

การควบคุมอุณหภูมิในเตาอบด้วยเทคนิคการมอดูเลชัน

แบบ INTEGRAL - CYCLE BINARY RATE

TEMPERATURE CONTROL IN OVEN WITH INTEGRAL - CYCLE

BINARY RATE MODULATION TECHNIQUE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2542

ISBN 974-522-409-3

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมอุณหภูมิในเตาอบด้วยเทคนิคการผสมสัญญาณ

แบบ INTEGRAL - CYCLE BINARY RATE

TEMPERATURE CONTROL IN OVEN WITH INTEGRAL - CYCLE

BINARY RATE MODULATION TECHNIQUE



นิรันดร์ โชชัย

NIRUN CHOCHAI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2542

ISBN 974-622-409-3

เลขหมึก.....  
เลขทะเบียน 33368  
วัน, เดือน, ปี - 2 ส.ค. 2542

**TEMPERATURE CONTROL IN OVEN WITH INTEGRAL – CYCLE  
BINARY RATE MODULATION TECHNIQUE**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

เอกสารนี้เป็น **KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG** การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ **1999** จึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ISBN 974-622-409-3**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**COPYRIGHT 1999**  
**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**  
**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การควบคุมอุณหภูมิในเตาอบด้วยเทคนิคการผสมสัญญาณ
	แบบ Integral – Cycle Binary Rate
นักศึกษา	นายนิรัญ โขชัย
รหัสประจำตัว	39061048
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2542
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงวิธีการหนึ่ง ในการควบคุมอุณหภูมิในเตาอบให้คงที่ โดยอาศัยหลักการผสมสัญญาณแบบ Binary Rate ขนาด 4 บิต กับสัญญาณไฟกระแสสลับ การผสมสัญญาณจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 ที่กำหนดให้มีการควบคุมแบบพีไอ โดยนำอุณหภูมิที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลไปเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ ทำให้เกิดสัญญาณไฟกระแสสลับตามจำนวนของการคำนวณจากตัวควบคุม แล้วส่งต่อไปยังวงจรขับเพื่อกำหนดความร้อนในเตาอบ ตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างต่อเนื่องและมีความเสถียรภาพตลอดเวลา ระบบนี้สามารถจะพิจารณาผลตอบสนองต่อเวลาจากโมเดลของกระบวนการ ตัวควบคุม และอัลกอริทึมของ Binary Rate นอกจากนี้ยังทำให้ผลของการควบคุมมี Ripple น้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ จากย่านการควบคุมอุณหภูมิ 40 ถึง 200 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Temperature Control in Oven with Integral – Cycle Binary Rate Modulation Technique
<b>Student</b>	Mr.Nirun Chochai
<b>Student ID.</b>	39061048
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Programme</b>	Electrical Engineering
<b>Year</b>	1999
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof.Vittaya Tipsuwanporn

### ABSTRACT

This paper presents the constant temperature controlled of the oven by using the mixed 4 bit binary rate with ac voltage from ac line. The transmitted signal is modulated with a signal from microcontroller MCS-51. The operating system is digital PI with proportional integral mode. The measured temperature from thermocouple will be compared with the setting temperature. The result is phase difference of ac line signal, it will be used as firing to produce the ac signal and pass to the driver circuit for generating heat in oven. This system determines the time response from the process model, controller, algorithm of binary rate the effect controlling than 5% from the temperature range 40 - 200° C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

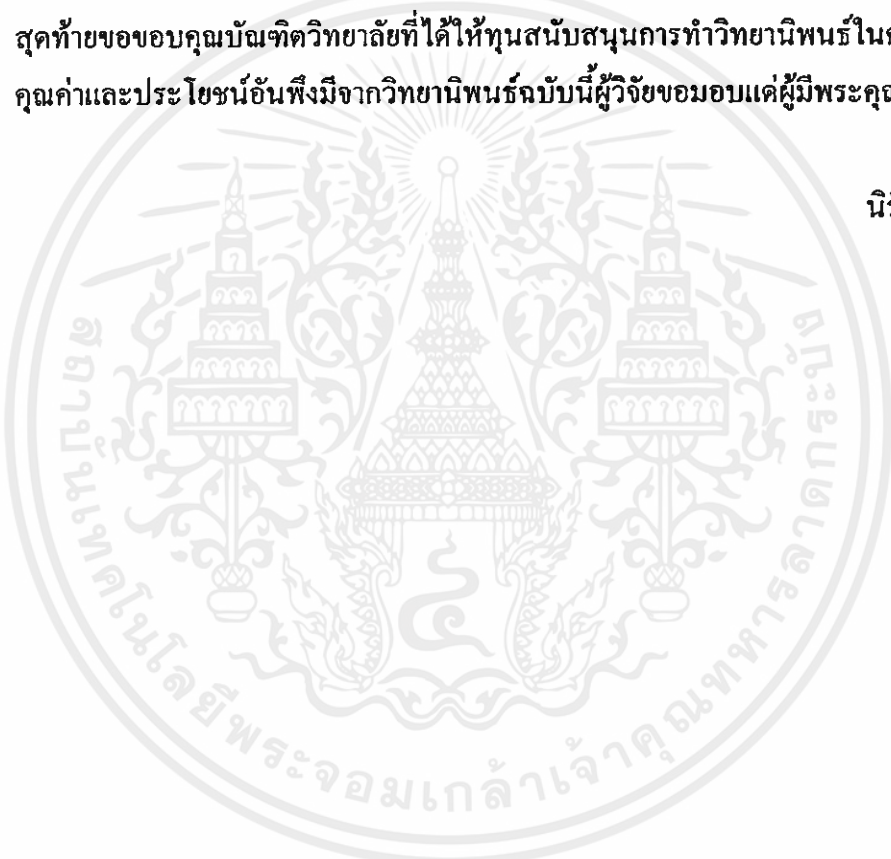
# กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบิดามารดาตลอดจนภรรยาและลูกที่ได้ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการศึกษามาโดยตลอด ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี

ขอขอบคุณอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร ที่มีส่วนช่วยแนะนำคำปรึกษาการออกแบบเทคนิคแนวใหม่ Binary Rate Modulation (BRM) และเอกสารอ้างอิงต่าง ๆ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณต่อท่านอธิการบดี มหาวิทยาลัยเซนต์จอห์นที่สนับสนุนให้มาศึกษาต่อ  
สุดท้ายขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้  
คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นิรันดร์ โชชัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการทำงาน.....	3
2.1 การวัดอุณหภูมิ.....	3
2.1.1 ปრაกฏการณ์ของเทอร์โมคัปเปิลที่ควรรทราบ.....	3
2.1.2 เทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน.....	3
2.2 ระบบการควบคุม.....	6
2.2.1 ระบบการควบคุมแบบรูปเปิด.....	6
2.2.2 ระบบควบคุมแบบรูปปิด.....	6
2.3 หลักการพื้นฐานของการผสมสัญญาณ BRM (Binary Rate Modulation).....	12
2.4 การจ่ายพลังงานให้กับขดลวดความร้อนทั้งหมด.....	14
บทที่ 3 การออกแบบโครงสร้างของระบบควบคุม.....	16
3.1 การสร้างสัญญาณ BRM.....	17
3.2 วงจรจุดตัดศูนย์.....	18
3.3 หน่วยแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล.....	19
3.4 วงจรจ่ายพลังงาน.....	19
3.5 การออกแบบโปรแกรม.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ได้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดสอบ.....	24
4.1 การทดสอบชุดวงจรจุดตัดศูนย์.....	24
4.2 การทดสอบการผสมสัญญาณแบบ Integral-Cycle Binary Rate Modulation กับสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ.....	26
4.3 การทดสอบแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล.....	27
4.4 ผลการทดสอบการจ่ายพลังงานแบบลูปเปิดให้กับขดลวดในเตาอบ.....	27
4.4.1 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_1$ .....	29
4.4.2 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_2$ .....	30
4.4.3 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_3$ .....	30
4.4.4 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_4$ .....	31
4.4.5 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_5$ .....	31
4.4.6 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_6$ .....	32
4.4.7 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_7$ .....	32
4.4.8 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_8$ .....	33
4.4.9 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_9$ .....	33
4.4.10 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_{10}$ .....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.11 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_{11}$ .....	34
4.4.12 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_{12}$ .....	35
4.4.13 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_{13}$ .....	
4.4.14 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_{14}$ .....	36
4.4.15 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_{15}$ .....	36
4.5 ผลการทดสอบการจ่ายพลังงานแบบรูปเปิดและแบบรูปปิดให้กับขดลวด ในเตาอบ.....	37
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	43
บรรณานุกรม.....	44
ภาคผนวก.....	45
ภาคผนวก ก โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ.....	46
ภาคผนวก ข DATA SHEET.....	61
ภาคผนวก ค ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์.....	83
ประวัติผู้เขียน.....	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 หลักการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติไฟฟ้า.....	3
2.2 แสดงคุณสมบัติเปรียบเทียบของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน.....	5
4.1 ค่าที่อ่านได้จากมิลลิโวลต์มิเตอร์ของวงจรสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล.....	27
4.2 ค่าที่แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของขดลวดความร้อน.....	28
4.3 การทดสอบการจ่ายพลังงานสัญญาณ BRM ที่ $f_{15}$ ตั้งแต่ $T_{s_1} - T_{s_{20}}$ .....	40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ระบบควบคุมแบบลูปปิด.....	6
2.2 แผนภาพตัวควบคุมแบบ P.....	7
2.3 แผนภาพตัวควบคุมแบบ I.....	8
2.4 แผนภาพตัวควบคุมแบบ D.....	9
2.5 การผสมสัญญาณ Binary Rate กับ ไฟฟ้ากระแสสลับ.....	12
2.6 รูปแบบสัญญาณ BRM.....	13
2.7 สภาวะเอาต์พุตจากอินพุต BRM .....	14
2.8 การจ่ายพลังงานใน 1 ไชเกิล.....	14
3.1 โครงสร้างทาง HARDWARE ของระบบ.....	16
3.2 รูปถ่ายชุดวงจรควบคุมของระบบ.....	17
3.3 วงจรจุดตัดศูนย์.....	18
3.4 สัญญาณจุดตัดศูนย์.....	18
3.5 ภาพแสดงหน่วย A/D Converter.....	19
3.6 วงจรจ่ายพลังงาน.....	20
3.7 แผนภาพโปรแกรมหลักการควบคุมแบบ PID .....	22
3.8 แผนภาพโปรแกรมย่อยแบบ Automatic.....	23
3.9 แผนภาพโปรแกรมย่อยแบบ Manual.....	23
4.1 รูปถ่ายชุดวงจรจุดตัดศูนย์.....	24
4.2 รูปของสัญญาณจุดตัดศูนย์.....	25
4.3 รูปของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับเปรียบเทียบกับสัญญาณจุดตัดศูนย์.....	25
4.4 รูปของสัญญาณ BRM รูปแบบที่ $f_1$ .....	26
4.5 รูปของสัญญาณ BRM รูปแบบที่ $f_2$ .....	26
4.6 รูปของสัญญาณ BRM รูปแบบที่ $f_3$ .....	27
4.7 สัญญาณการจ่ายพลังงานกับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_1$ .....	29
4.8 สัญญาณการจ่ายพลังงานกับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_2$ .....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.9 สัญญาการจ่ายพลังงานกับขลวดในเตาอบด้วยสัญญา BRM รูปแบบ $f_3$ .....	30
4.10 สัญญาการจ่ายพลังงานกับขลวดในเตาอบด้วยสัญญา BRM รูปแบบ $f_4$ .....	31
4.11 สัญญาการจ่ายพลังงานกับขลวดในเตาอบด้วยสัญญา BRM รูปแบบ $f_5$ .....	31
4.12 สัญญาการจ่ายพลังงานกับขลวดในเตาอบด้วยสัญญา BRM รูปแบบ $f_6$ .....	32
4.13 สัญญาการจ่ายพลังงานกับขลวดในเตาอบด้วยสัญญา BRM รูปแบบ $f_7$ .....	32
4.14 สัญญาการจ่ายพลังงานกับขลวดในเตาอบด้วยสัญญา BRM รูปแบบ $f_8$ .....	33
4.15 สัญญาการจ่ายพลังงานกับขลวดในเตาอบด้วยสัญญา BRM รูปแบบ $f_9$ .....	33
4.16 สัญญาการจ่ายพลังงานกับขลวดในเตาอบด้วยสัญญา BRM รูปแบบ $f_{10}$ .....	34
4.17 สัญญาการจ่ายพลังงานกับขลวดในเตาอบด้วยสัญญา BRM รูปแบบ $f_{11}$ .....	34
4.18 สัญญาการจ่ายพลังงานกับขลวดในเตาอบด้วยสัญญา BRM รูปแบบ $f_{12}$ .....	35
4.19 สัญญาการจ่ายพลังงานกับขลวดในเตาอบด้วยสัญญา BRM รูปแบบ $f_{13}$ .....	35
4.20 สัญญาการจ่ายพลังงานกับขลวดในเตาอบด้วยสัญญา BRM รูปแบบ $f_{14}$ .....	36
4.21 สัญญาการจ่ายพลังงานกับขลวดในเตาอบด้วยสัญญา BRM รูปแบบ $f_{15}$ .....	36
4.22 การทดสอบแบบลูเปิดมีค่าเอาท์พุท 55 เปอร์เซ็นต์.....	37
4.23 แสดงการทดสอบแบบลูปิด โดยมีค่าเป้าหมาย 100 องศาเซลเซียส (แสดงที่ 50 เปอร์เซ็นต์).....	38
4.24 การทดสอบแบบลูเปิดมีค่าเอาท์พุท 65 เปอร์เซ็นต์.....	39
4.25 แสดงการทดสอบลูปิด โดยมีค่าเป้าหมาย 140 องศาเซลเซียส (แสดงที่ 70 เปอร์เซ็นต์)....	39
4.26 การทดสอบการจ่ายพลังงาน(กระแส)สัญญา BRM ที่ $f_{15}$ ตั้งแต่ $T_{s_1} - T_{s_{20}}$ .....	41
4.27 การทดสอบการจ่ายพลังงาน(แรงดัน)สัญญา BRM ที่ $f_{15}$ ตั้งแต่ $T_{s_1} - T_{s_{20}}$ .....	42
4.28 การทดสอบการจ่ายพลังงาน(กำลังงาน)สัญญา BRM ที่ $f_{15}$ ตั้งแต่ $T_{s_1} - T_{s_{20}}$ .....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาของงานวิจัย

การควบคุมอุณหภูมิในเตาอบถูกใช้ในงานอุตสาหกรรมและในครัวเรือนทั่ว ๆ ไปอย่างแพร่หลาย แต่ความเหมาะสมในการควบคุมอุณหภูมิในงานแต่ละชนิดมีขีดจำกัดของการใช้งานแตกต่างกัน สำหรับการควบคุมโดยทั่วไปเป็นการควบคุมอย่างง่าย ๆ เช่นการควบคุมแบบ on – off ที่จะเกิดผลเสียต่อชุดขดลวดความร้อน หรือจะใช้การควบคุมแบบ PID แต่ก็ไม่ได้มีการพิจารณาการจ่ายพลังงาน จะเป็นการควบคุมแต่เป้าหมายคืออุณหภูมิเท่านั้น ดังนั้นจึงเกิดแนวความคิดในการควบคุมพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวดความร้อนให้มีประสิทธิภาพสูงสุด และยังสามารถใช้เป้าหมายคืออุณหภูมิอีกด้วย โดยใช้เทคนิคการควบคุมการผสมสัญญาณแบบ Integral – Cycle Binary Rate เป็นการกำหนดพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมจ่ายให้กับเตาอบตามกระบวนการควบคุมแบบ PI โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในการประมวลผลสำหรับจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับขดลวดความร้อน เพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิที่ต้องการตามค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้

การผสมสัญญาณแบบไบนารี ขนาด 4 บิตกับสัญญาณไฟกระแสสลับจาก AC – LINE ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ 16 รูปแบบไปควบคุมอุณหภูมิในเตาอบจาก 40 – 200 องศาเซลเซียส ส่วนอุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมินั้นเป็นเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด J ทำการตรวจจับอุณหภูมิอย่างต่อเนื่อง

### 1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอการควบคุมอุณหภูมิในเตาอบด้วยเทคนิคการควบคุม โดยการผสมสัญญาณแบบ Integral – Cycle – Binary Rate ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักดังนี้

1.2.1 ออกแบบและสร้างหลักการควบคุม โดยการผสมสัญญาณแบบ Integral – Cycle Binary Rate กับสัญญาณไฟกระแสสลับ

1.2.2 ออกแบบ และสร้างวงจรการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดความร้อนตามอัตราส่วนที่ได้รับมาจากส่วนของการผสมสัญญาณไบนารี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 1.2.3 ศึกษาเทคนิคการควบคุมป้อนกลับ PI สำหรับการควบคุมอุณหภูมิภายในเตาอบที่ไม่ใช่เตาอบ โดยการประมวลผลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.4 เพื่อพัฒนาเทคนิคการควบคุมโดยการผสมสัญญาณแบบ Integral – Cycle Binary Rate ให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด และสามารถประยุกต์ใช้ ควบคุมกับระบบงานอื่น ๆ เช่น การควบคุมความเร็ว และควบคุมความเข้มของแสงสว่าง เป็นต้น

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 เขียนโปรแกรมสร้างการผสมสัญญาณไบนารีขนาด 4 บิต โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51

1.3.2 เขียนโปรแกรมควบคุมการป้อนกลับแบบ PI โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 ให้มีผลตอบสนองได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด

1.3.3 ควบคุมอุณหภูมิในเตาอบได้ตั้งแต่ 40 – 200 องศาเซลเซียส

1.3.4 เตาอบใช้มีขนาด 1 x 1 x 1 ลูกบาศก์เมตร ใช้ฮีตเตอร์ขนาด 3 กิโลวัตต์ และตรวจจับอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด J

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถนำไปใช้งานกับเตาอบโดยทั่วไปได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.4.2 สามารถควบคุมเปอร์เซ็นต์การจ่ายพลังงานให้กับขดลวดความร้อนในเตาอบอย่างละเอียดและต่อเนื่อง

1.4.3 สามารถตอบสนองตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างต่อเนื่องให้มีเสถียรภาพตลอดเวลา

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการทำงาน

### 2.1 การวัดอุณหภูมิ

อุปกรณ์การวัดอุณหภูมิมีหลายประเภท แต่ละประเภทอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเฉพาะของสารที่ทำด้วยโลหะต่างชนิดกันเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกัน ถ้าปลายทั้งสองมีอุณหภูมิต่างกันจะทำให้เกิดการไหลของไฟฟ้าตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

ตารางที่ 2.1 หลักการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติไฟฟ้า

เทอร์โมมิเตอร์	หลักการวัด	วัสดุที่ใช้	ช่วงการวัด
เทอร์โมคัปเปิล	อุณหภูมิ → เทอร์โมคัปเปิล → แรงเคลื่อนไฟฟ้า	TYPE B	600 – 1700 °C
		S	0 – 1600 °C
		R	1 – 1600 °C
		K	-200 – 1200 °C
		E	-200 – 800 °C
		J	-200 – 800 °C
		T	-200 – 350 °C

#### 2.1.1 ปรัชญาการณ้ของเทอร์โมคัปเปิลที่ควรรทราบ

2.1.1.1 ในเทอร์โมคัปเปิลคู่เดียวกันอุณหภูมิที่มีผล คือ อุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสองเท่านั้น อุณหภูมิบนจุดต่าง ๆ ตามสายจะ ไม่มีผลต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

2.1.1.2 การต่อขานานเทอร์โมคัปเปิลเข้าด้วยกัน ผลที่ได้คือ อุณหภูมิเฉลี่ย

2.1.1.3 การต่อเทอร์โมคัปเปิลสองชุดกลับขั้วกัน เป็นการวัดต่าง ๆ ของอุณหภูมิ

2.1.1.4 การต่ออนุกรมเทอร์โมคัปเปิล แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นผลรวมของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชุด

#### 2.1.2 เทอร์โมคัปเปิลชนิดมาตรฐาน

เทอร์โมคัปเปิลชนิด S (Type S Platinum 10% Rhodium VS. Platinum)

เทอร์โมคัปเปิลชนิด S สายลบทำจากแพลตินัม และสายบวกทำจากโลหะผสม 90%

ของแพลตินัม + 10% ของโรเดียม สามารถวัดอุณหภูมิได้สูงถึง 1400 °C ซึ่งต่อมาเทอร์โมคัปเปิลชนิดนี้ได้กลายเป็นชนิด S

เทอร์โมคัปเปิลชนิด S นี้สามารถใช้งานไปสภาวะที่เป็น Oxidizing และ Inert ได้ดี โดยสามารถทนอุณหภูมิได้ 1400 °C

หรือกับการใช้งานในระยะเวลาสั้น ๆ สามารถทนได้ถึง 1482 °C แต่ไม่เหมาะสำหรับสภาวะงานที่เป็นแบบ Recing, Vacuum หรือสภาพงานที่มีไอของโลหะ เช่น ตะกั่ว สังกะสี และไอของโลหะซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานสั้นลง จึงจำเป็นต้องใช้การป้องกันด้วย Protecting Tube ที่เป็นแบบอโลหะ เช่น อลูมิเนียมบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิสูง ๆ เม็ดเกรนของพลาตินัมจะพองตัว และพลาตินัมก็จะเกิดสกรปรกได้ง่ายที่อุณหภูมิสูง ๆ ทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้ามีค่าต่ำลง จากการวิเคราะห์ส่วนผสมภายหลังการใช้งาน 20 ปี ส่วนผสมของโรเดียมจะเปลี่ยนสภาพเป็นพลาตินัมทำให้คุณสมบัติผิดไป การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดกับเทอร์โมคัปเปิลทุกแบบที่มีส่วนผสมของโรเดียม

#### เทอร์โมคัปเปิลชนิด R (Type R Platinum 13% Rhodium VS. Platinum)

เทอร์โมคัปเปิลชนิด R สายบวกทำจาก พลาตินัม สายลบทำจาก พลาตินัม 87% + โรเดียม 13% ผลที่ได้จะทำให้ชนิด R ให้เอาท์พุทสูงกว่าชนิด S

#### เทอร์โมคัปเปิลชนิด B (Type B Platinum 30% Rhodium / Platinum 6% Rhodium)

เทอร์โมคัปเปิลชนิด B สายบวกทำจาก พลาตินัม 70% + โรเดียม 30% สายลบทำจาก พลาตินัม 94% + โรเดียม 6%

