

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชุดควบคุมอุณหภูมิ

TEMPERATURE CONTROLLER



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 103037
วัน,เดือน,ปี 24 ส.ค. 2552

| |
|---------|
| .b..... |
| .i..... |

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2551

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Controller)

ผู้จัดทำ

1. นายตรีมงคล จันทร์เสวก
2. นายอาทิตย์ นาคบุญ



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์วรรณดี เพชรหมี่ล้ำค่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดควบคุมอุณหภูมิ

โดย

นายตรีมงคล จันทร์เสวก รหัสนักศึกษา 48010297

นายอาทิตย์ นาคบุญ รหัสนักศึกษา 48011113

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์วรรณดี เพชรมณีล้ำค่า

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการนำความรู้และหลักการทางระบบควบคุมมาประยุกต์เพื่อนำมาใช้ในการควบคุมอุณหภูมิให้เป็นไปตามต้องการ ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนตรวจจับอุณหภูมิ ส่วนควบคุมและส่วนแสดงผลข้อมูล โดยใช้เทอร์มิสเตอร์เป็นเซนเซอร์ในการตรวจจับอุณหภูมิเข้าส่วนควบคุม โดยใช้การปรับแต่งค่าความต้านทานปรับค่าได้แบบด้วยมือ ตามหลักการควบคุมแบบ P-Control เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการ โดยจะเห็นพฤติกรรมของอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป พร้อมทั้งนำมาวิเคราะห์และอ้างอิงกับทฤษฎีที่ได้ทำการศึกษาและกล่าวไว้ข้างต้น ทำให้สามารถเข้าใจหลักการของชุดควบคุมอุณหภูมิมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEMPERATURE CONTROLLER

By

Mr. Trimongkon Jansawek ID 48010297

Mr. Artid Nakboon ID 48011113

Advisor

Wandee Petchmaneelumka

Abstract

This thesis brought the knowledge and theory of control system to apply in a desired temperature controller. There are three parts of this project such as temperature detector, controller and display. The system contains the thermister which is used to detect the temperature in the system and transfer to the control part then adjust manually to control with P-Control Method. The relation between characteristic of the temperature and the varied voltage is obtained. This relation is use to analyze and refer with the above theory. So we can understand about the theory of the temperature controller.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก อาจารย์บรรณดิ เพชรมณีล้ำค่า อาจารย์ที่ปรึกษา และรศ.ดร.วันชัย ธีรวัจจา ที่กรุณาให้แนวคิด แนะนำ และให้คำปรึกษา ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง ทำให้โครงการลุล่วงด้วยดี และขอขอบคุณ อาจารย์และเพื่อน ๆ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุมทุกท่าน ที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำแนะนำ ให้กำลังใจ ตลอดจนให้การช่วยเหลือ ตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของคณะผู้จัดทำที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุก ๆ เรื่อง ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี



ผู้จัดทำ

นายตรีมงคล จันทร์เสวก

นายอาทิตย์ นาคบุญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญภาพ | VII |
| สารบัญตาราง | IX |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา | 1 |
| 1.3 ขอบเขตของโครงการ | 1 |
| 1.4 โครงสร้างเนื้อหาของโครงการ | 2 |
| 1.5 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ | 3 |
| 2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับระบบควบคุม | 3 |
| 2.1.1 การควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control Action) | 5 |
| 2.1.2 การควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral Control Action) | 5 |
| 2.1.3 การควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Control Active) | 6 |
| 2.1.4 การควบคุมแบบพีไอ (Proportional and Integral Control Active) | 7 |
| 2.1.4 การควบคุมแบบพีดี (Proportional and Derivative Control Active) | 8 |
| 2.1.6 การควบคุมแบบพีไอดี (Proportional Integral and Derivative Control Active) | 9 |
| 2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์ | 10 |
| 2.2.1 ไตรแอก (Triac) | 10 |
| 2.2.1.1 สัญลักษณ์และโครงสร้างของไตรแอก | 10 |
| 2.2.1.2 การจ่าย ไบอัสให้ไตรแอกทำงาน | 10 |
| 2.2.1.3 การเลือกสภาวะการทำงาน | 11 |
| 2.2.1.4 ลักษณะของไตรแอกชนิดต่าง ๆ | 12 |
| 2.2.2 คุณสมบัติของ MOC3002 | 12 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | | |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.2.3 | คุณสมบัติของ TCA 785 Integrated Phase Control | 12 |
| 2.2.4 | เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor) | 13 |
| บทที่ 3 | การคำนวณและการสร้าง | 16 |
| 3.1 | การออกแบบวงจรส่วนต่าง ๆ ในชุดควบคุมอุณหภูมิ | 17 |
| 3.1.1 | วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง | 17 |
| 3.1.2 | วงจรทรานซิสเตอร์และแยกโหลด | 17 |
| 3.1.3 | วงจรควบคุมอุณหภูมิ | 18 |
| 3.1.4 | วงจรควบคุมการทำงานของ TCA 785 | 19 |
| 3.2 | การออกแบบอุปกรณ์ในชุดควบคุมอุณหภูมิ | 20 |
| 3.2.1 | กล่องทำความร้อน | 20 |
| 3.3.2 | กล่องควบคุมอุณหภูมิ | 21 |
| 3.3.3 | Flow Chart แสดงการทำงาน เมื่อใส่ PID Controller | 22 |
| 3.3.4 | อธิบายการทำงานของชุดควบคุมอุณหภูมิ | 23 |
| บทที่ 4 | การทดลองและผลการทดลอง | 24 |
| 4.1 | ผลการทดลองของระบบวงเปิด | 25 |
| 4.1.1 | ผลการทดลองเมื่อทำการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ | 25 |
| 4.1.2 | ผลการทดลองเมื่อทำการใส่สัญญาณระดับ แบบหนึ่งหน่วยที่อุณหภูมิ 100 °C | 27 |
| 4.2 | ผลการทดลองของระบบวงปิด | 28 |
| 4.2.1 | ผลการทดลองของเทอร์มิสเตอร์เมื่อ ทำการเพิ่มอุณหภูมิต่อค่าความต้านทาน | 28 |
| 4.2.2 | ผลการทดลองของเทอร์มิสเตอร์เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นต่อแรงดัน | 30 |
| 4.2.3 | ผลการทดลองเมื่อทำการใส่สัญญาณระดับ แบบหนึ่งหน่วยในขณะที่ยังไม่ทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ | 31 |
| 4.2.4 | ผลการทดลองเมื่อทำการกำหนดค่าอุณหภูมิไว้ที่ 50 , 60 และ 70 องศาเซลเซียส | 34 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | |
|--------------------------------|----|
| บทที่ 5 การสรุปผลการทดลอง | 37 |
| 5.1 สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง | 37 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 37 |
| ภาคผนวก | 38 |
| เอกสารอ้างอิง | 49 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

| รูปที่ | หน้า |
|---------------------------------------------------------|------|
| 2.1 หลักการทำงานของระบบควบคุมวงเปิด | 3 |
| 2.2 หลักการทำงานของระบบควบคุมวงปิด | 4 |
| 2.3 การควบคุมแบบสัดส่วน | 5 |
| 2.4 การควบคุมแบบอินทิกรัล | 6 |
| 2.5 การควบคุมแบบอนุพันธ์ | 7 |
| 2.6 การควบคุมแบบพีไอ | 7 |
| 2.7 การควบคุมแบบพีดี | 8 |
| 2.8 การควบคุมแบบพีไอดี | 9 |
| 2.9 โครงสร้างไทรแอก | 10 |
| 2.10 แสดงการทำงานของไทรแอกในแต่ละควอเตอร์ | 11 |
| 2.11 ไทรแอกชนิดต่างๆ | 12 |
| 2.12 โครงสร้างภายในของ Optically Isolated Triac Driver | 12 |
| 2.13 เทอร์มิสเตอร์แบบต่างๆ | 14 |
| 3.1 ภาพรวมการทำงานของชุดทดลองควบคุมอุณหภูมิ | 16 |
| 3.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง | 17 |
| 3.3 วงจรทริกและแยกโหลด | 18 |
| 3.4 วงจรควบคุมอุณหภูมิ | 18 |
| 3.5 วงจรควบคุมแบบพี | 19 |
| 3.6 วงจรควบคุมการทำงาน TCA 785 | 20 |
| 3.7 ก่อตั้งทำความร้อน | 21 |
| 3.8 วงจรภายในกล่องควบคุมอุณหภูมิ | 21 |
| 3.9 Flow Chart การทำงานของระบบ | 22 |
| 4.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับแรงดันไฟฟ้า | 25 |
| 4.2 กราฟเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิและเวลา | 27 |
| 4.3 กราฟเปรียบเทียบระหว่างความต้านทานไฟฟ้าและอุณหภูมิ | 29 |
| 4.4 กราฟเปรียบเทียบระหว่างแรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิ | 31 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------|------|
| 4.5 เมื่อค่าเกณฑ์ (K_p) = 4 | 32 |
| 4.6 เมื่อค่าเกณฑ์ (K_p) = 6 | 32 |
| 4.7 เมื่อค่าเกณฑ์ (K_p) = 15 | 33 |
| 4.8 ผลการทดลองเมื่อทำการกำหนดค่าอุณหภูมิไว้ที่ 50 องศาเซลเซียส | 34 |
| 4.9 ผลการทดลองเมื่อทำการกำหนดค่าอุณหภูมิไว้ที่ 60 องศาเซลเซียส | 35 |
| 4.10 ผลการทดลองเมื่อทำการกำหนดค่าอุณหภูมิไว้ที่ 70 องศาเซลเซียส | 36 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 คุณสมบัติของเทอร์มิสเตอร์ทั่วไป | 15 |
| 4.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับแรงดันไฟฟ้า | 25 |
| 4.2 ผลการทดลองเมื่อทำการใส่สัญญาณระดับแบบหนึ่งหน่วยที่อุณหภูมิ 100 °C | 27 |
| 4.3 การทดลองของเทอร์มิสเตอร์เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิต่อค่าความต้านทาน | 28 |
| 4.3 (ต่อ) การทดลองของเทอร์มิสเตอร์เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิต่อค่าความต้านทาน | 29 |
| 4.4 ผลการทดลองของเทอร์มิสเตอร์เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นต่อแรงดัน | 30 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีการวัดและการควบคุมมีความจำเป็นต่อกระบวนการทางอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ มักจะถูกนำเข้าจากต่างประเทศทั้งสิ้น ซึ่งโดยปกติหากไม่ได้ใช้เทคโนโลยีแล้วนั้น จะต้องใช้บุคลากรที่มีความรู้ความสามารถตลอดจนความเข้าใจเกี่ยวกับอุปกรณ์การวัดและการควบคุมชนิดต่าง ๆ เป็นอย่างมากในการเพิ่มคุณภาพและลดต้นทุนการผลิต

ดังนั้น การพัฒนาเทคโนโลยีขึ้นใช้เองภายในประเทศ เพื่อการทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ จึงจำเป็นจะต้องอาศัยความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับเทคนิคและวิธีการเป็นอย่างดี ในที่นี้ได้ดำเนินการวิจัยและพัฒนาชุดปฏิบัติการการควบคุมอุณหภูมิ เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้เป็นไปตามที่ต้องการ จากนั้นจะคงค่าอุณหภูมิที่ต้องการนั้นไว้ ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากต่อกระบวนการทำงานในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมกลั่นน้ำมัน อุตสาหกรรมน้ำตาล อุตสาหกรรมยาง อุตสาหกรรมเครื่องดื่มและอุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น จากการศึกษาค้นคว้าและพัฒนาชุดปฏิบัติการนี้ก่อให้เกิดแนวความคิดทั้งทางด้านทฤษฎีและปฏิบัติต่อเทคโนโลยีใหม่ในการควบคุม และเป็นการลดต้นทุนการนำเข้าของชุดปฏิบัติการและเทคโนโลยีต่างๆซึ่งมีราคาแพงจากต่างประเทศได้อีกด้วย

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของกระบวนการควบคุม
2. เพื่อศึกษาลักษณะการทำงานของตัวจ่ายความร้อน
3. เพื่อพัฒนาชุดทดลองการควบคุมอุณหภูมิให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น
4. เกิดความรู้ ความเข้าใจในหลักการทำงานของชุดทดลองควบคุมอุณหภูมิ
5. สามารถลดต้นทุนการพัฒนาเทคโนโลยีที่จำเป็นต่อกระบวนการทางอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษาทฤษฎีของระบบควบคุมอุณหภูมิ
2. ทำการออกแบบและเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ในการทำงาน
3. ศึกษาและค้นคว้าวงจรที่ทำงานในชุดทดลอง
4. สร้างและทำการทดลองการทำงานของชุดทดลองควบคุมอุณหภูมิ พร้อมทั้งปรับแต่งค่า

ความต้านทานปรับค่าได้ให้ได้อุณหภูมิตามต้องการและบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 โครงสร้างเนื้อหาของโครงการ

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาในโครงการนี้ ความมุ่งหมาย และขอบเขต โครงสร้างเนื้อหาโครงการและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำโครงการ

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการนี้

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน การออกแบบและการสร้างระบบ

บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง

บทที่ 5 สรุป วิเคราะห์ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1.5 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ

- เกิดการเรียนรู้ และเข้าใจ การทำงานของชุดทดลองควบคุมอุณหภูมิ
- สามารถนำเทคโนโลยีไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้กับชิ้นงาน
- สร้างประสบการณ์ที่ดีในการทำงานกันเป็นทีม ทั้งยังทำให้เกิดความรับผิดชอบมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับชุดทดลองควบคุมอุณหภูมิแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. ทฤษฎีเกี่ยวกับระบบควบคุม
2. ทฤษฎีเกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์

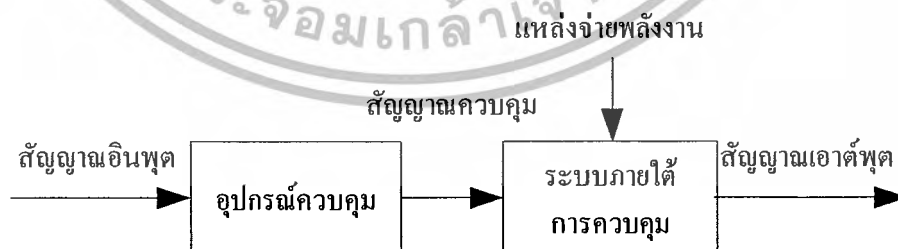
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับระบบควบคุม

ระบบควบคุมอาจจะแบ่งอย่างง่าย ๆ ออกเป็น 2 แบบ คือ ระบบควบคุมแบบวงเปิด (Open Loop Control System) และระบบควบคุมแบบวงปิด (Close Loop Control System)

ระบบควบคุมแบบเปิด คือ ระบบควบคุมที่มีการควบคุมในลักษณะที่สั่งงานไปยังเครื่องควบคุมอย่างเดียวโดยไม่มีการอ่านค่าผลลัพธ์ของระบบป้อนกลับ เป็นระบบที่ง่ายที่สุดและมีอุปกรณ์ภายในที่ไม่ยุ่งยาก ค่าเอาต์พุตที่ได้จะไม่ส่งผลต่อการควบคุมกระบวนการของระบบ คือ จะไม่มีการนำเอาต์พุตที่ได้กลับมาเปรียบเทียบกับอินพุตที่ป้อนให้กับระบบ

ระบบควบคุมแบบปิด คือ ระบบควบคุมที่มีการควบคุมในลักษณะที่มีการสั่งงานไปยังเครื่องควบคุมแล้วมีการอ่านค่าผลลัพธ์ของระบบป้อนกลับมาเพื่อเปรียบเทียบและสั่งงานควบคุมไปใหม่เพื่อให้ผลลัพธ์ของระบบเป็นตามเป้าหมายที่ต้องการ

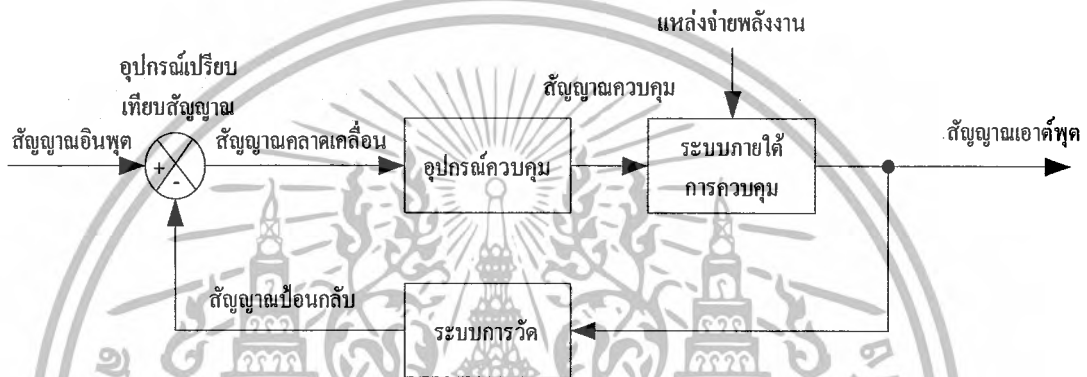
ระบบควบคุมแบบวงเปิดเป็นระบบที่เอาต์พุตของระบบจะไม่มีผลต่อการควบคุมเลยคือในกรณีของระบบควบคุมแบบวงเปิดนั้นเอาต์พุตของระบบจะไม่ถูกวัดหรือถูกป้อนกลับเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับอินพุต รูปที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบควบคุมวงเปิด



รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของระบบควบคุมวงเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมแบบวงปิดเป็นระบบควบคุมแบบหนึ่งซึ่งสัญญาณเอาต์พุต จะมีผลโดยตรงต่อการควบคุมดังนั้นระบบควบคุมแบบวงปิดก็คือ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับนั่นเอง โดยที่สัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน (Actuating Error Signal) ซึ่งเป็นสัญญาณความแตกต่างระหว่างสัญญาณอินพุต และสัญญาณป้อนกลับ (Feedback Signal) จะถูกป้อนให้กับตัวควบคุม เพื่อลดความคลาดเคลื่อนให้น้อยลงและทำให้เอาต์พุตของระบบมีค่าตรงตามเป้าหมายที่ต้องการ สัญญาณป้อนกลับนี้อาจเป็นสัญญาณเอาต์พุตโดยตรง หรือเป็นสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันหรือเป็นค่าอนุพันธ์ของสัญญาณเอาต์พุตก็ได้ โดยรูปที่ 2.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบควบคุมวงปิด



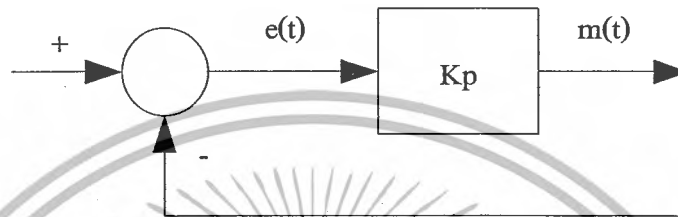
รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของระบบควบคุมวงปิด

การควบคุมที่นิยมใช้ในกระบวนการได้แก่การควบคุมแบบป้อนกลับ ซึ่งเป็นการควบคุมด้วยมือ (Manual) หรือแบบอัตโนมัติก็ได้ ตัวอย่างเช่นการควบคุมอุณหภูมิของอ่างอาบน้ำผู้ควบคุมอาจใช้มือข้างหนึ่งจุ่มลงในอ่างน้ำเพื่อวัดอุณหภูมิ และใช้มืออีกข้างปรับน้ำร้อนที่ไหลเข้ามาหรือน้อยเพื่อให้ในอ่างมีคุณสมบัติตามที่ต้องการการควบคุมแบบนี้เรียกว่าการควบคุมแบบป้อนกลับแบบควบคุมด้วยมือ ถ้าผู้ควบคุมใช้เทอร์โมมิเตอร์ในการวัดอุณหภูมิแล้ว เขาก็จะสามารถควบคุมอุณหภูมิของน้ำในอ่างได้เที่ยงตรงมากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ้าทำการวัดได้อย่างเที่ยงตรงแล้วสามารถทำให้ควบคุมได้ดีขึ้น สำหรับในกรณีของการควบคุมแบบป้อนกลับแบบอัตโนมัตินั้นต้องใช้อุปกรณ์ควบคุมด้วยเครื่องส่งสัญญาณ เพื่อไปเปรียบเทียบกับค่าของอุณหภูมิของน้ำที่ต้องการ ตัวควบคุมก็สร้างสัญญาณควบคุมเพื่อไปควบคุมการเปิด-ปิดของวาล์วควบคุมที่ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณของน้ำร้อนที่ไหลเข้าอ่าง ให้มากขึ้นหรือน้อยลงเพื่อให้มีอุณหภูมิที่ต้องการ

ในทางอุตสาหกรรมการควบคุมระบบวงปิดเป็นที่นิยมใช้ ซึ่งการควบคุมนั้น ๆ ก็จะมีลักษณะที่แตกต่างกันไป ดังนี้

2.1.1 การควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control Action)

การควบคุมแบบสัดส่วนนั้น ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมจะแปรผันตรงกับค่าความคลาดเคลื่อน กล่าวคือ ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามากขึ้น ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมก็จะมีค่ามากขึ้นตาม และถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยลง ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมก็จะมีค่าน้อยลงตาม ซึ่งสามารถแสดงการทำงานดังบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การควบคุมแบบสัดส่วน

สามารถหาความสัมพันธ์ตัวควบคุม $m(t)$ กับสัญญาณความคลาดเคลื่อน $e(t)$ ได้ดังสมการ

$$m(t) = K_p e(t) ; \frac{M(s)}{E(s)} = K_p ; PB = \left(\frac{1}{K_p} \right) \times 100\% \quad (2.1)$$

โดยที่ K_p จะอยู่ในเทอมของ Proportional Sensitivity หรืออัตราขยาย

การเกิด Offset เป็นคุณลักษณะของระบบควบคุมแบบสัดส่วน ทั้งนี้เนื่องจากการทำงานของระบบควบคุมสัดส่วนนั้นไม่สามารถควบคุมระบบที่มี load เปลี่ยนแปลงได้ดีเท่าที่ควรและกรณีที่ load คงที่แต่เปลี่ยนแปลงได้ดีเท่าที่ควรและในกรณีที่ load คงที่แต่เปลี่ยนแปลงค่าของระดับ set point ที่ควบคุมไปก็เช่นเดียวกันจะเกิดมี offset ก็คือค่าความแตกต่างของอินพุตและเอาต์พุตที่สถานะคงที่เมื่อเป้าหมายคงที่นั่นเอง สามารถลดค่าการเกิด offset ได้โดย

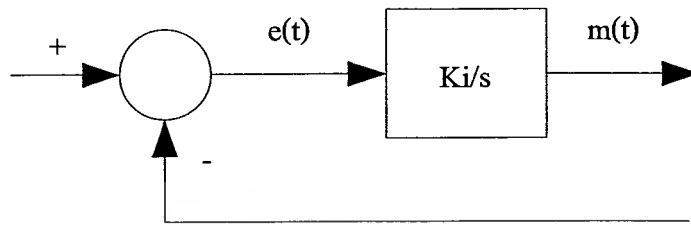
1. เพิ่มอัตราขยายแบบสัดส่วน
2. เพิ่มค่าสัญญาณจัดการที่สถานะเริ่มต้น (m_0) คือ $M_y = (K_p \times e) + m_0$
3. เปลี่ยนค่าเป้าหมาย

2.1.2 การควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral Control Action)

การควบคุมแบบอินทิกรัล หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การควบคุมแบบรีเซ็ต (Reset Control) โดยค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมหาได้จากค่าพื้นที่ทั้งหมดภายใต้กราฟของค่าความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลาดเคลื่อนต่อเวลาคูณกับค่าคงที่ที่เรียกว่า อัตราขยายของตัวควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral Gain) บล็อกไดอะแกรมแสดงการควบคุมแบบอินทิกรัลดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การควบคุมแบบอินทิกรัล

สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเอาต์พุตของตัวควบคุม $m(t)$ และค่าความคลาดเคลื่อน $e(t)$ ได้ดังสมการ

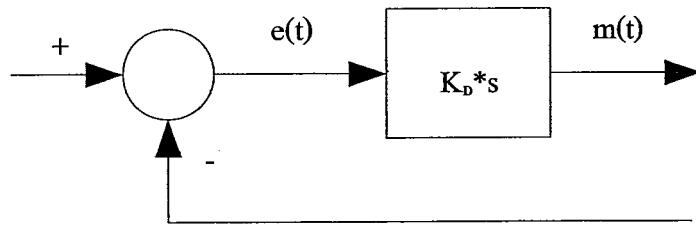
$$m(t) = K_i \int_0^t e(t) dt ; \quad \frac{M(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \quad (2.2)$$

โดยที่ค่า K_i เป็นค่าคงที่ที่สามารถปรับค่าได้

ในการควบคุมแบบอินทิกรัลนั้นค่าเอาต์พุตของตัวควบคุม $m(t)$ จะเปลี่ยนแปลงตามค่าความผิดพลาด $e(t)$ ดังนั้นถ้าความผิดพลาดซึ่งได้เกิดขึ้นทำให้ระบบได้ค่าที่ผิดไป จากค่าที่ต้องการแล้ว อุปกรณ์ควบคุมจะจัดการกับค่าความผิดพลาดโดยเร็ว (โดยลดให้ค่า error นี้นหมดไป) เมื่อตัวแปรควบคุมอยู่ที่ค่าเป้าหมายแล้วอุปกรณ์ควบคุมส่วนท้าย (Final element control) จะยังไม่ทำงาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบอยู่ในสภาวะคงที่แล้วนั่นเอง ดังนั้นในการควบคุมแบบอินทิกรัลจะไม่ทำให้เกิดค่า offset ขึ้นมา

2.1.3 การควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Control Active)

การควบคุมแบบอนุพันธ์ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการควบคุมแบบอัตราส่วน (Rate Action) โดยสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมจะขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความคลาดเคลื่อนต่อเวลา จะเห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนนี้มีโอกาสเป็นศูนย์ได้ และค่าเอาต์พุตก็สามารถเปลี่ยนแปลงให้มีค่าสูงขึ้น เมื่อความคลาดเคลื่อนเปลี่ยนแปลง ซึ่งเรียกการกระทำดังกล่าวว่า อัตราการกระทำ (Rate Action) รูปที่ 2.5 แสดงบล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบอนุพันธ์



รูปที่ 2.5 การควบคุมแบบอนุพันธ์

สามารถหาสัดส่วนการควบคุมที่ค่า เอาต์พุต เปรียบเทียบกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าอินพุต
ดังสมการ

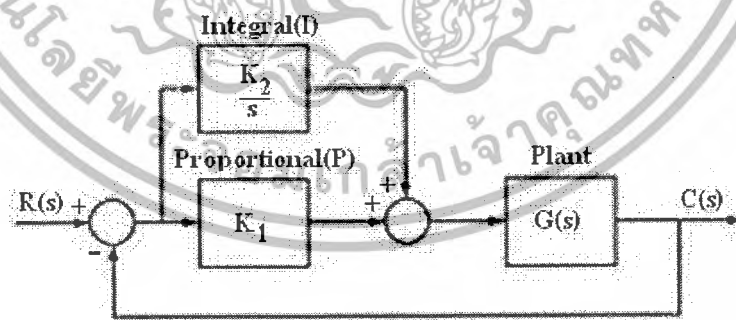
$$m(t) = K_D \times \frac{de(t)}{dt} ; \frac{M(s)}{E(s)} = K_D * s \quad (2.3)$$

โดยที่ K_D เป็นค่าคงที่ที่สามารถปรับค่าได้

ผลของการควบคุมแบบอนุพันธ์ จะทำให้ผลตอบสนองของกระบวนการเร็วขึ้น แต่ระบบ
จะไวต่อการรบกวน

2.1.4 การควบคุมแบบพีไอ (Proportional and Integral Control Active)

เป็นการควบคุมที่ค่าเอาต์พุตเป็นสัดส่วนแบบเชิงเส้นกับผลรวมกับค่าอินพุต และค่า
อินทิกรัลเวลา (Integral Time) ของค่าอินพุต บล็อกโคเอแกรมแสดงการควบคุมแบบพีไอ ดังรูป
ที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การควบคุมแบบพีไอ

โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$m(t) = [K_1 e(t)] + \left[\frac{K_1}{T_i} \right]' \int_0^t e(t) dt \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (2.5)$$

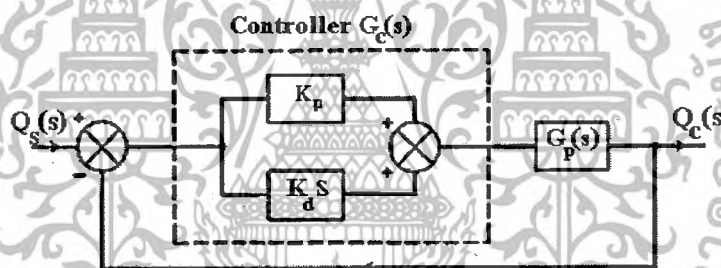
โดยที่ K_p เป็นค่าของ Proportional Sensitivity หรืออัตราขยาย

T_i เป็นค่าของอินทิกรัล

การควบคุมแบบพีไอนิยมใช้ในการควบคุมความดัน ควบคุมระดับของไหล ซึ่งข้อดีของการควบคุมแบบพีไอ ตัวควบคุมอินทิกรัลจะกำจัดออฟเซ็ท (offset) ของตัวควบคุมแบบสัดส่วนให้หมดไป แต่ถ้าเราปรับค่าอินทิกรัลมากเกินไปก็จะทำให้การควบคุมเกิดการแกว่งขึ้นได้

2.1.5 การควบคุมแบบพีดี (Proportional and Derivative Control Active)

เป็นการควบคุมซึ่งเอาที่พหุสัดส่วน โดยตรงกับผลรวมของค่าอินพุทกับผลคูณคาบเวลากับอัตราการเปลี่ยนแปลงอินพุท บล็อกไดอะแกรมแสดงการควบคุมแบบพีดี ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การควบคุมแบบพีดี

โดยสามารถแสดงด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$m(t) = [K_p e(t)] + \left[K_p T_D \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (2.6)$$

หรือ

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p (1 + T_D s) \quad (2.7)$$

โดยที่ K_p เป็นค่าของ Proportional Sensitivity หรืออัตราขยาย

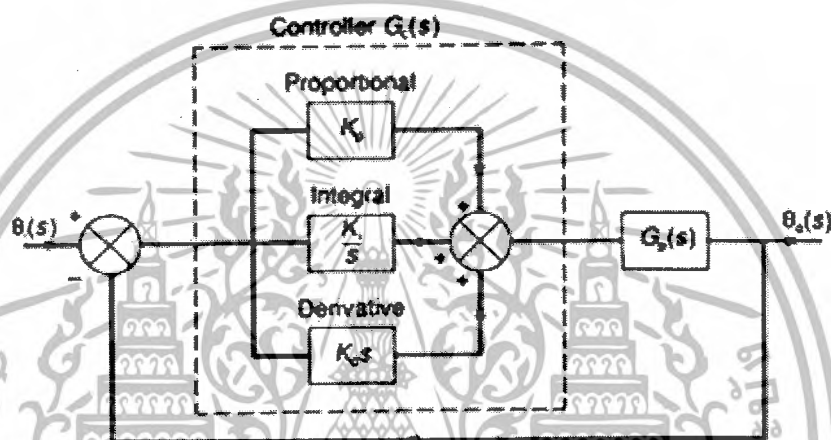
T_D เป็นค่าของ Derivative

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมแบบพีดีทำให้ผลตอบสนองของระบบรวดเร็วขึ้น แต่จะมีผลโดยตรงต่อผลตอบสนองของระบบที่สภาวะคงที่

2.1.6 การควบคุมแบบพีไอดี (Proportional Integral and Derivative Control Active)

เป็นการควบคุมที่ค่าเอาต์พุตเป็นสัดส่วนกับค่าอินทิกรัลเชิงเวลาของอินพุตและค่าผลคูณของเวลากับอัตราเปลี่ยนแปลงของอินพุต บล็อกไดอะแกรมแสดงการควบคุมแบบพีไอดี ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การควบคุมแบบพีไอดี

โดยสามารถแสดงให้ได้ตามสมการต่อไปนี้

$$m(t) = [K_p e(t)] + [K_p T_D \frac{de(t)}{dt}] + [\frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt] \quad (2.8)$$

หรือ

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + T_D s + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (2.9)$$

โดยที่ K_p เป็นค่าของ Proportional Sensitivity หรืออัตราขยาย

T_i เป็นค่าของอินทิกรัล

T_D เป็นค่าของ Derivative

การควบคุมแบบพีไอดีเหมาะกับกระบวนการที่มีการหน่วงเวลามากๆ เช่นการควบคุมอุณหภูมิ

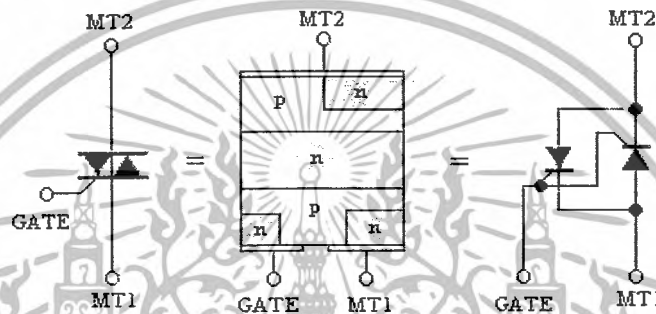
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์

2.2.1 ไตรแอก (Triac)

ไตรแอกเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทไทรสเตอร์เช่นเดียวกับ SCR ไตรแอกถูกสร้างขึ้นมาเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของ SCR ที่นำกระแสได้เพียงซีกใดซีกหนึ่งเท่านั้น คุณสมบัติของไตรแอกเปรียบเสมือนกับ SCR สองตัวต่อขนานกันแบบหันหัวกลับกัน มักถูกนำไปใช้กับแรงดันไฟสลับ

2.2.1.1 สัญลักษณ์และโครงสร้างของไตรแอก



รูปที่ 2.9 โครงสร้างไตรแอก

จากรูปที่ 2.9 ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำตอนใหญ่ 3 ตอน คือ PNP และในสารกึ่งตัวนำตอนใหญ่มีสารกึ่งตัวนำตอนย่อย ชนิด N อีก 3 ตอน มีขาต่อออกมาใช้งาน 3 ขา คือ ขาแอนโนด 2 (ANODE 2) A2 หรือขามैन เทอร์มินอล 2 (MAIN TERMINAL 2) MT2 ขาแอนโนด 1 (ANODE 1) A1 หรือ ขามैन เทอร์มินอล 1 (MAIN TERMINAL 1) MT1 และ ขาเกต (GATE) G

