

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ

AUTOMATIC TEMPERATURE CONTROL SYSTEM



T104022



โดย

นาย กฤษณ์กนก ประสิทธิ์โชคชัย

นาย สุทธิ สุขนาม

นาย เอกดนัย กาวิชัย

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 104022

วัน,เดือน,ปี 28 ต.ค. 2552



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง

ชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ

AUTOMATIC TEMPERATURE CONTROL SYSTEM

ผู้จัดทำ

นาย กฤษณ์กนก ประสิทธิ์โชคชัย 48010026

นาย สุทธิ สุขนาม 48010984

นาย เอกคนัย กาวิชัย 48011139

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ.วรรณดี เพชรหมี่ล้ำค่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดควบคุมอุณหภูมิจัดอัตโนมัติ

โดย

นาย กฤษณ์กนก	ประสิทธิ์โชคชัย	48010026
นาย สุทธิ	สุขนาม	48010984
นาย เอกฉนัย	กาวิชัย	48011139

อาจารย์ที่ปรึกษา
อ.วรรณดี เพชรหมื่นล้ำค่า

ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้นำเอาวงจรควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้ให้สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามต้องการ ซึ่งในระบบควบคุมจะมีการตรวจจับอุณหภูมิ โดยจะทำการวัดอุณหภูมิ และส่งค่าไปยังวงจรเปรียบเทียบแรงดัน เพื่อประมวลผลเปรียบเทียบค่าที่วัดได้ กับค่าที่ต้องการควบคุม ถ้าหากค่าที่วัดได้ไม่ตรงกับค่าที่ต้องการควบคุม จะส่งการให้อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิทำงาน เมื่อได้อุณหภูมิที่ต้องการ อุปกรณ์จะหยุดทำงาน ซึ่งเป็นการควบคุมระบบแบบแอนะล็อก และเพื่อง่ายต่อการเข้าใจค่าอุณหภูมิที่วัดได้จะมีการแสดงผลค่าที่ทำการวัดด้วยมิเตอร์วัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AUTOMATIC TEMPERATURE CONTROL SYSTEM

By

Mr. Kridkanok Prasitchokchai

Mr. Sut Sooknam

Mr. Eakdanai Kavichai

Advisor

Miss Wandee Petchmaneelumka

Academic Year 2008

ABSTRACT

The objective of this project is concern about applying electronic control circuit for controlling the desirous temperature. Control system will measure the temperature in the system and its result is transferred to the voltage comparator in order to compare data between the measured result and the set point value. If the measured result is not equal to the set point value, the temperature control which use analog control system will operate and shut down at the target temperature. To easily understand the measured temperature, the temperature meter is use for display.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ตลอดหนึ่งปีการศึกษา การดำเนินการศึกษาหาข้อมูล และออกแบบชุดควบคุมอุณหภูมิขึ้นมา นั้น แต่ละขั้นตอนของการทำงานได้พบกับอุปสรรคต่างๆ มากมาย แต่ก็สามารถทำงานได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทั้งนี้เพราะคำแนะนำ คำปรึกษา และความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ อ.วรรณดี เพชรมณีล้ำค่า ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโทชั้นนี้ เป็นท่านผู้ที่คอยดูแลให้กำลังใจ ตลอดจนให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการดำเนินงาน และคณะผู้จัดทำจะนำความรู้ ประสบการณ์ต่างๆ ที่ได้จากการทำงานในครั้งนี้ไปประยุกต์กับการทำงานครั้งต่อไป

ขอขอบคุณบิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของคณะผู้จัดทำที่คอยให้กำลังใจมาด้วยดีตลอด ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือเมื่อต้องการ ซึ่งทำหน้าที่เพื่อนได้ดีมาก

คุณค่าและประโยชน์จากปริญญาโทชั้นนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านและหากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้วิจัยขออภัย ณ ที่นี้

นาย กฤษณ์กนก ประสิทธิ์โชคชัย
นาย สุทธิ สุขนาม
นาย เอกคนัย กาวิชัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	III
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	IV
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญภาพ.....	VIII
สารบัญตาราง.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปริยญาณีพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริยญาณีพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 รายละเอียดของปริยญาณีพนธ์.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 โครงสร้างพื้นฐานของระบบควบคุมอัตโนมัติ.....	3
2.2 ชนิดของระบบควบคุม.....	5
2.2.1 ระบบควบคุมแบบลูปเปิด.....	5
2.2.2 ลักษณะทั่วไปของระบบควบคุมแบบลูปเปิด.....	5
2.2.3 ระบบควบคุมแบบลูปปิด.....	6
2.2.4 ลักษณะทั่วไปของระบบควบคุมแบบลูปปิด.....	6
2.3 ตัวตรวจวัดอุณหภูมิ.....	7
2.3.1 เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะแก้ว.....	7
2.3.2 เทอร์มิสเตอร์.....	8
2.3.3 อาร์ทีดี.....	11
2.2.4 เทอร์โมคัปเปิล.....	14
บทที่ 3 หลักการออกแบบ.....	25
3.1 ส่วนประกอบของระบบควบคุมอัตโนมัติ.....	25
3.2 วงจร Triple Power Supply.....	27
3.3 วงจรควบคุมขดลวด.....	27
3.4 วงจรเปรียบเทียบและขยายแรงดัน.....	29
3.5 วงจร Sensor Thermistor.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6 วิธีกรใช้ชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ.....	30
3.7 แผนภาพแสดงการทำงานของชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ.....	31
3.8 รูปแสดงแบบจำลองของชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ.....	33
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	35
4.1 ผลการทดลองของชุดควบคุมอุณหภูมิที่ยังไม่มีการป้อนกลับของตัวตรวจวัด.....	35
4.2 ผลการทดลองของชุดควบคุมอุณหภูมิที่มีการป้อนกลับของตัวตรวจวัด.....	39
4.3 ผลการทดลองของชุดควบคุมอุณหภูมิที่มีย่านการวัดในช่วง 3V และ 4V.....	41
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	43
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	43
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง.....	43
5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากปริิณญาานิพนธ์.....	43
5.4 ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำปริิณญาานิพนธ์.....	44
5.5 แนวทางการพัฒนาและแก้ไข.....	44
ภาคผนวก ก Data Sheet TCA 785.....	45
ภาคผนวก ข Data Sheet BTA 416008.....	62
ภาคผนวก ค Data Sheet LM 741.....	69
ภาคผนวก ง Data Sheet MOC 3021.....	77
เอกสารอ้างอิง.....	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 รูปแบบของระบบควบคุมอัตโนมัติ.....	3
2.2 ระบบควบคุมแบบลูปเปิด.....	5
2.3 ระบบควบคุมแบบลูปปิด.....	6
2.4 ส่วนประกอบที่สำคัญของเทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะแก้ว.....	7
2.5 สัญลักษณ์และรูปร่างของเทอร์มิสเตอร์.....	8
2.6 กราฟคุณสมบัติของเทอร์มิสเตอร์ชนิด NTC และ PTC.....	9
2.7 การประยุกต์ใช้งานเทอร์มิสเตอร์.....	10
2.8 ส่วนประกอบของ RTD.....	11
2.9 RTD 2 สาย.....	12
2.10 RTD 3 สาย.....	12
2.11 RTD 4 สาย.....	13
2.12 ผลของซีเบ็ค.....	14
2.13 ผลของเพลเทียร์.....	16
2.14 การเปลี่ยนจุดอ้างอิง.....	17
2.15 โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล.....	18
3.1 รูปแบบจำลองระบบควบคุมวงปิด.....	25
3.2 รูปแบบจำลองชุดควบคุมอุณหภูมิแบบระบบวงปิด.....	26
3.3 วงจร Triple Power Supply.....	27
3.4 วงจรควบคุมขดลวด.....	28
3.5 วงจรเปรียบเทียบและขยายแรงดัน.....	29
3.6 วงจรเซนเซอร์เทอร์มิสเตอร์.....	30
3.7 แผนภาพแสดงการทำงานของชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ.....	31
3.8 แผนภาพแสดงการทำงานของชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ (ต่อ).....	32
4.1 กราฟความสัมพันธ์ Time และ Temp แบบ open-loop (ย่านในการวัด 5V).....	37
4.2 กราฟความสัมพันธ์ Time และ Temp แบบ open-loop (ลากจุดตัดหา t).....	38
4.3 กราฟความสัมพันธ์ Time และ Temp แบบ close-loop (ย่านในการวัด 5V).....	39
4.4 กราฟความสัมพันธ์ Time และ Temp (ย่านในการวัด 3V).....	41
4.5 กราฟความสัมพันธ์ Time และ Temp (ย่านในการวัด 4V).....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบเทอร์โมดอปเปิลแบบมาตรฐาน Type ต่างๆ.....	24
4.1 ผลการทดลองระหว่าง Voltage และ Temp แบบ open-loop (ย่านในการวัด 5V).....	35
4.2 ผลการทดลองระหว่าง Time และ Temp แบบ open-loop (ย่านในการวัด 5V).....	36
4.3 ผลการทดลองระหว่าง Time และ Temp แบบ close-loop (ย่านในการวัด 5V).....	39
4.4 ผลการทดลองระหว่าง Voltage และ Temp แบบ close-loop (ย่านในการวัด 5V).....	40
4.5 ผลการทดลองของชุดควบคุมอุณหภูมิ (ย่านในการวัด 3V).....	41
4.6 ผลการทดลองของชุดควบคุมอุณหภูมิ (ย่านในการวัด 4V).....	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบัน การแข่งขันทางด้านอุตสาหกรรมนั้นมีค่อนข้างสูง ทำให้ต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพ และประสิทธิผลของโรงงานผลิต ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยต้นทุนการผลิต และคุณภาพของสินค้า รวมไปถึงการปรับอัตราการผลิต ให้เหมาะสมกับสถานะความต้องการของตลาด ซึ่งส่วนสำคัญในการดำเนินการให้ได้ตามเป้าหมายตามต้องการจะต้องมีการควบคุมการผลิตให้เหมาะสม โดยจะต้องเลือกวิธีการควบคุมที่เหมาะสมได้

การควบคุมอุณหภูมิ มีบทบาทสำคัญในงานอุตสาหกรรม ในขั้นตอนการผลิต จะมีการกำหนดอุณหภูมิไว้ด้วยเสมอ แนวคิดพื้นฐานของโครงการนี้ คือ ต้องการควบคุมอุณหภูมิให้เป็นไปตามที่เราต้องการ การควบคุมแบบปิด (Close loop) มีการวัดเปรียบเทียบกับค่าผิดพลาดไปเปลี่ยนแปลงการทำงานของสวิตเตอร์ และใช้การควบคุมแบบต่างๆ ที่ใช้การควบคุมอัตโนมัติ เช่น การควบคุมด้วยวงจรควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนที่ใช้การทำการทดลองนี้ และ ยังมีในส่วนของเนื้อหาประกอบของชุดควบคุมอุณหภูมิต่างๆ การทำงานนี้จะเป็นแนวทางประยุกต์และปรับปรุงให้ดีขึ้น เพื่อใช้ในการศึกษา ระบบควบคุมแบบต่างๆ ต่อไปได้อีก

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของการควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ
2. เพื่อศึกษาเทคนิคการปรับแต่งผลตอบสนอง
3. เพื่อออกแบบตัวควบคุมอุณหภูมิโดยใช้วงจรควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวควบคุม

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎีหลักการของระบบควบคุมอุณหภูมิ
2. ทำการออกแบบและเลือกใช้วัสดุในการทำงาน
3. ศึกษาวงจรที่ใช้ในการทำงานของโครงการ
4. การสร้างเครื่องต้นแบบจำลองชุดควบคุมอุณหภูมิ
5. ทดลองเครื่องต้นแบบและปรับแต่งระบบให้มีผลตอบสนองที่ดีพร้อมทำการบันทึกผล

1.4 รายละเอียดของปริิญญานิพนธ์

- บทที่ 1 กล่าวถึงแนวคิดในการจัดทำโครงการ วัตถุประสงค์ในการจัดทำโครงการ ขอบเขตของโครงการ และเนื้อหาของปริิญญานิพนธ์
- บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีของการควบคุมกระบวนการควบคุมแบบต่างๆ ที่ใช้ในการควบคุมและหลักการการทำงานของชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ
- บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบ การสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิ และการทำงานของวงจรควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในชุดควบคุมอุณหภูมิ
- บทที่ 4 กล่าวถึงการทดลองชุดควบคุมอุณหภูมิที่สร้างขึ้น
- บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

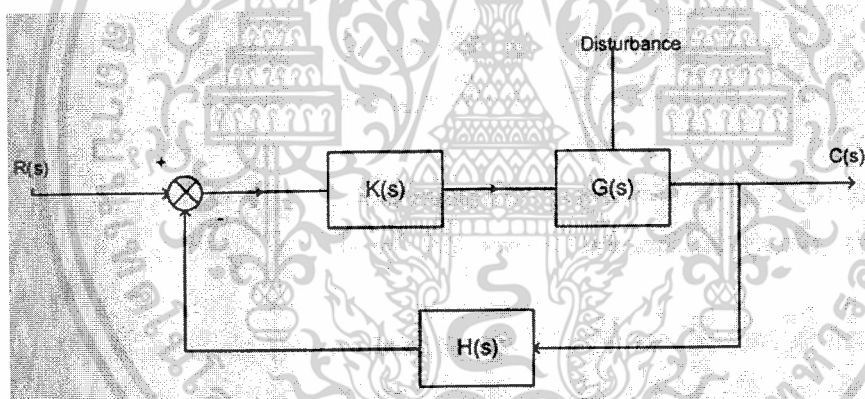
บทที่ 2

ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

ลักษณะการควบคุมที่ออกแบบอย่างดีย่อมขึ้นอยู่กับการใช้งานของแต่ละระบบไม่จำเป็นต้องเหมือนกันทุกระบบ แต่ระบบควบคุมทุกระบบมักจะมีโครงสร้างงานพื้นฐานที่คล้ายๆ กันเสมอ ดังนั้นเราต้องเรียนรู้ถึงพื้นฐานของระบบควบคุมให้เข้าใจเสียก่อน จึงจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานได้อย่างถูกต้อง

2.1 โครงสร้างพื้นฐานของระบบควบคุมอัตโนมัติ

จากรูปที่ 2.1 เป็นบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้ในการศึกษาปริญญาโท ซึ่ง เป็นโครงสร้างพื้นฐานโดยทั่วไป



รูปที่ 2.1 รูปแบบของระบบควบคุมอัตโนมัติ

จากรูปที่ 2.1 เป็นรูปแบบของระบบควบคุมอัตโนมัติโดยทั่วไปซึ่งมี $R(s)$ เป็นอินพุทของระบบที่ส่งไปยัง $G(s)$ ซึ่งเป็นกระบวนการทำงานของระบบ ซึ่งถูกควบคุมโดยสัญญาณควบคุมจาก $K(s)$ ซึ่งเป็นคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในการทำงานของระบบโดยทั่วไปแล้ว อาจเกิดการรบกวนได้จากภายในหรือภายนอก ระบบ ซึ่งทำให้ค่าที่ได้ไม่เป็นไปตามต้องการ ดังนั้นการสร้างระบบควบคุมแบบป้อนกลับ หรือ $H(s)$ นั้น เพื่อนำค่าเอาต์พุท ที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าอินพุท เพื่อส่งค่าที่ได้จากการ เปรียบเทียบไปยัง คอนโทรลเลอร์เพื่อนำมาสร้างสัญญาณควบคุมมาทำให้เอาต์พุทของระบบ ได้ตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำจำกัดความ

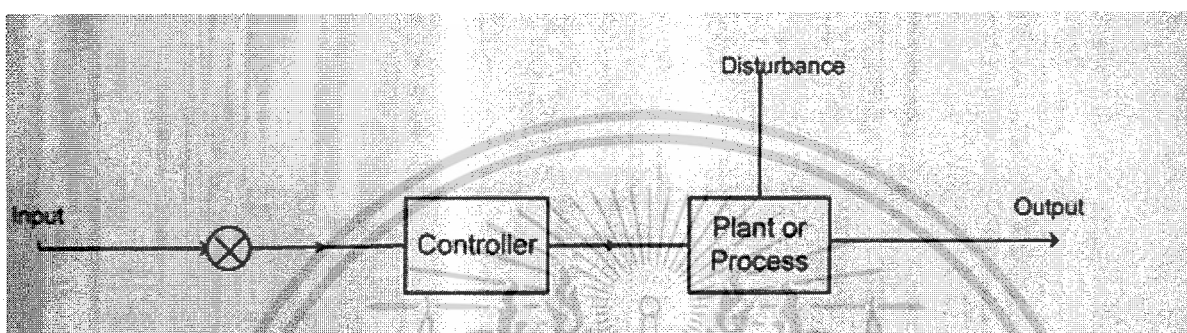
1. **อินพุท (Input)** หมายถึง ค่าหรือผลตอบสนองที่ต้องการของระบบที่ต้องการควบคุมที่ทำการกำหนดค่าไว้
2. **ตัวควบคุม (Controller)** หมายถึง เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุมเพื่อทำหน้าที่ควบคุมให้ระบบ หรือกระบวนการที่ต้องการควบคุม มีเอาต์พุทหรือผลตอบสนองตามความต้องการ
3. **กระบวนการ (Plant or Process)** หมายถึง ระบบหรือกระบวนการที่ถูกควบคุม หรืออาจจะเป็นวัตถุทางกายภาพที่ถูกควบคุมก็ได้
4. **เอาต์พุท (Output)** หมายถึง ผลตอบสนองของระบบ หรือกระบวนการที่ถูกควบคุม ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว ต้องการจะควบคุมให้อาต์พุทมีค่าตามอินพุทที่กำหนด (หรือ ตามค่าอินพุทที่เปลี่ยนแปลงไป) หรือมีค่าคงเดิมได้ เมื่อมีการรบกวนทั้งภายใน และภายนอก มากระทำต่อระบบที่ถูกควบคุม
5. **การรบกวน (Disturbance)** หมายถึง สัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้นในระบบที่ถูกควบคุม สัญญาณรบกวนนี้อาจจะเกิดขึ้นที่จุดใดๆ ในระบบก็ได้ การรบกวนนี้แบ่งเป็นสองลักษณะ
 - การรบกวนภายใน (Internal Disturbance) ซึ่งอาจจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ
 - การรบกวนภายนอก (External Disturbance) เป็นการรบกวนที่เกิดขึ้นจากภายนอกระบบ แต่มีผลต่อระบบที่กำลังควบคุมอยู่ โดยทั่วไปจะถือว่าการรบกวนจากภายนอกเป็นอินพุทหนึ่ง (ที่ไม่พึงประสงค์) ของระบบควบคุม
6. **อุปกรณ์วัด (Measuring Instruments)** หมายถึง อุปกรณ์ที่อาจจะ ได้แก่ เซนเซอร์ ทรานสดิวเซอร์ หรือ อุปกรณ์แปลงหรือ วัดสัญญาณอื่นๆ ที่ทำหน้าที่วัดค่าของเอาต์พุท ของระบบที่ถูกควบคุม แล้วป้อนกลับไปที่เพื่อทำการเปรียบเทียบกับอินพุทของระบบ
7. **ระบบ (System)** หมายถึง การนำเอาอุปกรณ์ต่างๆ ที่สามารถทำงานร่วมกันได้มารวบรวมเข้าด้วยกันเพื่อนำให้ทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งที่ต้องการ
8. **ระบบควบคุมการป้อนกลับ (Feedback Control System)** หมายถึง ระบบควบคุมที่ต้องการควบคุมให้อาต์พุท หรือ ผลตอบสนองของระบบมีค่าตามที่ต้องการ โดยนำเอาสัญญาณเอาต์พุทป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุท ซึ่ง การป้อนกลับนี้จะต้องเป็นการป้อนกลับแบบลบ (Negative Feedback) จากนั้น นำค่าความต่างระหว่างอินพุทและเอาต์พุท ส่งต่อไปยังส่วนสร้าง สัญญาณของตัวควบคุม เพื่อสร้างสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมที่จะทำให้เอาต์พุทของระบบที่ถูกควบคุมมีค่าตามต้องการ ระบบควบคุมป้อนกลับนี้อาจจะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ระบบควบคุมลูปปิด หรือ ระบบควบคุมอัตโนมัติก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ชนิดของระบบควบคุม

การจำแนกชนิดของระบบควบคุมทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับลักษณะของระบบนั้น ลักษณะของสัญญาณ ลักษณะการวิเคราะห์และศึกษาระบบเป็นต้น

2.2.1 ระบบควบคุมแบบลูปเปิด (Open Loop)



รูปที่ 2.2 ระบบควบคุมแบบลูปเปิด

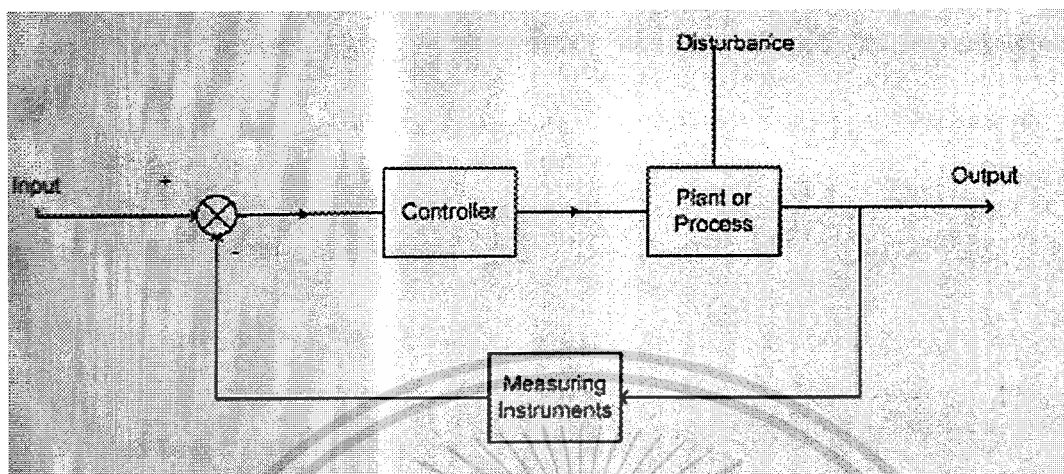
จากรูปที่ 2.2 เป็นระบบควบคุมแบบลูปเปิด ซึ่งอินพุตที่ได้จะถูกส่งไปยังกระบวนการทำงานของระบบ โดยมีสัญญาณควบคุมจากคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้ได้เอาต์พุต โดยอาจมีการรบกวนระบบจากทั้งภายในและภายนอกกระบวนการ ทำให้บางครั้งเอาต์พุตไม่เป็นไปตามต้องการ

2.2.2 ลักษณะทั่วไปของระบบควบคุมแบบลูปเปิด

- ไม่มีการนำเอาต์พุตมาเปรียบเทียบกับอินพุต (ไม่มีการป้อนกลับ)
- เอาต์พุตไม่มีผลโดยตรงต่อการควบคุม
- ไม่สามารถควบคุมเอาต์พุตหรือผลตอบสนองของระบบให้เป็นไปตามต้องการได้ตลอดเวลาหรือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น
- ไม่สามารถขจัดผลของการรบกวนได้ แต่ต้องใช้วิธีการปรับอินพุต
- ความเที่ยงตรงของเอาต์พุตขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่ใช้และการปรับเทียบ (Calibrate)
- ใช้งานง่าย ไม่ต้องกังวลเรื่องเสถียรภาพเพราะจะทราบได้ในทันที
- ระบบควบคุมแบบลูปเปิด จะใช้กับระบบที่ไม่ต้องการความเที่ยงตรงสูง และใช้งานง่าย ๆ เช่น พัดลม เตาไรต์ ระบบควบคุมไฟจราจรแบบเดิม ระบบที่มีการทำงานตามเวลาล่วงหน้าที่กำหนดไว้เป็นส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ระบบควบคุมแบบลูปปิด (Close Loop)



รูปที่ 2.3 ระบบควบคุมแบบลูปปิด

จากรูปที่ 2.3 เป็นรูประบบควบคุมแบบลูปปิด ซึ่งต่างจากระบบควบคุมแบบลูปเปิด คือในระบบควบคุมแบบลูปเปิดนั้น จะไม่มีระบบควบคุมแบบป้อนกลับ ทำให้เมื่อเกิดการรบกวนจากภายนอก หรือภายในระบบ ค่าเอาต์พุตที่ได้จะไม่เป็นไปตามต้องการ ดังนั้นจากรูปที่ 2.3 ในระบบควบคุมแบบลูปปิด จะมีการสร้างระบบควบคุมแบบป้อนกลับขึ้นมา เพื่อนำค่าเอาต์พุตที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าอินพุตเพื่อนำผลที่ได้จากการเปรียบเทียบไปสร้างสัญญาณควบคุมจากคอนโทรลเลอร์เพื่อจัดการรบกวนจากทั้งภายในและภายนอกระบบ

2.2.4 ลักษณะทั่วไปของระบบควบคุมแบบลูปปิด

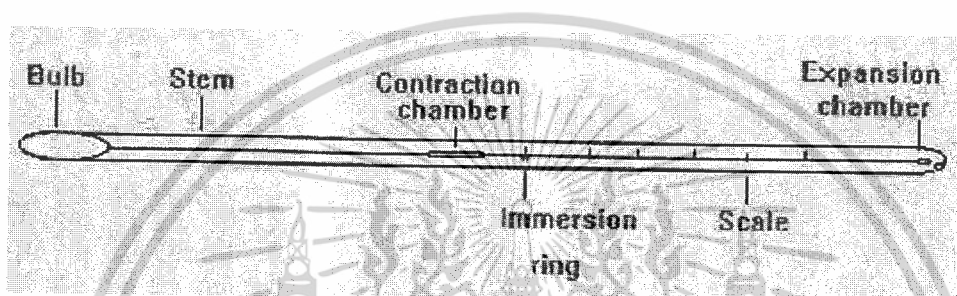
- มีการนำเอาต์พุตมาเปรียบเทียบกับอินพุต (การป้อนกลับ) ดังนั้น เอาต์พุตมีผลโดยตรงต่อการควบคุม
- สามารถควบคุมเอาต์พุตหรือผลตอบสนองต่อระบบควบคุม เป็นไปได้ตามต้องการได้ตลอดเวลา หรือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น
- สามารถจัดผลหรือลดผลของการรบกวนได้ ไม่ว่าจะเป็นการรบกวนจากภายใน หรือการรบกวนจากภายนอก ทั้งนี้เพราะมีการป้อนกลับ
- อุปกรณ์ที่ใช้ไม่จำเป็นต้องมีความเที่ยงตรงสูง
- ต้องระวังปัญหาเรื่องเสถียรภาพอันเกิดจากผลการป้อนกลับ
- ระบบควบคุมแบบลูปปิด จะใช้กับระบบที่มีความเที่ยงตรงสูง และใช้งานทั่วไป หรืองานควบคุมอุตสาหกรรม เช่น การควบคุมอุณหภูมิห้อง การควบคุมอุณหภูมิของตู้เย็น ระบบควบคุมเชิงกล ระบบควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรม เป็นต้น

