

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชุดควบคุมอุณหภูมิ

TEMPERATURE CONTROLLER



T104094

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ สิริชัย ธรรมารักษ์วัฒน์

โดย

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 104094

วัน,เดือน,ปี 28 ต.ค. 2552

นายกรกช	วงศ์จันทร์	รหัสนักศึกษา	48010013
นายกิตติพงศ์	วงศ์พิศาล	รหัสนักศึกษา	48010052
นางสาวกุสุมา	ชุม่วง	รหัสนักศึกษา	48010065

ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2551

สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดควบคุมอุณหภูมิ

TEMPERATURE CONTROLLER

ผู้จัดทำ

1. นาย กรกช วงศ์จันทร์
2. นาย กิตติพงศ์ พงศ์พิศาล
3. นางสาว กุสุมา ชูม่วง





.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ สิริชัย ธรรมรักษ์วัณณะ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ชุดควบคุมอุณหภูมิ

โดย

นายกรรช วงศ์จันทร์ธา รหัสนักศึกษา 48010013

นายกิตติพงษ์ พงศ์พิศาล รหัสนักศึกษา 48010052

นางสาวกุสุมา ชูม่วง รหัสนักศึกษา 48010065

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ สิริชัย ธรรมารักษ์วัฒน์

ปีการศึกษา 2551

## บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการนำความรู้และหลักการของโครงการชุดควบคุมอุณหภูมิจากกลุ่มของนักศึกษาในปีการศึกษา 2547 มาทำการประยุกต์, ปรับเปลี่ยนและปรับปรุง ในการควบคุมอุณหภูมิตามที่ต้องการ โดยมีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ ส่วนควบคุมและส่วนแสดงผลข้อมูล โดยจะมีการตรวจจับอุณหภูมิ แล้วทำการส่งข้อมูลที่ไปยังส่วนควบคุมโดยมีการปรับแต่งแบบมือ (Manual) เพื่อให้ได้ค่าตามหลักการควบคุมแบบสัดส่วน จากนั้นจึงทำให้เห็นพฤติกรรมของอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป พร้อมทั้งสามารถนำค่าผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และอ้างอิงกับทฤษฎีที่ได้ทำการศึกษาและกล่าวไว้ข้างต้น จึงทำให้เข้าใจในหลักการของชุดควบคุมอุณหภูมิมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังมีกราฟและข้อมูลเพิ่มเติมประกอบการทำการทดลองเพื่อช่วยต่อการเข้าใจอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TEMPERATURE CONTROLLER

By

Mr. Korakot Wongchandra

Mr. Kittipong Pongpisarn

Ms. Kusuma Chumuang

Advisor

Mr. Sirichai Tammaruckwattana

Academic Year 2008

## ABSTRACT

This project has brought the knowledge and theory of Temperature Controller from the project group of year 2007 students to apply, adjust and develop for controlling a desirous temperature. The main parts of this project consists of controlling part and displaying part. Thermister is used to detect the temperature in the system. Data from Thermister will be transferred to the controlling part by manual adjusting to get the values from Proportional control method. As the result, we could see the characteristic of the temperature and varied voltage in the system. Moreover, the relation between temperature and varied voltage is used to analyze and refer to the above mentioned theory. Furthermore, this report contains graphs and additional information in experiment for easy understanding.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก รศ.ดร.วันชัย รีวรุจา อาจารย์ศิริชัย ธรรมารักษ์วิวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์วรรณดี เพชรมณีล้ำค่า ที่กรุณาให้แนวคิดและคำปรึกษาแนะนำ ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง ทำให้โครงการลุล่วงด้วยดี และขอขอบคุณอาจารย์และเพื่อน ๆ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมระบบ ควบคุมทุกท่าน ที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำแนะนำ ตลอดจนให้การช่วยเหลือ ตั้งแต่เริ่มต้นจน เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็น กำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุก ๆ เรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำปริญญาบัตรฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและแรงจูงใจในการทำปริญญานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการทำโครงการ	2
1.3 แนวความคิดและขอบเขตของโครงการ	2
1.4 โครงสร้างเนื้อหาของโครงการ	2
1.5 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการใช้เซมเซอร์	4
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับระบบควบคุม	5
2.1.1 การควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control Action)	7
2.1.2 การควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral Control Action)	9
2.1.3 การควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Control Active)	10
2.1.4 การควบคุมแบบพีไอ (Proportional and Integral Control Active)	11
2.1.5 การควบคุมแบบพีดี (Proportional and Derivative Control Active)	12
2.1.6 การควบคุมแบบพีไอดี (Proportional Integral and Derivative Control Active)	13
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์	14
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์	15
2.3.1 ไตรแอก (Triac)	16
2.3.1.1 การควบคุมกำลังไฟแบบเฟสทริกเกอร์	17
2.3.1.2 วงจรจุดชนวนเกตแบบควบคุมเฟส	18
2.3.2 คุณสมบัติของ TCA 785 Integrated Phase Control	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

2.3.4.1	วงจรแรงดันอ้างอิง (Reference Voltage)	20
2.3.4.2	วงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์ (Zero Crossing Detector)	20
2.3.4.3	วงจรสร้างสัญญาณลาดเอียง (Ramp Generator)	21
2.3.4.4	วงจรเปรียบเทียบ (Control Comparator Circuit)	22
2.3.4.5	การจูนชนวนเกตแบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์	25
2.3.4.6	เซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิ	27
<b>บทที่ 3</b>	<b>การประยุกต์ใช้งานของเซนเซอร์และวงจรมหาสัญญาณ</b>	<b>31</b>
3.1	การออกแบบวงจรส่วนต่าง ๆ ในชุดควบคุมอุณหภูมิ	31
3.1.1	วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง	31
3.1.2	วงจรเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิ โดยใช้ LM335	32
3.1.3	วงจรทรานซิสเตอร์และแยกโพล	33
3.1.4	วงจรควบคุมการทำงาน TCA 785	33
3.1.5	การประยุกต์ใช้งานของเทอร์มิสเตอร์ มาเป็นสัญญาณป้อนกลับ	34
3.1.6	วงจรรวมสัญญาณป้อนกลับและวงจรควบคุม	35
3.2	การออกแบบอุปกรณ์ในชุดควบคุมอุณหภูมิ	35
3.2.1	กล่องทำความร้อน	35
3.3.2	กล่องควบคุมอุณหภูมิ	37
3.3.3	Flow Chart แสดงการทำงาน เมื่อใส่ P Controller	38
3.3.4	อธิบายการทำงานของชุดควบคุมอุณหภูมิ	39
<b>บทที่ 4</b>	<b>การทดลองและผลการทดลอง</b>	<b>40</b>
4.1	ผลการทดลองของระบบวงเปิด	41
4.1.1	ผลการทดลองเมื่อทำการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ	41
4.1.2	ผลการทดลองเมื่อทำการใส่สัญญาณระดับ แบบหนึ่งหน่วยที่อุณหภูมิ 100 °C	43
4.2	ผลการทดลองของระบบวงปิด	45
4.2.1	ผลการทดลองของเทอร์มิสเตอร์เมื่อ ทำการเพิ่มอุณหภูมิต่อค่าความต้านทาน	45
4.2.2	ผลการทดลองของเทอร์มิสเตอร์เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นต่อแรงดัน	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

4.2.3 ผลการทดลองเมื่อทำการใส่สัญญาณระดับ	
แบบหนึ่งหน่วยในขณะที่ยังไม่ทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์	48
4.2.4 ผลการทดลองเมื่อทำการใส่สัญญาณระดับ	
แบบหนึ่งหน่วยเมื่อทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์แล้ว	51
<b>บทที่ 5 การสรุปผลการทดลอง</b>	56
5.1 สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	56
5.2 ข้อเสนอแนะ	56



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบควบคุมแบบวงเปิด	5
2.2 ระบบควบคุมแบบวงปิด	6
2.3 การควบคุมแบบสัดส่วน	7
2.4 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบสัดส่วน	8
2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรควบคุมกับอัตราการเปิดวาล์ว	8
2.6 การควบคุมแบบอินทิกรัล	9
2.7 แสดงผลตอบสนองการควบคุมแบบอินทิกรัลจากขั้นบันได	10
2.8 การควบคุมแบบอนุพันธ์	10
2.9 ผลตอบสนองสัญญาณแบบขั้นบันไดของกริยาควบคุมแบบอนุพันธ์	11
2.10 การควบคุมแบบพีไอ	12
2.11 การควบคุมแบบพีดี	12
2.12 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอกับสัญญาณแบบขั้นบันได	13
2.13 กระบวนของระบบ	14
2.14 กราฟแสดงผลตอบสนองต่อเวลา	14
2.15 ก. สัญลักษณ์ของไตรแอก ข. การใช้งานพื้นฐาน	16
2.16 กราฟลักษณะสมบัติของไตรแอก	15
2.17 แสดงการควบคุมวงจรที่ความสว่าง ของหลอดไฟโดยการปรับมุมสัญญาณทริกเกอร์	17
2.18 การเปลี่ยนแปลงค่าของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่โหลด	18
2.19 แผนภาพ TCA 785	19
2.20 การต่อแหล่งจ่ายแรงดันให้กับ TCA 785 และแรงดันอ้างอิงภายใน	20
2.21 การสร้างสัญญาณลาดเอียงกับวงจรตรวจวัดจุดตัดศูนย์	21
2.22 การปรับค่ากระแส $I_{cons}$ โดยการปรับความต้านทาน $R_9$	21
2.23 การเปรียบเทียบแรงดันควบคุมและแรงดันลาดเอียง แผนภาพสัญญาณพัลส์ของ TC 785	23
2.24 แผนภาพสัญญาณพัลส์ TCA 785 ที่จุดต่าง ๆ	24
2.25 ลักษณะของสัญญาณจุดชนวนเกิดแบบต่าง ๆ	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

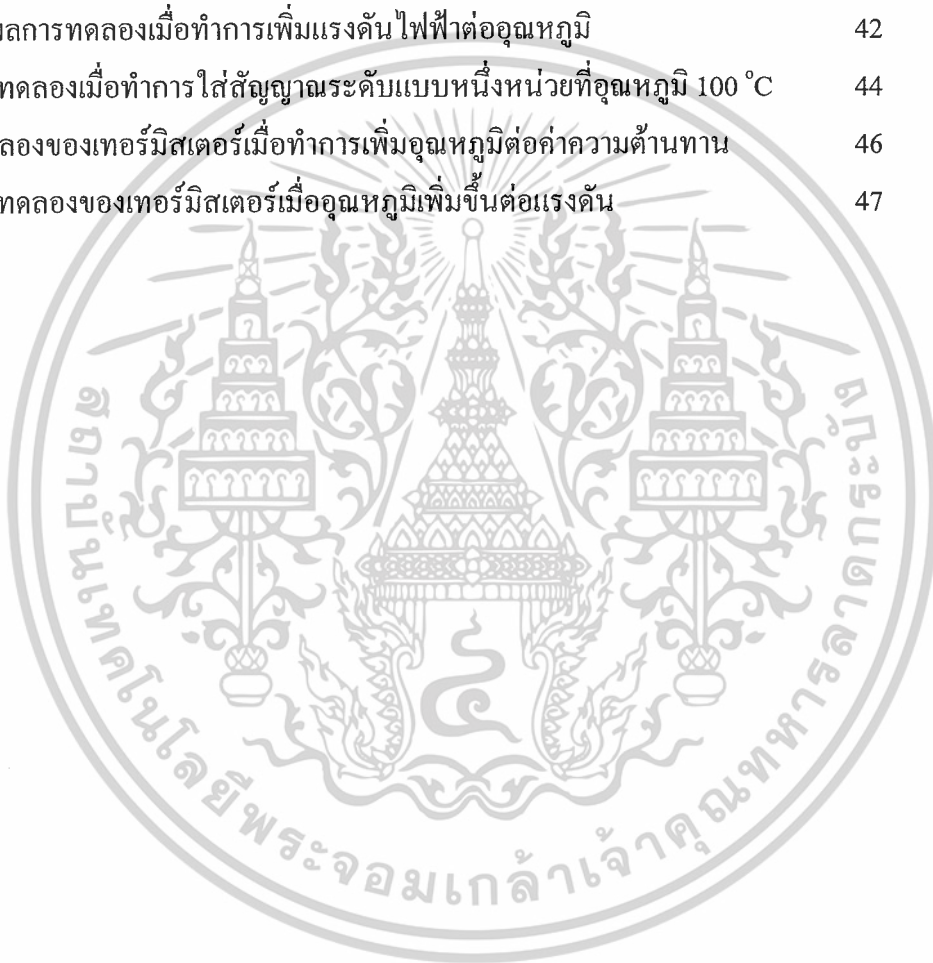
## สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.26 เทอร์มิสเตอร์ในรูปแบบต่าง ๆ	27
2.27 รูปของตัวไอซี LM335	28
2.28 วงจรของ LM335 และวงจรภายในของ LM335	28
2.29 วงจรตรวจวัดอุณหภูมิโดยใช้ LM 335 ที่มีการปรับค่า	30
3.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	31
3.2 วงจรพื้นฐานสำหรับตรวจวัดอุณหภูมิโดยใช้ LM 335	32
3.3 วงจรทรานซิสเตอร์และแยกโพล	33
3.4 วงจรควบคุมการทำงาน TCA 785	33
3.5 วงจรแบ่งแรงดัน	34
3.6 วงจรรวมสัญญาณป้อนกลับและวงจรควบคุม	35
3.7 กล้องทำความร้อน	36
3.8 กล้องควบคุมอุณหภูมิ	37
3.9 Flow Chart แสดงการทำงานของระบบ	38
4.1 กราฟเปรียบเทียบระหว่างแรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิ	42
4.2 กราฟเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิและเวลา	43
4.3 กราฟเปรียบเทียบระหว่างความต้านทานไฟฟ้าและอุณหภูมิ	46
4.4 กราฟเปรียบเทียบระหว่างแรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิ	47
4.5 เมื่อค่าเกนซ์ ( $K_p$ ) = 4	48
4.6 เมื่อค่าเกนซ์ ( $K_p$ ) = 6	49
4.7 เมื่อค่าเกนซ์ ( $K_p$ ) = 15	50
4.8 กราฟเมื่อมีการปรับแต่งโดยทฤษฎีของซิกเกอร์และนิโคร (Ziegler and Nichols)	51
4.9 กราฟการทดลองเมื่อปรับค่า $K_p = 9$ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	52
4.10 กราฟการทดลองเมื่อปรับค่า $K_p = 9$ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	53
4.11 กราฟการทดลองเมื่อปรับค่า $K_p = 9$ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	54
4.12 กราฟการทดลองเมื่อปรับค่า $K_p = 9$ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 เกณฑ์การปรับแต่งพารามิเตอร์โดยวิธีการของซิกเกอร์และนิโคร	15
2-2 ค่าเก็บประจุที่ต่อกับขา 12	26
2-3 ความกว้างของสัญญาณจุดชนวนแบบต่างๆ กับชนิดของโหลด	26
2-4 LM135/LM235/LM335 Temperature Ranges	30
4-1 ตารางผลการทดลองเมื่อทำการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ	42
4-2 ผลการทดลองเมื่อทำการใส่สัญญาณระดับแบบหนึ่งหน่วยที่อุณหภูมิ 100 °C	44
4-3 การทดลองของเทอร์มิสเตอร์เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิต่อค่าความต้านทาน	46
4-4 ผลการทดลองของเทอร์มิสเตอร์เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นต่อแรงดัน	47



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและแรงจูงใจในการทำปริญญานิพนธ์

ในการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมต่าง ๆ จะต้องใช้บุคลากรที่มีความรู้ความสามารถตลอดจนความเข้าใจเกี่ยวกับอุปกรณ์การวัดและการควบคุมชนิดต่าง ๆ เป็นอย่างมาก ในปัจจุบันเทคโนโลยีการวัดและการควบคุม ได้พัฒนาไปอย่างมากและรวดเร็ว เพื่อให้เกิดผลผลิตที่มีคุณภาพสูงและต้นทุนการผลิตที่ต่ำ เทคโนโลยีที่ใช้จะถูกนำเข้าจากต่างประเทศทั้งสิ้น เป็นผลให้การพัฒนาเทคโนโลยีขึ้นในประเทศเพื่อการทดแทนถูกละเลย นักศึกษาตลอดจนบุคลากรในภาคอุตสาหกรรมเป็นเพียงผู้ตามและผู้บริโภคเทคโนโลยีนำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านการวัดและการควบคุมจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างมากที่จะเสริมสร้างและเป็นแรงกระตุ้นให้เกิดการพึ่งพาตนเอง การพัฒนาบุคลากรให้สามารถให้เข้าใจในทฤษฎีและปฏิบัติ เพื่อสร้างเทคโนโลยีขึ้นเองได้นั้น จะต้องอาศัยความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับเทคนิควิธีการวัดและควบคุมชนิดต่าง ๆ ในระบบควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรม การเสริมสร้างความรู้ทางด้านทฤษฎีนั้นทางภาควิชาาระบบควบคุมมีความพร้อมอยู่มาก เนื่องจากมีบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถอยู่มากมาย แต่ในทางตรงกันข้ามการศึกษาทางด้านปฏิบัติจะมีข้อจำกัดอยู่มากอันเนื่องมาจากเครื่องมือที่ใช้มีราคาสูงมากตลอดจนเทคโนโลยีที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและเป็นการนำเข้าจากต่างประเทศเป็นผลให้เครื่องมือที่มีอยู่ใช้งาน ได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพ ในการรองรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นปัญหาหลักในการพัฒนาบุคลากรและเป็นปัญหาใหญ่ของระบบการเรียนการสอนในสาขาในในทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ในการศึกษาทางด้านปฏิบัติจึงจำเป็นที่จะต้องมียุคปฏิบัติการที่มีความคล่องตัวและเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบต่าง ๆ ที่สามารถรองรับและเสริมสร้างเทคโนโลยีใหม่ ๆ ได้ ทางภาควิชาาระบบควบคุมจึงได้ดำเนินการวิจัยและพัฒนาชุดปฏิบัติการการควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งการควบคุมอุณหภูมิจะเป็นกระบวนการหลักกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรม การกลั่นน้ำมัน อุตสาหกรรมน้ำตาล อุตสาหกรรมยาง อุตสาหกรรมเครื่องดื่มน้ำและอุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น เพื่อใช้เป็นชุดปฏิบัติการเสริมสร้างความรู้และความเข้าใจ ตลอดจนก่อให้เกิดแนวความคิดทั้งทางด้านทฤษฎีและเทคโนโลยีการควบคุมใหม่ ๆ ขึ้น และเป็นการลดการนำเข้าชุดปฏิบัติการและเทคโนโลยีราคาแพงจากต่างประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการทำโครงการ

- ศึกษาการทำงานของกระบวนการควบคุม
- ศึกษาการทำงานของชุดควบคุม
- เพื่อสร้างชุดทดลองการควบคุมอุณหภูมิ

## 1.3 แนวความคิดและขอบเขตของโครงการ

โครงการชุดทดลองควบคุมอุณหภูมินี้ได้จัดทำขึ้นเนื่องมาจากทางคณะผู้จัดทำได้สังเกตเห็นถึงปัญหาของทางภาควิชาฯ อันได้แก่ข้อจำกัดของการศึกษาทางภาคปฏิบัติอันเนื่องมาจากเครื่องมือที่ใช้มีราคาสูงมาก ตลอดจนเทคโนโลยีที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและเป็นการนำเข้าจากต่างประเทศ เป็นผลให้เครื่องมือที่มีอยู่ใช้งานได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพในการรับรองเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นปัญหาหลักในการพัฒนาบุคลากรและเป็นปัญหาใหญ่ของระบบการเรียนการสอนในสาขานี้ในทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ในการศึกษาทางด้านปฏิบัติจึงจำเป็นต้องมีชุดทดลองที่มีความคล่องตัวและเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบต่าง ๆ ที่สามารถรองรับและเสริมสร้างเทคโนโลยีใหม่ๆ ได้ จึงได้จัดทำโครงการขึ้นนี้ขึ้นมา ซึ่งชุดทดลองควบคุมอุณหภูมิ มีส่วนประกอบที่สำคัญหลายส่วน ทั้งส่วนควบคุมอัตโนมัติและส่วนแสดงผล

ส่วนควบคุมอัตโนมัติประกอบด้วย ส่วนตรวจจับอุณหภูมิ ซึ่งจะทำการวัดอุณหภูมิและส่งค่าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้กับค่าที่ต้องการควบคุม ถ้าหากค่าที่วัดได้ไม่ตรงกับค่าที่ต้องการควบคุม จะสั่งการให้อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิทำงาน เมื่ออุณหภูมิมีค่าตรงกับค่าอุณหภูมิมีค่าตรงกับค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ อุปกรณ์ควบคุมจะหยุดทำงาน

ส่วนแสดงผล มีการติดตั้งจอแสดงผลแบบ LCD เพื่อแสดงค่าอุณหภูมิที่ต้องการและค่าอุณหภูมิที่ทำการวัดได้ นอกจากนี้ยังมีกราฟแสดงผลการทดลองเพื่อง่ายต่อการเข้าใจอีกด้วย

## 1.4 โครงสร้างเนื้อหาของโครงการ

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความจำเป็นมาและแรงจูงใจในการทำโครงการนี้ แนวคิดและขอบเขต

โครงสร้างเนื้อหาโครงการและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำโครงการ

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการนี้

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน การออกแบบและการสร้างระบบ

บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง

บทที่ 5 สรุป วิเคราะห์ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ

- เกิดประสบการณ์การเรียนรู้ และเข้าใจ การทำงานหลักของชุดทดลองควบคุมอุณหภูมิ
- สามารถนำเทคโนโลยีไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้กับชิ้นงาน
- ได้เรียนรู้ที่จะทำงานร่วมกันเป็นทีม และการบริหารเวลา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการ

