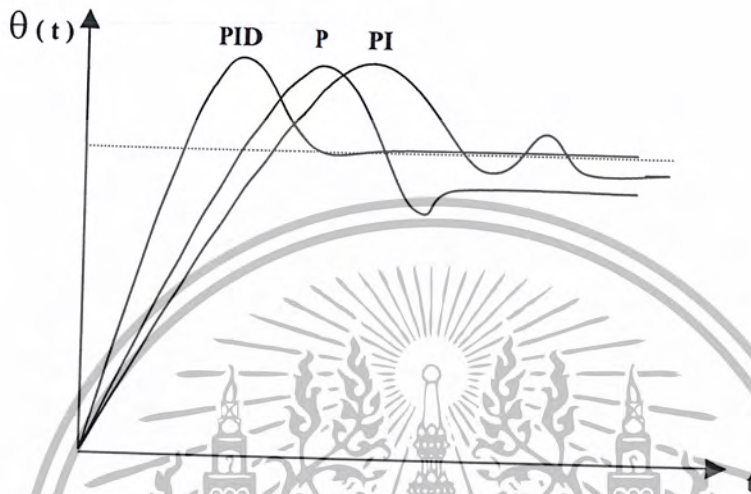
รูปที่ 2-20 สัญญาณเข้า PID Controller แบบ Unit ramp

เมื่อให้สัญญาณอินพุตตามรูปแล้ว จะได้สัญญาณเอาต์พุตออกจาก PD Controller ดังรูป



รูปที่ 2-21 สัญญาณออกจาก PID Controller

ในการใช้ทฤษฎีการควบคุมที่กล่าวมาแล้วนั้นมาใช้งานจริง นิยมใช้การควบคุมแบบ PI Controller , P Controller และ PID Controller แล้วแต่ลักษณะของการควบคุม ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบผลการตอบสนองของระบบควบคุมต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงของ Step input (θ, t) ได้กราฟดังนี้

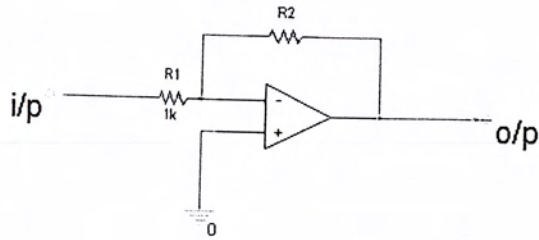


รูปที่ 2-22 เปรียบเทียบผลการตอบสนองของระบบควบคุมต่างๆต่อการเปลี่ยนแปลงของ Step input (θ, t)

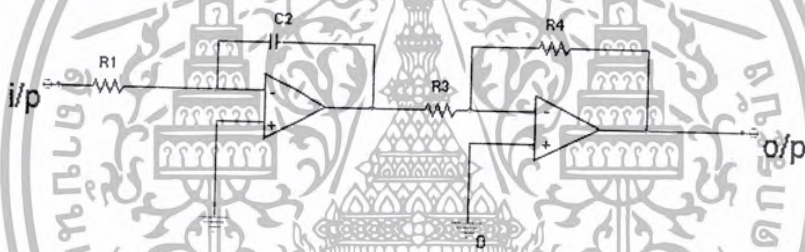
จากกราฟอธิบายเปรียบเทียบระบบควบคุมทั้ง 3 ระบบ ได้ดังนี้

- PID Controller - ผลการตอบสนองเร็ว ไม่มีการ Oscilate และไม่มี off set
- P Controller - ช่างไรดีไหมปานกลาง และมี off set
- PI Controller - เกิด Overshoot แต่ไม่มี off set

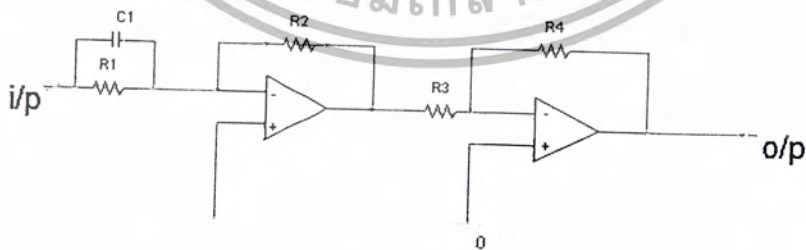
วงจรของระบบควบคุมแบบต่างๆ ในรูปแบบของวงจรออปแอมป์



รูปที่ 2-23 วงจร P Controller ในรูปของวงจรออปแอมป์

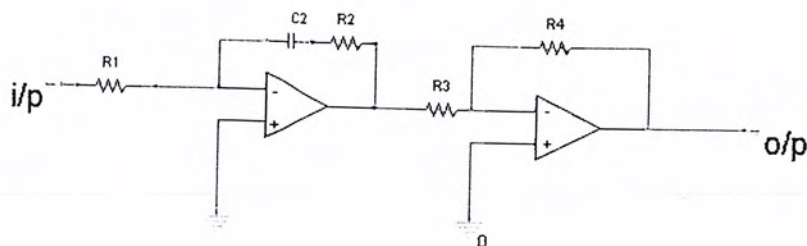


รูปที่ 2-24 วงจร I Controller ในรูปของวงจรออปแอมป์

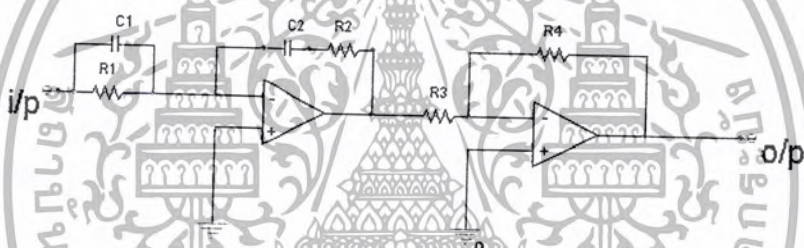


รูปที่ 2-25 วงจร PD Controller ในรูปของวงจรออปแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-26 วงจร PI Controller ในรูปของวงจรออปแอมป์



รูปที่ 2-27 วงจร PID Controller ในรูปของวงจรออปแอมป์

2.2.3 ฮีตเตอร์ (Heater)

ฮีตเตอร์ เป็นอุปกรณ์ทำความร้อนในอุตสาหกรรม ที่มีหลักการพื้นฐานคือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านลวดตัวนำที่มีค่าความต้านทานสูง ลวดตัวนำจะร้อนขึ้น ดังนั้นลวดที่ใช้ผลิตฮีตเตอร์จะต้องมีคุณสมบัติเหนียว และทนอุณหภูมิได้สูง เช่น นิกเกิล, โครเมียม เป็นต้น

ส่วนประกอบอีกส่วนที่สำคัญคือ ฉนวน (แมกนีเซียมออกไซด์) ซึ่งทำหน้าที่กั้นกลางอยู่ระหว่างลวดฮีตเตอร์กับปลอกโลหะ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดกระแสรั่ว (Leak Current) จากลวดฮีตเตอร์ออกไปยังผิวโลหะ ซึ่งต้องมีคุณสมบัติมีค่าความนำไฟฟ้าต่ำแต่ทำความร้อนดีมาก จุดสำคัญคือ ห้ามมีความชื้นในฉนวนเด็ดขาด เพราะจะทำให้ค่าความนำไฟฟ้าสูงขึ้น ทำให้อาจมีกระแสรั่วได้ ซึ่งหากมีความชื้นแก้ไขได้โดยการอบในเตาอบ

ฮีตเตอร์ถูกแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ตามลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. ฮีตเตอร์แท่ง (Cartridge Heater) ใช้ให้ความร้อนกับวัสดุที่เป็นของแข็ง เช่น เหล็ก และ โลหะต่าง ๆ ตัวอย่างการใช้งาน เช่น งานบรรจุหีบห่อ งานขึ้นรูปพลาสติก
2. ฮีตเตอร์ครีบ (Finned Heater) และฮีตเตอร์ท่อกลม ใช้ให้ความร้อนกับอากาศ เช่น ใช้ในห้องอบแห้ง ในเตาอบ
3. ฮีตเตอร์จุ่ม (Immersion Heater) บางทีเรียกว่า ฮีตเตอร์ดัมน้ำ ใช้ให้ความร้อนกับของเหลวทุกชนิด ตัวอย่างการใช้งาน เช่น งานดัมน้ำ – ดัมน้ำมัน งานผสมสาร
- บอบบินฮีตเตอร์ (Bobbin Heater) ใช้ให้ความร้อนของเหลวเหมือนฮีตเตอร์จุ่ม สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย
4. ฮีตเตอร์อินฟราเรด (Infrared Heater) ใช้ให้ความร้อนกับวัตถุโดยไม่ต้องสัมผัสโดยตรง ไม่เหมาะสมกับวัตถุที่มีลักษณะมันวาว เนื่องจากวัตถุมันวาวจะมีคุณสมบัติสะท้อนแสง ทำให้ไม่สามารถดูดซับรังสีอินฟราเรดได้อย่างเต็มที่ ที่ติดตั้งในเตาอบ หรือเหนือคอนเวเยอร์ได้
5. ฮีตเตอร์รัดท่อ (Band Heater) ใช้ให้ความร้อนกับของเหลวที่อยู่ในท่อ หรือถึงรูปทรงกระบอก
6. ฮีตเตอร์แผ่น (Strip Heater) ใช้ให้ความร้อนโดยแนบกับวัตถุโดยตรง

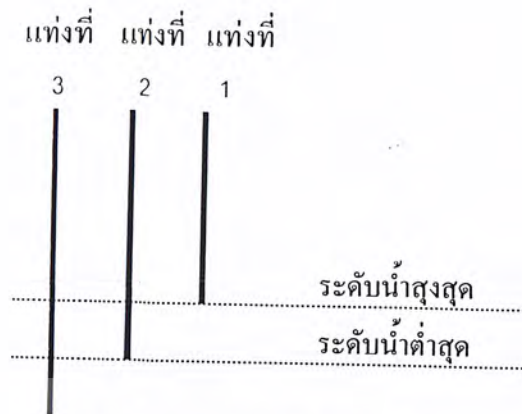
2.3 ทฤษฎีที่ใช้ในการควบคุมระดับน้ำ

2.3.1 ก้านอิเล็กโทรด (Electrode)

ก้านอิเล็กโทรด คืออุปกรณ์ที่ใช้วัดระดับน้ำชนิดหนึ่ง มีลักษณะเป็นแท่งตัวนำยาว ๆ ในการใช้งานปกติจะใช้แท่งตัวนำ 3 แท่ง ซึ่งแต่ละแท่งจะมีความยาวไม่เท่ากัน ดังนี้

1. แท่งที่สั้นที่สุด (แท่งที่ 1) คือ แท่งตัวนำควบคุมระดับสูงสุดของระดับน้ำ
2. แท่งที่ยาวปานกลาง (แท่งที่ 2) คือ แท่งตัวนำควบคุมระดับต่ำสุดของระดับน้ำ
3. แท่งที่ยาวที่สุด (แท่งที่ 3) คือ แท่งตัวนำที่ทำหน้าที่นำไฟฟ้ารวมของแท่งที่ 1 และ แท่งที่ 2

หลักการทำงาน คือ เมื่อระดับน้ำอยู่ในช่วงปกติจะมีการนำไฟฟ้าระหว่างแท่งที่ 2 และ แท่งที่ 3 ดังนั้นถ้าหากระดับน้ำต่ำกว่าปกติ แท่งที่ 2 จะไม่นำไฟฟ้าและหากระดับน้ำสูงกว่าปกติ จะมีการนำไฟฟ้าเกิดขึ้นในแท่งที่ 1



รูปที่ 2-28 การใช้งานก้านอิเล็กทรอนิกส์

2.3.2 โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve)

คือวาล์วที่ควบคุมการเปิดปิดท่อโดยใช้ไฟฟ้าในการควบคุม โดยใช้โซลินอยด์ทำหน้าที่คล้ายสวิตช์ในการสั่งงานเปิด/ปิดท่อ

โซลินอยด์เป็นอุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลมีลักษณะเป็นขดลวดพันบนแกนทรงกระบอกภายในแกนจะมีแกนเหล็กที่สามารถเคลื่อนที่ได้อิสระเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด จะทำให้ขดลวดมีสภาพเสมือนเป็นแม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้การดึงแกนเหล็กนี้ให้เคลื่อนได้ โซลินอยด์วาล์วมีทั้งแบบที่ใช้กับไฟกระแสดตรงและไฟกระแสสลับ และมีชนิดให้เลือกใช้ตามลักษณะการใช้งาน มีทั้งแบบใช้กับน้ำ, อากาศ, น้ำมัน เป็นต้น

2.4 วงจรแหล่งจ่ายไฟ (Voltage Regulator)

IC Fixed Voltage Regulator

ปัจจุบันมี IC ใช้งานเป็น Voltage Regulator อยู่มากมาย (ไอซี 3 ขา) ที่นิยมใช้กัน เช่น ไอซีตระกูล 78XX โดยที่ XX 2 ตัวหลังเป็นตัวเลขระบุค่า Voltage เช่น เบอร์ 7805 จะมีค่าแรงดันออกเป็น +5 โวลต์ เบอร์ 7812 ให้แรงดันออกเป็น 12 โวลต์ หรือตระกูล 79XX ซึ่งเป็นไอซีที่ให้แรงดันออกเป็นไฟลบ

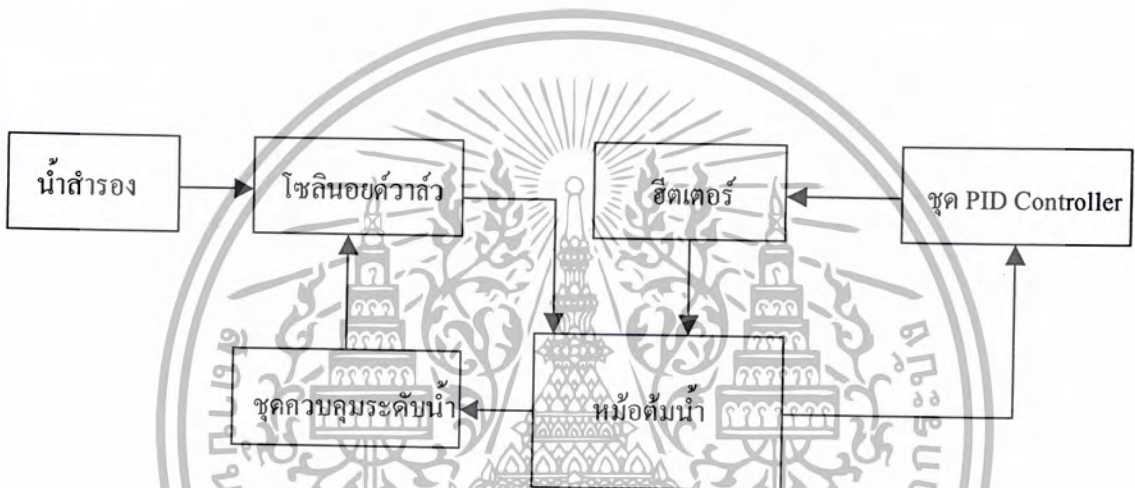
ไอซีตระกูลนี้มีวงจรจำกัดกระแสภายในตัวเพื่อป้องกันกระแสไหลล้นมากเกินไปจนเกิดความร้อนสูง ซึ่งอาจจะทำให้ไอซีหรืออุปกรณ์อื่นเสียหายได้ การใช้งานไอซีเหล่านี้ทำได้ง่าย เพราะใช้อุปกรณ์อื่นๆ ประกอบน้อยมาก สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือแรงดันเข้าเพราะจะมีแรงดันส่วนหนึ่งตกคร่อมไอซี ซึ่งทางผู้ผลิตจะกำหนดไว้ในค่า Dropout เรียกว่า ครีโพลเอท์โวลต์เตจ (Dropout voltage) สำหรับไอซีตระกูล 78XX มี ครีโพลเอท์โวลต์เตจ (Dropout