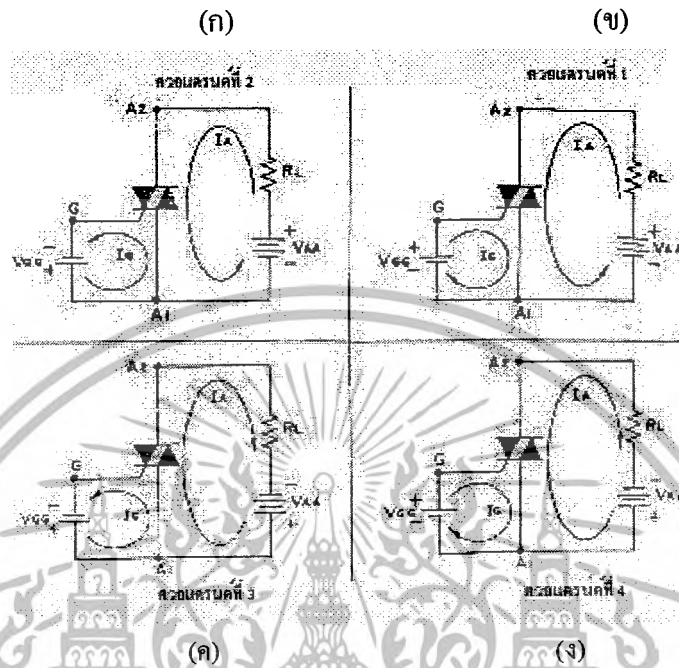
2.2.1.2 การไบอัสให้ไตรแอกทำงาน

ไตรแอกมีคุณสมบัติทำงานได้ทั้งแรงดันช่วงบวกและแรงดันช่วงลบ คือ จะนำกระแสได้ทั้ง 2 ทิศทาง การนำกระแสของไตรแอก จะขึ้นอยู่กับแรงดันที่ป้อนกระตุ้นขา G และแรงดันที่จ่ายให้ขา A2 และ A1 ซึ่งมีทั้งหมด 4 สถานะดังนี้ คือ

1. สถานะที่ 1 หรือควอแดรนซ์ที่ 1 จ่ายแรงดันบวกให้ขา A2 จ่ายแรงดันลบให้ขา A1 และจ่ายแรงดันบวกกระตุ้นขา G จะนำกระแสดังรูปที่ 2.10 (ก)
2. สถานะที่ 2 หรือควอแดรนซ์ที่ 2 จ่ายแรงดันบวกให้ขา A2 จ่ายแรงดันลบให้ขา A1 และจ่ายแรงดันลบกระตุ้นขา G แทนแรงดันบวก จะนำกระแสดังรูปที่ 2.10 (ข)
3. สถานะที่ 3 หรือควอแดรนซ์ที่ 3 กลับขั้วแรงดันที่จ่ายให้ A2 เป็นลบ และแรงดันจ่ายให้ A1 เป็นบวก ส่วนขา G ยังคงจ่ายแรงดันกระตุ้นเป็นลบเหมือนเดิม จะนำกระแสดังรูปที่ 2.10 (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สถานะที่ 4 หรือควอแดรนดท์ที่ 4 ยังคงจ่ายแรงดันลบให้ขา A2 และจ่ายแรงดันบวกให้ขา A1 ส่วนขา G กลับขั้วแรงดันเป็นจ่ายบวกให้ขา G เป็นแรงดันกระตุ้นเทียบกับขา A1 จะนำกระแส ดังรูปที่ 2.10 (ง)



รูปที่ 2.10 การทำงานของไทรแอกในแตลควอแดรนดท์

2.2.1.3 การเลือกสถานะการทำงาน

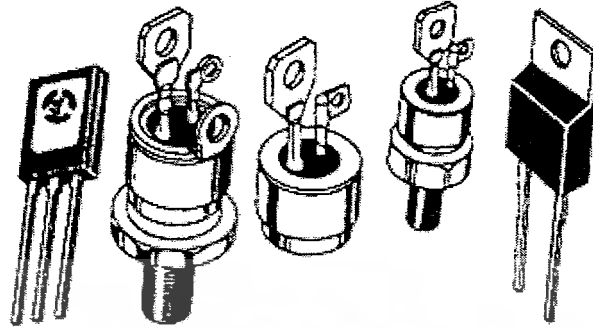
ในสถานะกระแสหักล้างกันเป็นสถานะที่ไทรแอกนำกระแสได้น้อย การทำงานไม่รวดเร็ว และทำงานไม่แน่นอน ดังนั้นในการนำไทรแอกไปใช้งาน จึงไม่นิยมใช้งานในสถานะกระแสหักล้าง แต่นิยมใช้งานในสถานะกระแสเสริมกัน คือในควอแดรนดท์ที่ 1 และ 3 การทำให้ไทรแอกหยุดนำกระแส มี 2 วิธี

1. ตัดแหล่งจ่ายแรงดัน V_{AA} ที่ป้อนให้ขา A2 และขา A1 ของไทรแอกออกชั่วคราว
2. ลดแรงดันไบอัสที่จ่ายให้ขา A2 และขา A1 ลง จนทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวไทรแอกต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้ง (Holding Current) ของไทรแอกตัวนั้น ๆ

นอกจาก 2 วิธีดังกล่าว จะไม่สามารถทำให้ไทรแอกหยุดนำกระแสได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

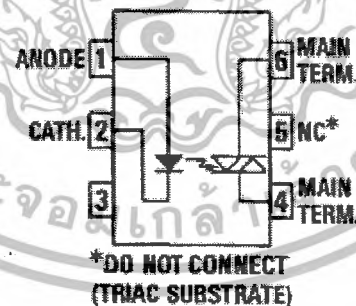
2.2.1.4 ลักษณะของไดรแอกชนิดต่าง ๆ



รูปที่ 2.11 ไดรแอกชนิดต่าง ๆ

2.2.2 MOC3002

เป็นอุปกรณ์ช่วยในการขับไทรแอกให้นำกระแสโดยอุปกรณ์ภายในของ Optically Isolated Triac Driver เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าเกินขนาดจากวงจรทางด้านอินพุตของ ไทรแอกมาทำอันตรายกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของ Optically Isolated Triac Driver ที่นำมาใช้ในชุด ทดลองนี้คือ MOC3002 โดยทำงานที่แรงดันกระแสสลับ 220 โวลต์ และมีการป้องกันแรงดันสูงสุด ที่ระดับแรงดัน 400 โวลต์ กระแสไหลผ่าน 50 มิลลิแอมป์ และกระแสทรานซิสเตอร์ 30 มิลลิแอมป์ โดยมีลักษณะดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 โครงสร้างภายในของ Optically Isolated Triac Driver

2.2.3 TCA 785 Integrated Phase Control

TCA 785 Integrated Phase Control เป็นวงจรรวมที่สร้างพัลส์จุดชนวนเกต เอสซีอาร์ และไทรแอก มีคุณสมบัติเด่นหลายประการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สามารถจุดชนวนเกตไทรสเตอร์ได้อย่างน้อย 2 ตัว
2. สามารถเลื่อนมุมจุดชนวนเกตได้ระหว่าง 0 ถึง 180 องศา
3. ใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในช่วง 8 จนถึง 18 โวลต์
4. กระแสภายในวงจรรวมใช้ประมาณ 4.5 ถึง 10 mA
5. สามารถใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิ -25 ถึง 85 องศาเซลเซียส
6. กระแสจุดชนวนเกต สามารถจ่ายได้ถึง 250 mA
7. สัญญาณจุดชนวนเกต สามารถควบคุมได้โดยใช้ขา Inhibit function
8. ลักษณะของสัญญาณจุดชนวนเกต สามารถที่จะกำหนดได้เป็นแบบเดี่ยวและต่อเนื่อง
9. ใช้วงจร Zero Crossing
10. ความถี่ใช้งาน 10 จนถึง 500 Hz

2.2.4 เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor)

เป็นตัวต้านทานสำหรับตรวจวัดอุณหภูมิที่อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุกับอุณหภูมิ ซึ่งเทอร์มิสเตอร์ทำมาจากวัสดุประเภทสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงกับโลหะออกไซด์ เช่น เจอมาเนียม ซิลิคอน แมงกานีส นิกเกิล ทองแดง แพลทินัม เหล็ก แมงกานีส โคบอลต์ หรือโครเมียม เป็นต้น ด้วยคุณสมบัติของวัสดุดังกล่าวที่มีความไวสูงในการแปรค่าความต้านทานไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และรูปร่างที่ผลิตขึ้นมาใช้งานมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน เช่น รูปจาน แท่งทรงกระบอก ลูกประคำหรืออื่นๆ รูปร่างและสัญลักษณ์ของเทอร์มิสเตอร์ แสดงดังรูปที่ 2.10 คุณสมบัติของตัวเทอร์มิสเตอร์ที่ผลิตขึ้นมาใช้งานมี 2 ชนิด คือ ชนิด NTC และชนิด PTC

1.ชนิด NTC (Negative Temperature Coefficient) หรือ เทอร์มิสเตอร์แบบลบมีการเปลี่ยนแปลงความต้านทานตรงข้ามกับอุณหภูมิ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิต่ำลงเทอร์มิสเตอร์จะมีความต้านทานเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเทอร์มิสเตอร์จะมีความต้านทานลดลง

2.ชนิด PTC (Positive Temperature Coefficient) หรือ เทอร์มิสเตอร์แบบบวก มีการเปลี่ยนแปลงความต้านทานตามค่าอุณหภูมิ คือ เมื่ออุณหภูมิต่ำลงเทอร์มิสเตอร์จะมีความต้านทานลดลงและเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะมีความต้านทานเพิ่มขึ้น

ปกติเทอร์มิสเตอร์จะให้ค่าความต้านทานทางไฟฟ้า มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิมิมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับอุณหภูมิอยู่ในรูปของเอกซ์โปเนนเชียล (Exponential) สามารถอธิบายค่าความต้านทานไฟฟ้าของเทอร์มิสเตอร์ได้ดังสมการ

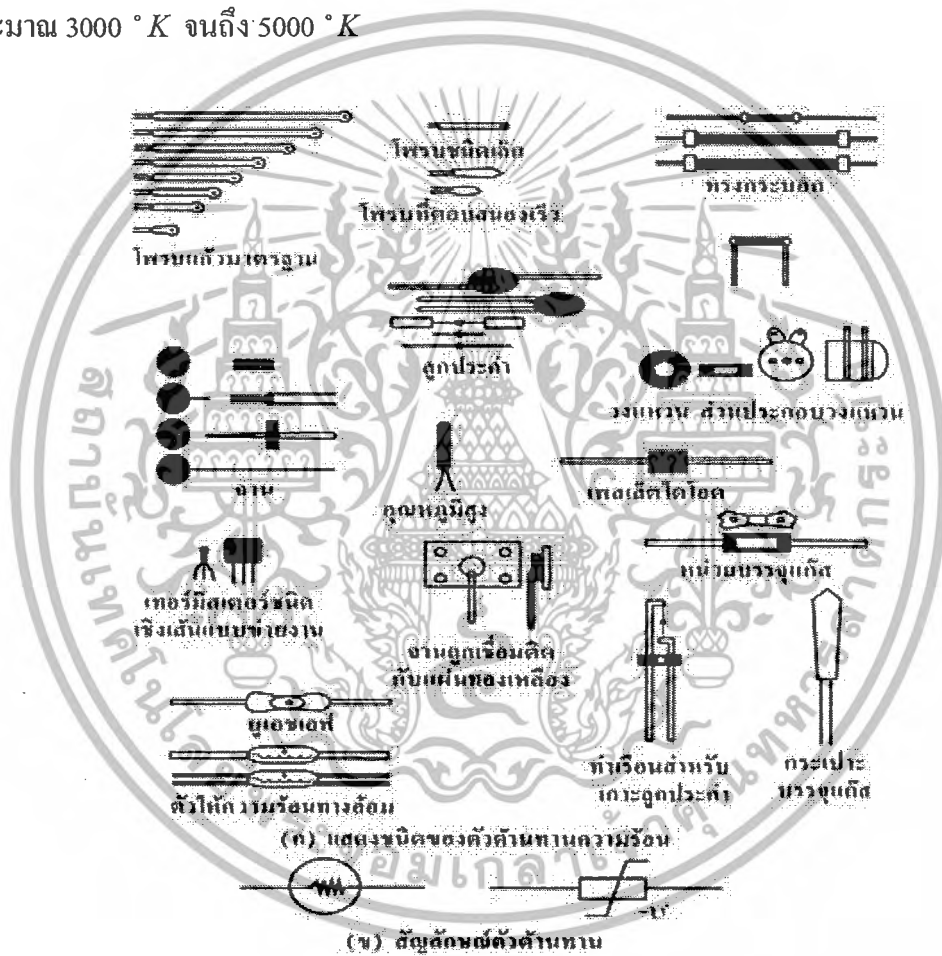
$$R_t = R_0 \exp \beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \quad (2.8)$$

โดยที่ R_t คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้าของเทอร์มิสเตอร์ที่อุณหภูมิเท่ากับ $T^\circ K$

T คือ ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ในหน่วยของสเคลวิน ($^\circ K$)

R_0 คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้าของเทอร์มิสเตอร์ที่อุณหภูมิอ้างอิงเท่ากับ $T_0^\circ K$ มีค่าทั่วไปประมาณ 2000 Ω

β คือ ค่าคงที่ของเทอร์มิสเตอร์ มีหน่วยของสเคลวิน ($^\circ K$) ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาทำเทอร์มิสเตอร์ และกรรมวิธีการผลิตตัวเทอร์มิสเตอร์เอง โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 3000 $^\circ K$ จนถึง 5000 $^\circ K$



รูปที่ 2.13 เทอร์มิสเตอร์แบบต่างๆ

ขอบเขตการตรวจวัดอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์มีค่าทั่วไปอยู่ในช่วงประมาณ 173 $^\circ K$ ถึง 573 $^\circ K$ ($-100^\circ C$ ถึง $+300^\circ C$) และรูปทรงของเทอร์มิสเตอร์สามารถออกแบบให้มีขนาดเล็กโดยที่ยังคงให้การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานภายในตัวมีค่าสูงอยู่ การนำเทอร์มิสเตอร์ไปประยุกต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้งาน สามารถพบเห็นได้ทั่วไปในลักษณะของงานทางด้านการแพทย์ การตรวจสอบอุณหภูมิของ วงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น โดยมีคุณสมบัติของเทอร์มิสเตอร์โดยทั่วไปดังตารางที่ 2.1

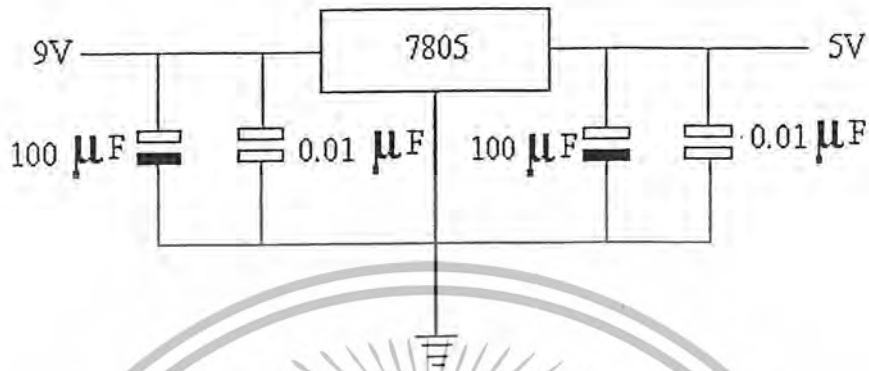
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของเทอร์มิสเตอร์ทั่วไป

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Resistance | At 20 °C (approx.) : 2kΩ At 25 °C (nominal) : 1680 Ω ± 20% At 200 °C (approx.) : 37 Ω |
| Maximum Operating Resistance | 37 Ω |
| Characteristic Temperature | 25 °C to 85 °C (nominal) : 3050 K ± 5% |
| Dimensions | Length : 76.2-3.2 mm , Diameter : 4 mm |
| Self-Heating Effect in Air | เพิ่มขึ้น 1 °C ทุกๆ 1.3 mW |
| Maximum Bead Temperature | 200 °C |
| Maximum Continuous Power Dissipation in Free Air at 20 °C | Average over any 20 ms period : 230 mW |
| Nominal Thermal Cooling Time Constant T in Free Air from the Self-Heated State | 20 s |
| Mass (Nominal) | 1.8 g |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การออกแบบวงจรส่วนต่าง ๆ ในชุดควบคุมอุณหภูมิ