เทอร์โมคัปเปิลชนิด B จะให้แรงเคลื่อนต่ำกว่าชนิด S และชนิด R แต่คุณสมบัติที่เด่นกว่าคือแข็งแรงและทนทานกว่าสามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงสุดได้ถึง 1704 °C ในสภาวะที่เป็น Oxidizing หรือ Inert แต่ไม่เหมาะสมกับการใช้งานในสภาวะ Reducing หรือ Vacuum และในงานที่มีไอของโลหะและอโลหะเช่นเดียวกับชนิด R และ S

#### เทอร์โมคัปเปิลชนิด J (Type J Iron VS. Constantan)

เทอร์โมคัปเปิลชนิด J สายบวกทำด้วยเหล็ก และสายลบทำด้วย Constantan (โลหะผสมระหว่าง 60% ของทองแดง + 40% ของนิกเกิล)

คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลชนิด J เหมาะสำหรับสภาพงานที่เป็น Vacuum, Oxidizing, Reducing หรือ Inert ที่อุณหภูมิไม่เกิน 760 °C ไม่เหมาะสำหรับงานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 °C และที่สูงกว่า 538 °C สายที่เป็นเหล็กจะเกิด Oxidation ด้วยอัตราสูงกว่าปกติมาก สำหรับอุณหภูมิที่สูงกว่า 538 °C จะต้องใช้สายเทอร์โมคัปเปิลขนาดใหญ่จะช่วยอายุการใช้งานยืนยาวขึ้น

#### เทอร์โมคัปเปิลชนิด K (Type K Chromel VS. Alumel)

เทอร์โมคัปเปิลชนิดใหม่ที่สายบวกทำจากโลหะผสมระหว่าง นิกเกิล 10% + โครเมียม 90% และสายลบทำจากโลหะผสมระหว่าง นิกเกิล 95% + 5% ของส่วนผสมระหว่างอลูมิเนียม, แมงกานีสและซิลิกอน สามารถนำมาใช้กับสภาวะงานที่เป็น Oxidizing หรือ Inert ได้ดีกว่าชนิดอื่น สามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 1260 °C และที่อุณหภูมิต่ำถึง -250 °C ในสภาพงานที่ต้องรับการแผ่รังสีโดยตรงจากแหล่งกำเนิดความร้อน เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ก็สามารถใช้งานได้ดี

ข้อควรระวัง ไม่ควรใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K สัมผัสโดยตรงกับ

1. ในสภาวะงานที่เป็น Reducing หรือเป็นการใช้งานสลับกันระหว่าง Oxidizing และ Reducing

2. สภาวะงานที่มีไอของซัลเฟอร์จะทำลายโลหะทั้งตัวของเทอร์โมคัปเปิล โดยเฉพาะสายลวดจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

3. สภาวะงานที่เป็น Vacuum ยกเว้นในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ

**เทอร์โมคัปเปิลชนิด T (Type T Copper VS. Constantan)**

เป็นเทอร์โมคัปเปิลที่เหมาะสมสำหรับการวัดอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ สายลวดของเทอร์โมคัปเปิลชนิด T ทำจากทองแดง และสายลวดทำจากคอนสแตนแตน ในสภาพการใช้งานปกติสามารถวัดอุณหภูมิได้ต่ำถึง  $-184^{\circ}\text{C}$  แต่อุณหภูมิทางบวกวัดได้ต่ำกว่าชนิดอื่น และสามารถใช้งานในสภาวะที่เป็น Vacuum, Reducing, Oxidizing, หรือ Inert ได้ดี

การใช้งานที่ต้องสัมผัสกับการแผ่รังสีโดยตรงจะทำให้ส่วนผสมของเทอร์โมคัปเปิลเปลี่ยนไปได้ จึงไม่เหมาะกับงานลักษณะนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติเปรียบเทียบของเทอร์โมคัปเปิลชนิดมาตรฐาน

ชนิด	ส่วนผสม	ย่านอุณหภูมิใช้งาน $^{\circ}\text{C}$	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้ mV
B	พลาทินัม - 30% โรเดียม พลาทินัม - 6% โรเดียม	0 To 1820	0 To 13.814
R	พลาทินัม - 13% โรเดียม พลาทินัม	-50 To 1768	-2.26 To 21.108
S	พลาทินัม - 10% โรเดียม พลาทินัม	-50 To 1768	-0.236 To 18.698
J	เหล็ก / คอนสแตนแตน	-210 To 760	-8.096 To 42.922
K	โครเมิล / อลูเมล	-270 To 1372	-6.458 To 54.875
T	ทองแดง / คอนสแตนแตน	-270 To 400	-6.258 To 20.869

การวัดอุณหภูมิในเตาอบอุปกรณ์การวัดอุณหภูมิจะใช้เทอร์โมคัปเปิล ชนิด J ซึ่งประกอบด้วยโลหะ 2 ชนิดที่ทำด้วยโลหะต่างชนิดกันเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกัน ถ้าปลายทั้งสองมีอุณหภูมิต่างกัน จะทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า คังสมการ (2.1)

$$E'_T = 50.37T + 3.042 \times 10^{-5}T^2 - 8567 \times 10^{-5}T^3 + 1.335 \times 10^{-7}T^4 \quad (2.1)$$

$E'_T$  คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลชนิด J เมื่ออุณหภูมิอ้างอิง 0 องศาเซลเซียส

จากสมการ(2.1) แรงเคลื่อนไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิล จะเปลี่ยนแปลงโดยตรงกับอุณหภูมิที่วัดเข้ามา เมื่ออุณหภูมิมียุ่ค่าสูงขึ้นจะทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย ในระบบเลือกเทอร์โมคัปเปิลชนิด J เพราะมีคุณสมบัติเด่นคือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเอาต์พุตสูง และย่านการวัดอุณหภูมิสามารถวัดได้สูง 0 ถึง 750 องศาเซลเซียส พิกัดของค่าผิดพลาด 2.2 เปอร์เซ็นต์

## 2.2 ระบบการควบคุม (Control System)

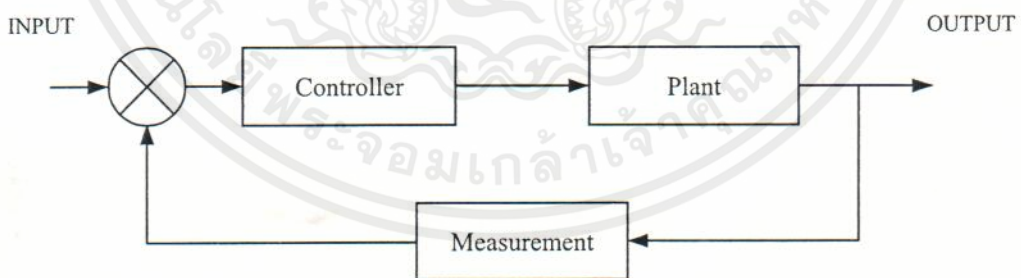
ตัวควบคุม หมายถึง ส่วนที่กำเนิดสัญญาณควบคุมตามกฎเกณฑ์ของการควบคุมที่ได้กำหนดไว้ล่วงหน้า ตามคำสั่งที่เป็นฟังก์ชัน ประเภทของระบบการควบคุม แบ่งได้เป็น

### 2.2.1 ระบบการควบคุมแบบรูปเปิด (Open – Loop Control System)

ระบบการควบคุมประเภทนี้ เป็นการควบคุมที่ไม่มีการเปรียบเทียบเอาต์พุตกับอินพุตที่ป้อนเข้าไป โดย Plant ทำงานที่อัตราคงที่ ถ้าระบบถูกรบกวนจากภายนอกจะทำให้ Plant ไม่สามารถทำงานได้ตามที่ตัวควบคุมส่งมา โดยไม่สามารถแก้ไขที่ส่วนของตัวควบคุมอย่างทันทีทันใด ดังนั้นความแม่นยำของเอาต์พุตของระบบขึ้นอยู่กับค่าที่ตั้งค่า และการคาดการณ์ล่วงหน้า การควบคุมการทำงานจะอาศัยเวลาที่ตั้งไว้เป็นหลัก

### 2.2.2 ระบบควบคุมแบบรูปปิด (Close – Loop Control System)

ระบบการควบคุมแบบรูปปิด แสดงดังรูปที่ 2.1

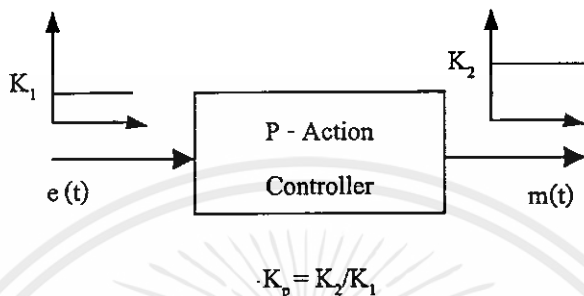


รูปที่ 2.1 ระบบควบคุมแบบรูปปิด

ระบบควบคุมประเภทนี้ มีการป้อนกลับจากเอาต์พุตมายังส่วนที่เป็นตัวควบคุมของระบบ เพื่อเปรียบเทียบค่าที่ตั้งไว้ โดยอาศัยตัวเปรียบเทียบตลอดเวลา ในช่วงการข้องการควบคุมการป้อนกลับนี้ค่า ผิดพลาด (error) จะเปลี่ยนแปลงตามการเปรียบเทียบค่าตลอดเวลา ถ้าค่าของเอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ดังนั้นส่วนที่เป็น Plant ของการควบคุมการป้อนกลับนี้ โดยทั่วไปแล้วจะทำงานด้วยอัตราไม่คงที่ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับแบบของตัวควบคุม สามารถแบ่งตัวควบคุมได้ดังนี้

### ตัวควบคุมแบบ P (Proportional Controller)

สัญญาณควบคุมแบบนี้จะมีขนาดเป็นสัดส่วนกับขนาดของค่า Error ในขณะนั้น โดยจะไม่พิจารณาถึงค่าเก๋า หรือแนวโน้มของค่าล่วงหน้า ดังรูปที่ 2.2 การควบคุมแบบนี้สัญญาณของตัวควบคุมจะมีค่าเท่ากับค่าเป้าหมายที่สภาวะการทำงานและสภาพแวดล้อมที่มีค่าใดค่าหนึ่ง ถ้าสภาวะการทำงานและสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปสัญญาณของตัวควบคุม จะมีค่าแตกต่างไปจากค่าเป้าหมายที่สภาวะใหม่



รูปที่ 2.2 แสดงแผนภาพตัวควบคุมแบบ P

การทำงานของตัวควบคุมจะเป็นไปในลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของ Manipulating-Variable และการเปลี่ยนแปลงของ Error แสดงดังสมการที่ 2

$$m = K_p \cdot e + P_o \quad (2.2)$$

เมื่อ

$m$  = Manipulated Variable

$K_p$  = Gain of Proportional Controller

$e$  = Actuating Error

$P_o$  = Controller Output with No Error

หรือ ค่าไบแอส เป็นค่าสัญญาณควบคุมขณะ ไม่เกิดความผิดพลาด

ลักษณะการทำงานของ Proportional Control อธิบายได้ดังนี้ คือ

1. ถ้า Error เท่ากับ 0, เอาท์พุทจะมีค่าคงที่เท่ากับ  $P_o$ .
2. ถ้า Error ไม่เท่ากับ 0, สำหรับทุก ๆ 1% ของ Error ค่า  $K_p$  จะถูกเพิ่มเข้าหรือลบออกจากค่า  $P_o$  ขึ้นกับการควบคุมไปข้างหน้าหรือย้อนกลับ

ข้อดี - ตัวแปรกระบวนการจะมีค่าเสถียรภาพ (ไม่แกว่ง) เมื่อ  $K_p$  มีค่าน้อย ๆ

ข้อเสีย - จะเกิด Offset

Offset หมายถึง ค่าความแตกต่างระหว่างสัญญาณวัดกับค่าเป้าหมายที่สภาวะคงที่ การกำจัด Offset ทำได้ดังนี้ คือ

1. ปรับ  $S_p$  ของตัวควบคุมจนสัญญาณวัดมีค่าเท่ากับค่าที่ต้องการ
2. ปรับเปลี่ยนค่าไบแอส (เรียกการทำแบบนี้ว่าเป็นการ Reset)

คุณสมบัติที่สำคัญของการควบคุมแบบ P คือ ถ้าหาก อินพุทของตัวควบคุม คือ Actuating Error มีมาก, เอาท์พุทของตัวควบคุมซึ่ง ได้แก่ Manipulating Variable ก็มีค่าสูงตามไปด้วย มีผลทำให้ระบบควบคุมทั้งระบบตอบสนองได้รวดเร็ว

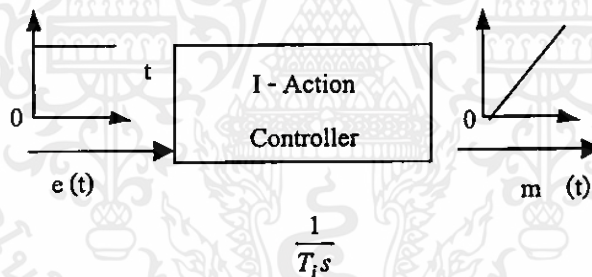
การควบคุมแบบนี้เหมาะสำหรับกระบวนการที่มี Disturbance มีขนาดไม่มาก Deadtime มีค่าน้อย ๆ และ Capital Lag มีขนาดปานกลาง

Deadtime คือ ช่วงเวลาที่นับจากขณะที่สัญญาณควบคุมเปลี่ยนแปลงไปจนกระทั่งสัญญาณของตัวแปรกระบวนการเริ่มเปลี่ยนแปลง

Capital Lag คือ ความช้าในการตอบสนอง

ตัวควบคุมแบบ I (Integral Controller)

ตัวควบคุมนี้มีลักษณะการทำงานแบบรวม สามารถแก้ไขค่าความคลาดเคลื่อน ในลักษณะที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของค่า Error สะสม อัตราส่วนของการตอบสนองจะขึ้นกับค่าของ Integral Time ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงแผนภาพตัวควบคุมแบบ I

ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของ Actual Controller Output ที่เวลาต่าง ๆ แสดงได้ดังสมการที่ 3

$$m(t) = K_i \int_0^t e(t) dt + p(0) \quad (2.3)$$

เมื่อ  $K_i$  = Constant Relating the Rate to Error

$p(0)$  = Controller Output at  $t = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

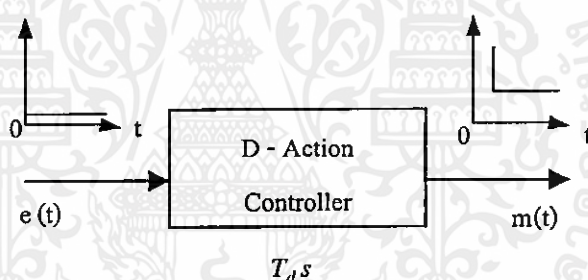
ลักษณะการทำงานของ Integral Control อธิบายได้ดังนี้ คือ

1. ถ้าค่า Error เป็น 0 เอาท์พุทจะคงที่และค่าเอาท์พุทจะเพิ่มขึ้น เมื่อค่า Error เพิ่มขึ้น
2. ถ้าค่า Error ไม่เป็น 0 ค่าเอาท์พุทจะเริ่มเพิ่มขึ้นหรือลดลง ตามอัตราของ  $K_I$  เปอร์เซ็นต์ต่อวินาทีสำหรับทุก ๆ 1 % ของค่าผิดพลาด

ลักษณะการทำงานของ Integral Control ขณะใดขณะหนึ่งจะไม่สัมพันธ์กับค่า Error ในขณะนั้น แต่จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของค่า Error สะสม (Integral of Error) โดยการเพิ่มขึ้นจะเป็นไปตามอัตราของ  $K_I$  เป็นเปอร์เซ็นต์ต่อวินาทีสำหรับทุก ๆ 1% ของค่าผิดพลาด

#### ตัวควบคุมแบบ D (Derivative Controller)

ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบ D จะเป็นสัดส่วนโดยตรงต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณ Error กรณีที่ค่าเป้าหมาย (Set Point) มีค่าคงที่ กล่าวคือ ตรวจจับที่สัญญาณ Error นี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ตัวควบคุมแบบ D จะไม่มีผล เมื่อสัญญาณ Error เกิดการเปลี่ยนแปลง ตัวควบคุมแบบ D จะเพิ่มหรือลดสัญญาณเอาท์พุทตามอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุทจากตัวควบคุม ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงแผนภาพตัวควบคุมแบบ D

ตัวควบคุมชนิดนี้จะให้ Manipulated Variable ทันทีที่ค่าของ Actuation Error มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งมีประโยชน์มากเนื่องจากจะทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวเฝ้าความเคลื่อนไหวของ Actuation Error โดยจะทำการแก้ไขทันทีที่สภาพของ Error เปลี่ยนแปลงไป จึงเท่ากับเป็นการแก้ความคลาดเคลื่อนของระบบล่วงหน้า แทนที่จะให้การแก้ไขหลังจากมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นแล้ว

ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของ Actuation Controller Output แสดงได้ดังสมการที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้  $m(t) = K_D \times de/dt$  เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (2.4) การคำนวณค่า  $K_D$  ขึ้นอยู่กับ Derivative Gain Constant  $K_D$  ซึ่งหมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุท

ไม่ว่าเมื่อใด  $K_D$  ขึ้นอยู่กับ Derivative Gain Constant  $K_D$  ซึ่งหมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุท

$de/dt$  = Rate of Change of Error

ลักษณะการทำงานของ Derivative Control อธิบายได้ดังนี้ คือ

1. ถ้า Error เท่ากับ 0 , การควบคุมจะไม่ให้เอาท์พุท
2. ถ้า Error เท่ากับค่าคงที่, การควบคุมจะไม่ให้เอาท์พุท
3. ถ้า Error มีการเปลี่ยนแปลง, การควบคุมจะมีการจ่ายเอาท์พุทของ  $K_d$  เป็นเปอร์เซ็นต์สำหรับทุก ๆ 1% ต่อวินาทีของอัตราการเปลี่ยนแปลง Error

ข้อเสียของการควบคุมแบบ D คือ ถ้า Actuation Error มีค่าคงที่ไม่ว่าจะมากหรือน้อยเท่าใดก็ตาม ตัวควบคุมจะไม่ให้ Manipulated Variable นั่นคือ ระบบการควบคุมจะไม่ตอบสนองต่อ Steady State Error ในทางปฏิบัติจึงนิยมไปใช้ร่วมกับการควบคุมชนิดอื่น

### ตัวควบคุมแบบ PI (Proportional – Plus – Integral Controller)

จากการควบคุมแบบ P ถ้ามีสัญญาณรบกวนกระบวนการทำให้เกิด Offset นั้น เพื่อกำจัด Offset โดยไม่จำเป็นต้องใช้พนักงานคอยปรับตัวควบคุม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาตัวควบคุมที่สามารถปรับค่าไบแอสโดยอัตโนมัติ ซึ่งการควบคุมดังกล่าวได้แก่ PI Control ซึ่งมี Integral Action (หรือ Reset Action) ในทางอุตสาหกรรมเรามักจะเรียกตัวควบคุม PI ว่า Proportional Plus Reset Controller”

ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของ Actual Controller Output แสดงได้ดังสมการที่ 2.5

$$m(t) = K_p ( e + K_i \int_0^t e dt ) + P_i(0) \quad (2.5)$$

เมื่อ	$P_i(0)$	=	Integral Term Value at $t = 0$
	$K_p$	=	Gain ของ Proportional Controller
	$K_i$	=	Gain ของ Integral Controller
	$1/K_i$	=	Integral Time ( $T_i$ )

อัตราส่วนการตอบสนองของ Integral Action ขึ้นอยู่กับการปรับค่า  $T_i$  ถ้า  $T_i$  มีค่าน้อยการตอบสนองก็ยิ่งจะมีค่ามาก นั่นคือ การกำจัด Offset ทำได้รวดเร็วขึ้น แต่อย่างไรก็ตามถ้าค่า  $T_i$  มีค่าน้อยเกินไป การควบคุมจะเกิดการแกว่ง

ลักษณะการทำงานของ Proportional – Plus – Integral Control อธิบายได้ดังนี้ คือ

1. ถ้า Error เท่ากับ 0, เอาท์พุทของระบบควบคุม จะถูกควบคุมไว้ที่ค่า Integral Term ( $P_i(0)$ ) เมื่อค่า Error เพิ่มขึ้นจาก 0 ค่าเอาท์พุทจะเป็นไปตามสมการ
2. ถ้า Error ไม่เท่ากับ 0, เอาท์พุทของระบบควบคุม จะเริ่มเพิ่มขึ้นหรือลดลง ขึ้นกับการควบคุมไปข้างหน้าหรือย้อนกลับ

ถึงแม้ว่าการเพิ่มตัวควบคุมแบบ I เข้าไปในระบบควบคุม จะส่งผลให้ Offset ถูกกำจัดไป แต่การเพิ่มการควบคุมแบบ I เสมือนเป็นการเพิ่ม Capacity Lag เข้าไปในระบบควบคุม PI – Control จึงเหมาะสมกับกระบวนการที่ค่อนข้างไวอยู่แล้ว คือ ทั้ง Capacity Lag และ Deadtime มีขนาดน้อย ๆ

**ตัวควบคุมแบบ PID (Proportional – Plus – Integral – Plus –Derivation Controller)**

ในทางอุตสาหกรรมจะเรียกว่า “Proportional – Plus – Reset – Plus – Rate Controller”

ระบบ PI – Control จะทำให้ผลตอบสนองต่อความผิดพลาดช้าลง กรณีที่กระบวนการช้าอยู่แล้ว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเพิ่ม Derivative Action (หรือ Rate Action) เพื่อลดความช้าของระบบควบคุม ซึ่งการควบคุมแบบนี้ เรียกว่า PID – Control

ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของ Actual Controller Output แสดงได้ดังสมการที่ 2.6

$$m(t) = K_p \left( e + K_i \int_0^t e dt + K_d \frac{de}{dt} \right) + P_i(0) \quad (2.6)$$

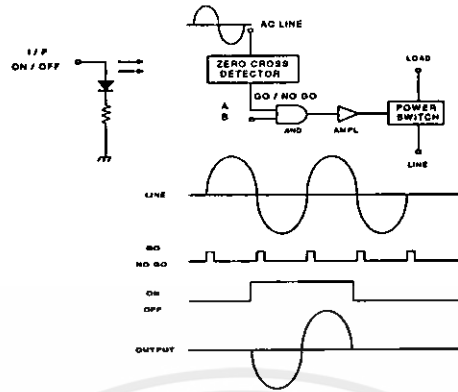
เมื่อ	$P_i(0)$	=	Integral Term Value at $t = 0$
	$K_p$	=	Gain ของ Proportional Controller
	$K_i$	=	Gain ของ Integral Controller
	$K_d$	=	Gain ของ Derivative Controller
	$T_d$	=	Derivative Time ของ Rate Time