บทที่ 3

การออกแบบ

3.1 การออกแบบหม้อต้ม

ในส่วนของหม้อต้มจะประกอบไปด้วย ตัวหม้อ, ฉนวนกันความร้อน และขดลวดความร้อนขนาด พิกัด 2000 วัตต์ จำนวน 3 อัน และตัวหม้อมีปริมาตร 200,960 cm³ มีบล็อกไดอะแกรมการทำงานดังนี้



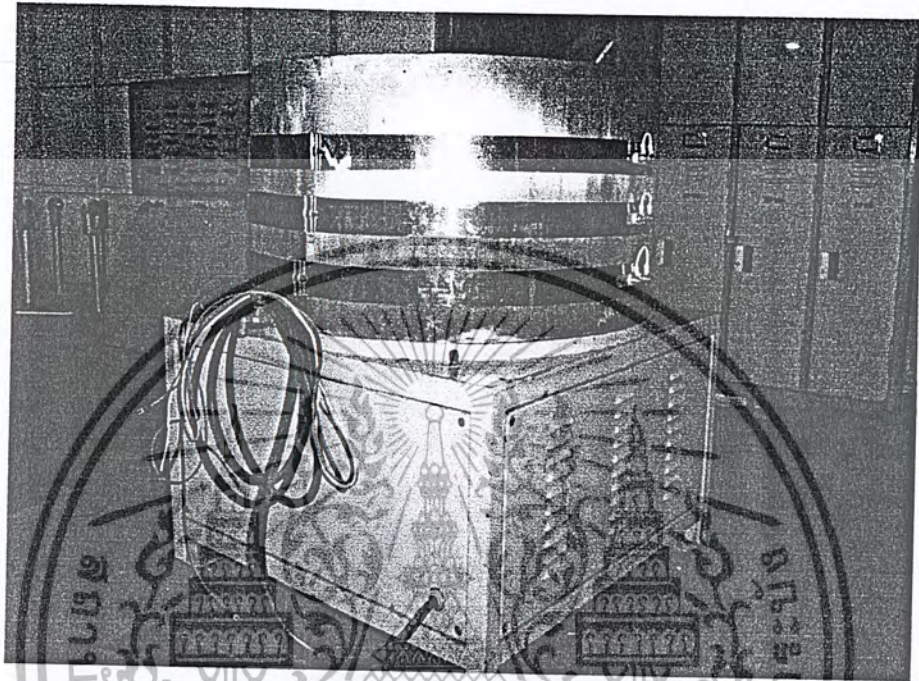
รูปที่ 3-1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงาน

จากบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงาน ส่วนของการควบคุมระดับน้ำจะทำงานเมื่อระดับน้ำลดควบคุมโดยชุดควบคุมระดับน้ำ เมื่อเก้านิอิเล็กทรอนิกส์รับค่าเมื่อระดับน้ำลดจากหม้อต้มน้ำจะส่งสัญญาณไปที่ชุดควบคุมระดับน้ำ สั่งงานให้โซลินอยด์วาล์วทำการเติมน้ำให้ถึงระดับน้ำที่ตั้งไว้

ส่วนของการควบคุมอุณหภูมิ จะมีชุด PID Control เป็นชุดควบคุมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ซึ่งรับค่ามาจากเทอร์โมคัปเปิลที่จุ่มในหม้อต้มน้ำ ชุด PID Control ก็จะเป็นตัวควบคุมการทำงานของขดลวดความร้อนให้รักษาอุณหภูมิให้อยู่ในระดับที่ตั้งไว้ โดยชุดควบคุมอุณหภูมิจะรักษาระดับอุณหภูมิให้มีค่าความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$

3.1.1 ตัวหม้อ

โครงการนี้ได้ออกแบบหม้อให้มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก ใช้วัสดุเป็นแบบสแตนเลส ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 cm. สูง 40 cm. ดังรูป



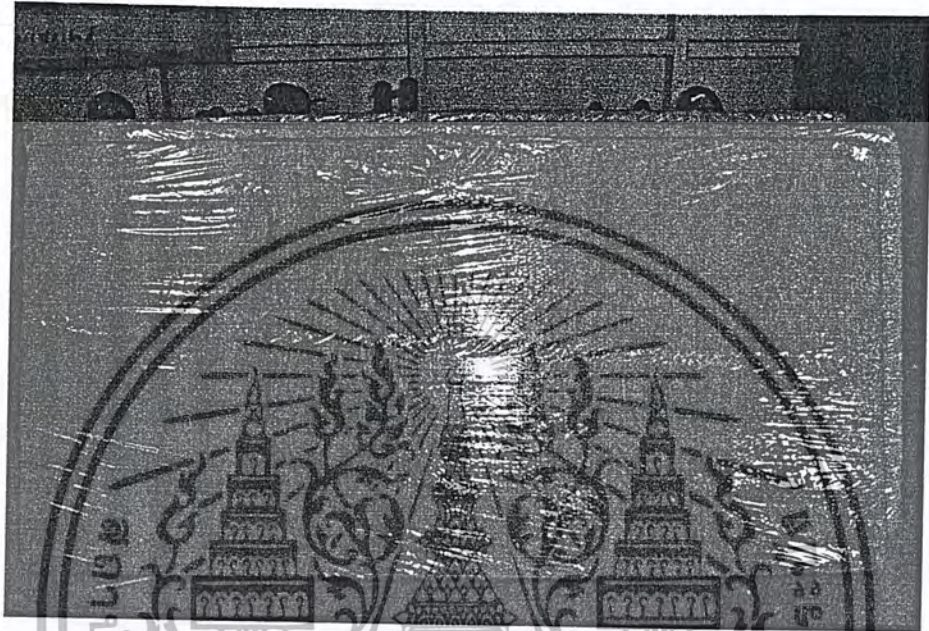
รูปที่ 3-2 ตัวหม้อ

3.1.2 ฉนวนกันความร้อน

ใช้ฉนวนกันความร้อนเพื่อเหตุผลดังต่อไปนี้

1. ช่วยในการรักษาอุณหภูมิ
2. ป้องกันอันตรายจากการสัมผัสโดยตรง
3. เพื่อความสวยงาม และ ความเป็นระเบียบเรียบร้อย

สำหรับฉนวนกันความร้อนที่ใช้ มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม แล้วนำมาฉนวนยัดติดกับแผ่นโครงสร้างสังกะสี เพื่อนำมาฉนวนติดกับตัวหม้ออีกทีหนึ่ง ซึ่งมีขนาดเป็นทรงกระบอกสูง 38 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 84 เซนติเมตร ตามลำดับ เลือกใช้โครงสร้างแบบสังกะสี เนื่องจากมีน้ำหนักเบาและมีราคาถูกกว่าแบบเหล็กและอะลูมิเนียม สำหรับฉนวนที่ใช้นั้น ใช้นวนแบบใยหินกันความร้อน ซึ่งลักษณะฉนวนใยหินแสดงดังรูป



รูปที่ 3-3 ฉนวนแบบใยหิน

3.2 การออกแบบส่วนควบคุมอุณหภูมิ

3.2.1 วงจรที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิ

- PID คอนโทรล

ในการควบคุมอุณหภูมิแบบ PID คอนโทรล จะใช้อุปกรณ์ Temperature Control ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้หลักการของ PID คอนโทรล มาเป็นชุดควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งตัว Temperature Control นั้นจะมีหน้าจอดิจิทัลแสดงค่าของอุณหภูมิที่ตั้งไว้ และอุณหภูมิที่แสดงออกมา โดยรับค่าจากเทอร์โมคัปเปิล ส่วนของสวิตช์ตัดต่อจะใช้ Solid State Relay (SSR) เป็นตัวตัดต่อ ซึ่งเป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวควบคุมการจ่ายไฟให้ฮีตเตอร์

3.2.2 เทอร์โมคัปเปิล

เลือกใช้เทอร์โมคัปเปิล type K ในการวัดอุณหภูมิ เนื่องจากมีความทนทาน, เหมาะกับงานที่ใช้งานเป็นเวลานาน, มีส่วนผสม (โครเมิล/อะลูเมิล) ที่ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำ, มีระดับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูง และมีราคาที่ไม่แพงมากนัก

เลือกใช้เทอร์โมคัปเปิลที่มี Metal Sheath แบบ Ungrounded Junction อีกทั้งให้ตัวเทอร์โมคัปเปิล และสายของเทอร์โมคัปเปิลถูกหุ้มด้วยท่อห่อ เพื่อป้องกันไม่ให้กระแสไฟฟ้าจากอุปกรณ์ตัวอื่นไหลเข้าตัวเทอร์โมคัปเปิล หรือกระแสไฟฟ้าจากตัวเทอร์โมคัปเปิลรั่วออกไป ซึ่งจะส่งผลให้ค่าที่วัดได้ผิดพลาดไป

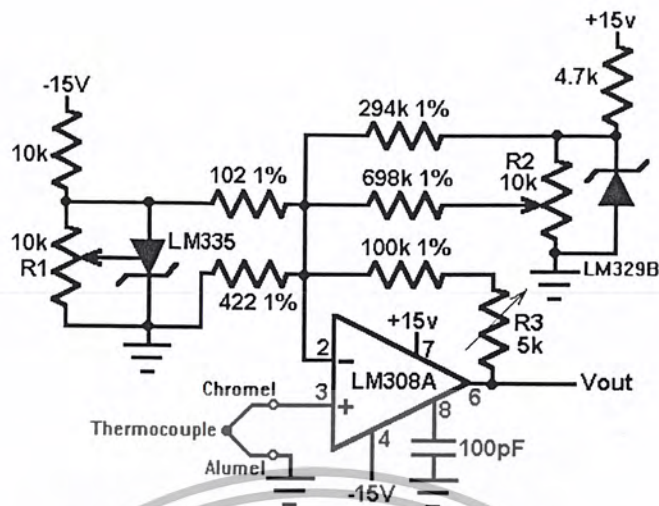
ที่ปลายสายของเทอร์โมคัปเปิล จะเป็นหางปลา(หุ้มบัตกรี) เพื่อความสะดวกในการถอด/ประกอบ เข้ากับแผงวงจรขยายสัญญาณ



รูปที่ 3-4 เทอร์โมคัปเปิล type K

3.2.3 วงจรขยายสัญญาณเทอร์โมคัปเปิล

เนื่องจากแรงดันที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลจะมีปริมาณน้อยมาก (เป็นมิลลิโวลต์) อีกทั้งยังไม่ได้เปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่วัดกับจุดเยือกแข็งของน้ำ ดังนั้นจึงต้องมีวงจรเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่วัดกับจุดเยือกแข็งของน้ำ (Cold Junction Compensation) และวงจรขยายสัญญาณ โดยมีวงจรดังรูปที่ 3-4



รูปที่ 3-5 วงจรขยายสัญญาณเทอร์โมคัปเปิล

3.2.4 ฮีตเตอร์

โครงการนี้ใช้ฮีตเตอร์แบบรีดท่อเพราะไม่ต้องการเชื้อเพลิงในน้ำและเพื่อความสะดวกในการซ่อมบำรุง โดยฮีตเตอร์จะรัดอยู่รอบตัวหม้อ ซึ่งการคำนวณกำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์ แสดงได้ดังนี้

จาก

$$\begin{aligned} P &= Q/\Delta t \\ &= mc\Delta T/\Delta t \\ &= DVc\Delta T/\Delta t \end{aligned}$$

(3.1)

โดยที่

P	คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)
Q	คือ พลังงานความร้อนที่ใช้ (kJ)
m	คือ มวลของน้ำ (kg)
D	คือ ความหนาแน่นของน้ำ (1 kg/dm ³)
V	คือ ปริมาตรของน้ำที่ใช้ (dm ³)
c	คือ ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำ (4.18 kJ/kg-K)
ΔT	คือ ผลต่างของอุณหภูมิที่ต้องการให้เพิ่มขึ้น (K, °C)
Δt	คือ ระยะเวลาที่ต้องการให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นไปถึงจุดที่ต้องการ (second)

เนื่องจากตัวถังหม้อมีขนาดรัศมี 38 cm. สูง 40 cm. แต่ใส่น้ำไปเพียง ¼ ของถัง ซึ่งกำลังงานของขดลวดความร้อน สามารถคำนวณได้จากสมการ(3.1)

ถ้าหากต้องการให้ต้มถึง 75 °C ในเวลา 30 นาที ต้องใช้กำลังงาน

$$P = (1) \times (\pi \times 3.8^2 \times 3/4 \times 4) \times (4.18) \times (75 - 30) / (30 \times 60) = 14.2 \text{ kilowatt}$$

ถ้าหากต้องการให้ต้มถึง 75°C ในเวลา 60 นาที ต้องใช้กำลังงาน

$$P = (1) \times (\pi \times 3.8^2 \times 3/4 \times 4) \times (4.18) \times (75 - 30) / (60 \times 60) = 7.1 \text{ kilowatt}$$

ถ้าหากต้องการให้ต้มถึง 75°C ในเวลา 70 นาที ต้องใช้กำลังงาน

$$P = (1) \times (\pi \times 3.8^2 \times 3/4 \times 4) \times (4.18) \times (75 - 30) / (70 \times 60) = 6.08 \text{ kilowatt}$$

ดังนั้นเราเลือกออกแบบให้ฮีตเตอร์มีขนาด 6000 watt เพราะมีความเหมาะสมทั้งในเรื่องของราคา การสั่งทำและมีพิคัดกระแสไม่สูงมาก