3.1.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง



รูปที่ 3.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

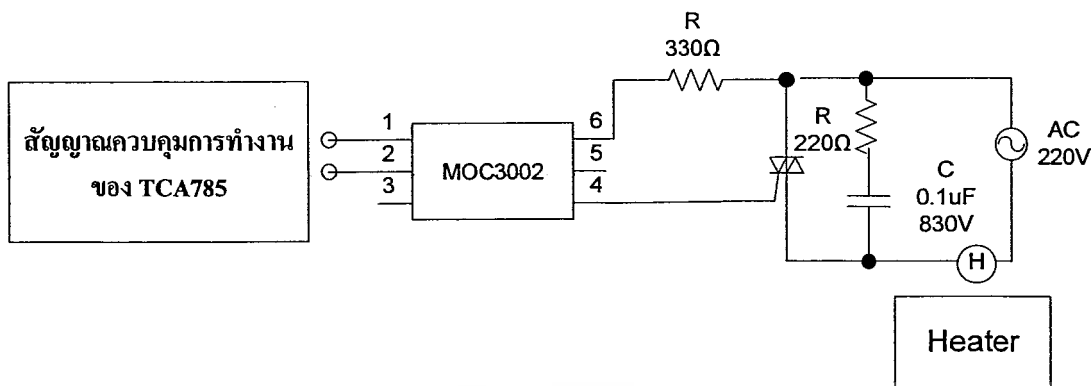
วงจรจ่ายไฟกระแสตรง ใช้ไอซีเบอร์ 7805 ประกอบด้วยขาอินพุต เอาต์พุตและขากราวด์ ได้เอาต์พุตเป็นไฟกระแสตรง 5 โวลต์ ซึ่งใช้เพื่อจ่ายไฟให้กับวงจรควบคุมอุณหภูมิ ในส่วนของวงจรรวมของโครงงานนี้จะมีการจ่ายไฟ 15 โวลต์ ให้กับวงจร ยกเว้นวงจรทรินิแคและแยกโหลดจะจ่ายไฟ 220 โวลต์ให้กับวงจร

3.1.2 วงจรทรินิแคและแยกโหลด

เป็นส่วนที่แยกวงจรแรงดันไฟสูงออกจากวงจรควบคุมต่าง ๆ เพื่อป้องกันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ โหลดเข้าสู่วงจรส่วนอื่น ๆ แสดงดังรูปที่ 3.3

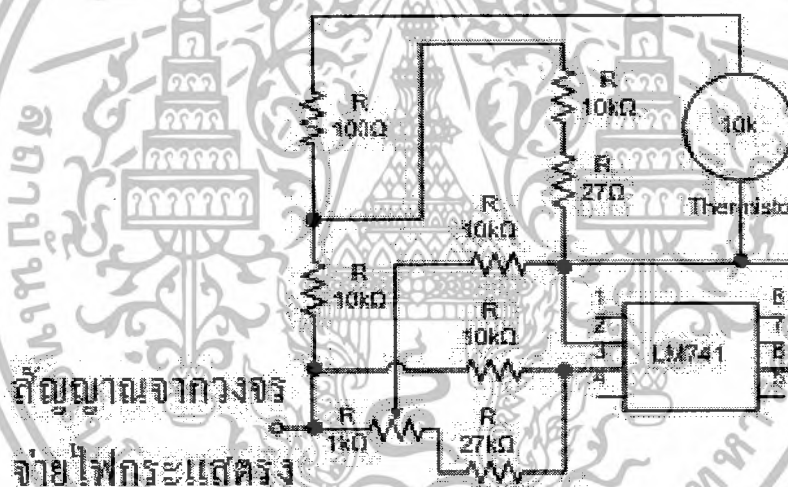
ไครเอคทำงานเป็นสวิตช์ทางอิเล็กทรอนิกส์ต่อแรงดันไฟสลับ มีข้อดีกว่าสวิตช์แบบกลไกหลายประการดังนี้

- การเปิด-ปิดของไครเอคเร็วกว่าสวิตช์กลไกหลายเท่า ทำให้การควบคุมให้สวิตช์ทำงานได้รวดเร็วขึ้น
- การควบคุมให้ไครเอคทำงานในการเปิด-ปิด วงจรไฟทำได้ง่าย โดยป้อนแรงดันไฟสลับค่าต่ำ ๆ เพียงเล็กน้อย ไปกระตุ้นขาเกต
- การเปิด-ปิดวงจรไฟฟ้า ไม่มีการสัมผัสของหน้าสัมผัสเหมือนสวิตช์กลไกธรรมดาจึงไม่เกิดประกายไฟที่อาจทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้ มีความปลอดภัยในการทำงานมากขึ้น
- สามารถดัดแปลงไปใช้งานกับวงจรต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวางมากมาย



รูปที่ 3.3 วงจรทรานซิสเตอร์และแยกโหลด

3.1.3 วงจรควบคุมอุณหภูมิ



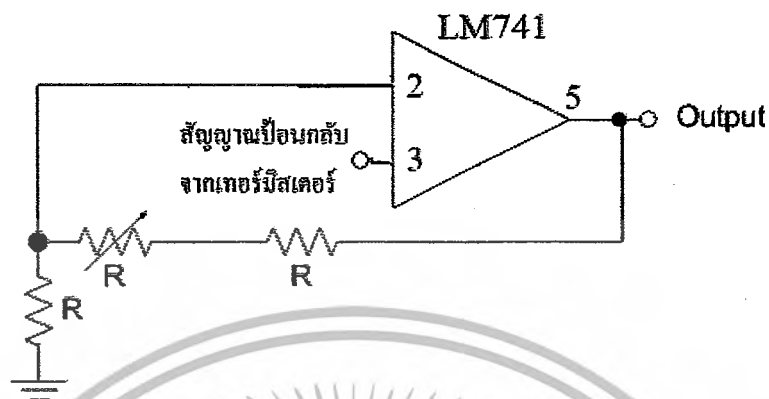
รูปที่ 3.4 วงจรควบคุมอุณหภูมิ

วงจรส่วนควบคุมอุณหภูมินี้ใช้เทอร์มิสเตอร์ที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงค่าตามอุณหภูมิเมื่อค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงไป ทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์สำหรับตรวจจับวัดอุณหภูมิ มักนิยมต่อทำงานร่วมกับวงจรรีเลย์ ซึ่งรูปแบบพื้นฐานอย่างง่ายที่สุดของวงจรในการใช้งานคือ วงจรแบ่งแรงดัน (Voltage-Divider Circuit) หรือวงจรฮาล์ฟบริดจ์ (Half-Bridge)

วงจรเปรียบเทียบสัญญาณเป็นวงจรเปรียบเทียบค่าเอาต์พุตที่ออกไปนำมาเปรียบเทียบกับค่าอินพุต ส่วนวงจรควบคุมแบบพี เป็นการนำสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน (Actuating Error Signal) ซึ่งเป็นสัญญาณความแตกต่างระหว่างสัญญาณอินพุตและ สัญญาณป้อนกลับ (Feedback

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Signal) โดยจะถูกป้อนให้กับตัว Controller เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อน และทำให้เอาต์พุตของระบบเป็นไปตามต้องการ คังวงจรควบคุมแบบ P ดังรูปที่ 3.5

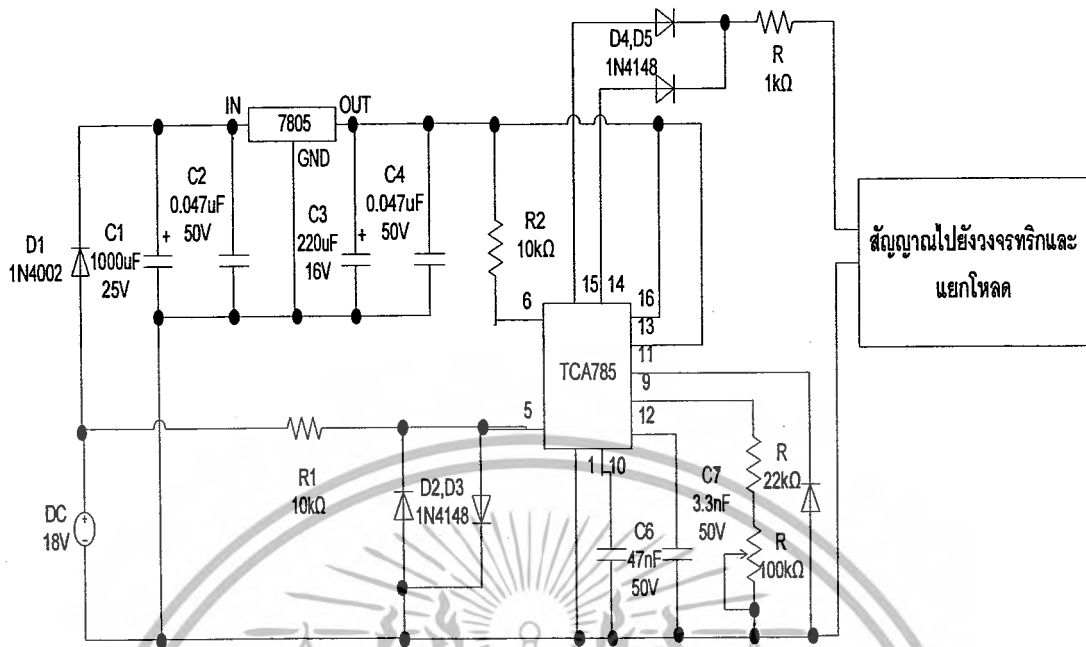


รูปที่ 3.5 วงจรควบคุมแบบพี

3.1.4 วงจรควบคุมการทำงาน TCA 785

เป็นวงจรที่สร้างสัญญาณทริกให้กับขาเกท ในขณะเดียวกันเมื่อมีสัญญาณทริกเข้าไปในขาเกททำให้ไทรแอกทำงาน จึงทำให้แรงดันผ่านไปยังโหลด ทำให้เพิ่มอุณหภูมิขดลวดความร้อนให้ร้อนมากขึ้น จากนั้นเราจึงทำการควบคุมความร้อน โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ ทำการปรับแรงดันไฟฟ้า ผลที่ออกมาจึงทำให้ความร้อนจากขดลวดความร้อนเปลี่ยนแปลงไปตามที่ต้องการ แสดงดังรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 วงจรควบคุมการทำงาน TCA 785

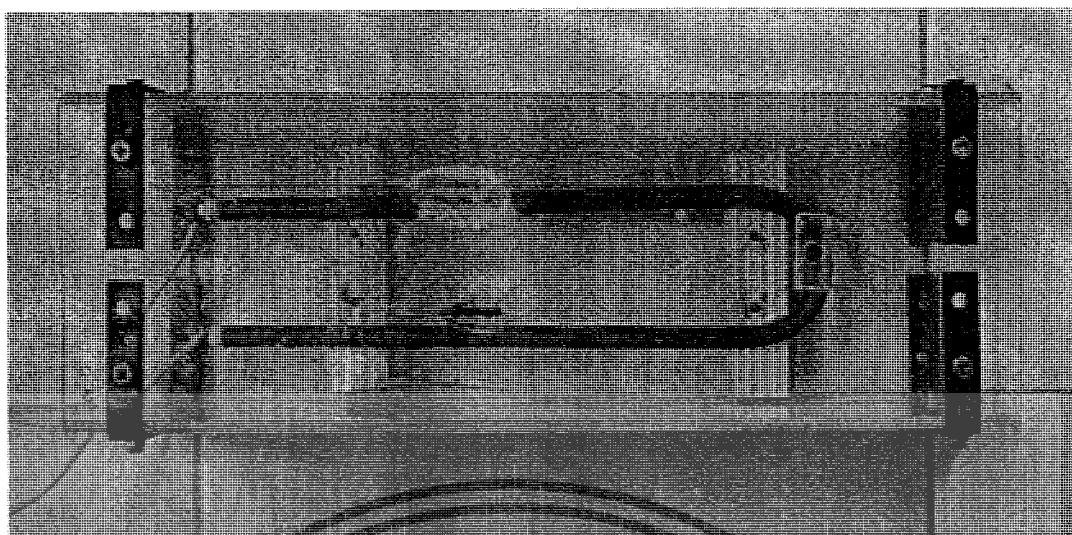
3.2 การออกแบบอุปกรณ์ในชุดควบคุมอุณหภูมิ

3.2.1 กล้องทำความร้อน ดังรูปที่ 3.7

โดยทำหน้าที่เสมือนระบบทั้งหมด ต้องมีลักษณะแข็งแรงและทนต่อความร้อนสูงได้ ดังนั้น กล้องทำความร้อนที่ใช้นั้นในที่นี้จะใช้แผ่นอลูมิเนียมขนาดหนา 3 mm เนื่องจากมีคุณสมบัติข้างต้นเหมาะสมและยังสามารถป้องกันลมจากภายนอกจะเข้ามาบริเวณและมีขนาดใหญ่พอที่จะสามารถบรรจุขดลวดความร้อนและติดตั้ง พัดลมดูอากาศเข้าไปในกล้อง

ขดลวดความร้อนมีคุณสมบัติและหลักการของขดลวดความร้อนนั้นต้องสามารถให้ความร้อนได้ต่อเนื่องและมีความร้อนที่ค่อนข้างคงที่หรือสม่ำเสมอและที่สำคัญต้องสามารถเพิ่มความร้อนได้ในลักษณะเชิงเส้น โดยที่ขดลวดความร้อนที่ใช้ในอุปกรณ์ตัวนี้ได้ทำการเลือกขดลวดความร้อนของใคร่เป่าลมเพราะมีราคาที่ไม่สูงและสามารถหาได้ง่ายกว่าขดลวดความร้อนแบบอื่น ๆ

มอเตอร์พัดลมทำหน้าที่ในการทำให้เกิดลมภายในระบบซึ่งก็คือลมที่เกิดจากระบบ โดยเน้นที่มอเตอร์ DC ที่รอบสูง ๆ เนื่องจากมอเตอร์ DC นั้นในตัวที่รอบการทำงานสูง จะมีขนาดเล็กและราคาข้อมเยากว่ามอเตอร์ AC ซึ่งทำให้การทำงานเป็นไปอย่างง่ายขายและสะดวกมากยิ่งขึ้น



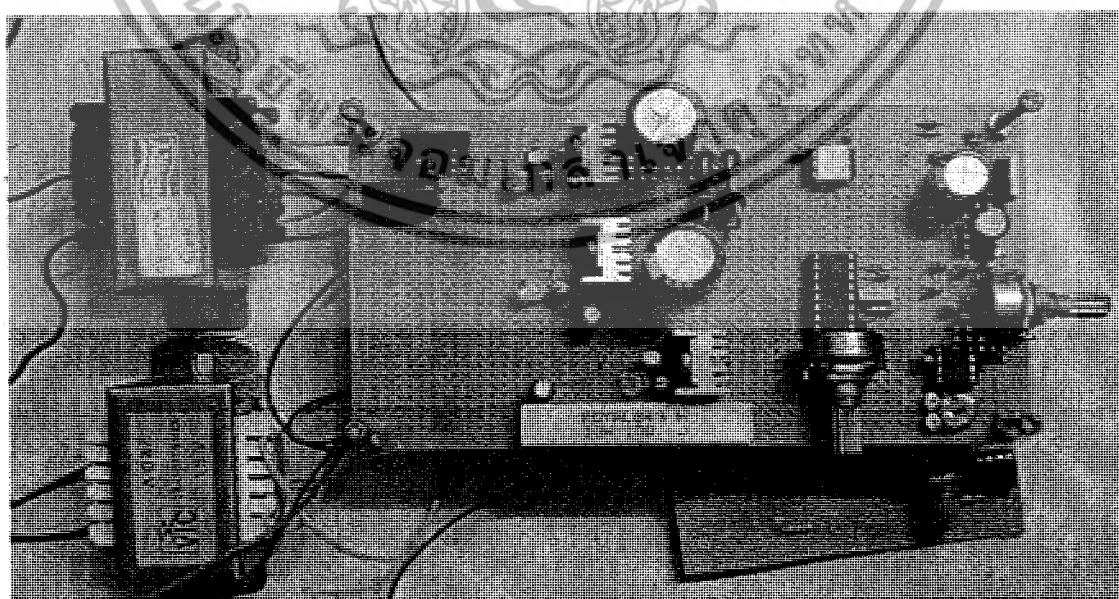
รูปที่ 3.7 กถ่องทำความร้อน

3.2.2 กถ่องควบคุมอุณหภูมิ

ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของระบบนี้เลยก็ว่าได้ โดยในกถ่องควบคุมอุณหภูมินี้ ภายในประกอบไปด้วยวงจรต่างๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบ โดยแบ่งออกเป็น

1. วงจรควบคุมอุณหภูมิ โดยการปรับแรงดันจากภายนอกกถ่อง
2. วงจรจ่ายแรงดัน ซึ่งจ่ายแรงดันให้กับวงจรควบคุมอุณหภูมิและวงจรที่ใช้เพื่อปรับค่าเกท

วงจรปรับค่าเกทของระบบซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการควบคุมอุณหภูมิ เพื่อให้ระบบมีความเสถียรภาพและควบคุมให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ



รูปที่ 3.8 วงจรภายในกถ่องควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 Flow Chart การทำงานชุดควบคุมอุณหภูมิ เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบ P Controller



รูปที่ 3.9 Flow Chart การทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 อธิบายการทำงานของชุดควบคุมอุณหภูมิจาก Flow Chart