สำหรับกรณีที่ค่าเป้าหมายมีค่าคงที่ ควบคุมโดยสัญญาณเข้าไม่เปลี่ยนแปลง Derivative Action จะไม่มีผล ต่อเมื่อสัญญาณขาเข้าเกิดการเปลี่ยนแปลง จะทำให้ Derivative Action เกิดการเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณขาเข้าที่เพิ่มหรือลดสัญญาณด้วยอัตราของสัญญาณขาเข้า จากการเพิ่ม Derivative Action เข้าไประบบการควบคุมแบบ PI จะส่งผลให้ผลตอบสนองของระบบต่อสิ่งรบกวนไวขึ้น นั่นคือ สัญญาณวัดเปลี่ยนแปลงสู่ค่าเป้าหมายไวขึ้น

ดังนั้นกล่าวโดยสรุปได้ว่า PID Control คือ ระบบควบคุมจะตอบสนองต่อสิ่งรบกวน (Disturbance) ไวขึ้น ทำให้เสถียรภาพในการควบคุมดีขึ้นกว่าการควบคุมแบบ PI จึงเหมาะสำหรับกระบวนการตอบสนองช้า มี Capacity Lag โด ๆ แต่ Deadtime มีขนาดไม่มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3 หลักการพื้นฐานของการผสมสัญญาณ BRM (Binary Rate Modulation)

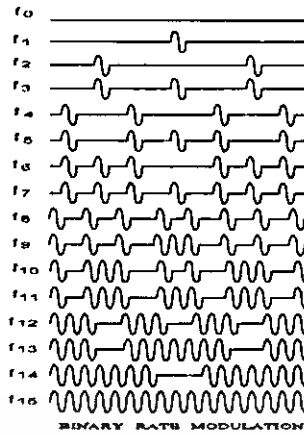


รูปที่ 2.5 การผสมสัญญาณ Binary Rate กับ ไฟฟ้ากระแสสลับ

รูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าอินพุต A เป็นตัวรับสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับจากที่สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับเป็นศูนย์ พัลส์ GO กำหนดให้สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับผ่านไปได้ ในช่วงที่เป็นศูนย์ จากนั้นไปเข้ายังอินพุตข้างหนึ่งของ AND Gate เพื่อให้มีการผสมสัญญาณกับ Binary ที่มาจากตัวควบคุมผ่านเข้าที่จุด B เพื่อเปิด Gate ของ AND Gate ในช่วงเวลาเหมาะสมทำให้สัญญาณเอาต์พุตในหนึ่งไซเคิล จากหลักการผสมสัญญาณแบบ BRM ผลการตอบสนองของเอาต์พุต จะมีสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ 4 รูปแบบที่เป็นอิสระคือ  $f_1, f_2, f_3, f_4$  และสามารถกระทำด้วยสมการ Linear Combination จากความถี่ 4 รูปแบบข้างต้นด้วยสมการที่(3) และผลของแต่ละไซเคิลดูได้จากรูปที่ 2.6

$$f_2 = \sum_{b=0}^{2^a-1} \left\{ u \left( t - \left( \frac{2^N}{2^{a+1}} - 1 + b \frac{2^N}{2^a} \right) T \right) - u \left( t - \left( \frac{2^N}{2^{a+1}} + b \frac{2^N}{2^a} \right) T \right) \right\} \sin \omega t \tag{2.7}$$

- เมื่อ  $U(t)$  = Unit Step Function
- $\omega$  = ความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ
- $a$  = ค่าของ Binary = 0, 1 .....N-1



รูปที่ 2.6 รูปแบบสัญญาณ BRM (Binary Rate Modulation)

จากรูปที่ 2.6 การผลิตสัญญาณ BRM จะมีลักษณะเหมือนกับรูปที่ 2.5 ตามที่ได้กล่าวไว้แล้ว โดยที่สัญญาณแต่ละลูกคลื่นที่ต่อเนื่องคือ  $f_1, f_2, \dots, f_{15}$  และจำนวนของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับสามารถเขียนแทนด้วยสมการ 2.8

$$f = d_3 2^3 + d_2 2^2 + d_1 2^1 + d_0 2^0 \tag{2.8}$$

สำหรับในส่วนของเทอร์โมไดนามิกส์ของเตาอบที่ให้ความร้อนสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Q(t) = mc_h \frac{dc(t)}{dt} + k_h AC(t) \tag{2.9}$$

- เมื่อ  $Q(t)$  = ความร้อนชั่วขณะที่เกิดขึ้น
- $C(t)$  = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิชั่วขณะ
- $m$  = มวลของเตาอบ
- $C_h$  = ความจุความร้อนจำเพาะ
- $A$  = พื้นที่ภายนอก
- $K_h$  = สัมประสิทธิ์การเทความร้อนทั้งหมด

จากสมการ(1.10) สามารถเปลี่ยนแปลงเป็น Laplace domain ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ  $\frac{c(s)}{Q(s)}$  ซึ่งหา  $\frac{1}{K_h A}$  การศึกษา  $K_{pt}$  นั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

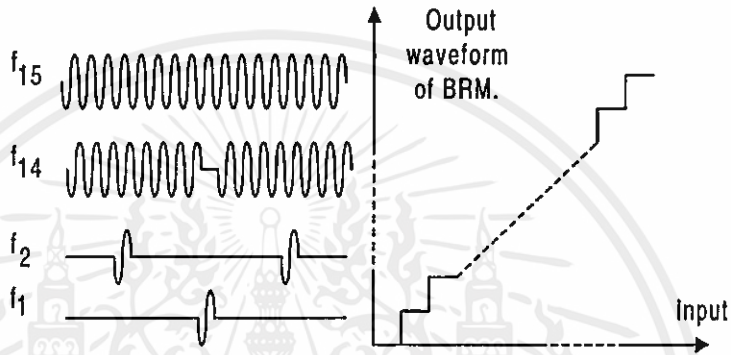
$$\frac{c(s)}{Q(s)} = \frac{1}{K_h A} \frac{K_{pt}}{sT_p + 1} \tag{2.10}$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกไปเผยแพร่หรือส่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $K_{pt}$  หรือ  $\frac{1}{K_s A}$  คือ อัตราการขยายทางดีซีของ plant และ  $T_p$  หรือ  $\left(\frac{m_s}{K_s A}\right)$  เป็นค่าเวลาคงที่ของ plant

การพิจารณาอินพุตที่เป็นพัลส์กระทำกับเตาอบในหน่วยงานต่อไซเคิล ด้วยเวลาเปิด  $aT$  และเวลาปิด  $bT$  ดังนั้นเอาต์พุต Ripple ในสภาวะคงตัวของอุณหภูมิ สามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังทรานเฟอร์ฟังก์ชันที่ 2.11 และแสดงสถานะของเอาต์พุตที่มีการป้อนสัญญาณ BRM ดังรูปที่ 2.7

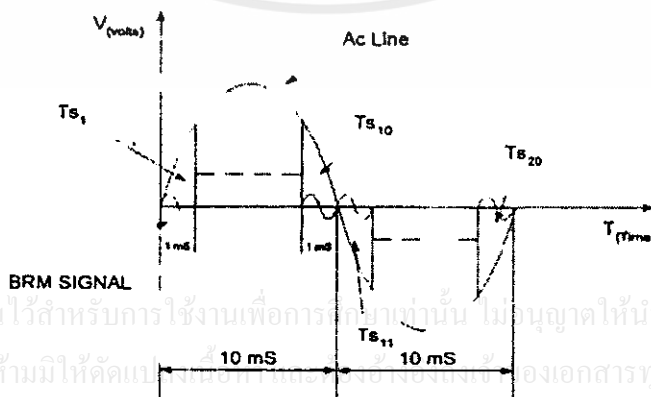
$$K_{pt} \frac{(1 - e^{-\frac{aT}{T_p}})(1 - e^{-\frac{bT}{T_p}})}{1 - e^{-\frac{T}{T_p}}} \tag{2.11}$$



รูปที่ 2.7 สถานะเอาต์พุตจากอินพุต BRM (Binary Rate Modulation)

### 2.4 การจ่ายพลังงานให้กับขดลวดความร้อนทั้งหมด

เกิดขึ้นจาก Integral – Cycle Binary Rate Modulation (BRM) ส่งไปยังวงจรขับ ทำให้ขดลวดความร้อนในเตาอบมีอุณหภูมิสูงขึ้น จากหลักการพื้นฐานในการควบคุมการทำงานด้วยวิธีการนี้ ทำให้ได้เป้าหมายตามอุณหภูมิที่ต้องการอย่างรวดเร็วและมีความเที่ยงตรงสูง และยังสามารถกำหนดเสถียรภาพตลอดย่านการควบคุมได้อีกด้วย ซึ่งมีการพิจารณาการจ่ายพลังงานให้กับขดลวด ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การจ่ายพลังงานใน 1 ไซเคิล

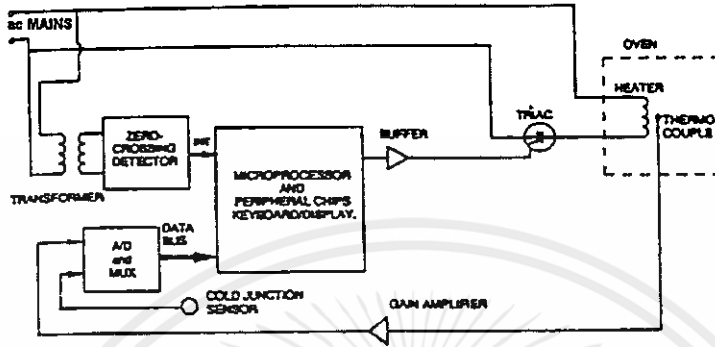
จากรูปที่ 2.8  $T_s$  (Scan Time) จะประกอบ  $T_s$  เป็น 20 ส่วนในทุก ๆ 20 มิลลิวินาทีของการจ่ายพลังงาน และแต่ละส่วนส่วนละ 1 มิลลิวินาทีที่กำหนด BRM ได้ 16 รูปแบบ โดยใช้เวลาแต่ละระดับของ BRM ระดับละ 66.66 ไมโครวินาที สำหรับจ่ายพลังงานให้กับขดลวดความร้อนในเตาอบ จะกระทำการจ่ายพลังงานเริ่มต้นจาก  $T_{s_1}$  ด้วยสัญญาณ BRM 16 รูปแบบ ด้วยรูปแบบที่  $f_0$  ถึง  $f_{15}$  ตามลำดับ เมื่อต้องการจะจ่ายพลังงานเพิ่มขึ้นให้กับขดลวดความร้อนในเตาอบ ก็กำหนดจ่ายพลังงานจาก  $T_{s_2}$ ..... $T_{s_{20}}$  ตามลำดับ ดังนั้นการจ่ายพลังงานเต็มร้อยเปอร์เซ็นต์จะจ่ายพลังงานจาก  $T_{s_1}$  ถึง  $T_{s_{20}}$  ในรูปแบบที่  $f_{15}$  ในทุก ๆ  $T_s$  (Scan time) ที่ 20 ms (50 Hz)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

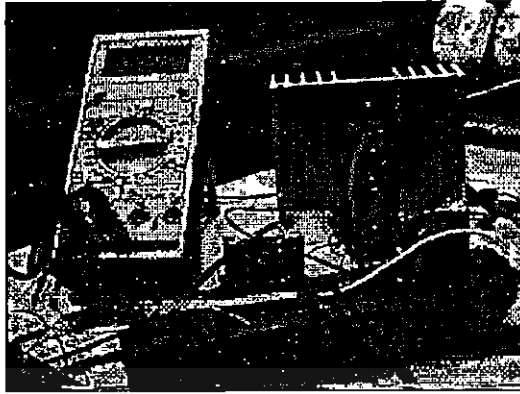
## การออกแบบโครงสร้างของระบบและการควบคุม



รูปที่ 3.1 โครงสร้างทาง HARDWARE ของระบบ

จากรูปที่ 3.1 โครงสร้างทาง HARDWARE ของระบบ จะประกอบด้วยหน่วยต่าง ๆ ของระบบทำหน้าที่ควบคุมการทำงานด้วยหน่วยต่าง ๆ ได้แก่ หน่วยควบคุมหลักไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทำหน้าที่ประมวลผลและสร้างสัญญาณ BRM เพื่อจ่ายพลังงานที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพให้กับขดลวดความร้อนในเตาอบตามกระบวนการควบคุมแบบ PI เพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิที่ต้องการตามค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ ส่วนวงจร A/D และ MUX จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล และรวมสัญญาณอินพุตต่าง ๆ จากภายนอกเพื่อนำมาทำการเปรียบเทียบ ส่วนวงจร ZERO CROSSING DETECTOR จะกำหนดจุดตัดศูนย์ที่ขอบขาลงของสัญญาณ เพื่อนำไปอินเตอร์รัพต์ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับกำหนดจุดเริ่มต้นในการสร้างสัญญาณ BRM ในแต่ละไซเคิลของสัญญาณไฟกระแสสลับ ส่วนวงจรจ่ายพลังงานจะทำหน้าที่จ่ายพลังงานให้กับขดลวดความร้อนในเตาอบ เป็นต้น

หลักการการทำงานของระบบดังรูปที่ 3.1 กล่าวโดยสรุปคือ สัญญาณไฟกระแสสลับจะเป็นตัวกำหนดจุดตัดศูนย์ โดยผ่านวงจรจุดตัดศูนย์ที่ให้สัญญาณเอาต์พุต 2 พัลส์แบบขอบขาลงในทุกๆ ไซเคิลของสัญญาณไฟกระแสสลับ สำหรับตรวจจับสัญญาณไฟกระแสสลับในทุก ๆ 50 Hz เพื่อกำหนดจุดเริ่มต้นการสร้างสัญญาณ BRM ทำให้มีการอินเตอร์รัพต์ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ และควบคุมแบบ PI โดยนำเอาค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากเทอร์โมคัปเปิ้ลในเตาอบมาผ่านวงจร A/D ไปเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ จากนั้นก็ทำการประมวลผลแล้วสร้างสัญญาณ BRM ทำให้เกิดสัญญาณไฟกระแสสลับตามจำนวนของการคำนวณการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดความร้อนในเตาอบได้อย่างเหมาะสม



รูปที่ 3.2 แสดงรูปถ่ายชุดวงจรควบคุมของระบบ

### 3.1 การสร้างสัญญาณ BRM (Binary Rate Modulation)

การออกแบบสร้างสัญญาณ BRM ขนาด 4 บิต เกิดขึ้นจากการสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ กำหนดเลือกรูปแบบของสัญญาณ BRM ได้ถึง 16 รูปแบบ เป็นการนำสมการทางคณิตศาสตร์ ตามรูปแบบของการสร้างสัญญาณ โดยจะทำการจัดรูปแบบสัญญาณหลักของการผสมสัญญาณไบนารี จำนวน 4 รูปแบบหลักคือ  $f_1, f_2, f_4, f_8$  ส่วนรูปแบบอื่น ๆ สามารถกำหนดเป็นสมการได้ดังนี้

$$f_1 = \sum_m (1) \tag{3.1}$$

$$f_2 = \sum_m (2) \tag{3.2}$$

$$f_3 = \sum_m (1,2) \tag{3.3}$$

$$f_4 = \sum_m (4) \tag{3.4}$$

$$f_5 = \sum_m (1,4) \tag{3.5}$$

$$f_6 = \sum_m (2,4) \tag{3.6}$$

$$f_7 = \sum_m (1,2,4) \tag{3.7}$$

$$f_8 = \sum_m (8) \tag{3.8}$$

$$f_9 = \sum_m (1,8) \tag{3.9}$$

$$f_{10} = \sum_m (2,8) \tag{3.10}$$

$$f_{11} = \sum_m (1,2,8) \tag{3.11}$$

$$f_{12} = \sum_m (4,8) \tag{3.12}$$

$$f_{13} = \sum_m (1,4,8) \tag{3.13}$$

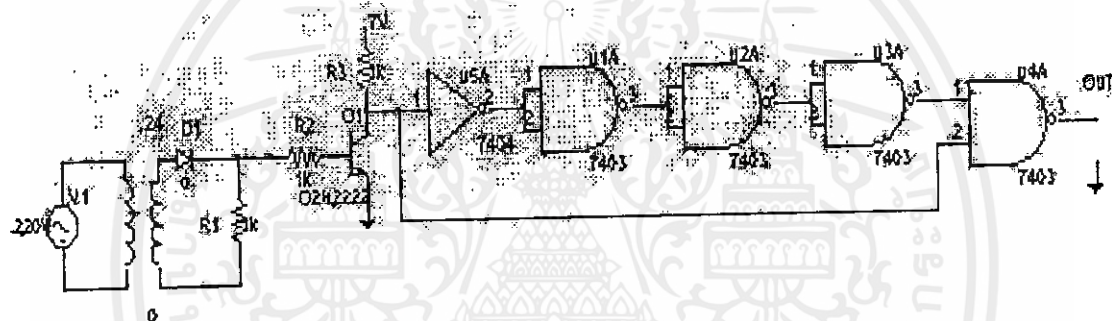
$$f_{14} = \sum_m (2,4,8) \tag{3.14}$$

$$f_{15} = \sum_m (1,2,4,8) \tag{3.15}$$

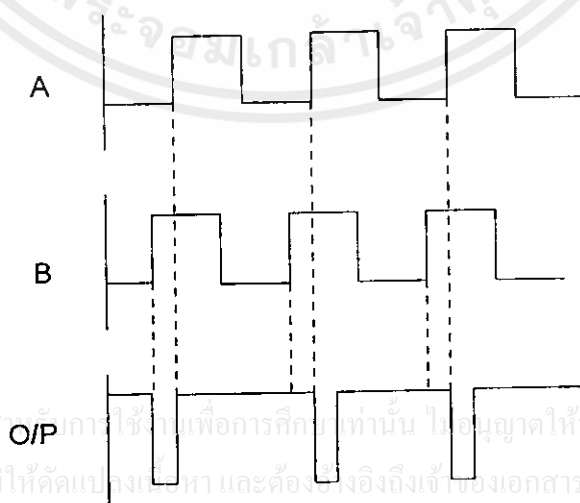
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภายในใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดลอกไปยังผู้อื่นอย่างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีค (3.15) ไปใช้

### 3.2 วงจรจุดตัดศูนย์ (Zero Crossing)

วงจรจุดตัดศูนย์ ทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อเป็นจุดเริ่มต้นการสร้างสัญญาณ BRM ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ในแต่ละไซเคิลของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ แสดงดังรูปที่ 3.3 วงจรจุดตัดศูนย์จะรับสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ 50 เฮิรตซ์ ขนาด 24 โวลต์ โดยผ่านหม้อแปลงแบบลดแรงดันไฟฟ้า (Step down Transformer) ผ่านเข้าวงจร Rectifier ที่เป็นไบแอสให้กับทรานซิสเตอร์ Q<sub>1</sub> ให้สร้างสัญญาณพัลส์ จากนั้นผ่านเข้าไปยังวงจร Gate เพื่อทำการหน่วงเวลา ได้สัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณ A ดังรูปที่ 3.4 สำหรับป้อนให้ขา 1 ของ NAND Gate(U4A) ส่วนสัญญาณอีกส่วนหนึ่งผ่านเข้าไปยังขา 2 ของ NAND Gate(U4A) ทำให้ได้สัญญาณออกมาที่เอาต์พุตของ NAND Gate (U4A) เป็นสัญญาณจุดตัดศูนย์ ที่มีรูปแบบเป็นขอบขาลง



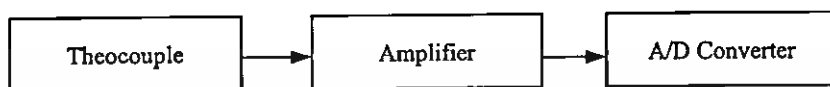
รูปที่ 3.3 วงจรจุดตัดศูนย์



รูปที่ 3.4 แสดงสัญญาณจุดตัดศูนย์

### 3.3 หน่วยแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

เป็นหน่วยที่แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยที่รับค่ามาจากเทอร์โมคัปเปิลชนิด J ที่วัดค่าอุณหภูมิในเตาอบ และจะทำการแปลงค่าอุณหภูมิให้อยู่ในรูปแรงดัน ค่าแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าต่ำมากจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณให้เหมาะสม เพื่อให้อยู่ในระดับที่ภาคการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลสามารถที่จะทำการแปลงได้



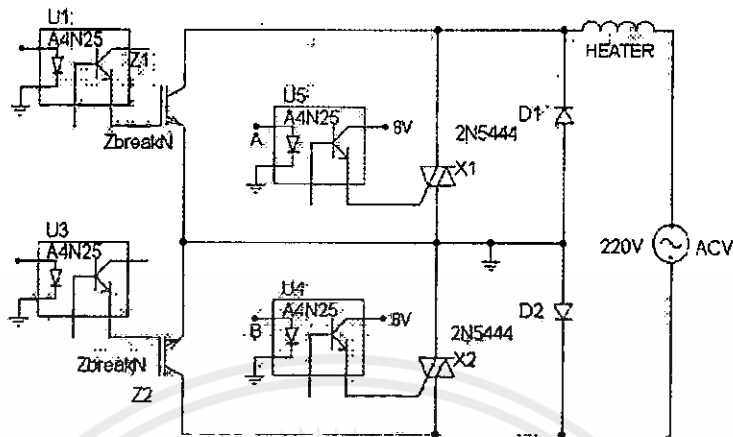
รูปที่ 3.5 แผนภาพแสดงหน่วย A/D Converter

จากรูปที่ 3.5 เป็นแผนภาพแสดงหน่วยแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยภาคขยายจะใช้ไอซีเบอร์ AD 594 ซึ่งเป็นไอซีที่เหมาะสมสำหรับการทำงานในส่วนของเทอร์โมคัปเปิลชนิด J โดยให้ค่าแรงดันเอาต์พุตแสดงในสมการ 3.16

$$AD594 \text{ OUTPUT} = (\text{Type J Voltage} + 11 \mu\text{V}) \times 247.3 \quad (3.16)$$