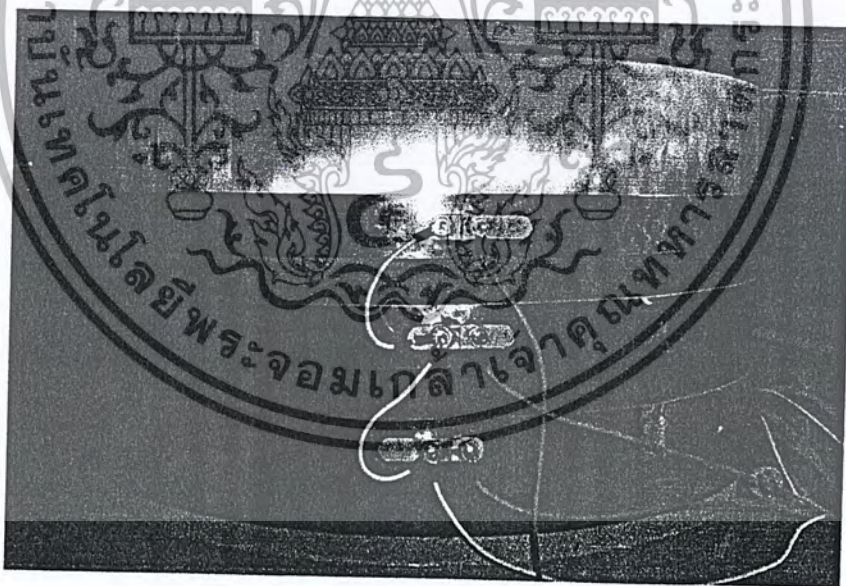
คำนวณหาระยะเวลาในการต้มถึงอุณหภูมิที่กำหนด

$$\text{จะได้ } t = (1) \times (\pi \times 3.8^2 \times 3/4 \times 4) \times (4.18) \times (75 - 30) / 6 = 4,266 \text{ วินาทีหรือประมาณ}$$

70 นาที

เลือกใช้ฮีตเตอร์ขนาด 2000 W ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 82 ซม. สูง 5 ซม. ซึ่งมีทั้งหมดด้วยกัน 3 ชิ้น โดยฮีตเตอร์นี้จะมีฉนวนกันความร้อนหุ้มอยู่รอบนอก เพื่อความปลอดภัยในการสัมผัสและเพื่อการรักษาอุณหภูมิ โดยทำการต่อแบบขนานกัน 3 ชิ้น ใช้ไฟ 1 เฟส 50 Hz. 220 V.

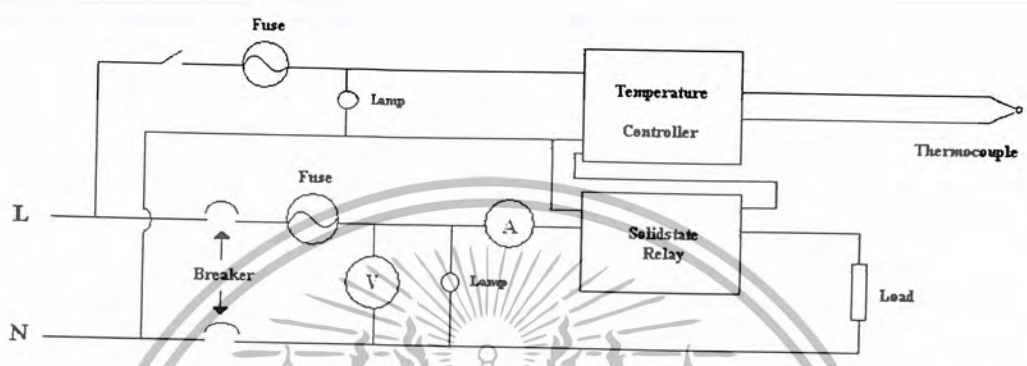
ที่ปลายสายไฟของฮีตเตอร์ จะเป็นหางปลาสำหรับยึดเข้ากับเทอร์มินอลบนแผงยึดแผงวงจร เพื่อให้สามารถแยกฮีตเตอร์ออกจากแผงวงจรได้ง่าย ๆ ทำให้สะดวกในการตรวจสอบหรือซ่อมแซมอุปกรณ์



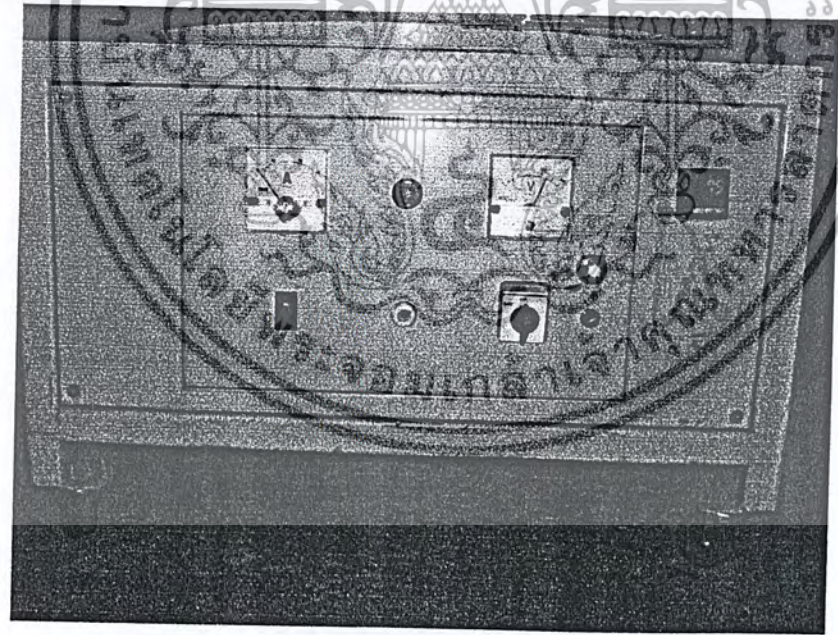
รูปที่ 3-6 ขดลวดความร้อนแบบรัดท่อ

3.3 การออกแบบวงจร PID Control

สำหรับวงจร PID Control นั้นใช้อุปกรณ์ Temperature Controller ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้หลักการของ PID คอนโทรล มาเป็นชุดควบคุมอุณหภูมิ ส่วนของสวิทช์ตัดต่อจะใช้ Solid Stage Relay (SSR) ซึ่งเป็นสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวควบคุมการจ่ายไฟให้ฮีตเตอร์และได้แสดงการต่อกับอุปกรณ์อื่นๆดังรูป



รูปที่ 3-7 แสดงการต่อของอุปกรณ์ต่างๆ

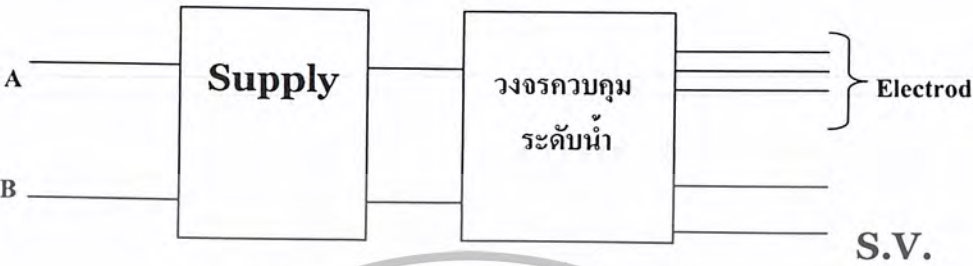


รูปที่ 3-8 แสดงหน้าตู้ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การออกแบบส่วนควบคุมระดับน้ำ

การต่ออุปกรณ์การควบคุมระดับน้ำแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 3-9 บล็อกไดอะแกรมส่วนควบคุมระดับน้ำ

3.4.1 ก้านอิเล็กทรอนิกส์

วัตถุประสงค์การใช้อุปกรณ์ตรวจจกระดับของเหลวแบบก้าน Electrode 3แท่งโดยในที่นี้ใช้หัวชุดควบคุมและก้าน Electrode แบบทนความร้อน เพียง 2 ชุด เพื่อลดค่าใช้จ่ายและลดปัญหาในการติดตั้งอุปกรณ์ลง ดังนี้

- 1. แท่งสั้น คือ แท่งตัวนำควบคุมระดับน้ำต่ำสุด
- 2. แท่งยาว คือ แท่งตัวนำที่ทำหน้าที่นำไฟฟ้าร่วม

หลักการทำงาน คือ ถ้าระดับน้ำลดลงจนเลยแท่งสั้นไป (ไม่มีการนำกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น) วงจรควบคุมก็จะสั่งให้เปิดวาล์วน้ำ และเมื่อน้ำสูงถึงแท่งสั้น (มีการนำไฟฟ้าเกิดขึ้น) วงจรควบคุมก็จะสั่งให้ทำการปิดวาล์วน้ำ

ที่ปลายสายไฟของก้านอิเล็กทรอนิกส์จะเป็นแจ็คสำหรับเสียบเข้ากับเทอร์มินอลบนแผงขั้วแผงวงจร เพื่อให้สามารถแยกก้านอิเล็กทรอนิกส์ออกจากแผงวงจรได้ง่ายๆ ทำให้สะดวกในการตรวจสอบหรือซ่อมแซมอุปกรณ์



รูปที่ 3-10 ก้านอิเล็กทรอนิกส์

3.4.2 โซลินอยด์วาล์ว

เลือกใช้โซลินอยด์วาล์วชนิดใช้กับน้ำ ซึ่งใช้กับไฟตรง ขนาด 12 โวลต์ เพราะสามารถใช้กับวงจรจ่ายไฟที่เตรียมเอาไว้ได้ที่ปลายสายไฟของโซลินอยด์วาล์ว จะเป็นแจ็กสำหรับเสียบเข้ากับเทอร์มินอลบนแผงซีดแผงวงจร เพื่อให้สามารถแยกโซลินอยด์วาล์วออกจากแผงวงจรได้ง่าย ๆ ทำให้สะดวกในการตรวจสอบหรือซ่อมแซมอุปกรณ์



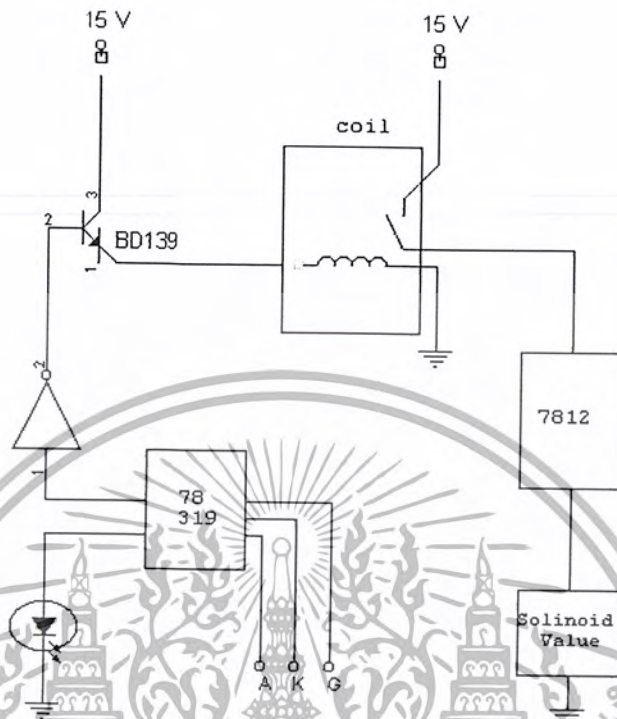
รูปที่ 3-11 โซลินอยด์วาล์ว

3.4.3 วงจรควบคุมระดับน้ำ

วงจรควบคุมระดับน้ำจะใช้หลักการของรีเลย์, BD139 และ IC เบอร์ SN74LS139 โดยมีก้านอิเล็กทรอนิกส์เป็นตัววัดระดับน้ำจะมีทั้งหมด 3 ก้าน มีก้านหนึ่งทำหน้าที่เป็นทำให้อิเล็กโตรดเกิดค่าที่แตกต่างกันจะมีหลักการดังนี้

1. เมื่อระดับน้ำลดลงก้านอิเล็กทรอนิกส์ก้านที่สั้นที่สุด จะส่งสัญญาณไปที่ IC เบอร์ SN74LS139 ทำการตรวจสอบค่าที่ได้รับมา (ก้านที่สั้นมีค่า H ก้านยาวมีค่า L)
2. เมื่อ IC เบอร์ SN74LS139 ทำการตรวจสอบเรียบร้อยแล้วจะส่งสัญญาณไปที่ BD139 ซึ่งทำหน้าที่เป็นเหมือนสวิตช์ ทำให้ BD139 ทำงาน
3. แล้วนำสัญญาณที่ออกจากขาของ BD139 ไปขับคอยล์ของรีเลย์ ซึ่งเราได้ต่อวงจรจะดัน NO ไว้ทำให้เป็น NC
4. ทำให้สามารถได้แรงดันไปขับคอยล์ของโซลินอยด์วาล์วทำให้โซลินอยด์วาล์วทำงาน ซึ่งรูปวงจรจะแสดงดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-12 วงจรควบคุมระดับน้ำ

ในส่วนของการการรักษาระดับ มีการรักษาระดับน้ำให้มีการสูญเสียให้น้อยที่สุด จากการค้นพบการใช้โพลียเอทิลีนเพื่อลดการระเหยของน้ำและป้องกันไอน้ำเกาะบริเวณสายไฟ โดยแสดงดังรูปที่ 3-13



รูปที่ 3-13 การลดการระเหยของน้ำและป้องกันไอน้ำเกาะบริเวณสายไฟ

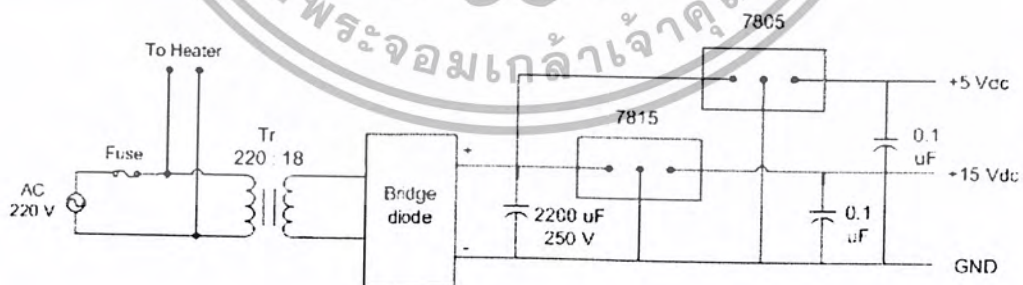
เมื่อมีการระเหยของน้ำไปบางส่วน จึงต้องมีการรักษาระดับน้ำไว้ให้คงที่ โดยการมีถังน้ำสำรองไว้ เพื่อชดเชยน้ำส่วนที่ระเหยไป ดังแสดงในรูป 3-13