### กล่าวนำ

โดยทั่วไปเป้าหมายของระบบควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ในอุตสาหกรรม คือ การรักษาปริมาณทางฟิสิกส์ อันได้แก่ อุณหภูมิ (Temperature) แรงดัน (Pressure) ระดับ (Level) และอื่น ๆ ให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการมากที่สุด ซึ่งการควบคุมที่ดีย่อมเริ่มจาก การเลือกแบบควบคุมที่เหมาะสม บางโรงงานอาจใช้การควบคุมแบบง่าย ๆ ด้วยมือ (Manual Control) ซึ่งอาศัยพนักงาน (Operator) คอยทำหน้าที่ตรวจวัดและปรับแต่งการควบคุมให้ผลตอบสนองเป็นไปตามต้องการ จะเห็นได้ว่าการควบคุมแบบนี้จำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์ และความชำนาญของพนักงานเป็นหลัก แต่ในความเป็นจริงแล้วมนุษย์หรือพนักงานไม่สามารถทำงานได้ดีเท่ากันตลอดเวลา จึงทำให้ประสิทธิภาพของการควบคุมลดลง ปัจจุบันโรงงานที่ต้องการการควบคุมที่มีความแม่นยำและประสิทธิภาพสูง จำเป็นต้องนำเครื่องควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Control) มาใช้งาน โดยเครื่องควบคุมอัตโนมัติจะทำหน้าที่หลักในการคำนวณหาสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมตามเกณฑ์การควบคุม (Control Law) ที่พนักงานได้กำหนดไว้ล่วงหน้า ซึ่งระบบควบคุมอัตโนมัติที่เราพบเห็นกันอยู่บ่อย ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมก็คือ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control System) ระบบควบคุมป้อนกลับโดยทั่วไปประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 4 ส่วน คือ

ตัวควบคุม (Controller) เป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุมเพื่อทำหน้าที่ควบคุมให้ระบบหรือกระบวนการที่ต้องการควบคุมมีเอาต์พุต หรือผลตอบสนองเป็นไปตามต้องการ ตัวควบคุมมีหลายแบบ เช่นตัวควบคุมแบบ ON-OFF (ตัวควบคุมแบบสองตำแหน่ง) ตัวควบคุมแบบ Proportion (P) ตัวควบคุมแบบ Integral (I) ตัวควบคุมแบบ Derivative (D) หรือการใช้ตัวควบคุมหลาย ๆ แบบร่วมกัน เช่นตัวควบคุมแบบ PI ตัวควบคุมแบบ PD และตัวควบคุมแบบ PID เป็นต้น ซึ่งสัญญาณที่ออกจากตัวควบคุมคือตัวแปรปรับกระบวนการ

อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final Control Element) หมายถึงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปรับสภาวะของกระบวนการ ด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรปรับกระบวนการ ตามคำสั่งหรือสัญญาณควบคุมที่ได้รับจากการควบคุม อุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายนั้นมีอยู่ด้วยกันหลากหลายเช่น วาล์วควบคุม (Control Valve) อินเวอร์เตอร์ (Inverter) และตัวกระทำ (Actuator) เป็นต้น แต่ที่มักพบเห็นกันมากคือ วาล์วควบคุม

กระบวนการ (Plant or Process) หมายถึง ระบบหรือกระบวนการทางฟิสิกส์ที่ต้องการควบคุมให้มีสถานะเป็นไปตามต้องการ เช่น การควบคุมระดับของเหลว กระบวนการเกี่ยวกับการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมอุณหภูมิ เป็นต้น ซึ่งสถานะของกระบวนการแสดงด้วยตัวแปรกระบวนการ (Process Variable : PV)

อุปกรณ์การวัด (Measurement) หมายถึง อุปกรณ์จำพวก เซนเซอร์ (Sensor) ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) หรืออุปกรณ์แปลง (Transmitter) หรือเครื่องวัดสัญญาณอื่น ๆ กระบวนการเพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปใช้ได้ไปใช้เป็นตัวแปรการควบคุม โดยสัญญาณขาออกของอุปกรณ์วัด โดยทั่วไปจะเป็นสัญญาณมาตรฐานทางอุตสาหกรรม เช่น สัญญาณกระแสไฟฟ้า 4-20 มิลลิแอมป์ (4 - 20 mA DC) สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 1-5 โวลต์ (1-5 V DC) หรือสัญญาณลมขนาด 3 - 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (3-15 psi หรือ 0.2-1.0 kg/cm<sup>2</sup>) เป็นต้น

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับชุดควบคุมอุณหภูมิแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

- ทฤษฎีเกี่ยวกับควบคุม
- ทฤษฎีเกี่ยวกับการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์
- ทฤษฎีเกี่ยวกับด้านอิเล็กทรอนิกส์

## 2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับระบบควบคุม

ระบบควบคุมอาจจะแบ่งอย่างง่าย ๆ ออกเป็น 2 แบบ คือ ระบบควบคุมแบบวงปิด (Closed Loop Control System) และระบบควบคุมแบบวงเปิด (Open Loop Control System)

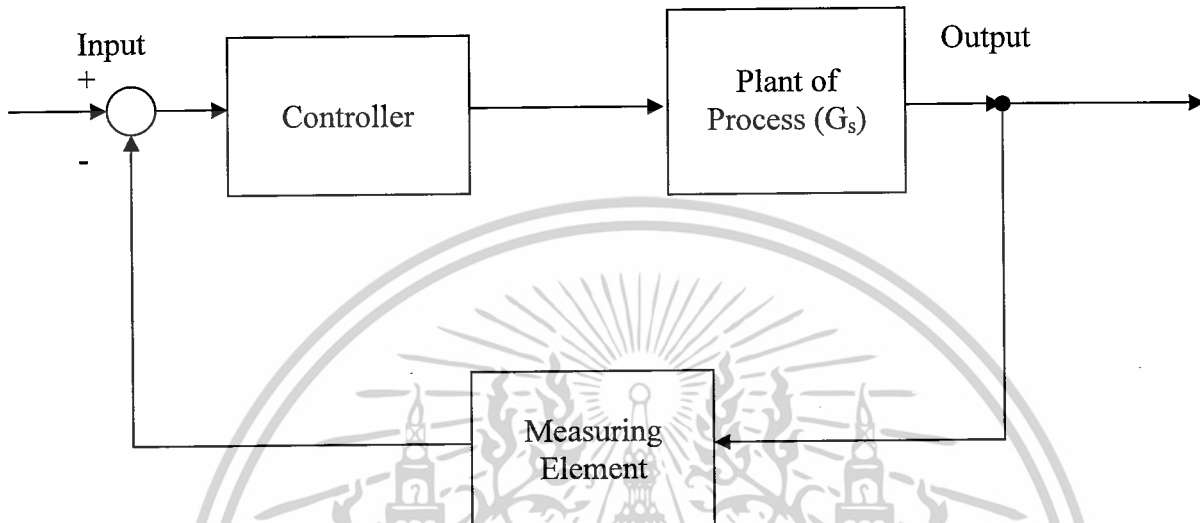
ระบบควบคุมแบบวงเปิดเป็นระบบที่เอาต์พุตของระบบจะไม่มีผลต่อการควบคุมเลย นั่นคือ ในกรณีของระบบควบคุมแบบวงเปิดนั้นเอาต์พุตของระบบจะไม่ถูกวัดหรือถูกป้อนกลับเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับอินพุต ดังรูปที่ 2.1 เป็น (Block Diagram) แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต และเอาต์พุตของระบบควบคุมแบบวงเปิด



รูปที่ 2.1 ระบบควบคุมแบบวงเปิด

ระบบควบคุมแบบวงปิดเป็นระบบควบคุมแบบหนึ่งซึ่งสัญญาณเอาต์พุตจะมีผลโดยตรงต่อการควบคุม ดังนั้นระบบควบคุมแบบวงปิดก็คือ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับนั่นเอง โดยที่สัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน (Actuating Error Signal) ซึ่งเป็นสัญญาณความแตกต่างระหว่างสัญญาณอินพุต (Input) และสัญญาณป้อนกลับ (Feedback Signal) จะถูกป้อนให้กับตัวควบคุม (Controller) เพื่อลดความคลาดเคลื่อนให้น้อยลงและทำให้เอาต์พุต (Output) ของระบบมีค่าตรงไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามเป้าหมายที่ต้องการสัญญาณป้อนกลับนี้อาจเป็นสัญญาณเอาต์พุตโดยตรง หรือเป็นสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันหรือเป็นค่าอนุพันธ์ของสัญญาณเอาต์พุตก็ได้ ดังรูปที่ 2.2 เป็นบล็อกไดอะแกรมที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของระบบควบคุมแบบวงปิด



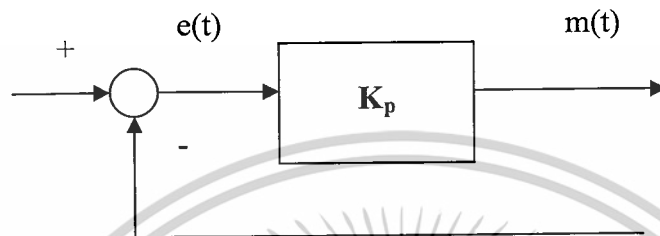
รูปที่ 2.2 ระบบควบคุมแบบวงปิด

การควบคุมที่นิยมใช้ในกระบวนการ ได้แก่ การควบคุมแบบป้อนกลับ ซึ่งเป็นการควบคุมด้วยมือ (Manual) หรือแบบอัตโนมัติก็ได้ ตัวอย่างเช่น การควบคุมอุณหภูมิของอ่างอาบน้ำ ผู้ควบคุมอาจใช้มือข้างหนึ่งจุ่มลงในอ่างน้ำเพื่อวัดอุณหภูมิน้ำ และใช้มืออีกข้างปรับน้ำร้อนที่ไหลเข้ามาหรือลดเพื่อให้ น้ำในอ่างมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ การควบคุมแบบนี้เรียกว่าการควบคุมแบบป้อนกลับแบบควบคุมด้วยมือ ถ้าผู้ควบคุมใช้เทอร์โมมิเตอร์ในการวัดอุณหภูมิแล้ว เขาก็จะสามารถควบคุมอุณหภูมิของน้ำในอ่างได้เที่ยงตรงมากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ้าทำการวัดได้อย่างเที่ยงตรงแล้วสามารถทำให้ควบคุมได้ดีขึ้น สำหรับในกรณีของการควบคุมแบบป้อนกลับแบบอัตโนมัติ นั้นต้องใช้อุปกรณ์ควบคุมด้วยเครื่องส่งสัญญาณ เพื่อไปเปรียบเทียบกับค่าของอุณหภูมิของน้ำที่ต้องการ ตัวควบคุมก็สร้างสัญญาณควบคุมเพื่อไปควบคุมการเปิด-ปิดของวาล์วควบคุมที่ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณของน้ำร้อนที่ไหลเข้าอ่างให้มากขึ้นหรือน้อยลงเพื่อให้ น้ำมีอุณหภูมิที่ต้องการ

ในทางอุตสาหกรรมการควบคุมระบบวงปิดเป็นที่นิยมใช้ ซึ่งตัวควบคุม (Controller) นั้น ๆ ก็จะมีลักษณะที่แตกต่างกันไป ดังนี้

### 2.1.1 การควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control Action)

เป็นปฏิกิริยาควบคุมซึ่งค่อนข้างจะสม่ำเสมอและเป็นเชิงเส้นระหว่างความสัมพันธ์ของสัญญาณเอาต์พุต (Output) ของตัวควบคุม  $m(t)$  กับสัญญาณความคลาดเคลื่อน  $e(t)$  ดังรูปที่ 2.3



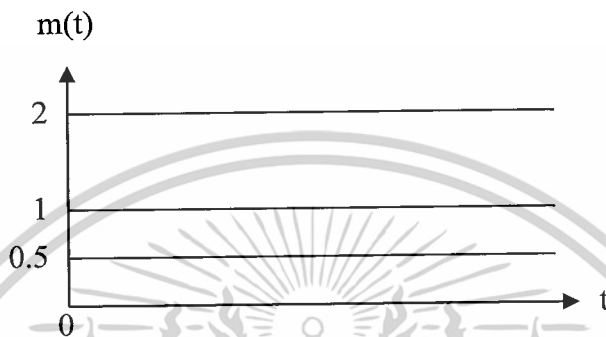
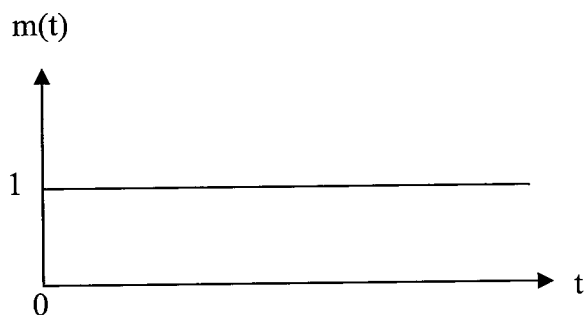
รูปที่ 2.3 การควบคุมแบบสัดส่วน

$$m(t) = K_p e(t)$$

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p$$

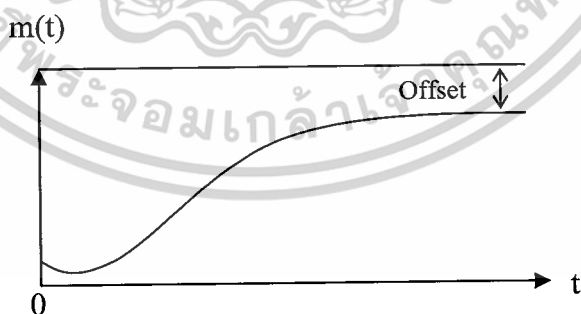
$$PB = \left( \frac{1}{K_p} \right) \times 100\%$$

โดยที่  $K_p$  จะอยู่ในเทอมของ Proportional Sensitivity หรืออัตราขยาย Proportion Band (PB) คือการเปลี่ยนแปลงของอินพุตเพื่อที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุตมากที่สุดในการควบคุมแบบสัดส่วน ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบสัดส่วน

การเกิดออฟเซต (Offset) เป็นคุณลักษณะของระบบควบคุมแบบสัดส่วน ทั้งนี้เนื่องจากการทำงานของระบบควบคุมสัดส่วนนั้น ไม่สามารถควบคุมระบบที่มีโหลด (Load) เปลี่ยนแปลงได้ดีเท่าที่ควรและกรณีที่มีโหลด (Load) คงที่แต่เปลี่ยนแปลงได้ดีเท่าที่ควรและในกรณีที่มีโหลด (Load) คงที่แต่เปลี่ยนแปลงค่าของระดับเซ็ทพอยท์ (Set Point) ที่ควบคุมไปก็เช่นเดียวกันจะเกิดมีออฟเซต (Offset) ก็คือค่าความแตกต่างของอินพุตและเอาต์พุตที่อยู่ในสถานะคงที่เมื่อเป้าหมายคงที่นั่นเอง ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรควบคุมกับอัตราการเปิดวาล์ว

เราสามารถลดค่าการเกิดออฟเซต (Offset) ได้โดย

1. เพิ่มค่าเกนของอัตรายายแบบสัดส่วน

2. เพิ่มค่าสัญญาณจัดการที่สถานะเริ่มต้น ( $m_0$ ) คือ  $M_r = (K_p * e) + m_0$

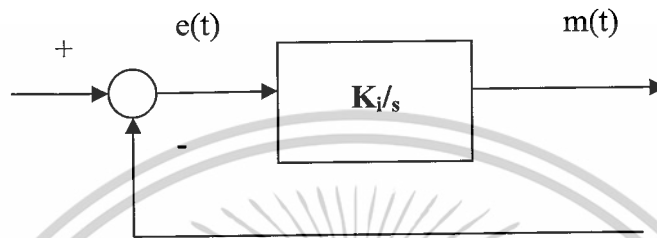
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

3. เปลี่ยนค่าเป้าหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.2 การควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral Control Action)

เป็นการควบคุมซึ่งค่าเอาต์พุต (Output) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าอินทิกรัล (Integral) เริงเวลาของอินพุต (Input) จะมีความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุต (Output) ของตัวควบคุม  $m(t)$  และค่าความคลาดเคลื่อน  $e(t)$  ดังรูปที่ 2.6



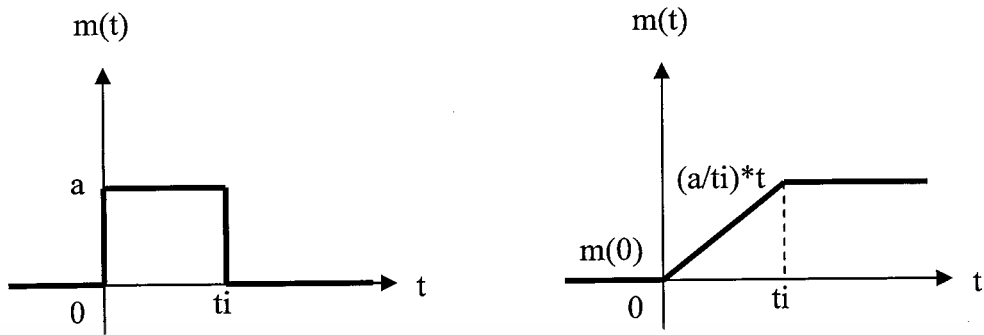
รูปที่ 2.6 การควบคุมแบบอินทิกรัล

$$m(t) = K_i \int_0^t e(t) dt$$

$$\frac{M(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s}$$

โดยที่ค่า  $K_i$  เป็นค่าคงที่ที่สามารถปรับค่าได้

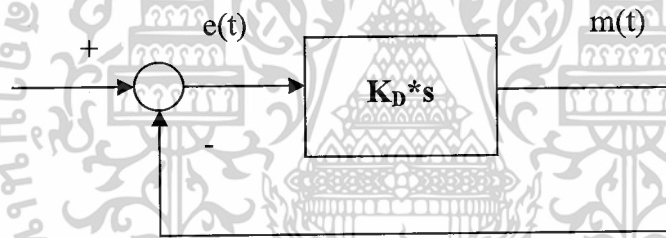
ในการควบคุมแบบอินทิกรัลนั้นค่าเอาต์พุตของตัวควบคุม  $m(t)$  จะเปลี่ยนแปลงตามค่าความผิดพลาด  $e(t)$  ดังนั้นถ้าความผิดพลาดซึ่งได้เกิดขึ้นทำให้ระบบได้ค่าที่ผิดไป จากค่าที่ต้องการแล้ว อุปกรณ์ควบคุมจะจัดการกับค่าความผิดพลาดโดยเร็ว (โดยลดให้ค่า Error นี้หมดไป) เมื่อตัวแปรควบคุมอยู่ที่ค่าเป้าหมายแล้วอุปกรณ์ควบคุมส่วนท้าย (Final Element Control) จะยังไม่ทำงาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบอยู่ในสถานะคงที่แล้วนั่นเอง ดังนั้นในการควบคุมแบบอินทิกรัลจะไม่ทำให้เกิดค่าออฟเซต (Offset) ขึ้นมา ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงผลตอบสนองการควบคุมแบบอินทิกรัลจากขั้นบันได

### 2.1.3 การควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Control Active)

เป็นการควบคุมที่ค่าเอาต์พุต (Output) เป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของอินพุต (Input) โดยมีความสัมพันธ์ดังรูป



รูปที่ 2.8 การควบคุมแบบอนุพันธ์

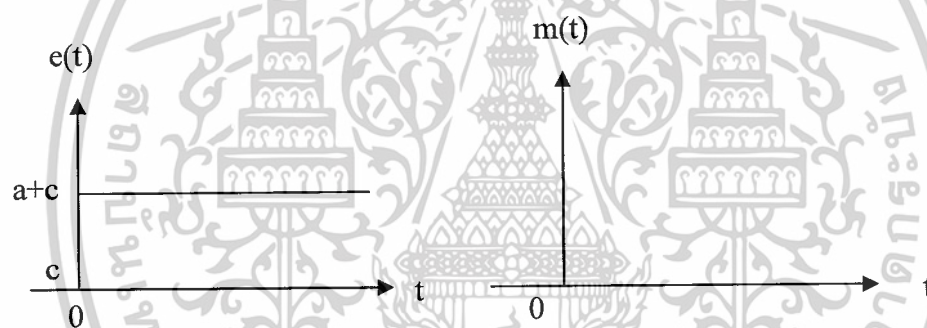
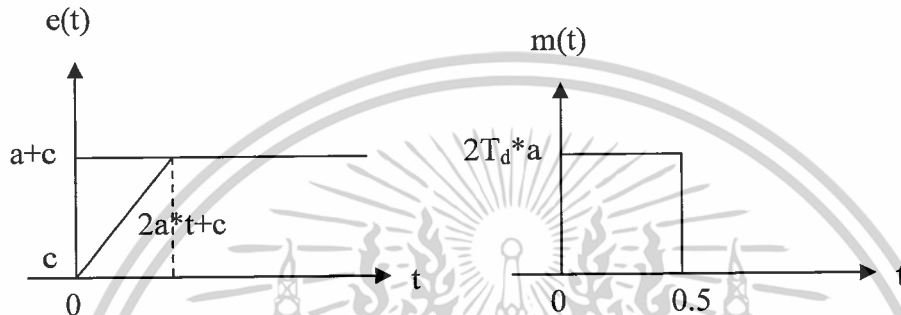
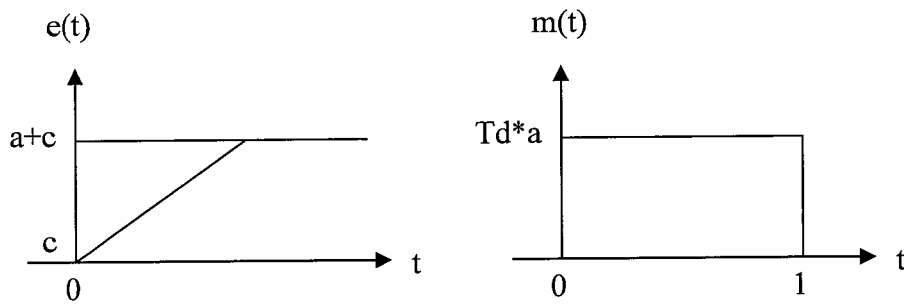
$$m(t) = K_D \times \frac{de(t)}{dt}$$

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_D * s$$

โดยที่  $K_D$  เป็นค่าคงที่ที่สามารถปรับค่าได้

เมื่อเพิ่มการควบคุมแบบอนุพันธ์ ไฟในเครื่องควบคุมจะเป็นการควบคุมนำในเครื่องควบคุมเพื่อชดเชยมุมตามในฟังก์ชันถ่ายโอนซึ่งกระบวนการส่วนใหญ่จะมีค่าเป็นแบบมุมตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ผลตอบสนองสัญญาณแบบขั้นบันไดของกริยาควบคุมแบบอนุพันธ์