เริ่มการทำงาน (Start) ทำการปรับค่า R (0-5) V ตามค่าอุณหภูมิที่เราต้องการควบคุม โดยระบบจะทำการเปรียบเทียบค่าแรงดัน (Error) ที่รับเข้ามา กับเซนเซอร์ (Thermistor) และส่งค่าผิดพลาดที่ได้ให้กับตัวควบคุม เป็นการทำให้อุณหภูมิของขดลวดค่อย ๆ สูงขึ้นและอุณหภูมิจะคงที่เมื่อค่าที่รับเข้ามานั้น มีค่าเท่ากับ ค่าของเซนเซอร์จึงทำให้ได้ค่าผิดพลาด = 0 อุณหภูมิของขดลวดก็จะคงที่ จากนั้นจึงนำผลการทดลองที่ได้มาพลอตกราฟต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ ได้ทำการแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ ทำการทดลองของระบบวงเปิดก่อนที่จะหาแบบจำลองของระบบที่เกิดขึ้น และหลังจากนั้นจึงทำการทดลองระบบวงปิด โดยสามารถแบ่งการทดลองออกได้ดังนี้

ระบบวงเปิด ประกอบด้วยผลการทดลองดังต่อไปนี้

- ผลการทดลองเมื่อทำการเพิ่มแรงดันไฟฟ้า
- ผลการทดลองเมื่อทำการใส่สัญญาณระดับแบบหนึ่งหน่วย

ระบบวงปิด ประกอบด้วยผลการทดลองดังต่อไปนี้

- ผลการทดลองของเทอร์มิสเตอร์เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิต่อค่าความต้านทาน
- ผลการทดลองของเทอร์มิสเตอร์เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นต่อแรงดันไฟฟ้า
- ผลการทดลองเมื่อทำการใส่สัญญาณระดับแบบหนึ่งหน่วยในขณะที่ยังไม่ทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์
- ผลการทดลองเมื่อทำการกำหนดค่าอุณหภูมิไว้ที่ 50 , 60 และ 70 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

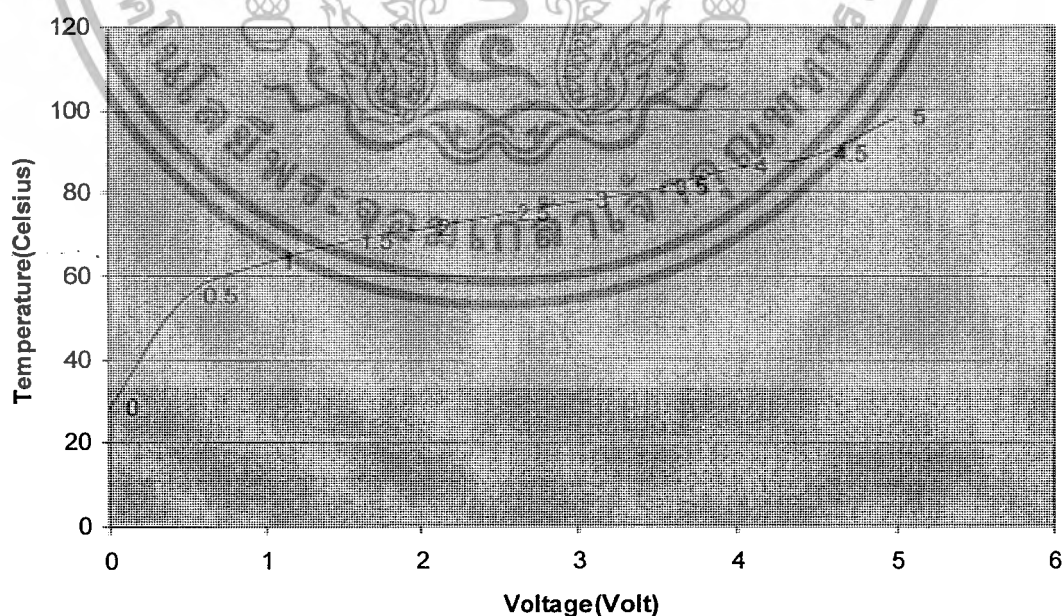
4.1 ผลการทดลองของระบบวงเปิด

4.1.1 ผลการทดลองเมื่อทำการเพิ่มแรงดันไฟฟ้า

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับแรงดันไฟฟ้า

| Voltage (Volt) | Temperature (°C) |
|----------------|------------------|
| 0 | 28 |
| 0.5 | 55 |
| 1.0 | 63 |
| 1.5 | 68 |
| 2.0 | 71 |
| 2.5 | 75 |
| 3.0 | 78 |
| 3.5 | 81 |
| 4.0 | 86 |
| 4.5 | 89 |
| 5.0 | 98 |

จากตารางที่ 4.1 สามารถนำมาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับแรงดันไฟฟ้า

จากกราฟรูปที่ 4.1 สามารถหาค่า K_c ในช่วงแรงดันไฟฟ้า 1-3.5 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อผู้ขยู่ได้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y_2 - Y_1 = m(X_2 - X_1) \quad (4.1)$$

$$81 - 63 = m(3.5 - 1)$$

$$K_C = m = 7.20$$

จากข้อมูลที่ได้ทำการหาค่าแกน (Gain) ซึ่งสามารถหาได้จากความชันของกราฟ

$$T_1 = mV_1 + b$$

$$T_2 = mV_2 + b$$

$$T_n = mV_n + b$$



$$\Rightarrow \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 & 1 \\ V_2 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ V_n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m \\ b \end{bmatrix}$$

$$y = Ax$$

$$\therefore \hat{X} = (A^T A)^{-1} A^T Y$$

$$\hat{X} = \begin{bmatrix} m \\ b \end{bmatrix} \Rightarrow k = 22.68$$

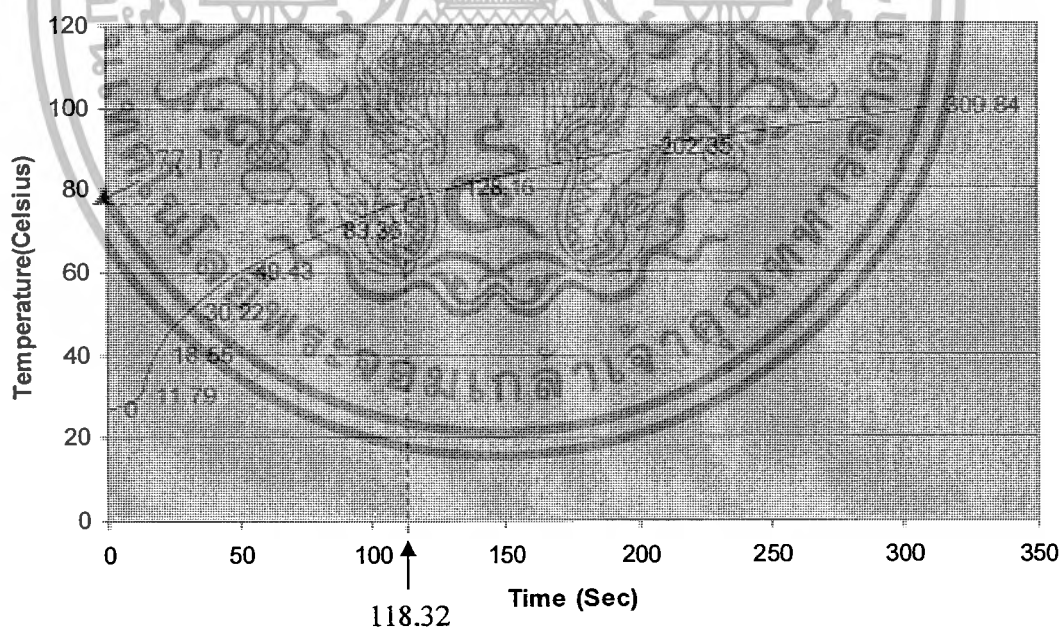
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลการทดลองเมื่อทำการใส่สัญญาณระดับแบบหนึ่งหน่วยที่อุณหภูมิ 100 °C

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเมื่อทำการใส่สัญญาณระดับแบบหนึ่งหน่วยที่อุณหภูมิ 100 °C

| Temperature (°C) | Time 1 (Sec) | Time 2 (Sec) | Average Time (Sec) |
|------------------|--------------|--------------|--------------------|
| 27 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 10.96 | 12.61 | 11.79 |
| 40 | 17.32 | 19.78 | 18.55 |
| 50 | 29.10 | 31.33 | 30.22 |
| 60 | 48.22 | 50.64 | 49.43 |
| 70 | 81.48 | 85.23 | 83.36 |
| 80 | 125.71 | 130.61 | 128.16 |
| 90 | 192.98 | 211.71 | 202.35 |
| 100 | 307.15 | 312.52 | 309.84 |

นำข้อมูลที่ได้จากตารางมาทำการวาดกราฟ ดังรูป



รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิและเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลที่ได้นำมาหาค่า Time Constant

$$G(s) = \frac{K}{Ts+1}, \quad Y(s) = G(s) * U(s) \quad (4.2)$$

$$Y(s) = \frac{K}{Ts+1} * \frac{3.5}{s}$$

$$\mathcal{L}^{-1} \Rightarrow y(t) = 3.5k(1 - e^{-\frac{t}{T}})$$

$$\begin{aligned} \text{ที่ } t=T \quad y(T) &= 3.5k(0.632) \\ &= 50.17 + 27^\circ\text{C} \\ &= 77.17^\circ\text{C} \end{aligned}$$

ดังนั้น ที่ 77.17°C ค่า Time constant มีค่าเท่ากับ 118.32 วินาที

$$\therefore G(s) = \frac{22.68}{118.32s+1}$$

4.2 ผลการทดลองของระบบวงปิด

4.2.1 ผลการทดลองของเทอร์มิสเตอร์เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิต่อค่าความต้านทาน

ตารางที่ 4.3 การทดลองของเทอร์มิสเตอร์เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิต่อค่าความต้านทาน

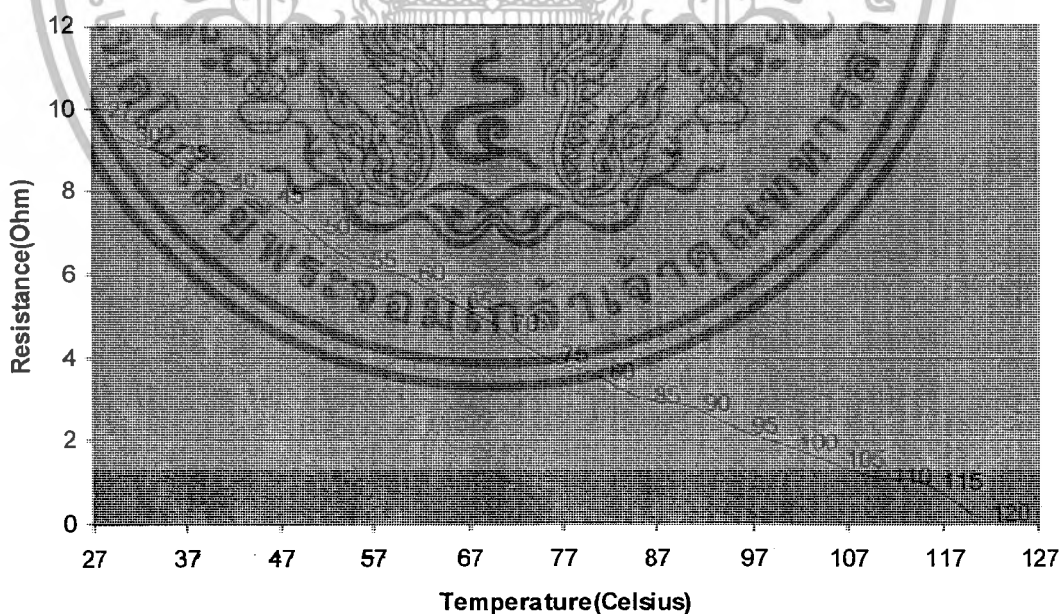
| Temperature ($^\circ\text{C}$) | Resistance (Ohm) |
|----------------------------------|------------------|
| 27 | 9.98 |
| 30 | 9.35 |
| 35 | 8.89 |
| 40 | 8.22 |
| 45 | 7.87 |
| 50 | 7.12 |
| 55 | 6.31 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) การทดลองของเทอร์มิสเตอร์เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิต่อค่าความต้านทาน

| Temperature (°C) | Resistance (Ohm) |
|------------------|------------------|
| 60 | 5.98 |
| 65 | 5.32 |
| 70 | 4.78 |
| 75 | 4.01 |
| 80 | 3.63 |
| 85 | 3.05 |
| 90 | 2.87 |
| 95 | 2.32 |
| 100 | 1.94 |
| 105 | 1.54 |
| 110 | 1.12 |
| 115 | 0.97 |
| 120 | 0.23 |

นำข้อมูลที่ได้จากตารางมาทำการวาดกราฟ ดังรูป



รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบระหว่างความต้านทานไฟฟ้าและอุณหภูมิ

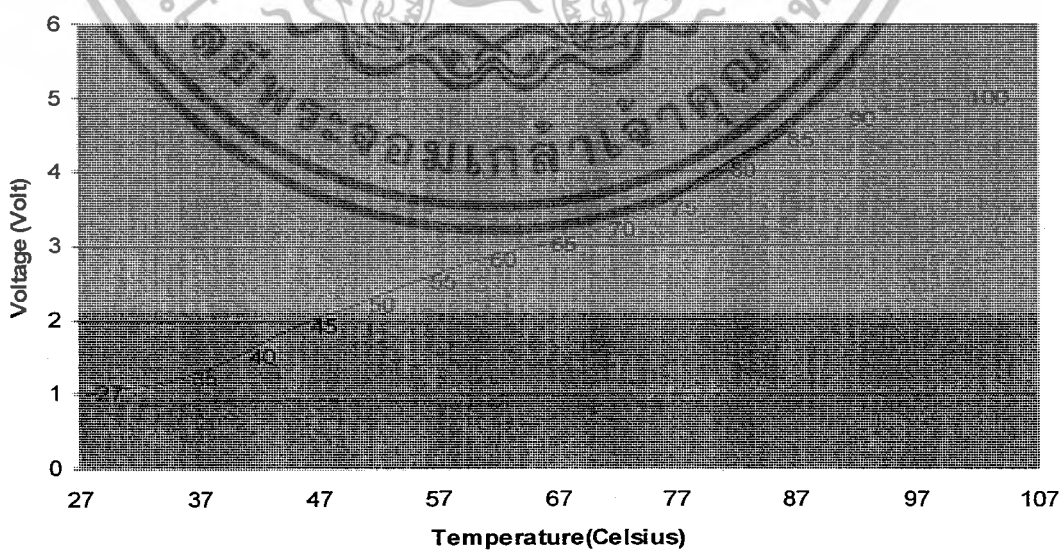
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการทดลองของเทอร์มิสเตอร์เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นต่อแรงดัน

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองของเทอร์มิสเตอร์เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นต่อแรงดัน

| Temperature (°C) | Voltage (Volt) |
|------------------|----------------|
| 27 | 1 |
| 35 | 1.2 |
| 40 | 1.5 |
| 45 | 1.9 |
| 50 | 2.2 |
| 55 | 2.5 |
| 60 | 2.8 |
| 65 | 3.0 |
| 70 | 3.2 |
| 75 | 3.5 |
| 80 | 4.0 |
| 85 | 4.4 |
| 90 | 4.7 |
| 100 | 5.0 |

นำข้อมูลที่ได้จากตารางมาทำการวาดกราฟ ดังรูป



รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบระหว่างแรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟหาค่า K_c ที่ช่วงอุณหภูมิ 50 – 150 °C

$$y_1 - y_2 = m(x_1 - x_2)$$

$$5 - 2.05 = m(100 - 50)$$

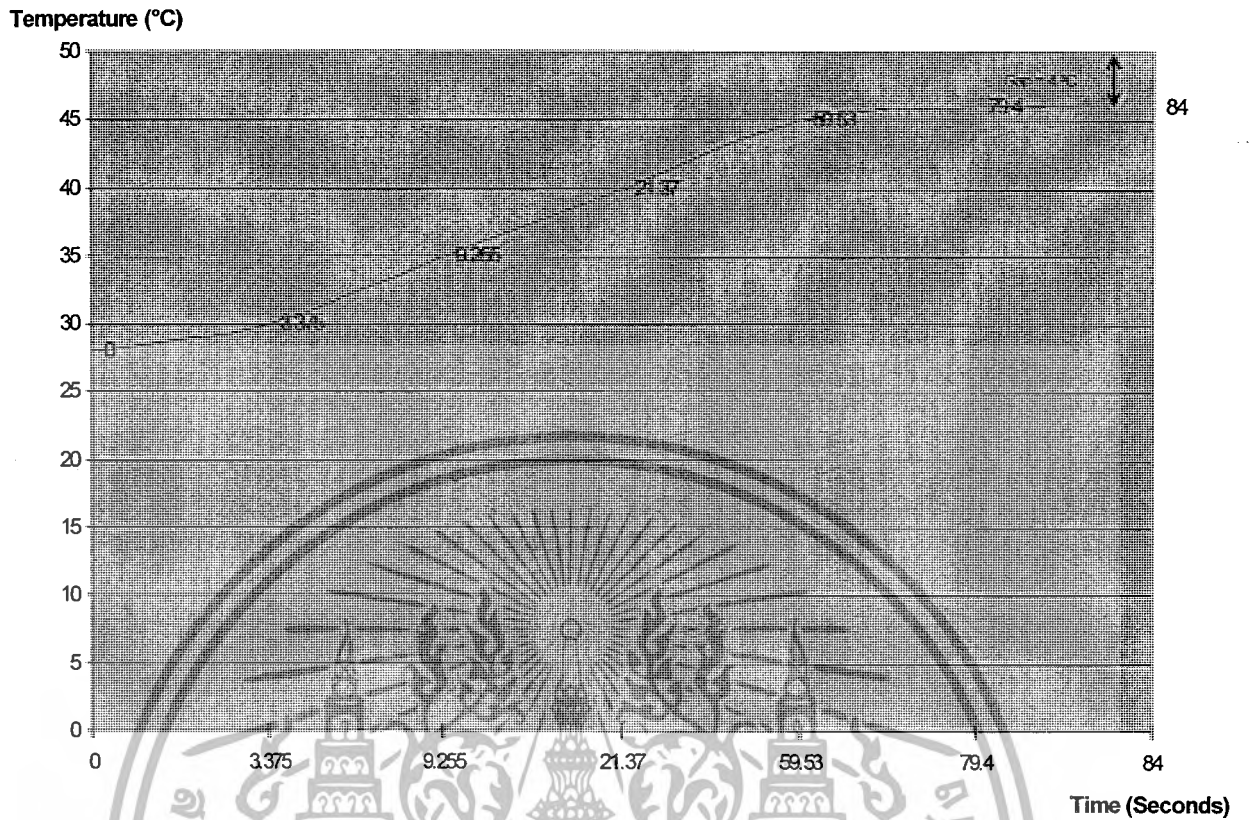
$$K_c = m = 0.059$$

4.2.3 ผลการทดลองเมื่อทำการใส่สัญญาณระดับแบบหนึ่งหน่วยในขณะที่ยังไม่ทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์