2.3 ตัวตรวจวัดอุณหภูมิ (Temperature Detector)

2.3.1 Liquid in Glass Thermometer

Liquid in Glass Thermometer หรือ เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะแก้ว ที่มีใช้งานกันอยู่ทั่วไปนั้น มีเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจถึงการใช้อย่างถูกต้องให้ตรงตามข้อกำหนดของเทอร์โมมิเตอร์ชนิดนั้น ๆ

ส่วนประกอบของเทอร์โมมิเตอร์



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบที่สำคัญของเทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะแก้ว

ส่วนประกอบที่สำคัญของเทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะแก้ว

- 1.) Bulb คือ ส่วนกระเปาะแก้วที่ภายในบรรจุของเหลวที่มีความไว ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
- 2.) Stem คือ ก้านแท่งแก้ว ภายในเป็นท่อเล็ก ๆ (Capillary) ให้ของเหลวขยายตัววิ่งเข้าไปเมื่อได้รับอุณหภูมิ
- 3.) Scale คือ ชีตแสดงอุณหภูมิที่ติดอยู่บน Stem บอกค่าอุณหภูมิ โดยดูจากระดับของเหลวใน Capillary
- 4.) Contraction Chamber เป็นส่วนขยายกว้างใน Capillary มีไว้ป้องกันไม่ให้ของเหลวหดตัวเข้าไปในกระเปาะเมื่อวัดอุณหภูมิต่ำเกินไป (บางตัวไม่มี)
- 5.) Expansion Chamber เป็นส่วนขยายกว้างใน Capillary ด้านบนสุดของเทอร์โมมิเตอร์ มีไว้ป้องกันไม่ให้เทอร์โมมิเตอร์แตก เมื่อวัดอุณหภูมิสูงเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.) Immersion Ring มีเฉพาะเทอร์โมมิเตอร์แบบ Partial Immersion Thermometer เป็นชนิดบอกเพื่อให้จุ่มเทอร์โมมิเตอร์จนผิวของเหลวอยู่ที่ขีดนี้ เพื่อวัดอุณหภูมิของของเหลว

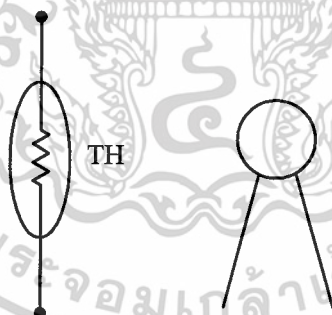
ของเหลวที่ใส่ในเทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้มักเป็นปรอท แต่ยังมีของเหลวชนิดอื่นที่ใช้ เช่น แอลกอฮอล์ โทลูอิน เพนเทน เป็นต้น

การทำงานของ Liquid in Glass Thermometer ใช้การขยายตัวของของเหลวที่ใช้บรรจุ ซึ่งขยายตัวมากกว่าแท่งแก้วที่เป็น Body ความสูงของของเหลวใน Capillary จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

2.3.2 เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor)

2.3.2.1 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของเทอร์มิสเตอร์

เทอร์มิสเตอร์มาจากคำว่า Thermo + Resistor คำว่า Thermo นั้นหมายถึง ความร้อน ดังนั้น เทอร์มิสเตอร์จึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “ตัวต้านทานความร้อน” (Thermal Resistor) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ทำมาจากโลหะออกไซด์ เช่น แมงกานีส, นิกเกิล, โคบอลต์, ทองแดงและยูเรเนียม เป็นต้น โดยสารเหล่านี้จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ดังนั้น เทอร์มิสเตอร์จึงมีคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานตามอุณหภูมิโดยใช้ตัวย่อ “TH”



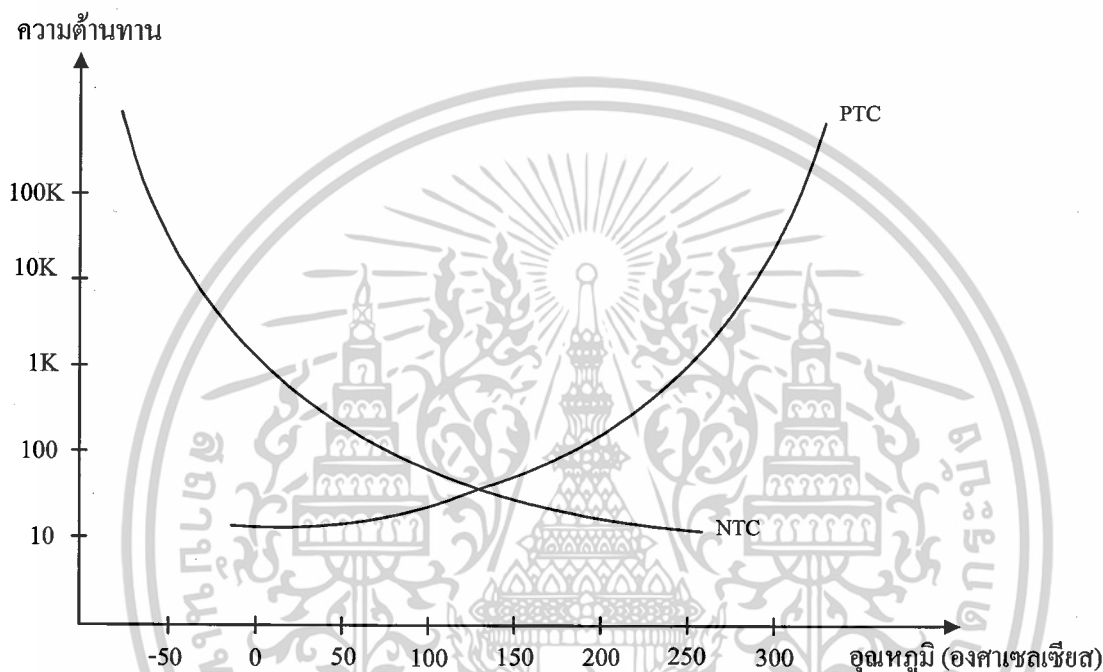
รูปที่ 2.5 แสดงสัญลักษณ์และรูปร่างของเทอร์มิสเตอร์

เทอร์มิสเตอร์โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นเม็ดลูกปัดขนาดเล็กๆ จนถึงขนาด 1 นิ้ว และอีกแบบจะเป็นแบบแท่งยาวประมาณ 1/4 – 2 นิ้ว ส่วนค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์นั้นจะมีค่าโดยประมาณอยู่ในช่วง

2.3.2.2 ชนิดของเทอร์มิสเตอร์

1.) NTC (Negative Temperature Coefficient) เป็นเทอร์มิสเตอร์แบบที่ค่าความต้านทานจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

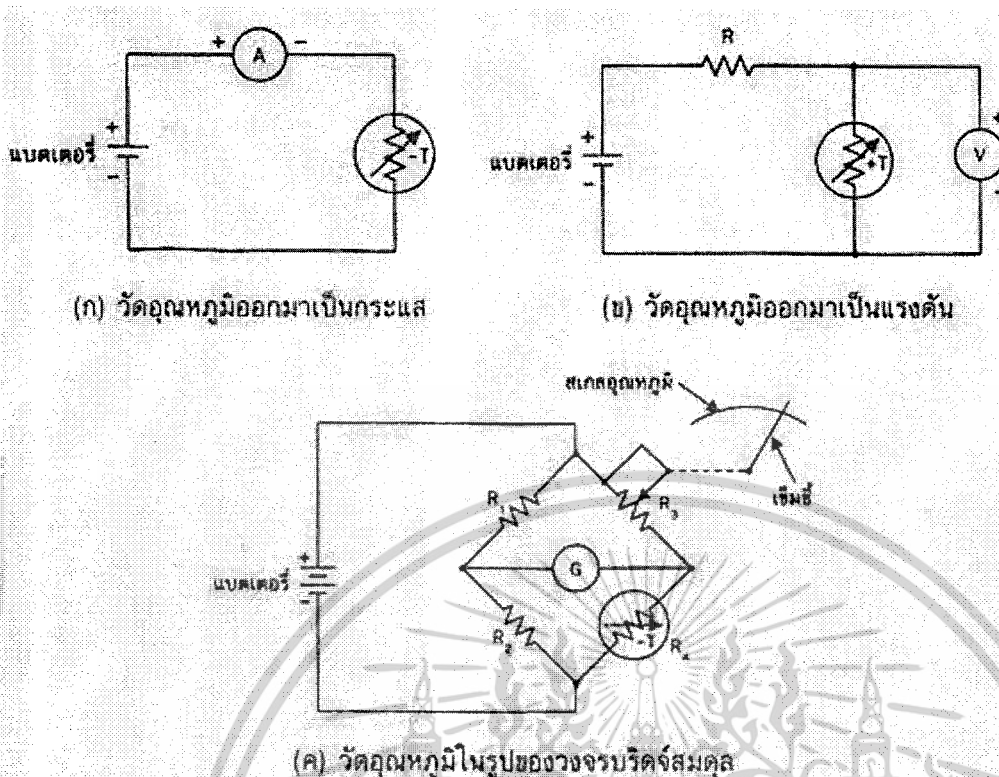
2.) PTC (Positive Temperature Coefficient) เป็นเทอร์มิสเตอร์แบบที่ค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น



รูปที่ 2.6 แสดงกราฟคุณสมบัติของเทอร์มิสเตอร์ชนิด NTC และ PTC

2.3.2.3 การประยุกต์ใช้งานเทอร์มิสเตอร์

การนำเทอร์มิสเตอร์ไปใช้งาน อาจนำไปต่อรวมในวงจรที่มีตัวต้านทาน แอมมิเตอร์ โวลต์มิเตอร์ และแหล่งจ่ายแรงดัน โดยนำไปใช้ในการตรวจสอบอุณหภูมิ และเปลี่ยนค่าออกมาเป็นกระแสหรือแรงดัน และอาจนำไปใช้ต่อในวงจรบริดจ์สมดุลก็ได้ ลักษณะวงจรต่างๆ แสดงดังรูป



รูปที่ 2.7 การประยุกต์ใช้งานเทอร์มิสเตอร์

จากรูป 2.7(ก) เป็นวงจรที่ประกอบด้วยเทอร์มิสเตอร์ เพื่อใช้วัดอุณหภูมิต่ออนุกรมกับแอมมิเตอร์และแบตเตอรี่ เทอร์มิสเตอร์เป็นแบบ NTC เมื่อเทอร์มิสเตอร์ได้รับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นความต้านทานในตัวเทอร์มิสเตอร์ลดลง มีกระแสไหลผ่านวงจรมากขึ้น ถ้าทราบคุณสมบัติของเทอร์มิสเตอร์ก็สามารถแปลงกระแสให้เป็นค่าอุณหภูมิได้

จากรูป 2.7(ข) เป็นวงจรที่ประกอบด้วยเทอร์มิสเตอร์ เพื่อใช้วัดอุณหภูมิต่ออนุกรมกับตัวต้านทาน R และต่อขนานกับโวลต์มิเตอร์ทั้งหมดไปต่อกับแบตเตอรี่ เทอร์มิสเตอร์เป็นแบบ PTC เมื่อเทอร์มิสเตอร์ได้รับอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานในตัวเทอร์มิสเตอร์เพิ่มขึ้น มีแรงดันตกคร่อมมากขึ้น ถ้ากำหนดสเกลของโวลต์มิเตอร์ให้เหมาะสมกับหน่วยอุณหภูมิ ก็สามารถอ่านโวลต์ออกมาเป็นอุณหภูมิได้

จากรูป 2.7(ค) เป็นวงจรวัดอุณหภูมิที่ใช้หลักการวงจรบริดจ์สมดุลมี R_1 , R_2 เป็นตัวต้านทานค่าคงที่ประกอบเป็น 2 ด้านของวงจรบริดจ์ R_3 เป็นโพเทนทิโอมิเตอร์ปรับค่าเพื่อให้วงจรบริดจ์สมดุล แกนของโพเทนทิโอมิเตอร์มีเข็มชี้ยึดติดอยู่ และมีสเกลบอกค่าอุณหภูมิติดไว้ด้วย R_4 เป็นเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC ใช้วัดอุณหภูมิ สภาวะปกติปรับ R_3 ให้วงจรบริดจ์สมดุลได้ที่กัลป์วานอมิเตอร์ชี้ค่าที่ตำแหน่งศูนย์พอดี เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป ค่าความต้านทานของ R_4 เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า อาจเพิ่มขึ้นหรือลดลง ส่งผลให้วงจรบริดจ์ไม่สมดุล ต้องทำการปรับแต่งค่า R_3 ให้บริดจ์สมดุลตามเดิม ขณะปรับค่า R_3 แกนของ R_3 ไปทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

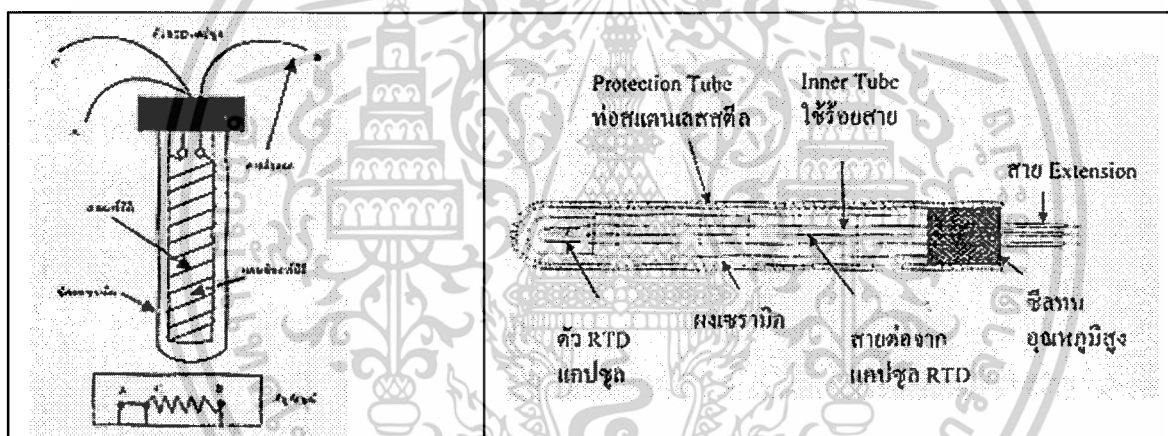
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข็มชี้เปลี่ยนตำแหน่งไป ถ้าเปรียบเทียบสเกลจนได้อัตราร้อยระหว่างการเคลื่อนที่ของแกน และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแล้ว ก็สามารถอ่านค่าอุณหภูมิขณะปรับ R_3 จนบริดจ์สมดุลได้ เข็มชี้จะชี้ตำแหน่งของอุณหภูมิออกมา

2.3.3 RTD (Resistance temperature detector)

2.3.3.1 ส่วนประกอบของ RTD

RTD ทำจากลวดโลหะที่มีความยาวค่าหนึ่ง ซึ่งที่ $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะมีค่าความต้านทานค่าหนึ่งตามที่กำหนด ลวดโลหะนี้จะพันอยู่บนแกนที่เป็นฉนวนไฟฟ้า มีคุณสมบัติทนต่อความร้อน และต้องมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวสัมพันธ์กับการขยายตัวของขดลวด RTD จะถูกบรรจุอยู่ใน Metal Sheath ฉนวนที่ใช้เป็นพวกแมกนีเซียมออกไซด์ หรืออะลูมิเนียมออกไซด์



รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบของ RTD

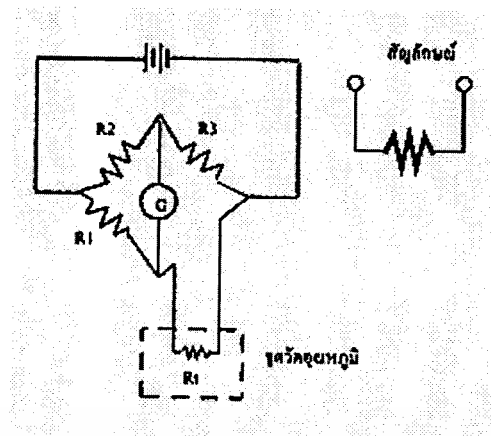
2.3.3.2 ชนิดของ RTD

สำหรับชนิดของ RTD ที่จะกล่าวในปริยญาณิพนธ์ มีทั้งหมด 3 แบบ คือ RTD แบบ 2 สาย, RTD แบบ 3 สาย และ RTD แบบ 4 สาย ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้

RTD 2 สาย

วงจรใช้งานพื้นฐานของ RTD คือ Wheathstone Bridge โดย R_t คือ RTD ซึ่งติดตั้งอยู่ในจุดที่ต้องการวัดอุณหภูมิ มีค่าความต้านทานอีก 3 ค่าในวงจร คือ R_1 , R_2 และ R_3 ซึ่งต้องอยู่ที่อุณหภูมิห้อง และเป็นความต้านทานชนิดที่มีความถูกต้องสูง

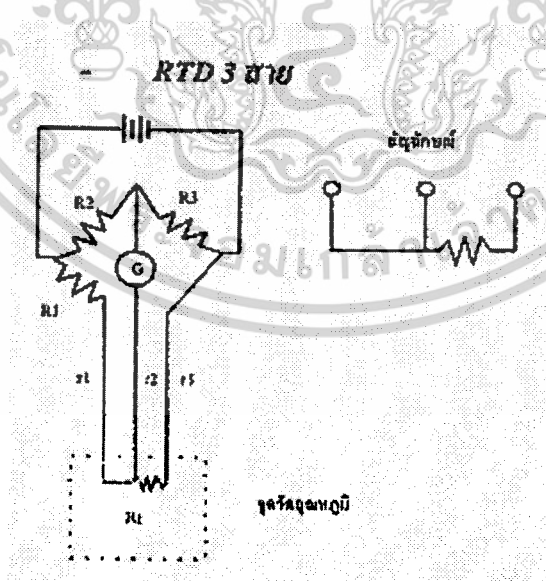
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 RTD 2 สาย

วงจร Bridge จะอยู่ในสถานะสมดุล เมื่อ RTD (R_t) อยู่ที่ $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ แล้วทำให้ $R_t/R_3 = R_1/R_2$ ซึ่งจะไม่มีการไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์ เมื่ออุณหภูมิที่ R_t สูงขึ้น ค่า R_t จะเพิ่มขึ้นทำให้ วงจร Bridge ไม่สมดุลและมีการไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์ เมื่ออุณหภูมิที่ R_t สูงขึ้น ค่า R_t จะเพิ่มขึ้นทำให้ วงจร Bridge ไม่สมดุลและมีการไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์ อย่างไรก็ตาม RTD 2 สายเหมาะกับงานที่ RTD อยู่ใกล้กับวงจรเท่านั้น ไม่เหมาะกับงานที่ต้องลากสายยาว ๆ เนื่องจากจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นจากค่าความต้านทานสะสมของสายตัวนำ ทำให้ค่าที่อ่านได้ผิดเพี้ยนไป RTD 2 สายจึงเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการความถูกต้องสูงนัก

RTD 3 สาย



รูปที่ 2.10 RTD 3 สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

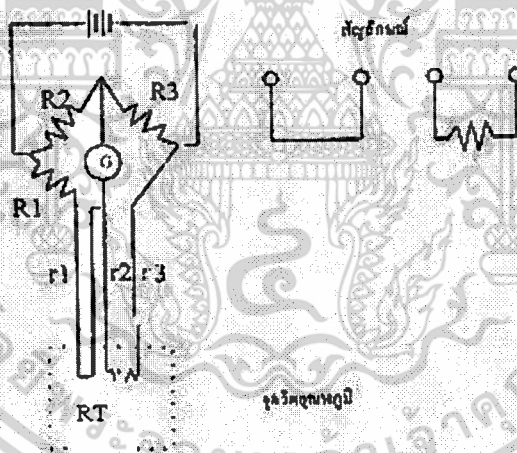
RTD 3 สาย เป็นที่นิยมใช้ที่สุดในอุตสาหกรรม โดยสายทั้ง 3 เป็นแบบที่นิยมใช้ที่สุดในอุตสาหกรรม โดยสายทั้ง 3 ที่อยู่ระหว่างจุดที่วัดกับวงจร จะต้องมียขนาด, ความยาวเท่ากัน และอยู่ในอุณหภูมิเดียวกันตลอดเพื่อให้ค่าความต้านทาน r_1 , r_2 และ r_3 เปลี่ยนไปในทิศทางเดียวกันด้วยขนาดที่เท่ากัน นั่นคือ

$$(R_t + r_3)/R_3 = (R_1 + r_1)/R_2$$

เนื่องจาก r_1 เท่ากับ r_3 เพราะฉะนั้นอุณหภูมิที่วัดจึงขึ้นอยู่กับ R_t เพียงตัวเดียว ทำให้ RTD 3 สายมีความถูกต้องสูงกว่า RTD แบบ 2 สาย

RTD 4 สาย

RTD 4 สายเป็นแบบที่มีความถูกต้องสูงที่สุด เนื่องจากเลื่อนจุดต่อของ Bridge ออกไปอยู่ภายนอกทั้ง 4 จุด สามารถชดเชยความต้านทานของสายตัวนำได้ทั้งหมด โดยสายทั้ง 4 ต้องมียขนาด, ความยาวเท่ากัน และอยู่ในอุณหภูมิเดียวกันตลอดเหมือนกับ RTD 3 สาย



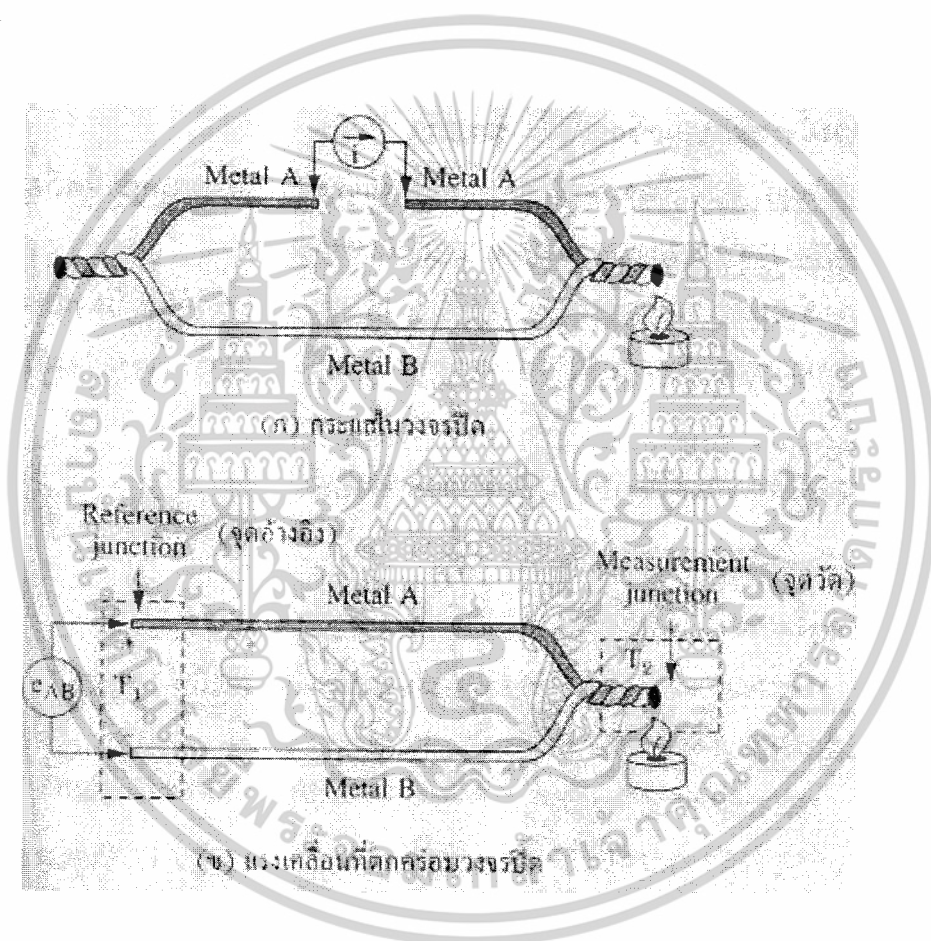
รูปที่ 2.11 RTD 4 สาย

RTD เป็น Sensor วัดอุณหภูมิที่มี Linearity ดีที่สุด มีความถูกต้องสูงและให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูง แต่มีย่านการใช้งานไม่กว้างเท่ากับเทอร์โมคัปเปิล และมีราคาแพงกว่าพอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

เทอร์โมคัปเปิล คืออุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (emf) เทอร์โมคัปเปิลทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว (แตกต่างกันทางโครงสร้างของอะตอม) นำมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกันที่ปลายด้านหนึ่ง เรียกว่าจุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยเปิดไว้ เรียกว่าจุดอ้างอิง หากจุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกันก็จะทำให้มีการนำกระแสในวงจรเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองข้าง ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ค้นพบโดย Thomas Seebeck นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันในปี ค.ศ.1821 ในรูปที่ 1 เป็นวงจรที่ใช้อธิบายผลของซีเบ็คดังกล่าว



รูปที่ 2.12 ผลของซีเบ็ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากความร้อน (Thermoelectric Effect)

ทฤษฎีพื้นฐานของผลจากเทอร์โมอิเล็กทริก เกิดจากการส่งผ่านทางไฟฟ้าและทางความร้อนของ โลหะที่ต่างกันจึงทำให้เกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้าตกคร่อมที่โลหะนั้น ความต่างศักย์นี้จะสัมพันธ์กับความจริงที่ว่า อิเล็กตรอนในปลายด้านร้อนของโลหะจะมีพลังงานความร้อนมากกว่าปลายทางด้านเย็น จึงทำให้ อิเล็กตรอนมีความเร็วไปหาปลายด้านเย็น ที่อุณหภูมิเดียวกันนี้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะแปรเปลี่ยนไปตามโลหะที่ต่างชนิดกันด้วย ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า โลหะที่ต่างกันจะมีการนำความร้อนที่ต่างกันนั่นเอง