### 3.4 วงจรจ่ายพลังงาน

เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ในการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดความร้อน ตามอัตราส่วนการผสมสัญญาณไบนารี ที่อาศัย TRIAC เป็นตัวขับสำหรับจ่ายพลังงานให้กับขดลวดความร้อน ส่วน IGBT จะเป็นตัวปิดการจ่ายพลังงานของ TRIAC ซึ่งเกิดขึ้นจากสัญญาณ BRM ในการปิด - เปิดวงจร และออปโตคัปเปิลอร์จะเป็นตัวอุปกรณ์ที่ใช้แยกส่วนระหว่างสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับกับสัญญาณ BRM ที่มาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อป้องกันการรบกวนและไม่ทำให้เกิดอันตรายทางไฟฟ้าในกรณีที่มีข้อบกพร่องที่ตัวอุปกรณ์ โดยวงจรจ่ายพลังงานแสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วงจรจ่ายพลังงาน

### 3.5 การออกแบบโปรแกรม

เริ่มต้นการทำงานของโปรแกรมจะทำการ Initial ระบบก่อน เพื่อให้ระบบเกิดการเตรียมพร้อมจากนั้นทำการรับและตรวจสอบข้อมูลจากคิบอร์ดว่ามีการกำหนดค่าที่ตั้งไว้ จากนั้นพิจารณาฟังก์ชันการทำงาน Manual หรือ Automatic เพื่อกำหนดค่า BRM ที่เหมาะสมส่งเข้าไปยังขดลวดทำความร้อน ในการเลือกโหมด Automatic นั้นจะนำเอาค่าสัญญาณที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้กำหนดไว้ แล้วทำการคำนวณตามกริยาการควบคุมแบบ PI ดังรูปที่ 3.7 โดยกำหนดให้ D(Derivative) เท่ากับศูนย์ เมื่อทำการตรวจสอบสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับทุก ๆ ไซเคิล สำหรับกำหนดฐานเวลา T ให้หน่วยประมวลผลที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นหน่วยประมวลผลจะรับค่าสัญญาณอนาลอกจากส่วนของภาคขยาย AD 594 นำมาเข้าสมการ 3.17 เพื่อหาค่าผิดพลาดดังนี้

$$DE = \frac{DSP - DV}{D_{MAX} - D_{MIN}} \quad (3.17)$$

โดยที่ DSP = ค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้

DV = ค่าที่รับมาจาก AD 594

D<sub>MAX</sub> = ขอบเขตของค่าแรงดันที่มากกว่า 200°C ตรงกับค่า 413

D<sub>MIN</sub> = ขอบเขตของค่าแรงดันที่น้อยสุดที่ 40°C ตรงกับค่า 82

ดังนั้น D<sub>MAX</sub> - D<sub>MIN</sub> = 413 - 82 = 331 เป็นค่าคงที่ จากนั้นนำค่าที่ได้เข้าสมการควบคุม

ดังสมการ 3.18

$$P_i = P_{i-1} + A \times DE_i - B \times DE_{i-1} + C + DE_{i-2} \quad (3.18)$$

โดยที่

$$A = K_p + (K_p \times K_i \times DT) + (K_p \times K_d / DT) \quad (3.19)$$

$$B = K_p + (2 \times K_p \times K_d / DT) \quad (3.20)$$

$$C = K_p \times K_d \times DT \quad (3.21)$$

ค่า  $DE_i$  = ith error

ค่า  $K_p$  = Proportional Gain

$K_i$  = Integral Gain

$K_d$  = Derivative Gain

$DT$  = Delay Time

ค่า  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ ,  $DT$  เป็นค่าพารามิเตอร์จำเป็นต้องกำหนดค่าเริ่มต้นโปรแกรมสำหรับค่า  $P$  ที่ได้จะอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์จากนั้นนำค่ามาแทนในสมการ

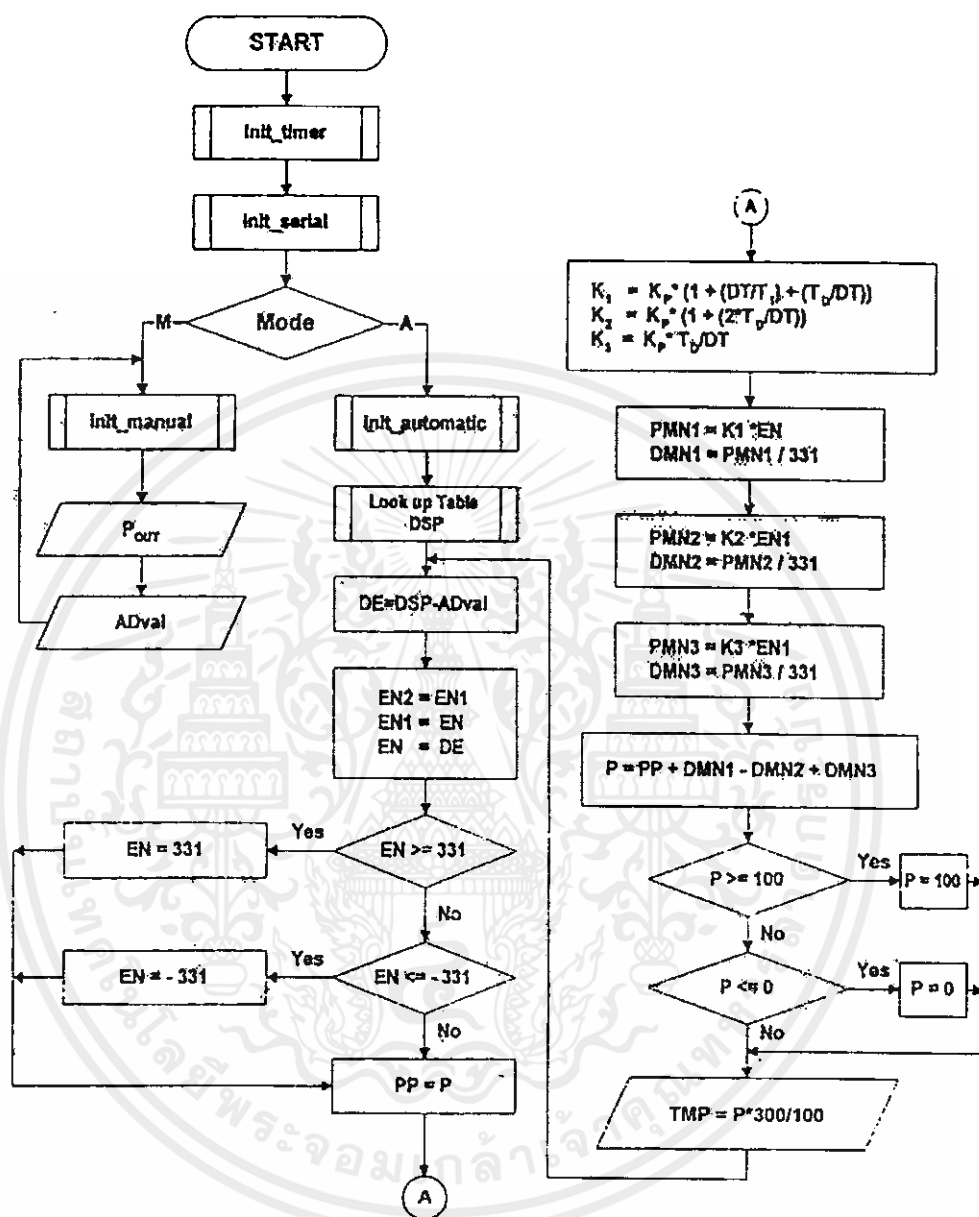
$$P_{OUT} = P_i \times R_{OUT} \quad (3.22)$$

ค่า  $R_{OUT}$  = ค่าเอาต์พุตสูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 255 (8 bit D/A)

ค่า  $P_{OUT}$  = ค่าเอาต์พุต

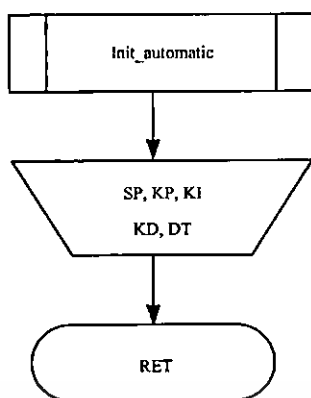
ส่วนรูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9 เป็นการแสดงแผนภาพโปรแกรมย่อยของโหมด Automatic และ โหมด Manual ตามลำดับ ซึ่งแต่ละโหมดจะต้องกำหนดการทำงานเริ่มต้น แล้วไปรอการป้อนค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นในแต่ละโหมด จากนั้นไปกระทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุต BRM ตามต้องการ

## FLOWCHART

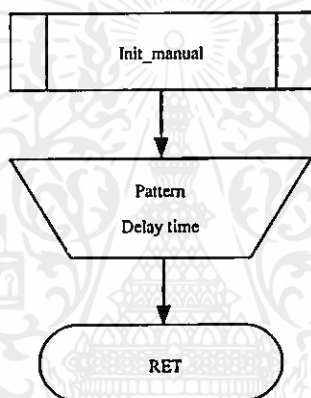


รูปที่ 3.7 แผนภาพของ โปรแกรมหลักการควบคุมแบบ PID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แผนภาพโปรแกรมย่อยแบบ Automatic



รูปที่ 3.9 แผนภาพโปรแกรมย่อยแบบ Manual

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบ

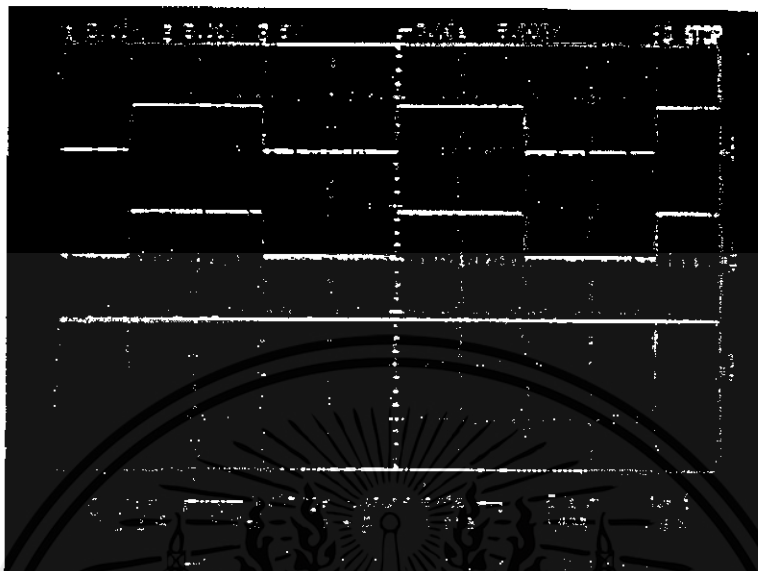
#### 4.1 การทดสอบชดววจจรจุดตัดศูนย์ (Zero Crossing)

จากผลการทดสอบวงจจรจุดตัดศูนย์ พบว่าที่จุดตัดศูนย์ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ วงจจรจุดตัดศูนย์ได้สร้างสัญญาณพัลส์แบบขอบขาลงที่มีความถี่ 50 Hz ดังรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3

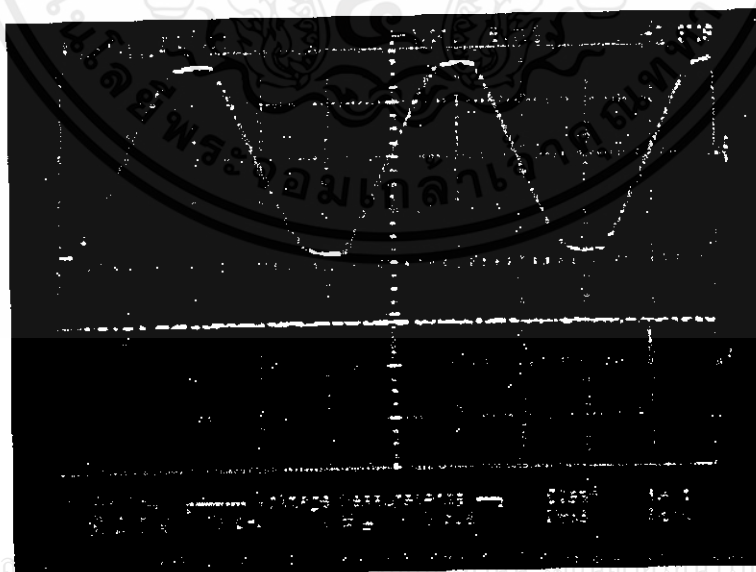


รูปที่ 4.1 แสดงรูปถ่ายชดววจจรจุดตัดศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงรูปของสัญญาณจุดตัดศูนย์

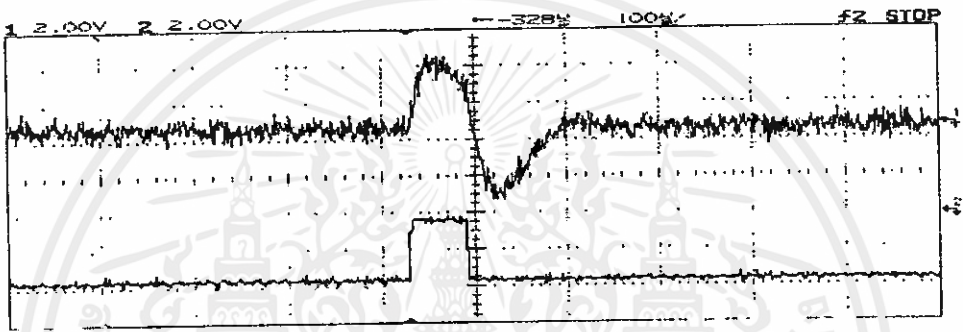


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 แสดงรูปของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับเปรียบเทียบกับสัญญาณจุดตัดศูนย์

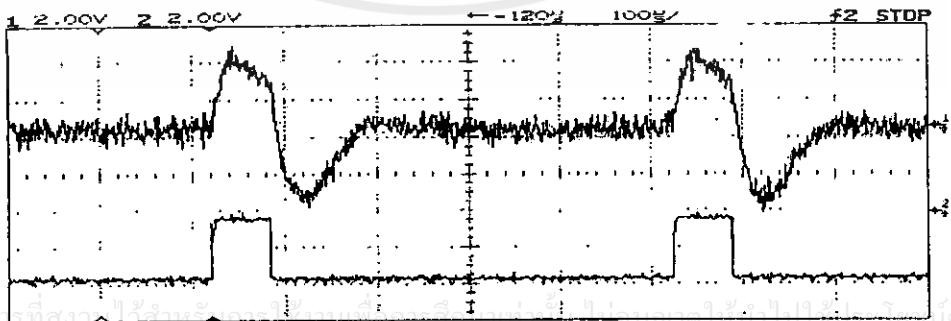
## 4.2 การทดสอบการผสมสัญญาณแบบ Integral - Cycle Binary Rate Modulation กับ สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ

ในส่วนนี้จะทำการทดสอบ โดยการเข้าโปรแกรมการประมวลของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS - 51 ในโหมด Manual โดยทำการสั่งให้เลือกค่ารูปแบบ BRM  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$  ตามลำดับ โดยทำการสร้างให้เป็นทั้งสัญญาณแบบ sine และ pulse ดังรูปที่ 4.4 ถึงรูปที่ 4.6 เพื่อสะดวกในนำไปใช้กับวงจรตามต้องการ แต่ในการใช้งานจริงจะใช้สัญญาณ BRM แบบ pulse

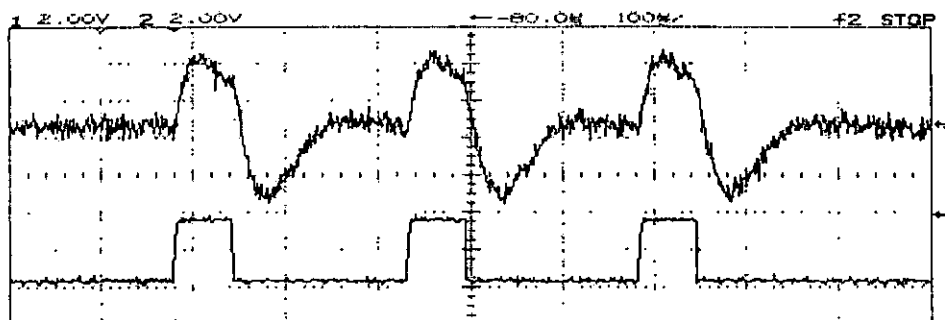


รูปที่ 4.4 แสดงรูปสัญญาณ BRM รูปแบบที่  $f_1$

สำหรับรูปที่ 4.4 - 4.6 จะแสดงสัญญาณ BRM รูปแบบที่  $f_1$ ,  $f_2$  และ  $f_3$  ตามลำดับ โดยผลส่วนการทดสอบช่องสัญญาณที่ 1 เป็นสัญญาณที่เรียกว่า Integer - Cycle ส่วนช่องสัญญาณที่ 2 เป็นสัญญาณไบนารี



รูปที่ 4.5 แสดงรูปสัญญาณ BRM รูปแบบที่  $f_2$



รูปที่ 4.6 แสดงรูปสัญญาณ BRM รูปแบบที่ ๕

### 4.3 การทดสอบแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

การทดสอบในส่วนนี้กระทำโดยจ่ายพลังงานให้กับขดลวดความร้อน ที่สภาวะเปอร์เซ็นต์ความร้อนต่าง ๆ จะมีการอ่านค่าอุณหภูมิภายในเตาอบด้วยเทอร์โมคัปเปิล  $J$  ซึ่งได้ผ่านการขยายสัญญาณแรงดัน โดยไอซี AD 594 ค่าที่อ่านได้จะมีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์ ด้วยการเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์ พร้อมกับป้อนสัญญาณเข้าหน่วยแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล แสดงไว้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าที่อ่านได้จากมิลลิโวลต์มิเตอร์ของวงจรขยายสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิลและค่าที่อ่านได้จากหน่วยแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	AD 594 (mV)	Digital
30	310	65
40	402	82
50	512	106
60	600	124
70	705	145
80	799	164
90	903	185
100	1010	207
110	1125	230
120	1220	250
130	1321	270

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	AD 594 (mV)	Digital
140	1415	290
150	1510	315
160	1600	347
170	1830	383
180	2020	413

#### 4.4 ผลการทดสอบการจ่ายพลังงานแบบรูปเปิดให้กับขดลวดในเตาอบ

การทดสอบนี้กำหนดในโหมด Manual แบบรูปเปิด โดยเลือกรูปแบบของ BRM ใน  $T_{s1}$  ถึง  $T_{s20}$  ตามลำดับ แล้วทำการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของขดลวดความร้อนกับอุณหภูมิที่เกิดขึ้นสถานะในเตาอบ จากการทดสอบได้ผลดังตารางที่ 4.2 เพื่อการต้องแสดงให้เห็นสัญญาณ Integral - cycle ในทุกรูปแบบของสัญญาณ BRM จึงทำการทดสอบเป็นหัวข้อตั้งแต่หัวข้อ 4.4.1 จนถึงหัวข้อ 4.4.15 และได้สัญญาณ Integral - cycle ตามรูปแบบ BRM ตั้งแต่  $f_1$  ถึง  $f_{15}$  แสดงดังรูปที่ 4.7 จนถึงรูปที่ 4.21 ตามลำดับ ซึ่งการแสดงผลเฉพาะครึ่งไซเคิลบวกเท่านั้น ที่หน้าจอจะแสดงทางแกนแนวตั้งช่องละ 50 โวลต์ และทางแกนแนวนอนช่องละ 1 วินาที

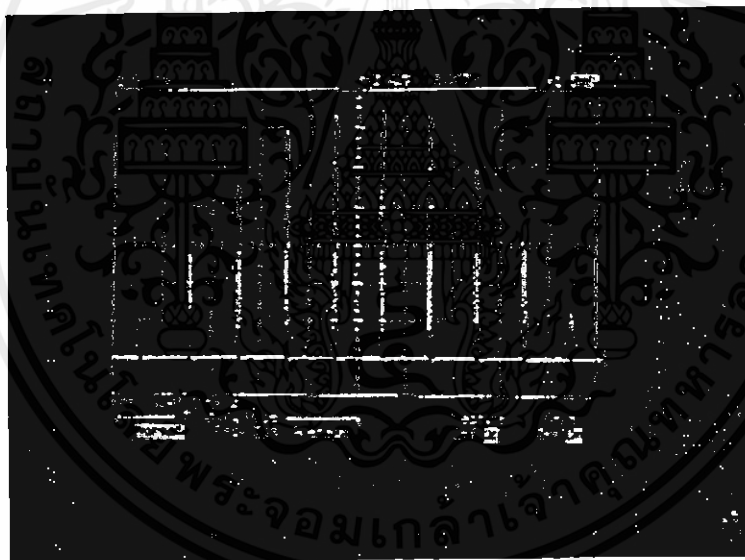
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของขดลวดความร้อนที่รูปแบบสัญญาณ BRM รูปแบบต่างๆ

Scan Time ( $T_s$ :msec)	รูปแบบ BRM	ค่าแรงดัน (Volts)	อุณหภูมิ ( $^{\circ}C$ )
1	$f_0$	0	0
1	$f_1$	0.72	37
2	$f_2$	6.18	54
4	$f_3$	26.3	65
6	$f_4$	57.0	71
7	$f_5$	72.1	83
8	$f_6$	83.7	92
10	$f_7$	95.8	105
11	$f_8$	97.9	111
12	$f_9$	105.9	120
15	$f_{10}$	139.2	127

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

Scan Time (Ts:msec)	รูปแบบ BRM	ค่าแรงดัน (Volts)	อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ )
16	$f_{11}$	154.5	138
17	$f_{12}$	171.1	145
18	$f_{13}$	183.9	159
19	$f_{14}$	190.2	166
20	$f_{15}$	204.2	177

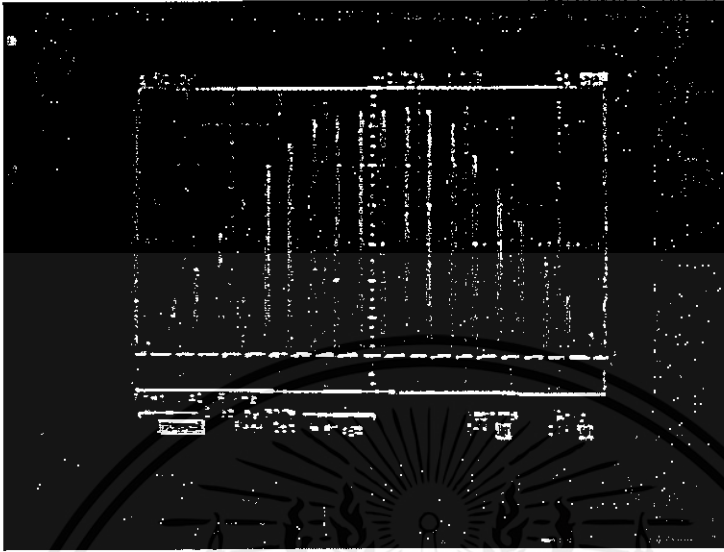
#### 4.4.1 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_1$



รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณการจ่ายพลังงานกับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ  $f_1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.2 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_2$



รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณการจ่ายพลังงานกับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ  $f_2$

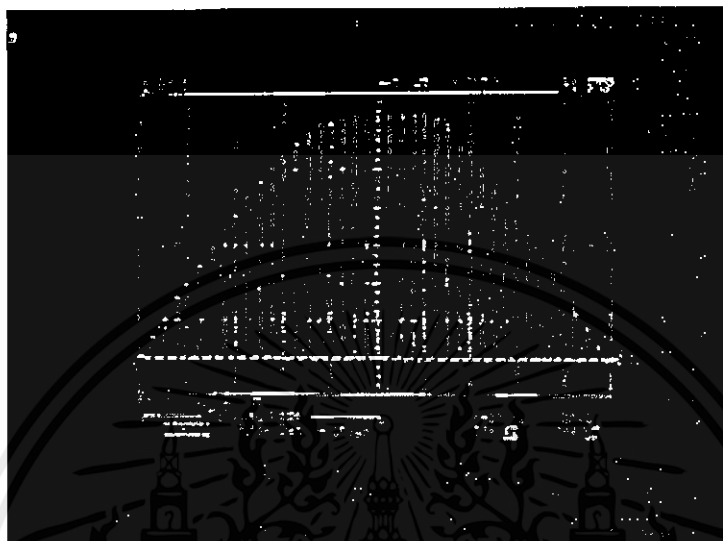
#### 4.4.3 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_3$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

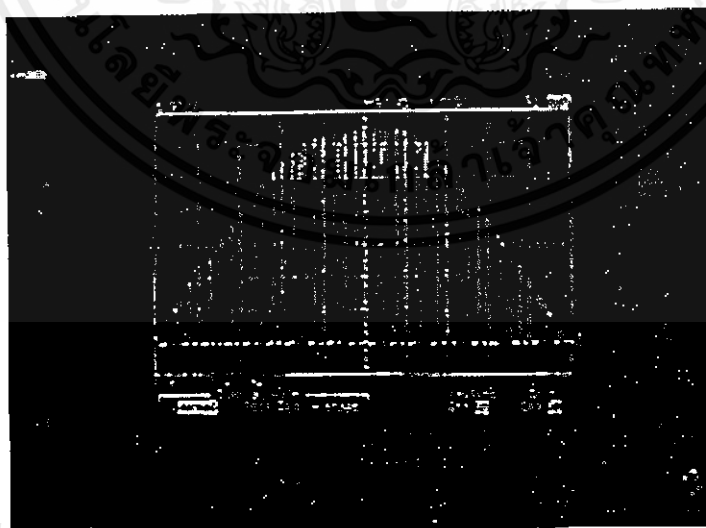
รูปที่ 4.9 แสดงสัญญาณการจ่ายพลังงานกับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ  $f_3$

#### 4.4.4 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_4$



รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณการจ่ายพลังงานกับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ  $f_4$

#### 4.4.5 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_5$

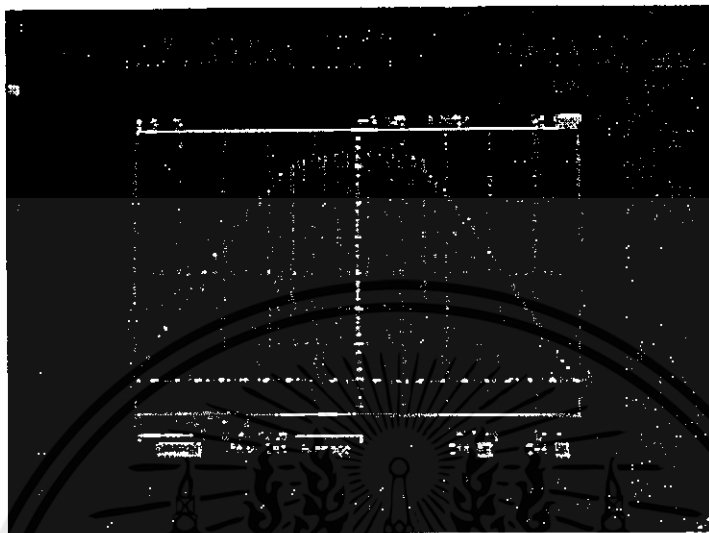


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

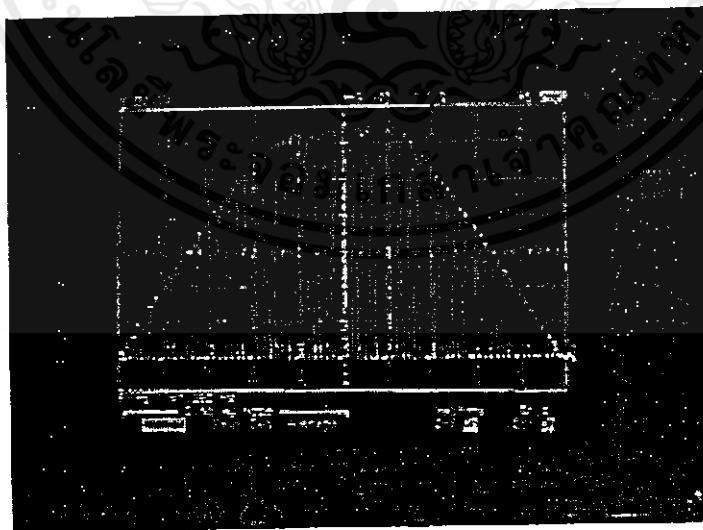
รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณการจ่ายพลังงานกับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ  $f_5$

#### 4.4.6 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_6$



รูปที่ 4.12 แสดงสัญญาณการจ่ายพลังงานกับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ  $f_6$

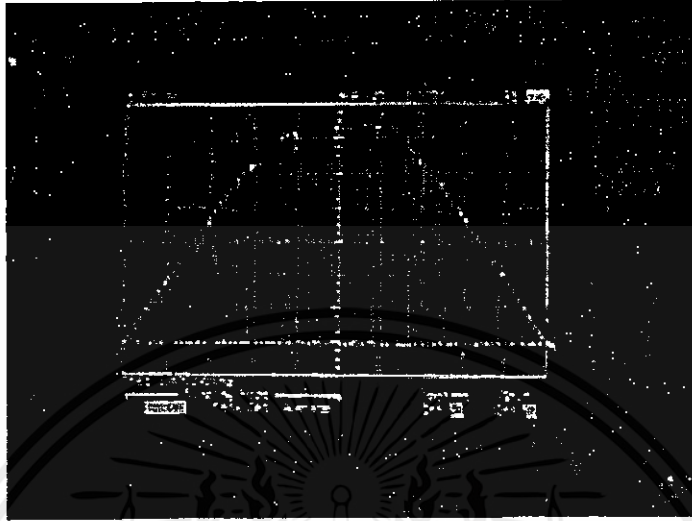
#### 4.4.7 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_7$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

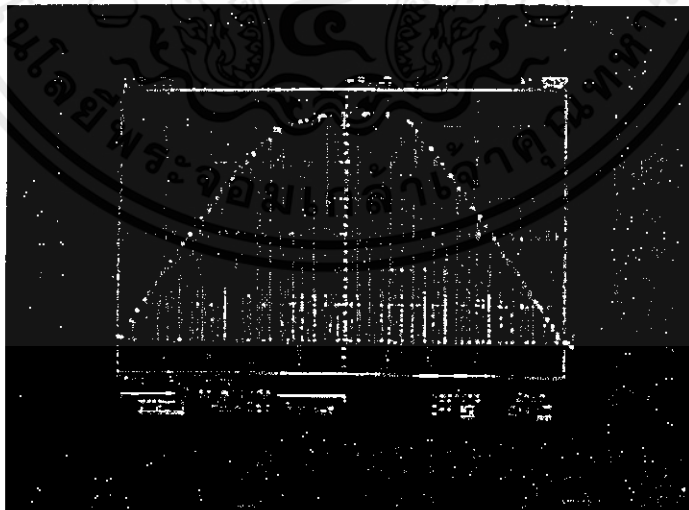
รูปที่ 4.13 แสดงสัญญาณไฟฟ้าการจ่ายพลังงานกับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ  $f_7$

#### 4.4.8 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_8$



รูปที่ 4.14 แสดงสัญญาณการจ่ายพลังงานกับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ  $f_8$

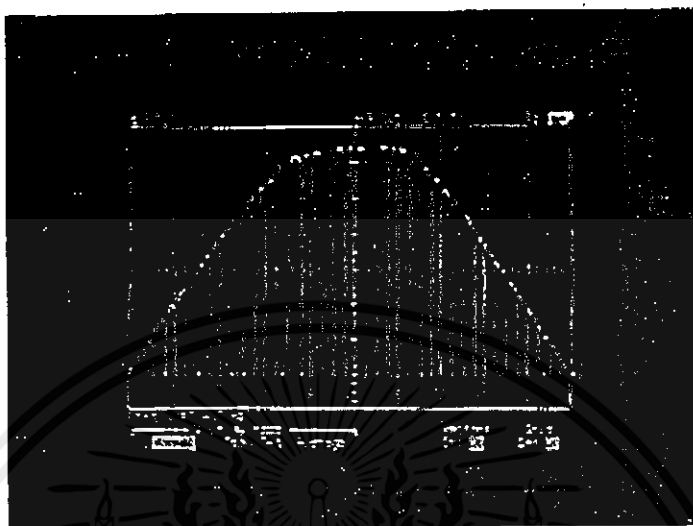
#### 4.4.9 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_9$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

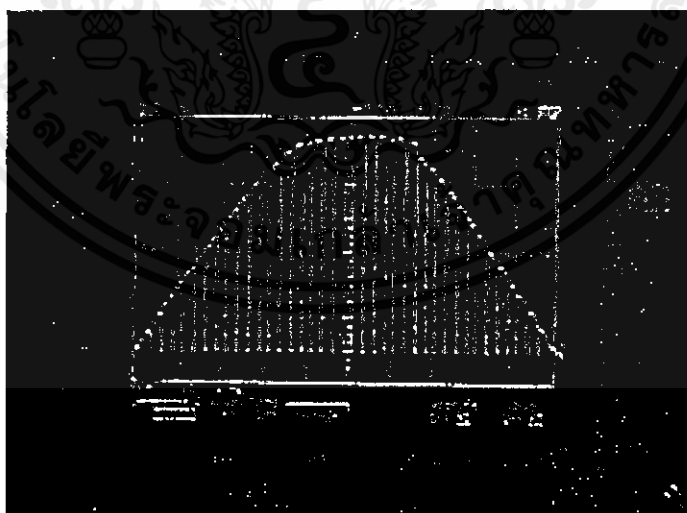
รูปที่ 4.15 แสดงสัญญาณการจ่ายพลังงานกับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ  $f_9$

#### 4.4.10 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_{10}$



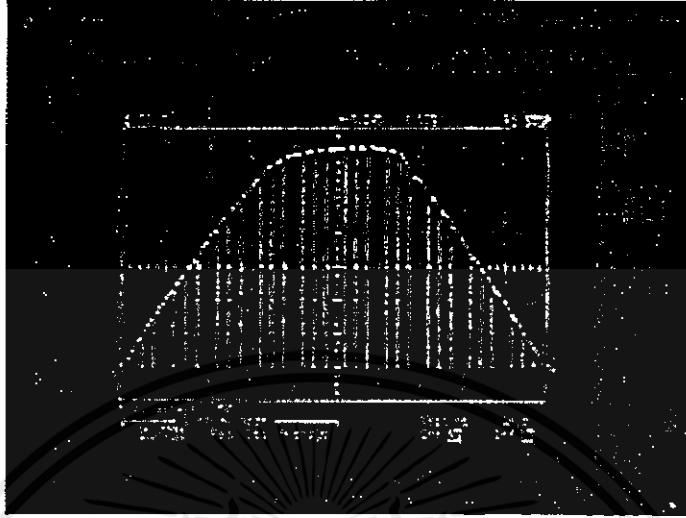
รูปที่ 4.16 แสดงสัญญาณการจ่ายพลังงานกับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ  $f_{10}$

#### 4.4.11 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_{11}$



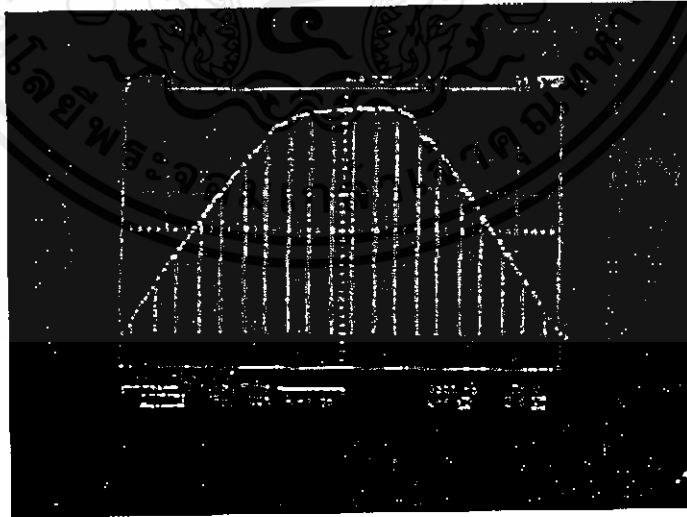
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 4.17 แสดงสัญญาณการจ่ายพลังงานกับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ  $f_{11}$   
 ไม่ว่าจะพิมพ์ใดๆ หงสน อักษรห้ามม ให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหมดก่อนนำไปใช้

#### 4.4.12 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_{12}$



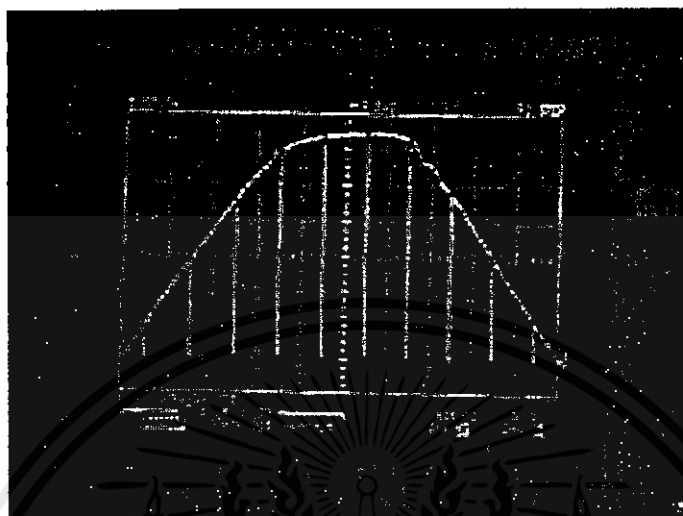
รูปที่ 4.18 แสดงสัญญาณการจ่ายพลังงานกับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ  $f_{12}$

#### 4.4.13 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_{13}$



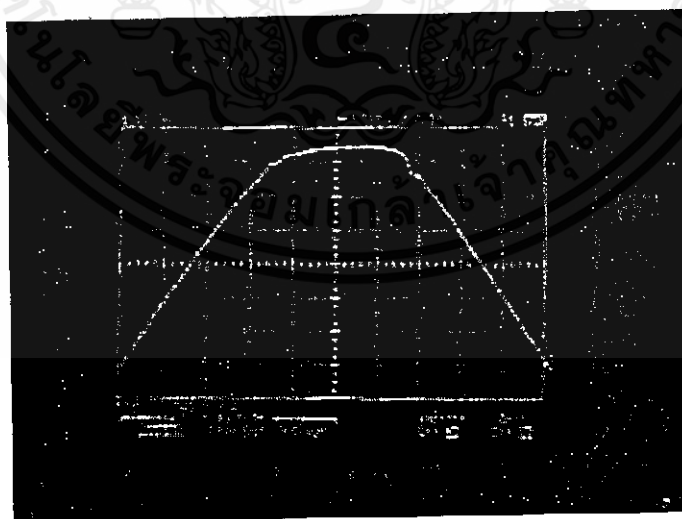
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่า รูปที่ 4.19 แสดงสัญญาณการจ่ายพลังงานกับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ  $f_{13}$  นำไปใช้

#### 4.4.14 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_{14}$



รูปที่ 4.20 แสดงสัญญาณการจ่ายพลังงานกับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ  $f_{14}$

#### 4.4.15 การทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ $f_{15}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.21 แสดงสัญญาณการจ่ายพลังงานกับขดลวดในเตาอบด้วยสัญญาณ BRM รูปแบบ  $f_{15}$

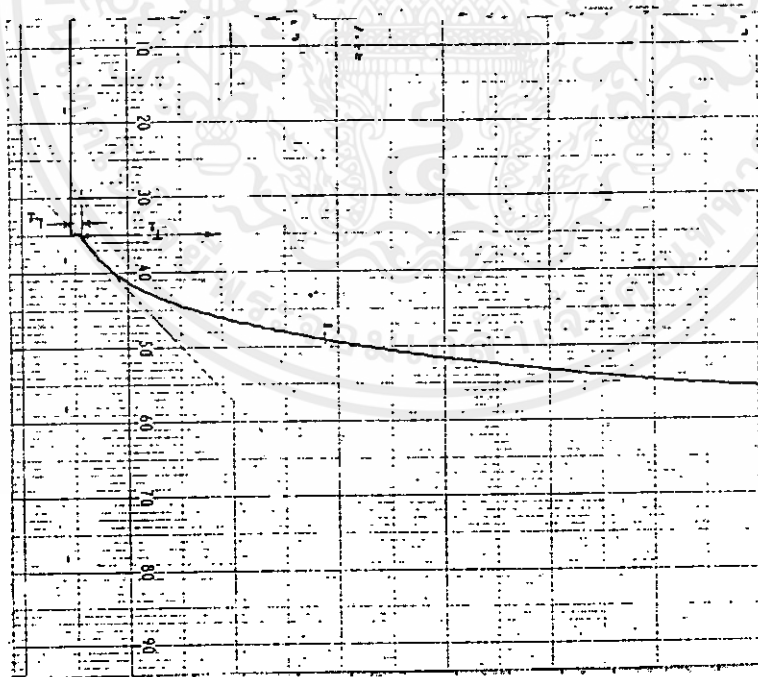
## 4.5 ผลการทดสอบการจ่ายพลังงานแบบรูปเปิดและแบบรูปปิดให้กับขดลวดในเตาอบ

### 4.5.1 การทดสอบที่เป้าหมาย $100\text{ }^{\circ}\text{C}$

นำเครื่องต้นแบบที่ได้ออกแบบไปควบคุมเตาอบขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร ขดลวดความร้อนขนาด 3,000 วัตต์ ที่อุณหภูมิห้อง 30 องศาเซลเซียส มีระบบการหมุนเวียนด้วยพัดลมที่ทำให้อุณหภูมิในเตาอบเท่ากันตลอดเวลา มาทดสอบแบบรูปเปิดเมื่อตั้งค่าเอ้าท์พุทไว้ที่ 55 เปอร์เซ็นต์ จะได้ผลดังรูปที่ 4.22 นำค่า  $T_1 = 6.875$  นาที (2.75 ช่องๆ ละ 2.5 นาที) และค่า  $L_1 = 0.625$  นาที (0.25 ช่อง) ทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์  $K_p$  และ  $T_i$  โดยใช้หลักการของ Ziegler Nichols จะได้ค่า  $K_p = 9.9$  และ  $T_i = 125$  วินาที จากนั้นทำการทดลองแบบรูปปิดที่กำหนดค่าเป้าหมาย (Set Point) เท่ากับ  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  และมีการปรับลดลงอีกเล็กน้อยที่ค่า  $K_p$  ส่วน  $T_i$  จะมีการปรับเพิ่มขึ้น เพื่อให้ได้ผลตอบสนองต่ำกว่า 20 นาที และให้มีเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูตต่ำกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ คือ

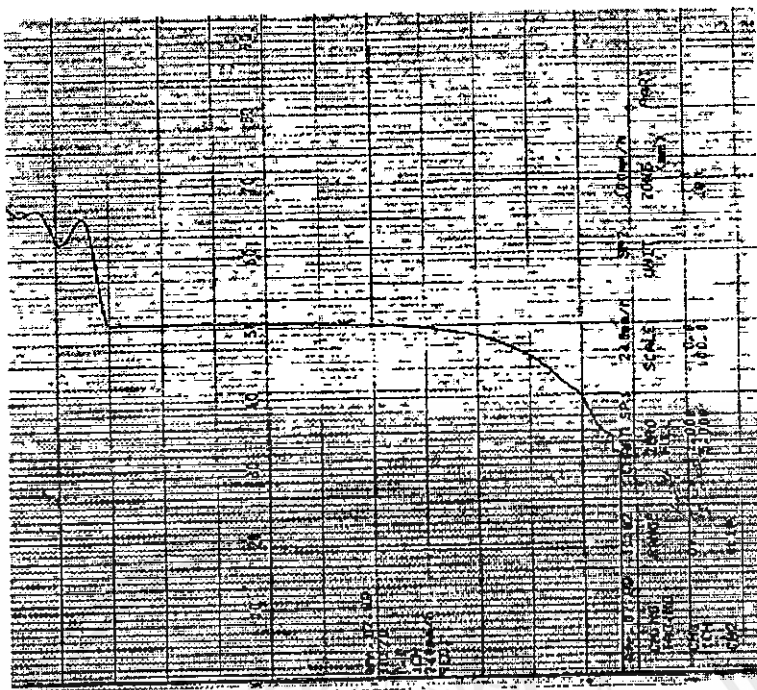
$$\text{GAIN}(K_p) = 9, \text{Integral Time}(T_i) = 200 \text{ วินาที}, \text{Sample Time}(DT) = 150 \text{ วินาที}$$

จากรูปที่ 4.23 เป็นการแสดงผลตอบสนองที่มีค่าเป้าหมาย 100 องศาเซลเซียส โดยกำหนด Chart Speed 240 มม./ชม. (ทางแกนแนวนอนช่องละ 2.5 นาที) อินพุท 0 ถึง 5 โวลท์ เอ้าท์พุท 0 ถึง 200 องศาเซลเซียส (0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.22 แสดงการทดสอบแบบรูปเปิด เมื่อให้เอ้าท์พุทที่ 55 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.23 แสดงการทดสอบแบบรูปปิด โดยมีค่าเป้าหมาย 100 องศาเซลเซียส (แสดงที่ 50 เปอร์เซ็นต์)