รูปที่ 3-14 ถังน้ำสำรอง

3.6 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

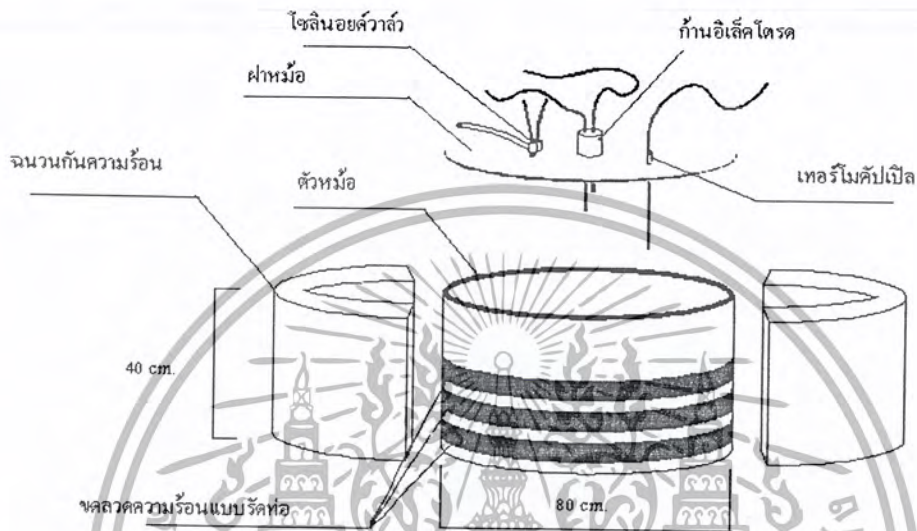
สำหรับโครงงานนี้ไฟกระแสตรงที่ใช้ในวงจรควบคุมต่าง ๆ มีอยู่ 2 ระบบ คือ +5 และ +15 โวลต์ โดยออกแบบให้ใช้วงจรเรกกูเลเตอร์เป็นแหล่งจ่ายไฟเพราะทำงานง่ายและวงจรต่าง ๆ ที่ใช้ก็ต้องการกระแสไม่มากนัก ซึ่งวงจรที่ใช้แสดงได้ดังรูปด้านล่างนี้



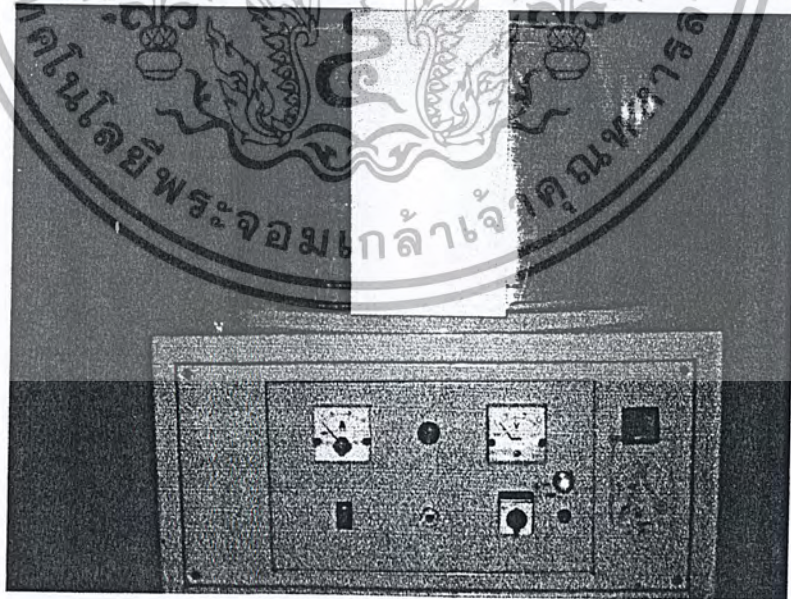
รูปที่ 3-15 วงจรจ่ายไฟกระแสตรง

3.7 การจัดวางอุปกรณ์

รูปแบบการจัดวางอุปกรณ์ ได้ออกแบบให้วาง เทอร์โมคัปเปิล , ก้านอิเล็กทรอนิกส์ , โซลีนอยด์วาล์ว ยึดติดกับฝาปิดหม้อซึ่งเป็นฝาพลาสติก โดยเจาะรูเพื่อขี้น็อต เพื่อให้สามารถถอดเข้าออกได้สะดวก การออกแบบการจัดวางอุปกรณ์แสดงจากรูปดังนี้



รูปที่ 3-16 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ต่าง ๆ



รูปที่ 3-17 รูปเครื่องต้มน้ำพร้อมใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบและวิเคราะห์ผล

มาตรฐานการทดสอบ Accelerated Water absorption ที่ระบุไว้ใน ICEA S 66-524

4.1.1 เงื่อนไขการทดสอบ

มาตรฐานได้กำหนดไว้สำหรับการดัมเพื่อทดสอบสายเคเบิลนั้น เป็นการทดสอบหาค่าคาปาซิแตนซ์และแฟลเตอร์พลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริก ซึ่งทฤษฎีดังกล่าวนี้ ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.1

4.1.2 อุณหภูมิที่ใช้ในการดัม

สำหรับอุณหภูมิที่ใช้ในการดัมที่ระบุไว้ในมาตรฐาน ICEA S 66-524 หัวข้อ Water absorption คือ $75 \pm 1^{\circ}\text{C}$

4.1.3 ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ

ใช้ตัวอย่างสายเคเบิลเป็นชิ้นทดสอบ ความยาว 15 ฟุต (4.76 เมตร) ความหนาของฉนวนไม่ต่ำกว่า 45 mil หรือ 1.14 mm. และส่วนที่จุ่มอยู่ในน้ำยาว 10 ฟุต (3.05 เมตร) โดยให้ปลายชิ้นงานทั้ง 2 ข้างโผล่พ้นผิวน้ำขึ้นมาประมาณข้างละ 2.5 ฟุต (0.76 เมตร) เพื่อป้องกันการเกิด leakage

4.1.4 เวลาที่ใช้ในการดัม

ใช้เวลา 14 วัน ในการดัม โดยทำการทดสอบหลังจากดัมไปแล้วในวันที่ 1, 7 และวันที่ 14 ของระยะเวลาการทดสอบ

4.2 ขั้นตอนในการทดสอบ Accelerated Water absorption ตามมาตรฐาน ICEA S 66-524

นำชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบมาจุ่มเป็นขดแช่ในน้ำที่อุณหภูมิไว้คงที่แล้วที่ $75 \pm 2^{\circ}\text{C}$ โดยให้ปลายชิ้นงานทั้งสองข้างโผล่พ้นผิวน้ำขึ้นมาประมาณข้างละ 2.5 ฟุต (0.76 เมตร) เพื่อป้องกันการเกิด leakage โดยสายที่นำมาทดสอบจะต้องทำการดัมไว้ในน้ำอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เพื่อให้ น้ำเป็นสื่อของกระแสที่ไหลผ่านฉนวนไปยังเครื่องมือวัด และหม้อดัมน้ำต้องมีโพลลอยหรือมีภาชนะปิดเพื่อป้องกันไอน้ำมาจับที่บริเวณสายที่ไม่ได้ทำการทดสอบ เพราะอาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการทดสอบ ซึ่งในการทดสอบนั้นจะต้องทำการทดสอบที่อุณหภูมิ $75 \pm 1^{\circ}\text{C}$ เป็นระยะเวลา 14 วัน สำหรับแรงดันที่ใช้ในการทดสอบ จะทำการทดสอบที่แรงดัน 40 V/mil และ 80 V/mil (ขึ้นอยู่กับความหนาของฉนวน) โดยทำการทดสอบในวันที่ 1, 7 และ 14 ซึ่งผลของการทดสอบที่ได้นั้น ค่าคาปาซิแตนซ์ที่ทำการตรวจวัดในวันที่ 7 – 14 จะต้องไม่เกิน 1.5 % และการทดสอบในช่วงวันที่ 1- 14 จะต้องไม่เกิน 3 % และค่า dielectric constant ที่คำนวณได้ต้องมีค่าไม่เกิน 3.5

สูตรการคำนวณหาแรงดันที่ใช้ในการทดสอบ

$$\text{AC. test voltage} = \frac{\text{V./mil} \times \text{Thickness of insulation (mm.) (mil.)}}{0.0254 \text{ (mm.)}}$$

สูตรการคำนวณหา dielectric constant

$$\text{Dielectric constant} = \frac{13600 \times C \times \log_{10} D}{d}$$

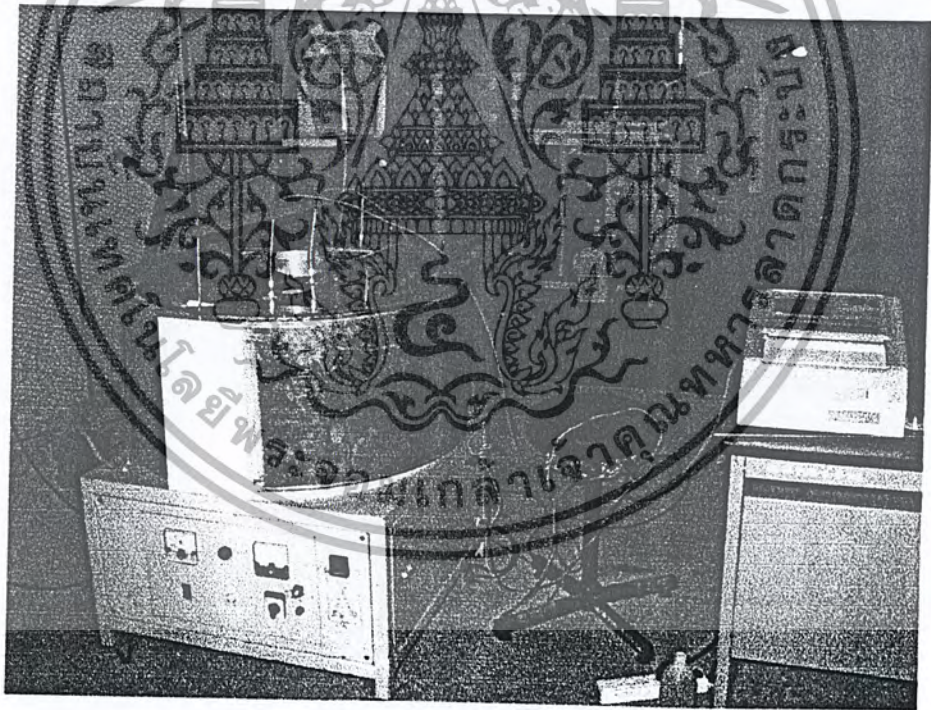
โดย C = ค่าความจุของตัวอย่างสายทดสอบ (μF)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของสายทดสอบ (mm.)

d = เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของตัวนำที่หุ้มด้วยฉนวนสายเคเบิล (mm.)

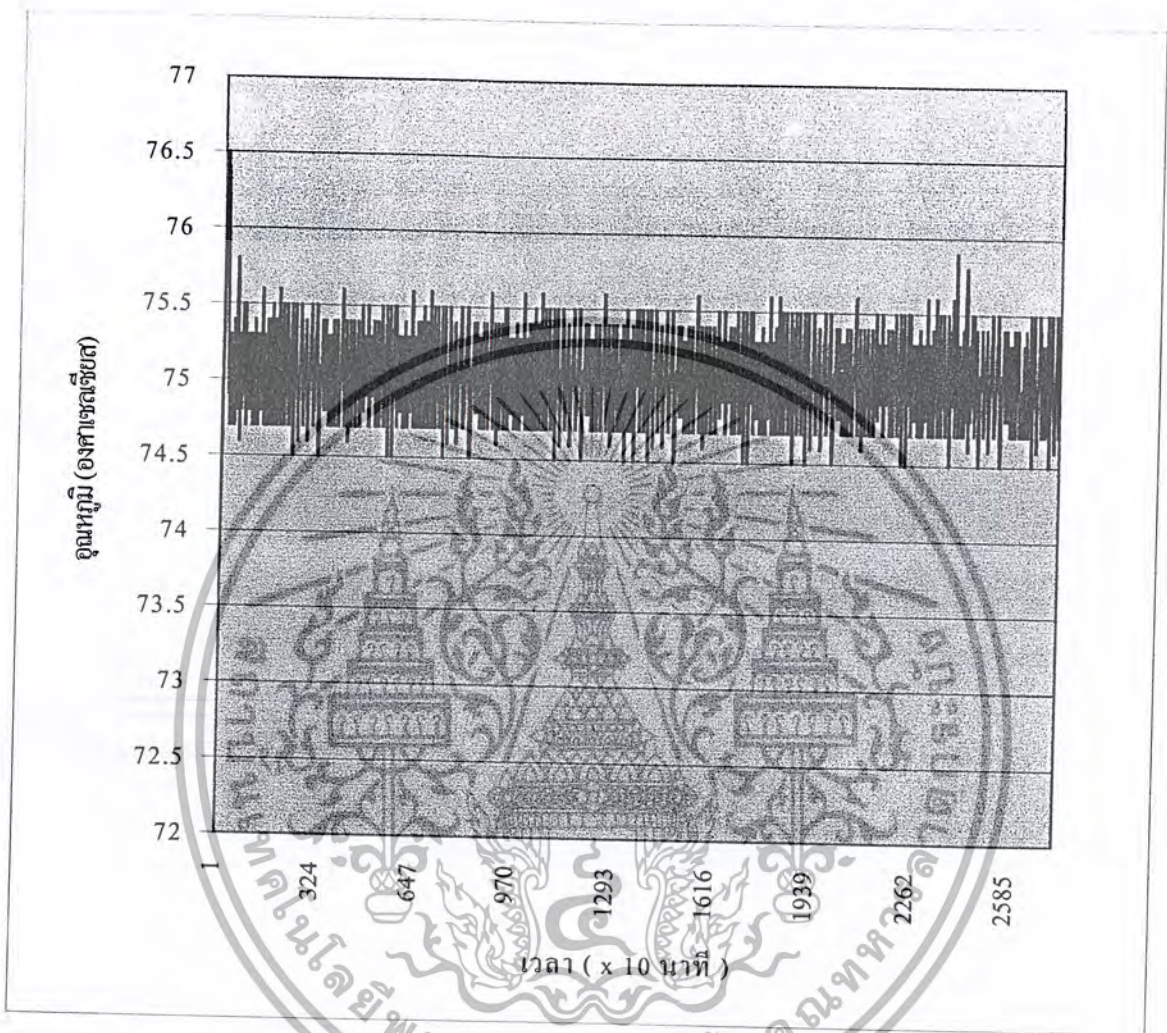
4.3 ผลการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิ

การทดสอบการเก็บผลการรักษาอุณหภูมิ จะทำการเก็บผลได้จากรูปการทดสอบดังนี้



รูปที่ 4-1 แสดงการทดสอบหม้อต้มน้ำ

เป็นผลการทดสอบโดยตั้งค่าอุณหภูมิ 75 °C และทำการเก็บผลในระยะเวลา 14 วัน โดย Data recorder แล้วนำผลของอุณหภูมิที่ได้มาเขียนกราฟ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาดังรูป



รูปที่ 4-2 กราฟแสดงอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ PID Control

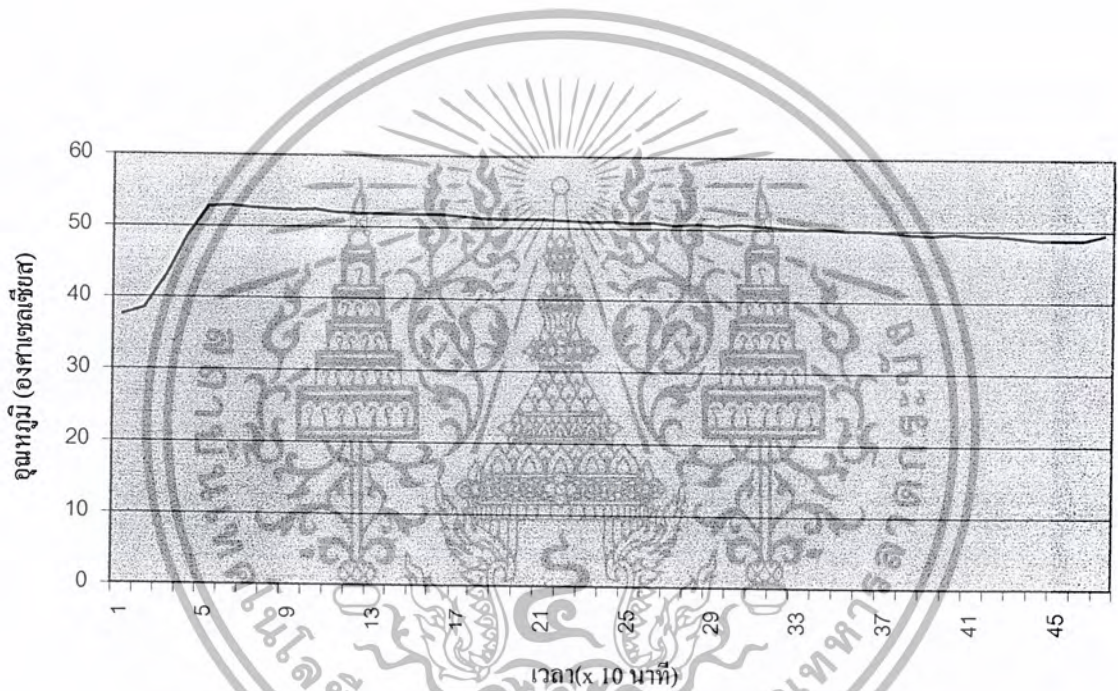
จากกราฟจะเห็นว่าตลอดระยะเวลาการทดสอบ 14 วัน อุณหภูมิจะอยู่ระหว่างช่วง 74.5 – 76.5 °C แสดงว่า การควบคุมอุณหภูมิสามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้มีความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดที่มาตรฐานได้ระบุไว้

เนื่องจากตัวหม้อมีคุณสมบัติในการรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ จึงทำการทดสอบการรักษาอุณหภูมิที่ 50 – 90 °C เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดของคุณสมบัติของตัวหม้อที่ได้กำหนดไว้ในหัวข้อ 1.3 ขอบเขตของโรงงาน ซึ่งเก็บผลแบบคร่าวๆ ได้ดังนี้

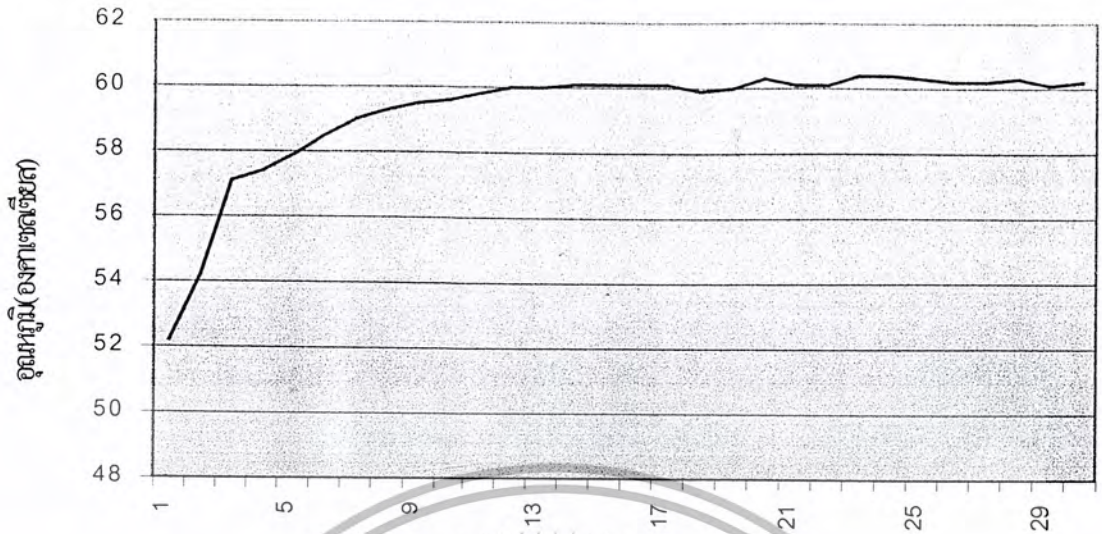
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดสอบหม้อต้มน้ำที่อุณหภูมิ 50 °C จนถึง 90 °C

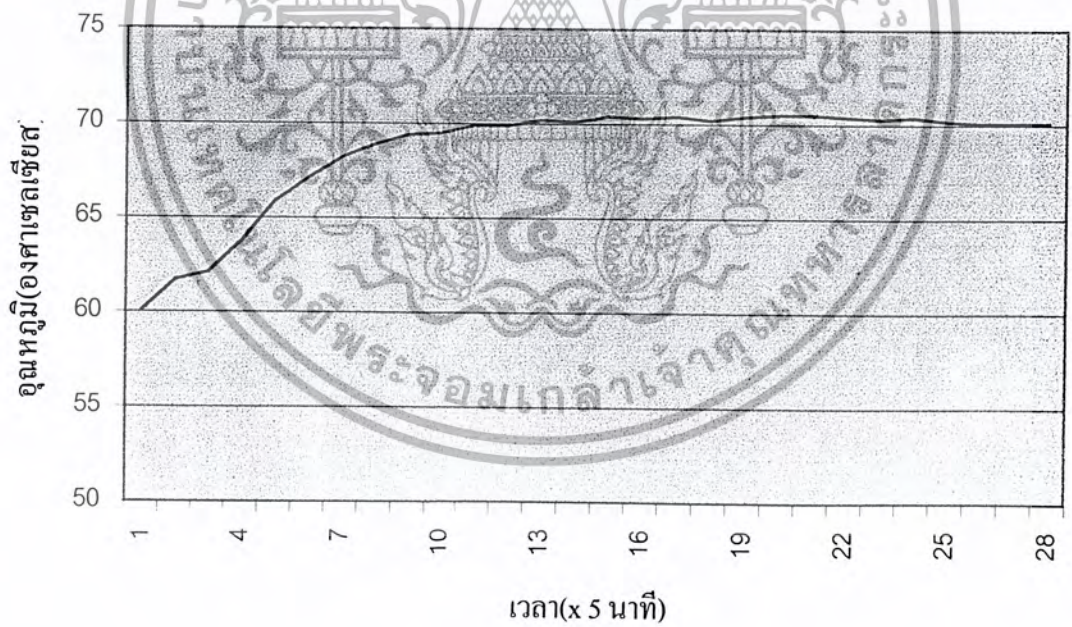
เนื่องจากหม้อต้มน้ำมีคุณสมบัติสามารถรักษาอุณหภูมิที่ค่า 50 °C จนถึง 90 °C มีค่าความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ และได้ทำการทดสอบที่ค่าต่าง ๆ (50 °C , 60 °C , 70 °C , 80 °C , 90 °C) เพื่อดูความสามารถในการรักษาความคงที่ของอุณหภูมิ ดังรูป



รูปที่ 4-3 การรักษาอุณหภูมิที่ 50 °C

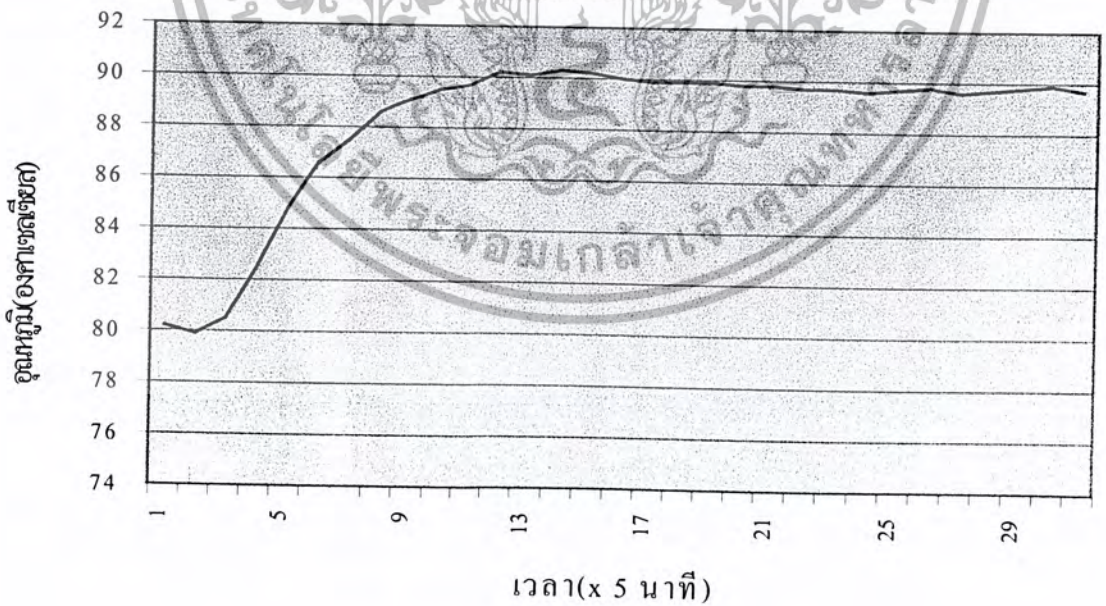
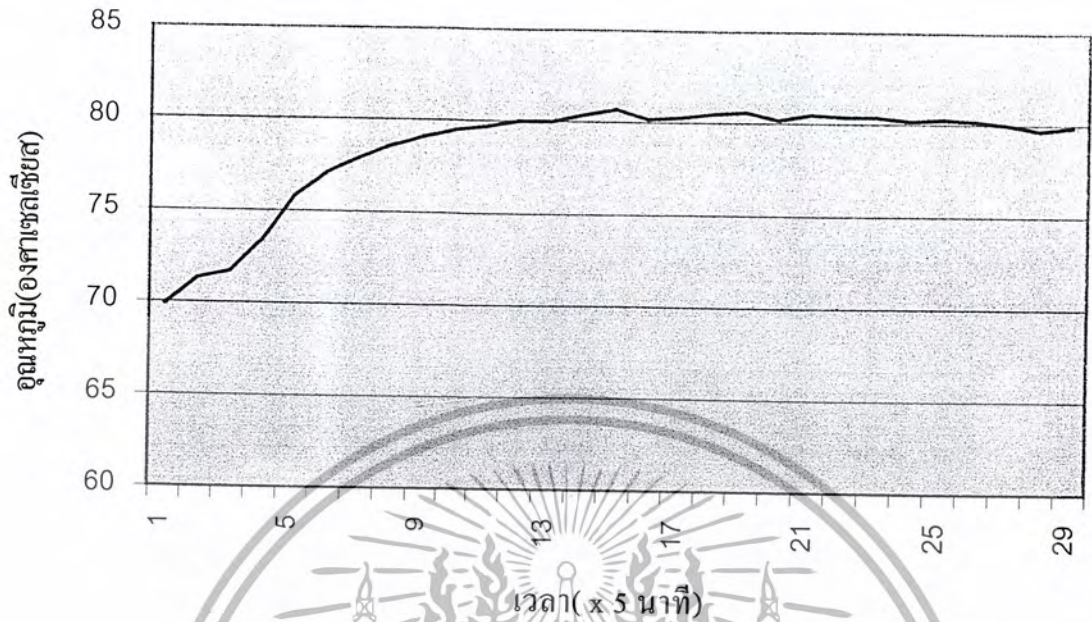


รูปที่ 4-4 การรักษาอุณหภูมิที่ 60 °C



รูปที่ 4-5 การรักษาอุณหภูมิที่ 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-7 การรักษาอุณหภูมิที่ 90 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟที่ได้ทำการทดสอบ จะเห็นว่าเครื่องต้มน้ำนี้สามารถควบคุมการรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 50 – 90 °C มีค่าความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดที่ได้วางไว้

4.5 ผลการทดสอบหม้อต้มน้ำที่อุณหภูมิ 75°C

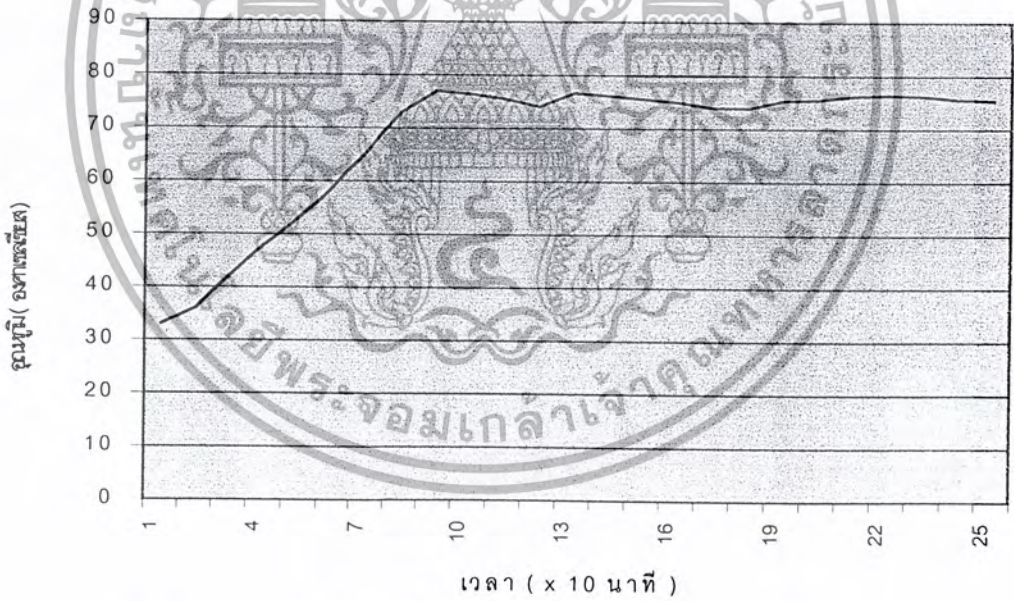
โดยการทดสอบนั้นจะทำการเก็บค่าของ ขนาดกระแส ขนาดโวลเตจ ขนาดกำลัง ค่าอุณหภูมิในเวลาที่ทดสอบ ในขณะที่ยังไม่ใส่สายเคเบิลลงไปในหม้อต้มและขณะที่ใส่สายเคเบิลลงในหม้อต้ม รวมทั้งรูปคลื่นของกำลังที่ตกคร่อมขดลวดความร้อนในขณะที่วงจร PID control ตัดต่อกระแส ซึ่งจะแสดงผลออกมาเป็นตารางและกราฟ