1. ผลของซีเบ็ค (Seebeck Effect) โดยใช้ทฤษฎีโชติคสแตด เราสามารถวิเคราะห์ค่าได้จากสมการอินทิเกรตค่าจากย่านของอุณหภูมิดังกล่าว นั่นคือ

$$\varepsilon = \int_{T_1}^{T_2} (Q_A - Q_B) dT$$

สมการนี้จะอธิบายผลของซีเบ็ค ซึ่งพบว่า

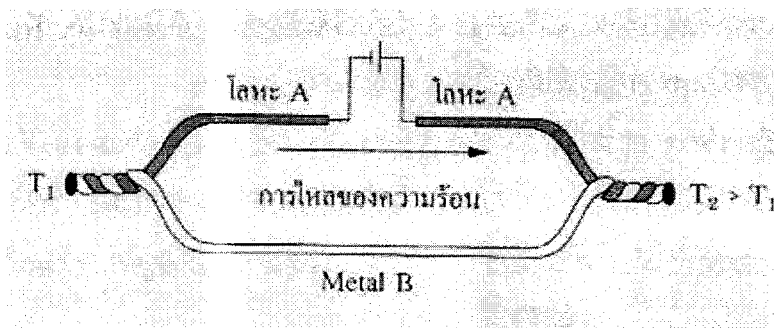
1. ค่า emf. ที่เกิดจะเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของอุณหภูมิ จึงเกิดความแตกต่างของค่าคงที่ในการส่งผ่านความร้อนของโลหะ
2. ถ้าใช้โลหะชนิดเดียวกันมาทำเทอร์โมคัปเปิลค่า emf. ที่ได้ก็จะมีค่าเป็นศูนย์
3. ถ้าอุณหภูมิทั้งสองจุดคือจุดวัดและจุดอ้างอิงเหมือนกันค่า emf. ก็จะเป็นศูนย์โดยสูตรที่ง่ายและสามารถนำมาคำนวณได้เช่นกันคือ

$$\varepsilon = \alpha(T_2 - T_1)$$

เมื่อ α = ค่าคงที่หรือเรียกว่าสัมประสิทธิ์ของซีเบ็ค ; volts/K

T_1, T_2 = อุณหภูมิที่จุดต่อ ; K

2. ผลของเพลเทียร์ (Peltier Effects) หากคิดย้อนกลับจากผลของซีเบ็ค นั่นคือใช้โลหะที่แตกต่างกันสองชนิดมาเชื่อมต่อทั้งสองเข้าด้วยกันแล้วจ่ายพลังงานจากภายนอกเข้าไป ก็จะเป็นเหตุให้เกิดกระแสไหลในวงจร เพราะจากคุณสมบัติในการส่งไฟฟ้าและความร้อนของโลหะ พบว่าขั้วหนึ่งจะเกิดความร้อน (T_2) และอีกขั้วหนึ่งจะเกิดความเย็น (T_1) ขึ้น โดยผลดังกล่าวเรียกว่า “ผลของเพลเทียร์” (Peltier effect) และถูกนำไปใช้งานพิเศษสำหรับการทำความเย็นกับส่วนของระบบอิเล็กทรอนิกส์ หรือแม้กระทั่งเครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก



รูปที่ 2.13 ผลของเพลเทียร์

ตารางแสดงแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple Table)

ตารางเทอร์โมคัปเปิลจะให้แรงเคลื่อนสำหรับเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด เมื่ออ้างอิงกับจุดอ้างอิงที่กำหนด (0°C) ณ อุณหภูมิที่จุดวัดต่างๆ พบว่าที่อุณหภูมิ 210°C เทอร์โมคัปเปิลชนิด j เมื่ออ้างอิงที่ 0°C จะมีแรงเคลื่อนเป็น

$$V(210^{\circ}\text{C}) = 11.3 \text{ mV (ชนิด } j, 0^{\circ}\text{C ref.)}$$

ในทางกลับกัน ถ้าเราวัดแรงเคลื่อนได้ 4.768 mV กับชนิด s และอุณหภูมิอ้างอิงที่ 0°C เราพบว่า

$$T(4.768 \text{ mV}) = 555^{\circ}\text{C (ชนิด } s, 0^{\circ}\text{C ref.)}$$

แต่บางกรณี แรงเคลื่อนที่วัดได้จะไม่ตรงกับค่าในตาราง จึงจำเป็นต้องมีการแบ่งสเกล (interpolate) ระหว่างค่าในตาราง ซึ่งหาได้จากสมการการแบ่งสเกลดังนี้

$$T_M = T_L + \left[\frac{T_H - T_L}{V_H - V_L} \right] (V_M - V_L)$$

เมื่อ

V_M = คือแรงเคลื่อนที่วัดได้จากมิเตอร์

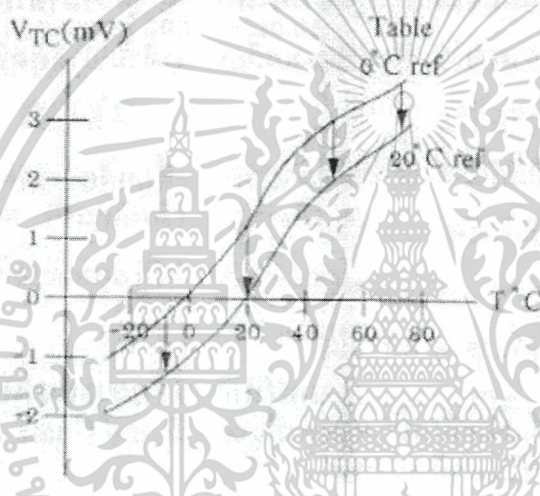
V_H และ V_L = ค่าแรงเคลื่อนของ T_H และ T_L อ่านได้จากตารางโดย V_H อยู่สูงกว่า V_M และ V_L ต่ำกว่า V_M

T_H และ T_L = ค่าอุณหภูมิที่ตรงกับค่าแรงเคลื่อน V_H และ V_L ตามลำดับ

การเปลี่ยนจุดอ้างอิงของตาราง (Change of Table Reference)

หากอุณหภูมิอ้างอิงแตกต่างจากตารางเทอร์โมคัปเปิลที่กำหนดไว้ เรายังสามารถใช้ค่าจากตารางนี้เป็นฐานในการคำนวณได้ ข้อควรจำคือเมื่อวัดอุณหภูมิเดียวกันแต่เปลี่ยนไปใช้จุดอ้างอิงที่สูงกว่าจะทำให้แรงเคลื่อนทางเข้าที่พุดถูกคให้ต่ำลง ดังรูปที่ 3

เช่นนำเทอร์โมคัปเปิลชนิด J ซึ่งมีจุดอ้างอิงที่ 30 °c ไปวัดที่ 400 °c วิธีการหาแรงเคลื่อนใหม่ที่ได้อือขั้นแรกหาแรงเคลื่อน ณ อุณหภูมิที่ต้องการอ้างอิงใหม่จากตาราง ในตอนนี้คือ 30 °c ณ จุดอ้างอิง 0 °c จากภาพผนวก ข. พบว่ามีแรงเคลื่อน 1.54 mV (เรียกค่าที่หาได้นี้ว่าตัวประกอบ) หลังจากนั้นก็นำค่านี้ไปลบออกจากแรงเคลื่อนที่จุดวัดที่ 400 °c เมื่อจุดอ้างอิงเป็น 0 °c หรือเขียนเป็นขั้นตอนได้ดังนี้



รูปที่ 2.14 การเปลี่ยนจุดอ้างอิงจาก 0 ถึง 200 °C ซึ่งจะสอดคล้องกับการเลื่อนลงของเส้นโค้งแรงเคลื่อนเทอร์โมคัปเปิล

$V(30^{\circ}c) = 1.54 \text{ mV}$ (ชนิด J , 0 °c ref.) ขั้นแรก

และ $V(400^{\circ}c) = 21.85 \text{ mV}$ (ชนิด J , 0 °c ref.) ขั้นที่สอง

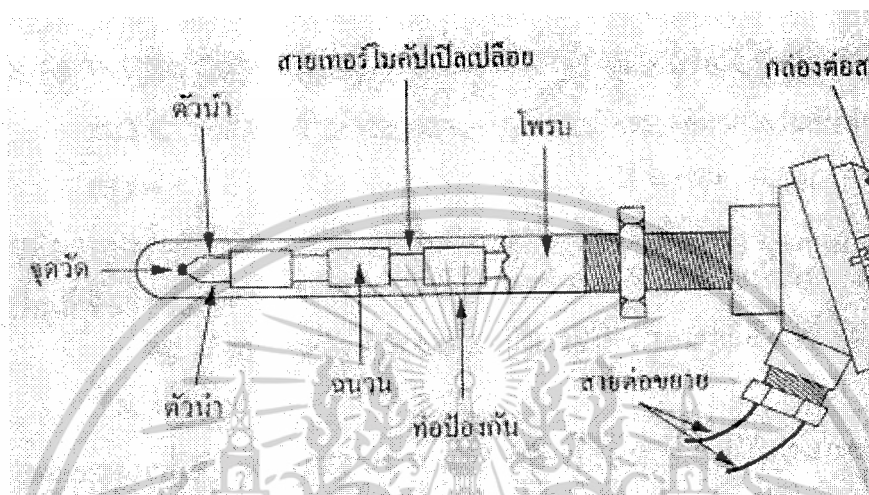
นำค่า (ตัวประกอบ) ที่ได้จากขั้นที่สองมาลบออกจากขั้นแรก ทำให้ได้แรงเคลื่อนซึ่งขึ้นอยู่กับความแตกต่างนี้เป็น

$V(400^{\circ}c) = 20.31 \text{ mV}$ (ชนิด J , 30 °c ref.)

เพื่อหลีกเลี่ยงความสับสนของจุดอ้างอิงจะเขียนในแบบใหม่ เช่น V_{j0} จะหมายถึงแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลชนิด J อ้างอิงที่ 0 °c และ V_{j30} หมายถึงของชนิด J อ้างอิงที่ 30 °c

คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน(Characteristic of Standard Thermocouples)

1.ความไว (Sensitivity) จากตารางแรงเคลื่อนของ NBS แสดงว่าย่านของแรงเคลื่อนจากเทอร์โมคัปเปิลจะมีค่าน้อยกว่า 100 mV แต่ความไวที่แท้จริงในการใช้งานจะขึ้นอยู่กับการใช้วงจรปรับสภาพสัญญาณและตัวเทอร์โมคัปเปิลเอง



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล

2.โครงสร้าง (Construction) โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิลมีลักษณะดังรูปที่ 4 โดยต้องมีลักษณะดังนี้คือ: มีความต้านทานต่ำ ให้สัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูง ต้านทานต่อการเกิดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงๆ ทนต่อสภาวะแวดล้อมที่นำไปใช้วัดค่า และเป็นเชิงเส้นสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ตัวฝักหรือท่อป้องกันส่วนมากจะทำจากสแตนเลส ความไวของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับความหนาของท่อป้องกันทั้งเยอรมันเนียมและซิลิคอนจะทำให้คุณสมบัติการเกิดเทอร์โมอิเล็กทริกจึงใช้กันมากในอุปกรณ์ทำความเย็น (peltier element) มากกว่าที่จะใช้เป็นเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิ

ขนาดของสายเทอร์โมคัปเปิลกำหนดได้จากการใช้งานแต่ละอย่าง และมีขนาดจาก #10 ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่คงที่ จนถึงขนาด # 30 หรือแม้กระทั่ง 0.02 mm ซึ่งเป็นสายแบบไมโครไวร์ (microwire) ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิการกลั่นในงานทางชีววิทยา

3.ย่านการใช้งาน (Range) ย่านอุณหภูมิการใช้งานและความไวในการวัดของเทอร์โมคัปเปิล แต่ละตัวจะแตกต่างกันตามแต่ละสมาคมจะกำหนด ในส่วนที่สำคัญคือค่าแรงเคลื่อนที่ออกมาจากแต่ละอุณหภูมิจะต้องอ้างอิงกับตารางค่ามาตรฐานของแต่ละสมาคมที่ใช้ให้ถูกต้องเป็นเอกภาพเดียวกันหมดทั้งระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.เวลาตอบสนอง (Time Response) เวลาตอบสนองของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับขนาดของสายและวัสดุที่นำมาทำท่อป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิล

5.การปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning) ปกติแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลจะมีขนาดเล็กมากจึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณ โดยใช้ออปแอมป์ขยายความแตกต่างที่มีอัตราขยายสูงๆ

การใช้งานเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน (Characteristic in Application of Thermocouple Standard Type)

ในปัจจุบัน พบว่ามีเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานอยู่ 7 ชนิดตามมาตรฐานของ ANSI และ ASTM โดยการจำแนกตามประเภทของวัสดุที่ใช้ทำได้แก่

1.เทอร์โมคัปเปิลแบบ S ประดิษฐ์โดยนาย Le Chatelier ในปี 1886

1.1 ข้อดีของแบบ S

- เหมาะกับการใช้งานในสภาวะที่เกิดปฏิกิริยาเคมีแบบออกซิไดซิง(oxidizing)
- เหมาะกับการใช้งานในสภาวะงานเฉื่อย (inert) คืองานที่ไม่เปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาใดๆ ได้ง่าย ๆ
- นิยมใช้กับงานวัดตัวแปรที่มีอุณหภูมิสูง เช่น เตาหลอมเหล็ก
- วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 ถึง 1550^oc และอุณหภูมิช่วงสั้นได้จากช่วงประมาณ -50ถึงประมาณ 1700^oc
- หากอยู่ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะให้ความเที่ยงตรงสูงที่สุด
- ใช้ในการสอบเทียบ ตั้งแต่จุดแข็งตัวของแอนติโมนี (630.74^oc) จนถึงจุดแข็งตัวของทองแดง (1064.43^oc) ตามมาตรฐาน IPTS 68

1.2 ข้อเสียของแบบ S

- ต้องใช้ท่อป้องกันในทุกสภาวะบรรยากาศ
- ไม่เหมาะกับการงานที่มีปฏิกิริยาแบบรีดิวซิง (reduzing)
- ไม่เหมาะกับการงานที่เป็นสุญญากาศ(vacuum)
- ไม่เหมาะกับการงานที่มีไอโลหะ เช่น สังกะสี ตะกั่ว
- ไม่เหมาะกับการงานที่มีไอของโลหะ เช่น กำพวด อาเซนิก ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส เพราะจะมีอายุการใช้งานสั้นลง

2.เทอร์โมคัปเปิลแบบ R เป็นแบบที่เหมาะสมกับการวัดอุณหภูมิสูง ๆ

2.1 ข้อดีของแบบ R

- ให้แรงเคลื่อนทางด้านเอาต์พุตสูงกว่าแบบ S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 ถึง 1600^oc
- วัดอุณหภูมิช่วงสั้นได้จากช่วง-50 ถึงประมาณ 1700^oc
- เหมาะกับการวัดอุณหภูมิสูงๆ เช่น ในเตาหลอมเหล็ก อุตสาหกรรมแก้ว
- ทนทานต่อการกัดกร่อน และให้เสถียรภาพของอุณหภูมิที่ดี
ส่วนลักษณะข้อเสียเช่นเดียวกับแบบ S แต่ส่วนที่เพิ่มเติมคือ ให้ความเป็นเชิงเส้นต่ำเพิ่ม
อุณหภูมิต่ำกว่า 540^oc

3.เทอร์โมคัปเปิลแบบ B ผลิตรั้งแรกเมื่อปี 1954 ในประเทศเยอรมัน

3.1 ข้อดีของแบบ B

- วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วงประมาณ 100 ถึงประมาณ 1600^oc
- วัดอุณหภูมิช่วงสั้นได้จากช่วงประมาณ 50 ถึงประมาณ 1750^oc
- แข็งแรงกว่าแบบ S และแบบ R
- เหมาะกับการใช้งานในสถานะที่มีปฏิกิริยาแบบออกซิไดซิงและสถานะเฉื่อย ให้ความเป็นเชิงเส้นของ
สัญญาณ (linearity) ดี

3.2 ข้อเสียของแบบ B

- ให้แรงเคลื่อนของไฟฟ้าน้อยกว่าแบบอื่น ๆ เมื่อวัดอุณหภูมิที่เงื่อนไขเดียวกัน
- ไม่เหมาะกับสถานะที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาแบบรีดิวซิง
- ไม่เหมาะกับสถานะที่เป็นสุญญากาศ
- ไม่เหมาะกับสภาพงานที่มีไอของโลหะและอโลหะเช่นเดียวกับแบบ R และ S
- ให้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าสองค่า (double value region) จากอุณหภูมิในช่วง 0-42^oc (ดังรูปตัวอย่าง
ด้านล่าง) ทำให้ไม่สามารถทราบได้ว่าที่แรงเคลื่อนไฟฟ้านั้นมีอุณหภูมิเป็นเท่าใด เช่นที่อุณหภูมิ 0^oc
จะแรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับ 42^oc
- ให้ความชัน(การเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนต่ออุณหภูมิ) ของสัญญาณต่ำกว่าแบบอื่น ๆ

4.เทอร์โมคัปเปิลแบบ J พบว่าหากใช้แพลทินัมมาทำเป็นเทอร์โมคัปเปิลความคุ้มทุนก็ลดลงไป ดังนั้น
เพื่อที่จะทำให้เทอร์โมคัปเปิลราคาถูกลง จึงใช้วัสดุธาตุอื่นที่มีราคาถูกกว่ามาทดแทนแพลทินัม โดยรหัสสี
ตามมาตรฐาน BS มีดังนี้ ถ้าขั้วบวก จะเป็นสีดำ ขั้วลบจะเป็นสีขาวยังทั้งตัวจะเป็นสีดำ

ความแน่นอนตามมาตรฐาน BS 1797 Part 30, 1993 ได้แก่

1. Class 1 = -40^oC ถึง +750^oC $\pm 0.004 \times t$ หรือ $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$

2. Class 2 = -40^oC ถึง +750^oC $\pm 0.0075 \times t$ หรือ $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ เมื่อ ; t คือ อุณหภูมิจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ข้อดีของแบบ J

- ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิได้ดี
- มีราคาถูกกว่าแบบที่ทำจากธาตุบริสุทธิ์
- ตามมาตรฐาน BS 7937 Part 30 สามารถวัดอุณหภูมิได้ต่อเนื่องจากช่วงประมาณ -210 ถึง 1200°C
- เหมาะกับสภาพงานที่เป็นสุญญากาศงานที่ งานที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิไดซิง และงานที่อยู่ในสภาพเฉื่อย เมื่ออุณหภูมิไม่เกิน 760°C
- นิยมใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก
- เป็นแบบที่นิยมใช้ ราคาไม่แพง

4.2 ข้อเสียของแบบ J

- วัดอุณหภูมิได้ต่ำกว่าแบบ T
- ไม่เหมาะสมมากนักกับงานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0°C
- หากวัดที่อุณหภูมิสูงกว่า 538°C จะเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซิงที่สายซึ่งทำจากเหล็กด้วยอัตราสูง
- หากใช้งานนานเกินช่วง 20 ปี ส่วนผสมทางเคมี คือ แมงกานีสในเหล็กจะเพิ่มขึ้น 0.5% ทำให้คุณสมบัติของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

5.เทอร์โมคัปเปิลแบบ K ธาตุหนึ่งที่เป็นฐานสำหรับการสร้างคือ นิกเกิล เทอร์โมคัปเปิลชนิดนี้เริ่มผลิตให้เป็นมาตรฐานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1916 โดยพื้นฐานการผลิต ขั้วหนึ่งจะเป็นนิกเกิลที่เจือปนด้วยอะลูมิเนียม ส่วนอีกด้านที่เจือปนด้วยโครเมียม เพราะในปี ค.ศ. 1916 ยังไม่สามารถสร้างนิกเกิลบริสุทธิ์ได้จึงได้เติมสารไม่บริสุทธิ์ต่าง ๆ ในส่วนผสมของวัสดุชนิด K แต่ในปัจจุบันได้มีการระมัดระวังส่วนผสมที่จะทำให้เกิดความไม่บริสุทธิ์ดังกล่าวเพื่อเหตุผลในการบำรุงรักษาและสอบเทียบ

ด้วยเหตุนี้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ที่กำหนดเป็นค่ามาตรฐานจะไม่ใช้โลหะผสมแต่โดยทั่วไปจะผสมธาตุพิเศษเข้าไปเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแรงเคลื่อน/อุณหภูมิของจุดหลอมละลายที่กำหนดไว้ข้อควรระวังในการใช้งานของชนิด K มีดังนี้

1. ขั้วลบของเทอร์โมคัปเปิลจะเป็นวัสดุเฟอร์โรแมกเนติก (เหล็กที่เป็นสารแม่เหล็ก) ที่อุณหภูมิห้อง แต่ที่จุดคิวรีของมัน (curie point คืออุณหภูมิที่มันเปลี่ยนจากคุณสมบัติเหล็กไปเป็นแม่เหล็ก) อยู่ในช่วงที่ใช้งานพอดี ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนทางเอาต์พุตอย่างทันทีทันใด ยิ่งไปกว่านั้นพบว่าจุดคิวรีดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโลหะผสม จุดคิวรีนี้จะเปลี่ยนคุณสมบัติจากเทอร์โมคัปเปิลตัวหนึ่งให้เป็นเทอร์โมคัปเปิลอีกตัวหนึ่ง ดังนั้นจึงต้องทดลองหาการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนที่ไม่ทราบค่า ณ อุณหภูมิที่เราไม่ทราบค่านี้

2. ที่อุณหภูมิสูง ๆ (ช่วง 200°C ถึง 600°C) เทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะมีผลของฮิสเตอร์รีซิสเกิดขึ้นขณะที่มันอ่านค่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและในช่วงที่อุณหภูมิลดลง ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่สามารถจะคาดเดาการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนได้

3. ที่อุณหภูมิ 1000°C ขั้วของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะเกิดออกไซด์ เป็นเหตุให้มีการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อน

4. การใช้โคบอลต์เป็นโลหะผสมสำหรับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะทำให้เกิดปัญหาในอุตสาหกรรมนิวเคลียร์ หรือในพื้นที่อื่น ๆ ที่มีฟลักซ์นิวตรอนสูง ๆ ธาตุบางตัวจะรับเอาการปลดปล่อยนิวเคลียร์ จึงทำให้เปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนทางด้านเอาต์พุต

ย่านการทำงานและความแน่นอนของเทอร์โมคัปเปิลในงานอุตสาหกรรม ที่กำหนดโดยมาตรฐาน IEC 584 (รหัสสำหรับการวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล) ช่วงการวัดอุณหภูมิต่อเนื่องของเทอร์โมคัปเปิลแบบนี้จะเป็น -270°C ถึง $+1,370^{\circ}\text{C}$

โดยมีระดับความแน่นอนซึ่งกำหนดโดยมาตรฐาน IEC 584 (ตารางอ้างอิงสำหรับเทอร์โมคัปเปิลนานาชาติ เป็นดังนี้

$$1. \text{ Class 1} = -40^{\circ}\text{C} \text{ ถึง } +1,000^{\circ}\text{C} \pm 0.004 \times t \text{ หรือ } \pm 1.5^{\circ}\text{C}$$

$$2. \text{ Class 2} = -40^{\circ}\text{C} \text{ ถึง } +1,200^{\circ}\text{C} \pm 0.0075 \times t \text{ หรือ } \pm 2.5^{\circ}\text{C}$$

$$3. \text{ Class 1} = -200^{\circ}\text{C} \text{ ถึง } +40^{\circ}\text{C} \pm 0.015 \times t \text{ หรือ } \pm 2.5^{\circ}\text{C}$$

เมื่อ t อุณหภูมิจริงที่ทำกรวัด

รหัสสำหรับสายเทอร์โมคัปเปิลกำหนดโดยมาตรฐาน BS 4937 part 30, 1993

(รหัสตามมาตรฐานอังกฤษสำหรับสายชนิดแบบคู่ของเทอร์โมคัปเปิล) สำหรับชนิด K ขั้วบวกจะเป็นสีเขียว ขั้วลบจะเป็นสีขาว ถ้าตลอดทั้งตัวจะเป็นสีเขียว ส่วนสายชนิดเซตัญญาณ (ชนิด vx) ก็เหมือนกับสีด้านบนที่กล่าวมา โดยสรุป

5.1 ข้อดีของแบบ K

- เป็นแบบที่นิยมใช้แพร่หลายมากที่สุด
- สำหรับการวัดอุณหภูมิช่วงสั้น ๆ จะวัดได้จาก -180°C ถึงประมาณ $1,350^{\circ}\text{C}$
- สามารถใช้วัดในงานที่มีปฏิกิริยาออกซิไดซิง หรือสภาวะแบบเฉื่อย (inert) ได้ดีกว่าแบบอื่น ๆ
- สามารถใช้กับสภาพงานที่มีการแผ่รังสีความร้อนได้ดี
- ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิดีกว่าแบบอื่น ๆ (ความชันเกือบเป็น 1) และมีความเป็นเชิงเส้นมากที่สุดในบรรดาเทอร์โมคัปเปิลด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสียของแบบ K

- ไม่เหมาะกับการวัดที่ต้องสัมผัสกับปฏิกิริยารีดิวซิ่งและออกซิไดซิ่งโดยตรง
- ไม่เหมาะกับการทำงานที่มีไอของซัลเฟอร์
- ไม่เหมาะกับการสภาพงานที่เป็นสุญญากาศ (ยกเว้นจะใช้ในช่วงเวลาสั้นๆ)
- หลังการใช้งานไป 30 ปี ทำให้ส่วนผสมทางเคมีเปลี่ยนไป เป็นผลทำให้คุณสมบัติของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนไป

6.เทอร์โมคัปเปิลแบบ T

6.1 ข้อดีของแบบ T

- ดีกว่าแบบ K ตรงที่สามารถวัดอุณหภูมิได้ต่ำกว่า นั่นคือเหมาะกับการวัดอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ เช่นในห้องเย็น ตู้แช่แข็ง
- ให้ความแน่นอนในการวัดดีกว่าแบบ K (ช่วงที่ต่ำกว่า 100°C ความแน่นอนจะเป็น $\pm 1\%$)
- มีเสถียรภาพในการวัดอุณหภูมิ
- การวัดสภาพงานที่เป็นสุญญากาศงานที่มีปฏิกิริยาแบบออกซิไดซิ่งรีดิวซิ่งและงานที่มีปฏิกิริยาแบบเฉื่อยจะทำได้ดี
- วัดอุณหภูมิอย่างต่อเนื่องได้จากช่วง -185 ถึง 300°C และวัดอุณหภูมิแบบช่วงสั้นๆ ได้จากช่วง -250 ถึง 400°C
- ทนต่อบรรยากาศที่มีการกัดกร่อนได้ดี

6.2 ข้อเสียของแบบ T

- เป็นแบบที่วัดอุณหภูมิช่วงบวกรได้น้อยกว่าแบบอื่นๆ
- หากใช้วัดอุณหภูมิที่สูงกว่า 370°C จะทำให้เกิดออกซิมา
- ไม่เหมาะกับการวัดอุณหภูมิที่สัมผัสกับการแผ่รังสีความร้อนโดยตรง(ทำให้ส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ทำเปลี่ยนไป คุณสมบัติทางไฟฟ้าเปลี่ยนไปด้วย)
- เมื่อใช้งานไปนาน ๆ ในช่วง 20 ปี ส่วนผสมของนิเกิลและสังกะสี จะเพิ่มประมาณ 10% ทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน
- คุณสมบัติของแรงเคลื่อนต่ออุณหภูมิไม่เป็นเชิงเส้น (แต่ก็ปรับปรุงได้จากวงจรปรับสภาพสัญญาณ)

7.เทอร์โมคัปเปิลชนิด E

7.1 ข้อดีของแบบ E

- ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุดเมื่อวัดอุณหภูมิเทียบกับแบบอื่น ๆ ในสถานะเดียวกัน
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 ถึง 800^oc
- คุณสมบัติอื่น ๆ คล้ายกับแบบ K

การแก้ไขให้ระบบวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลให้ทำงานได้ดีขึ้น ต้องปฏิบัติดังนี้

1. ใช้สายเทอร์โมคัปเปิลขนาดใหญ่ที่สุดที่จะเป็นไปได้ เพราะมันจะไม่พวงเอาความร้อนออกจากพื้นที่การวัดเข้ามา
2. ถ้าต้องการใช้สายขนาดเล็ก ๆ ให้ใช้เฉพาะในขอบเขตที่ทำการวัด และใช้สายขยาย (extention wire) ในขอบเขตที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกลางสาย
3. หลีกเลี่ยงความเค้นทางกลและการสั่นสะเทือนที่มีผลให้เกิดความเครียดในสาย
4. เมื่อใช้สายเทอร์โมคัปเปิลยาว ๆ ให้ต่อซิลค์ที่สายไปยังขั้วต่อสายของดิจิตอล โวลต์มิเตอร์ และใช้สายขยายสัญญาณแบบบิเดเกลียว
5. หลีกเลี่ยงบริเวณที่เต็มไปด้วยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมกลางสาย
6. พยายามเลือกสายเทอร์โมคัปเปิลในพิกัดอุณหภูมิของมัน
7. ป้องกันวงจรแปลง integrate A/D จากการรบกวน
8. ใช้สายขยายเฉพาะที่อุณหภูมิต่ำ ๆ และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมกลางสายน้อย ๆ
9. ทดสอบและเก็บค่าความต้านทานของเทอร์โมคัปเปิลเก่า ๆ ไว้ พร้อมกับวัดค่าความต้านทานของเทอร์โมคัปเปิลเก็บไว้เป็นช่วง ๆ

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน Type ต่างๆ

Type	ส่วนผสม	ย่านอุณหภูมิใช้งาน		แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้ mV
		C	F	
B	แพลทินัม - 30% โรเดียม	0 ถึง 1820	32 ถึง 3310	0 ถึง 13.814
R	แพลทินัม - 13% โรเดียม	-50 ถึง 1768	-60 ถึง 3210	-0.26 ถึง 21.108
S	แพลทินัม-10% โรเดียม	-50 ถึง 1768	-60 ถึง 3210	-0.236 ถึง 18.698
J	เหล็ก/คอนสแตนแตน	-210 ถึง 760	-350 ถึง 1400	-8.096 ถึง 42.922
K	โครเมิล/อะลูเมิล	-270 ถึง 1372	-450 ถึง 2500	-6.458 ถึง 54.875
T	ทองแดง/คอนสแตนแตน	-270 ถึง 400	-450 ถึง 750	-6.258 ถึง 20.865
E	โครเมิล/คอนสแตนแตน	-270 ถึง 1000	-450 ถึง 1830	-9.835 ถึง 76.358

- แรงเคลื่อน ไฟฟ้าที่ได้จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดกับจุดเยือกแข็งของน้ำ

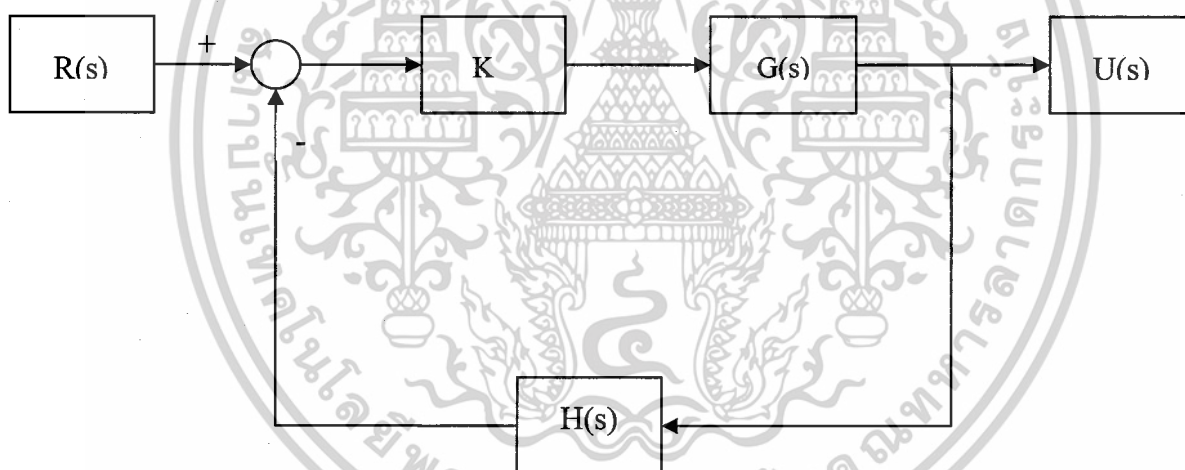
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการออกแบบ

3.1 ส่วนประกอบของระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ

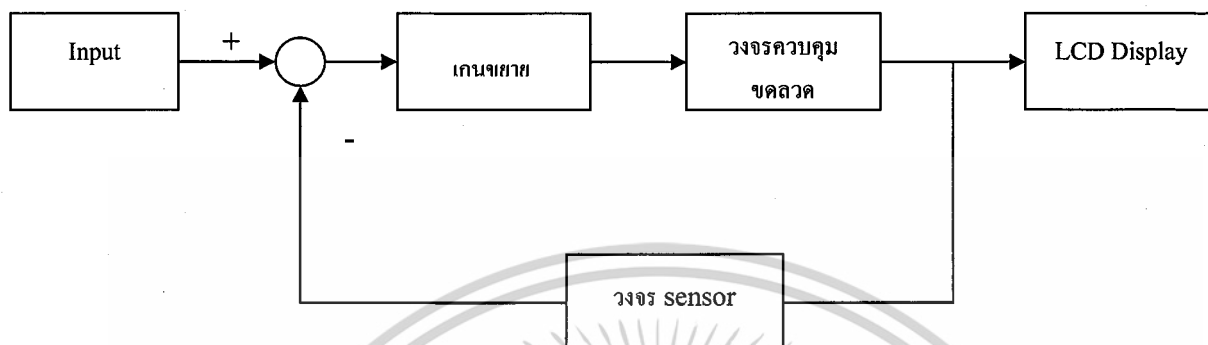
กระบวนการของการนี้ คือ กระบวนการควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ขดลวดทำความร้อนตามขนาดของสัญญาณไฟฟ้าที่จ่าย โดยลักษณะโครงการนี้คือ กำหนดอุณหภูมิเป้าหมาย หรืออุณหภูมิที่ต้องการ เพื่อให้ขดลวดทำความร้อน ตามขนาดของสัญญาณไฟฟ้า ที่กำหนดไว้จนได้อุณหภูมิที่ต้องการ จากนั้นค่าอุณหภูมิ ที่ได้จากตัววัดอุณหภูมิ จะถูกส่งไปยังวงจรควบคุมเพื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้ว่าอยู่ในช่วงที่กำหนดหรือไม่ (ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ) เพื่อจะได้สั่งให้ทำงานควบคุมขดลวดต่อไป



รูปที่ 3.1 รูปแบบจำลองระบบควบคุมวงปิด

ในการออกแบบชุดควบคุมอุณหภูมิ จะใช้การออกแบบระบบควบคุมแบบวงปิด เพื่อที่จะได้มีการนำค่าอุณหภูมิที่ได้จากขดลวดทำความร้อน กลับมาเปรียบเทียบกับตำแหน่งของอุณหภูมิเดิมที่มีการตั้งค่าไว้ เพื่อให้ชุดควบคุมอุณหภูมิ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้เป็นไปตามเป้าหมายมากที่สุด

ซึ่งจากแบบจำลองระบบควบคุมวงปิด สามารถนำค่าตัวแปรแต่ละตัว มาอธิบายหลักการการทำงานของชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติได้ดังนี้



รูปที่ 3.2 รูปแบบจำลองชุดควบคุมอุณหภูมิแบบระบบวงปิด

3.1.1 Input [R(s)]

กระแสสัญญาณไฟฟ้า ที่ป้อนให้กับวงจรถวลุมขดลวด เพื่อให้ วงจรถวลุมขดลวดทำหน้าที่ควบคุมขดลวดให้ความร้อนเป็นไปตามอุณหภูมิที่ต้องการ

3.1.2 เกนขยาย [K]

วงจรถวลุมขดลวดค่าเกน ที่ใส่เข้าไปในวงจร เพื่อทำหน้าที่ขยายค่าที่วัดได้วงจรเปรียบเทียบกับแรงดันที่มาจาก Input และ วงจรสensor ก่อนที่จะส่งค่าที่ได้นั้นต่อไปยังวงจรถวลุมขดลวด

3.1.3 วงจรถวลุมขดลวด [G(s)]

เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ควบคุมขดลวด ให้แผ่อุณหภูมิความร้อนออกมา ตามสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนให้กับวงจร เพื่อให้ขดลวดทำความร้อนออกมาตรงกับที่ค่าอุณหภูมิที่กำหนดไว้

3.1.4 วงจรสensor [H(s)]

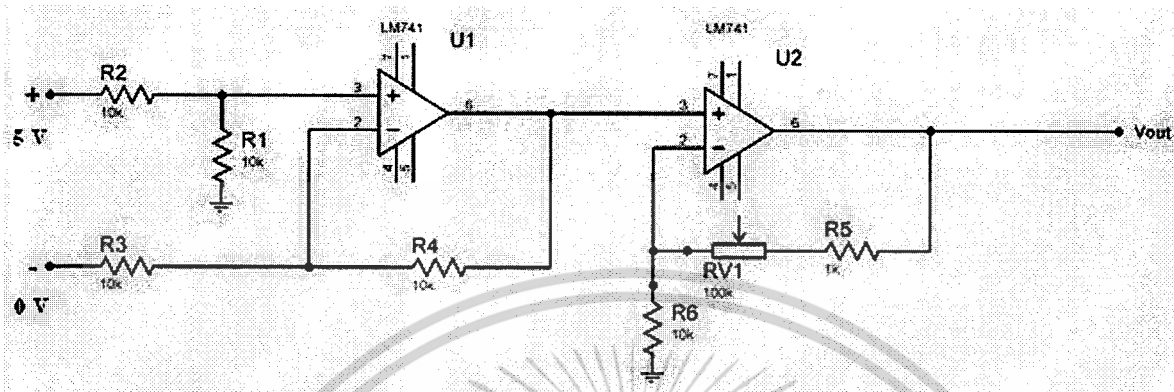
เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ตรวจจับอุณหภูมิที่วัดได้จากวงจรถวลุมขดลวด และ นำค่าที่วัดได้จากวงจรถวลุมขดลวดมาเปรียบเทียบกับสัญญาณไฟฟ้าที่ Input เพื่อนำค่าที่ได้นั้นป้อนกลับไปยังระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ

3.1.5 LCD Display [U(s)]

เป็นการแสดงค่าอุณหภูมิที่วัดได้วงจรถวลุมขดลวดเป็นการแสดงผลแบบดิจิตอลด้วยมิเตอร์วัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วงจรเปรียบเทียบและขยายแรงดัน



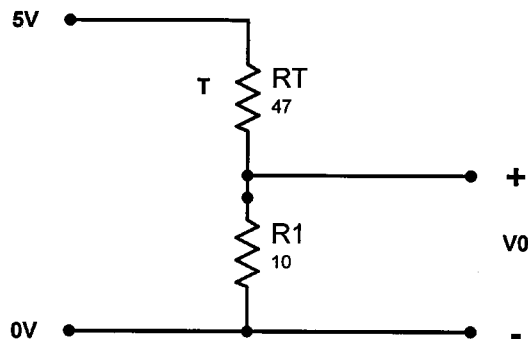
รูปที่ 3.5 วงจรเปรียบเทียบและขยายแรงดัน

วงจรเปรียบเทียบแรงดันจะรับสัญญาณไฟฟ้าที่ได้มาจากวงจร sensor และสัญญาณไฟฟ้าที่มาจาก การตั้งค่าอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบ และ นำค่าสัญญาณไฟฟ้าผลต่างที่ได้มาควบคุมค่าอุณหภูมิของชุดควบคุม อุณหภูมิ เพื่อให้อุณหภูมิที่ได้จากชุดควบคุมอุณหภูมิมีค่าถูกต้องแม่นยำตรงกับค่าที่ต้องการควบคุมมากที่สุด หลังจากนั้นวงจรเปรียบเทียบแรงดันที่นำค่าที่ได้ส่งต่อไปยังวงจรขยายแรงดัน เพื่อขยายขนาดของ สัญญาณไฟฟ้า ก่อนที่จะส่งต่อไปยังวงจรควบคุมขดลวด

3.5 วงจร Sensor Thermistor

วงจร Sensor Thermistor เป็นการนำเอาเทอร์มิสเตอร์ไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับวงจรบริดจ์ โดยใช้ หลักพื้นฐานของวงจรแบ่งแรงดัน (voltage-divider circuit) เมื่ออุณหภูมิที่ออกมาจากวงจรควบคุมขดลวดมีค่า เพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานภายในตัวของ Thermistor จะมีค่าลดลง ส่งผลให้เอาต์พุตของวงจร V_0 มีค่า เปลี่ยนแปลงแปรผันตรง ไปตามค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งนั่นหมายความว่า ค่าความเปลี่ยนแปลง ของ V_0 จะแปรผันตรงกับ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของระบบชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ ซึ่งการทำงาน ของวงจร Sensor Thermistor สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

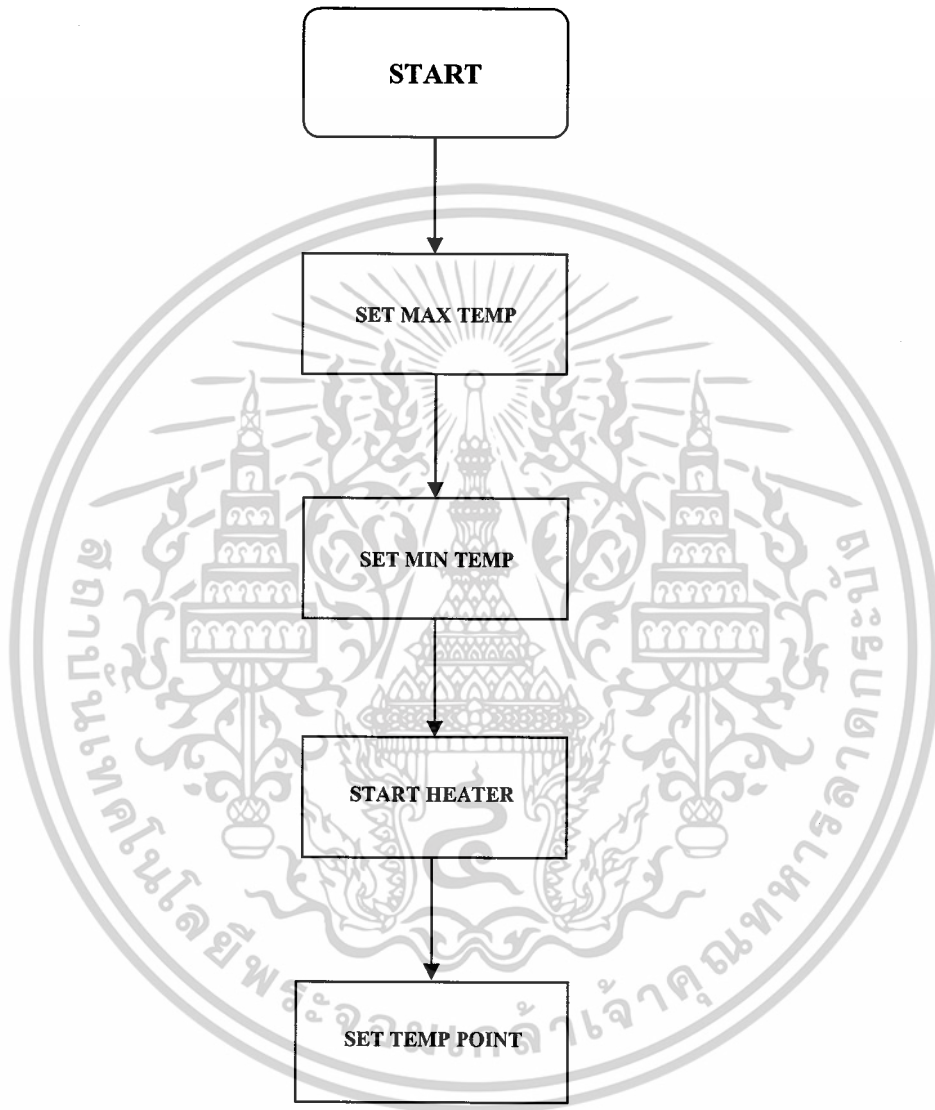


รูปที่ 3.6 วงจร Sensor Thermistor

3.6 วิธีการใช้งานชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ

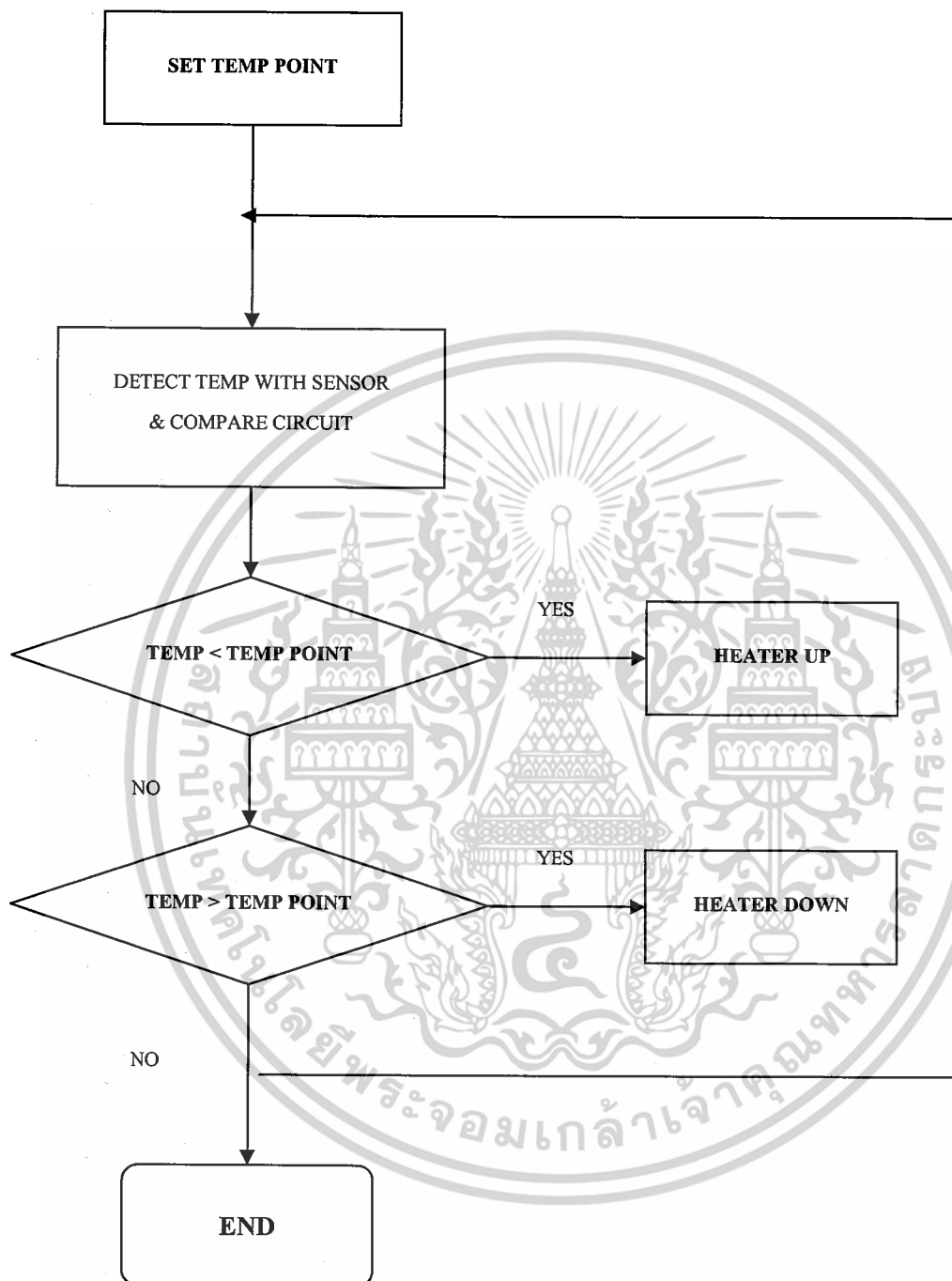
- 1.) ต่อวงจรของชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติเข้ากับแบบจำลองของชุดควบคุมอุณหภูมิพร้อมทั้งต่อมิเตอร์วัดอุณหภูมิ ที่ปลายด้านหนึ่งของแบบจำลองชุดควบคุมอุณหภูมิ
- 2.) ทำการต่อมิเตอร์วัดแรงดันที่วงจรของชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติโดยทำการวัดคร่อมตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ เพื่อที่จะได้ วัดแรงดันที่ได้ จากการปรับแต่ง ค่าของตัวต้านทานมาทำการควบคุมอุณหภูมิของชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ
- 3.) ทำการปรับแต่งค่าความต้านทานเพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิที่ต้องการและสอดคล้องตามแรงดัน
- 4.) มิเตอร์วัดอุณหภูมิ จะวัดอุณหภูมิ ที่ออกมาจากชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ เพื่อแสดงผลของอุณหภูมิแบบดิจิตอล

3.7 แผนภาพแสดงการทำงานของชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ



รูปที่ 3.7 แผนภาพแสดงการทำงานของชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ

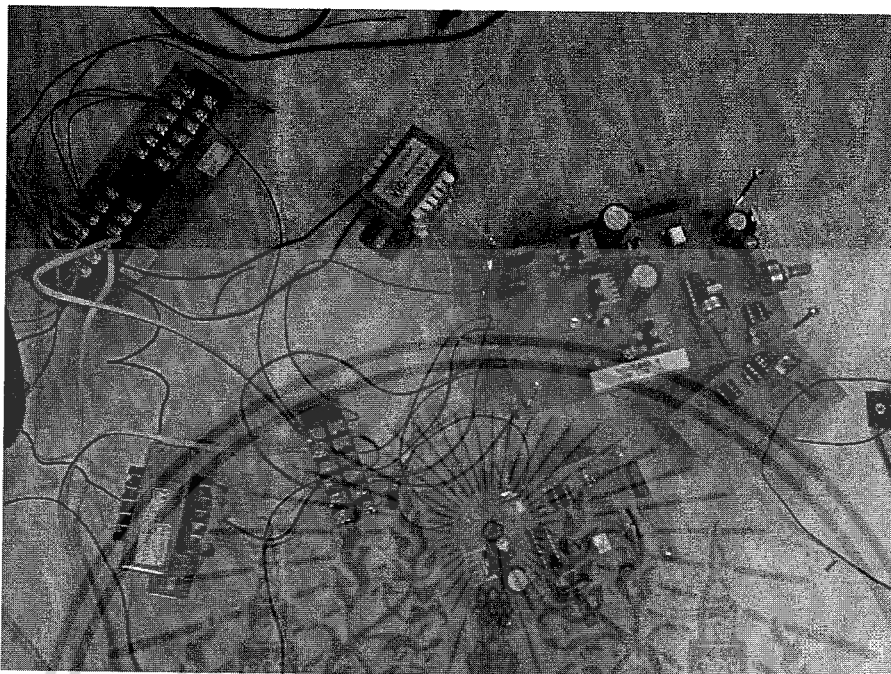
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