#### 2.1.4 การควบคุมแบบพีไอ (Proportional and Integral Control Active)

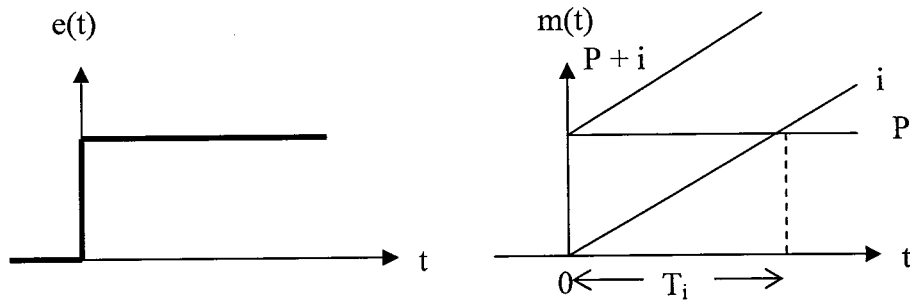
เป็นการควบคุมที่ค่าเอาพุท เป็นสัดส่วนแบบเชิงเส้นกับผลรวมกับค่าอินพุทและค่าอินทิกรัลเวลาของอินพุท โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$m(t) = [K_p e(t)] + \left[ \frac{K_p}{T_i} \right] \int_0^t e(t) dt$$

หรือ

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

โดยที่  $K_p$  เป็นค่าของ Proportional Sensitivity หรืออัตราขยาย  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 $T_i$  เป็นค่าของ Integral Time  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



0

รูปที่ 2.10 การควบคุมแบบพีไอ

ข้อดีของการควบคุมแบบพีไอคือตัวควบคุมอินทิกรัลจะกำจัดออฟเซต (Offset) ของตัวควบคุมแบบสัดส่วนให้หมดไป

### 2.1.5 การควบคุมแบบพีดี (Proportional and Derivative Control Active)

เป็นการควบคุมซึ่งเอาที่พหุสัดส่วน โดยตรงกับผลรวมของค่าอินพุตกับผลคูณคาบเวลากับอัตราการเปลี่ยนแปลงอินพุต โดยสามารถแสดงด้วยสมการดังต่อไปนี้

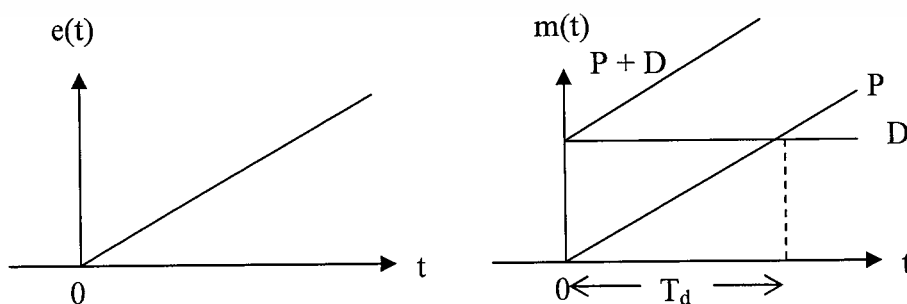
$$m(t) = [K_p e(t)] + \left[ K_p T_D \frac{de(t)}{dt} \right]$$

หรือ

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

โดยที่  $K_p$  เป็นค่าของ Proportional Sensitivity หรืออัตราขยาย

$T_i$  เป็นค่าของ Derivative Time



รูปที่ 2.11 การควบคุมแบบพีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของการควบคุมพีดีคือ เมื่อสัญญาณเข้ามาเป็นเชิงเส้น (Ramp) จะมีผลตอบสนองทางเวลาได้เร็วกว่าการควบคุมแบบสัดส่วนเพียงอย่างเดียว

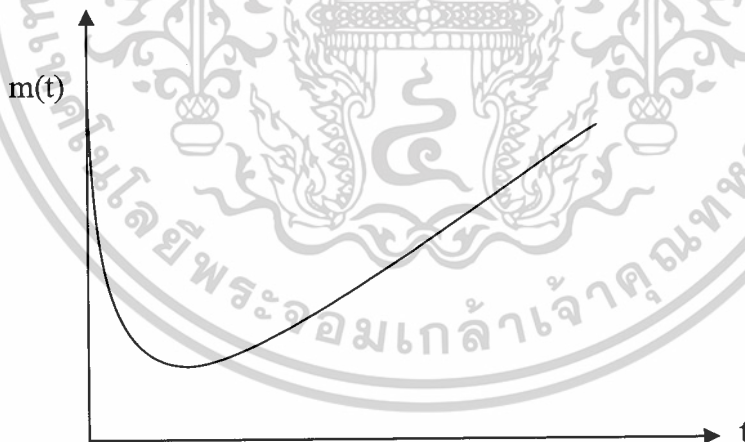
## 2.1.6 การควบคุมแบบพีไอดี (Proportional Integral and Derivative Control Active)

เป็นการควบคุมที่เอาค่าเอาที่พหุเป็นสัดส่วนกับค่าอินทิกรัลเชิงเวลาของอินพุท และค่าผลคูณของเวลากับอัตราเปลี่ยนแปลงของอินพุท โดยสามารถแสดงให้ได้ตามสมการต่อไปนี้

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

หรือ

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



รูปที่ 2.12 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอกับสัญญาณแบบขั้นบันได

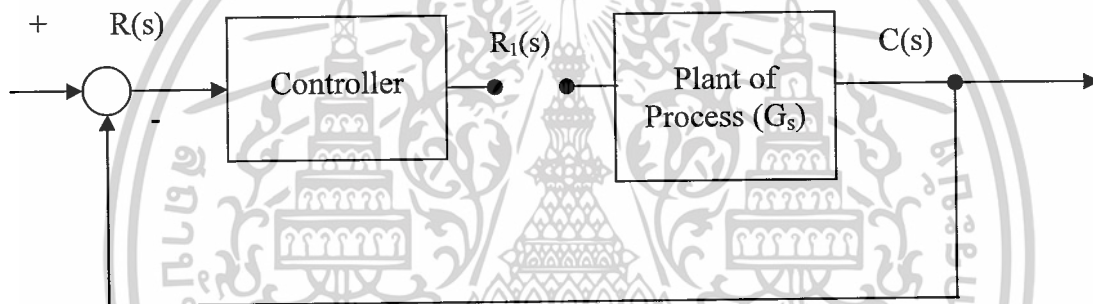
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์

การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเป็นขั้นตอนสำคัญที่จะทำให้ผลสนองของระบบวงปิดเป็นไปตามข้อกำหนดที่วางเอาไว้ โดยปกติระบบวงปิดจะต้องการให้มีผลสนองที่เร็วและมีเสถียรภาพในทางปฏิบัติที่มีผลตอบสนองที่เร็วจะมีเสถียรภาพของระบบที่ไม่ดีและเกิดการแกว่งของผลลัพธ์จุดออกที่ค่อนข้างมาก การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมจะใช้กันมากในทางอุตสาหกรรมโดยใช้วิธีการของซิกเกอร์และนิโคล (Ziegler and Nichols)

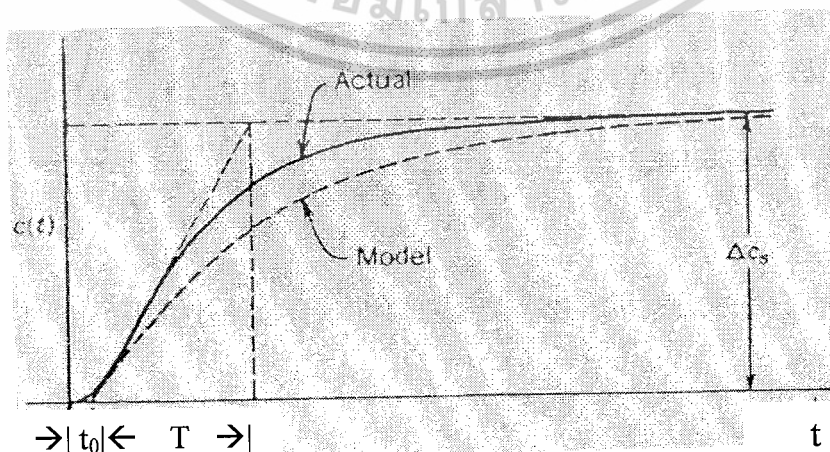
### วิธีการของซิกเกอร์และนิโคล (Ziegler and Nichols)

1. ป้อนสัญญาณขั้นบันไดเข้าจุดอ้างอิง  $R_1(s)$  ของกระบวนการที่ต้องการทดสอบดังรูป



รูปที่ 2.13 กระบวนการของระบบ

2. วัดค่าสัญญาณผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการซึ่งอาจจะใช้เวลาเร็วหรือช้าเป็นชั่วโมงขึ้นอยู่กับผลตอบสนองของกระบวนการ ผลตอบสนองที่ได้จากการทดสอบโดยปกติจะมีรูปร่างแสดงในรูป



รูปที่ 2.14 กราฟแสดงผลตอบสนองต่อเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จะทำการประมาณค่าโดยการเขียนเส้นตรงให้สัมผัสกับกราฟที่จุดที่มีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุด (Maximum Rate of Change) เส้นตรงสัมผัสกับกราฟนี้ในส่วนที่ตัดกับค่าขนาดที่เท่ากับศูนย์จะได้ค่าเวลาไ้ผลตอบสนอง  $t_0$
4. จากรูปด้านบน จะได้ว่า

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

เมื่อ  $t_0$  คือช่วงเวลาไ้ผลตอบสนอง  $T$  คือค่าเวลาคงตัว  $A$  คือค่าอัตราขยายของระบบ

5. เกณฑ์การปรับแต่งพารามิเตอร์โดยวิธีการของซิกเกอร์และนิโครจะอาศัยตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2-1 เกณฑ์การปรับแต่งพารามิเตอร์โดยวิธีการของซิกเกอร์และนิโคร

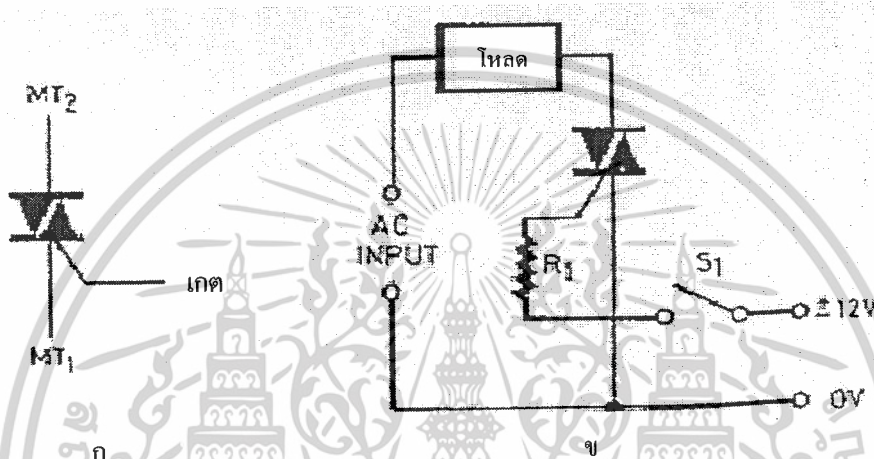
ชนิดของตัวควบคุม	$K_p$	$T_t$	$T_p$
P	$\frac{1}{K} \left( \frac{T}{t_0} \right)$	-	-
PI	$\frac{0.9}{K} \left( \frac{T}{t_0} \right)$	$\frac{t_0}{0.3}$	-
PID	$\frac{1.2}{K} \left( \frac{T}{t_0} \right)$	$2t_0$	$\frac{t_0}{2}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์

### 2.3.1 ไตรแอก (Triac)

ลักษณะโครงสร้างของไตรแอกนี้เหมือนกับการนำเอาเอสซีอาร์ 2 ตัวมาต่อขนานกันในลักษณะกลับขั้ว ส่วนขาเกตต่อร่วมเข้าด้วยกัน ดังนั้นไตรแอกจะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม ระบบไฟฟ้าได้ทั้งแบบไฟตรง และไฟสลับ นั่นคือความสามารถในการนำกระแสได้ทั้งสองทิศทาง โดยการทรักที่เกตนั่นก็สามารถกระทำได้ทั้งสองทิศทางเช่นกัน



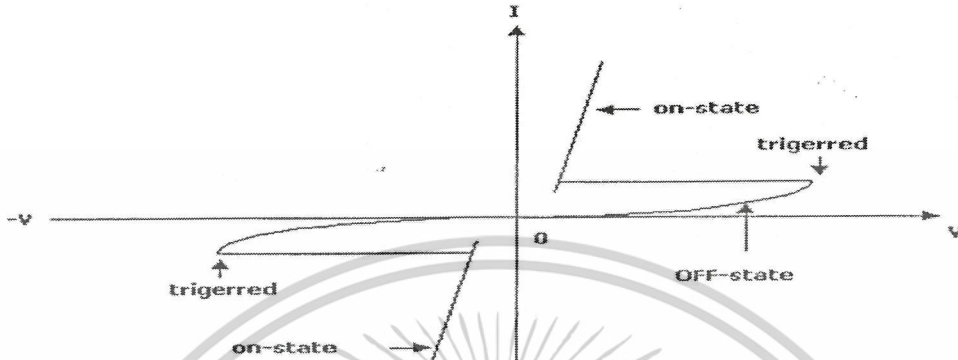
รูปที่ 2.15 ก. สัญลักษณ์ของไตรแอก ข. การใช้งานพื้นฐาน

คุณสมบัติพื้นฐานของไตรแอกซึ่งมีดังนี้

1. โดยปกติ ถ้าไม่มีสัญญาณทรักที่เกต ไตรแอกจะไม่ทำงาน โดยจะมีลักษณะเหมือนกับสวิตช์ที่ถูกเปิดวงจร
2. ถ้าในกรณีที่  $MT_2$  และ  $MT_1$  ถูกป้อนด้วยแรงดันบวกและลบตามลำดับ ไตรแอกจะถูกกระตุ้นให้ทำการป้อนสัญญาณพัลส์เพียงสั้นๆ ที่เกตของมัน โดยจะมีแรงดันตกคร่อมตัวมัน มีค่าประมาณ 1 หรือ 2 โวลต์ เท่านั้น และก็เช่นกันคือเมื่อไตรแอกเริ่มทำงานแล้ว ก็จะสามารถคงสภาพการทำงานอยู่เช่นนั้นต่อไปเรื่อยๆ ตราบเท่าที่ยังมีกระแสไหลผ่านตัวมันอย่างต่อเนื่อง
3. หลังจากที่ไตรแอกคงสภาพการทำงานอยู่เช่นนั้น ทางเดียวที่จะหยุดการทำงานลงได้ ก็โดยการลดปริมาณกระแสที่ไหลผ่านตัวมันลง ให้มีค่าต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้งของมัน ในกรณีที่ใช้ไตรแอกในการจ่ายกระแส AC การหยุดทำงานจะเกิดขึ้นอย่างอัตโนมัติ เมื่อแรงดันของไฟสลับเข้าใกล้จุดตัดศูนย์ที่เกิดขึ้นทุกๆ ครึ่งคลื่น นั่นคือกระแสจะลดลงเป็นศูนย์
4. ไตรแอกถูกกระตุ้นให้ทำงานได้ ทั้งสัญญาณแบบบวกและลบที่ป้อนให้กับขาเกต โดยไม่คำนึงถึงขั้วที่ต่ออยู่ที่  $MT_1$  และ  $MT_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ไตรแอกสามารถทนการกระชากของกระแสได้สูง เช่น โดยปกติสำหรับไตรแอกที่ทนกระแสปกติได้ 10 แอมแปร์ (rms) สามารถทนการกระชากของกระแสในช่วงหนึ่ง คาบเวลาของไฟฟ้า 60 เฮิร์ตซ์ได้สูงถึง 100 แอมแปร์ เป็นต้น

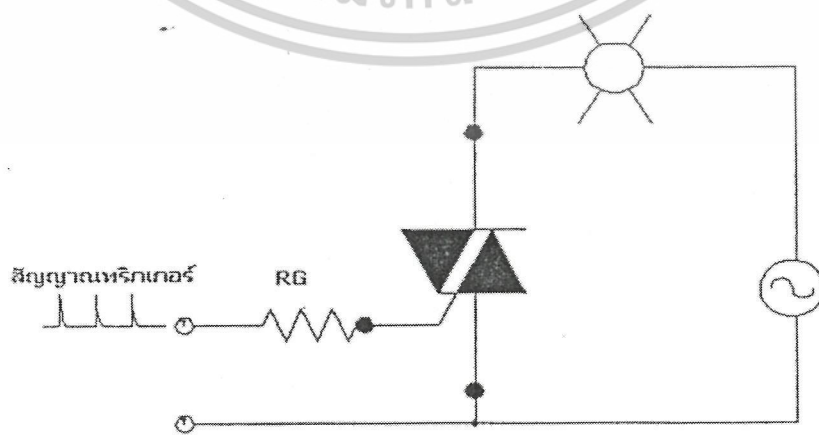


รูปที่ 2.16 กราฟลักษณะสมบัติของไตรแอก

การจุดชนวนเกิดของไตรแอก สามารถแบ่งการจุดชนวนเกิดของไตรแอกได้ 2 แบบดังนี้

### 2.3.1.1 การควบคุมกำลังไฟแบบเฟสทริกเกอร์

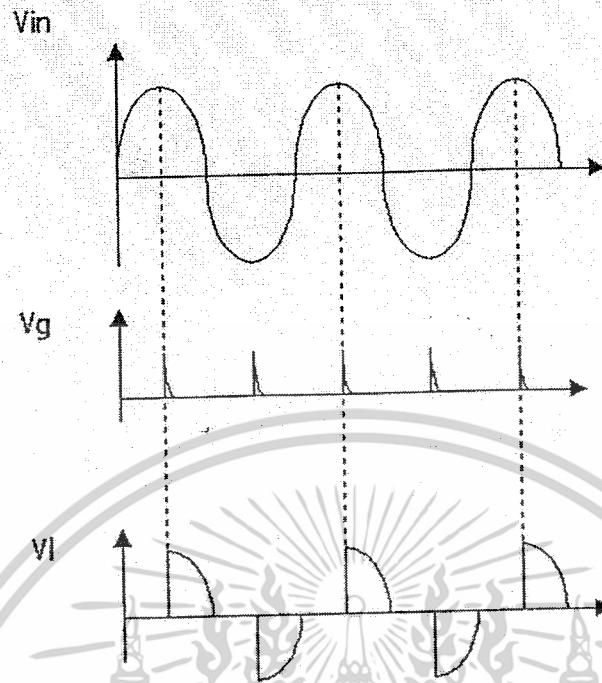
จากตัวอย่างการใช้งานไตรแอกที่กล่าวมาตั้งแต่ต้นนี้เป็นการใช้งานในลักษณะเป็นสวิตช์เปิด/ปิด การจ่ายไฟให้แก่โหลดต่างๆ แต่ความจริงแล้วการใช้งานสามารถขยายออกไปได้อีกมาก เช่น ใช้เป็นวงจรควบคุมสว่างของหลอดไฟ หรือเป็นวงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ เป็นต้น ซึ่งส่วนแล้วแต่เป็นการใช้งานควบคุมกำลังไฟที่จะจ่ายให้แก่โหลดในระบบที่เรียกว่าเฟส-ทริกเกอร์ โดยกำหนดได้จากตำแหน่งเวลาของการทริกที่ให้แก่ไตรแอก



รูปที่ 2.17 แสดงการควบคุมวงจรหรือความสว่างของหลอดไฟโดยการปรับมุมสัญญาณทริกเกอร์

เอกรินทร์ ชื่นเชิด ภาสกร วัฒนา และ อภิสิทธิ์ งามเมือง ภาสกร วัฒนา เมื่อผู้เขียนหนังสือเล่มนี้ใช้เว็บไซต์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 การเปลี่ยนแปลงค่าของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่โหลด

### 2.3.1.2 วงจรจุดชนวนเกตแบบควบคุมเฟส

การควบคุมมุมจุดชนวนเกตเอสซีอาร์ หรือ ไทรแอก เป็นวิธีการควบคุมมุมจุดชนวนเกตแบบเชิงเส้นซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรม เนื่องจากการทำงานของวงจรไม่มีผลกระทบจากอุณหภูมิ การใช้งานการออกแบบใช้วงจรรวม (Integrated Circuit) เฉพาะงานที่จัดทำเพื่อใช้ควบคุมมุมเฟสแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ โดยเฉพาะ จะทำให้ลดขั้นตอนการออกแบบวงจรและใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์น้อยลง รวมทั้งฟังก์ชันการทำงานที่ให้สมรรถนะการทำงานการควบคุมเป็นที่เชื่อถือได้

### 2.3.2 คุณสมบัติของ TCA 785 Integrated Phase Control

TCA 785 Integrated Phase Control เป็นวงจรรวมที่สร้างพัลส์จุดชนวนเกต เอสซีอาร์ และ ไทรแอก (ซึ่งต่อไปนี้จะรวมเรียกว่า ไทริสเตอร์) โดยสามารถไปประยุกต์ใช้งานดังต่อไปนี้

1. วงจรเรียงกระแส แบบควบคุมได้เต็มที่และครึ่งเดียว (Fully and Half Control) ทั้งแบบเฟสเดียวและสามเฟส
2. วงจรควบคุมมุมเฟสแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียวและสามเฟส