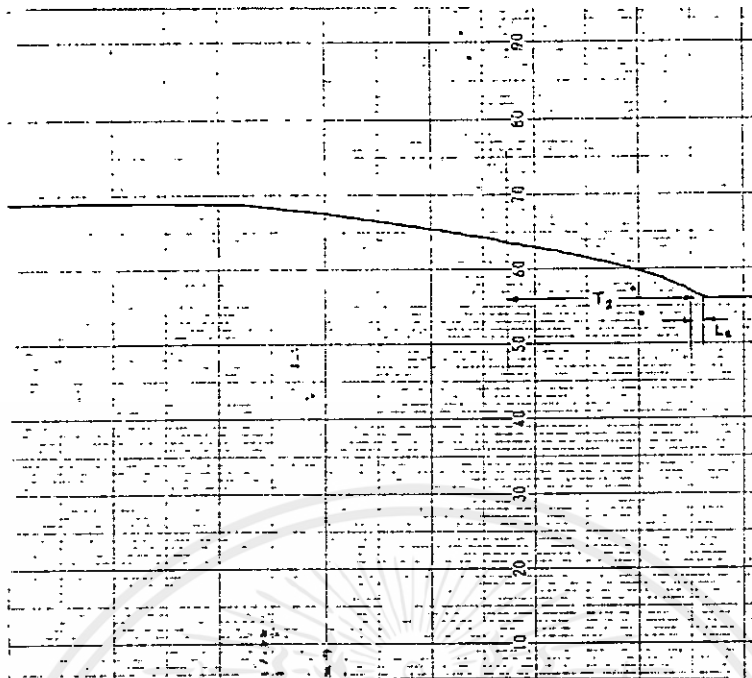
#### 4.5.2 การทดสอบที่เป้าหมาย 140 °C

ทำการทดสอบแบบรูปเปิด เมื่อตั้งค่าเอาต์พุทไว้ที่ 65 เปอร์เซ็นต์ จะได้ผลดังรูปที่ 4.24 นำค่า  $T_2 = 6.5$  นาที (2.6 ช่องๆ ละ 2.5 นาที) และค่า  $L_2 = 0.625$  นาที (0.25ช่อง) ทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์  $K_p$  และ  $T_i$  โดยใช้หลักการของ Ziegler Nichols จะได้ค่า  $K_p = 9.36$  และ  $T_i = 125$  วินาที จากนั้นทำการทดลองแบบรูปปิดที่กำหนดค่าเป้าหมาย (Set Point) เท่ากับ 140 °C เมื่อมีเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายจาก 100 °C เป็น 140 °C โดยที่ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ก็มีค่าเท่าเดิม และผลตอบสนองที่ได้ดังรูปที่ 4.25

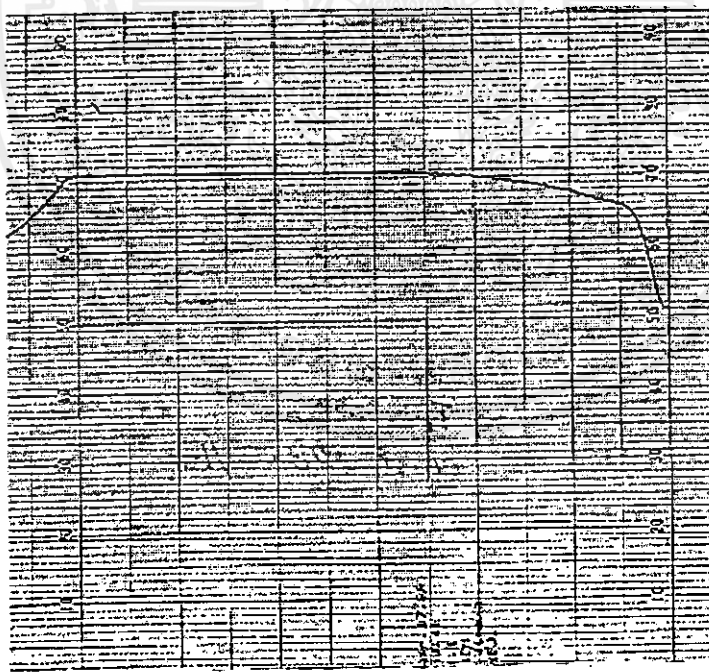
#### 4.5.3 การทดสอบหาพลังที่จ่ายให้กับขดลวดความร้อน

การทดสอบในส่วนนี้เป็นการทดสอบการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดความร้อนด้วยสัญญาณ BRM ที่  $f_{15}$  ในทุก Scan Time (Ts) จาก  $T_{s1}$  ถึง  $T_{s20}$  ตามลำดับ โดยมีผลการทดสอบจะได้ค่าดังตารางที่ 4.3 จากนั้นนำผลของกระแส แรงดัน และกำลังงาน ไปพล็อตได้ดังรูป 4.26 ถึง 4.28 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 แสดงการทดสอบแบบรูปเปิด เมื่อให้เอาต์พุตมีค่าที่ 65 เปอร์เซ็นต์

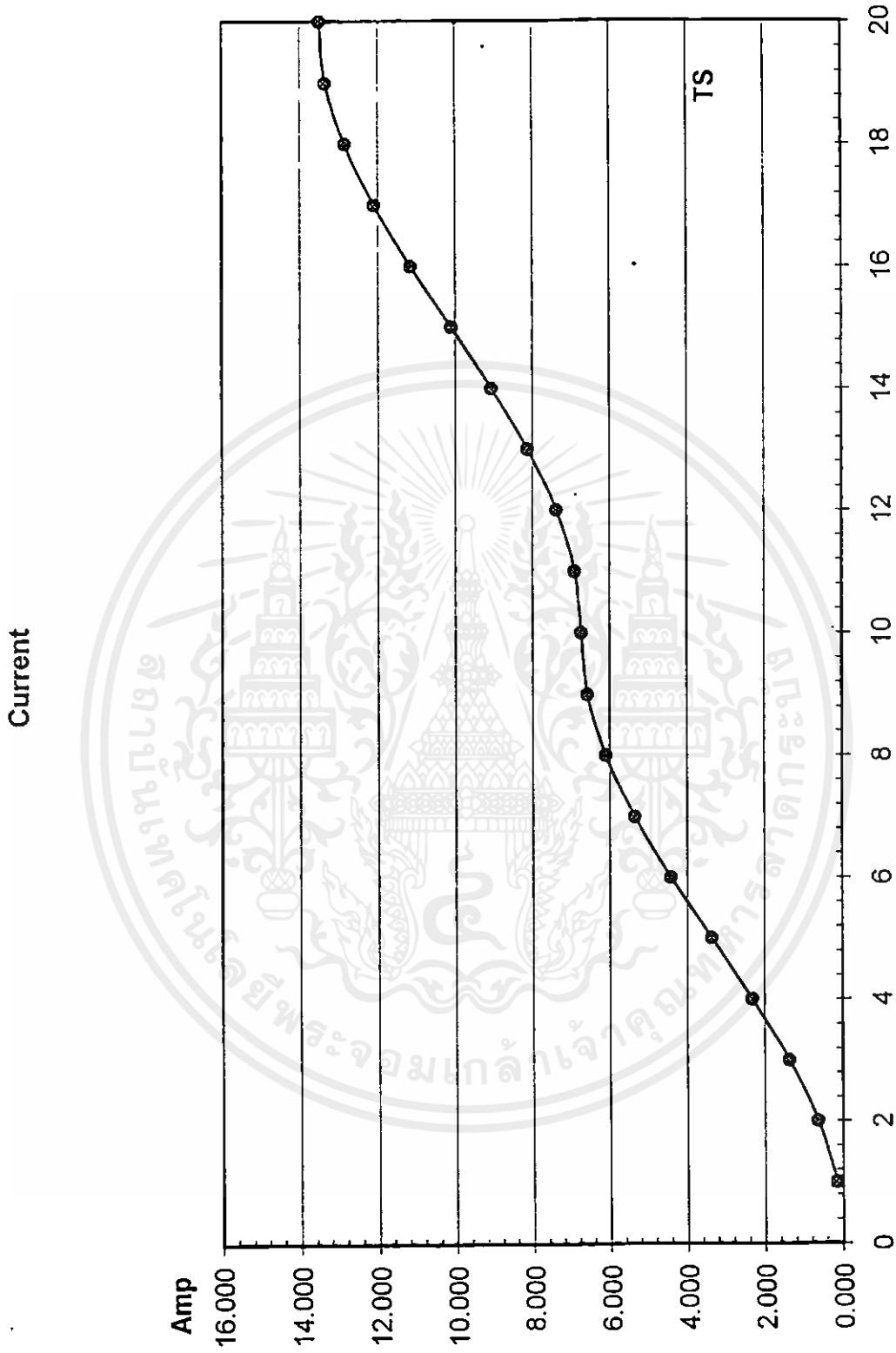


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารฉบับจริงที่ไปใช้  
รูปที่ 4.25 แสดงการทดสอบรูปปิดโดยมีค่าเป้าหมาย 140 องศาเซลเซียส(แสดงที่ 70 เปอร์เซ็นต์)

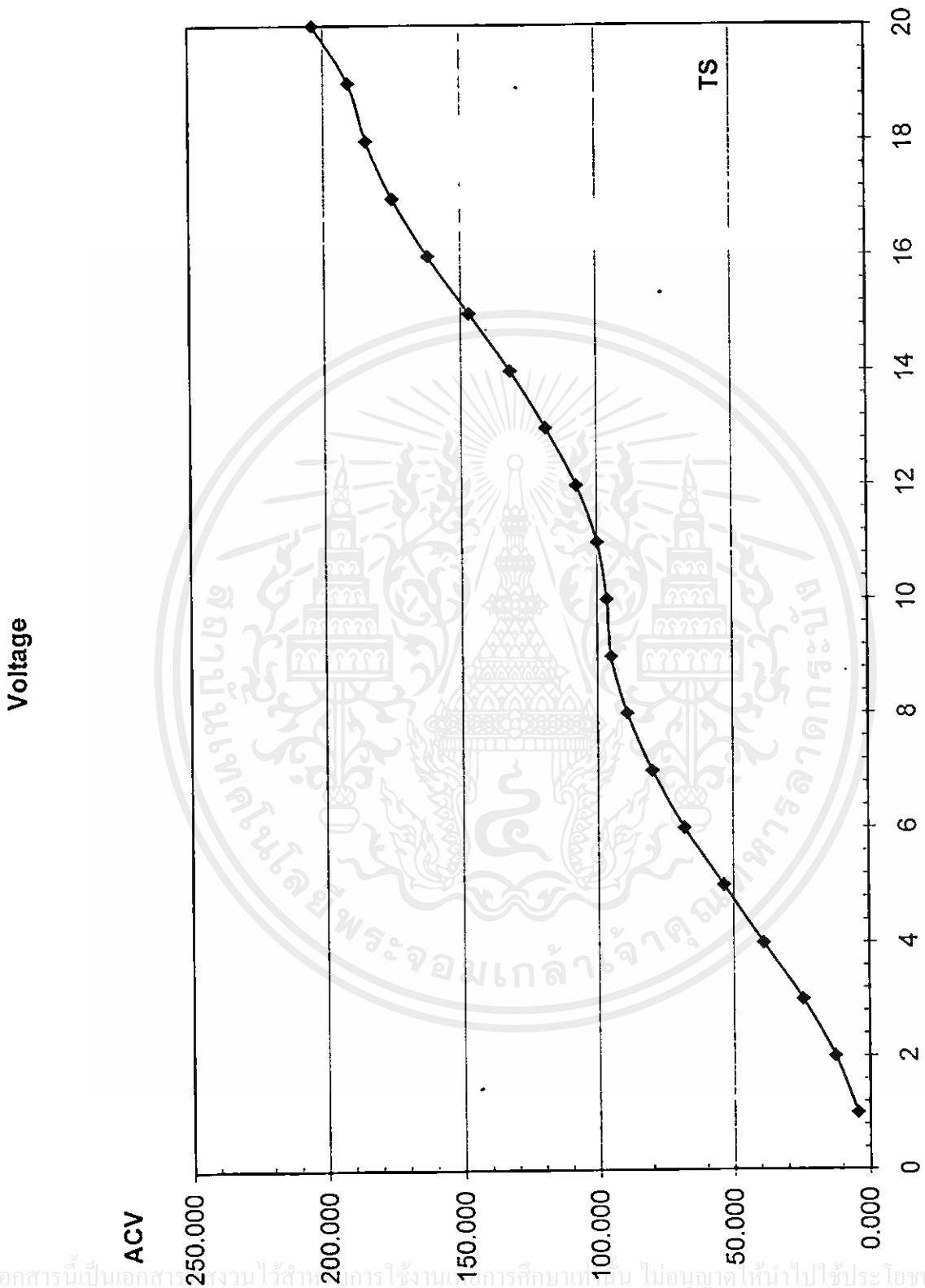
ตารางที่ 4.3 การทดสอบการจ่ายพลังงานสัญญาณ BRM ที่  $f_{15}$  ตั้งแต่  $T_{s_1} - T_{s_{20}}$

	Scan Time (msec)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กำลังไฟฟ้า(W)
BRM $f_{15}$	$T_{s_1}$	0.165	4.5	0.7425
	$T_{s_2}$	0.645	12.6	8.127
	$T_{s_3}$	1.39	24.5	34.055
	$T_{s_4}$	2.33	39.0	90.87
	$T_{s_5}$	3.375	53.6	18.09
	$T_{s_6}$	4.42	68.0	300.56
	$T_{s_7}$	5.356	79.8	427.4088
	$T_{s_8}$	6.105	89.0	543.345
	$T_{s_9}$	6.585	95.0	625.575
	$T_{s_{10}}$	6.75	96.5	651.375
	$T_{s_{11}}$	6.915	100.0	691.5
	$T_{s_{12}}$	7.395	107.6	795.702
	$T_{s_{13}}$	8.14	119.0	968.66
	$T_{s_{14}}$	9.08	132.0	1,198.56
	$T_{s_{15}}$	10.125	147.0	1,488.375
	$T_{s_{16}}$	11.17	162.0	1,809.54
	$T_{s_{17}}$	12.106	175.0	2,118.55
	$T_{s_{18}}$	12.855	184.5	2,371.7475
	$T_{s_{19}}$	13.335	191.0	2,546.985
	$T_{s_{20}}$	13.5	204.0	2,754

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



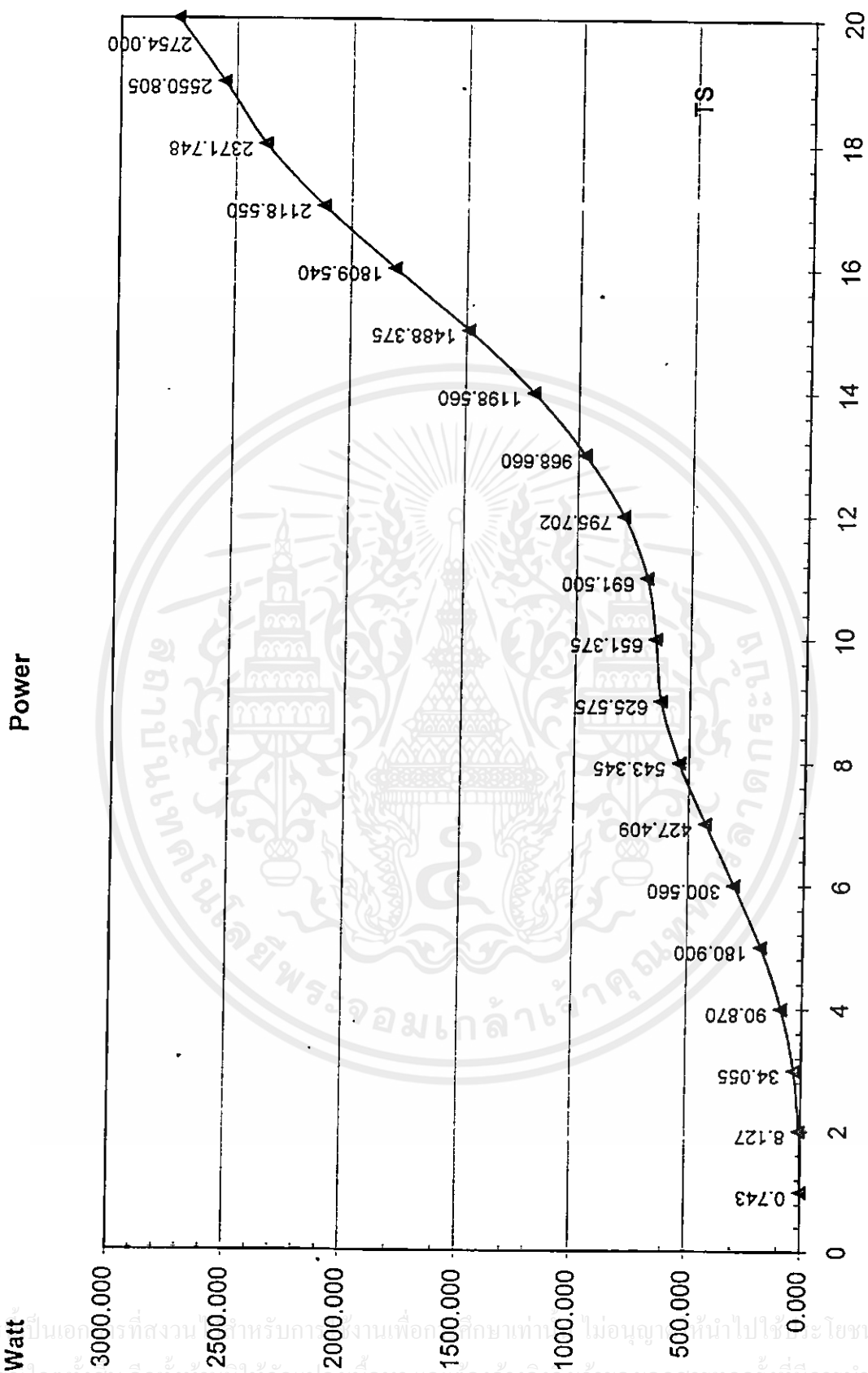
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 4.26 การทดสอบการจ่ายพลังงานระหว่างกระแสและสัญญาณ BRM ที่  $f_{15}$  ตั้งแต่  $T_{s1}$  -  $T_{s20}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานทางการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.27 การทดสอบการจ่ายพลังงานระหว่างแรงดันและสัญญาณ BRM ที่  $f_{15}$  ตั้งแต่  $T_{s1} - T_{s20}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.28 การทดสอบการจ่ายพลังงานระหว่างกำลังงานและสัญญาณ BRM ที่  $f_{15}$  ตั้งแต่  $T_{s1} - T_{s20}$

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้ดำเนินการบรรลุตดุดูประสงค์ โดยมีผลการศึกษารวบรวมและพัฒนาทางวิศวกรรมที่สรุปได้ดังต่อไปนี้

การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เทคนิคการผสมสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับกับสัญญาณ BRM ในย่านอุณหภูมิที่ควบคุม 40 – 200 องศาเซลเซียส สามารถควบคุมอุณหภูมิในเตาอบให้คงที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการทดลองการควบคุมอุณหภูมิโดยอาศัยตัวควบคุมแบบ PI จะเห็นได้ว่าตัวควบคุมดังกล่าวสามารถที่จะกำหนดเปอร์เซ็นต์ Ripple ด้วยอัตราส่วน (T/Tp)  $\ll 1$  ถ้าสามารถเพิ่มจำนวนบิต(N) ให้มากกว่า 4 จะมีผลทำให้การจ่ายพลังงานในการควบคุมอุณหภูมิมีความละเอียดมากขึ้นและมีผลการตอบสนองที่เร็วขึ้น เมื่อค่าของ Ts เท่าเดิม จะเห็นได้ว่าเทคนิคนี้สามารถที่จะมุ่งประเด็นของความสำเร็จไปที่หลักการของ BRM ถ้าพิจารณาเป็นเชิงเส้นได้นั้นจะมีค่า dispatcher เป็น dc gain(  $K_d$ ) เท่ากับ 187.5 W/bit โดยค่าดังกล่าวจะเป็นค่ากำหนดการจ่ายพลังงาน ซึ่งจะกำหนดอย่างไรก็ขึ้นอยู่กับจำนวนบิต และสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ ด้วยเหตุนี้เมื่อมีการวัดกำลังที่จ่ายให้กับขดลวดความร้อน(ดังรูปที่ 4.26) แล้วนำค่ากำลังงานที่เกิดขึ้นในขณะนั้นไปเทียบกับกำลังงาน  $K_d$  (ที่ถูกกระทำมาจากตัวควบคุม PI) ในขณะนั้นเช่นกัน เพื่อต้องการควบคุมอุณหภูมิตามเป้าหมายที่ต้องการด้วยผลตอบสนองรวดเร็ว และมีการประหยัดพลังงานอีกด้วย ดังวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเป็นงานที่น่าสนใจที่จะมีการนำไปพิจารณาเพิ่มในเรื่องของการประหยัดพลังงานได้อย่างสะดวก

ส่วนปัญหาเล็กน้อยที่น่าสนใจถ้ามีการเปลี่ยนแปลงจำนวนบิตหรือสัญญาณนาฬิกาก็คือวงจรจุดตัดศูนย์ (Zero Crossing) เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อกำหนดจุดเริ่มต้นของการจ่ายพลังงานสัญญาณ BRM ให้กับขดลวดทำความร้อนนั้น จะต้องกำหนดความคมของสัญญาณของสัญญาณในที่นี้ใช้เวลาประมาณ 1 ไมโครวินาที(ซึ่งมีค่าต่ำจะเป็นผลดี) ถ้ากำหนดช่วงเวลาที่มากกว่านี้จะเกิดผลเสียต่อการสร้างสัญญาณ BRM แต่ถ้าจำเป็นต้องใช้เวลาน้อยกว่านี้ก็ต้องเปลี่ยนไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวใหม่ที่สามารถรับการการอินเตอร์รัพทัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] W. Shepherd, "Steady - state analysis of the series, - inductive circuit controlled by silicon controlled rectifiers, " *IEEE Trans. Ind. Gen. Applicat.*, vol. IGA-1, pp. 259-265, 1965.
- [2] B. W. Lingard, R. W. Johnson, and W. Shepherd, "Analysis of thyristor controlled, single-phase loads with integral-cycle triggering, " *Proc.IEE*, vol 117, no. 2, pp. 607-608, Mar. 1970.
- [3] H. M. El-Bolek and S.S. Abd-El-Hamid, "A microprocessor based self adjusting system for integral cycle power control of RL loads, " *IEEE Trans. Ind Electron*, Vol 37, no. 2, pp. 156-160, Apr. 1990.
- [4] *Texas Instrument TTL Catalogue*, Bulletin no. DL S 7611802, Oct. 1976.
- [5] E. McCarthy and J. Danesh, "A novel method of direct digital integral cycle power control," *IEEE Trans. Ind. Electron Contr. Instrum.*, Vol.IECI-25, no 2, pp. 147-154, May 1978.
- [6] D. P. Atherton and H. T. Dorrah, "A survey on nonlinear oscillations," *Int. J. Contr.*, Vol. 31, 1041-1105, 1980.
- [7] V. M. Popov, "Absolute stability of nonlinear control systems of automatic control," *Automat. Remote Contr.*, Vol.22, pp. 857-875, 1962.
- [8] E. I. Jury, "A note on multi-rate sampled data systems," *IEEE Trans. Automat. Contr.*, pp. 319-320 June 1976.
- [9] K. Ogata, *Discrete-Time Control Systems*. Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall, 1987.
- [10] W. G. Cunnings and K. Torrance, *Jones Instrument Technology*, B. E. Noltingk, Ed. London, England : Butterworth, 1985. Vol. 2, pp. 140-143.
- [11] N. Barry, U.S. Patent 4 604 517, Aug. 5. 1986.