โดยทำการป้อน สัญญาณระดับแบบหนึ่งหน่วย ให้กับระบบที่ 2.05 Volt อุณหภูมิเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส



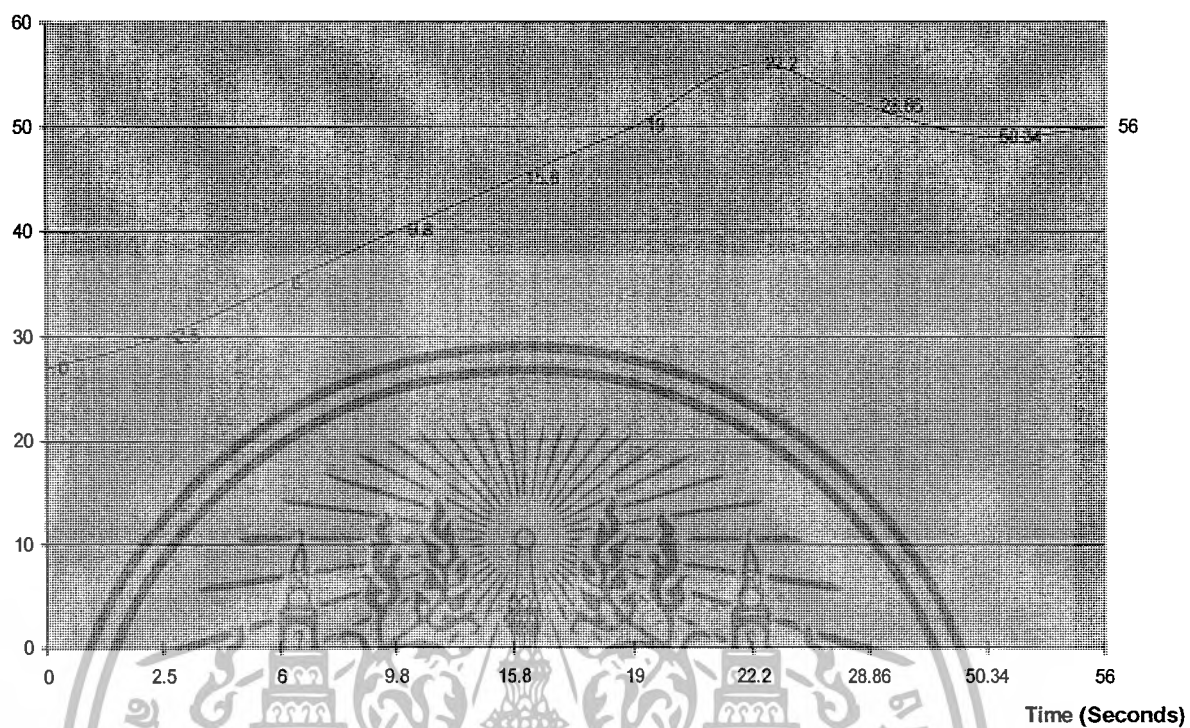
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 เมื่อค่าเกณฑ์ (K_p) = 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

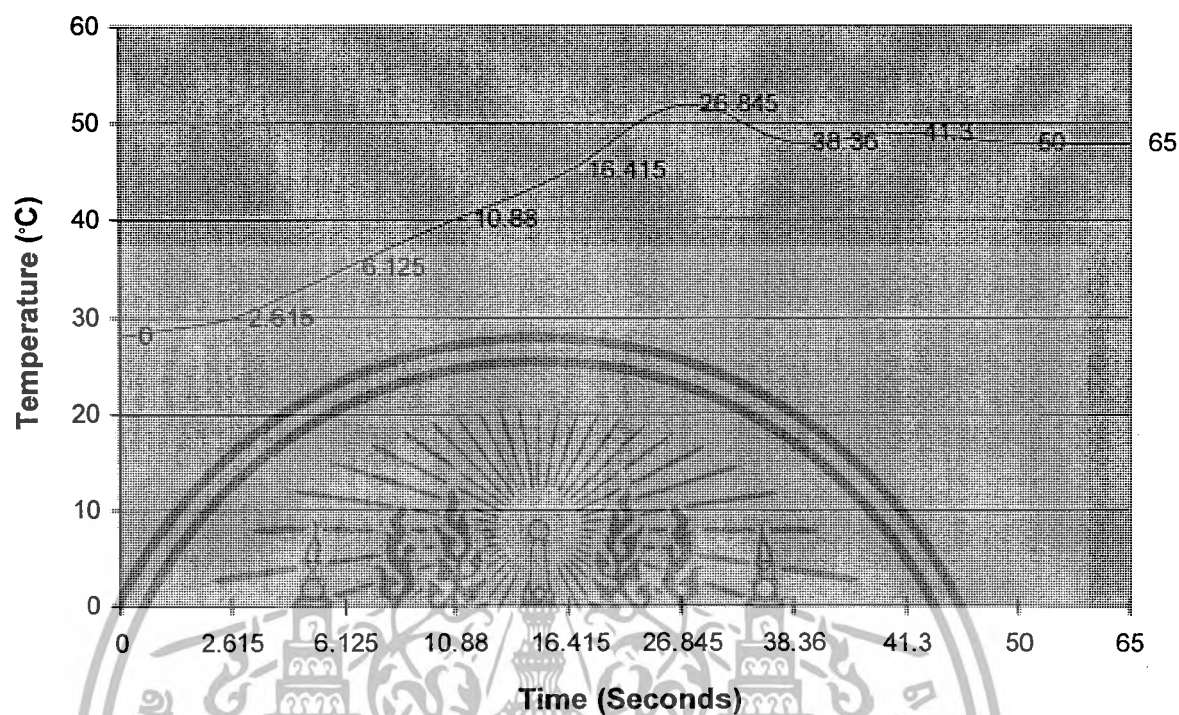
Temperature (°C)

รูปที่ 4.7 เมื่อค่าเกณฑ์ (K_p) = 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ผลการทดลองเมื่อทำการกำหนดค่าอุณหภูมิไว้ที่ 50 , 60 และ 70 องศาเซลเซียส

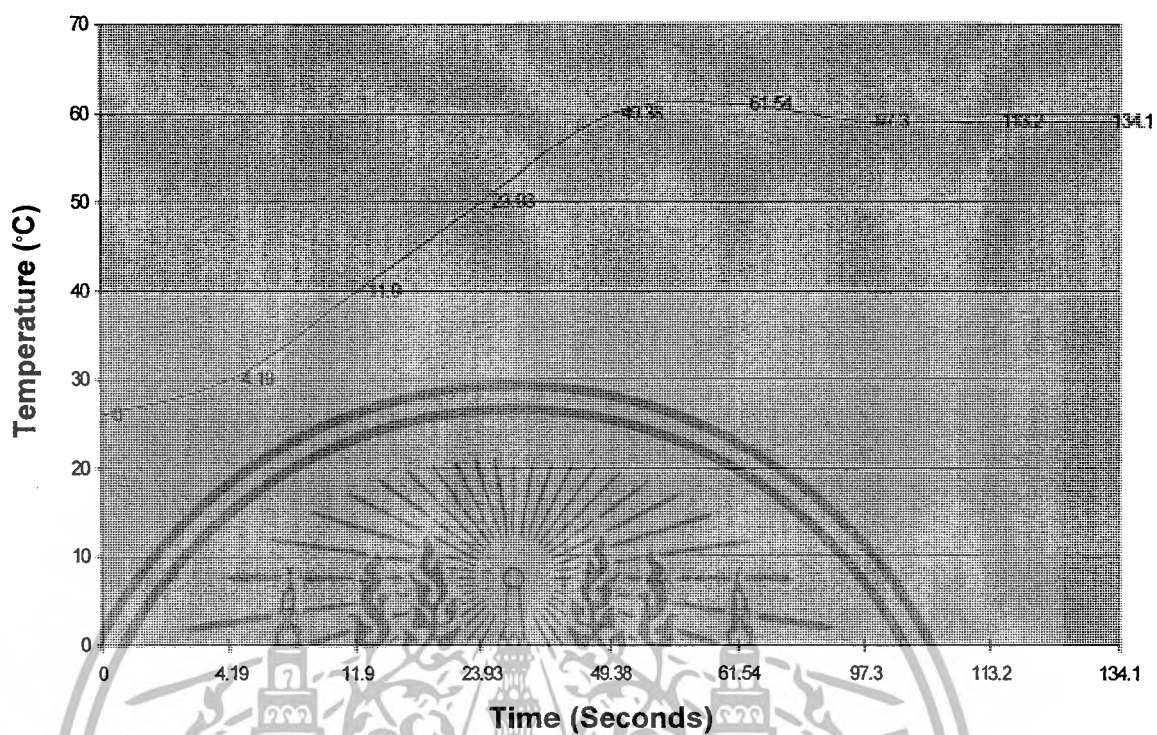
กราฟแสดงผลการทดลอง เมื่อทำการกำหนดค่าอุณหภูมิไว้ที่ 50 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ผลการทดลองเมื่อทำการกำหนดค่าอุณหภูมิไว้ที่ 50 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

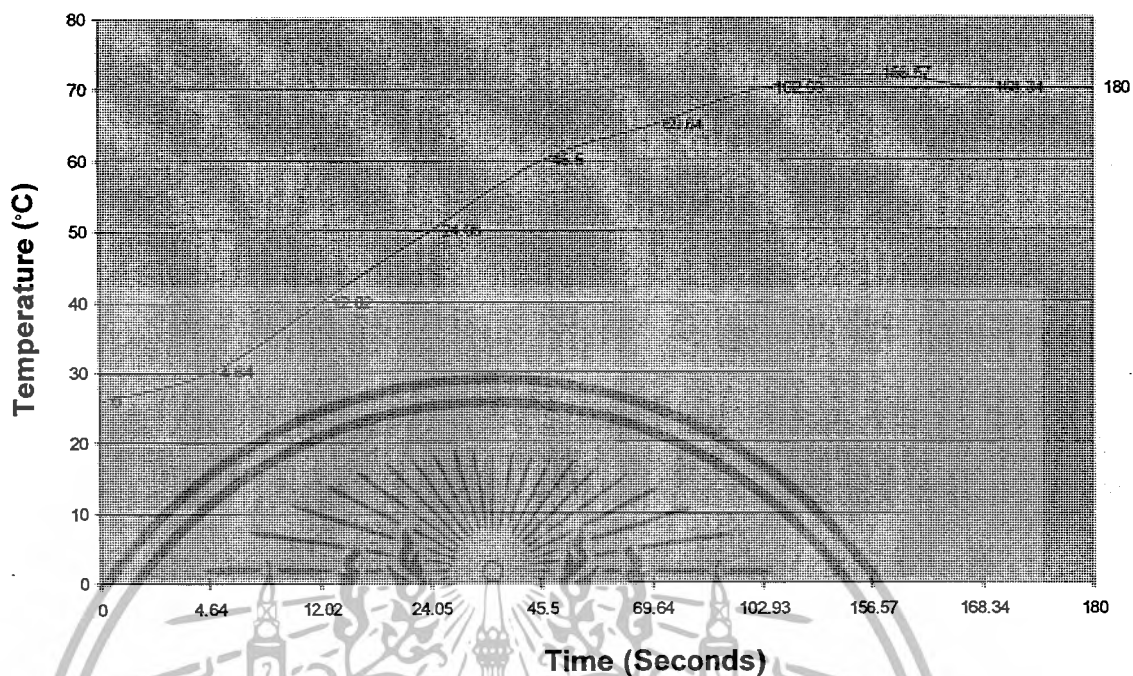
กราฟแสดงผลการทดลอง เมื่อทำการกำหนดค่าอุณหภูมิไว้ที่ 60 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ผลการทดลองเมื่อทำการกำหนดค่าอุณหภูมิไว้ที่ 60 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงผลการทดลอง เมื่อทำการกำหนดค่าอุณหภูมิไว้ที่ 70 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.10 ผลการทดลองเมื่อทำการกำหนดค่าอุณหภูมิไว้ที่ 70 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

5.1 สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในการทดลองชุดควบคุมอุณหภูมิ ที่ควบคุมอุณหภูมิแบบวงปิด โดยมีตัวควบคุมแบบสัดส่วนและทำการควบคุมแบบง่ายด้วยมือ จะใช้ ความต้านทานปรับค่าได้ ทำการปรับค่าแรงดันตามค่าอุณหภูมิที่เราต้องการ โดยในการทดลองของโครงการนี้จะเห็นความแตกต่างของระบบวงปิด ในขณะที่ยังไม่ใส่ตัวควบคุม ในขณะที่ทำการทดลองระบบวงปิดที่ไม่ใส่ตัวควบคุม จะเห็นได้ว่าระบบจะค่อนข้างช้ามากกว่าที่จะไปถึงจุด set point

จากการทดลองในโครงการนี้เหมาะสำหรับใช้ควบคุมอุณหภูมิกับระบบที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิที่ไม่มากนัก เช่น การใช้ฮีตเตอร์ควบคุมอุณหภูมิภายในที่พักอาศัย การควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนที่ใช้เลี้ยงสัตว์ เป็นต้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในปฏิญานิทรรศการครั้งนี้ได้นำใคร่พามาใช้ให้ความร้อนจากขดลวด มีราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย
2. ขณะทำการทดลอง จะมีลมจากสภาพแวดล้อมเข้ามารบกวนระบบนั้น ควรออกแบบให้มีการดูดลมออกจากระบบจะดียิ่งขึ้น
3. ส่วนของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ หากจะนำไปประยุกต์ใช้งานที่แท้จริงแล้ว ควรเลือกเซนเซอร์ที่ให้ผลตอบสนองได้เร็ว เช่น มิเตอร์วัดอุณหภูมิ เทอร์โมคัปเปิล นั้นจะมีความแม่นยำและค่าที่แน่นอน เหมาะสำหรับการใช้ควบคุมอุณหภูมิ กับระบบที่ไม่เน้นตัวอุณหภูมิมากนัก เช่น เครื่องทำความร้อนในบ้านเรือน ที่ขอให้อุ่นในความพอเหมาะเพียงพอต่อความจำเป็น หากจะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมก็จะเป็นลักษณะการเตรียมสารประกอบ
4. ในส่วนของมอเตอร์ขับเคลื่อน ควรนำวงจรขับเคลื่อนมาขับเพื่อให้ส่วนนี้สามารถทำงานได้เต็มที่ และสะดวกต่อการแก้ไขเมื่อเกิดความผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

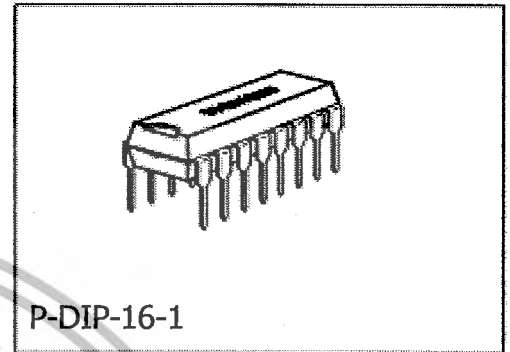
Phase Control IC

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



P-DIP-16-1

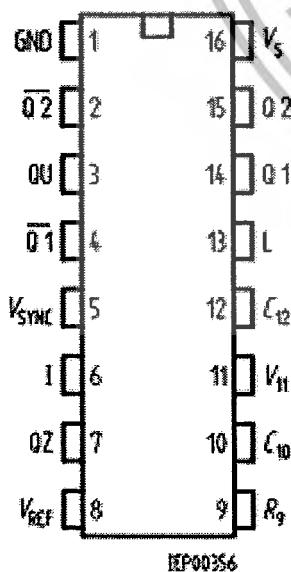
| Type | Ordering Code | Package |
|---------|---------------|------------|
| TCA 785 | Q67000-A2321 | P-DIP-16-1 |

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 ₉ | Ramp resistance |
| 10 | C ₁₀ | Ramp capacitance |
| 11 | V ₁₁ | Control voltage |
| 12 | C ₁₂ | Pulse extension |
| 13 | L | Long pulse |
| 14 | Q 1 | Output 1 |
| 15 | Q 2 | Output 2 |
| 16 | V _S | Supply voltage |



Pin Configuration

(top view)

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างสำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เชิงพาณิชย์ได้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้

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_{10} of which is charged by a constant current (determined by R_9). If the ramp voltage V_{10} exceeds the control voltage V_{11} (triggering angle φ), a signal is processed to the logic. Dependent on the magnitude of the control voltage V_{11} , 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_{12} . If pin 12 is connected to ground, pulses with a duration between φ and 180° will result.