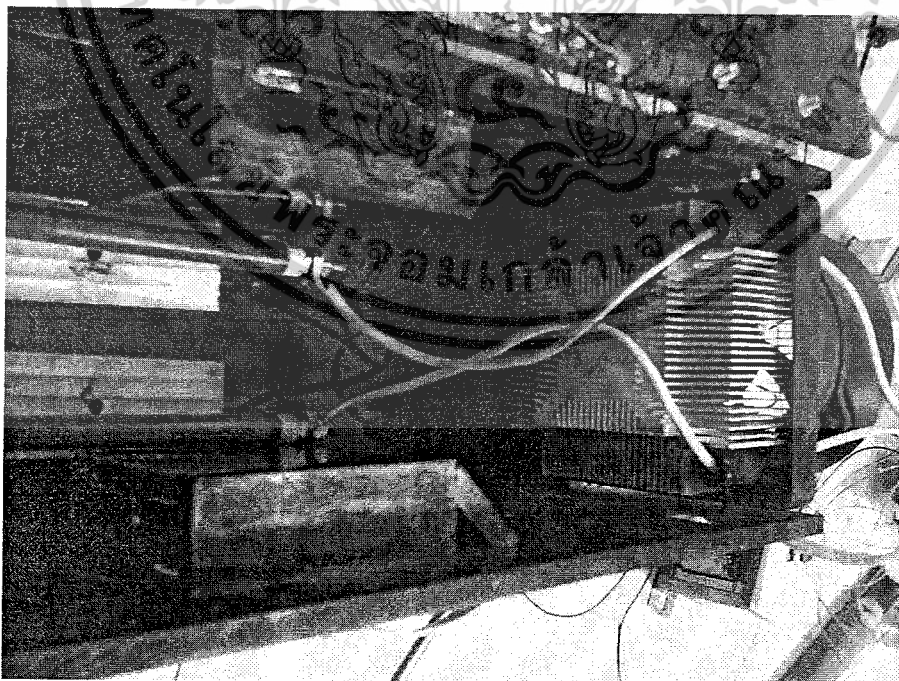
รูปที่ 3.8 แผนภาพแสดงการทำงานของชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 รูปแสดงแบบจำลองของชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ

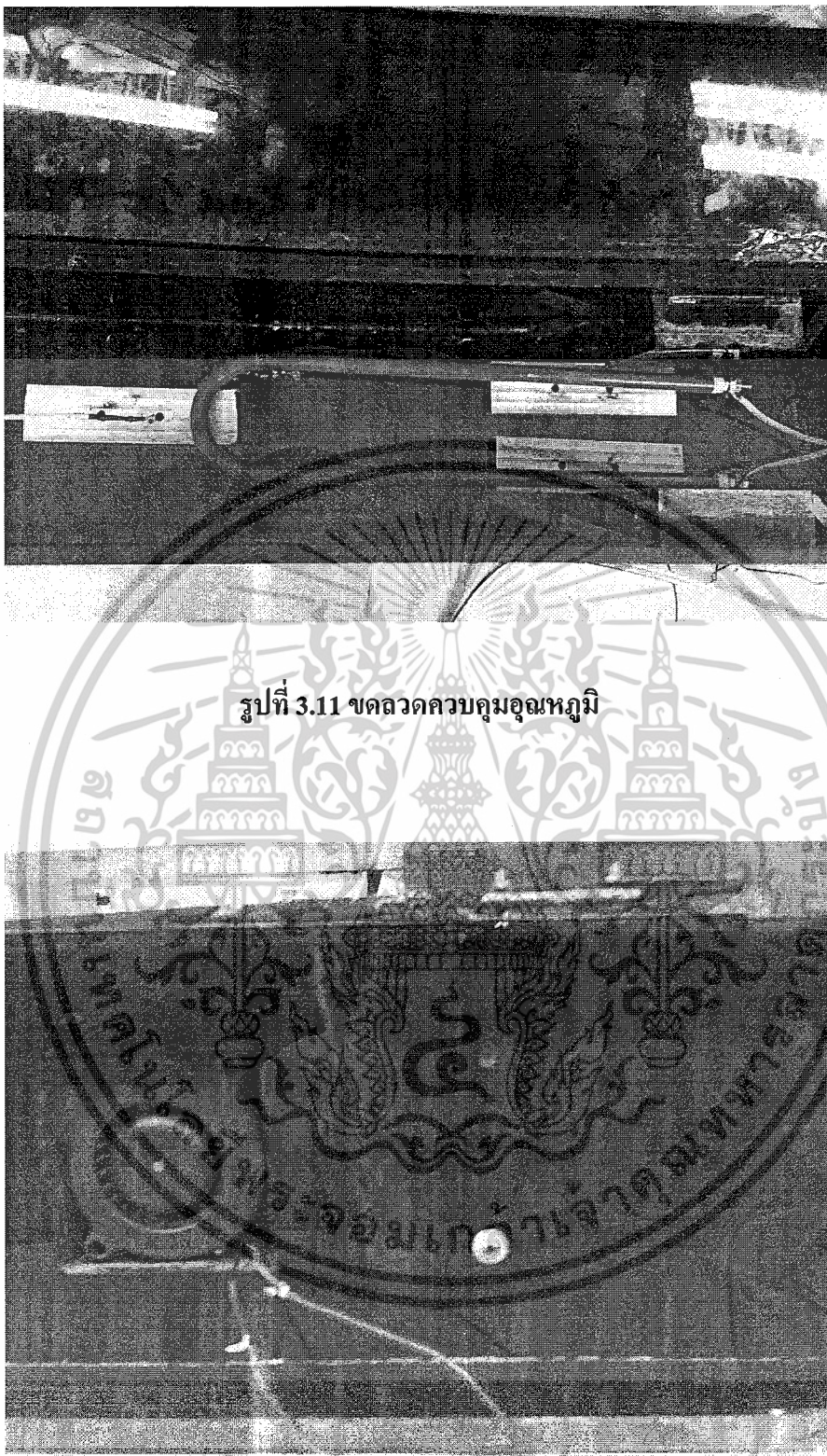


รูปที่ 3.9 วงจร ชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ



รูปที่ 3.10 ภายในกล่องชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เฉพาะในโครงการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ชุดลดความเร็วมอเตอร์

รูปที่ 3.12 พัฒนของชุดควบคุมมอเตอร์อัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองของชุดควบคุมอุณหภูมิที่ยังไม่มีการป้อนกลับของตัวตรวจวัดอุณหภูมิ

ในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการทดลองการทำงานของเครื่องมือชุดทดลองการควบคุมอุณหภูมิ โดยมีการบันทึกผลการทดลองเป็นดังนี้

จากการทดลองในตอนแรก ทำการทดลองวัดอุณหภูมิที่ได้ออกมาจากชุดควบคุมอุณหภูมิ โดยการป้อน Voltage (ย่านในการวัด 5V) เข้าไปในระบบที่ยังไม่มีการป้อนกลับของเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ (ระบบควบคุมวงเปิด) ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองระหว่าง Voltage และ Temp แบบ open-loop (ย่านในการวัด 5V)

Voltage (V)	Temp (C ^o)
0	25
0.12	28
0.28	32
0.52	37
0.68	40
1.04	44
1.50	47
1.70	52
2.26	56
2.86	62
3.50	71
3.90	75
4.30	84
4.50	90
4.90	102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำค่าที่ได้จากการบันทึกผลไปทำการคำนวณหาค่า k จากโปรแกรมการคำนวณทางคณิตศาสตร์ MATLAB โดยสมการความสัมพันธ์ของแรงดันกับอุณหภูมิมีค่าดังนี้

$$A = \frac{1}{\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} [x_1 \ x_2]} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} [y_1 \ y_2]$$

เมื่อ x คือ ค่าแรงดัน (V)

y คือ ค่าอุณหภูมิ (C°)

```

MATLAB Command Window
File Edit View Window Help
To get started, type one of these: helpwin, helpdesk, or demo.
For product information, type tour or visit www.mathworks.com.
> X=[0 1;0.12 1;0.28 1;0.52 1;0.68 1;1.04 1;1.50 1;1.70 1;2.26 1;2.86 1;3.50 1;3.90 1;4.30 1;4.59 1;4.90 1];
> Y=[25;28;32;37;40;44;47;52;56;62;71;75;84;90;102];
> A=((X.')*(X))^-1*(X.')*Y
k =
    13.4564
    27.4917
  
```

จากโปรแกรม MATLAB จะได้ค่า $k = 13.4564$ จากนั้นทำการทดลองวัดอุณหภูมิของชุดควบคุมอุณหภูมิโดยมีการป้อน Voltage (ย่านในการวัด 5V) เข้าไปในระบบที่ยังไม่มีการป้อนกลับของเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ (ระบบควบคุมวงเปิด) แล้วทำการจับเวลา ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

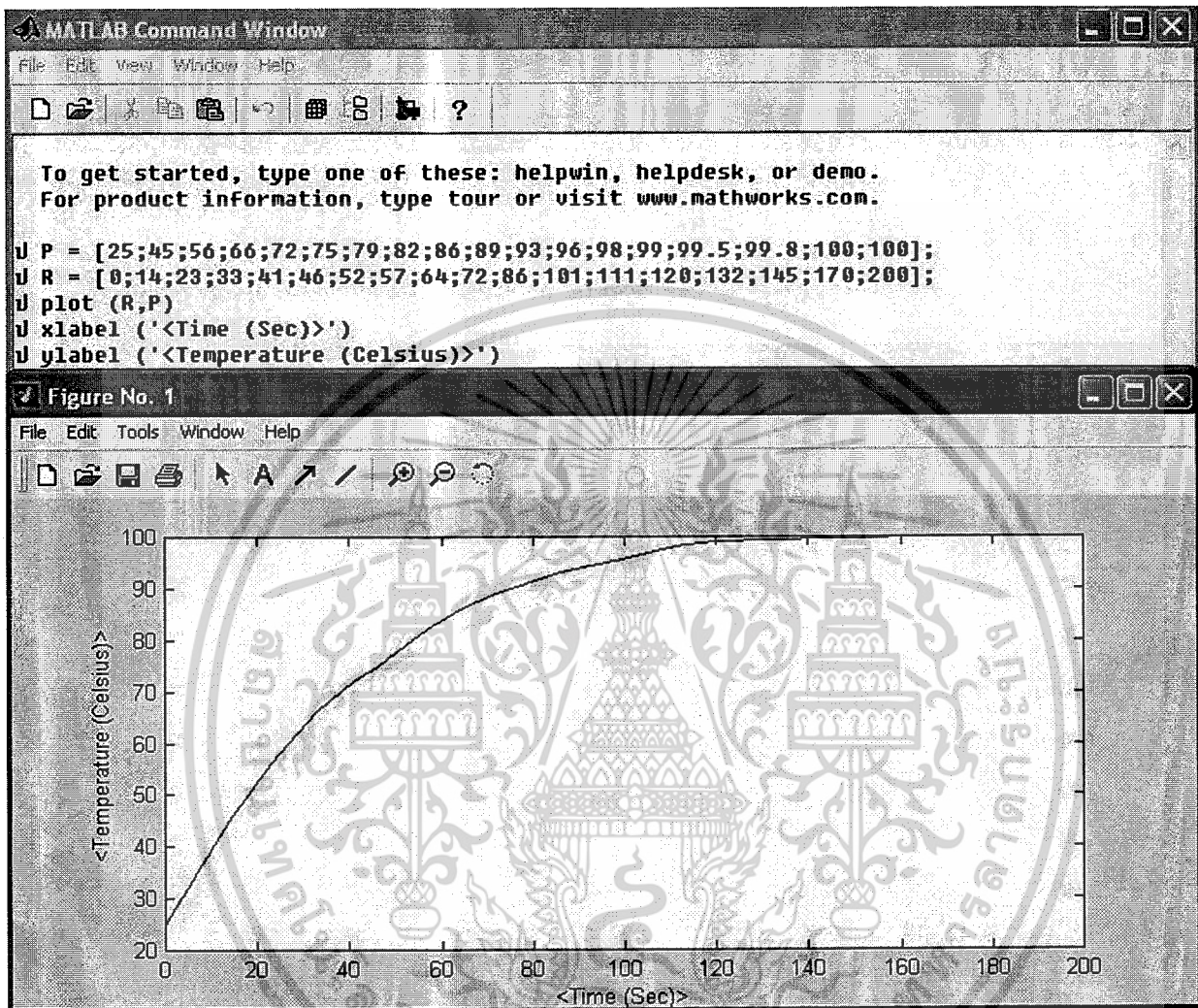
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองระหว่าง Time และ Temp แบบ open-loop (ย่านในการวัด 5V)

Time (s)	Temp (C°)
0	25
14	28
23	32
33	37
41	40
46	44
52	47
57	52
64	56

Time (s)	Temp (C°)
72	62
86	71
101	75
111	84
120	90
132	102
145	105
170	109
200	111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำค่าที่ได้จากการบันทึกผลไปทำการพล็อตกราฟ จากโปรแกรมการคำนวณทางคณิตศาสตร์ MATLAB ได้ดังนี้



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ Time และ Temp แบบ open-loop (ย่านในการวัด 5V)

จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่า T ได้ดังนี้

$$Y(s) = U(s) G(s)$$

$$Y(s) = [K/(Ts+1)] [2.6/s]$$

$$Y(t) = 4.8k(1-e^{-t/T})$$

$$Y(t) = 4.8(13.4564)(0.6321)$$

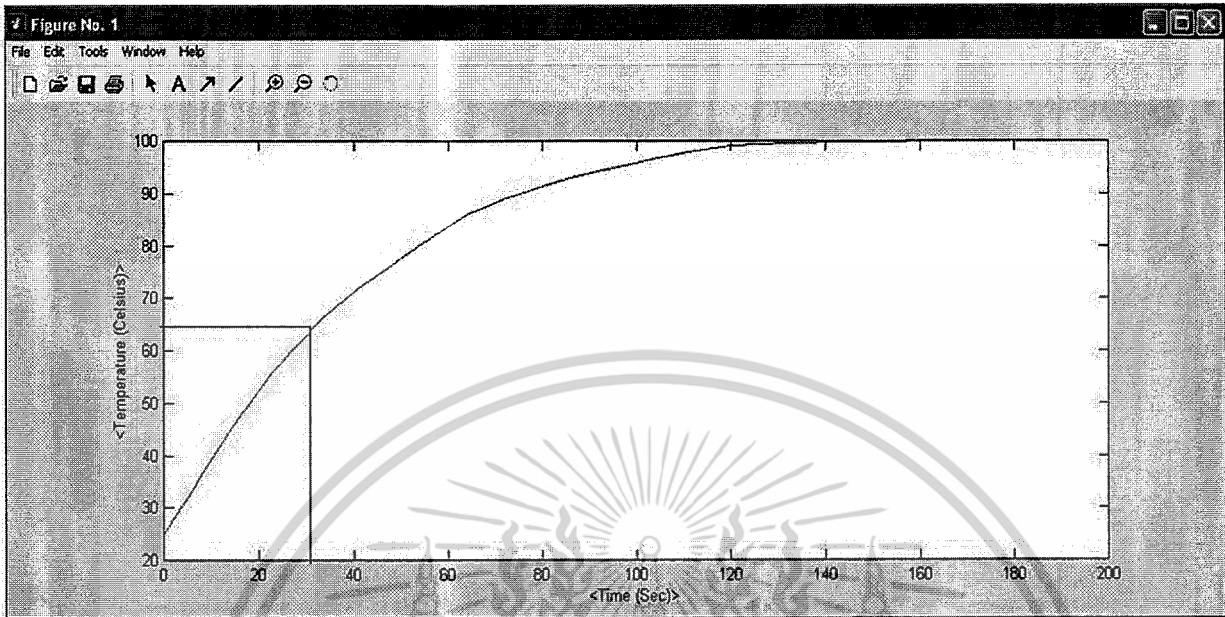
$$Y(t) = 40.83$$

$$T = 40.83 + 25$$

$$T = 65.83$$

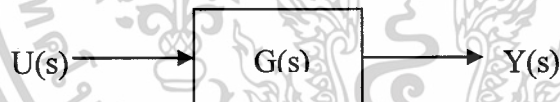
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำค่า T ที่คำนวณได้มาหาค่า t จากกราฟ



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ Time และ Temp แบบ open-loop (ลากจุดตัดหา t)

จากกราฟจะได้ค่า $t = 30$ และนำค่าที่ได้ทั้งหมดไปคำนวณหา $G(s)$ ได้ดังนี้



$$G(s) = \frac{K}{(Ts+1)}$$

$$G(s) = \frac{13.4564}{(30s + 1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

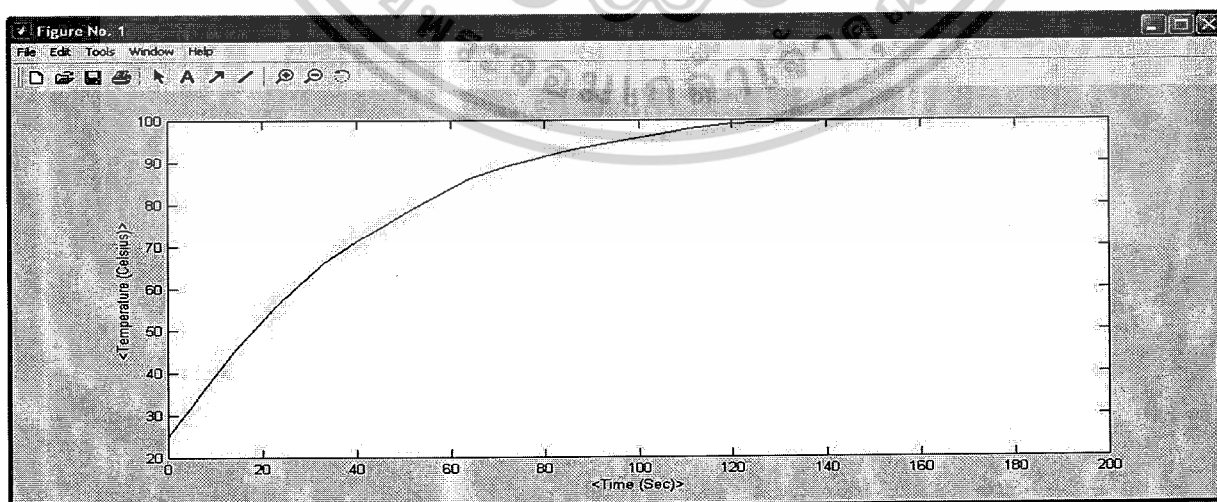
4.2 ผลการทดลองของชุดควบคุมอุณหภูมิที่มีการป้อนกลับของตัวตรวจวัดอุณหภูมิ

จากนั้นทำการทดลองวัดอุณหภูมิของชุดควบคุมอุณหภูมิโดยการป้อน Voltage เข้าไปในระบบที่มีการป้อนกลับของเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ (ระบบควบคุมวงปิด) แล้วทำการจับเวลา ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองระหว่าง Time และ Temp แบบ close-loop (ย่านในการวัด 5V)

Time (s)	Temp (C ^o)	Time (s)	Temp (C ^o)
0	25	72	89
14	45	86	93
23	56	101	96
33	66	111	98
41	72	120	99
46	75	132	99.5
52	79	145	99.8
57	82	170	100
64	86	200	100

จากนั้นนำค่าที่ได้จากการบันทึกผลไปทำการพล็อตกราฟ จากโปรแกรมการคำนวณทางคณิตศาสตร์ MATLAB ได้ดังนี้



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ Time และ Temp แบบ close-loop (ย่านในการวัด 5V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ประโยชน์เท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นใบใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองได้ทำการตั้งค่า Voltage ตามช่วงต่างๆ แล้วบันทึกค่าของอุณหภูมิที่ได้ เพื่อให้สามารถควบคุมค่าของอุณหภูมิที่ต้องการได้ ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองระหว่าง Voltage และ Temp แบบ close-loop (ย่านในการวัด 5V)

V ที่ตั้งไว้ (V)	V ที่วัดได้จริง (V)	อุณหภูมิ (C ^o)
0	0	27
0.5	0.5	32
1	0.97	35
1.5	1.5	39
2	2.01	43
2.5	2.46	47
3	3	50
3.5	3.47	53
4	3.94	56
4.5	4.47	59
5	4.92	62
5.5	5.51	71

จากการทดลองพบว่า กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของชุดควบคุมอุณหภูมิ ทั้งในระบบวงเปิดและวงปิด สามารถอธิบายได้ดังนี้ คือ การทดลองในระบบวงเปิด ค่าของอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเวลามากขึ้น จนถึง 100 องศาเซลเซียส ส่วนการทดลองในระบบวงปิด ค่าของอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อใกล้จะถึง 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากระบบมีการป้อนกลับจากเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิเพื่อรักษาของของอุณหภูมิที่ต้องการทำการตรวจวัด ทำให้ต้องใช้เวลาในการปรับสมดุลของชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ

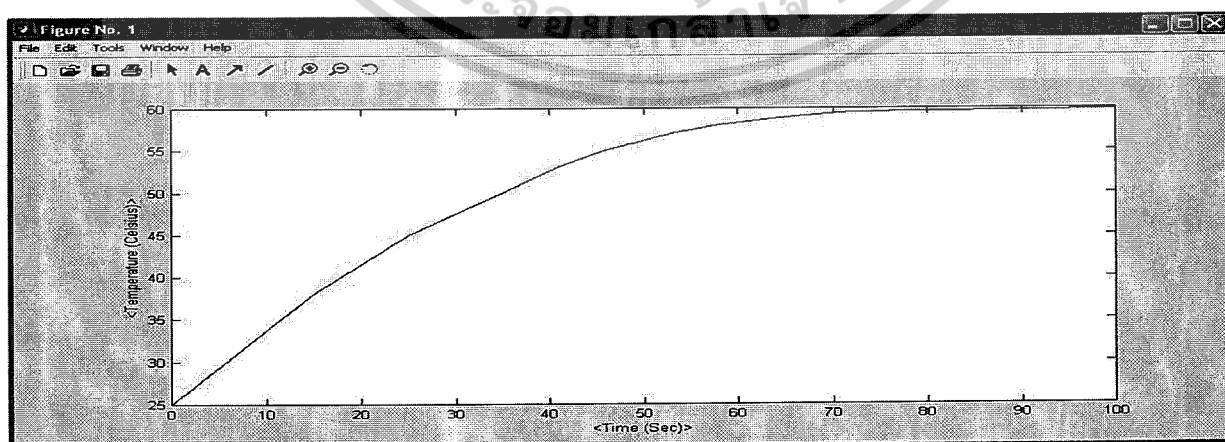
4.3 ผลการทดลองของชุดควบคุมอุณหภูมิที่มีย่านการวัดในช่วง 3V และ 4V

ทำการทดลองวัดอุณหภูมิที่ได้ออกมาจากชุดควบคุมอุณหภูมิ โดยการป้อน Voltage (ย่านในการวัด 3V) เข้าไปในระบบที่ยังไม่มีการป้อนกลับของเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ (ระบบควบคุมวงเปิด) ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองของชุดควบคุมอุณหภูมิ (ย่านในการวัด 3V)

Voltage (V)	Time (s)	Temp (C ⁰)
0	0	25
0.13	15	38
0.26	25	45
0.50	35	50
0.65	41	53
1.00	46	55
1.50	53	57
1.68	55	58
2.32	66	59
2.86	72	59.5

จากนั้นนำค่าที่ได้จากการบันทึกผลไปทำการพล็อตกราฟ จากโปรแกรมการคำนวณทางคณิตศาสตร์ MATLAB ได้ดังนี้



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ Time และ Temp (ย่านในการวัด 3V)

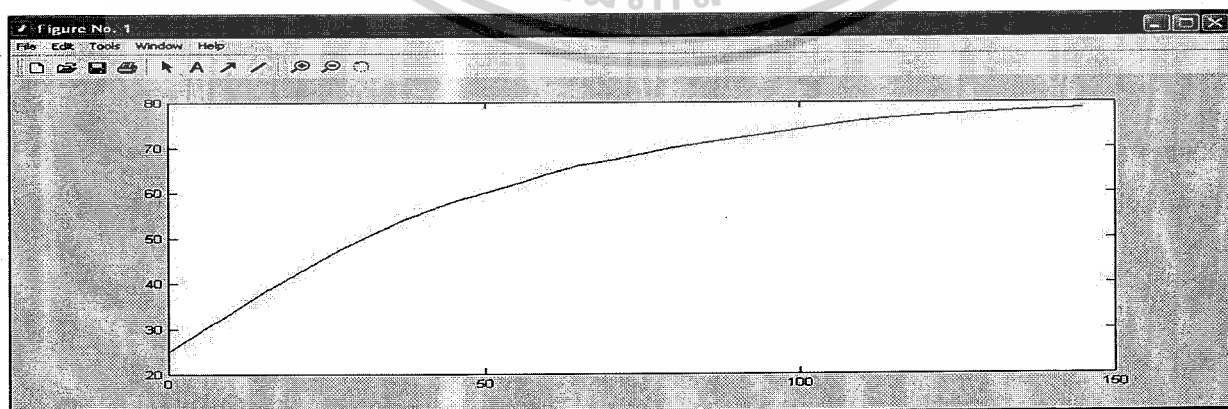
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองวัดอุณหภูมิที่ได้ออกมาจากชุดควบคุมอุณหภูมิ โดยการป้อน Voltage (ย่านในการวัด 4V) เข้าไปในระบบที่ยังไม่มีการป้อนกลับของเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ (ระบบควบคุมวงเปิด) ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองของชุดควบคุมอุณหภูมิ (ย่านในการวัด 4V)

Voltage (V)	Time (s)	Temp (C ⁰)
0	0	25
0.12	15	38
0.30	27	47.5
0.55	37	54
0.70	45	58
1.20	55	62
1.50	60	64
1.70	65	66
2.25	70	67
2.87	80	70
3.50	100	74
3.90	110	76

จากนั้นนำค่าที่ได้จากการบันทึกผลไปทำการพล็อตกราฟ จากโปรแกรมการคำนวณทางคณิตศาสตร์ MATLAB ได้ดังนี้



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ Time และ Temp (ย่านในการวัด 4V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองตั้งค่าที่อุณหภูมิต่างๆ ระบบจะทำงานได้ตามเป้าหมาย ขึ้นอยู่กับการตั้งค่าขอบเขตการเปิดและปิดการทำงานของชุดควบคุมอุณหภูมิ ที่ขอบเขตการเปิดและปิดการทำงานมีค่าต่ำ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าที่ขอบเขตการเปิดและปิดการทำงานมีค่าสูง แต่จะใช้เวลาในการทำงานแต่ละรอบการทำงานน้อยกว่า ในบางเวลา อาจมีการรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายในส่งผลกระทบต่อการทำงานของชุดควบคุม

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

การทำโครงการนี้ ต้องทำการศึกษา ความรู้พื้นฐานที่จำเป็น ได้แก่ วงจรควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ การตรวจวัดอุณหภูมิ ทฤษฎีของการควบคุม ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้งานกับระบบควบคุมแบบอื่นๆ และสามารถนำไปประยุกต์ในสาขาที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมอุปกรณ์ด้วยวงจรควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากปริญญานิพนธ์

ได้นำความรู้ที่เรียนมาใช้ เพราะได้นำความรู้ทางทฤษฎีทางระบบควบคุมมาใช้โดยตรงทั้งความรู้เกี่ยวกับวงจร และ ระบบควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ การออกแบบแบบจำลองของชุดควบคุมอุณหภูมิ ได้ฝึกการแก้ปัญหาที่เกิดจากการทำงานจริงและปัญหาที่เกิดจากปัจจัยภายนอก และการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่มร่วมกับผู้อื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำปริญญานิพนธ์

เนื่องจากขดลวดทำความร้อนเมื่อร้อนจัดจะใช้เวลาในการคืนสภาพนาน และ ไอซีที่ใช้วัดอุณหภูมิเมื่อนำมาวัดลมร้อน มักจะเกิดการสะสมความร้อนทำให้ได้ค่าคลาดเคลื่อน ใช้เวลาในการคืนสภาพค่อนข้างช้าเช่นกัน เมื่อทำการทดลองจึงทำให้เกิดฮิสเตอร์ซิซิสขึ้นรวมทั้งสภาพแวดล้อมภายนอกที่ทำการรบกวนระบบ เช่น เมื่ออุณหภูมิภายนอกไม่สม่ำเสมอเป็นต้น และ การออกแบบแบบจำลองของชุดอุณหภูมิที่มีอุณหภูมิจากภายนอกเข้ามาทำให้อุณหภูมิภายในชุดควบคุมอุณหภูมิกลาดเคลื่อน รวมถึงตำแหน่งของมิเตอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิภายในแบบจำลองชุดควบคุมอุณหภูมิอยู่ในตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนต่อการวัดอุณหภูมิ

5.5 แนวทางการพัฒนาและแก้ไข

ในการทำโครงการชิ้นนี้ยังขาดความสมบูรณ์และมีข้อบกพร่องอยู่พอสมควร เราสามารถออกแบบชุดควบคุมอุณหภูมินี้เป็นแบบดิจิทัล ภายในชุดควบคุมอุณหภูมิสามารถออกแบบระบบให้มีทั้งระบบลมร้อนและ ลมเย็น เพื่อที่จะได้ทำให้ชุดควบคุมอุณหภูมิ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้ตรงตามเป้าหมายที่ต้องการมากที่สุด และควรออกแบบ แบบจะลองของชุดควบคุมอุณหภูมิให้ผลรบกวนจากอุณหภูมิจากภายนอกระบบให้น้อยที่สุด เพื่อให้อุณหภูมิที่ทำการควบคุม มีค่าเป็นไปตามที่กำหนดมากที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEMENS

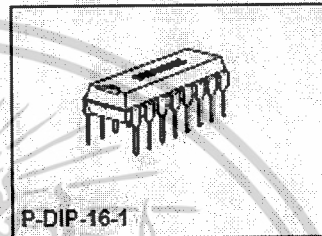
Phase Control IC

TCA 785

Bipolar IC

Features

- Reliable recognition of zero passage
- Large application scope
- May be used as zero point switch
- LSL compatible
- Three-phase operation possible (3 ICs)
- Output current 250 mA
- Large ramp current range
- Wide temperature range



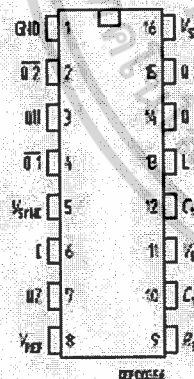
Type	Ordering Code	Package
TCA 785	Q67000-A2321	P-DIP-16-1

This phase control IC is intended to control thyristors, triacs, and transistors. The trigger pulses can be shifted within a phase angle between 0° and 180°. Typical applications include converter circuits, AC controllers and three-phase current controllers.