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

โปรแกรมที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิโดยอาศัยหลักการผสมสัญญาณแบบโบนารีกับสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ

\*\*\*\*\*

Temperature Control in oven with Integral - Cycle Binary Rate Modulation

\*\*\*\*\*

IEMO	EQU 0A8H
IRCON	EQU 0C0H
T2CON	EQU 0C8H
CRCL	EQU 0CAH
CRCH	EQU 0CBH
ADCON	EQU 0D8H
ADDAT	EQU 0D9H
DAPR	EQU 0DAH
P4	EQU 0E8H
B	EQU 0F8H
P5	EQU 0F8H

\*\*\*\*\*

MONITOR INTERFACE

\*\*\*\*\*

ccSTXT	EQU 002H
ccdRO16	EQU 005H
ccGET10	EQU 013H
ccLTIME	EQU 021H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ccLINK          EQU 040H
COMMAND        EQU 030H
MON            EQU 200H
```

```
*****
```

### RAM DEFINITION

```
*****
```

```
ORG 040H
```

```
MODE           DS 2
TMP            DS 2           ; OUTPUT
DSP            DS 2           ; SETPOINT VALUE
KP             DS 2           ; GAIN K
PP             DS 2
P              DS 2           ; PROPORTIONAL VALE
DE             DS 2           ; DE = DSP - DTMP
EN             DS 2           ; PRESENT ERROR
EN1            DS 2           ; PAST ERROR 1
EN2            DS 2           ; PAST ERROR 2
TD             DS 2           ; DERIVATIVE TIME
T1             DS 2           ; INTEGRAL TIME
DT             DS 2           ; DELAY TIME
DT_TI          DS 2
DT_DT          DS 2
K1             DS 2
K2             DS 2
K3             DS 2
PMIN1          DS 2
PMN2           DS 2
PMN3           DS 2
Channel        DS 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Adval DS 2 ; 8 bit measured AD value

\*\*\*\*\*

SYSCLK

```

ORG 1100H

ST: MOV ADCON,#0100000B ; Switch on SYSCLK on P1.6
    MOV Channel,#0

MODEL: MOV DPTR,#CLR
        MOV COMMAND,#ccSTCT
        LCALL MON
        MOV DPTR,#TXTM0
        LCALL MON
        MOV DPTR,#TXTM0
        MOV COMMAND,#ccSTXT
        LCALL MON
        MOV DPTR,#TXTM1
        MOV COMMAND,#ccSTXT
        LCALL MON
        MOV DPTR,#TXTM2
        MOV COMMAND,#ccSTXT
        LCALL MON
        MOV DPTR,#ccSTXT
        LCALL MON
        MOV COMMAND,#ccSTXT
        LCALL MON
        MOV COMMAND,#ccGET10
        LCALL MON
        MOV MODE,@R0
        MOV R0,#MODE
        MOV COMMAND,#ccdRO16
        LCALL MON

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในโอกาสการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ลงสื่อที่สาธารณะหรือแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV A,MODE
CJNE A,#19,AUTO ;เป็นการเลือกว่าจะทำแบบ Auto หรือ Manual
LCALL M_DISPLAY

```

.....

MANUAL MODE & AUTO MODE

.....

```

MANUAL :      LCALL ADBIT      ;Converter Subroutine
              MOV P1,Adval    ;เก็บข้อมูลที่อ่านได้ไปยัง P1 และ P5 ตามลำดับ
              MOV P5,Adval+1
              MOV DPH,#20     ;กำหนดค่า Pointer ซี่ไปที่ตำแหน่ง MON
              MOV DPL,#0
              MOV COMMAND,#ccLTIME ; กำหนดการหน่วงเวลาเป็นค่าccLTime
              LCALL MON
              SJMP MANUAL     ;ย้อนกลับไปตรวจสอบ ADBIT อีก
AUTO:         CJNE A,#7,MODE1  ;ตรวจสอบค่า MODE เท่ากับ 7 หรือไม่
              LCALL A_DISPLAY
SETP :        MOV A,DSP        ;ปรับค่า DSP ให้เป็นฐาน 10
              MOV B,#10
              SUBB A,B
              MOV DPH,#50H     ;กำหนด Pointer = 5,000 OR ACC
              MOV DPL,A
              MOV A,DSP
              MOV B,#0
              MOV R5,#122
              MOV R6,#0
              LCALL GE
              ORL A, B
              JNS SETP1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV DSP+1,#0
SJMP SETP2
SETP1:    MOV DSP+1,#1

SETP2:    MOVX A,@DPTR
          MOV DSP,A

AUTO1:    LCALL AD10BIT           ; Converter Subroutine
          MOV P1,ADval
          MOV P5,AdvAL+1         ; DE = (SP-ADval)*100/300
          MOV R3,ADval
          MOV R4,ADval+1
          MOV A,DSP
          MOV B,DSP+1
          CLR C
          SUBB A,R3
          XCH A,B
          SUBB A,R4
          MOV DE+1,A
          MOV DE,B
          ANL A,#11111100B
          JZ AUTO2
          MOV A,DE
          MOV B,DE+1
          LCALL NEG
          MOV DE,A
          MOV DE+1,B

AUTO2:    MOV BDE,C
          MOV A,DE
          MOV B,DE+1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV R3,#100
MOV R4,#0
LCALL MUL
MOV 042H,A
MOV 043H,B
MOV R3,#75
MOV R4,#1
LCALL SIGN_DIV
MOV DE,040H
MOV DE+1,041H ;EN2=EN1
MOV EN2,EN1
MOV EN2+1,EN1+1 ;EN1=EN
MOV EN1,EN
MOV EN1+1,EN1+1 ;EN=DE
MOV EN,DE
MOV EN+1,DE+1
MOV A,EN ;เปรียบเทียบค่า EN >= 100 หรือไม่
MOV B,EN+1
MOV R3,#100
MOV R4,#0
CLR C
SUBB A,R3
XCH A,B
SUBB A,R4
JB PSW.7,AB13
MOV EN,#100
MOV EN+1,#0
AB13 MOV PP,P; ;PP=P
MOV PP+1,P+1

```

```
*****
;
; DT - TI = SIGN_DIV(DT, TI)
;
*****
```

```
MOV 042H,DT ; เก็บค่า DT ไว้ที่ตำแหน่ง 42 และ 43
MOV 043H,DT+1
MOV R3,#3
MOV R4,#232
LCALL SIGN_DIV
MOV 042H,040H
MOV 043H,041H
MOV R3,TI
MOV R4,TI+1
LCALL SIGN_DIV
MOV DT_TI,040H
MOV DT_TI+1,041H
*****
```

```
*****
;
; TD_DT = SIGN_DIV (TD,DT)
;
*****
```

```
MOV TD,#0 ; กำหนดค่าเริ่มต้นให้ TD = 0
MOV TD+1,#0
MOV 042H,DT ; เก็บค่า DT ไว้ในตำแหน่ง 42H , 43H
MOV 043H,DT+1
MOV R3,#3
MOV R4,#232
LCALL SIGN_DIV
MOV R3,040H
```

```
MOV R4,041H
MOV 042H,TD ; คืนค่า DT ให้กับ 42H และ 43H อีกครั้ง
MOV 043H,TD+1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำไปเผยแพร่และต้องอ้างอิงถึงแหล่งที่มาทุกครั้งห้ามการนำไปใช้



```

XCH A,B
MOV R3,KP ; นำค่าที่ได้คูณกับค่า GAIN คือ KP
MOV R4,#0
LCALL MUL
MOV K1,A ; เก็บค่าที่ได้ไว้ใน K1
MOV K1+1,B

```

\*\*\*\*\*

```

;
; K2 = ((2 * TD_DT)+1) * GAIN
;
*****

```

```

MOV A,TD_DT ; เก็บค่า TD_DT ไว้ใน AB
MOV B,TD_DT+1
CLR C
RLC A ; TD_DT x 2
XCH A,B
RLC A
XCH A,B
ADDC A,#1 ; (TD_DT x 2)+1
XCH A,B
ADDC A,#0
XCH A,B
MOV R3,KP ; นำค่าที่ได้คูณกับค่า KP (GAIN)
MOV R4,#0
LCALL MUL
MOV K2,A ; เก็บผลลัพธ์ที่ได้ไว้ใน K2
MOV K2+1,B

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

MOV PMN3,A           ; เก็บค่าผลลัพธ์ใน PMN 3
MOV PMN3+1,B

```

```

*****
;
;
;
;
*****

```

$P = PP + PMN1 - PMN2 + PMN3$

```

MOV P,PP             ; เก็บค่า PP ใน P
MOV P+1,#0
MOV A,P              ; เก็บค่า P ไว้ใน AB
MOV B,P+1
MOV R3,PMN1          ; เก็บค่า PMN1 ไว้ใน R3, R4
MOV R4,PMN1+1
JNB BEN,AUT04       ; ตรวจสอบ BIT BEN
CLR C
ADD A,R3             ; PP + PMN1
XCH A,B
ADDC A,R4
SJMP AUT05

```

```

AUT04: CLR C
SUBB A,R3            ; (PP + PMN1) - PMN2
XCH A,B
SUBB A,R4

```

```

AUT05: MOV BP,C
XCH A,B
MOV R3,PMN2
MOV R4,PMN2+1
JNB BEN,AUT06
CLR C
ADD A,R3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้สำหรับศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

; ผลลัพธ์ที่ได้ รวมกับ PMN3

```

XCH A,B
ADDC A,R4
SJMP AUTO7
AUTO6: CLR C
SUBB A,R3
XCH A,B
SUBB A,R4
AUTO7: MOV BP,C
XCH A,B
MOV R3,PMN3
MOV R4,PMN3+1
JB BEN,AUTO8
CLR C
ADD A,R3
XCH A,B
ADDC A,R4
SJMP AUTO9
AUTO8: CLR C
SUBB A,R3
XCH A,B
SUBB A,R4
AUTO9: MOV BP,C
MOV P+1,A
MOVP,B

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;*****
;
;               IF(P>= 100) { P =100}
;*****
AB7:           MOV A,P                ;ค่าที่กำหนดขึ้น
              MOV B,P+1
              MOV R3,#100
              MOV R4,#0
              CLR C
              SUBB A,R3              ;ตรวจสอบค่า P >= 100 ที่ Carry
              XCH A,B                ; flag
              SUBB A,R4
              JB PSW.7,AB14
              MOV P,#100
              MOV P+1,#0
;*****
;
;               TMP = P*300/100
;*****
AB15:         MOV A,P                ;ค่าที่กำหนดขึ้น
              MOV B,#0
              MOV R3,#300           ;ตัวคูณ
              MOV R4,#0
              LCALL MUL              ; P * 300
              MOV 42H,A              ; ผลเก็บไว้ใน 42H
              XCH A,B                ; เก็บค่าผลคูณที่ตำแหน่งสูงไว้ที่ 43H
              MOV 43H,A
              MOV R3,#100           ; ทำการหารด้วย 100
              MOV R4,#0
              LCALL SIGN_DIV        ; และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
              MOV TMP,040H          ; เก็บค่าผลลัพธ์ไว้ใน TMP

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

```

MOV TMP+1,041H
MOV P4,TMP
MOV DPH,#DT+1
MOV DPL,#DT
MOV COMMAND,#ccLTIME ; ตั้งค่าการหน่วงเวลา
LCALL MON
LJMP AUTO1
RET

```

AD10BIT:

```

MOV A,Channel ; Fetch channel number
ORL A,#00010000B ; Mode: single conversion
ANL A,#00111111B
MOV R0,A ; Save
MOV A,ADCON ; Fetch old mode word
ANL A,#11000000B ; Reset AD part
ORL A,R0 ; And set anew
MOV ADCON,A ; And set as mode
MOV DAPR,#0 ; Start conversion 0 – 5.0 volt

```

BSY1:

```

JB ADCON.4,BSY1 ; Wait until ready
MOV A,ADDAT ; Fetch result
RL A ; Shift high – order bits to
RL A ; low – order bits
ANL A,#3 ; Two most significant bits
MOV Adval+1,A ; Store most significant byte of 8 bits
MOV DPTR,#TABLE1 ; and use as table offset
MOVC A,@A+DPTR ; Fetch new AD converter range
MOV DAPR,A ; Start conversion

```

BSY2:

```

JB ADCON.4,BSY2 ; Wait until ready
MOV A,ADDAT ; Fetch result
MOV Adval+0,A ; is low – order byte of 10 bit value

```

RET

END

```

*****
;
; #####END PROGRAM#####
*****
;

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

## DATA SHEET

intel.

80C31BH/80C51BH/87C51

MCS<sup>®</sup> 51

## CHMOS SINGLE-CHIP 8-BIT MICROCONTROLLER

*Automotive*

- Extended Automotive Temperature Range ( $-40^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$  Ambient)
- High Performance CHMOS Process
- Power Control Modes
- 4 Kbyte On-Chip ROM/EPROM
- 128 x 8-bit RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Two 16-Bit Timer/Counters
- 5 Interrupt Sources
- Quick-Pulse EPROM Programming
- 2-Level Program Memory Lock EPROM
- Boolean Processor
- Programmable Serial Port
- TTL- and CMOS-Compatible Logic Levels
- 64K External Program Memory Space
- 64K External Data Memory Space
- IDLE and POWER DOWN Modes
- ONCE Mode Facilitates System Testing
- Available in 12 MHz and 16 MHz Versions
- Available in PLCC and DIP Packages  
(See Packaging Specification, Order # 231363)

The MCS<sup>®</sup> 51 CHMOS microcontroller products are fabricated on Intel's reliable CHMOS process and are functionally compatible with the standard MCS 51 HMOS microcontroller products. This technology combines the high speed and density characteristics of HMOS with the low power attributes of CHMOS. This combination expands the effectiveness of the powerful MCS 51 microcontroller architecture and instruction set.

Like the MCS 51 HMOS microcontroller versions, the MCS 51 CHMOS microcontroller products have the following features: 4 Kbytes of EPROM/ROM (87C51/80C51BH respectively); 128 bytes of RAM; 32 I/O lines; two 16-bit timer/counters; a five-source two-level interrupt structure; a full duplex serial port; and on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the MCS 51 CHMOS microcontroller products exhibit low operating power, along with two software selectable modes of reduced activity for further power reduction—Idle and Power Down.

The Idle mode freezes the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port, and interrupt system to continue functioning. The Power Down mode saves the RAM contents but freezes the oscillator, causing all other chip functions to be inoperative.

The 87C51 is the EPROM version of the 80C51BH. It contains 4 Kbytes of on-chip program memory that can be electrically programmed, and can be erased by exposure to ultraviolet light. The 87C51 EPROM array uses a modified Quick-Pulse Programming algorithm, by which the entire 4 Kbyte array can be programmed in about 12 seconds.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AUTOMOTIVE 80C31BH/80C51BH/87C51

intel.

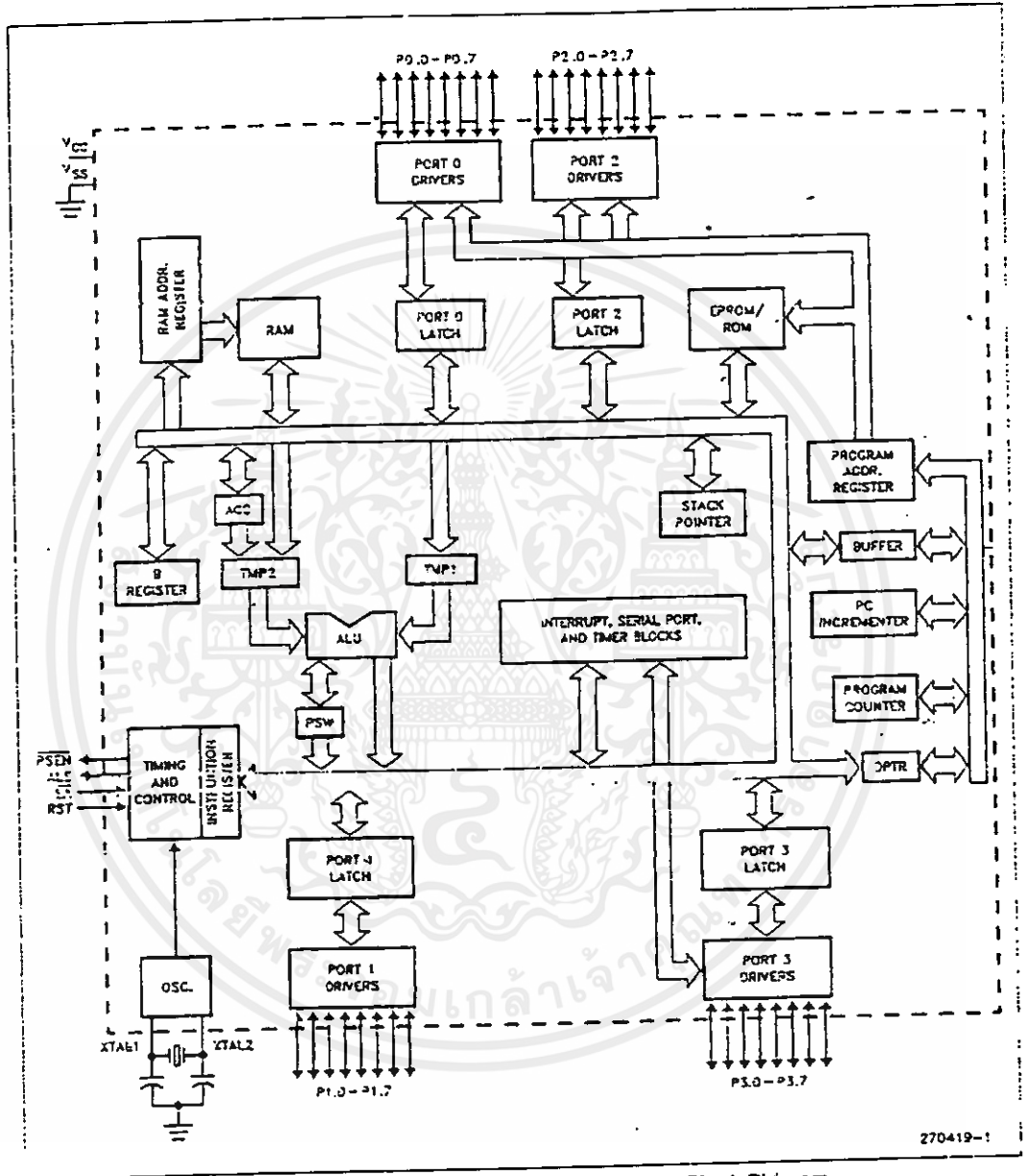


Figure 1. MCS-51 Microcontroller Architectural Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะฉฉิใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**AUTOMOTIVE 80C31BH/80C51BH/87C51**
**80C31BH/80C51BH/87C51  
PRODUCT OPTIONS**

Intel's extended and automotive temperature range products are designed to meet the needs of those applications whose operating requirements exceed commercial standards.

With the extended temperature range option, operational characteristics are guaranteed over the temperature range of  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $+65^{\circ}\text{C}$  ambient. For the

automotive temperature range option, operational characteristics are guaranteed over the temperature range of  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$  ambient.

The automotive and extended temperature versions of the MCS 51 microcontroller product families are available with or without burn-in options as listed in Table 1.

As shown in Figure 2, temperature, burn-in, and package options are identified by a one- or two-letter prefix to the part number.