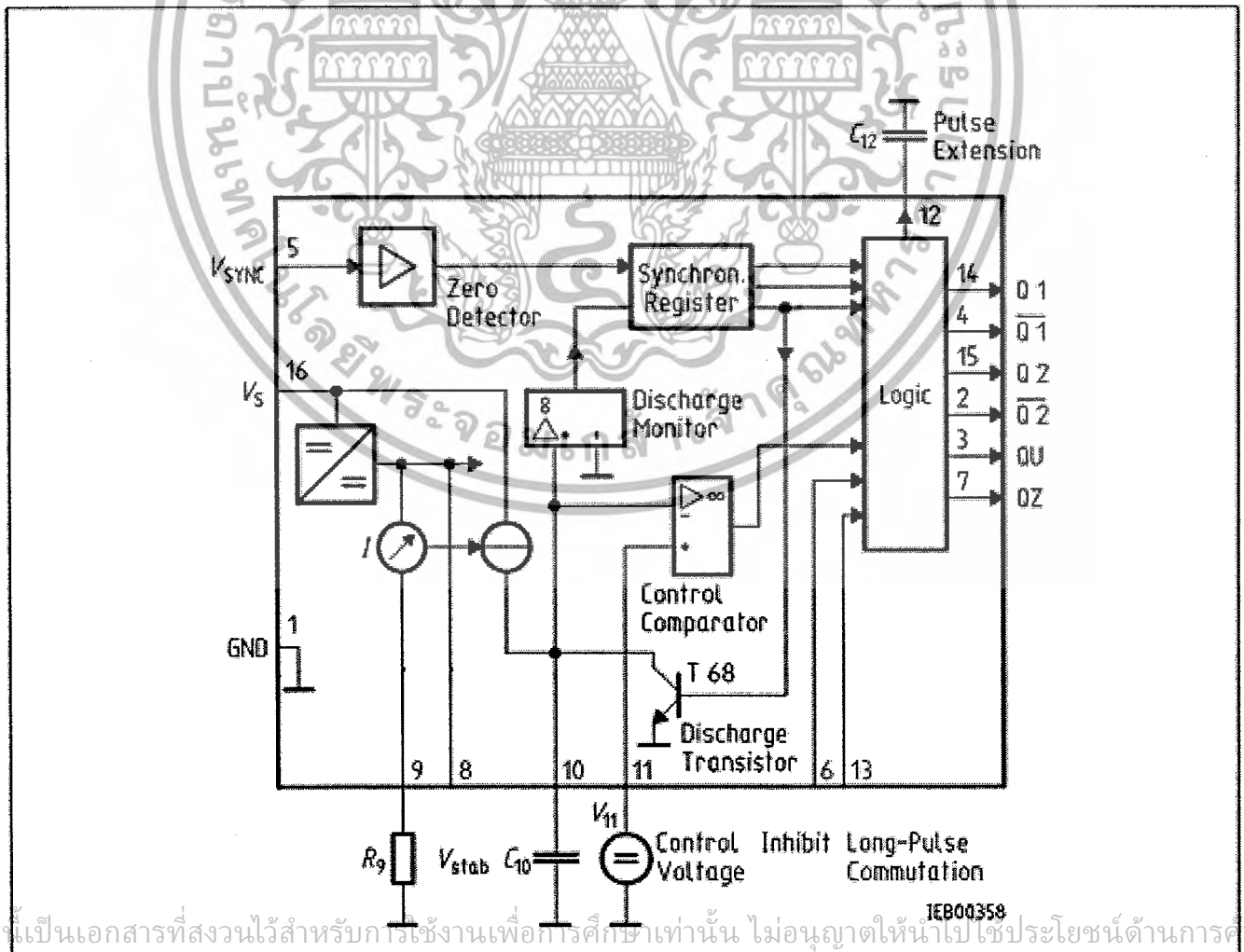
Outputs $\overline{Q1}$ and $\overline{Q2}$ supply the inverse signals of Q 1 and Q 2.

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).

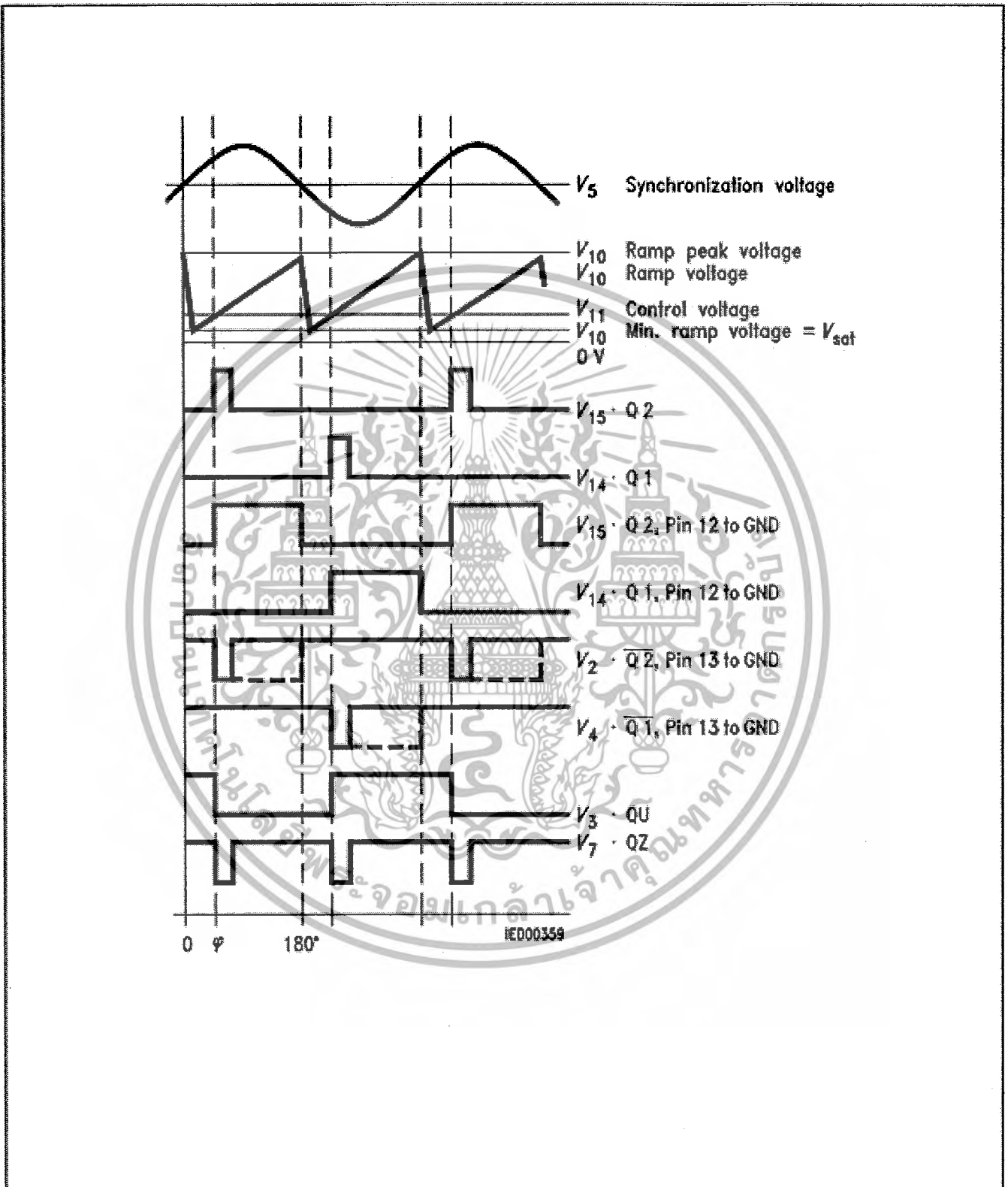
The inhibit input can be used to disable outputs Q1, Q2 and $\overline{Q1}$, $\overline{Q2}$

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่าจะ Block Diagram อื่นทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Pulse Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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_Q | - 10 | 400 | mA |
| Inhibit voltage | V_6 | - 0.5 | V_S | V |
| Control voltage | V_{11} | - 0.5 | V_S | V |
| Voltage short-pulse circuit | V_{13} | - 0.5 | V_S | V |
| Synchronization input current | V_5 | - 200 | - 200 | μ A |
| Output voltage at pin 14, 15 | V_Q | | V_S | V |
| Output current at pin 2, 3, 4, 7 | I_Q | | 10 | mA |
| Output voltage at pin 2, 3, 4, 7 | V_Q | | 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 $\leq V_S \leq 18$ V; - 25 $^{\circ}$ C $\leq T_A \leq 85$ $^{\circ}$ C; $f = 50$ Hz

| Parameter | Symbol | Limit Values | | | Unit | Test Circuit |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|------|---------------|------------|--------------|
| | | min. | typ. | max. | | |
| Supply current consumption S1 ... S6 open $V_{11} = 0$ V $C_{10} = 47$ nF; $R_9 = 100$ k Ω | I_S | 4.5 | 6.5 | 10 | mA | 1 |
| Synchronization pin 5 Input current R_2 varied | $I_{5 ms}$ | 30 | | 200 | μ A | 1 |
| Offset voltage | ΔV_5 | | 30 | 75 | mV | 4 |
| Control input pin 11 Control voltage range | V_{11} | 0.2 | | $V_{10 peak}$ | V | 1 |
| Input resistance | R_{11} | | 15 | | k Ω | 5 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม บริษัทฯ ขอสงวนสิทธิ์ในให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Characteristics (cont'd)

8 \leq V_S \leq 18 V; - 25 °C \leq T_A \leq 85 °C; f = 50 Hz

| Parameter | Symbol | Limit Values | | | Unit | Test Circuit |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------|------|--------------------|------|--------------|
| | | min. | typ. | max. | | |
| Ramp generator | | | | | | |
| Charge current | I ₁₀ | 10 | | 1000 | μA | |
| Max. ramp voltage | V ₁₀ | | | V ₂ - 2 | V | 1 |
| Saturation voltage at capacitor | V ₁₀ | 100 | 225 | 350 | mV | 1.6 |
| Ramp resistance | R ₉ | 3 | | 300 | kΩ | 1 |
| Sawtooth return time | t _r | | 80 | | μs | 1 |
| Inhibit pin 6 | | | | | | |
| switch-over of pin 7 | | | | | | |
| Outputs disabled | V _{6L} | | 3.3 | 2.5 | V | 1 |
| Outputs enabled | V _{6H} | 4 | 3.3 | | V | 1 |
| Signal transition time | t _r | 1 | | 5 | μs | 1 |
| Input current | I _{6H} | | 500 | 800 | μA | 1 |
| V ₆ = 8 V | | | | | | |
| Input current | - I _{6L} | 80 | 150 | 200 | μA | 1 |
| V ₆ = 1.7 V | | | | | | |
| Deviation of I ₁₀ | I ₁₀ | - 5 | | 5 | % | 1 |
| R ₉ = const. | | | | | | |
| V _S = 12 V; C ₁₀ = 47 nF | | | | | | |
| Deviation of I ₁₀ | I ₁₀ | - 20 | | 20 | % | 1 |
| R ₉ = const. | | | | | | |
| V _S = 8 V to 18 V | | | | | | |
| Deviation of the ramp voltage between 2 following half-waves, V _S = const. | ΔV _{10 max} | | □ 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 ₁₃ = 8 V | | | | | | |
| Input current | - I _{13L} | 45 | 65 | 100 | μA | 1 |
| V ₁₃ = 1.7 V | | | | | | |
| Outputs pin 2, 3, 4, 7 | | | | | | |
| Reverse current | I _{CEO} | | | 10 | μA | 2.6 |
| V _Q = V _S | | | | | | |
| Saturation voltage | V _{sat} | 0.1 | 0.4 | 2 | V | 2.6 |
| I _Q = 2 mA | | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.9MHz Single and Dual, High Gain Operational Amplifiers for Military, Industrial and Commercial Applications

The CA1458, CA1558 (dual types); CA741C, CA741 (single types); high-gain operational amplifiers for use in military, industrial, and commercial applications.

These monolithic silicon integrated circuit devices provide output short circuit protection and latch-free operation. These types also feature wide common mode and differential mode signal ranges and have low offset voltage nulling capability when used with an appropriately valued potentiometer. A 10kΩ potentiometer is used for offset nulling types CA741C, CA741 (see Figure 1). Types CA1458, CA1558 have no specific terminals for offset nulling. Each type consists of a differential input amplifier that effectively drives a gain and level shifting stage having a complementary emitter follower output.

The manufacturing process make it possible to produce IC operational amplifiers with low burst "popcorn" noise characteristics.

Technical Data on LM Branded types is identical to the corresponding CA Branded types.

Features

- Input Bias Current 500nA (Max)
- Input Offset Current 200nA (Max)

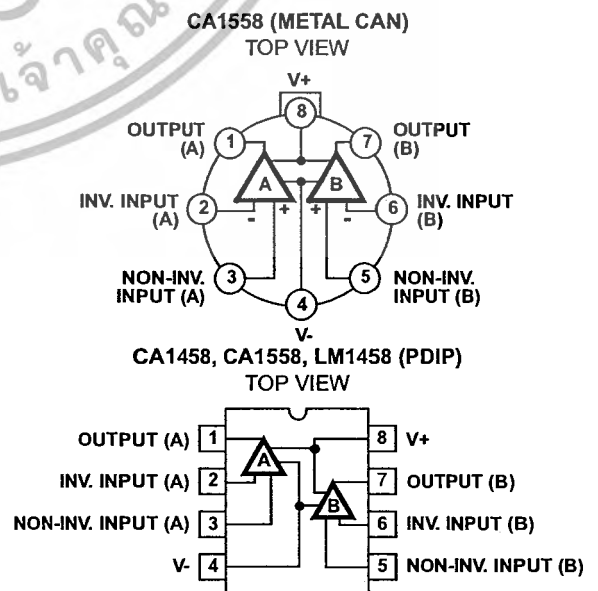
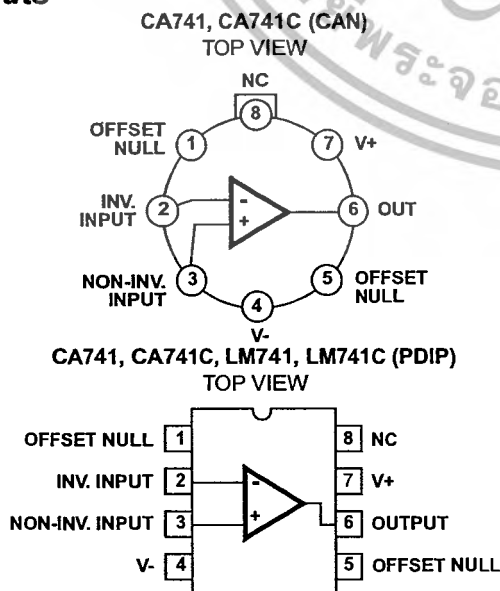
Applications

- Comparator
- Multivibrator
- DC Amplifier
- Summing Amplifier
- Integrator or Differentiator
- Narrow Band or Band Pass Filter

Ordering Information

| PART NUMBER | TEMP. RANGE (°C) | PACKAGE | PKG. NO. |
|-------------|------------------|-----------------|----------|
| CA0741E | -55 to 125 | 8 Ld PDIP | E8.3 |
| CA0741CE | 0 to 70 | 8 Ld PDIP | E8.3 |
| CA1458E | 0 to 70 | 8 Ld PDIP | E8.3 |
| CA1558E | -55 to 125 | 8 Ld PDIP | E8.3 |
| CA0741T | -55 to 125 | 8 Pin Metal Can | T8.C |
| CA0741CT | 0 to 70 | 8 Pin Metal Can | T8.C |
| CA1558T | -55 to 125 | 8 Pin Metal Can | T8.C |
| LM741N | -55 to 125 | 8 Ld PDIP | E8.3 |
| LM741CN | 0 to 70 | 8 Ld PDIP | E8.3 |
| LM1458N | 0 to 70 | 8 Ld PDIP | E8.3 |

Pinouts



CA741, CA741C, CA1458, CA1558, LM741, LM741C, LM1458

Absolute Maximum Ratings

| | |
|--------------------------------------------------------|------------------|
| Supply Voltage | 36V |
| CA741C, CA1458, LM741C, LM1458 (Note 1) | 36V |
| CA741, CA1558, LM741 (Note 1) | 44V |
| Differential Input Voltage | 40V |
| Input Voltage | $\pm V_{SUPPLY}$ |
| Offset Terminal to V- Terminal Voltage (CA741C, CA741) | $\pm 0.5V$ |
| Output Short Circuit Duration | Indefinite |

Thermal Information

| | | |
|------------------------------------------------|----------------------|----------------------|
| Thermal Resistance (Typical, Note 3) | θ_{JA} (°C/W) | θ_{JC} (°C/W) |
| PDIP Package | 130 | N/A |
| Can Package | 155 | 67 |
| Maximum Junction Temperature (Can Package) | 175°C | |
| Maximum Junction Temperature (Plastic Package) | 150°C | |
| Maximum Storage Temperature Range | -65°C to 150°C | |
| Maximum Lead Temperature (Soldering 10s) | 300°C | |

Operating Conditions

| | |
|-----------------------------------------|----------------|
| Temperature Range | -55°C to 125°C |
| CA741, CA1558, LM741 | -55°C to 125°C |
| CA741C, CA1458, LM741C, LM1458 (Note 2) | 0°C to 70°C |

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTES:

- Values apply for each section of the dual amplifiers.
- All types in any package style can be operated over the temperature range of -55°C to 125°C, although the published limits for certain electrical specification apply only over the temperature range of 0°C to 70°C.
- θ_{JA} is measured with the component mounted on an evaluation PC board in free air.