ตารางที่ 4-1 ผลการทดสอบทางด้านพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการต้มน้ำขณะยังไม่ใส่สายเคเบิล

เวลา (นาทื)	อุณหภูมิ (°C)	V _{i/p} (V)	I _{i/p} (A)	P _{i/p} (kW)	P.F.	V _{o/p} (V)	I _{o/p} (A)	P _{o/p} (kW)	P.F.
0	33	228	26	5.92	1	221	24.7	5.46	1
10	36	228	26	5.92	1	222	24.6	5.46	1
20	42.3	229	25.8	5.9	1	221	24.6	5.46	1
30	48	228	25.9	5.92	1	221	24.5	5.45	1
40	53.1	228	26	5.92	1	222	24.7	5.46	1
50	59	228	26	5.92	1	222	24.7	5.46	1
60	66	229	26	5.92	1	221	24.6	5.45	1
70	73	228	25.9	5.9	1	222	24.5	5.45	1
80	77	229	0.11	0	0.99	0.5	0.08	0	0.98
90	76.5	228	0.11	0	0.98	0.3	0.08	0	0.98
100	75.6	229	0.12	0	1	0.4	0.07	0	0.99
110	74.2	228	0.11	0	1	0.5	0.07	0	0.99
120	76.7	229	0.12	0	1	0.3	0.08	0	1
130	76.2	229	0.11	0	0.99	0.5	0.08	0	0.98
140	75.6	229	0.11	0	1	0.4	0.07	0	1
150	75	228	0.12	0	1	0.4	0.07	0	1
160	74	229	0.12	0	1	0.3	0.07	0	0.99
170	74	228	25.9	5.92	1	221	24.7	5.45	0.98

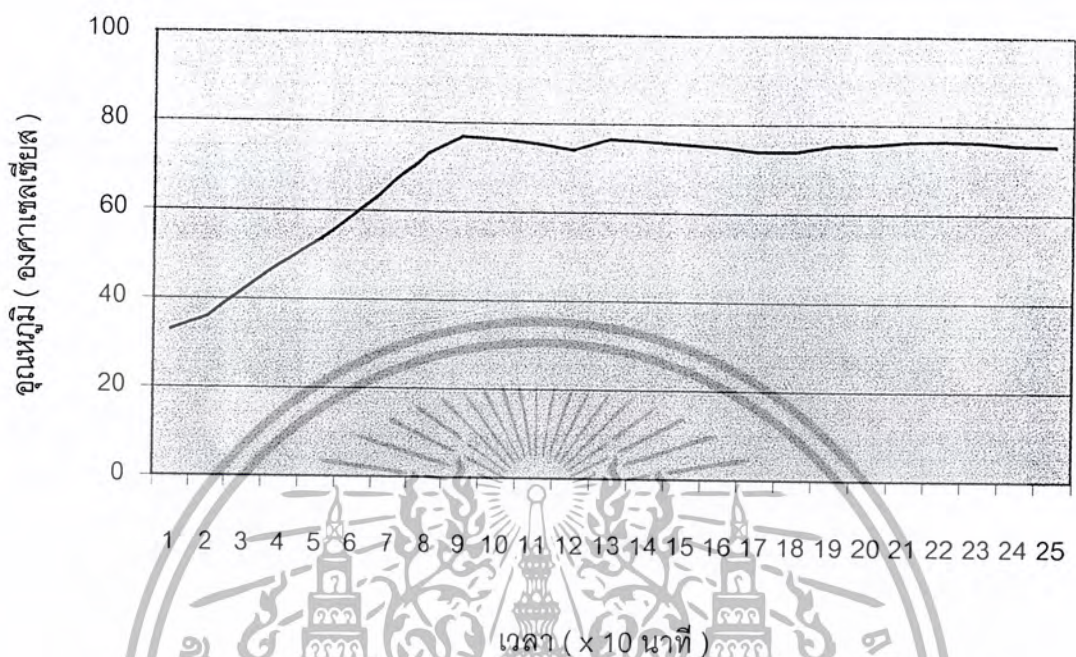
ตารางที่ 4-1 (ต่อ) ผลการทดสอบทางด้านพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการต้มน้ำขณะยังไม่ใส่สายเคเบิล

เวลา (นาทื)	อุณหภูมิ (°C)	V _{i/p} (V)	I _{i/p} (A)	P _{i/p} (kW)	P.F.	V _{o/p} (V)	I _{o/p} (A)	P _{o/p} (kW)	P.F.
180	75.4	228	0.11	0	1	0.4	0.08	0	1
190	75.6	228	0.12	0	1	0.3	0.07	0	1
200	76.3	229	0.11	0	0.99	0.5	0.08	0	0.98
210	76.5	228	0.11	0	0.99	0.5	0.07	0	0.98
220	76.3	229	0.12	0	0.99	0.4	0.08	0	0.98
230	75.7	228	0.12	0	1	0.5	0.07	0	1
240	75.5	229	0.11	0	1	0.4	0.07	0	1



รูปที่ 4-8 ผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเทียบกับเวลาขณะยังไม่ใส่สายเคเบิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-9 ผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเทียบกับเวลาของไส้สายเคเบิล

4.6 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากการทดสอบหม้อต้มโดยการต้มน้ำไปถึงอุณหภูมิ 75°C จะพบว่าตอนที่ต้มน้ำขณะที่ไม่ใส่สายเคเบิลจะใช้เวลาในการต้มน้อยกว่าตอนที่ใส่สายเคเบิลลงไป ดังนั้นในการทดสอบสายขนาดต่าง ๆ จึงใช้เวลาไม่เท่ากันในการต้มน้ำไปถึงอุณหภูมิ 75°C ในส่วนของกำลังงานนั้นจะเห็นว่าขดลวดความร้อนให้กำลังงานออกมาไม่ถึง 6 kW ตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งก็อาจมีสาเหตุมาจากการสร้างขดลวดความร้อนที่มีข้อผิดพลาดจากผู้ผลิต

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการออกแบบตัวหม้อ

จากที่ได้ออกแบบตัวหม้อ สามารถบรรจุสายเคเบิลได้ขนาด 240 sqmm. และจากที่ได้ใช้นวนกันความร้อนในการรักษาความร้อน ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในตัวหม้อได้คงที่ยิ่งขึ้น

5.2 สรุปผลการควบคุมอุณหภูมิ

ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ได้ คือ สามารถควบคุมอุณหภูมิได้คงที่ไม่เกิน ± 2 องศาเซลเซียส (ตามที่มาตรฐานได้กำหนดเอาไว้) ภายในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 50 - 90 องศาเซลเซียส โดยใช้ PID Control ซึ่งใช้ Temperature Controller ควบคุม Solid State Relay (SSR) ในการตัดต่อกระแสไปยังขดลวดความร้อน โดยมี ข้อดีและข้อเสียได้ดังนี้

ข้อดี

- สามารถควบคุมอุณหภูมิโดยอัตโนมัติ สะดวกในการทดสอบเก็บผลเป็นเวลานาน
- สะดวกในการใช้งาน เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีฟังก์ชันการทำงานที่หลากหลาย

ข้อเสีย

- ขณะที่ Temperature Controller ทำงานในสภาวะอุณหภูมิคงที่นั้น จะสั่งให้ Solid State Relay (SSR) ตัดต่อค่อนข้างถี่ ทำให้มีผลกับอายุการใช้งานของ Solid State Relay (SSR)

สำหรับช่วงเวลาในการเพิ่มอุณหภูมิน้ำจากอุณหภูมิห้องไปจนถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้ จะใช้เวลาประมาณ 60 - 100 นาที โดยจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ตั้งไว้, อุณหภูมิของน้ำก่อนต้บ และอุณหภูมิห้องในขณะทำการทดสอบ

5.3 สรุปคุณสมบัติของเครื่อง

- ใช้สำหรับทดสอบสายเคเบิล ได้ตามมาตรฐาน ICEA S 66-524 หัวข้อ Accelerated Water absorption
- ทดสอบสายเคเบิลได้ถึงขนาด 240 sqmm.
- ควบคุมอุณหภูมิของน้ำได้คงที่ ± 2 องศาเซลเซียส ภายในช่วงอุณหภูมิ 50 – 90 องศาเซลเซียส
- เติมน้ำได้อัตโนมัติโดยใช้โซลินอยด์วาล์ว (ใช้คนเติมน้ำในถังน้ำสำรอง 1 วัน ต่อครั้ง)
- ให้ความร้อนในการทดสอบด้วยฮีตเตอร์รัศมีขนาด 2000 วัตต์ จำนวน 3 อัน
- ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์

5.4 แนวทางในการพัฒนาโครงการในอนาคต

1. เนื่องจากการจ่ายน้ำของขดลวดโซลินอยด์วาล์ว ในตอนที่ระดับน้ำลดลงอาจทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนข้อเสนอแนะ คือ ควรออกแบบให้โซลินอยด์วาล์วจ่ายน้ำแบบเป็นหยด โดยให้สัมพันธ์กับเวลาที่น้ำระเหย
 2. สำหรับหม้อต้มนี้เวลาใช้งานจริง จำเป็นต้องใช้งานคู่กับ Data Recorder เพื่อเก็บข้อมูลของอุณหภูมิตลอดเวลาที่ทำการทดสอบชิ้นงาน ทำให้ต้องลำบากหา Data Recorder มาใช้ในงานนี้โดยเฉพาะ ทำให้ไม่สะดวกในระหว่างการทำงาน
- ข้อเสนอแนะ คือ ควรออกแบบให้ส่วนประมวลผลมีวงจร หน่วยความจำภายนอก (เช่น แรม เป็นต้น) เพิ่มเข้ามา โดยให้เก็บข้อมูลขณะทดสอบลงในหน่วยความจำนี้เลย และสามารถถ่ายโอนข้อมูลเหล่านี้เข้าสู่คอมพิวเตอร์ได้ตลอดเวลาที่ต้องการ

เอกสารอ้างอิง

- [1]. สุรศักดิ์ อยู่สวัสดิ์ และ อุเทน คำน่าน , “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 1” , สำนักพิมพ์ โกลบอลวิชั่น, 2540
- [2]. Temperature sensor & Heater Catalog แผนกระบบอุณหภูมิ , บริษัท แสงชัยมิเตอร์ จำกัด
- [3]. Data sheet LM 308, LM 335, LM329
- [4]. ปริญญาพนธ์2544 , “เครื่องดัดน้ำสำหรับทดสอบฉนวนไฟฟ้า ตามมาตรฐาน IEC 60502 “ ,
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [5]. ปริญญาพนธ์2544 , “คู่มือสำหรับทดสอบฉนวนไฟฟ้า ตามมาตรฐาน IEC 60502 “ ,
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [6]. “ICEA S 66-524 (1992)” NEMA STANDARDS PUBLICATION NO. WC7
POLYETHYLENE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



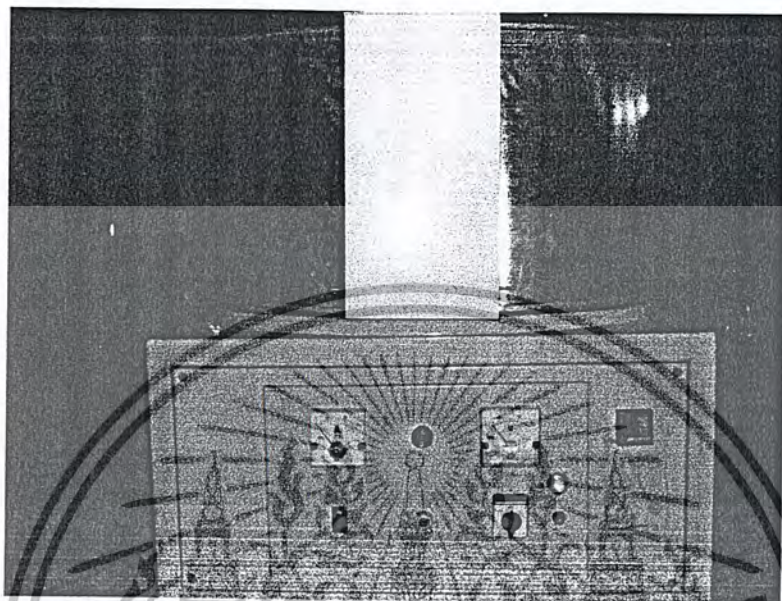
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

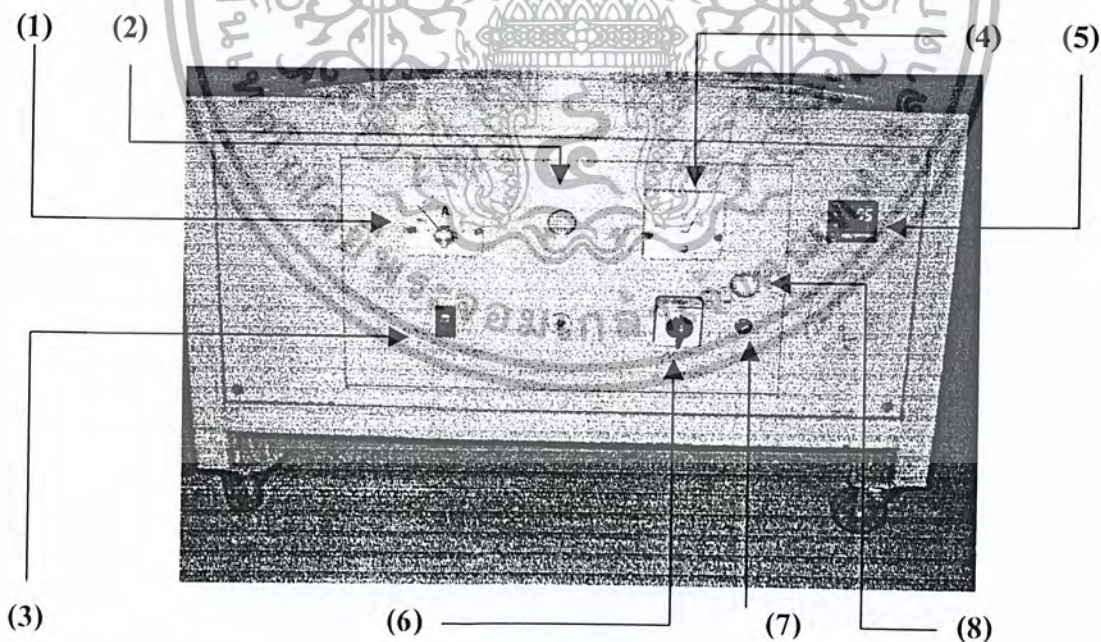


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการใช้งานเครื่องต้มน้ำเพื่อใช้ทดสอบ