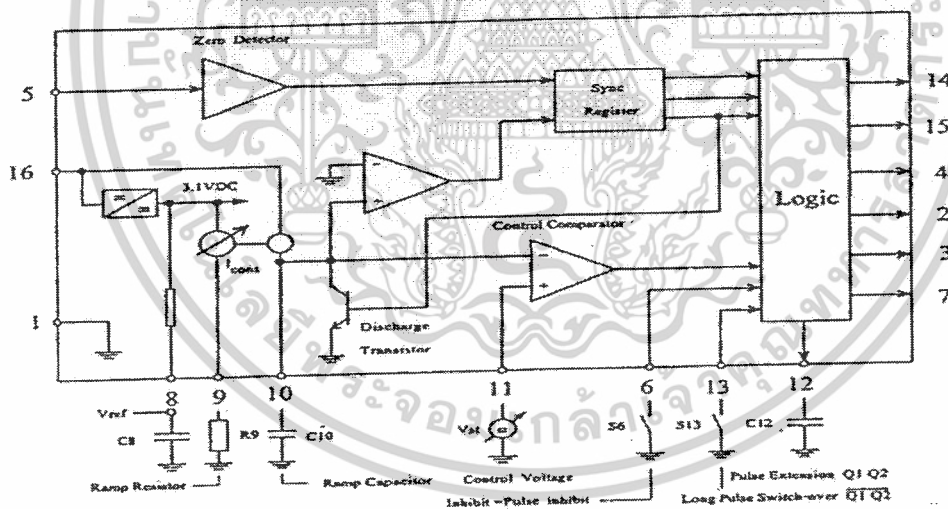
TCA 785 มีคุณสมบัติเด่นหลายประการ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สามารถจุดชนวนเกตไทริสเตอร์ได้อย่างน้อย 2 ตัว อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถเลื่อนมุมจุดชนวนเกตได้ระหว่าง 0 ถึง 180°
- ใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในช่วง 8-18 โวลต์
- กระแสภายในวงจรรวมใช้ประมาณ 4.5 mA ถึง 10 mA
- สามารถใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิ -25 ถึง 85 องศาเซลเซียส
- กระแสจุดชนวนเกต สามารถจ่ายได้ถึง 250 mA
- สัญญาณจุดชนวนเกต สามารถควบคุมได้โดยขา Inhibit Function
- ลักษณะของสัญญาณจุดชนวนเกต สามารถที่จะกำหนดเป็นแบบเดี่ยวและแบบต่อเนื่อง
- ใช้งานกับวงจร Zero Crossing
- ความถี่ใช้งาน 10-500 เฮิร์ตซ์

ความรู้พื้นฐานและหลักการทำงานของ TCA 785

แผนภาพกรอบของ TCA 785 แสดงในรูปที่ 2.19 แสดงให้เห็นโครงสร้างการทำงานของวงจร ซึ่งได้รวมวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีหน้าที่ต่าง ๆ ไว้ในตัวเลือกได้แก่



รูปที่ 2.19 แผนภาพ TCA 785

1. วงจรแรงดันอ้างอิง (Reference Voltage)
2. วงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์ (Zero Crossing Detector)
3. วงจรสร้างสัญญาณลาดเอียง (Ramp Generator)
4. วงจรเปรียบเทียบ (Control Comparator Circuit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

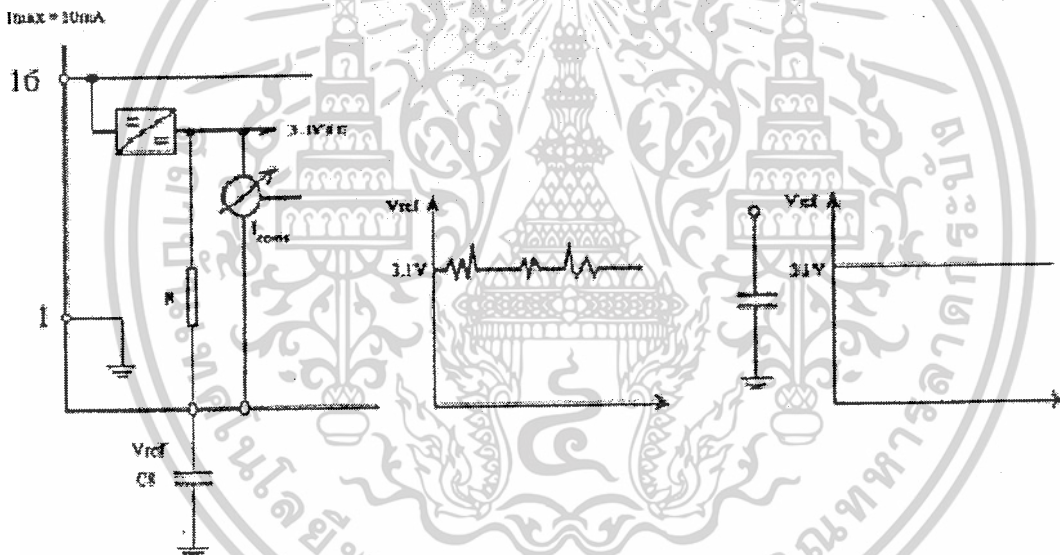
5. วงจรลอจิก (Logic Circuit)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2.1 วงจรแรงดันอ้างอิง (Reference Voltage)

การทำงานของวงจรรวมจะไม่ขึ้นกับแหล่งจ่ายแรงดันจากภายนอกที่จ่ายเข้ามาซึ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงภายนอกสามารถใช้ได้ในช่วง 8-18 โวลต์ โดยแรงดันบวกจะต่อเข้ากับขา 16 ( $+V_{cc} = 15 \text{ VDC}$ ) และแรงดันศูนย์จะต่อเข้ากับขา 1 ( $G = 0 \text{ VDC}$ ) ของวงจรรวม แรงดันอ้างอิงที่กำเนิดภายในวงจรรวมคือ  $V_{ref} = 3.1$  โวลต์ กระทั่งจ่ายให้วงจรรวมขณะที่ไม่มีโหลดจะใช้กระแสสูงสุด 10 mA

ตัวเก็บประจุ  $C_8$  จะต่อจากวงจรรวมภายนอกเข้าที่ขา 8 ซึ่งเป็นขาเดียวกับแรงดันอ้างอิงและต่อกับกราวด์ ตัวเก็บประจุ  $C_8$  จะเป็นตัวลดสัญญาณรบกวน (Noise) ที่จะเกิดขึ้นในส่วนของแรงดันอ้างอิง ถ้าแรงดันอ้างอิงมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่ความถี่สูง ๆ ส่วนที่เป็นสัญญาณรบกวนจะถูก  $C_8$  จะทำการลัดวงจรลงกราวด์ ทำให้สัญญาณรบกวนหมดไป ดังรูปที่ 2.20

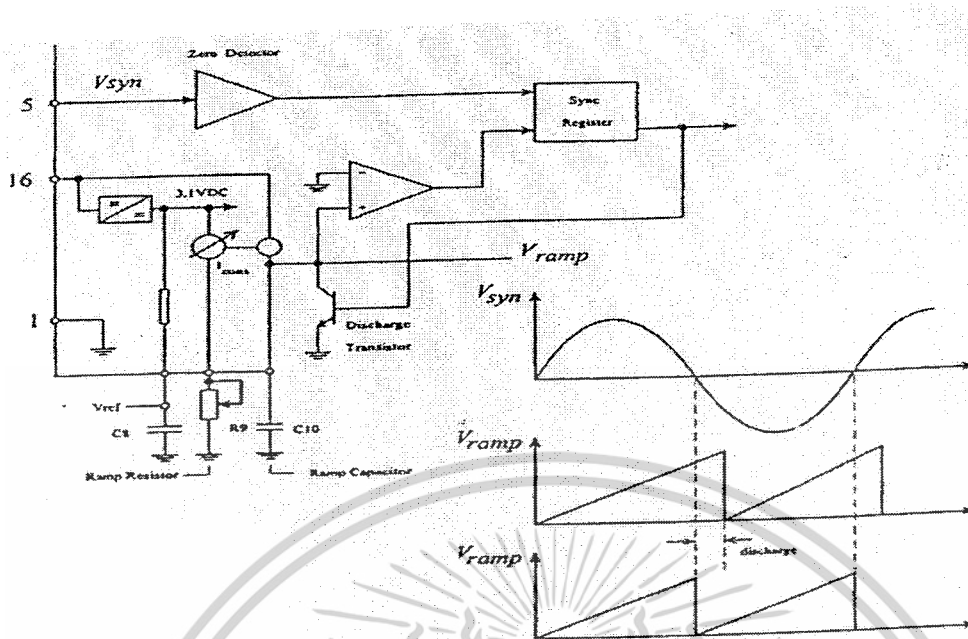


รูปที่ 2.20 การต่อแหล่งจ่ายแรงดันให้กับ TCA 785 และแรงดันอ้างอิงภายใน

### 2.3.2.2 วงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์ (Zero Crossing Detector)

สัญญาณ Synchronization หรือ  $V_{syn}$  ต่อกับขา 5 โดยผ่านความต้านทานจำกัดกระแสและต่อลงกราวด์โดยผ่านไดโอดซึ่งจะต่อกับกันอยู่ 2 ตัว ทั้งนี้เพื่อให้ไดโอดไปจำกัดค่าแรงดันของ  $V_{syn}$  เพื่อให้มีค่าประมาณ 0.6 โวลต์ ในส่วนของวงจรถวายจุดตัดศูนย์นั้นจะเป็นส่วนที่มีความไวสูงมากสามารถจะทำให้เกิดการ Synchronization ระหว่างสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ(แรงดันอินพุต) กับสัญญาณจุดชนวนเกตไทรสเตอร์ นั่นคือแรงดันอินพุตต่อกับไทรสเตอร์จะตรงเฟสกับมุมจุดชนวนเกตพอดี สัญญาณที่ตรวจวัดจุดตัดศูนย์ได้จะ

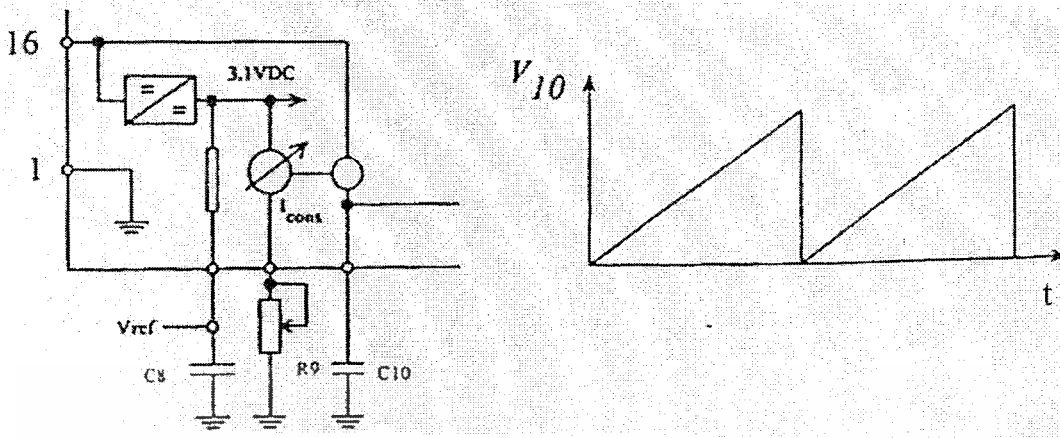
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์หรือการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 การสร้างสัญญาณลาดเอียงกับวงจรตรวจวัดจุดตัดศูนย์

### 2.3.2.3 วงจรสร้างสัญญาณลาดเอียง (Ramp Generator)

การสร้างสัญญาณลาดเอียงหรือฟันเลื่อย (Ramp or Saw Tooth) ขึ้นมา เพื่อให้แรงดันลาดเอียงมีเฟสตรงกับแรงดันอินพุต และเป็นเชิงเส้นกับมุมเฟสของแรงดันอินพุต ส่วนอื่น ๆ ที่มีความสำคัญเช่นเดียวกันคือ ส่วนที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกระแสคงที่ (Constant Current Source) จะทำหน้าที่สร้างกระแสคงที่  $I_{cons}$  โดยกระแสส่วนนี้จะจ่ายให้กับตัวเก็บประจุ ( $C_{10}$ ) ที่ต่อมาจากภายนอกเข้ากับขา 10 การเก็บประจุของ  $C_{10}$  หรือเรียกว่า Ramp capacitor :  $C_R$  ค่าของกระแสที่คงที่ให้กับ  $C_{10}$  นี้จะทำให้  $C_{10}$  เกิดการเก็บประจุอย่างเป็นเชิงเส้น (Linear) กับเวลาทำให้สัญญาณแรงดันที่คร่อม  $C_{10}$  เป็นสัญญาณลาดเอียงหรือฟันเลื่อย



รูปที่ 2.22 การปรับค่ากระแส  $I_{cons}$  โดยการปรับความต้านทาน  $R_9$

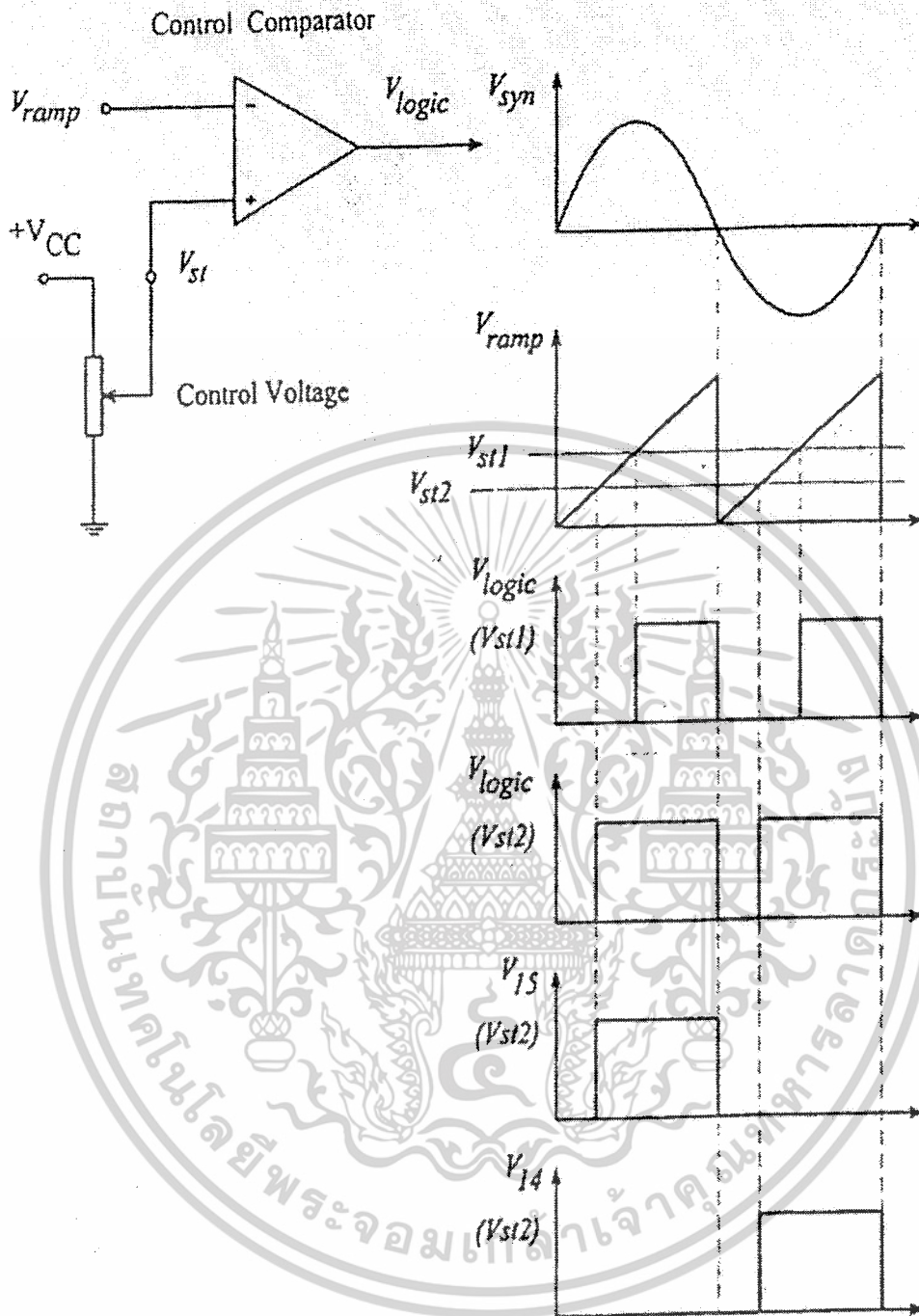
สัญญาณลาดเอียงจะสร้างวงจร RC Circuit คือ  $R_9$  และ  $C_{10}$  ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดขนาดยอดคลื่นของสัญญาณลาดเอียงที่  $V_{10}$  โดยสัญญาณลาดเอียงที่เกิดขึ้นนั้น จะมีการปรับ Zero Crossing ให้ตรงกับสัญญาณแรงดันอินพุต สัญญาณลาดเอียงที่กำเนิดจากการคายประจุของ  $C_{10}$  จะถูกนำไปจ่ายให้กับ Discharge transistor ที่อยู่ภายในวงจรรวมอีกครั้งหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 2.22 ค่าของสัญญาณลาดเอียงจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าของตัวเก็บประจุ  $C_{10}$  ที่เลือกใช้ โดยค่าของตัวเก็บประจุมีค่าระหว่าง 500 pf- $\mu$ f ส่วนค่าของกระแส  $I_{cons}$  สามารถที่จะทำการปรับค่าได้ โดยปรับความต้านทานที่ต่อจากภายนอกเข้าที่ขา 9 ค่าของ  $R_9$  สามารถปรับค่าได้ในช่วง 300 กิโลโอห์ม  $R_9$  เรียกว่า Ramp Resistor :  $R_R$

การทำงานในส่วนของ Discharge Transistor จะทำหน้าที่คายประจุสัญญาณลาดเอียงที่กำเนิดเกินค่า Zero Crossing นั่นคือถ้าหากว่าแรงดันอินพุตนั้นเป็นศูนย์แล้ว จะค่าของสัญญาณลาดเอียงจะเป็นศูนย์เนื่องจาก Synchronization Register จะส่งสัญญาณไปแอสให้ Discharge Transistor ทำงานจะทำให้แรงดันลาดเอียงตกเป็นศูนย์ตรงกับจุดที่แรงดันอินพุตเป็นศูนย์พอดี การคายประจุของทรานซิสเตอร์นั้น จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันที่เกิดออกมาของ  $V_{10}$  จะไม่มีผลจากส่วนใดของวงจรรวม สัญญาณลาดเอียงที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นจะเป็นเชิงเส้นกับมุมเฟสของแรงดันอินพุต

### 2.3.2.4 วงจรเปรียบเทียบ (Control Comparator Circuit)

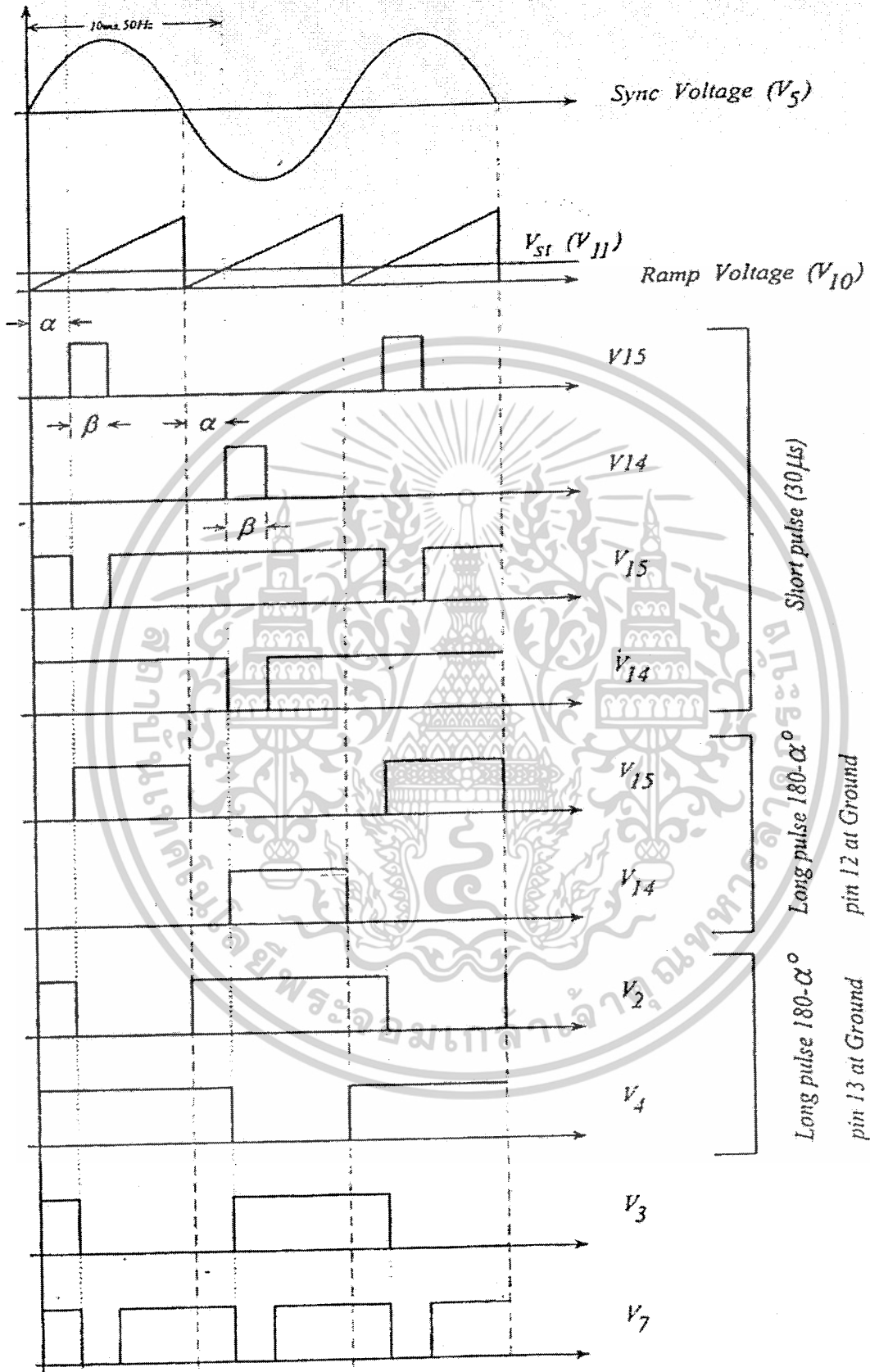
ในส่วนของการเปรียบเทียบสัญญาณนั้นจะเป็นการนำสัญญาณแรงดันลาดเอียง  $V_{10}$  หรือ  $V_{ramp}$  มาเปรียบเทียบกับสัญญาณแรงดันควบคุมจากภายนอก (แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง) โดยใช้หลักการของวงจรเปรียบเทียบ คือ และถ้าหากสัญญาณแรงดันควบคุม มีค่าต่ำกว่าสัญญาณลาดเอียง สัญญาณลอจิกที่ได้จะมีค่าเท่ากับ 15 โวลต์ หรือเป็นลอจิกหนึ่ง ถ้าแรงดันควบคุมมีค่าสูงกว่าแรงดันลาดเอียง สัญญาณลอจิกที่ได้จะเป็นลอจิกศูนย์ ดังนั้นถ้าค่ายอดของแรงดันลาดเอียงมีค่า 10 โวลต์ การควบคุมจุดชนวนเกต จะมีค่าเท่ากับ 18 องศาต่อ 1 โวลต์ ดังรูปที่ 2.23