Electrical Specifications Typical Values Intended Only for Design Guidance, $V_{SUPPLY} = \pm 15V$

| PARAMETER | SYMBOL | TEST CONDITIONS | TYPICAL VALUE (ALL TYPES) | UNITS |
|---------------------------------|--------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------|
| Input Capacitance | C_i | | 1.4 | pF |
| Offset Voltage Adjustment Range | | | ± 15 | mV |
| Output Resistance | R_o | | 75 | Ω |
| Output Short Circuit Current | | | 25 | mA |
| Transient Response | | Unity Gain, $V_i = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L \leq 100pF$ | | |
| Rise Time | t_r | | 0.3 | μs |
| Overshoot | O.S. | | 5.0 | % |
| Slew Rate (Closed Loop) | SR | $R_L \geq 2k\Omega$ | 0.5 | V/ μs |
| Gain Bandwidth Product | GBWP | $R_L = 12k\Omega$ | 0.9 | MHz |

Electrical Specifications For Equipment Design, $V_{SUPPLY} = \pm 15V$

| PARAMETER | TEST CONDITIONS | TEMP (°C) | (NOTE 4) CA741, CA1558, LM741 | | | (NOTE 4) CA741C, CA1458, LM741C, LM1458 | | | UNITS |
|---------------------------------|----------------------|-----------|----------------------------------|----------|-----|-----------------------------------------------|----------|-----|------------|
| | | | MIN | TYP | MAX | MIN | TYP | MAX | |
| Input Offset Voltage | $R_S \leq 10k\Omega$ | 25 | - | 1 | 5 | - | 2 | 6 | mV |
| | | Full | - | 1 | 6 | - | - | 7.5 | mV |
| Input Common Mode Voltage Range | | 25 | - | - | - | ± 12 | ± 13 | - | V |
| | | Full | ± 12 | ± 13 | - | - | - | - | V |
| Common Mode Rejection Ratio | $R_S \leq 10k\Omega$ | 25 | - | - | - | 70 | 90 | - | dB |
| | | Full | 70 | 90 | - | - | - | - | dB |
| Power Supply Rejection Ratio | $R_S \leq 10k\Omega$ | 25 | - | - | - | - | 30 | 150 | $\mu V/V$ |
| | | Full | - | 30 | 150 | - | - | - | $\mu V/V$ |
| Input Resistance | | 25 | 0.3 | 2 | - | 0.3 | 2 | - | M Ω |

CA741, CA741C, CA1458, CA1558, LM741, LM741C, LM1458

Electrical Specifications For Equipment Design, $V_{SUPPLY} = \pm 15V$ (Continued)

| PARAMETER | TEST CONDITIONS | TEMP (°C) | (NOTE 4) CA741, CA1558, LM741 | | | (NOTE 4) CA741C, CA1458, LM741C, LM1458 | | | UNITS |
|---------------------------|------------------------------------|-----------|----------------------------------|----------|------|-----------------------------------------------|----------|-----|-------|
| | | | MIN | TYP | MAX | MIN | TYP | MAX | |
| Input Bias Current | | 25 | - | 80 | 500 | - | 80 | 500 | nA |
| | | Full | - | - | - | - | - | 800 | nA |
| | | -55 | - | 300 | 1500 | - | - | - | nA |
| | | 125 | - | 30 | 500 | - | - | - | nA |
| Input Offset Current | | 25 | - | 20 | 200 | - | 20 | 200 | nA |
| | | Full | - | - | - | - | - | 300 | nA |
| | | -55 | - | 85 | 500 | - | - | - | nA |
| | | 125 | - | 7 | 200 | - | - | - | nA |
| Large Signal Voltage Gain | $R_L \geq 2k\Omega, V_O = \pm 10V$ | 25 | 50,000 | 200,000 | - | 20,000 | 200,000 | - | V/V |
| | | Full | 25,000 | - | - | 15,000 | - | - | - |
| Output Voltage Swing | $R_L \geq 10k\Omega$ | 25 | - | - | - | ± 12 | ± 14 | - | V |
| | | Full | ± 12 | ± 14 | - | - | - | - | V |
| | $R_L \geq 2k\Omega$ | 25 | - | - | - | ± 10 | ± 13 | - | V |
| | | Full | ± 10 | ± 13 | - | ± 10 | ± 13 | - | V |
| Supply Current | | 25 | - | 1.7 | 2.8 | - | 1.7 | 2.8 | mA |
| | | -55 | - | 2 | 3.3 | - | - | - | mA |
| | | 125 | - | 1.5 | 2.5 | - | - | - | mA |
| Device Power Dissipation | | 25 | - | 50 | 85 | - | 50 | 85 | mW |
| | | -55 | - | 60 | 100 | - | - | - | mW |
| | | 125 | - | 45 | 75 | - | - | - | mW |

NOTE:

4. Values apply for each section of the dual amplifiers.

Test Circuits

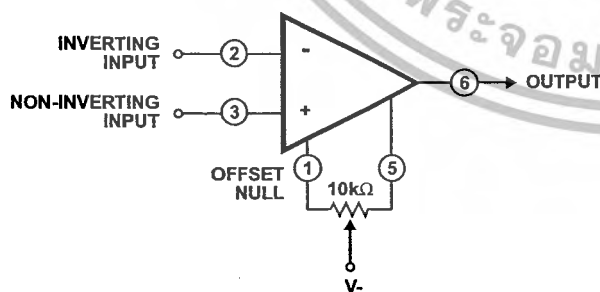


FIGURE 1. OFFSET VOLTAGE NULL CIRCUIT FOR CA741C, CA741, LM741C, AND LM741

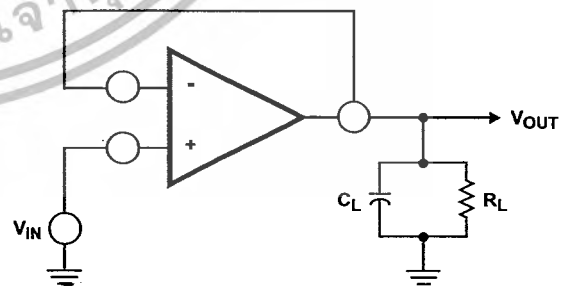
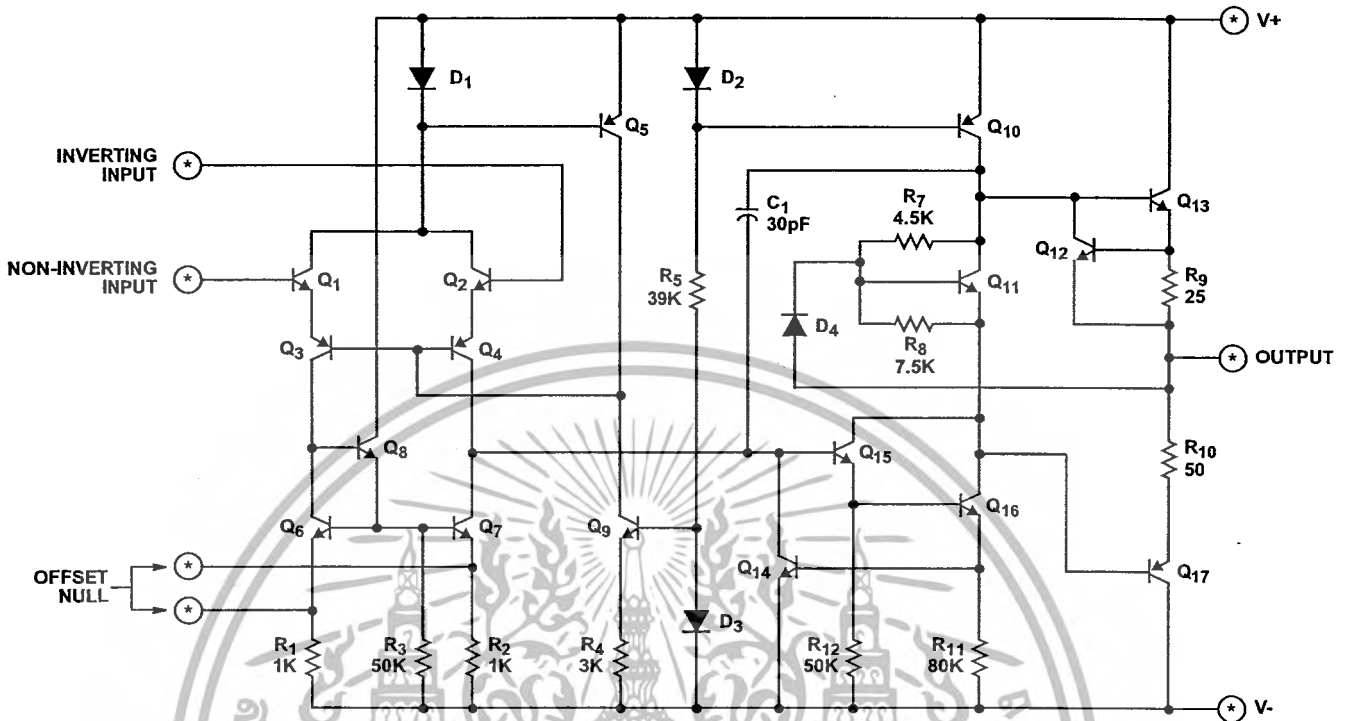


FIGURE 2. TRANSIENT RESPONSE TEST CIRCUIT FOR ALL TYPES

CA741, CA741C, CA1458, CA1558, LM741, LM741C, LM1458

Schematic Diagram (Notes 5, 6)

CA741C, CA741, LM741C, LM741 AND FOR EACH AMPLIFIER OF THE CA1458, CA1558, AND LM1458



NOTES:

5. See Pinouts for Terminal Numbers of Respective Types.
6. All Resistance Values are in Ohms.

Typical Performance Curves

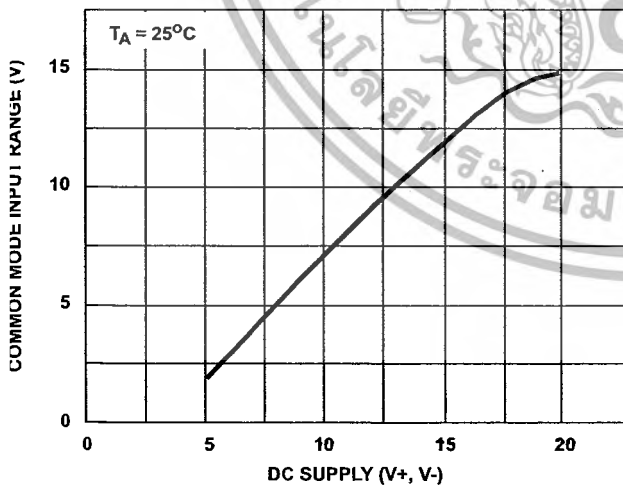


FIGURE 3. COMMON MODE INPUT VOLTAGE RANGE vs SUPPLY VOLTAGE FOR ALL TYPES

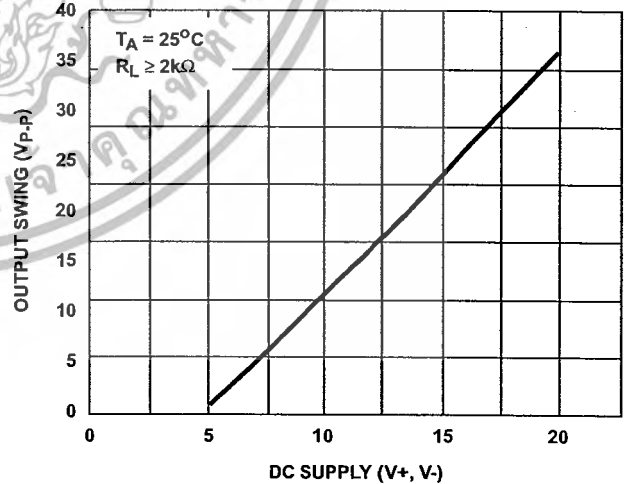


FIGURE 4. OUTPUT VOLTAGE vs SUPPLY VOLTAGE FOR ALL TYPES

Typical Performance Curves (Continued)

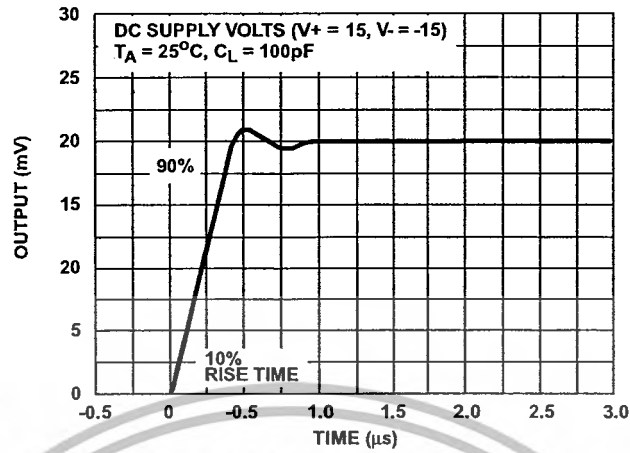
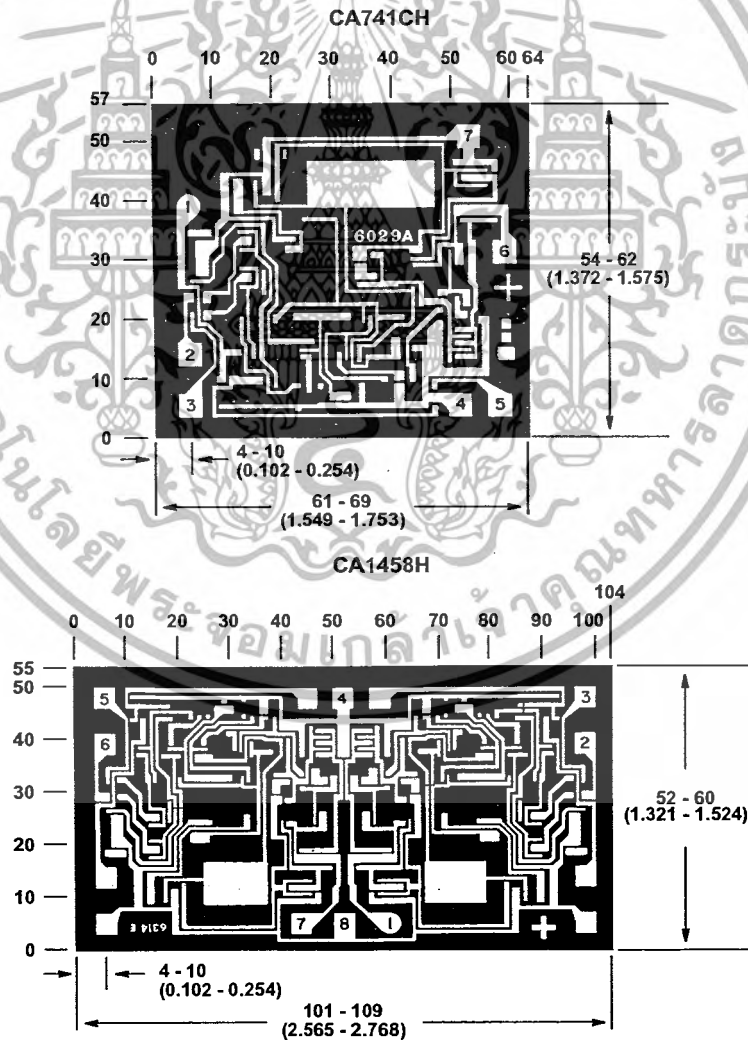


FIGURE 5. TRANSIENT RESPONSE FOR CA741C AND CA741

Metallization Mask Layout



NOTE: Dimensions in parentheses are in millimeters and are derived from the basic inch dimensions as indicated. Grid graduations are in mils (10^{-3} inch).

เอกสารอ้างอิง

- [1] กิตติ ตีรเศรษฐ. พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุม. พิมพ์ครั้งที่ 1, 2545.
- [2] เชื้อ ชูจำ. ทฤษฎีไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น.—กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2544.
- [3] ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์. วิศวกรรมการวัดคุม. พิมพ์ครั้งที่ 1, 2549.
- [4] วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ. การควบคุมระบบพลศาสตร์.—กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- [5] วรพงศ์ ตั้งศิริรัตน์. เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์: ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ในระบบการวัดและระบบควบคุม.—กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2548.
- [6] สุมาลี อุณหวนิชย์. ระบบควบคุม.—กรุงเทพฯ: ว.เพ็ชรสกุล, 2545.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้