This IC replaces the previous types TCA 780 and TCA 780 D.

Pin Definitions and Functions

Pin	Symbol	Function
1	GND	Ground
2	Q2	Output 2 inverted
3	Q U	Output U
4	QZ	Output 1 inverted
5	V _{sync}	Synchronous voltage
6	I	Inhibit
7	Q Z	Output Z
8	V _{REF}	Stabilized voltage
9	R ₀	Ramp resistance
10	C ₁₀	Ramp capacitance
11	V _{c1}	Control voltage
12	C ₁₂	Pulse extension
13	L	Long pulse
14	Q 1	Output 1
15	Q 2	Output 2



Pin Configuration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEMENS

TCA 785

Functional Description

The synchronization signal is obtained via a high-ohmic resistance from the line voltage (voltage V_s). A zero voltage detector evaluates the zero passages and transfers them to the synchronization register.

This synchronization register controls a ramp generator, the capacitor C_0 of which is charged by a constant current (determined by R_0). If the ramp voltage V_{r0} exceeds the control voltage V_{r1} (triggering angle φ), a signal is processed to the logic. Dependent on the magnitude of the control voltage V_{r1} , the triggering angle φ can be shifted within a phase angle of 0° to 180° .

For every half wave, a positive pulse of approx. $30 \mu s$ duration appears at the outputs Q 1 and Q 2. The pulse duration can be prolonged up to 180° via a capacitor C_2 . If pin 12 is connected to ground, pulses with a duration between φ and 180° will result.

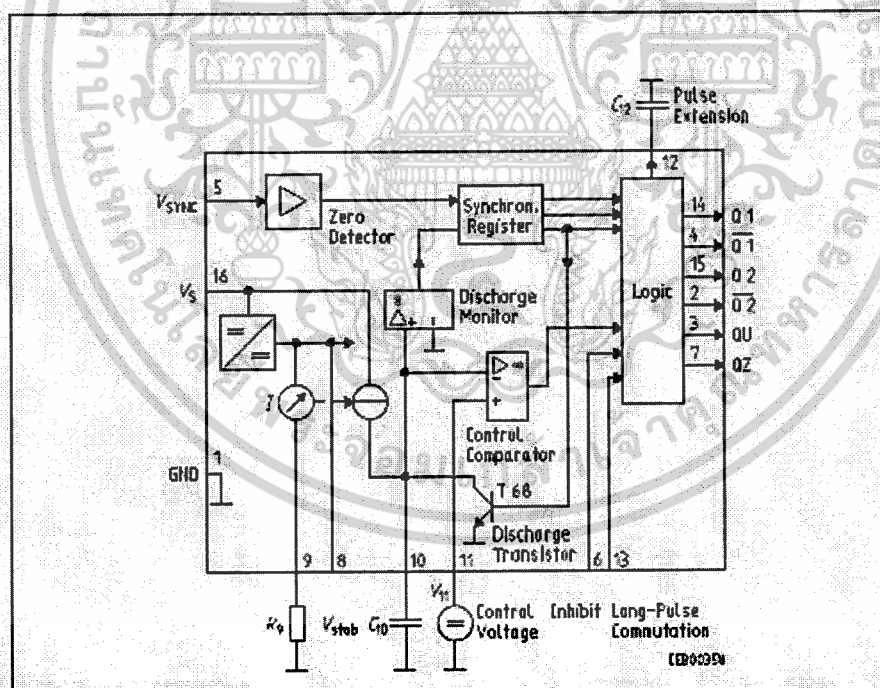
Outputs $\overline{Q1}$ and $\overline{Q2}$ supply the inverse signals of Q 1 and Q 2.

A signal of $\varphi + 180^\circ$ which can be used for controlling an external logic, is available at pin 3.

A signal which corresponds to the NOR link of Q 1 and Q 2 is available at output Q Z (pin 7).

The inhibit input can be used to disable outputs Q1, Q2 and $\overline{Q1}$, $\overline{Q2}$.

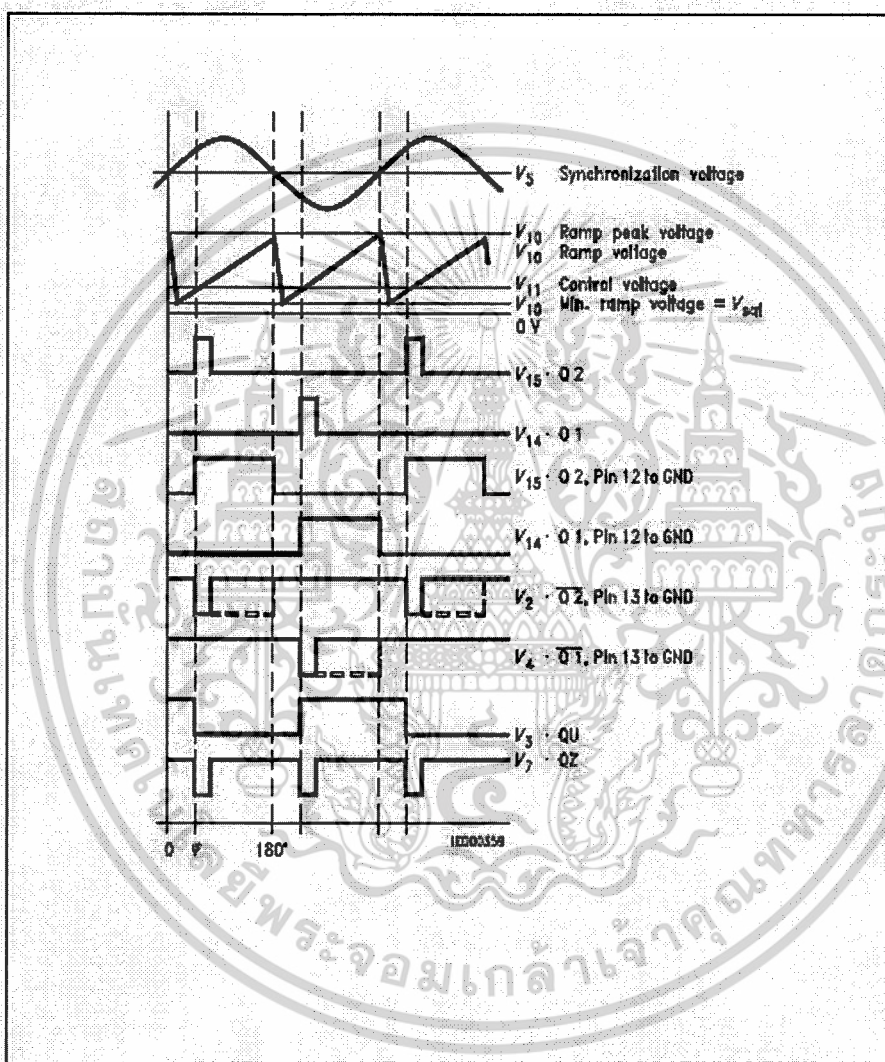
Pin 13 can be used to extend the outputs $\overline{Q1}$ and $\overline{Q2}$ to full pulse length ($180^\circ - \varphi$).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEMENS

TCA 785



Pulse Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEMENS

TCA 785

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Limit Values		Unit
		min.	max.	
Supply voltage	V_s	-0.5	18	V
Output current at pin 14, 15	I_o	-10	400	mA
Inhibit voltage	V_i	-0.5	V_s	V
Control voltage	V_{11}	-0.5	V_s	V
Voltage short-pulse circuit	V_{15}	-0.5	V_s	V
Synchronization input current	I_s	-200	± 200	μ A
Output voltage at pin 14, 15	V_o		V_s	V
Output current at pin 2, 3, 4, 7	I_o		10	mA
Output voltage at pin 2, 3, 4, 7	V_o		V_s	V
Junction temperature	T_j		150	$^{\circ}$ C
Storage temperature	T_{stg}	-55	125	$^{\circ}$ C
Thermal resistance system - air	$R_{th,sa}$		80	K/W

Operating Range

Supply voltage	V_s	8	18	V
Operating frequency	f	10	500	Hz
Ambient temperature	T_A	-25	85	$^{\circ}$ C

Characteristics

 $8 \leq V_s \leq 18 \text{ V}; -25 \text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 85 \text{ }^{\circ}\text{C}; f = 50 \text{ Hz}$

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Supply current consumption S1 ... S6 open $V_{11} = 0 \text{ V}$ $C_{10} = 47 \text{ nF}; R_D = 100 \text{ k}\Omega$	I_s	4.5	6.5	10	mA	1
Synchronization pin 5 Input current R_D varied	$I_{s_{inp}}$	30		200	μ A	1
Offset voltage	ΔV_s		30	75	mV	4
Control input pin 11						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEMENS

TCA 785

Characteristics (cont'd)

 $8 \leq V_s \leq 18 \text{ V}; -25^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85^\circ\text{C}; f = 50 \text{ Hz}$

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Ramp generator						
Charge current	I_{IC}	10		1000	μA	1
Max. ramp voltage	V_{10}			$V_s - 2$	V	1
Saturation voltage at capacitor	V_{10}	100	225	350	mV	1.6
Ramp resistance	R_D	3		300	$\text{k}\Omega$	1
Sawtooth return time	t_r		80		μs	1
Inhibit pin 8						
switch-over of pin 7						
Outputs disabled	V_{OL}		3.3	2.5	V	1
Outputs enabled	V_{OH}	4	3.3		V	1
Signal transition time	t_r	1		5	μs	1
Input current	I_{IH}		500	800	μA	1
$V_s = 8 \text{ V}$						
Input current	$-I_{IL}$	80	150	200	μA	1
$V_s = 1.7 \text{ V}$						
Deviation of I_{IC}	I_{IC}	-5		5	%	1
$R_D = \text{const.}$						
$V_s = 12 \text{ V}; C_{10} = 47 \text{ nF}$						
Deviation of I_{10}	I_{10}	-20		20	%	1
$R_D = \text{const.}$						
$V_s = 8 \text{ V to } 18 \text{ V}$						
Deviation of the ramp voltage						
between 2 following						
half-waves, $V_s = \text{const.}$	$\Delta V_{10, \text{max}}$		± 1		%	1
Long pulse switch-over						
pin 13						
switch-over of S8						
Short pulse at output	V_{13H}	3.5	2.5		V	1
Long pulse at output	V_{13L}		2.5	2	V	1
Input current	I_{13H}			10	μA	1
$V_s = 8 \text{ V}$						
Input current	$-I_{13L}$	45	65	100	μA	1
$V_s = 1.7 \text{ V}$						
Outputs pin 2, 3, 4, 7						
Reverse current	I_{SEO}			10	μA	2.6
$V_O = V_s$						
Saturation voltage	V_{sat}	0.1	0.4	2	V	2.6
$I_O = 2 \text{ mA}$						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEMENS

TCA 785

Characteristics (cont'd)

 $8 \leq V_s \leq 18 \text{ V}; -25^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85^\circ\text{C}; f = 50 \text{ Hz}$

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Outputs pin 14, 15 H-output voltage $-I_O = 250 \text{ mA}$	$V_{14:5H}$	$V_s - 3$	$V_s - 2.5$	$V_s - 1.0$	V	3.6
L-output voltage $I_O = 2 \text{ mA}$	$V_{14:5L}$	0.3	0.8	2	V	2.6
Pulse width (short pulse) S9 open	t_p	20	30	40	μs	1
Pulse width (short pulse) with C_{12}	t_p	530	620	760	$\mu\text{s}/\text{nF}$	1
Internal voltage control Reference voltage	V_{REF}	2.8	3.1	3.4	V	1
Parallel connection of 10 ICs possible IC of reference voltage	I_{REF}		2×10^{-4}	5×10^{-4}	1/K	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

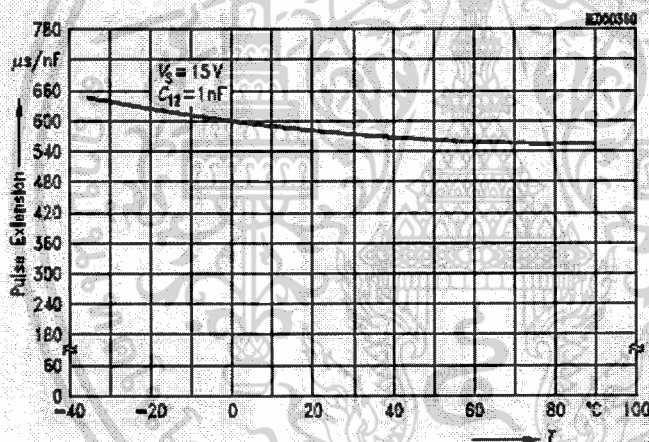
Application Hints for External Components

Ramp capacitance C_{10} min 500 pF max 1 μ F¹⁾ The minimum and maximum values of I_{10} are to be observed

Triggering point $t_{Tr} = \frac{I_{11} \times R_0 \times C_{10}}{V_{REF} \times K}$ 2)

Charge current $I_{10} = \frac{V_{REF} \times K}{R_0}$ 2) Ramp voltage $V_{10max} = V_0 - 2V$ $V_{10} = \frac{V_{REF} \times K \times t}{R_0 \times C_{10}}$ 2)

Pulse Extension versus Temperature

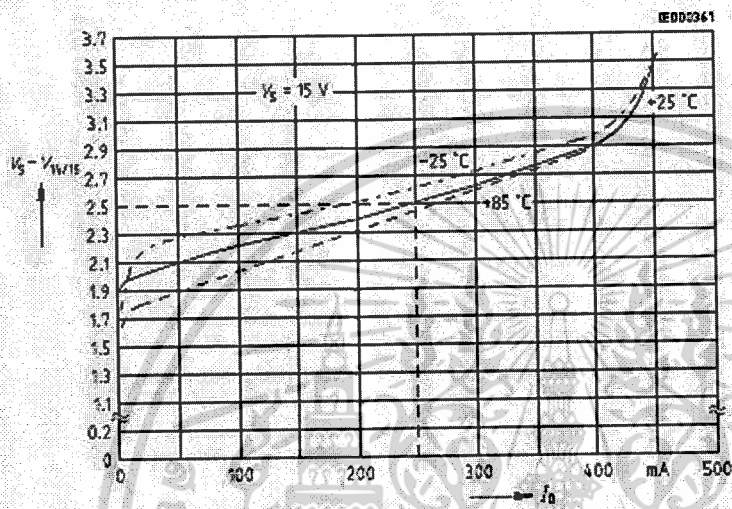


1) Attention to flyback times
2) $\pm 1.10 \pm 20\%$

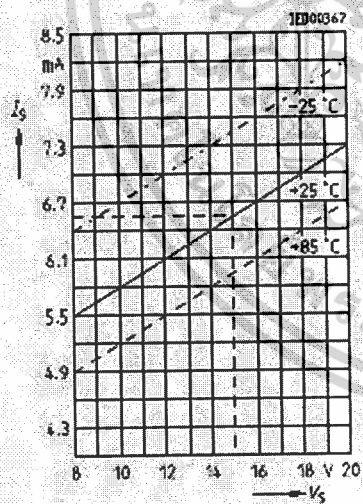
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEMENS

TCA 785

Output Voltage measured to + V_s 

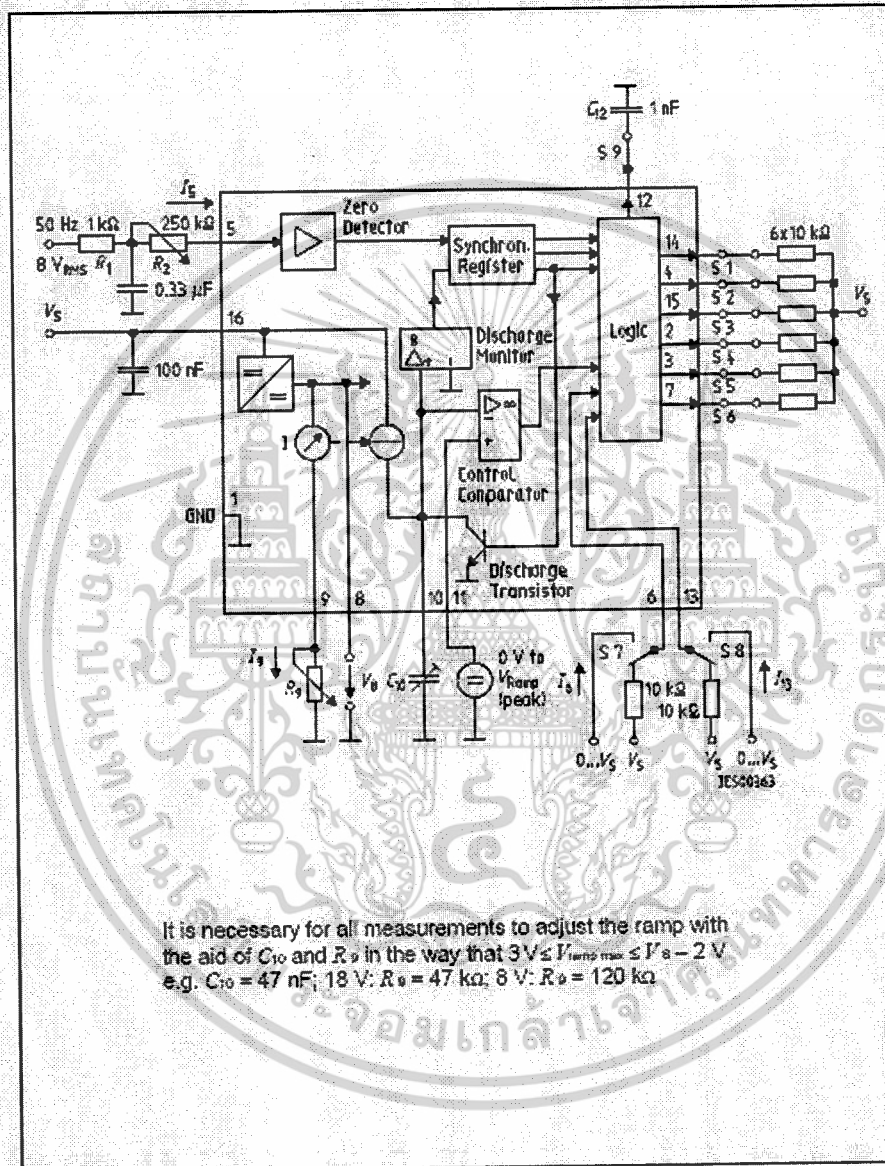
Supply Current versus Supply Voltage



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEMENS

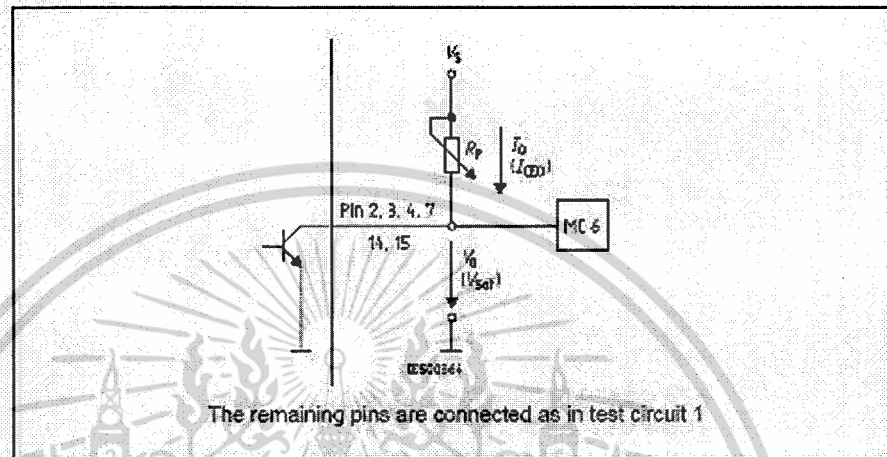
TCA 785



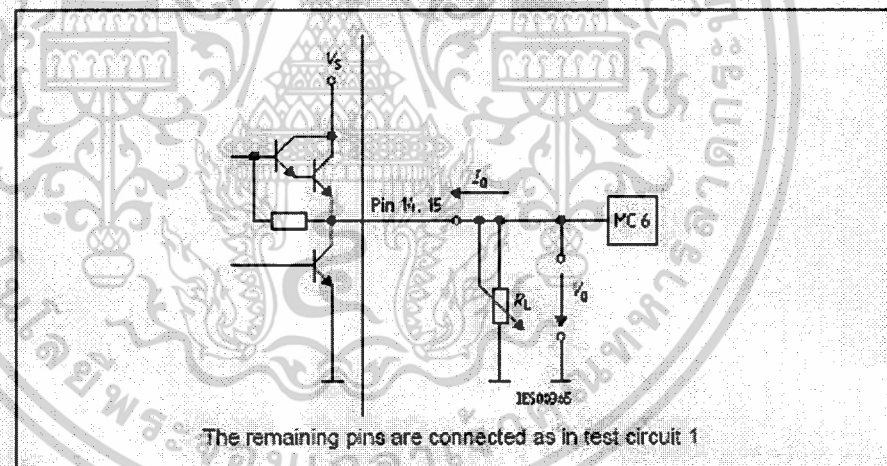
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEMENS

TCA 785

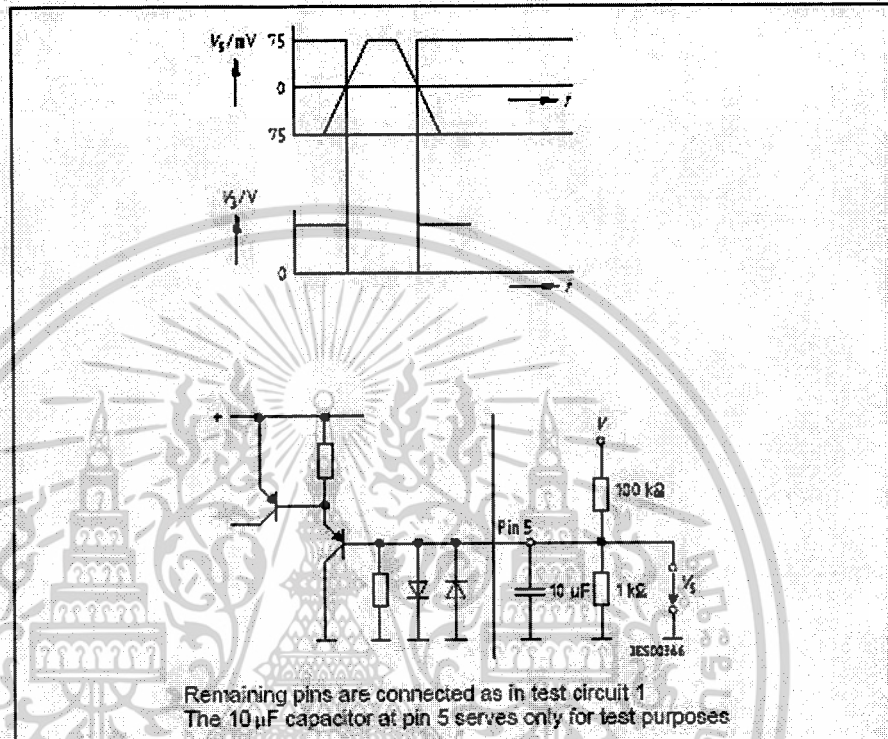


Test Circuit 2

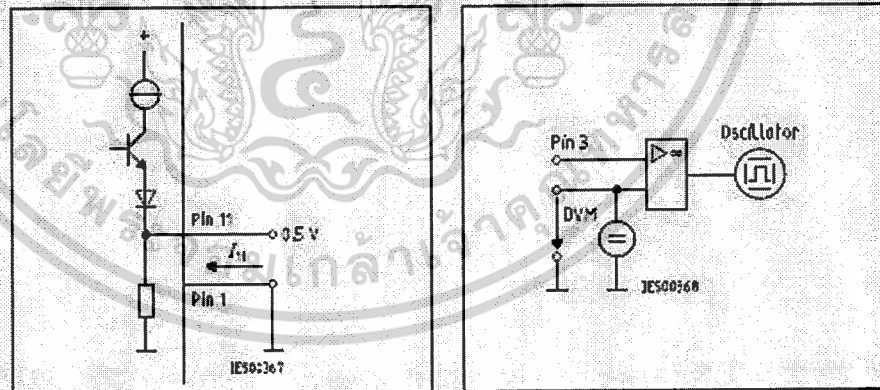


Test Circuit 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



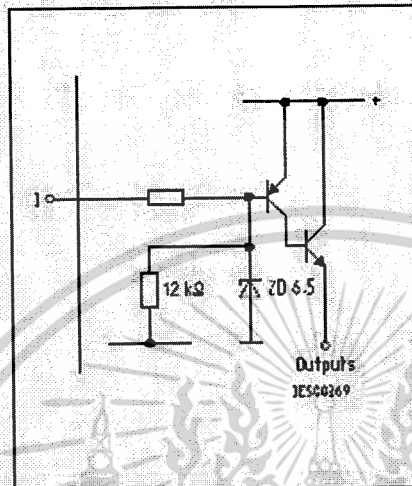
Test Circuit 4



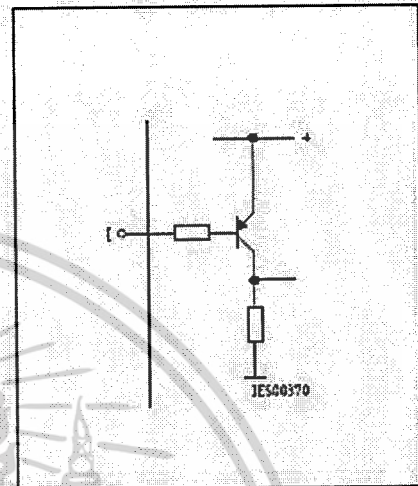
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEMENS

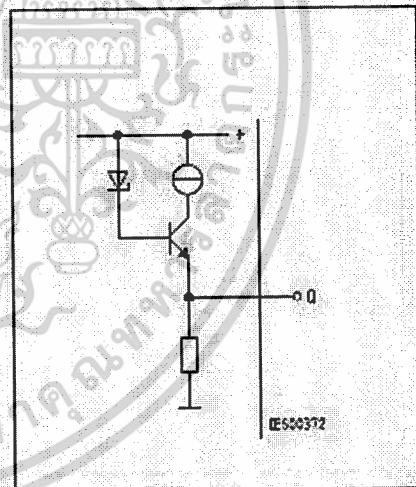
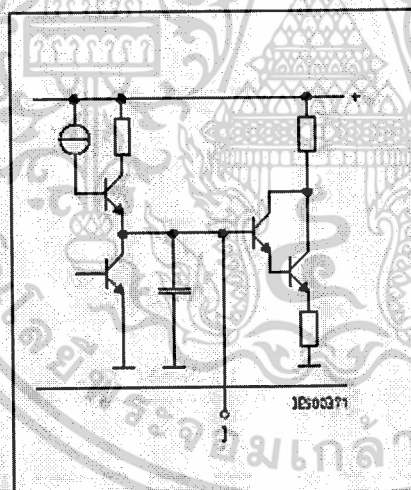
TCA 785



Inhibit 6



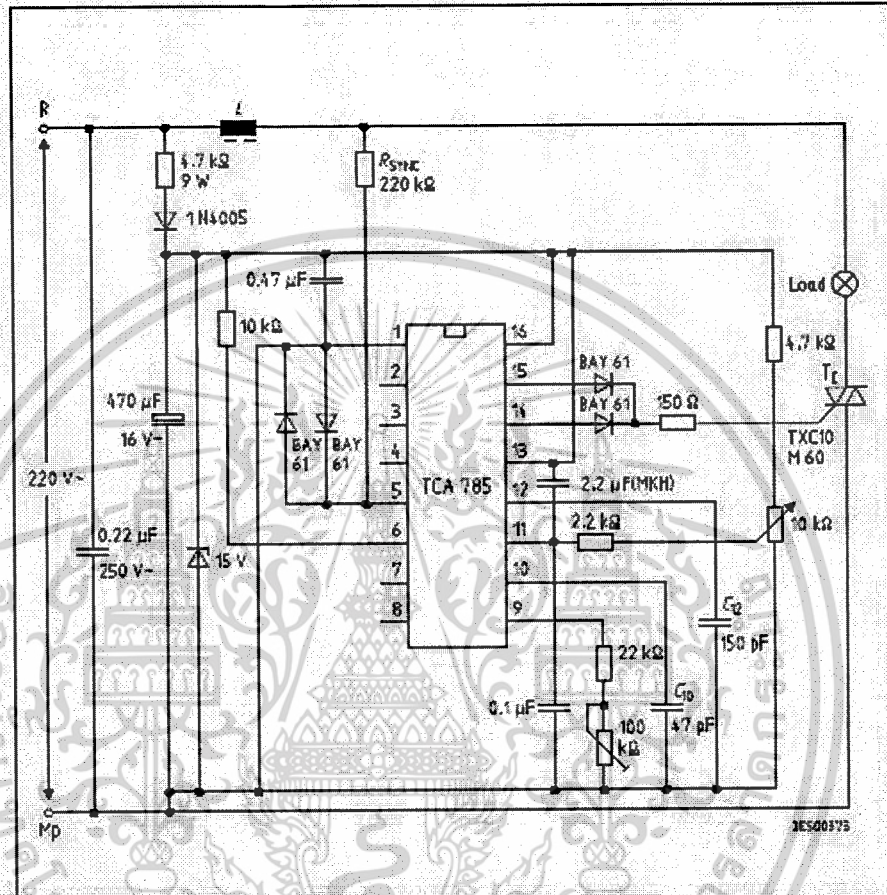
Long Pulse 13



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEMENS

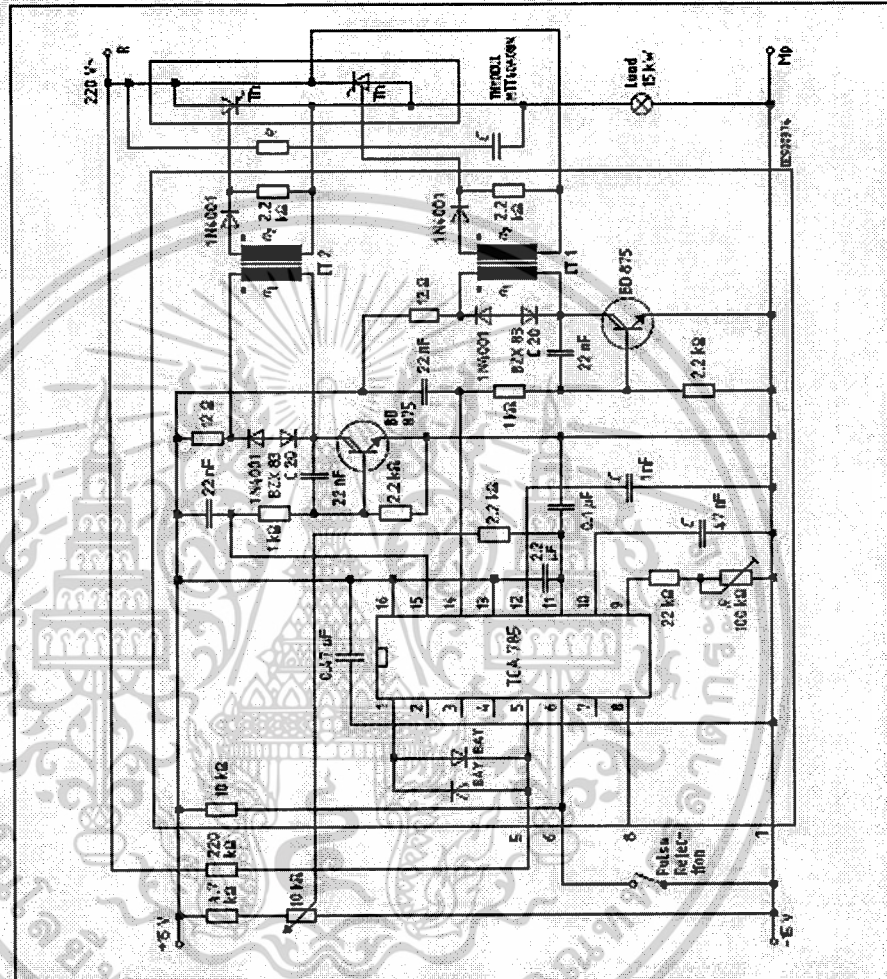
TCA 785



Application Examples
Triac Control for up to 50 mA Gate Trigger Current

A phase control with a directly controlled triac is shown in the figure. The triggering angle of the triac can be adjusted continuously between 0° and 180° with the aid of an external potentiometer. During the positive half-wave of the line voltage, the triac receives a positive

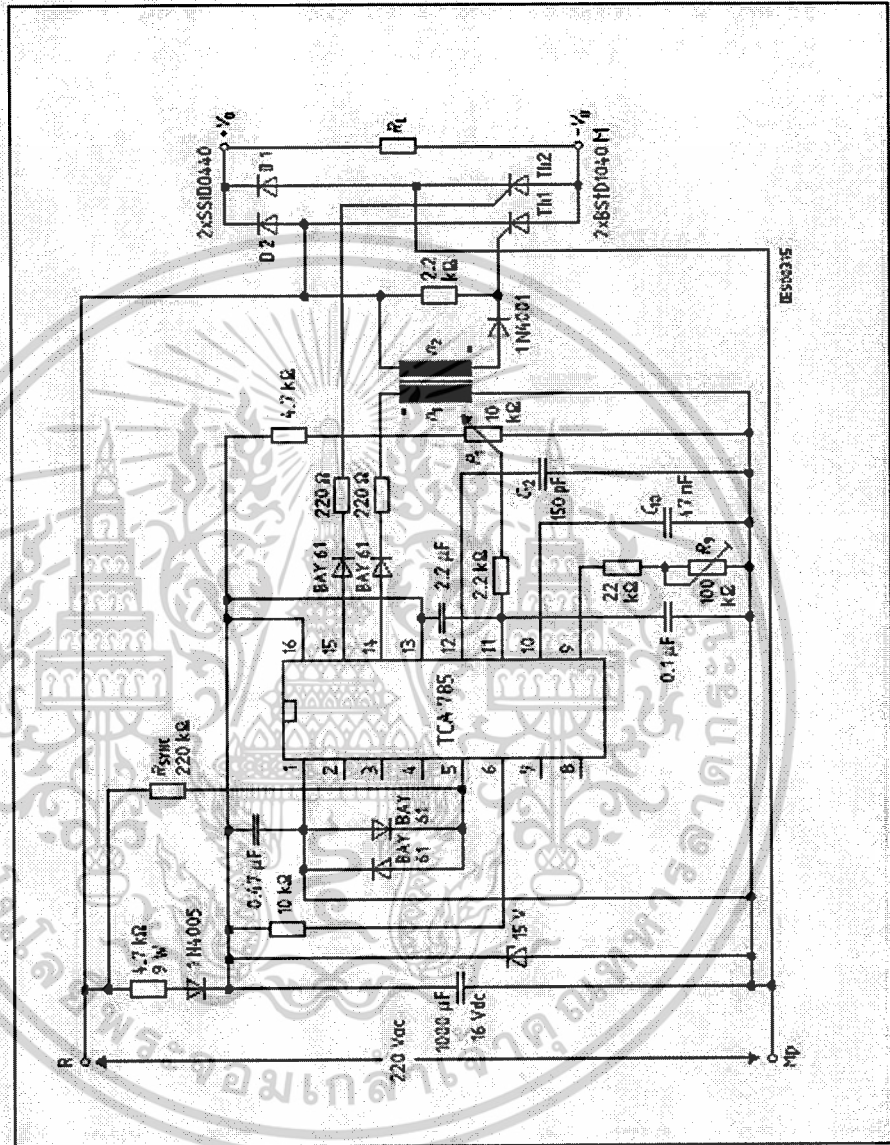
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**Fully Controlled AC Power Controller
Circuit for Two High-Power Thyristors**

Shown is the possibility to trigger two antiparalleled thyristors with one IC TCA 785. The trigger pulse can be shifted continuously within a phase angle between 0° and 180° by means of a potentiometer. During the negative line half-wave the trigger pulse of pin 14 is fed to the relevant thyristor via a trigger pulse transformer. During the positive line half-wave, the gate of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



BTA40, BTA41 and BTB41 Series

STANDARD

40A TRIACs

Table 1: Main Features

Symbol	Value	Unit
$I_{T(RMS)}$	40	A
V_{DRM}/V_{RRM}	600 and 800	V
$I_{GT}(0.1)$	50	mA

DESCRIPTION

Available in high power packages, the BTA/BTB40-41 series is suitable for general purpose AC switching. They can be used as an ON/OFF function in applications such as static relays, heating regulation, induction motor starting circuits... or for phase control operation in light dimmers, motor speed controllers, ...

Thanks to their clip assembly technique, they provide a superior performance in surge current handling capabilities.

By using an internal ceramic pad, the BTA series provides voltage insulated tab (rated at 2500V_{RMS}) complying with UL standards (File ref.: E81734).

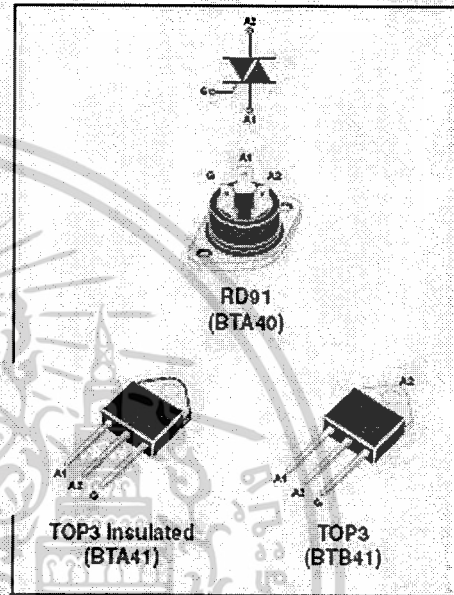


Table 2: Order Codes

Part Number	Marking
BTA40-xxxB	See table 8 on page 6
BTA41-xxxBRG	
BTB41-xxxBRG	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BTA40, BTA41 and BTB41 Series

Table 3: Absolute Maximum Ratings

Symbol	Parameter	Value	Unit	
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current (full sine wave)	RD91 / TOP3 $T_c = 95^\circ\text{C}$	40	A
		TOP Ins. $T_c = 80^\circ\text{C}$		
I_{TSM}	Non repetitive surge peak on-state current (full cycle, T_J initial = 25°C)	$F = 50\text{ Hz}$ $t = 20\text{ ms}$	400	A
		$F = 60\text{ Hz}$ $t = 16.7\text{ ms}$	420	
I_t	I_t Value for fusing	$t_p = 10\text{ ms}$	880	A's
di/dt	Critical rate of rise of on-state current $I_G = 2 \times I_{GT}$, $t_r \leq 100\text{ ns}$	$F = 120\text{ Hz}$ $T_J = 125^\circ\text{C}$	50	A/ μs
V_{DSM}/V_{RSM}	Non repetitive surge peak off-state voltage	$t_p = 10\text{ ms}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$	$V_{DSM}/V_{RSM} + 100$	V
I_{GM}	Peak gate current	$t_p = 20\text{ }\mu\text{s}$ $T_J = 125^\circ\text{C}$	8	A
$P_{G(AV)}$	Average gate power dissipation	$T_J = 125^\circ\text{C}$	1	W
T_{stg}	Storage junction temperature range		-40 to +150	$^\circ\text{C}$
T_J	Operating junction temperature range		-40 to +125	$^\circ\text{C}$

Tables 4: Electrical Characteristics ($T_J = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)

Symbol	Test Conditions	Quadrant	Value	Unit	
$I_{GT}(1)$	$V_D = 12\text{ V}$ $R_L = 33\text{ }\Omega$	I - II - III IV	MAX.	50 100	mA
		ALL	MAX.	1.3	V
V_{GD}	$V_D = V_{DRM}$ $R_L = 3.3\text{ k}\Omega$ $T_J = 125^\circ\text{C}$	ALL	MIN.	0.2	V
$I_H(2)$	$I_T = 500\text{ mA}$		MAX.	80	mA
I_L	$I_G = 1.2 I_{GT}$	I - III - IV	MAX.	70	mA
		II	MAX.	160	mA
$dV/dt(2)$	$V_D = 67\% V_{DRM}$ Gate open	$T_J = 125^\circ\text{C}$	MIN.	500	V/ μs
$(dV/dt)_c(2)$	$(di/dt)_c = 20\text{ A/ms}$	$T_J = 125^\circ\text{C}$	MIN.	10	V/ μs

Table 5: Static Characteristics

Symbol	Test Conditions	Value	Unit		
$V_T(2)$	$I_{TM} = 60\text{ A}$ $t_p = 380\text{ }\mu\text{s}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$	MAX.	1.55	V	
$V_{IO}(2)$	Threshold voltage $T_J = 125^\circ\text{C}$	MAX.	0.85	V	
$R_d(2)$	Dynamic resistance $T_J = 125^\circ\text{C}$	MAX.	10	m Ω	
I_{DRM} I_{RRM}	$V_{DRM} = V_{RRM}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$	MAX.	5	μA
		$T_J = 125^\circ\text{C}$	MAX.	5	mA

Note 1: minimum I_{GT} is guaranteed at 5% of I_{GT} max.

Note 2: for both polarities of A2 referenced to A1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BTA40, BTA41 and BTB41 Series

Table 6: Thermal resistance

Symbol	Parameter		Value	Unit
$R_{th(j-c)}$	Junction to case (AC)	RD91 (Insulated) / TOP3	0.9	°C/W
		TOP3 Insulated	0.6	
$R_{th(j-a)}$	Junction to ambient	TOP3 / TOP3 Insulated	50	°C/W

S = Copper surface under tab.

Figure 1: Maximum power dissipation versus RMS on-state current (full cycle)

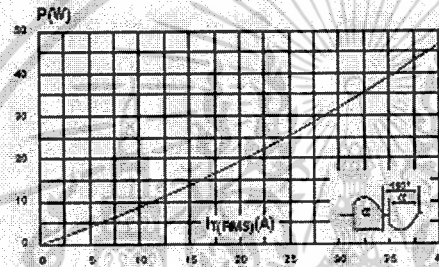


Figure 2: RMS on-state current versus case temperature (full cycle)

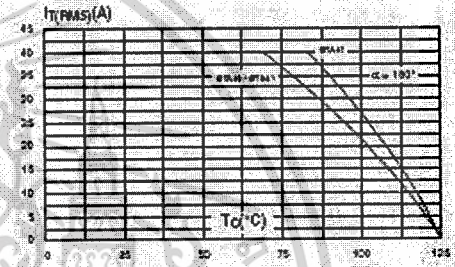


Figure 3: Relative variation of thermal impedance versus pulse duration

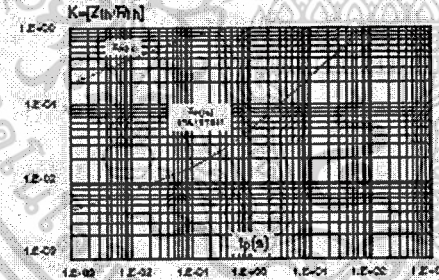
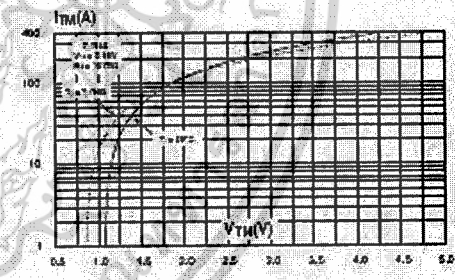


Figure 4: On-state characteristics (maximum values)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BTA40, BTA41 and BTB41 Series

Figure 5: Surge peak on-state current versus number of cycles

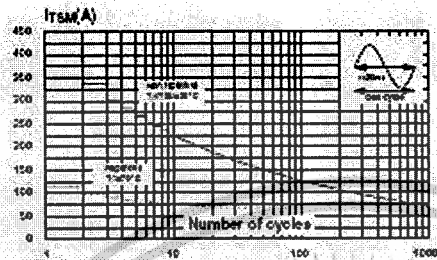


Figure 6: Non-repetitive surge peak on-state current for a sinusoidal pulse with width $t_p < 10$ ms and corresponding value of Rt

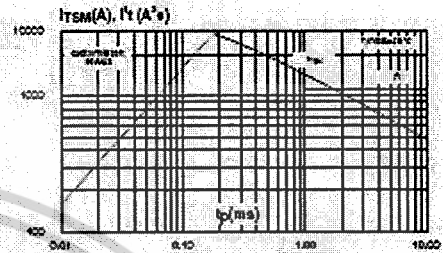


Figure 7: Relative variation of gate trigger current, holding current and latching current versus junction temperature (typical values)

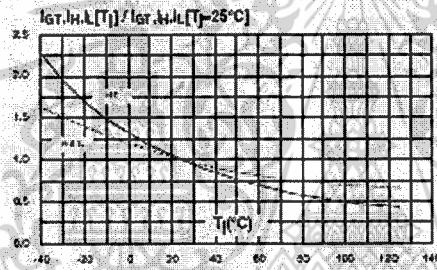


Figure 8: Relative variation of critical rate of decrease of main current versus $(dV/dt)_c$ (typical values)

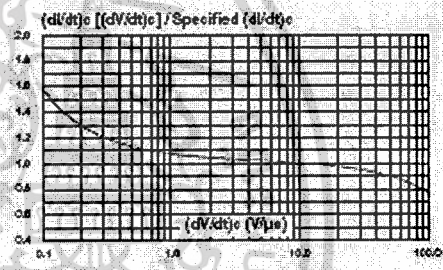
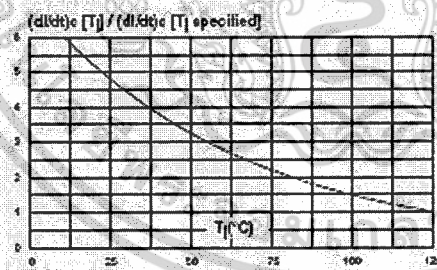


Figure 9: Relative variation of critical rate of decrease of main current versus $(dV/dt)_c$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BTA40, BTA41 and BTB41 Series

Figure 10: Ordering Information Scheme

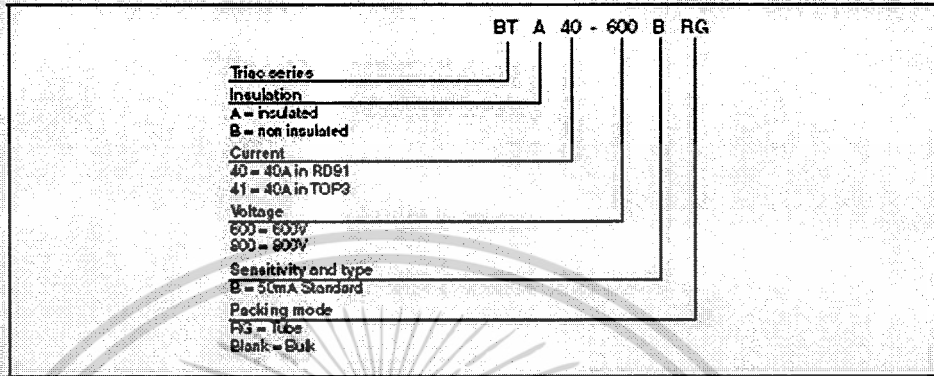
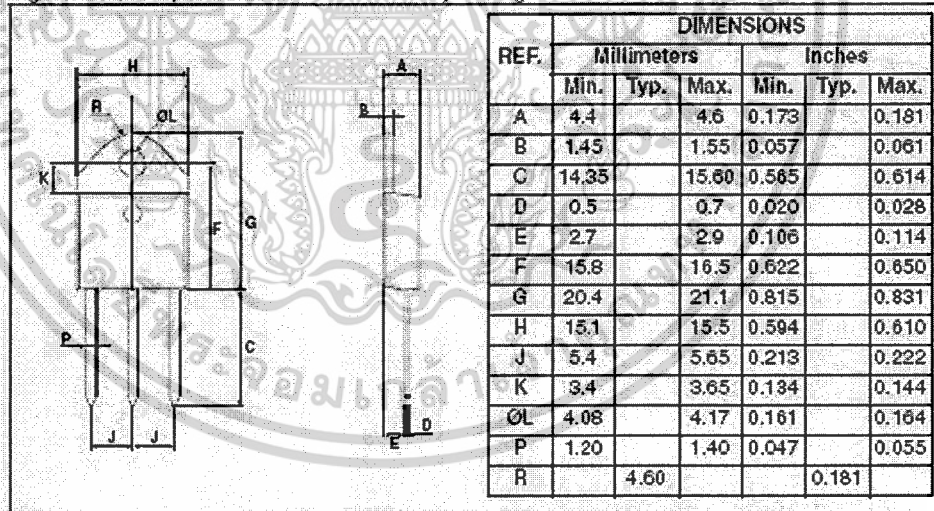


Table 7: Product Selector

Part Numbers	Voltage (xxx)		Sensitivity	Type	Package
	600 V	800 V			
BTA40-xxxB	X	X	50 mA	Standard	RD91
BTA41-xxxBRG	X	X	50 mA	Standard	TOP3 Ins.
BTB41-xxxBRG	X	X	50 mA	Standard	TOP3

BTB: non insulated TOP3 package

Figure 11: TOP3 (Insulated and non insulated) Package Mechanical Data



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BTA40, BTA41 and BTB41 Series

Figure 12: RD91 Package Mechanical Data

REF.	DIMENSIONS			
	Millimeters		Inches	
	Min.	Max.	Min.	Max.
A		40.00		1.573
A1	29.90	30.30	1.177	1.193
A2		22.00		0.867
B		27.00		1.063
B1	13.50	16.50	0.531	0.650
B2		24.00		0.945
C		14.00		0.551
C1		3.50		0.138
C2	1.95	3.00	0.077	0.118
E3	0.70	0.90	0.027	0.035
F	4.00	4.50	0.157	0.177
I	11.20	13.60	0.441	0.535
L1	3.10	3.50	0.122	0.138
L2	1.70	1.90	0.067	0.075
N1	33°	43°	33°	43°
N2	28°	38°	28°	38°

In order to meet environmental requirements, ST offers these devices in ECOPACK® packages. These packages have a Lead-free second level interconnect. The category of second level interconnect is marked on the package and on the inner box label, in compliance with JEDEC Standard JESD97. The maximum ratings related to soldering conditions are also marked on the inner box label. ECOPACK is an ST trademark. ECOPACK specifications are available at www.st.com.