รูปที่ 2.23 การเปรียบเทียบแรงดันควบคุมและแรงดันลาดเอียง  
แผนภาพสัญญาณพัลส์ของ TC 785

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 แผนภาพสัญญาณพัลส์ TCA 785 ที่จุดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่นำมาใช้งานที่สำคัญคือ

1. ขา 11 เป็นสัญญาณแรงดันควบคุม (Control Voltage)
2. ขา 10 เป็นสัญญาณแรงดันลาดเอียง (Ramp Voltage) สามารถปรับค่าออกจากค่าความต้านทานที่ขา 9
3. ขา 15 เป็นสัญญาณจุดชนวนเกตที่ มุม  $\alpha^\circ$
4. ขา 14 ให้สัญญาณจุดชนวนที่เกตที่ มุม  $\alpha^\circ + 180^\circ$
5. ขา 2 เป็นสัญญาณกลับ ของขา 15
6. ขา 4 เป็นสัญญาณกลับ ของขา 14

### 2.3.2.5 การจุดชนวนเกตแบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

การจุดชนวนเกตแบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น สามารถทำได้โดยการใช้อุปกรณ์แยกไฟฟ้ากระแสตรงกับกระแสสลับ เป็นตัวช่วยจุดชนวนเกตและใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์ในการบังคับควบคุมการจุดชนวนเกต สัญญาณจุดชนวนเกตสามารถปรับให้ความกว้างของพัลส์ได้ตามจุดประสงค์ที่ใช้งาน เมื่อต่อขา 12 ลงกราวด์จะทำให้สัญญาณจุดชนวนเกตมีความกว้างเท่ากับ  $\beta = 180 - \alpha^\circ$  ถ้าตัวเก็บประจุที่ขา 12 กับกราวด์จะทำให้ความกว้างของสัญญาณตามตารางที่ 2-1 ส่วนสัญญาณขา 2 และ 4 เมื่อต่อขา 13 ลงกราวด์จะทำให้ได้สัญญาณพัลส์ที่กว้างเต็มที่

ตารางที่ 2-2 ค่าเก็บประจุที่ต่อกับขา 12

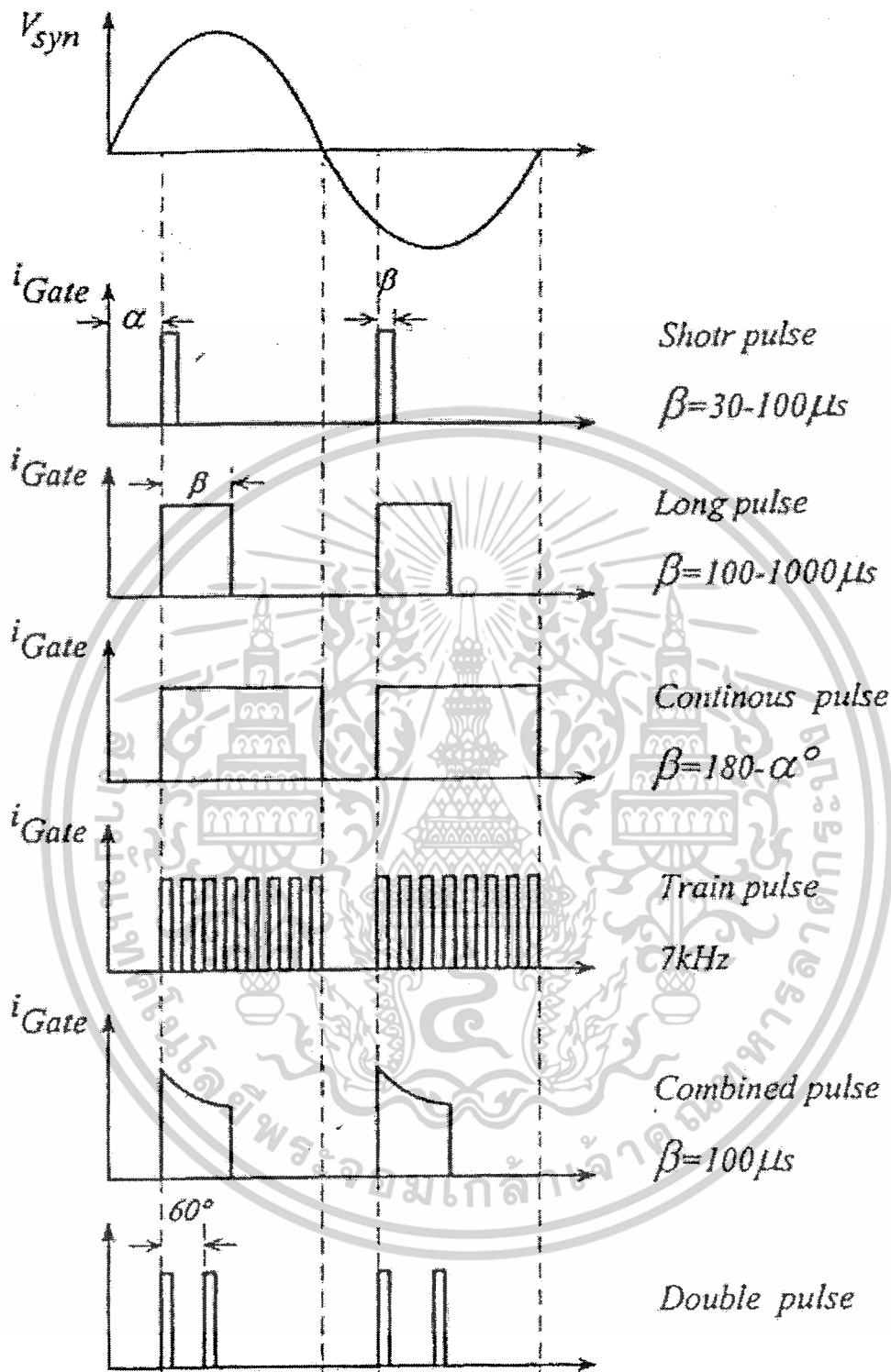
$C_{12}$ (pF)	0	150	220	330	680	1000
Pulse Width - $\beta$ ( $\mu$ S)	30	93	137	205	422	620

ความกว้างของสัญญาณจุดชนวนเกต จะต้องออกแบบให้เหมาะสมกับชนิดของโหลดในวงจร ซึ่งมีโหลดหลายชนิด ดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-3 ความกว้างของสัญญาณจุดชนวนแบบต่างๆ กับชนิดของโหลด

Pulse type	Pulse Width - $\beta$	Load type
Short/single pulse	30 – 100 $\mu$ s	Resistive load
Long pulse	100 $\mu$ s - 1 ms	R-L load high current
Continuous pulse	180 - $\alpha^\circ$	High inductive load
Double pulse	30 – 100 $\mu$ s	Three phase bridge
Train pulse	7 kHz	R-L load, Three phase bridge
Combined pulse	100 $\mu$ s + 1 ms	Series SCR, $diG/dt = 1:3 \mu$ A/s

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 ลักษณะของสัญญาณจุดชนวนเกตแบบต่าง ๆ

และใช้อุปกรณ์ภายนอกเพิ่มเติม เช่น หม้อแปลงพัลส์ (Pulse Transformer) วงจรสร้าง  
ความถี่สูง (7 kHz) วงจรลอจิกเกต (เช่น AND Gate OR Gate) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.4.6 เซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิ

อุณหภูมิ (Temperature) คือ ปริมาณทางฟิสิกส์ซึ่งเป็นหน่วยวัดในการบ่งชี้ถึงระดับความร้อนเย็นของอุปกรณ์ วัสดุใด ๆ ดังนั้น เซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีด้วยกันมากมายหลายชนิด

เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ โดยอาศัยคุณสมบัติของค่าความต้านทานเทอร์มิสเตอร์ (Thermistor)

- เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor) นั้นเกิดจากรากศัพท์สองคำ คือ Thermal + Resistor เป็นเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิที่อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุกับอุณหภูมิ เทอร์มิสเตอร์ทำมาจากวัสดุประเภทสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงกับโลหะออกไซด์ โดยรูปแบบต่างๆ ของเทอร์มิสเตอร์ มีดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 เทอร์มิสเตอร์ในรูปแบบต่างๆ

ปกติเทอร์มิสเตอร์จะให้ค่าความต้านทานทางไฟฟ้า มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับอุณหภูมิอยู่ในรูปของเอกซ์โปเนนเชียล (Exponential)

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

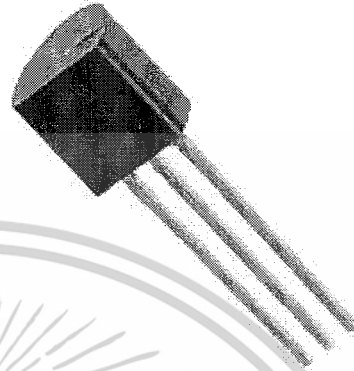
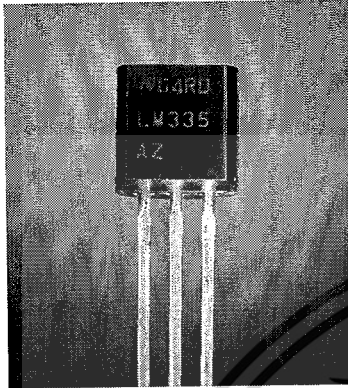
โดยที่  $R_t$  คือค่าความต้านทานไฟฟ้าของเทอร์มิสเตอร์ที่อุณหภูมิเท่ากับ  $T$  °K

$T$  คือค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ในหน่วยของสเคลวิน (°K)

$R_0$  คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้าของเทอร์มิสเตอร์ที่อุณหภูมิอ้างอิงเท่ากับ  $T_0$  °K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ โดยอาศัยคุณสมบัติสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ โดยใช้ LM 335



รูปที่ 2.27 รูปของตัวไอซี LM335

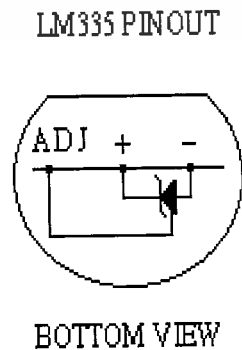
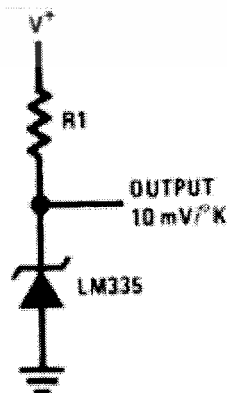
LM335 เป็นไอซีเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิแบบซีเนอร์ไดโอด มีสัญญาณและลักษณะการบรรจุในตัวถัง ดังรูปที่ 2.27 LM335 ทำงานโดยการให้ไบแอสกลับ (Reverse Bias) มีความสัมพันธ์ของแรงดันเอาพุตเท่ากับ

$$V_z = \left( \frac{10mV}{^{\circ}K} \right) T \dots\dots\dots (2.1)$$

โดยที่ T คือ ค่าอุณหภูมิในหน่วยของสเคลวิน หากอุณหภูมิมิหน่วยเป็นองศาเซลเซียสแล้ว จะได้แรงดันเอาท์พุตของ LM335 มีค่าเป็น

$$V_z = 2.73 V + \left( \frac{10mV}{^{\circ}C} \right) T \dots\dots\dots (2.2)$$

เมื่อ T คือ ค่าอุณหภูมิ ในหน่วยองศาเซลเซียส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 2.28 วงจรของ LM335 และวงจรภายในของ LM335 นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกใช้ไอซีตรวจวัดอุณหภูมิตระกูล LM135/LM235/LM335 พิจารณาได้จากย่านอุณหภูมิในการวัดและประเภทของงานที่ใช้ ดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-4 LM135/LM235/LM335 Temperature Ranges

Device	Range ( $^{\circ}C$ )	Use
LM135	-55 to +155	Military
LM235	-40 to +125	Industrial
LM335	-40 to +100	Commercial

เนื่องจาก LM335 อาศัยการทำงานแบบซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการให้ไบแอสแบบแรงดันไบแอสกลับ (Reverse Bias) โดยที่กระแสซีเนอร์ (Zener Current,  $I_Z$ ) มีค่าจำกัดอยู่ในช่วง

$$400 \mu A < I_Z < 5 \text{ mA}$$

ในขณะที่ค่ากระแสซีเนอร์ที่เหมาะสมควรมีค่าเท่ากับ  $I_Z = 1 \text{ mA}$  ทั้งนี้เพราะว่าหากค่ากระแสมากกว่านี้แล้วจะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ( $I_Z V_Z$ ) ในรูปของความร้อนขึ้นสะสมขึ้นในตัว LM335 และในทางกลับกันหากกระแส  $I_Z$  มีค่าน้อยกว่า 1 mA ก็จะเป็นผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 2.29 จะเห็นว่า  $R_{bias}$  ทำหน้าที่เป็นตัวไบแอสให้กับ LM335 ซึ่งหาได้จาก

$$R_{bias} = \frac{(+V) - V_{Z, noinal}}{1 \text{ mA}} \dots \dots \dots (2.3)$$

เมื่อ  $V_{Z, noinal}$  คือ แรงดันซีเนอร์ที่สภาวะอุณหภูมิค่าปกติ และเพื่อให้การทำงานของวงจรมีความเป็นเชิงเส้น กระแสโหลด  $I_L$  (Load Current) ต้องมีค่าน้อยกว่าขนาดกระแสซีเนอร์ต่ำสุด  $I_{Z, min}$  นั่นคือ

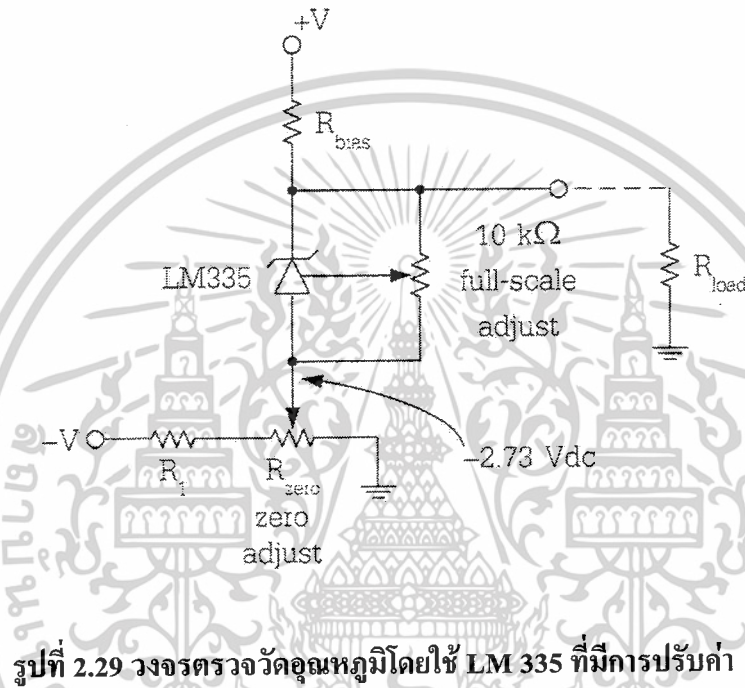
$$I_L \ll I_{Z, min}$$

หรือ

$$\frac{V_{Z, max}}{R_{load}} \ll \frac{(+V) - V_{z, max}}{R_{bias}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ 2.2 จะเห็นว่าขณะทำการวัดที่อุณหภูมิที่  $0^{\circ}\text{C}$  แรงดันเอาต์พุต  $V_Z$  ที่ได้จาก LM335 จะมีค่าออฟเซตเกิดขึ้นเท่ากับ  $+2.73\text{ V}$  เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งานและอ่านค่า จึงทำการต่อเพิ่ม  $R_{zero}$  และโพเทนทิโอมิเตอร์  $10\text{ k}\Omega$  เข้าไปในวงจร โดย  $R_{zero}$  เป็นตัวปรับให้แรงดันอ้างอิงมีค่าประมาณ  $-2.73\text{ V}$  เพื่อให้ออฟเซตมีค่าเป็นศูนย์ หรือเพื่อให้  $V_Z = 0\text{ V}$  เมื่ออุณหภูมิในการวัดเท่ากับ  $0^{\circ}\text{C}$  ในขณะที่โพเทนทิโอมิเตอร์  $10\text{ k}\Omega$  ทำหน้าที่ปรับตำแหน่งกึ่งกลางของย่านการวัด ดังรูปที่ 2.29



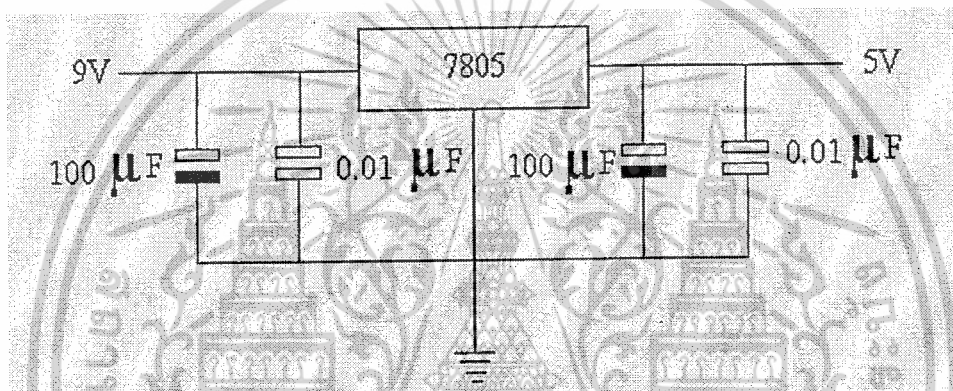
รูปที่ 2.29 วงจรตรวจวัดอุณหภูมิโดยใช้ LM 335 ที่มีการปรับค่า

## บทที่ 3

### ขั้นตอนการดำเนินการ

#### 3.1 การออกแบบวงจรส่วนต่าง ๆ ในชุดควบคุมอุณหภูมิ

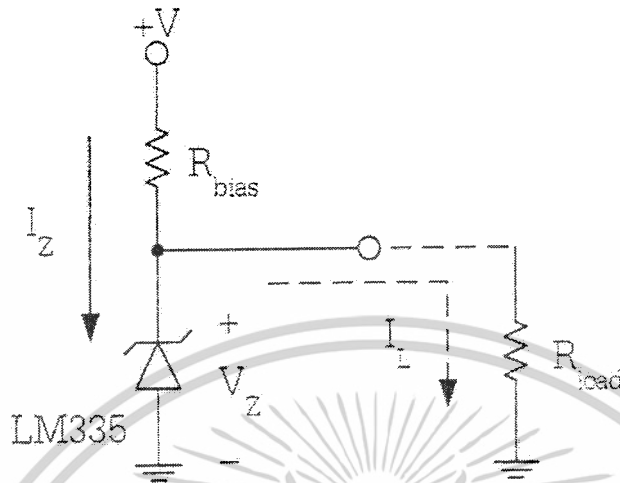
##### 3.1.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง



รูปที่ 3.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

วงจรจ่ายไฟกระแสตรง มีการรักษาแรงดันคงที่ การออกแบบจะใช้ไอซีแบบ 3 ขา ประกอบด้วยขาอินพุต เอาท์พุตและขากราวด์ซึ่งตัวเลขที่บอกเบอร์ไอซีจะเป็นการบอกแรงดันเอาท์พุต ซึ่งเป็นขั้นแรกของวงจรเพื่อใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ ส่วนแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงจึงใช้เพียงไอซีเบอร์ 7805 เท่านั้น

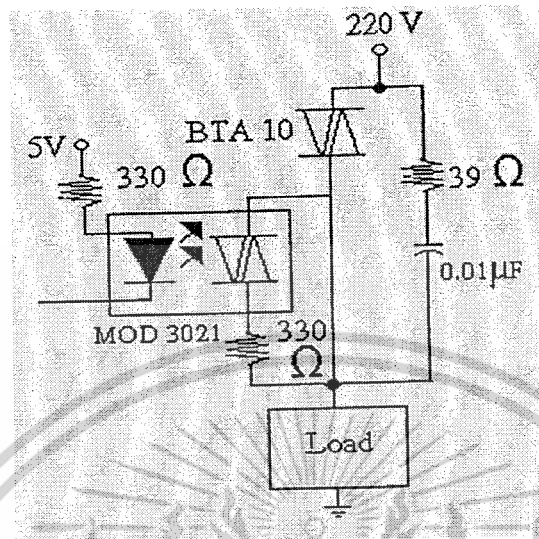
### 3.1.2 วงจรเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิ โดยใช้ LM335



รูปที่ 3.2 วงจรพื้นฐานสำหรับตรวจวัดอุณหภูมิโดยใช้ LM 335

จากรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่า  $R_{bias}$  ทำหน้าที่เป็นส่วนจัดไบแอสให้กับ LM 335 เมื่อ  $V_Z$  (Nominal) คือ แรงดันซีเนอร์ที่สภาวะอุณหภูมิ ปกติ และเพื่อให้การทำงานของวงจรมีความเป็นเชิงเส้น กระแสโหลด  $I_L$  (Load current) ต้องมีค่าน้อยกว่าขนาดของกระแสซีเนอร์ต่ำสุด  $I_{Z,min}$  ซึ่งถ้าหากกระแสที่ออกมาไม่เป็นไปตามนี้จะส่งผลให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ( $I_L V_Z$ ) ในรูป ของความร้อนสะสมในตัว LM 335 ได้เป็นผลทำให้ ค่าการวัดเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้