รูปที่ 1 เครื่องต้มน้ำเพื่อทดสอบลายเคเบิล



รูปที่ 2 ตำแหน่งการวางชุดควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป อธิบายตำแหน่งการวางของอุปกรณ์ได้ดังนี้

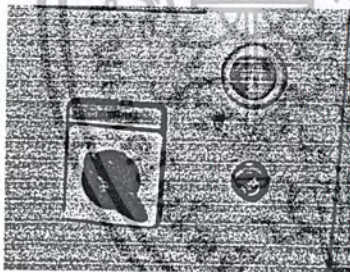
1. แอมป์มิเตอร์
2. หลอดไฟของส่วนกำลัง
3. เซอร์กิตเบรกเกอร์
4. โวลต์มิเตอร์
5. Temperature Controller
6. สวิตช์
7. ฟิวส์
8. หลอดไฟของส่วนควบคุม

พิกัดทางไฟฟ้าของหม้อต้มน้ำ

- พิกัดแรงดัน 220 V
- พิกัดกระแส 26 A
- พิกัดกำลังไฟฟ้า 5.98 kW

ขั้นตอนการใช้หม้อต้ม

1. ทำการเปิดสวิตช์ดังรูป



(ก)

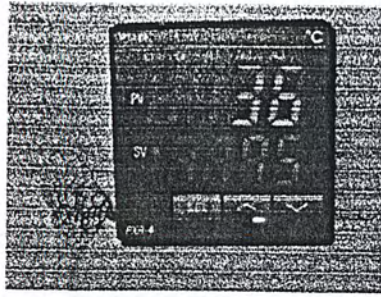


(ข)

รูปที่ 3 การเปิดสวิตช์ส่วนควบคุมฮีตเตอร์ (ก)ก่อนทำงาน (ข)เริ่มการทำงาน

2. เมื่อเราสังเกตหลอดไฟติดแล้ว ทำการตั้งค่าที่ตัวควบคุมอุณหภูมิโดยมีขั้นตอนการตั้งค่าดังนี้

- จากรูป จะแสดงการตั้งค่าอุณหภูมิโดยที่บรรทัดล่างเป็นค่าอุณหภูมิที่ต้องการจะตั้ง ในการตั้งค่านั้นทำได้โดยการเลื่อนปุ่มลูกศรขึ้นลงตามอุณหภูมิที่ต้องการ ส่วนบรรทัดบนเป็นค่าที่แสดงอุณหภูมิในขณะนั้น ซึ่งจะรับค่ามาจากเทอร์โมคัปเปิล



รูปที่ 4 แสดงการตั้งค่าอุณหภูมิ

- จากรูป เป็นการปรับตั้งค่าอัตโนมัติในการควบคุม ขั้นแรกกดปุ่ม SEL ค้างไว้ประมาณ 1 วินาที แล้วกดปุ่มลูกศรลงเพื่อได้เมนูที่แสดงอยู่แล้วกด SEL จะสามารถปรับตั้งได้ 1 และ 2 ในการทดสอบที่นี้จะใช้ 1 เนื่องจากจะสามารถถึงอุณหภูมิที่ต้องการได้เร็วกว่า 2



รูปที่ 5 การปรับตั้งค่าอัตโนมัติในการควบคุม

- การตั้งค่าของเทอร์โมคัปเปิล มีขั้นตอนคือ กดปุ่ม SEL ค้างไว้ 3 วินาที แล้วกดปุ่มลูกศรเพื่อหาเมนูที่แสดงอยู่แล้วกด SEL อีกทีหนึ่ง ในที่นี้เราใช้เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K เราจึงเลือก 3 ดังรูป



รูปที่ 6 การตั้งค่าของเทอร์โมคัปเปิล

3. เมื่อเราทำการตั้งค่าส่วนของการควบคุมอุณหภูมิเสร็จเรียบร้อยแล้ว ต่อไปเป็นส่วนของการจ่ายแรงดันให้กับฮีตเตอร์



(ก)



(ข)

รูปที่ 7 (ก) ก่อนเปิดสวิตช์ (ข) เริ่มการทำงานส่วนของการจ่ายแรงดัน

เมื่อทำตามขั้นตอนที่แสดงไว้ทั้งหมดแล้ว จะสามารถควบคุมหม้อต้มน้ำให้มีอุณหภูมิตามที่ได้ตั้งค่าไว้ โดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$



ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานที่ซื้ออุปกรณ์

- อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

บริษัท นัฐพงษ์ เซลส์แอนด์เซอร์วิส จำกัด (Natthapong Sales & Service Co.,Ltd)

119,119/1 ถ.อัมพวัน แขวงวังบูรพาภิรมย์ เขตพระนคร กทม. 10200

- ฮีตเตอร์

บริษัท แสงชัยมิเตอร์ จำกัด (Sang Chai Meter Co.,Ltd(SMC))

694/23-26 ถ.พหลโยธิน แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กทม. 10400

- โซลิดสเตต, Temperature Control

บริษัท เคแอนด์พี เอฟ.เอ. เซ็นเตอร์ จำกัด (K&P F.A. Center Co., Ltd)

128/17 อัมพวัน แขวงวังบูรพาภิรมย์ เขตพระนคร กทม. 10200

- ก้านอิเล็กทรอนิกส์, เทอร์โมคัปเปิล, โซลินอยด์วาล์ว

บริษัท เทคโนโลยีอินสตรูเมนต์ จำกัด (Technology Instruments Co.,Ltd)

208/132-137 หมู่ 6 ถ.พัฒนาการ แขวงประเวศ เขตประเวศ กทม. 10250

LM108/LM208/LM308 Operational Amplifiers

General Description

The LM108 series are precision operational amplifiers having specifications a factor of ten better than FET amplifiers over a -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ temperature range.

The devices operate with supply voltages from $\pm 2\text{V}$ to $\pm 20\text{V}$ and have sufficient supply rejection to use unregulated supplies. Although the circuit is interchangeable with and uses the same compensation as the LM101A, an alternate compensation scheme can be used to make it particularly insensitive to power supply noise and to make supply bypass capacitors unnecessary.

The low current error of the LM108 series makes possible many designs that are not practical with conventional amplifiers. In fact, it operates from $10\text{ M}\Omega$ source resistances,

introducing less error than devices like the 709 with $10\text{ k}\Omega$ sources. Integrators with drifts less than $500\text{ }\mu\text{V}/\text{sec}$ and analog time delays in excess of one hour can be made using capacitors no larger than $1\text{ }\mu\text{F}$.

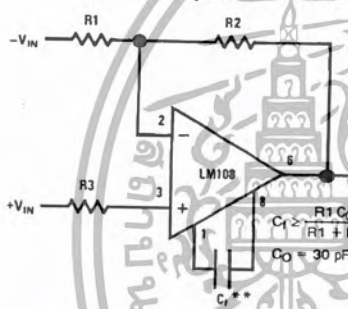
The LM108 is guaranteed from -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$, the LM208 from -25°C to $+85^{\circ}\text{C}$, and the LM308 from 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$.

Features

- Maximum input bias current of 3.0 nA over temperature
- Offset current less than 400 pA over temperature
- Supply current of only $300\text{ }\mu\text{A}$, even in saturation
- Guaranteed drift characteristics

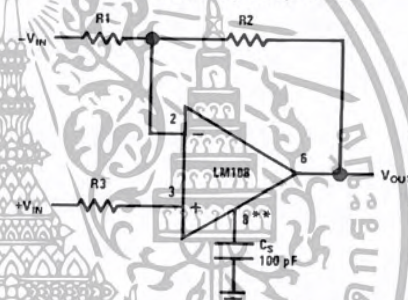
Compensation Circuits

Standard Compensation Circuit



**Bandwidth and slew rate are proportional to $1/C_f$

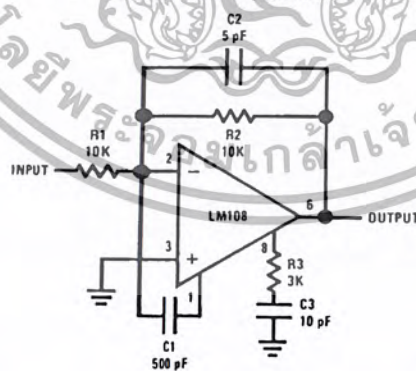
Alternate* Frequency Compensation



*Improves rejection of power supply noise by a factor of ten.

**Bandwidth and slew rate are proportional to $1/C_s$

Feedforward Compensation



TL/H/7758-3

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications. (Note 5)

	LM108/LM208	LM308
Supply Voltage	± 20V	± 18V
Power Dissipation (Note 1)	500 mW	500 mW
Differential Input Current (Note 2)	± 10 mA	± 10 mA
Input Voltage (Note 3)	± 15V	± 15V
Output Short-Circuit Duration	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range (LM108)	-55°C to + 125°C	0°C to + 70°C
(LM208)	-25°C to + 85°C	
Storage Temperature Range	-65°C to + 150°C	-65°C to + 150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)		
DIP	260°C	260°C
H Package Lead Temp		
(Soldering 10 seconds)	300°C	300°C
Soldering Information		
Dual-In-Line Package		
Soldering (10 seconds)	260°C	
Small Outline Package		
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	
Infrared (15 seconds)	220°C	
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.		
ESD Tolerance (Note 6)	2000V	

Electrical Characteristics (Note 4)

Parameter	Condition	LM108/LM208			LM308			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	T _A = 25°C		0.7	2.0		2.0	7.5	mV
Input Offset Current	T _A = 25°C		0.05	0.2		0.2	1	nA
Input Bias Current	T _A = 25°C		0.8	2.0		1.5	7	nA
Input Resistance	T _A = 25°C	30	70		10	40		MΩ
Supply Current	T _A = 25°C		0.3	0.6		0.3	0.8	mA
Large Signal Voltage Gain	T _A = 25°C, V _S = ± 15V V _{OUT} = ± 10V, R _L ≥ 10 kΩ	50	300		25	300		V/mV
Input Offset Voltage				3.0			10	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage			3.0	15		6.0	30	μV/°C
Input Offset Current				0.4			1.5	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current			0.5	2.5		2.0	10	pA/°C
Input Bias Current				3.0			10	nA
Supply Current	T _A = + 125°C		0.15	0.4				mA
Large Signal Voltage Gain	V _S = ± 15V, V _{OUT} = ± 10V R _L ≥ 10 kΩ	25			15			V/mV
Output Voltage Swing	V _S = ± 15V, R _L = 10 kΩ	± 13	± 14		± 13	± 14		V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Note 4) (Continued)

Parameter	Condition	LM108/LM208			LM308			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Voltage Range	$V_S = \pm 15V$	± 13.5			± 14			V
Common Mode Rejection Ratio		85	100		80	100		dB
Supply Voltage Rejection Ratio		80	96		80	96		dB

Note 1: The maximum junction temperature of the LM108 is 150°C, for the LM208, 100°C and for the LM308, 85°C. For operating at elevated temperatures, devices in the H08 package must be derated based on a thermal resistance of 160°C/W, junction to ambient, or 20°C/W, junction to case. The thermal resistance of the dual-in-line package is 100°C/W, junction to ambient.

Note 2: The inputs are shunted with back-to-back diodes for overvoltage protection. Therefore, excessive current will flow if a differential input voltage in excess of 1V is applied between the inputs unless some limiting resistance is used.

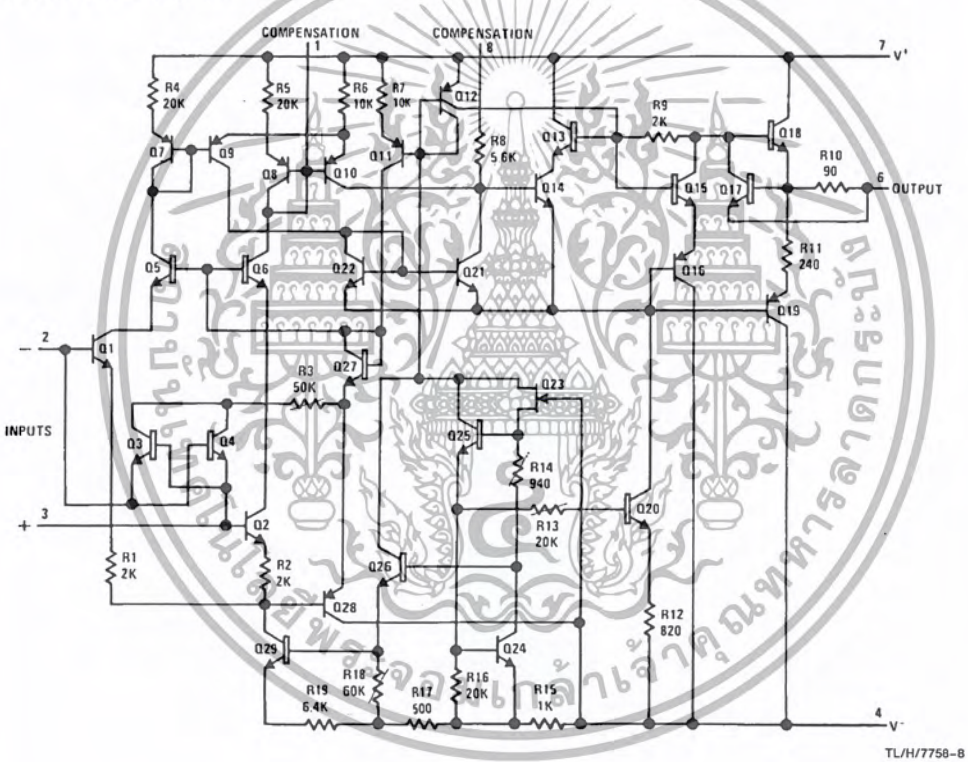
Note 3: For supply voltages less than $\pm 15V$, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Note 4: These specifications apply for $\pm 5V \leq V_S \leq \pm 20V$ and $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$, unless otherwise specified. With the LM208, however, all temperature specifications are limited to $-25^\circ C \leq T_A \leq 85^\circ C$, and for the LM308 they are limited to $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$.

Note 5: Refer to RETS108X for LM108 military specifications and RETs 108AX for LM108A military specifications.

Note 6: Human body model, 1.5 k Ω in series with 100 pF.