Table 8: Ordering Information

Ordering type	Marking	Package	Weight	Base qty	Delivery mode
BTA40-xxxB	BTA40xxxB	RD91	20 g	25	Bulk
BTA41-xxxBRG	BTA41xxxB	TOP3 Ins.	4.5 g	30	Tube
BTB41-xxxBRG	BTB41xxxB	TOP3	4.5 g	30	Tube

Note: xxx = voltage

Table 9: Revision History

Date	Revision	Description of Changes
Sep-2003	5	Last update.
25-Mar-2005	6	TOP3 delivery mode changed from bulk to tube.
14-Oct-2005	7	T _c values for I _T changed in Table 3. ECOPACK statement added.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



August 2000

LM741 Operational Amplifier

General Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439 and 748 in most applications. The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and

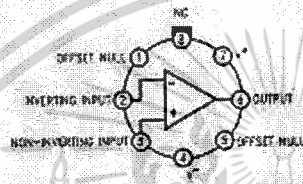
output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

The LM741C is identical to the LM741/LM741A except that the LM741C has their performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

Features

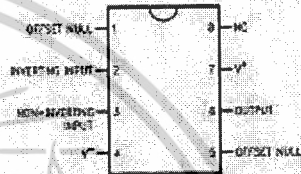
Connection Diagrams

Metal Can Package



Note 1: LM741H is available per JMS0510/10101
 Order Number LM741H, LM741H/883 (Note 1),
 LM741AH/883 or LM741CH
 See NS Package Number H08C

Dual-In-Line or S.O. Package



Order Number LM741J, LM741J/863, LM741CH
 See NS Package Number J08A, M08A or N08E

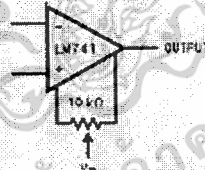
Ceramic Flatpak



Order Number LM741W/863
 See NS Package Number W10A

Typical Application

Offset Nulling Circuit



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

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

(Note 7)

	LM741A	LM741	LM741C
Supply Voltage	$\pm 22V$	$\pm 22V$	$\pm 18V$
Power Dissipation (Note 3)	500 mW	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	$\pm 30V$	$\pm 30V$	$\pm 30V$
Input Voltage (Note 4)	$\pm 15V$	$\pm 15V$	$\pm 15V$
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range	$-55^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$	$-55^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$	$0^{\circ}C$ to $+70^{\circ}C$
Storage Temperature Range	$-85^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$	$-85^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$	$-85^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$
Junction Temperature	$160^{\circ}C$	$150^{\circ}C$	$100^{\circ}C$
Soldering Information			
N-Package (10 seconds)	$260^{\circ}C$	$260^{\circ}C$	$260^{\circ}C$
J- or H-Package (10 seconds)	$300^{\circ}C$	$300^{\circ}C$	$300^{\circ}C$
M-Package			
Vapor Phase (60 seconds)	$215^{\circ}C$	$215^{\circ}C$	$215^{\circ}C$
Infrared (15 seconds)	$215^{\circ}C$	$215^{\circ}C$	$215^{\circ}C$
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.			
ESD Tolerance (Note 8)	400V	400V	400V

Electrical Characteristics (Note 5)

Parameter	Conditions	LM741A			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^{\circ}C$ $R_D \leq 10 k\Omega$ $R_G \leq 50\Omega$		0.8	8.0		1.0	6.0		2.0	6.0	mV mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_D \leq 50\Omega$ $R_G \leq 10 k\Omega$			4.0			6.0			7.5	mV mV
Average Input Offset Voltage Drift				15							$\mu V/^{\circ}C$
Input Offset Voltage Adjustment Range	$T_A = 25^{\circ}C$, $V_D = \pm 20V$	± 10			± 15			± 15			mV
Input Offset Current	$T_A = 25^{\circ}C$		3.0	30		20	200		20	200	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			70		65	500			300	nA
Average Input Offset Current Drift				0.5							$nA/^{\circ}C$
Input Bias Current	$T_A = 25^{\circ}C$		90	80		90	600		80	600	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			0.210			1.5			0.8	μA
Input Resistance	$T_A = 25^{\circ}C$, $V_D = \pm 20V$	1.0	6.0		0.3	2.0		0.3	2.0		M Ω
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $V_D = \pm 20V$	0.5									M Ω
Input Voltage Range	$T_A = 25^{\circ}C$							± 12	± 13		V
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$							± 12	± 13		V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Note 5) (Continued)											
Parameter	Conditions	LM741A			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_S = \pm 20\text{V}$, $V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$, $V_O = \pm 10\text{V}$	50				50	200		20	200	V/mV V/mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_S = \pm 20\text{V}$, $V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$, $V_O = \pm 10\text{V}$	32				25			15		V/mV V/mV V/mV
	$V_S = \pm 5\text{V}$, $V_O = \pm 2\text{V}$	10									
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 20\text{V}$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	± 16 ± 15									V V
	$V_S = \pm 15\text{V}$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$				± 12 ± 10	± 14 ± 13		± 12 ± 10	± 14 ± 13		V V
Output Short Circuit Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$	10	25	35		25			25		mA mA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$	10		40							
Common-Mode Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$, $V_{CM} = \pm 12\text{V}$ $R_S \leq 60\Omega$, $V_{CM} = \pm 12\text{V}$	80	95			70	90		70	90	dB dB
Supply Voltage Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $V_S = \pm 20\text{V}$ to $V_S = \pm 5\text{V}$ $R_S \leq 60\Omega$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	85	96			77	95		77	96	dB dB
Transient Response Rise Time Overshoot	$T_A = 25^\circ\text{C}$, Unity Gain		0.25 6.0	0.8 20		0.3 5			0.3 5		μs %
Bandwidth (Note 6)	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.437	1.5								MHz
Slow Rate	$T_A = 25^\circ\text{C}$, Unity Gain	0.3	0.7			0.5			0.5		V/ μs
Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$					1.7	2.8		1.7	2.8	mA
Power Consumption	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_S = \pm 20\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$		80	150		60	85		60	85	mW mW
LM741A	$V_S = \pm 20\text{V}$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$			165							mW mW
LM741	$V_S = \pm 15\text{V}$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$					60	100		45	75	mW mW

Note 2: "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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Note 5) (Continued)

Note 3: For operation at elevated temperatures, these devices must be derated based on thermal resistances, and T_j max. listed under "Absolute Maximum Ratings". $T_j = T_A + (\theta_{JA} P_D)$.

Thermal Resistance	Cerdip (J)	DIP (N)	HO8 (H)	SO-8 (M)
θ_{JA} (Junction to Ambient)	100°C/W	100°C/W	170°C/W	195°C/W
θ_{JC} (Junction to Case)	N/A	N/A	25°C/W	N/A

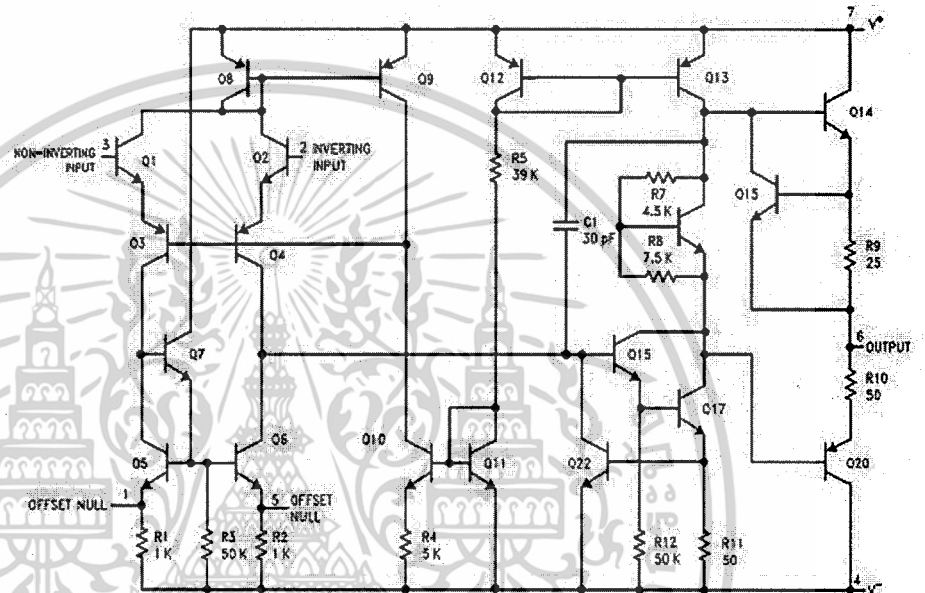
Note 4: For supply voltages less than $\pm 15V$, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Note 5: Unless otherwise specified, these specifications apply for $V_S = \pm 15V$, $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$ (LM741/LM741A). For the LM741C/LM741E, these specifications are limited to $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$.

Note 6: Calculated value from: BW (MHz) = $0.35 / \text{Rise Time} (\mu s)$.

Note 7: For military specifications see RETS741X for LM741 and RETS741AX for LM741A.

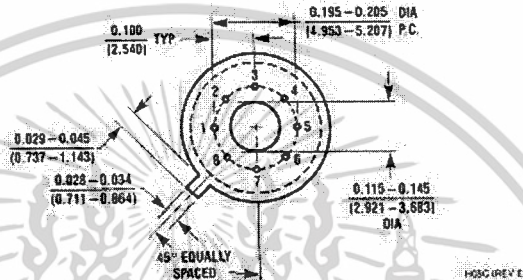
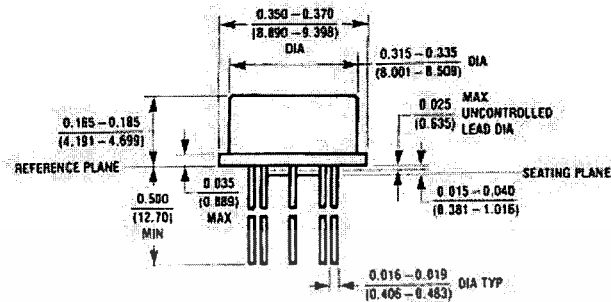
Note 8: Human body model, 1.5 k Ω in series with 100 pF.

Schematic Diagram

00034-101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

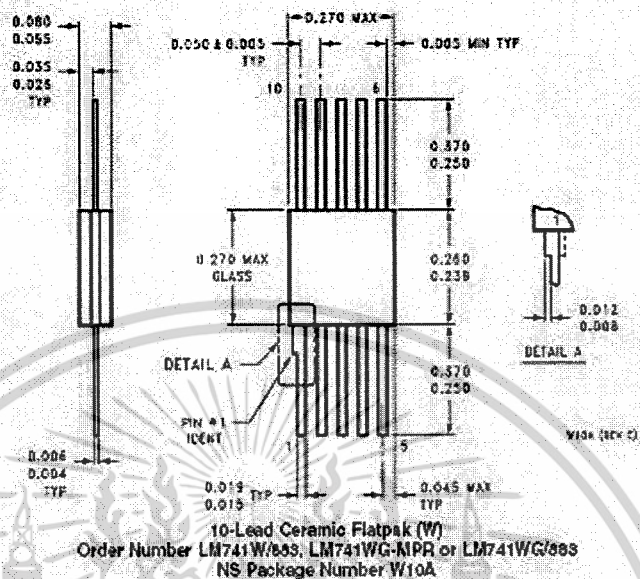
Physical Dimensions inches (millimeters)
unless otherwise noted



Metal Can Package (H)
Order Number LM741H, LM741H/883, LM741AH/883, LM741AH-MIL or LM741CH
NS Package Number H08C

LM741

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)


National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

For the most current product information visit us at www.national.com.

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which: (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

BANNED SUBSTANCE COMPLIANCE

National Semiconductor certifies that the products and packing materials meet the provisions of the Customer Products Stewardship Specification (CSP-9-111C2) and the Banned Substances and Materials of Interest Specification (CSP-9-111S2) and contain no "Banned Substances" as defined in CSP-9-111S2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



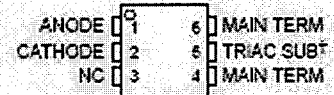
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOC3020 THRU MOC3023 OPTOCOUPERS/OPTOISOLATORS

SOE802E - OCTOBER 1988 - REVISED OCTOBER 1988

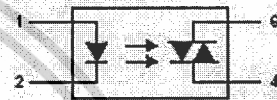
- 250 V Phototriac Driver Output
- Gallium-Arsenide-Diode Infrared Source and Optically-Coupled Silicon Triac Driver (Bilateral Switch)
- UL Recognized ... File Number E65085
- High Isolation ... 7500 V Peak
- Output Driver Designed for 220 V ac
- Standard 6-Terminal Plastic DIP
- Directly Interchangeable with Motorola MOC3020, MOC3021, MOC3022, and MOC3023
- Direct Replacements for:
 - TRW Optron OPI3020, OPI3021, OPI3022, and OPI3023;
 - General Instrument MCP3020, MCP3021, and MCP3022;
 - General Electric GE3020, GE3021, GE3022, and GE3023

MOC3020 - MOC3023 ... PACKAGE
(TOP VIEW)



† Do not connect this terminal
NC - No Internal Connection

logic diagram



absolute maximum ratings at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)†

Input-to-output peak voltage, 5 s maximum duration, 60 Hz (see Note 1)	7.5 kV
Input diode reverse voltage	3 V
Input diode forward current, continuous	60 mA
Output repetitive peak off-state voltage	400 V
Output on-state current, total rms value (50-60 Hz, full sine wave): $T_A = 25^\circ\text{C}$	100 mA
$T_A = 70^\circ\text{C}$	60 mA
Output driver nonrepetitive peak on-state current ($t_{on} = 10$ ms, duty cycle = 10%, see Figure 7)	1.2 A
Continuous power dissipation at (or below) 25°C free-air temperature:	
Infrared-emitting diode (see Note 2)	100 mW
Phototriac (see Note 3)	300 mW
Total device (see Note 4)	330 mW
Operating junction temperature range, T_J	-40°C to 100°C
Storage temperature range, T_{stg}	-40°C to 150°C
Lead temperature 1.5 (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES: 1. Input-to-output peak voltage is the internal device dielectric breakdown rating.
2. Derate linearly to 100°C free-air temperature at the rate of 1.33 mW/°C.
3. Derate linearly to 100°C free-air temperature at the rate of 4 mW/°C.
4. Derate linearly to 100°C free-air temperature at the rate of 4.4 mW/°C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOC3020 THRU MOC3023 OPTOCOUPLEDERS/OPTOISOLATORS

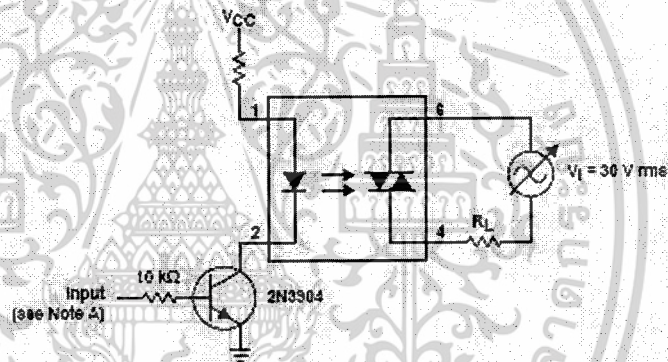
SOSS325 - OCTOBER 1995 - REVISED OCTOBER 1995

electrical characteristics at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
I_R	Static reverse current	$V_R = 3\text{ V}$		0.05	100	μA
V_F	Static forward voltage	$I_F = 10\text{ mA}$		1.2	1.5	V
I_{DRM}	Repetitive off-state current, either direction	$V_{DRM} = 400\text{ V}$, See Note 5		10	100	nA
dv/dt	Critical rate of rise of off-state voltage	See Figure 1		100		V/ μs
$dv/dt(c)$	Critical rate of rise of commutating voltage	$I_O = 15\text{ mA}$, See Figure 1		0.15		V/ μs
I_T	Input trigger current, either direction	MOC3020	Output supply voltage = 3 V	15	30	mA
		MOC3021		8	15	
		MOC3022		5	10	
		MOC3023		3	5	
V_{TM}	Peak on-state voltage, either direction	$I_{TM} = 100\text{ mA}$		1.4	3	V
I_H	Holding current, either direction			100		μA

NOTE 5: Test voltage must be applied at a rate no higher than $f_2 V_{\mu\text{s}}$.

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



NOTE A: The critical rate of rise of off-state voltage, dv/dt , is measured with the input at 0 V. The frequency of V_{IN} is increased until the phototransistor turns on. This frequency is then used to calculate the dv/dt according to the formula:

$$dv/dt = 2 \sqrt{2\pi f V_{IN}}$$

The critical rate of rise of commutating voltage, $dv/dt(c)$, is measured by applying occasional 5-V pulses to the input and increasing the frequency of V_{IN} until the phototransistor stays on (latches) after the input pulse has ceased. With no further input pulses, the frequency of V_{IN} is then gradually decreased until the phototransistor turns off. The frequency at which turn-off occurs may then be used to calculate the $dv/dt(c)$ according to the formula shown above.

Figure 1. Critical Rate of Rise Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOC3020 THRU MOC3023 OPTOCOUPLEDERS/OPTOISOLATORS

SOCS021 - OCTOBER 1995 - REVISED OCTOBER 1995

TYPICAL CHARACTERISTICS

EMITTING-DIODE TRIGGER CURRENT (NORMALIZED)
vs
FREE-AIR TEMPERATURE

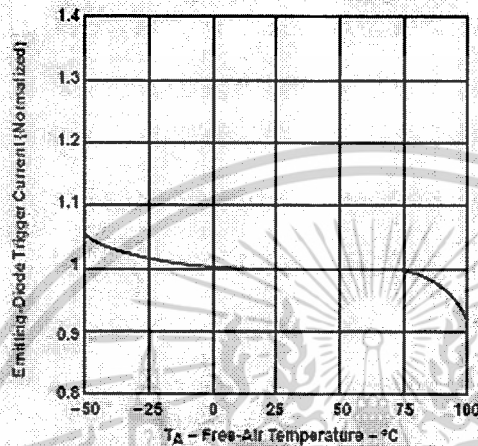


Figure 2

ON-STATE CHARACTERISTICS

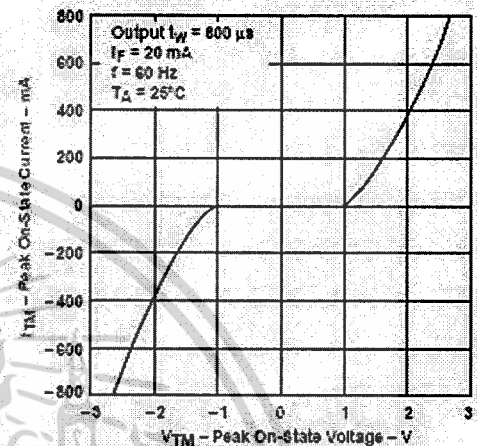


Figure 3

NONREPETITIVE PEAK ON-STATE CURRENT
vs
PULSE DURATION

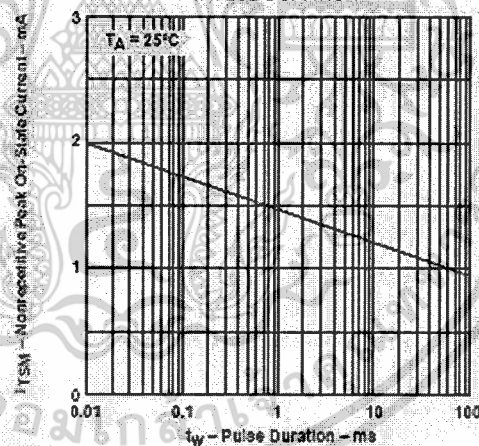


Figure 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOC3020 THRU MOC3023 OPTOCOUPLEDERS/OPTOISOLATORS

SOCS325 - OCTOBER 1995 - REVISED OCTOBER 1995

APPLICATIONS INFORMATION

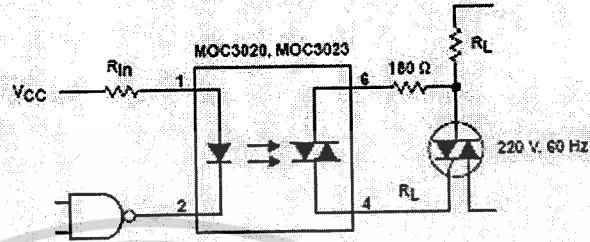


Figure 5. Resistive Load

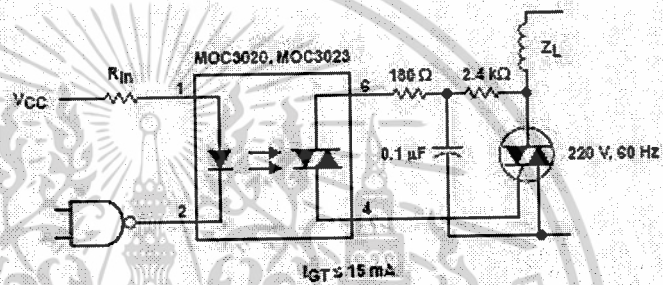


Figure 6. Inductive Load With Sensitive-Gate Triac

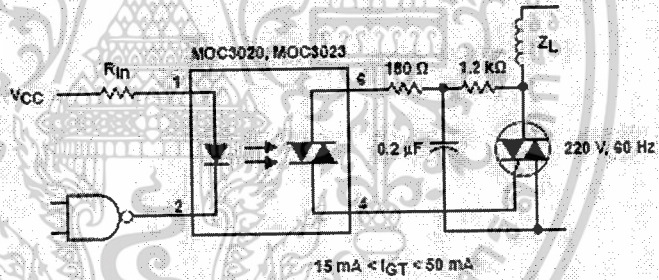


Figure 7. Inductive Load With Nonsensitive-Gate Triac

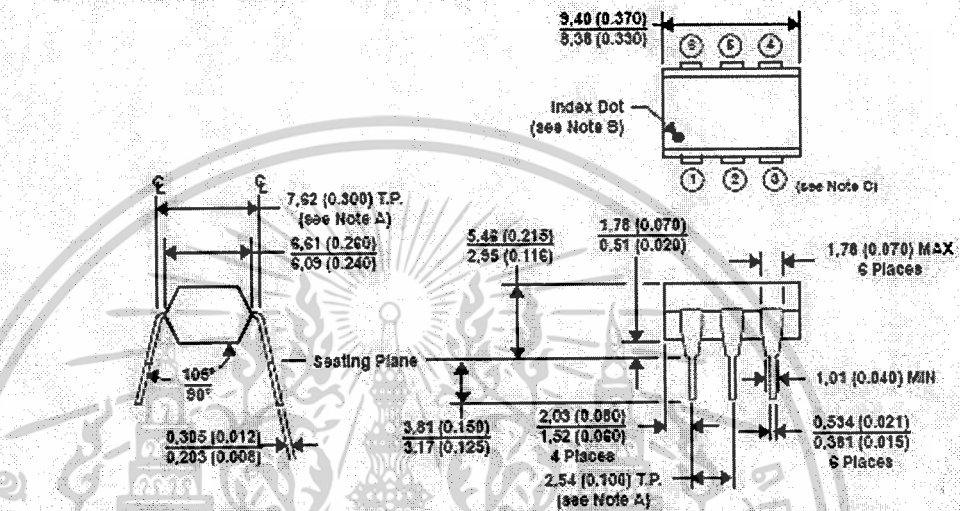
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOC3020 THRU MOC3023 OPTOCOUPLEDERS/OPTOISOLATORS

SOE5021 - OCTOBER 1985 - REVISED OCTOBER 1995

MECHANICAL INFORMATION

Each device consists of a gallium-arsenide infrared-emitting diode optically coupled to a silicon phototriac mounted on a 6-terminal lead frame encapsulated within an electrically nonconductive plastic compound. The case can withstand soldering temperature with no deformation and device performance characteristics remain stable when operated in high-humidity conditions.



- NOTES: A. Leads are within ± 0.13 (0.005) radius of true position (T.P.) with maximum material condition and unit installed.
 B. Pin 1 Identified by index dot.
 C. Terminal connections:
 1. Anode (part of the infrared-emitting diode)
 2. Cathode (part of the infrared-emitting diode)
 3. No internal connection
 4. Main terminal (part of the phototriac)
 5. Triac Substrate (DO NOT connect) (part of the phototriac)
 6. Main terminal (part of the phototriac)
 D. The dimensions given fall within JEDEC MO-001 AIA dimensions.
 E. All linear dimensions are given in millimeters and parenthetically given in inches.

Figure 8. Mechanical Information

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Department of Electronic Engineering, Mahanakorn University of Technology. “Datasheet” [Online].
<http://www.ee.mut.ac.th/datasheet/>.2007
- [2] Damrong Kalawdee, “Electronic Lecture” [Online].Available:
http://fivedots.coe.psu.ac.th/~kdamrong/lecture/sst/sst_slide09temp/index.htm.2007
- [3] Omegatron. “Wikipedia Commons” [Online].Available:
<http://commons.wikimedia.org/wiki/User:Omegatron/Gallery>
- [4] Katsuhiko Ogata. “Modern Control Engineering” ,Fourth edition, Prentice Hall, Upper Saddle River , NJ 07458, 2001.
- [5] Terry Bartelt, “Industrial Control Electronics : Devices, System, and Applications” , Second edition , Thomson Learning, Inc., Albany, NY, 2002.
- [6] Temperature Measurement Handbook and Encyclopedia, Stamford, Conn. : Omega Engineering, Inc.