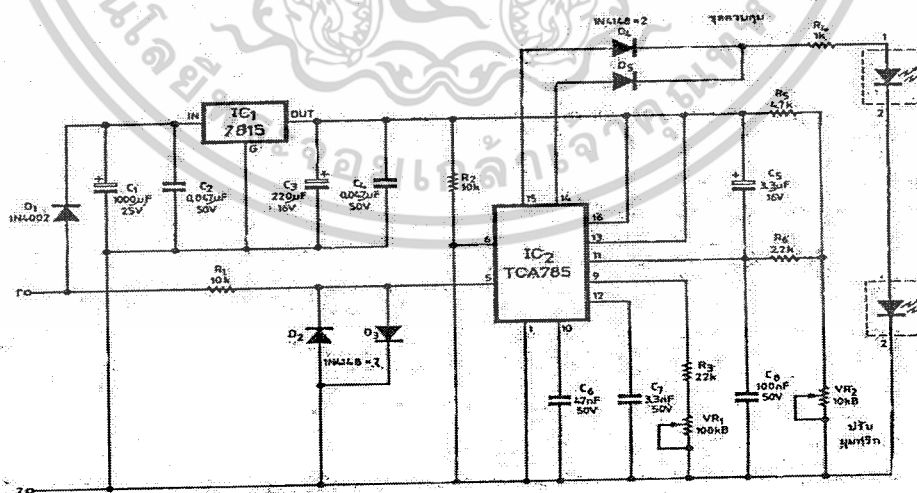
### 3.1.3 วงจรทริกและแยกโหลด



รูปที่ 3.3 วงจรทริกและแยกโหลด

เป็นส่วนที่แยกวงจรแรงดันไฟฟ้าสูง (High Voltage) ออกจากวงจรควบคุมต่าง ๆ เพื่อป้องกันแรงดัน 220 V<sub>ac</sub> ไหลเข้าสู่วงจรส่วนอื่น ๆ

### 3.1.4 วงจรควบคุมการทำงาน TCA 785



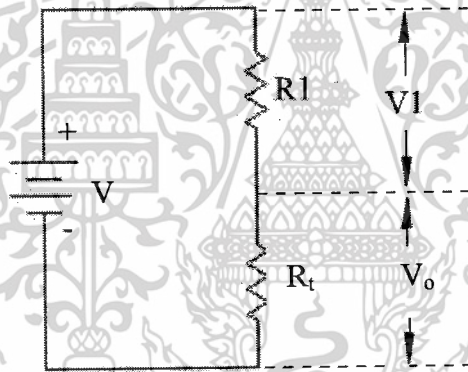
รูปที่ 3.4 วงจรควบคุมการทำงาน TCA 785

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นวงจรที่ควบคุมการทำงานโดยมี IC TCA785 เป็นตัวสร้างสัญญาณทริกให้กับขา Gate ในขณะเดียวกันเมื่อมีสัญญาณทริกเข้าไปในขาเกตทำให้ไครแอกทำงาน จึงทำให้แรงดันผ่านไปยัง โหลด เป็นผลทำให้ขดลวดความร้อน ร้อนขึ้น จากนั้นเราจึงทำการควบคุมความร้อน โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ ทำการปรับแรงดันไฟฟ้า ผลที่ออกมาจึงทำให้ความร้อนจากขดลวดความร้อน เปลี่ยนแปลงไปตามที่ต้องการ

### 3.1.5 การประยุกต์ใช้งานของเทอร์มิสเตอร์ มาเป็นสัญญาณป้อนกลับ

การนำเทอร์มิสเตอร์ไปประยุกต์ใช้งานเพื่อทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์สำหรับตรวจจับวัด อุณหภูมิ มักนิยมต่อทำงานร่วมกับวงจรบริดจ์ ซึ่งรูปแบบพื้นฐานอย่างง่ายที่สุดของวงจรในการใช้งาน ก็คือ วงจรแบ่งแรงดัน (Voltage-Divider Circuit) หรือวงจรฮาล์ฟบริดจ์ (Half-Bridge Circuit) ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรแบ่งแรงดัน

$$V_o = \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V$$

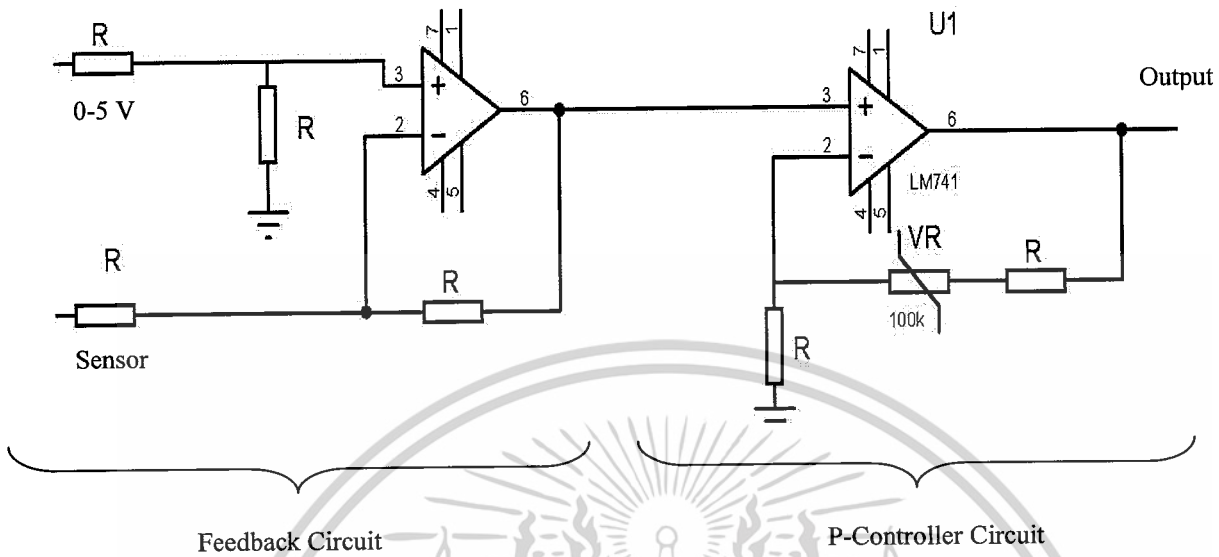
เมื่อ  $R_2 = 3 \text{ k}\Omega$

$V = 5 \text{ Volt}$

จะเห็นว่าเมื่อ V และ R ต่างเป็นค่าคงที่ แรงดัน Output ของ  $V_o$  มีค่าสัดส่วนโดยตรงกับค่าความต้านทานไฟฟ้าของเทอร์มิสเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงเป็น  $\Delta R$  ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าแรงดันเอาต์พุต  $V_o$  มีค่าแปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.6 วงจรรวมสัญญาณป้อนกลับและวงจรควบคุม



รูปที่ 3.6 วงจรรวมสัญญาณป้อนกลับและวงจรควบคุม

- Feedback Circuit

วงจรป้อนกลับเป็นวงจรที่นำค่าเอาต์พุต (Output) ที่ออกไปนำมาป้อนกลับเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับอินพุต

- P-Controller Circuit

วงจรควบคุมแบบ P เป็นส่วนที่จะนำสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน (Actuating Error Signal) ซึ่งเป็นสัญญาณความแตกต่างระหว่างสัญญาณอินพุตและสัญญาณป้อนกลับ (Feedback Signal) โดยจะถูกป้อนให้กับตัวควบคุม (Controller) เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนให้น้อยลง และยังทำให้เอาต์พุตของระบบมีค่าตรงตามเป้าหมายที่ต้องการอีกด้วย

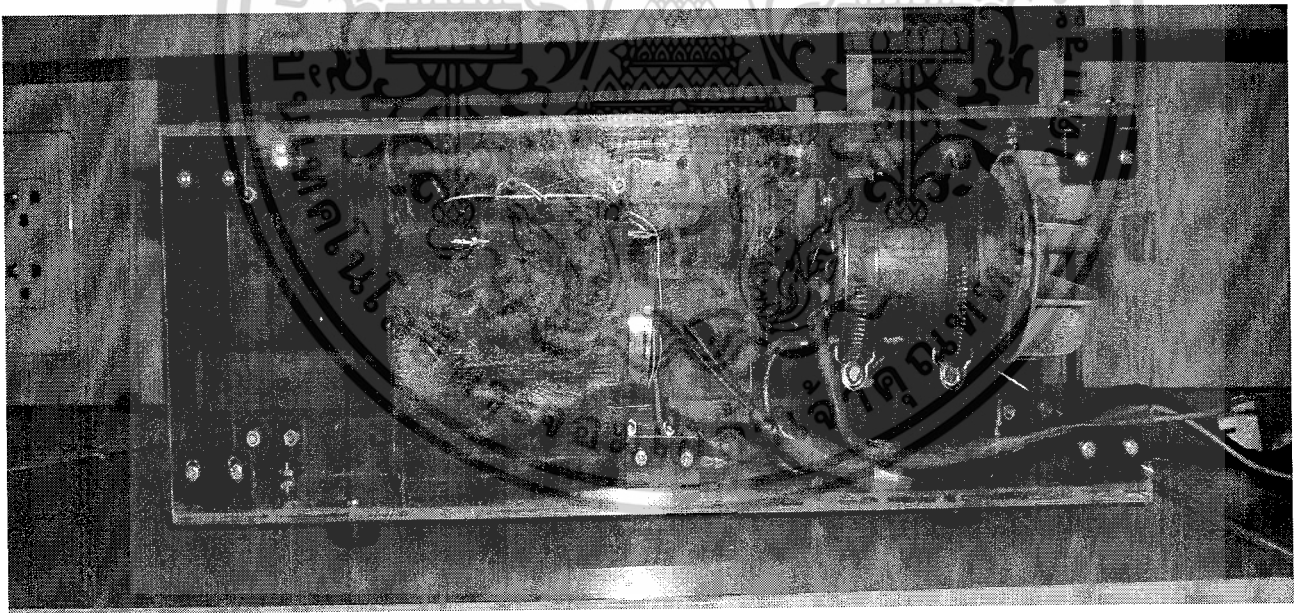
## 3.2 การออกแบบอุปกรณ์ในชุดควบคุมอุณหภูมิ

### 3.2.1 กล้องทำความร้อน

โดยทำหน้าที่เสมือนระบบทั้งหมด ต้องมีลักษณะแข็งแรงและทนต่อความร้อนสูงได้ ดังนั้น กล้องทำความร้อนที่ใช้ในที่นี่จะใช้แผ่นอะคริลิกขนาดหนา 3 mm เนื่องจากมีคุณสมบัติข้างต้นเหมาะสมและยังสามารถป้องกันลมจากภายนอกจะเข้ามาบรรจบและมีขนาดใหญ่พอที่จะสามารถบรรจุชุดควบคุมความร้อนและติดตั้ง พัดลมดูดอากาศเข้าไปในกล้อง

ชุดควบคุมความร้อนมีคุณสมบัติและหลักการของชุดควบคุมความร้อนนั้นต้องสามารถให้ความร้อนได้ต่อเนื่องและมีความร้อนที่ค่อนข้างคงที่หรือสม่ำเสมอและที่สำคัญต้องสามารถเพิ่มความร้อนได้ในลักษณะเชิงเส้น โดยที่ชุดควบคุมความร้อนที่ใช้ในอุปกรณ์ตัวนี้ได้ทำการเลือกชุดควบคุมความร้อนของไคร้เป่าลมเพราะมีราคาที่ไม่สูงและสามารถหาได้ง่ายกว่าชุดควบคุมความร้อนแบบอื่น ๆ

มอเตอร์พัดลมทำหน้าที่ในการทำให้เกิดลมภายในระบบซึ่งก็คือลมที่เกิดจากระบบ โดยเน้นที่มอเตอร์ DC ที่รอบสูง ๆ เนื่องจากมอเตอร์ DC นั้นในตัวที่รอบการทำงานสูง จะมีขนาดเล็กและราคาข้อมเยากว่ามอเตอร์ AC ซึ่งทำให้การทำงานเป็นไปอย่างง่ายดายและสะดวกมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 3.7 กล้องทำความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 ก่อควบคุมอุณหภูมิ

ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของระบบนี้เลยทีเดียว โดยในก่อกควบคุมอุณหภูมินี้ ภายในประกอบไปด้วยวงจรต่างๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบ โดยแบ่งออกเป็น

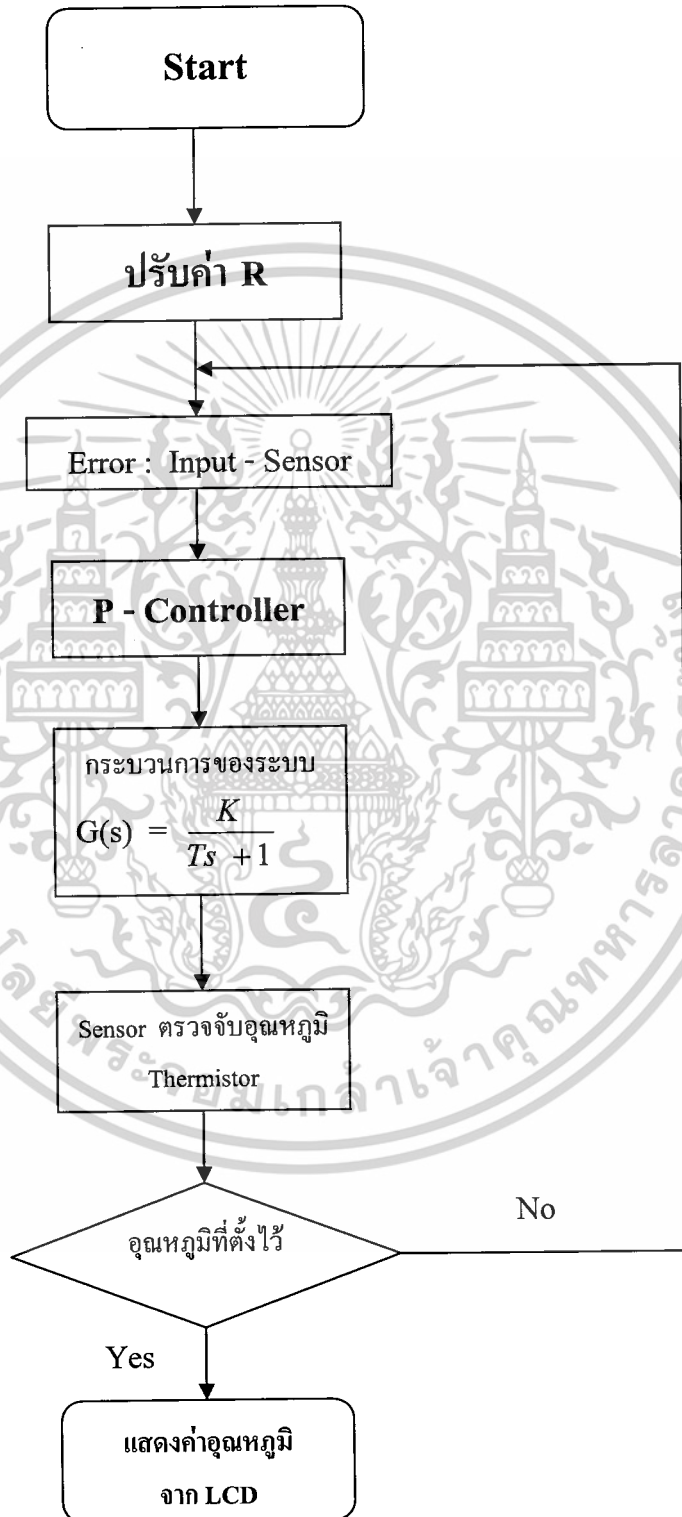
1. วงจรควบคุมอุณหภูมิ โดยการปรับแรงดันจากภายนอกก่อก
2. วงจรจ่ายแรงดันซึ่งจ่ายแรงดันให้กับวงจรควบคุมอุณหภูมิและวงจรที่ใช้สำหรับปรับค่าเกท
3. วงจรปรับค่าเกทของระบบซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการควบคุมอุณหภูมิ เพื่อให้ระบบมีความเสถียรภาพและควบคุมให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ นอกจากวงจรที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น ยังมีจอแสดงอุณหภูมิและแสดงค่าโวลต์ที่ทำการปรับให้กับระบบ



รูปที่ 3.8 ก่อกควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 Flow Chart แสดงการทำงาน เมื่อใส่ P Controller



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**รูปที่ 3.9 Flow Chart แสดงการทำงานของระบบ**  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.4 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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ ได้ทำการแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ ทำการทดลองของระบบวงเปิดก่อนที่จะหาแบบจำลองของระบบที่เกิดขึ้น และหลังจากนั้นจึงทำการทดลองระบบวงปิด โดยสามารถแบ่งการทดลองออกได้ดังนี้

#### ระบบวงเปิด

- ผลการทดลองเมื่อทำการเพิ่มแรงดันไฟฟ้า
- ผลการทดลองเมื่อทำการใส่สัญญาณระดับแบบหนึ่งหน่วย

#### ระบบวงปิด

- ผลการทดลองของเทอร์มิสเตอร์เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิต่อค่าความต้านทาน
- ผลการทดลองของเทอร์มิสเตอร์เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นต่อแรงดันไฟฟ้า
- ผลการทดลองเมื่อทำการใส่สัญญาณระดับแบบหนึ่งหน่วยในขณะที่ยังไม่ทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์
- ผลการทดลองเมื่อทำการใส่สัญญาณระดับแบบหนึ่งหน่วยเมื่อทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.1 ผลการทดลองของระบบวงเปิด

### 4.1.1 ผลการทดลองเมื่อทำการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ

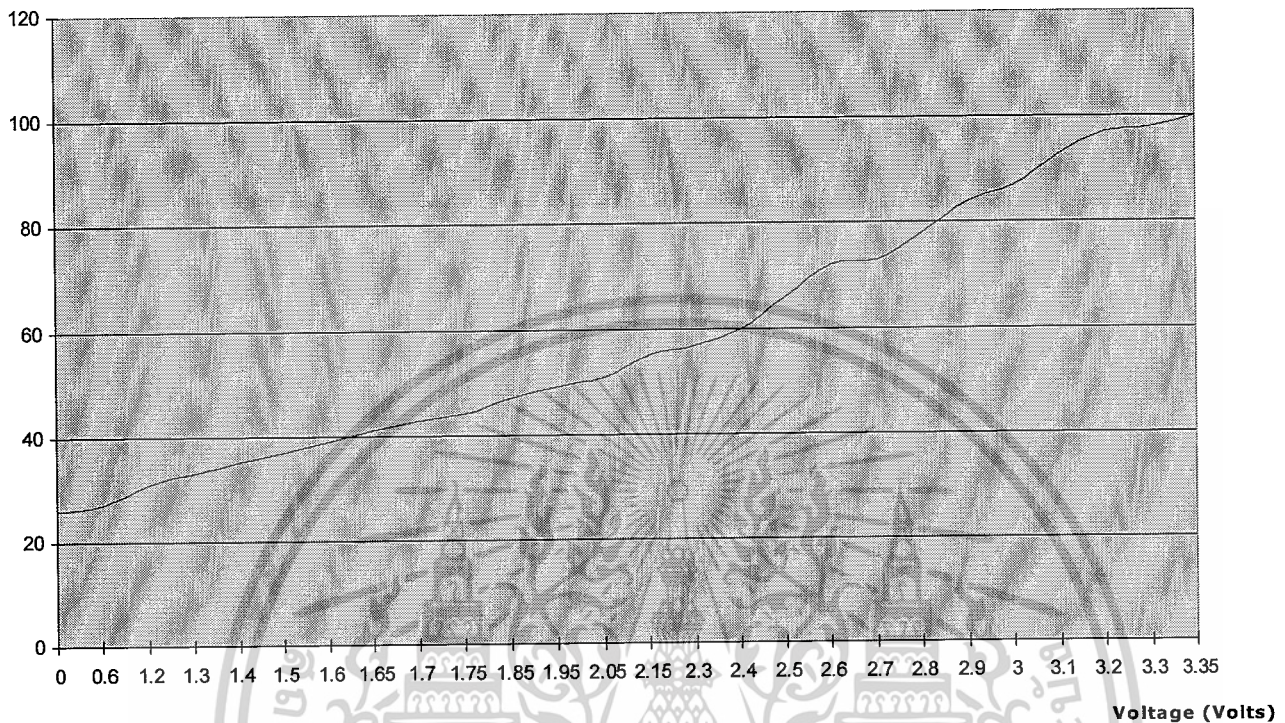
ตารางที่ 4-1 ตารางผลการทดลองเมื่อทำการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ

Voltage (Volt)	Temperature (°C)	Voltage (Volt)	Temperature (°C)
0	26	2.15	55
0.6	27	2.3	57
1.2	31	2.4	60
1.3	33	2.5	66
1.4	35	2.6	72
1.5	37	2.7	73
1.6	39	2.8	78
1.65	41	2.9	84
1.7	43	3.0	87
1.75	44	3.1	93
1.85	47	3.2	97
1.95	49	3.3	98
2.05	51	3.35	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำข้อมูลที่ได้จากตารางมาทำการวาดกราฟ ดังรูป

Temperature (Celsius)



รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้า

จากข้อมูลที่ได้อำนาจการหาค่าแกน (Gain) ซึ่งสามารถหาได้จากความชันของกราฟ

$$T_1 = mV_1 + b$$

$$T_2 = mV_2 + b$$

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

$$y = A x$$

$$T_n = mV_n + b$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ออกไว้คืองานฉบับนี้ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 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	9.96	8.31	9.14
40	14.55	18.56	16.56
50	26.10	30.06	28.08
60	45.11	45.06	45.04
70	76.48	83.19	79.84
80	133.71	115.92	124.82
90	222.29	187.81	205.05
95	250.39	263.82	257.11
100	304.08	294.92	299.50

นำข้อมูลที่ได้จากตารางมาทำการวาดกราฟ ดังรูป

Temperature (°C)



รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิและเวลา

Time (Seconds)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลที่ได้นำมาหาค่า Time Constant

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

$$Y(s) = \frac{K}{Ts+1} * \frac{3.35}{s}$$

$$\mathcal{L}^{-1} \Rightarrow y(t) = 3.35k(1 - e^{-\frac{t}{T}})$$

ที่  $t=T$

$$\begin{aligned} y(T) &= 3.35k(0.632) \\ &= 56.83 + 27^\circ\text{C} \\ &= 83.83^\circ\text{C} \end{aligned}$$

ดังนั้น ที่  $83.83^\circ\text{C}$  ค่า Time constant มีค่าเท่ากับ 130.48 วินาที

$$\therefore G(s) = \frac{28.24}{130.48s+1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการทดลองของระบบวงปิด

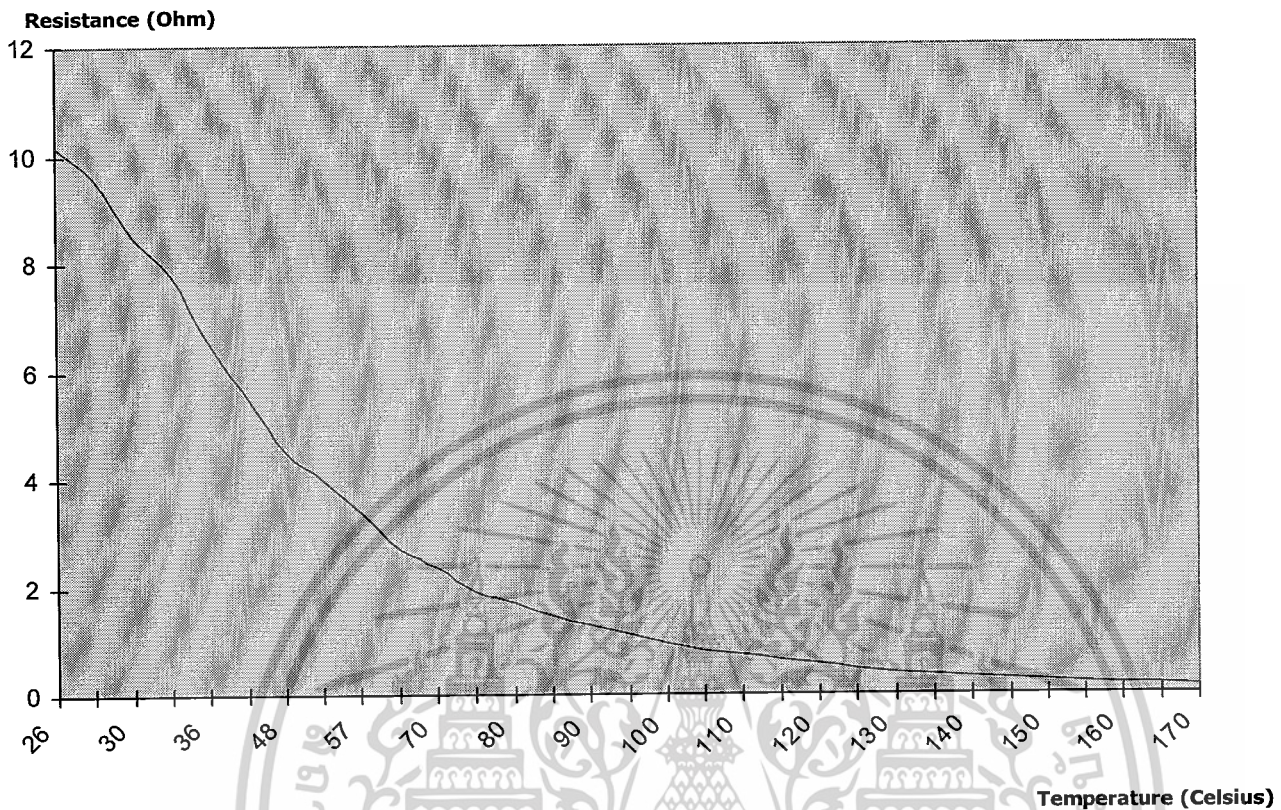
### 4.2.1 ผลการทดลองของเทอร์มิสเตอร์เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิต่อค่าความต้านทาน

ตารางที่ 4-3 การทดลองของเทอร์มิสเตอร์เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิต่อค่าความต้านทาน

Temperature (°C)	Resistance (Ohm)	Temperature (°C)	Voltage (Volts)
26	10.14	100	0.94
27	9.6	105	0.8
30	8.5	110	0.72
32	7.8	115	0.65
36	6.55	120	0.56
40	5.5	125	0.46
48	4.53	130	0.40
51	4.00	135	0.36
57	3.4	140	0.32
64	2.71	145	0.28
70	2.35	150	0.24
75	1.92	155	0.21
80	1.7	160	0.19
85	1.47	165	0.16
90	1.27	170	0.15
95	1.1		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำข้อมูลที่ได้จากตารางมาทำการวาดกราฟ ดังรูป



รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบระหว่างความต้านทานไฟฟ้าและอุณหภูมิ

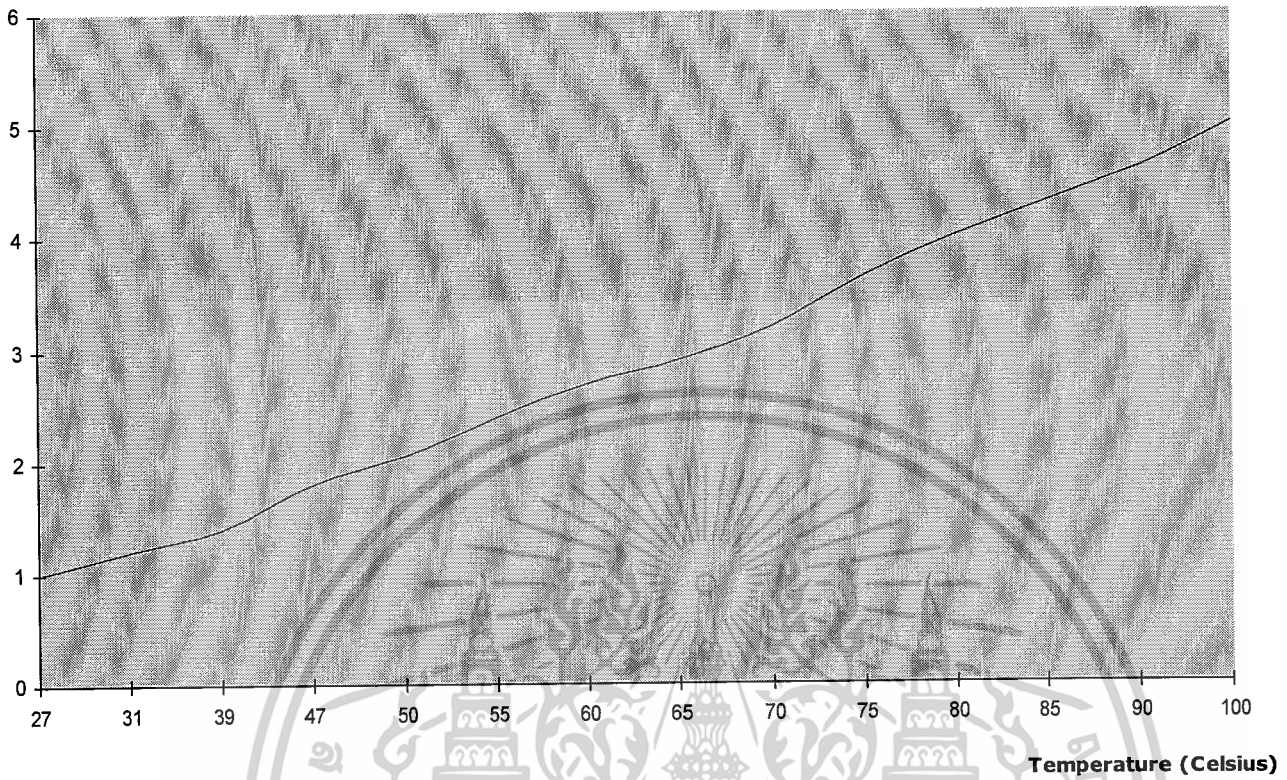
#### 4.2.2 ผลการทดลองของเทอร์มิสเตอร์เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นต่อแรงดัน

ตารางที่ 4-4 ผลการทดลองของเทอร์มิสเตอร์เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นต่อแรงดัน

Temperature (°C)	Voltage (Volt)	Temperature (°C)	Voltage (Volt)
27	1	65	2.9
31	1.2	70	3.2
39	1.4	75	3.65
47	1.8	80	4.0
50	2.05	85	4.3
55	2.4	90	4.6
60	2.7	100	5.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage (Volt)



รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบระหว่างแรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิ

จากกราฟหาค่า  $K_c$  ที่ช่วงอุณหภูมิ  $50 - 150\text{ }^{\circ}\text{C}$

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

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

$$K_c = m = 0.059$$

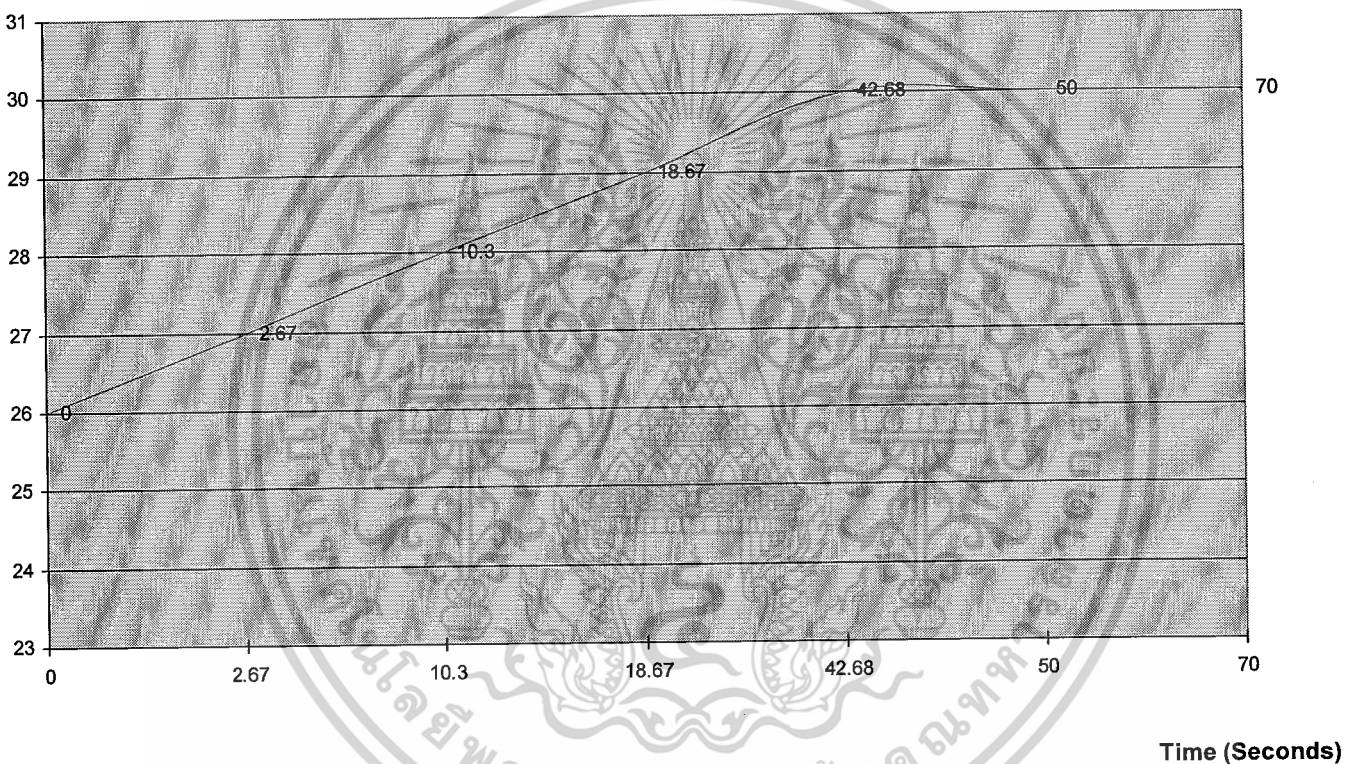
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.3 ผลการทดลองเมื่อทำการใส่สัญญาณระดับแบบหนึ่งหน่วยในขณะที่ยังไม่ทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์

โดยทำการป้อน สัญญาณระดับแบบหนึ่งหน่วย ให้กับระบบที่ 2.05 Volt อุณหภูมิเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส

เมื่อค่าเกณฑ์ ( $K_p$ ) = 4

Temperature (°C)

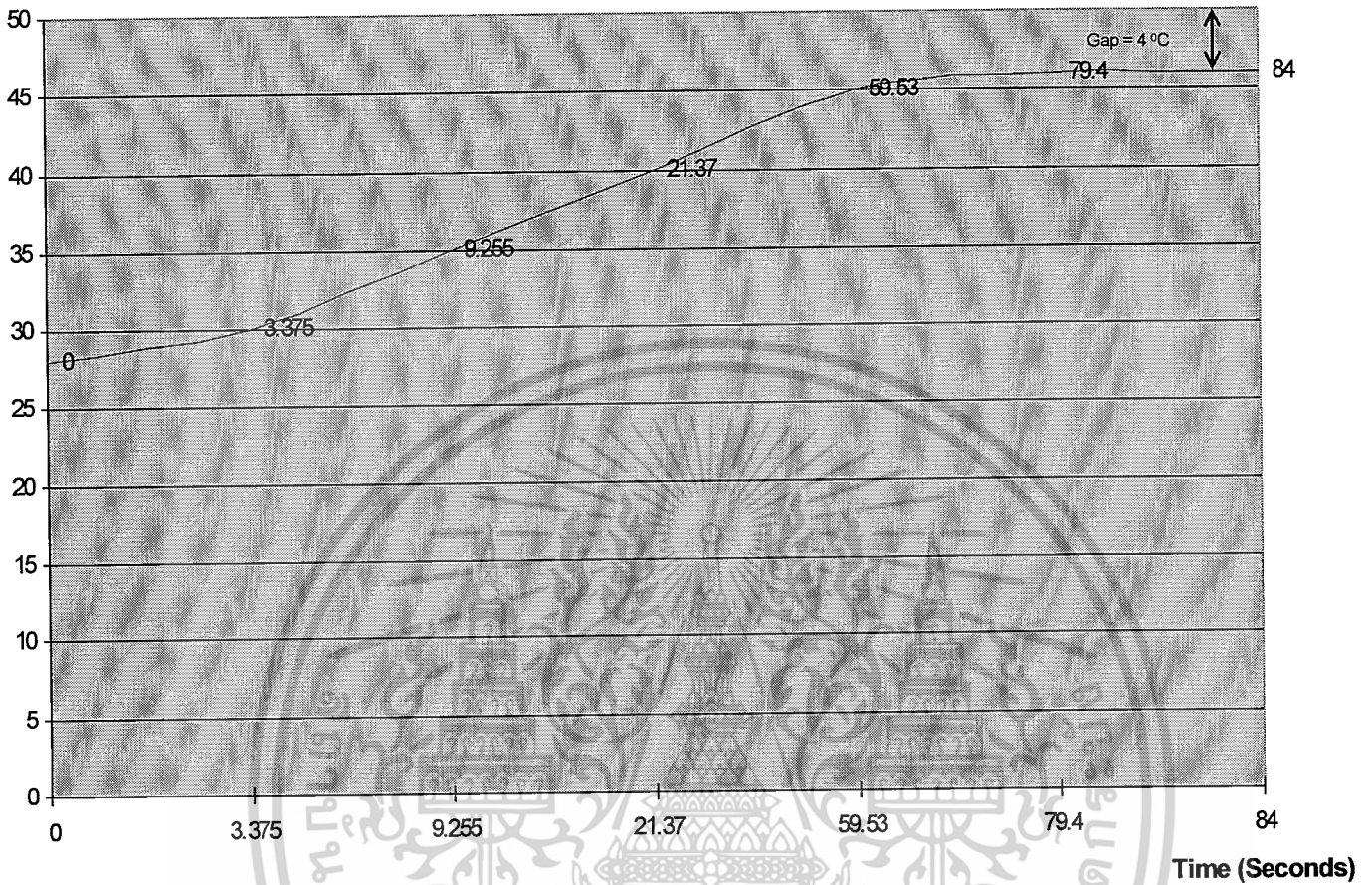


รูปที่ 4.5 เมื่อค่าเกณฑ์ ( $K_p$ ) = 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อค่าเกณฑ์ ( $K_p$ ) = 6

Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )

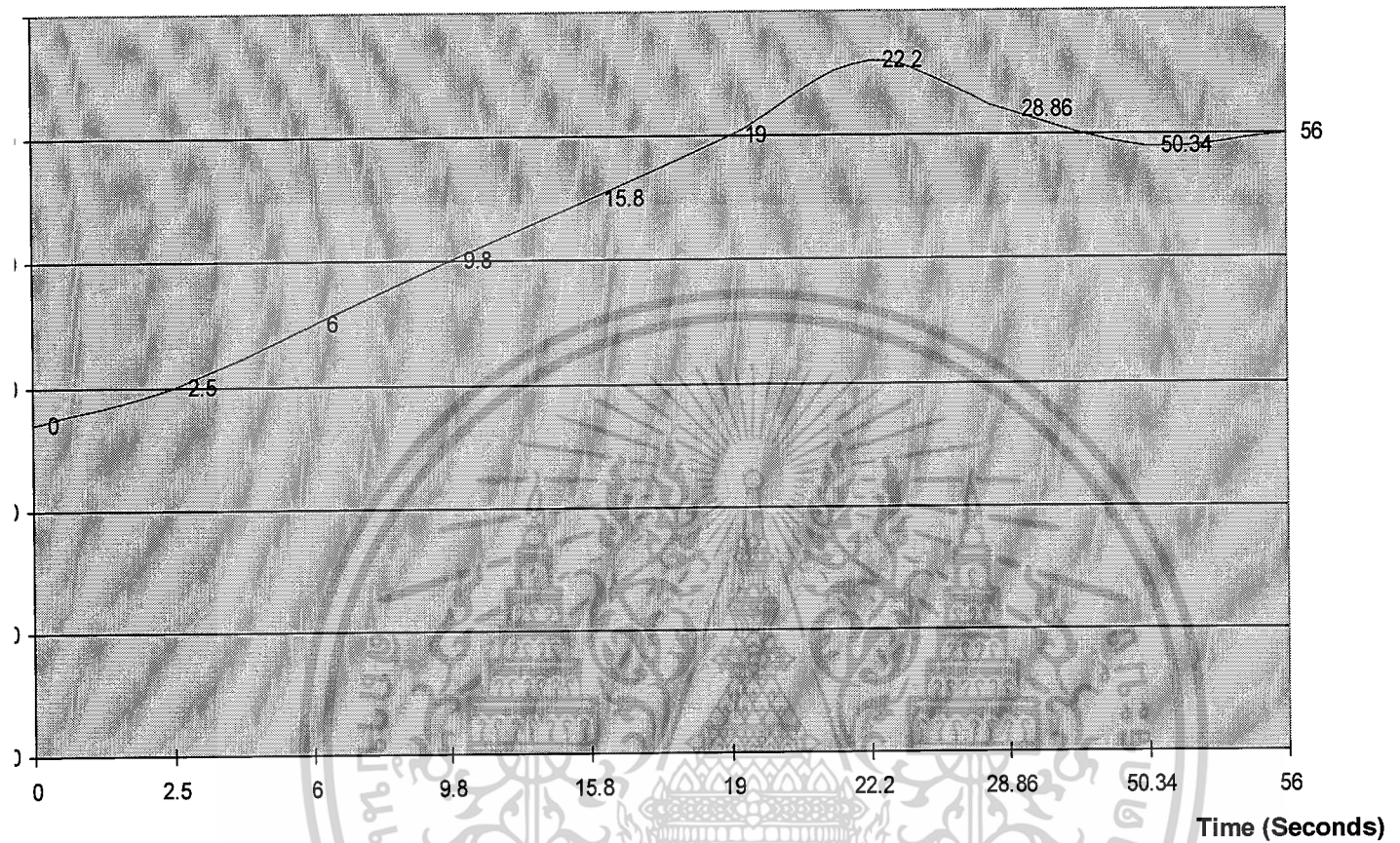


รูปที่ 4.6 เมื่อค่าเกณฑ์ ( $K_p$ ) = 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อค่าเกณฑ์ ( $K_p$ ) = 15

ature (°C)



รูปที่ 4.7 เมื่อค่าเกณฑ์ ( $K_p$ ) = 15

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_d}$$

$$\omega_d = \frac{\pi}{22.22}$$

$$\omega_d = 0.141 \text{ rad/s}$$

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \quad \text{เมื่อ } \zeta = 0.4$$

$$\omega_n = \frac{\omega_d}{\sqrt{1 - \zeta^2}}$$

$$\omega_n = \frac{0.141}{0.92}$$

$$\omega_n = 0.154 \text{ rad/s}$$

$$\omega_n = 2\pi f$$

$$f = \frac{\omega_n}{2\pi} = 0.024 \text{ Hz}$$

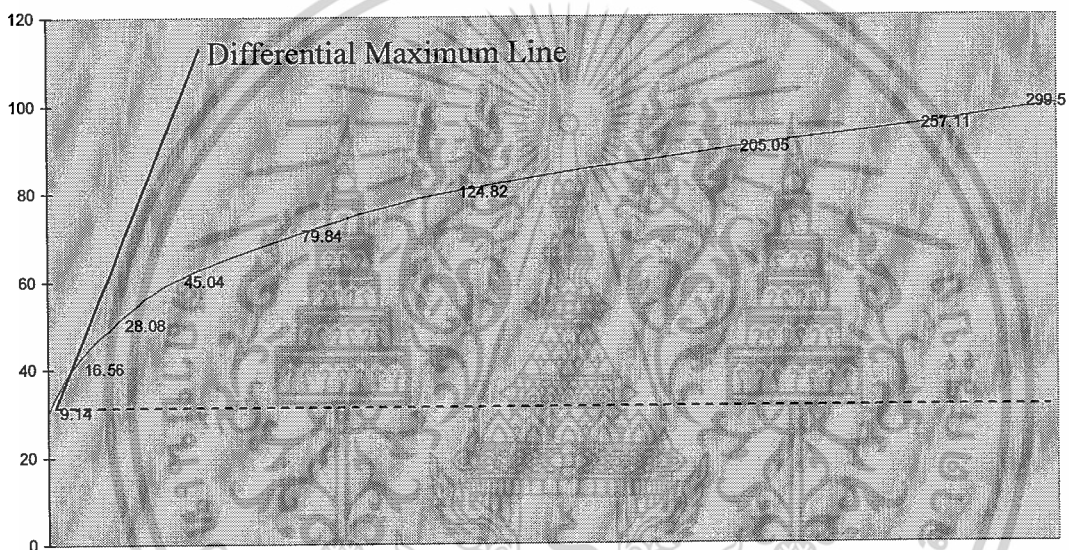
$$T = \frac{1}{f} = 40.82 \text{ sec}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.4 ผลการทดลองเมื่อทำการใส่สัญญาณระดับแบบหนึ่งหน่วยเมื่อทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์แล้ว