Schematic Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM129/LM329 Precision Reference

General Description

The LM129 and LM329 family are precision multi-current temperature-compensated 6.9V zener references with dynamic impedances a factor of 10 to 100 less than discrete diodes. Constructed in a single silicon chip, the LM129 uses active circuitry to buffer the internal zener allowing the device to operate over a 0.5 mA to 15 mA range with virtually no change in performance. The LM129 and LM329 are available with selected temperature coefficients of 0.001, 0.002, 0.005 and 0.01%/°C. These references also have excellent long term stability and low noise.

A new subsurface breakdown zener used in the LM129 gives lower noise and better long-term stability than conventional IC zeners. Further the zener and temperature compensating transistor are made by a planar process so they are immune to problems that plague ordinary zeners. For example, there is virtually no voltage shift in zener voltage due to temperature cycling and the device is insensitive to stress on the leads.

The LM129 can be used in place of conventional zeners with improved performance. The low dynamic impedance simplifies biasing and the wide operating current allows the replacement of many zener types.

The LM129 is packaged in a 2-lead TO-46 package and is rated for operation over a -55°C to +125°C temperature range. The LM329 for operation over 0°C to 70°C is available in both a hermetic TO-46 package and a TO-92 epoxy package.

Features

- 0.6 mA to 15 mA operating current
- 0.6Ω dynamic impedance at any current
- Available with temperature coefficients of 0.001%/°C
- 7μV wideband noise
- 5% initial tolerance
- 0.002% long term stability
- Low cost
- Subsurface zener

Connection Diagrams

Metal Can Package (TO-46)



DS005714-8

Pin 2 is electrically connected to case

Bottom View

Order Number LM129AH, LM129AH/883, LM129BH,
LM129BH/883, LM129CH, LM329AH, LM329BH,
LM329CH or LM329DH
See NS Package H02A

Plastic Package (TO-92)

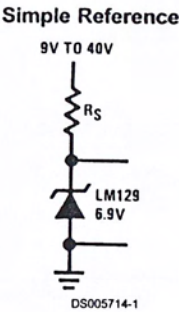


DS005714-4

Bottom View

Order Number LM329BZ,
LM329CZ or LM329DZ
See NS Package Z03A

Typical Applications



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications. (Note 3)

Operating Temperature Range

LM129

-55°C to +125°C

LM329

0°C to +70°C

Storage Temperature Range

-55°C to +150°C

Soldering Information

TO-92 package: 10 sec.

260°C

TO-46 package: 10 sec.

300°C

Reverse Breakdown Current

30 mA

Forward Current

2 mA

Electrical Characteristics (Note 2)

Parameter	Conditions	LM129A, B, C			LM329A, B, C, D			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Reverse Breakdown Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $0.6\text{ mA} \leq I_R \leq 15\text{ mA}$	6.7	6.9	7.2	6.6	6.9	7.25	V
Reverse Breakdown Change with Current (Note 4)	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $0.6\text{ mA} \leq I_R \leq 15\text{ mA}$		9	14		9	20	mV
Reverse Dynamic Impedance (Note 4)	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA}$		0.6	1		0.8	2	Ω
RMS Noise	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $10\text{ Hz} \leq F \leq 10\text{ kHz}$		7	20		7	100	μV
Long Term Stability (1000 hours)	$T_A = 45^\circ\text{C} \pm 0.1^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA} \pm 0.3\%$		20			20		ppm
Temperature Coefficient LM129A, LM329A LM129B, LM329B LM129C, LM329C LM329D	$I_R = 1\text{ mA}$		6	10		6	10	ppm/°C
			15	20		15	20	ppm/°C
			30	50		30	50	ppm/°C
						50	100	ppm/°C
								ppm/°C
Change In Reverse Breakdown Temperature Coefficient	$1\text{ mA} \leq I_R \leq 15\text{ mA}$		1			1		ppm/°C
Reverse Breakdown Change with Current	$1\text{ mA} \leq I_R \leq 15\text{ mA}$		12			12		mV
Reverse Dynamic Impedance	$1\text{ mA} \leq I_R \leq 15\text{ mA}$		0.8			1		Ω

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits.

Note 2: These specifications apply for $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$ for the LM129 and $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$ for the LM329 unless otherwise specified. The maximum junction temperature for an LM129 is 150°C and LM329 is 100°C . For operating at elevated temperature, devices in TO-46 package must be derated based on a thermal resistance of 440°C/W junction to ambient or 80°C/W junction to case. For the TO-92 package, the derating is based on 180°C/W junction to ambient with 0.4" leads from a PC board and 160°C/W junction to ambient with 0.125" lead length to a PC board.

Note 3: Refer to RETS129H for LM129 family military specifications.

Note 4: These changes are tested on a pulsed basis with a low duty-cycle. For changes versus temperature, compute in terms of tempco.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

54139/74139

Dual 2-Line-to-4-Line Decoder/Demultiplexer

	Schottky TTL					High-Speed TTL					Low-Power Schottky TTL					Standard TTL					Low-Power TTL					
	Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package				
		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF	
T.I.	SN54S139	J	0		WJ					SN54LS139	J	0		WJ												
FAIRCHILD	SN74S139	J	0	N	J					SN74LS139	J	0	N	J												
	/FMS139	0	0							FM54LS139/FM74LS139	0	0		FD												
MOTOROLA	MC74S139/FC74S139	0	0							MC74LS139/FC74LS139	0	0		FD												
N.S.C.										SN74LS139	P	0														
PHILIPS	DM74S139									DM54LS139																
	N74S139		J							N74LS139																
SIGNETICS	S54S139	F	1	B	1	W	1																			
	N74S139	F	1	B	1	W	1			N74LS139	A	0														
SIEMENS																										
FUJITSU										74LS139	M	0														
HTACHI										HD74LS139	P	0														
MTSUBISHI										M74LS139	P	0														
NEC										74LS139	C	0														
AMD																										

Electrical Characteristics SN54LS139/SN74LS139

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V_{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C
Input voltage	7V		SN74LS	0°C to 70°C
		Storage temperature range		-65°C to 150°C

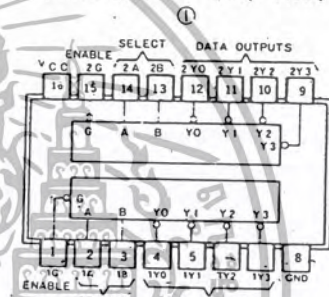
recommended operating conditions

	SN54LS139			SN74LS139			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V_{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I_{OH}			400			400	μ A
Low-level output current, I_{OL}			4			8	mA
Operating free-air temperature, T_A	-55	125	0		70		°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER*	TEST CONDITIONS†	MIN	TYP‡	MAX	UNIT
V_{IH} High-level input voltage			2		V
V_{IL} Low-level input voltage				0.8	V
V_I Input clamp voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$, $I_I = -18 \text{ mA}$			1.5	V
V_{OH} High-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$, $V_{IH} = 2 \text{ V}$, SN54LS $V_{IH} = 0.8 \text{ V}$, $I_{OH} = -1 \text{ mA}$ SN74LS	2.5	3.4		V
V_{OL} Low-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$, $V_{IH} = 2 \text{ V}$, $V_{IH} = 0.8 \text{ V}$, $I_{OL} = 8 \text{ mA}$	0.35	0.5		V
I_I Input current at maximum input voltage	$V_{CC} = \text{MAX.}$, $V_I = 7 \text{ V}$			0.1	mA
I_{IH} High-level input current	$V_{CC} = \text{MAX.}$, $V_I = 2.7 \text{ V}$			20	μ A
I_{IL} Low-level input current	$V_{CC} = \text{MAX.}$, $V_I = 0.5 \text{ V}$			0.4	mA
I_{CS} Short-circuit output current*	$V_{CC} = \text{MAX.}$	-20		-100	mA
I_{CC} Supply current	$V_{CC} = \text{MAX.}$, Outputs enabled and open		6.8	11	mA
t_{PLH} from Binary select	$V_{CC} = 5 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_L = 150 \text{ pF}$	2	13	26	ns
t_{PLH} to Any output			18	29	ns
t_{PHL} from Enable		3	25	38	ns
t_{PHL} to Any output	$R_L = 2 \text{ k}\Omega$		15	24	ns
		2	21	32	ns

Pin Assignment (Top View)



positive logic; see function table

Function Table

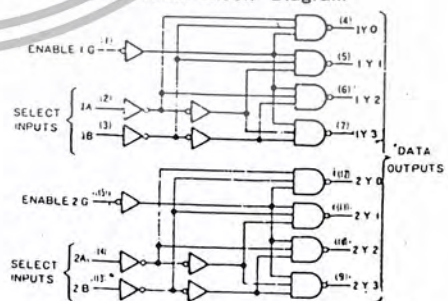
S139 LS139

(EACH DECODER/DEMULIPLEXER)

INPUTS		OUTPUTS			
ENABLE	SELECT	Y0	Y1	Y2	Y3
G	A B	Y0	Y1	Y2	Y3
H	X X	H	H	H	H
L	L L	L	H	H	H
L	L L	H	L	H	H
L	L L	H	H	L	H
L	L L	H	H	H	L

H = high-level, L = low-level, X = irrelevant

Functional Block Diagram



S139 LS139 DECODER/DEMULIPLEXER

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions for the applicable device type.
 ‡ All typical values are at $V_{CC} = 5 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$.

* Not more than output allowed to be shorted at a time.

† t_{PLH} propagation delay time, low-to-high-level output; t_{PHL} propagation delay time, high-to-low-level output.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5404/7404 Hex Inverter

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL			
	Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package		
		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF
T.I.	SN54S04	J	Q		W	SN54H04	J	Q		W	SN54LS04	J	Q		W	SN5404	J	Q		W
	SN74S04	J	Q		N	SN74H04	J	Q		N	SN74LS04	J	Q		N	SN7404	J	Q		N
FAIRCHILD	FM54S04/FM9S04	D	U			FM54H04/FM9H04	D	U			FM54LS04/FM9LS04	D	U			FM5404/FM9N04	D	U		
	FC74S04/FC9S04	D	U			FC74H04/FC9H04	D	U			FC74LS04/FC9LS04	D	U			FM7404/FC9N04	D	U		
MOTOROLA						MC3108	L	H		F	SN74LS04	P	I			MC5404	L	H		F
						MC3008	L	H		F						MC7404	L	H		F
N.S.C.	DM74S04				N	DM54H04	J	Q		N	DM54LS04					DM5404	J	Q		N
						DM74H04	J	Q		N	DM74LS04					DM7404	J	Q		N
PHILIPS	N74S04				Q	N74H04				Q	N74LS04					FJH241/7404				Q
SIGNETICS	S54S04	F	Q		A	S54H04	F	Q		A						S5404	F	Q		A
	N74S04	F	Q		A	N74H04	F	Q		A	N74LS04					N7404	F	Q		A
SIEMENS																FLH211				Q
FUJITSU											74LS04					MB418				Q
HITACHI	HD74S04				Q						HD74LS04					HD7404/HD2522				Q
MITSUBISHI	M55004				P						M74LS04					M53204				P
NEC	74S04				C						74LS04					μPB235				D
TOSHIBA																TD3404A				P

Electrical Characteristics SN54LS04/SN74LS04

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V_{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C
Input voltage	7V	Storage temperature range	SN74LS	0°C to 75°C
				-65°C to 150°C

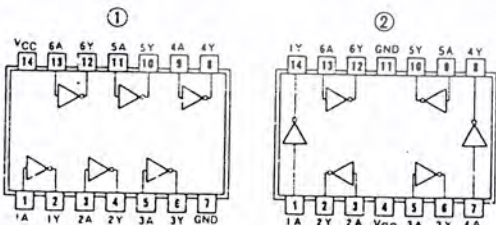
recommended operating conditions

	SN54LS04			SN74LS04			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V_{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I_{OH}			-400			-400	mA
Low-level output current, I_{OL}			4			4	mA
Operating free-air temperature, T_A	-55		125	0		75	°C

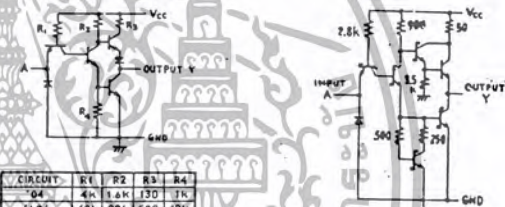
electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
V_{IH} High-level input voltage		2			V
V_{IL} Low-level input voltage				0.8	V
V_I Input clamp voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$, $I_I = -18 \text{ mA}$			-1.5	V
V_{OH} High-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$, $I_{OH} = \text{MAX.}$	2.7	3.4		V
V_{OL} Low-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$, $I_{OL} = 4 \text{ mA}$, $V_{IH} = 2 \text{ V}$			0.4	V
I_I Input current at maximum input voltage	$V_{CC} = \text{MAX.}$, $V_I = 7 \text{ V}$			0.1	mA
I_{IH} High-level input current	$V_{CC} = \text{MAX.}$, $V_{IH} = 2.7 \text{ V}$			20	μA
I_{IL} Low-level input current	$V_{CC} = \text{MAX.}$, $V_{IL} = 0.4 \text{ V}$			-0.4	mA
I_{OS} Short-circuit output current *	$V_{CC} = \text{MAX.}$	54LS Family	-20	-100	mA
		74LS Family	-20	-100	mA
I_{CCH} Supply current	$V_{CC} = \text{MAX.}$	Total, outputs high	1.2	2.4	mA
I_{CCL} Supply current		Total, outputs low	3.6	6.6	mA
I_{CC} Supply current	$V_{CC} = 5 \text{ V}$	Average per gate (50% duty cycle)	0.4		mA
t_{PLH} Propagation delay time, low-to-high-level output	$V_{CC} = 5 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_L = 15 \text{ pF}$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$		9	15	ns
t_{PHL} Propagation delay time, high-to-low-level output			10	15	ns

Pin Assignments (Top View)

positive logic:
 $Y = \bar{A}$

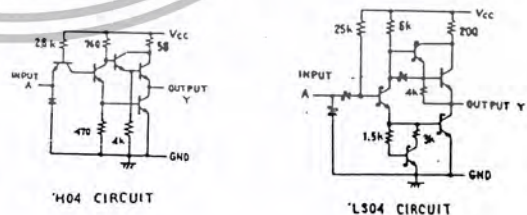
Schematics (each gate)



CIRCUIT R1 R2 R3 R4
 '04 2.8k 4k 1.5k 1k
 'LS04 40k 20k 500 12k

Input clamp diodes not on SN54LS04/74LS04 circuits.

'04, 'LS04 CIRCUITS



'04 CIRCUIT

'LS04 CIRCUIT

Resistor values shown are nominal and in ohms.

* For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
 † All typical values are at $V_{CC} = 5 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$.

* Not more than one output should be shorted at a time, and for SN54H/SN74H and SN54S/SN74S, duration of short-circuit should not exceed 1 second.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้