เนื่องจากการปรับค่าพารามิเตอร์ทำให้ผลตอบสนองที่ออกมาเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นจึงใช้ทฤษฎีของซิกเกอร์และนิโกล (Ziegler and Nichols) มาช่วยทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับตัวควบคุม

Temperature (°C)



รูปที่ 4.8 กราฟเมื่อมีการปรับแต่งโดยทฤษฎีของซิกเกอร์และนิโกล (Ziegler and Nichols)

$$\text{ซึ่ง } G_s = \frac{26.84}{130.48s + 1}, K_c = 0.059 \text{ } ^\circ\text{C/V}$$

$$K_{\text{total}} = 26.84 \times 0.059 = 1.584, T = 130.48, t_0 = 9.14$$

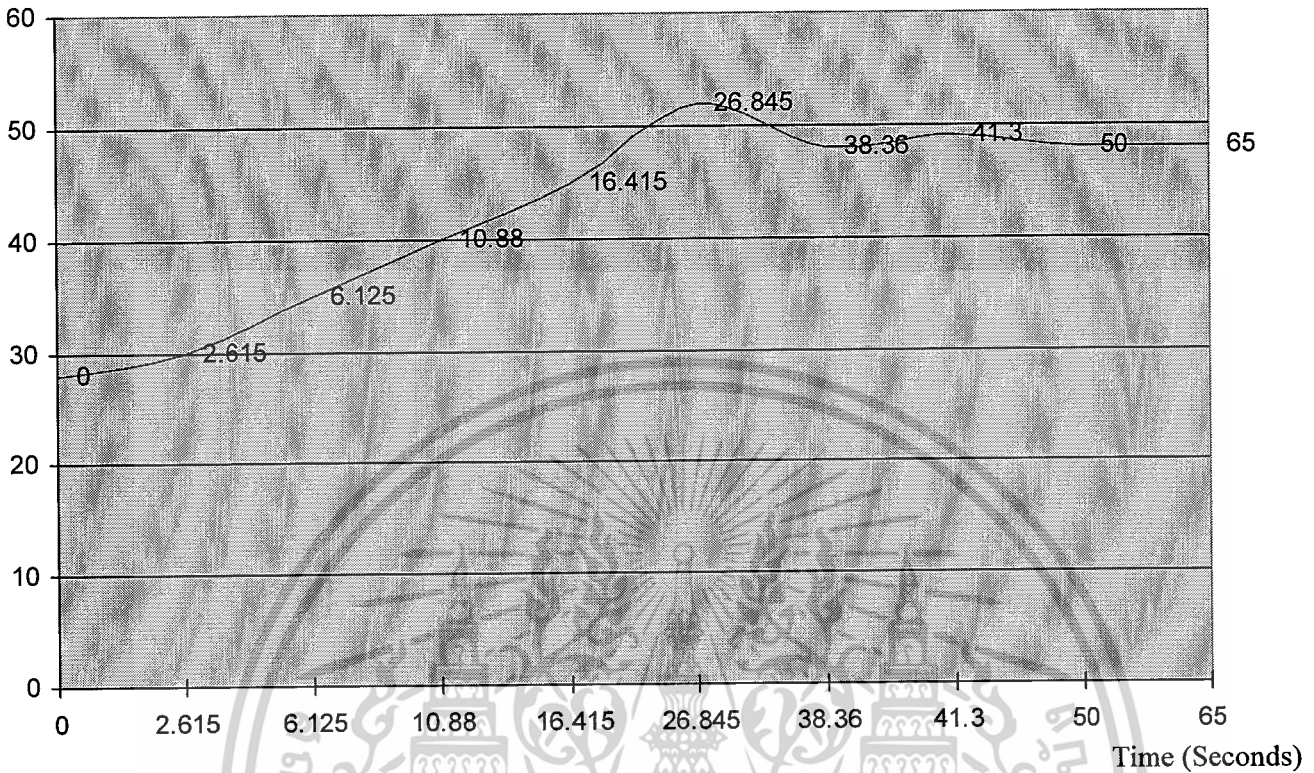
จากตารางการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ชนิดของตัวควบคุม P

$$K_p = \frac{1}{K} \left( \frac{T}{t_0} \right) = \frac{1}{1.584} \left( \frac{130.48}{9.14} \right) \approx 9$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองเมื่อปรับค่า  $K_p = 9$  ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

Temperature (°C)



รูปที่ 4.9 กราฟการทดลองเมื่อปรับค่า  $K_p = 9$  ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

$$t_p = \frac{\pi}{w_d}$$

$$w_d = \frac{\pi}{26.85}$$

$$w_d = 0.116 \text{ rad/s}$$

$$w_d = w_n \sqrt{1 - \zeta^2} \quad \text{เมื่อ } \zeta = 0.6$$

$$w_n = \frac{w_d}{\sqrt{1 - \zeta^2}}$$

$$w_n = \frac{0.116}{0.8}$$

$$w_n = 0.145 \text{ rad/s}$$

$$w_n = 2\pi f$$

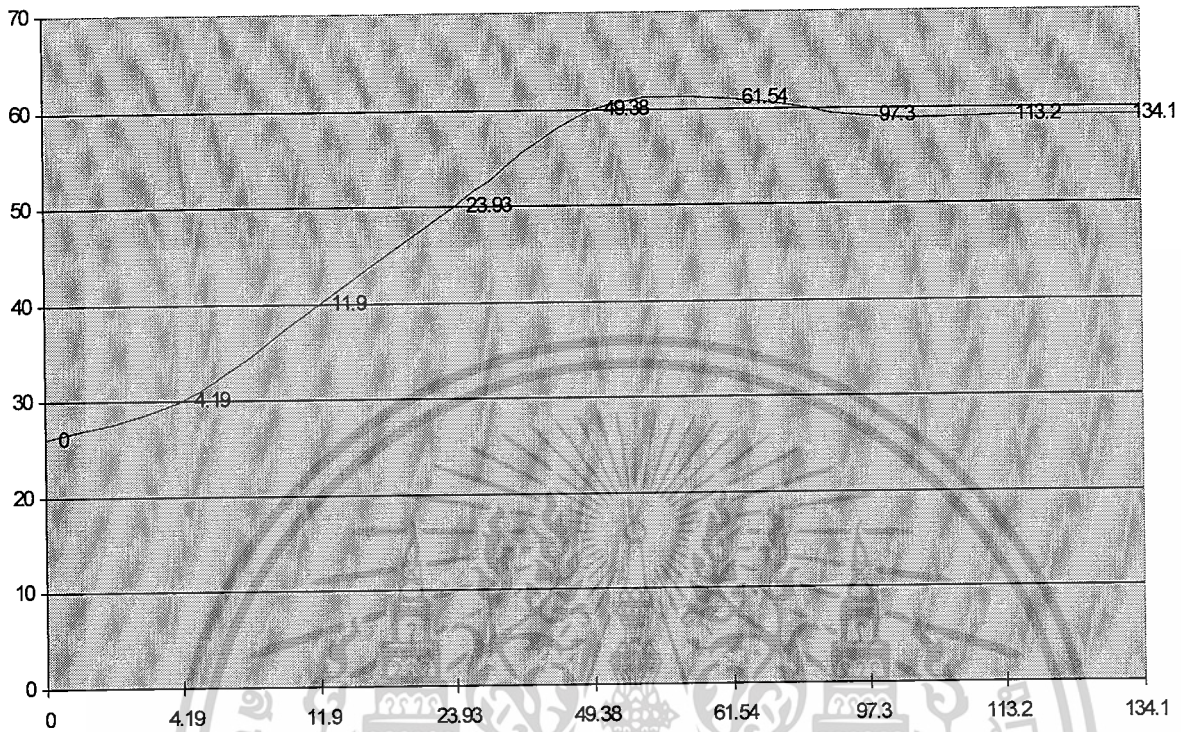
$$f = \frac{\omega_n}{2\pi} = 0.023 \text{ Hz}$$

$$T = \frac{1}{f} = 43.48 \text{ sec}$$

$$ess = \frac{1}{1 + K_p} = \frac{1}{1 + 9} = 0.1\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ทำการทดลองเมื่อปรับค่า  $K_p = 9$  ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เมื่อปรับแรงดันไปที่ 2.6 Volts  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Temperature (°C)



Time (Seconds)

รูปที่ 4.10 กราฟการทดลองเมื่อปรับค่า  $K_p = 9$  ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

$$t_p = \frac{\pi}{w_d}$$

$$w_d = \frac{\pi}{61.54}$$

$$w_d = 0.044 \text{ rad/s}$$

$$w_d = w_n \sqrt{1 - \zeta^2} \quad \text{เมื่อ } \zeta = 0.8$$

$$w_n = \frac{w_d}{\sqrt{1 - \zeta^2}}$$

$$w_n = \frac{0.044}{0.6}$$

$$w_n = 0.073 \text{ rad/s}$$

$$w_n = 2\pi f$$

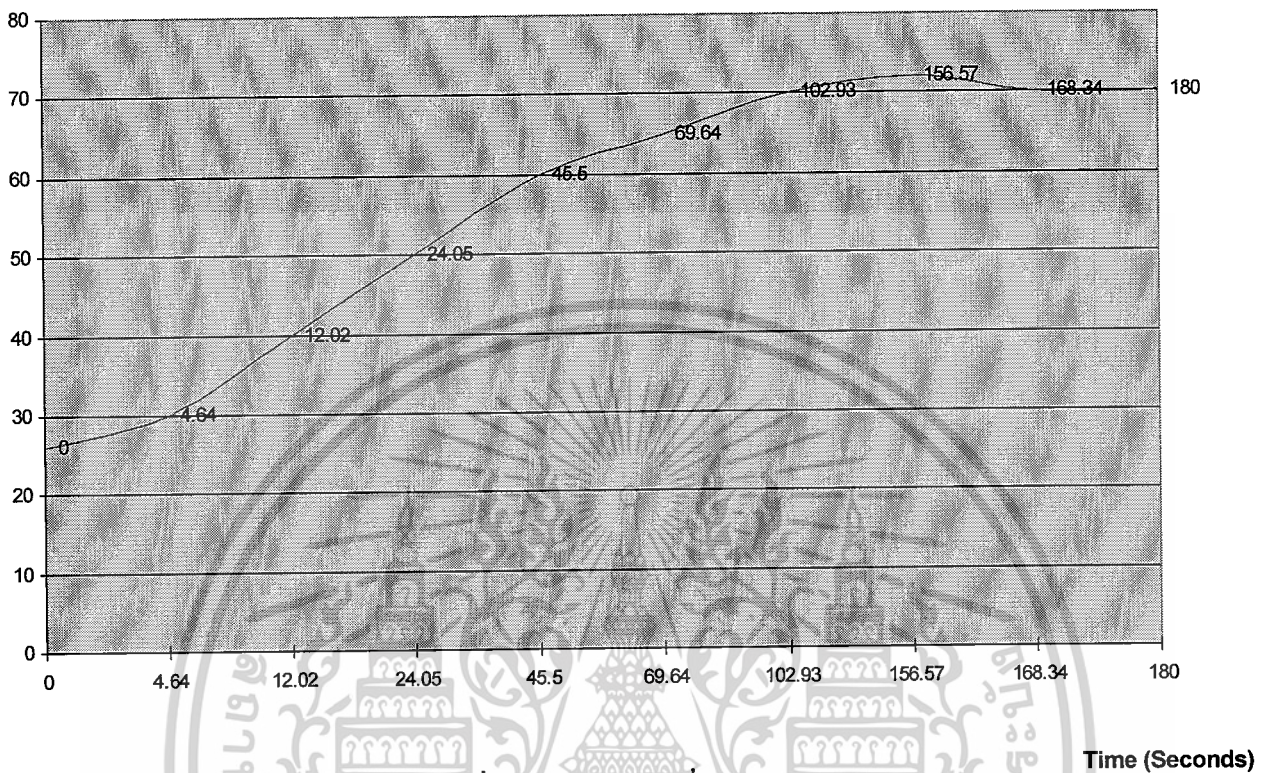
$$f = \frac{\omega_n}{2\pi} = 0.01 \text{ Hz}$$

$$T = \frac{1}{f} = 85.64 \text{ sec}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองเมื่อปรับค่า  $K_p = 9$  ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เมื่อปรับแรงดันไปที่ 3.2 Volts

Temperature (°C)



รูปที่ 4.11 กราฟการทดลองเมื่อปรับค่า  $K_p = 9$  ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

$$t_p = \frac{\pi}{w_d}$$

$$w_d = \frac{\pi}{156.57}$$

$$w_d = 0.02 \text{ rad/s}$$

$$w_d = w_n \sqrt{1 - \zeta^2} \quad \text{เมื่อ } \zeta = 0.8$$

$$w_n = \frac{w_d}{\sqrt{1 - \zeta^2}}$$

$$w_n = \frac{0.02}{0.6}$$

$$w_n = 0.033 \text{ rad/s}$$

$$w_n = 2\pi f$$

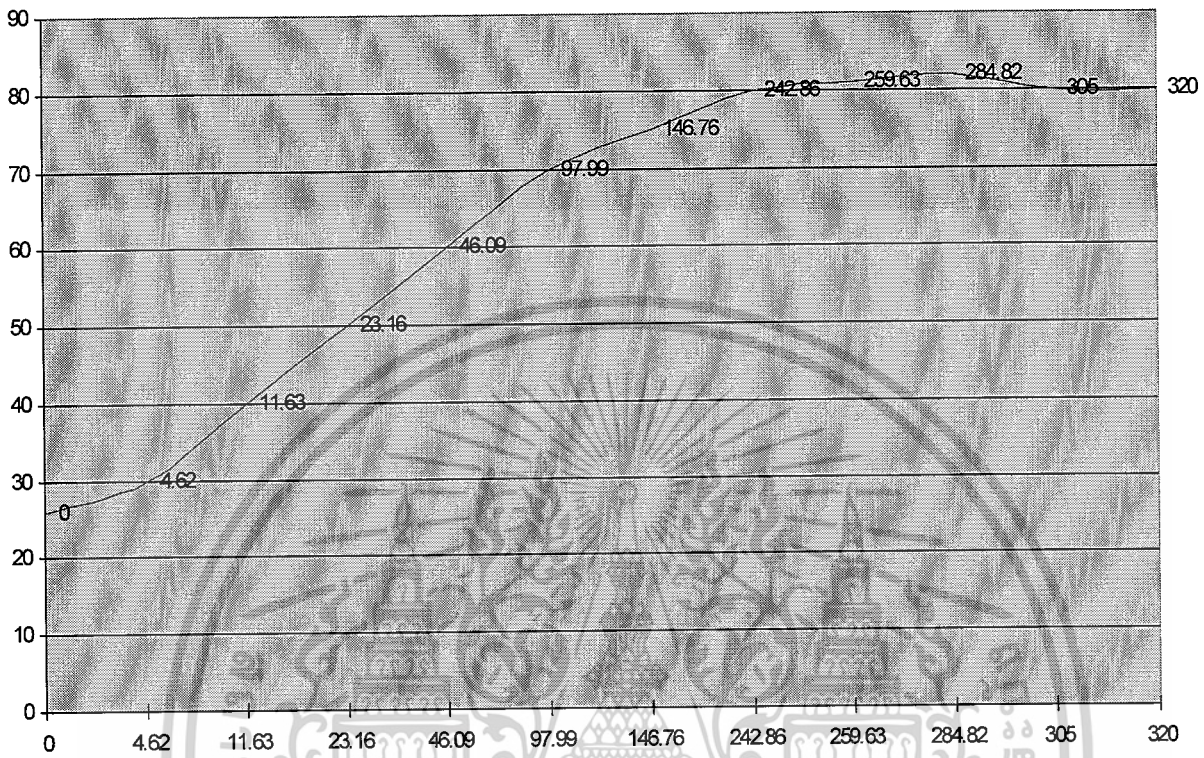
$$f = \frac{w_n}{2\pi} = 0.005 \text{ Hz}$$

$$T = \frac{1}{f} = 188.4 \text{ sec}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองเมื่อปรับค่า  $K_p = 9$  ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เมื่อปรับแรงดันไปที่ 4.0 Volts

Temperature (°C)



Time (Seconds)

รูปที่ 4.12 กราฟการทดลองเมื่อปรับค่า  $K_p = 9$  ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

$$t_p = \frac{\pi}{w_d}$$

$$w_d = \frac{\pi}{284.82}$$

$$w_d = 0.011 \text{ rad/s}$$

$$w_d = w_n \sqrt{1 - \zeta^2} \quad \text{เมื่อ } \zeta = 0.8$$

$$w_n = \frac{w_d}{\sqrt{1 - \zeta^2}}$$

$$w_n = \frac{0.011}{0.6}$$

$$w_n = 0.018 \text{ rad/s}$$

$$w_n = 2\pi f$$

$$f = \frac{w_n}{2\pi} = 0.003 \text{ Hz}$$

$$T = \frac{1}{f} = 340.8 \text{ sec}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลและวิจารณ์การทดลอง

โครงการนี้เป็นชุดควบคุมอุณหภูมิ ที่ควบคุมอุณหภูมิแบบวงปิด โดยมีตัวควบคุมแบบสัดส่วนและทำการควบคุมแบบ Manual โดยใช้ R ปรับค่าได้ ทำการปรับค่าแรงดันตามค่าอุณหภูมิที่เราต้องการ

โดยในการทดลองของโครงการนี้จะเห็นความแตกต่างของระบบวงปิดในขณะที่ยังไม่ใส่ตัวควบคุม และเมื่อทำการใส่ตัวควบคุม ที่มีการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์แล้ว

ในขณะที่ทำการทดลองระบบวงปิดที่ไม่ใส่ตัว ควบคุม จะเห็นได้ว่าระบบจะค่อนข้างช้ามากกว่าที่จะไปถึงจุดเซตพอยต์ (Set Point)

ในขณะที่ทำการทดลองระบบวงปิดเมื่อใส่ตัวควบคุมแต่ยังไม่ทำการปรับค่าพารามิเตอร์จะเห็นได้ว่า

- ถ้าค่าเกน ( $K_p$ ) น้อยจะทำให้ระบบช้าและเกิดความคลาดเคลื่อนจากจุดเซตพอยต์ (Set Point) มาก
- ถ้าค่าเกน ( $K_p$ ) มากจะทำให้ระบบเร็วและช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนจากจุดเซตพอยต์ (Set Point) ลดน้อยลง แต่จะส่งผลให้เกิดการแกว่ง ของระบบสูงทำให้ระบบขาดเสถียรภาพ

ในขณะที่ทำการทดลองระบบวงปิดเมื่อทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์แล้วจะเห็นได้ว่าระบบมีการแกว่งและค่าความคลาดเคลื่อน (Gap) ลดลง จึงส่งผลทำให้ระบบมีความเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น

จากการทดลองในโครงการนี้ เหมาะสมสำหรับใช้ควบคุมอุณหภูมิ กับระบบที่มีลักษณะไม่เน้นตัวอุณหภูมิมากนัก เช่น เครื่องทำความร้อนในบ้าน ในอุณหภูมิที่พอเหมาะต่อความจำเป็น หากจะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมก็จะเป็นลักษณะการเตรียมสารประกอบ

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในโครงการนี้ได้ใช้ความร้อนจากขดลวดความร้อนจากไคเป่าลม ซึ่งมีราคาสูงและหาได้ง่าย แต่จริงๆ แล้วในตัวขดลวดความร้อนนี้ ต้องมีลมพัดผ่านมันอยู่ตลอดเวลาในขณะที่มันทำงานอยู่ ณ อุณหภูมิที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ เพราะลมที่พัดจะเป็นการช่วยระบายความร้อนของขดลวดความร้อน มิฉะนั้นจะทำให้ขดลวดความร้อนนั้นขาดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ในส่วนของลมที่เข้ามารบกวนระบบ จากการทดลองนี้พบว่าการรบกวนระบบตัวนี้ ทำให้ไม่สามารถมองเห็น การรบกวนระบบนั้นได้อย่างชัดเจน จึงขอเสนอแนะ หากมีการพัฒนาต่อไป ควรออกแบบการทำงานให้เป็นลักษณะดูดลมออกจากระบบจะดีกว่า

3. ในส่วนของเซนเซอร์วัดอุณหภูมินั้น ถ้าหากจะเป็นการนำไปประยุกต์ใช้งานที่แท้จริงแล้ว ควรเลือกเซนเซอร์ที่ให้ผลตอบแทนได้เร็ว เช่น มิเตอร์วัดอุณหภูมิ เทอร์โมคัปเปิล นั้นจะมีความแม่นยำและค่าที่แน่นอน จะนิยมมากกว่า LM 34 ที่ถึงแม้จะอ่านอุณหภูมิได้ แต่ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ กว่าจะคงที่ใช้เวลาานมากและค่าค่อนข้างจะคลาดเคลื่อนมาก เมื่อเทียบกับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิข้างต้นที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งจากการทดลองในโครงนี้ เหมาะสมสำหรับใช้ควบคุมอุณหภูมิ กับระบบที่ไม่เน้นตัวอุณหภูมิมากนัก เช่นเครื่องทำความร้อนในบ้านเรือน ที่ขอให้อุ่นในความพอเหมาะเพียงพอต่อความจำเป็น หากจะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมก็จะเป็นลักษณะการเตรียมสารประกอบแต่ไม่ใช่ การรักษาสภาพของวัตถุดิบ

4. ในส่วนมอเตอร์ขับลมนั้นควรหาจอร์ขับมอเตอร์มาขับเพื่อเป็นการปลดปล่อยขีดความสามารถของมอเตอร์ออกมาได้อย่างเต็มที่ และสะดวกสำหรับการแก้ไข เมื่อเกิดการผิดพลาดในการขับมอเตอร์

5. ในส่วนการขับเฟสทริกไครแอค ควรใช้ลักษณะให้ใช้ขาไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีฟังก์ชันพิเศษ PWM มาลองขับซึ่งทางกลุ่มของข้าพเจ้าคิดว่าสามารถทำได้ลักษณะที่ดีกว่า TCA 785 และวงจรถริกข้างต้นที่ได้กล่าวไว้ และสามารถประยุกต์ทำการควบคุมระบบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อสะดวกต่อการปรับค่ามากกว่าวิธีที่ได้กล่าวข้างต้น