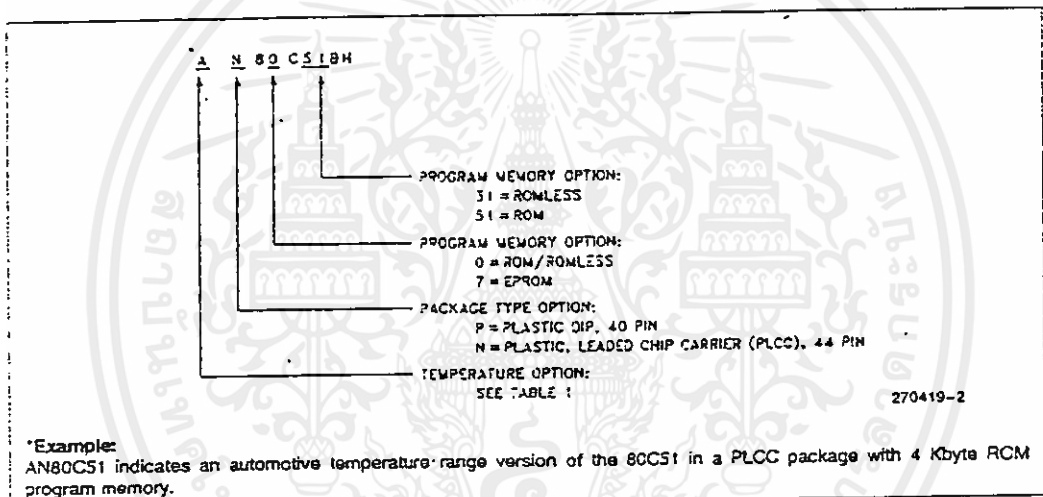


Figure 2. MCS<sup>51</sup> Microcontroller Product Family Nomenclature

Table 1. Temperature Options

Temperature Classification	Temperature Designation	Operating Temperature $^{\circ}\text{C}$ Ambient	Burn-in Options
Extended	T	$-40$ to $+85$	Standard
	L	$-40$ to $+85$	Extended
Automotive	A	$-40$ to $+125$	Standard
	B	$-40$ to $+125$	Extended

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

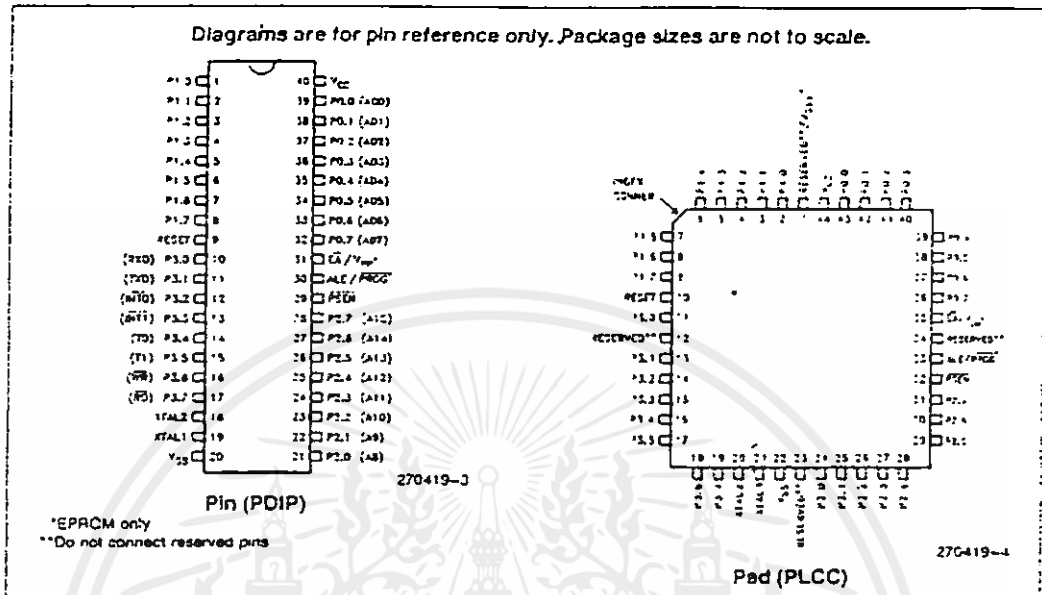


Figure 3. Pin Connections

**PIN DESCRIPTION**

**V<sub>CC</sub>**: Supply voltage during normal, Idle, and Power Down operations.

**V<sub>SS</sub>**: Circuit ground.

**V<sub>SS1</sub>**: V<sub>SS1</sub>—(EPROM PLCC only) secondary ground. Provided to reduce ground bounce and improve power supply bypassing.

**NOTE:**

This pin is not a substitute for the V<sub>SS</sub> pin (pin 22). For ROM and ROMless, pin 1 is reserved—do not connect.

**Port 0:** Port 0 is an 8-bit open drain bidirectional I/O port. As an output port each pin can sink 8 LS TTL inputs. Port 0 pins that have 1s written to them float, and in that state can be used as high-impedance inputs.

Port 0 is also the multiplexed low-order address and data bus during accesses to external memory. In this application it uses strong internal pullups when emitting 1s.

Port 0 also receives the code bytes during EPROM programming, and outputs the code bytes during program verification. External pullups are required during program verification.

**Port 1:** Port 1 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. Port 1 pins that have 1s written to them are pulled high by the internal pullups, and in that state can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source

current (I<sub>IL</sub>, on the datasheet) because of the internal pullups.

Port 1 also receives the low-order address bytes during EPROM programming and program verification.

**Port 2:** Port 2 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. Port 2 pins that have 1s written to them are pulled high by the internal pullups, and in that state can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current (I<sub>IL</sub>, on the data sheet) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external Program memory and during accesses to external Data Memory that use 16-bit address (MOVX @DPTR). In this application it uses strong internal pullups when emitting 1s.

During accesses to external Data Memory that use 8-bit addresses (MOVX @Ri), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives some control signals and the high-order address bits during EPROM programming and program verification.

**Port 3:** Port 3 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. Port 3 pins that have 1s written to them are pulled high by the internal pullups, and in that state can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I<sub>IL</sub>, on the datasheet) because of the pullups.

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของ Intel. ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจาก Intel. ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AUTOMOTIVE 80C31BH/80C51BH/87C51

Port 3 also serves the functions of various special features of the MCS 51 microcontroller family, as listed below:

Pin	Name	Alternate Function
P3.0	RXD	Serial Input Line
P3.1	TXD	Serial Output Line
P3.2	$\overline{\text{INT0}}$	External Interrupt 0
P3.3	$\overline{\text{INT1}}$	External Interrupt 1
P3.4	T0	Timer 0 External Input
P3.5	T1	Timer 1 External Input
P3.6	$\overline{\text{WR}}$	External Data Memory Write Strobe
P3.7	$\overline{\text{RD}}$	External Data Memory Read Strobe

Port 3 also receives some control signals for EPROM programming and program verification.

**RESET:** Reset input. A logic high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device. An internal pulldown resistor permits a power-on reset to be generated using only an external capacitor to  $V_{CC}$ .

**ALE/ $\overline{\text{PROG}}$  (EPROM Only):** Address Latch Enable output signal for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input ( $\overline{\text{PROG}}$ ) during EPROM programming.

In normal operation ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency, and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE pulse is skipped during each access to external Data Memory.

**$\overline{\text{PSEN}}$ :** Program Store Enable is the Read strobe to External Program Memory. When the 87C51/80C51BH is executing from internal Program Memory,  $\overline{\text{PSEN}}$  is inactive (high). When the device is executing code from External Program Memory,  $\overline{\text{PSEN}}$  is activated twice each machine cycle, except that two  $\overline{\text{PSEN}}$  activations are skipped during each access to External Data Memory.

**$\overline{\text{EA}}/V_{pp}$ :** External Access enable.  $\overline{\text{EA}}$  must be strapped to  $V_{SS}$  in order to enable the 87C51/80C51BH to fetch code from External Program Memory locations starting at 0000H up to 0FFFFH. [Note, however, that if either of the Lock Bits is programmed, the logic level at  $\overline{\text{EA}}$  is internally latched during reset.] (EPROM only.)

$\overline{\text{EA}}$  must be strapped to  $V_{CC}$  for internal program execution.

**$V_{pp}$  (EPROM Only):** This pin also receives the 12.75V programming supply voltage ( $V_{pp}$ ) during EPROM programming.

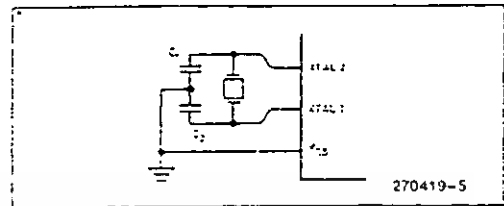


Figure 4. Using the On-Chip Oscillator

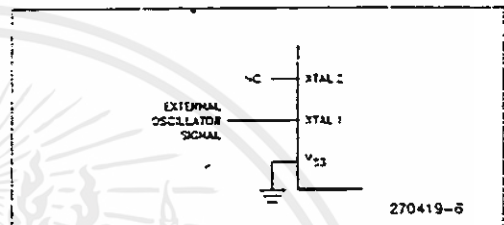


Figure 5. External Clock Drive

**XTAL1:** Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock generating circuits.

**XTAL2:** Output from the inverting oscillator amplifier.

## OSCILLATOR CHARACTERISTICS

XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 4.

To drive the device from an external clock source, XTAL1 should be driven, while XTAL2 is left unconnected, as shown in Figure 5. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum high and low times specified on the Data-sheet must be observed.

## IDLE MODE

In Idle Mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the Special Functions Registers remain unchanged during this mode. The Idle Mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

It should be noted that when Idle is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution, from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 2. Status of the External Pins During Idle and Power Down

Mode	Program Memory	ALE	PSEN	PORT0	PORT1	PORT2	PORT3
Idle	Internal	1	1	Data	Data	Data	Data
Idle	External	1	1	Float	Data	Address	Data
Power Down	Internal	0	0	Data	Data	Data	Data
Power Down	External	0	0	Float	Data	Data	Data

**NOTE:**

For more detailed information on the reduced power modes refer to current Embedded Applications Handbook, and Application Note AP-252, "Designing with the 80C51BH."

internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when Idle is terminated by reset, the instruction following the one that invokes Idle should not be one that writes to a port pin or to external memory.

**POWER DOWN MODE**

In the Power Down mode the oscillator is stopped, and the instruction that invokes Power Down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Registers retain their values until the Power Down mode is terminated.

The only exit from Power Down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before V<sub>CC</sub> is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

**DESIGN CONSIDERATIONS**

- At power on, the voltage on V<sub>CC</sub> and RST must come up at the same time for a proper start-up.
- Before entering the Power Down mode the contents of the Carry Bit and B.7 must be equal.
- When the Idle mode is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write when Idle is terminated by reset, the instruction following the one that invokes Idle should not be one that writes to a port pin or to external memory.
- An external oscillator may encounter as much as a 100 pF load at XTAL1 when it starts up. This is due to interaction between the amplifier and its feedback capacitance. Once the external signal meets the V<sub>IL</sub> and V<sub>IH</sub> specifications the capacitance will not exceed 20 pF.
- For EPROM versions exposure to light when the device is in operation may cause logic errors. For this reason, it is suggested that an opaque label be placed over the window when the die is exposed to ambient light.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## AUTOMOTIVE 80C31BH/80C51BH/87C51

### PROGRAM MEMORY LOCK (EPROM Only)

The 87C51 contains two program memory lock schemes: Encrypted Verify and Lock Bits.

**Encrypted Verify:** The 87C51 implements a 32-byte EPROM array that can be programmed by the customer, and which can then be used to encrypt the program code bytes during EPROM verification. The EPROM verification procedure is performed as usual, except that each code byte comes out logically X-NORed with one of the 32 key bytes. The key bytes are gone through in sequence. Therefore, to read the ROM code, one has to know the 32 key bytes in their proper sequence.

**Lock Bits:** Also on the chip are two Lock Bits which can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the following additional features:

Bit 1	Bit 2	Additional Features
U	U	none
P	U	<ul style="list-style-type: none"> <li>Externally fetched code can not access internal Program Memory.</li> <li>Further programming disabled.</li> </ul>
U	P	(Reserved for Future definition.)
P	P	<ul style="list-style-type: none"> <li>Externally fetched code can not access internal Program Memory.</li> <li>Further programming disabled.</li> <li>Program verification is disabled.</li> </ul>

When Lock Bit 1 is programmed, the logic level at the  $\overline{EA}$  pin is sampled and latched during reset. If the device is powered up without a reset, the latch initializes to a random value, and holds that value until reset is activated. It is necessary that the latched value of  $\overline{EA}$  be in agreement with the current logic level at that pin in order for the device to function properly.

### ONCE MODE

The ONCE ("on-circuit emulation") mode facilitates testing and debugging of systems using the 87C51 without the 87C51 having to be removed from the circuit. The ONCE mode is invoked by:

1. Pull ALE low while the device is in reset and  $\overline{PSEN}$  is high;
2. Hold ALE low as RST is deactivated.

While the device is in ONCE mode, the Port 0 pins go into a float state, and the other port pins and ALE and  $\overline{PSEN}$  are weakly pulled high. The oscillator circuit remains active. While the 87C51 is in this mode, an emulator or test CPU can be used to drive the circuit. Normal operation is restored when a normal reset is applied.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## AUTOMOTIVE 80C31BH/80C51BH/87C51

intel.

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS\*

Ambient Temperature Under Bias  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$   
 Storage Temperature  $-65^{\circ}\text{C}$  to  $+150^{\circ}\text{C}$   
 Voltage on  $\overline{\text{EA}}/V_{\text{PP}}$  Pin to  $V_{\text{SS}}$   $0\text{V}$  to  $+13.0\text{V}$   
 Voltage on Any Other Pin to  $V_{\text{SS}}$   $-0.5\text{V}$  to  $+6.5\text{V}$   
 $I_{\text{OL}}$  per I/O pin  $15\text{ mA}$   
 Power Dissipation  $1.5\text{ W}$   
 (Based on package heat transfer limitations, not device power consumption).  
 Typical Junction Temperature ( $T_{\text{J}}$ )  $+135^{\circ}\text{C}$   
 (Based upon ambient temperature at  $+125^{\circ}\text{C}$ )  
 Typical Thermal Resistance Junction-to-Ambient ( $\theta_{\text{JA}}$ ):  
 PDIP  $75^{\circ}\text{C}/\text{W}$   
 PLCC  $46^{\circ}\text{C}/\text{W}$

NOTICE: This is a production data sheet. The specifications are subject to change without notice.

\*WARNING: Stressing the device beyond the "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage. These are stress ratings only. Operation beyond the "Operating Conditions" is not recommended and extended exposure beyond the "Operating Conditions" may affect device reliability.

## DC CHARACTERISTICS:

( $T_{\text{A}} = -40^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$ ;  $V_{\text{CC}} = 5\text{V} \pm 10\%$  ( $5\text{V} \pm 20\%$  EPROM Only);  $V_{\text{SS}} = 0\text{V}$ )

Symbol	Parameter	Min	Typ(1)	Max (87C51/80C51BH)	Unit	Test Conditions
$V_{\text{IL}}$	Input Low Voltage (Except $\overline{\text{EA}}$ )	-0.5		$0.2 V_{\text{CC}} - 0.25$	V	
$V_{\text{IL1}}$	Input Low Voltage to $\overline{\text{EA}}$	0		$0.2 V_{\text{CC}} - 0.45$	V	
$V_{\text{IH}}$	Input High Voltage (Except XTAL1, RST)	$0.2 V_{\text{CC}} + 1.0$		$V_{\text{CC}} + 0.5$	V	
$V_{\text{IH1}}$	Input High Voltage (XTAL1, RST)	$0.7 V_{\text{CC}} + 0.1$		$V_{\text{CC}} + 0.5$	V	
$V_{\text{OL}}$	Output Low Voltage (Ports 1, 2, 3)			0.45(7)	V	$I_{\text{OL}} = 1.6\text{ mA}$ (2)
$V_{\text{OL1}}$	Output Low Voltage (Port 0, ALE, $\overline{\text{PSEN}}$ )			0.45(7)	V	$I_{\text{OL}} = 3.2\text{ mA}$ (2)
$V_{\text{OH}}$	Output High Voltage (Ports 1, 2, 3, ALE, $\overline{\text{PSEN}}$ )	2.4			V	$I_{\text{OH}} = -60\ \mu\text{A}$
		$0.9 V_{\text{CC}}$			V	$I_{\text{OH}} = -10\ \mu\text{A}$
$V_{\text{OH1}}$	Output High Voltage (Port 0 in External Bus Mode)	2.4			V	$I_{\text{OH}} = -800\ \mu\text{A}$
		$0.9 V_{\text{CC}}$			V	$I_{\text{OH}} = -80\ \mu\text{A}$ (3)
$I_{\text{IL}}$	Logical 0 Input Current (Ports 1, 2, 3)			-75	$\mu\text{A}$	$V_{\text{IN}} = 0.45\text{ V}$
$I_{\text{TL}}$	Logical 1-to-0 transition current (Ports 1, 2, 3)			-750	$\mu\text{A}$	(4)
$I_{\text{L}}$	Input Leakage Current (Port 0)			$\pm 10$	$\mu\text{A}$	$V_{\text{IN}} = V_{\text{IL}}$ or $V_{\text{IH}}$
$I_{\text{CC}}$	Power Supply Current					
	Active Mode @ 12 MHz (5)		11.5	25/20	mA	(5)
	Idle Mode @ 12 MHz (5)		1.3	6/5	mA	
Power Down Mode		3	100/75	$\mu\text{A}$	$V_{\text{CC}} = 2.2\text{V to } 5.5\text{V}$	
RRST	Internal Reset Pulldown Resistor	50		300	k $\Omega$	
CIO	Pin Capacitance			10	pF	

## NOTES:

- "Typicals" are based on a limited number of samples taken from early manufacturing lots and are not guaranteed. The values listed are at room temp, 5V.
- Capacitive loading on Ports 0 and 2 may cause spurious noise pulses to be superimposed on the  $V_{\text{OL}}$ s of ALE and Ports 1 and 3. The noise is due to external bus capacitance discharging into the Port 0 and Port 2 pins when these pins make 1-to-0 transitions during bus operations. In the worst cases (capacitive loading  $> 100\text{pF}$ ), the noise pulse on the ALE pin may exceed 0.8V. In such cases it may be desirable to qualify ALE with a Schmitt Trigger, or use an address latch with a Combinational Trigger STROBE input.
- Capacitive loading on Ports 0 and 2 may cause the  $V_{\text{OH}}$  on ALE and  $\overline{\text{PSEN}}$  to momentarily fall below the  $0.9 V_{\text{CC}}$  specification when the address bits are stabilizing.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



AUTOMOTIVE 80C31BH/80C51BH/87C51

NOTES: (Continued)

4. Pins of Ports 1, 2 and 3 source a transition current when they are being externally driven from 1 to 0. The transition current reaches its maximum value when  $V_{IN}$  is approximately 2V.

5. ICCMAX at other frequencies is given by:

Active Mode: 87C51  $ICCMAX = 0.94 \times FREQ + 13.71$

80Cx1BH  $ICCMAX = 1.47 \times FREQ + 2.36$

Idle Mode:  $ICCMAX = 0.14 \times FREQ + 3.81$

where FREQ is the external oscillator frequency in MHz. ICCMAX is given in mA. See Figure 6.

6. See Figures 7 through 10 for  $I_{CC}$  test conditions. Minimum  $V_{CC}$  for Power Down is 2.0V.

7. Under steady state (non-transient) conditions,  $i_{CL}$  must be externally limited as follows:

Maximum  $i_{CL}$  per port pin: 10 mA

Maximum  $i_{CL}$  per 8-bit port

Port 0: 26 mA

Ports 1, 2, and 3: 15 mA

Maximum total  $i_{CL}$  for all output pins: 71 mA

If  $i_{CL}$  exceeds the test condition,  $V_{CL}$  may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.

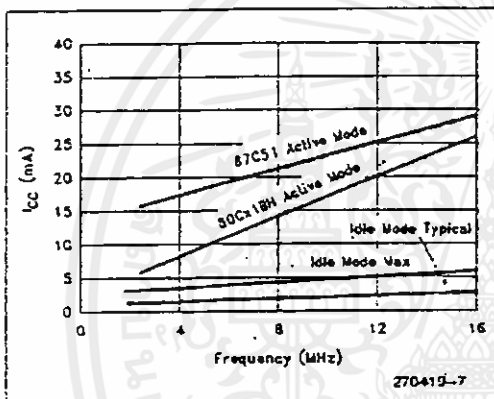


Figure 6.  $I_{CC}$  vs. FREQ. Valid only within frequency specifications of the device under test.

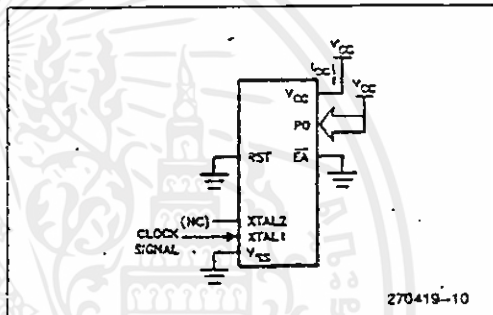


Figure 8.  $I_{CC}$  Test Condition, Idle Mode. All other pins are disconnected.

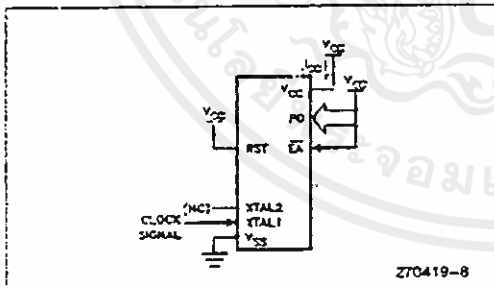


Figure 7.  $I_{CC}$  Test Condition, Active Mode. All other pins are disconnected.

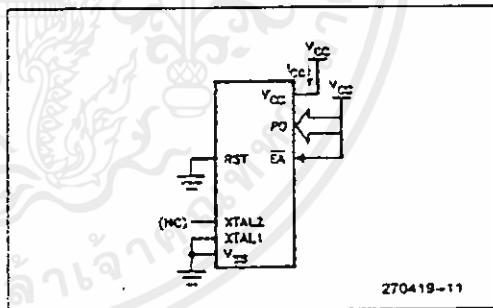


Figure 9.  $I_{CC}$  Test Condition, Power Down Mode. All other pins are disconnected.

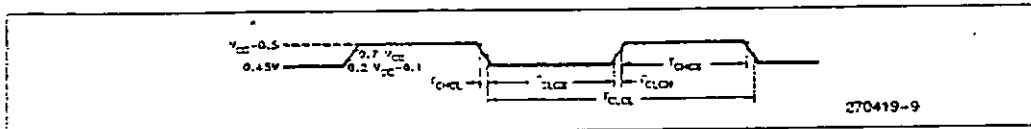


Figure 10. Clock Signal Waveform for  $I_{CC}$  tests in Active and Idle Modes.

$T_{CLCH} = T_{CHCL} = 5 \text{ ns.}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## AUTOMOTIVE 80C31BH/80C51BH/87C51



## EXPLANATION OF THE AC SYMBOLS

Each timing symbol has 5 characters. The first character is always a 'T' (stands for time). The other characters, depending on their positions, stand for the name of a signal or the logical status of that signal. The following is a list of all the characters and what they stand for.

A: Address.  
 C: Clock.  
 D: Input data.  
 H: Logic level HIGH.  
 I: Instruction (program memory contents).

L: Logic level LOW, or ALE.  
 P: PSEN.  
 Q: Output data.  
 R: RD signal.  
 T: Time.  
 V: Valid.  
 W: WR signal.  
 X: No longer a valid logic level.  
 Z: Float.

For example,

$T_{AVLL}$  = Time from Address Valid to ALE Low.  
 $T_{LLPL}$  = Time from ALE Low to PSEN Low.

**AC CHARACTERISTICS:** ( $T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $+125^\circ\text{C}$ ;  $V_{CC} = 5V \pm 10\%$  (5V  $\pm 20\%$  EPROM Only);  $V_{SS} = 0V$ ; Load Capacitance for Port 0, ALE, and PSEN = 100 pF; Load Capacitance for All Other Outputs = 80 pF)

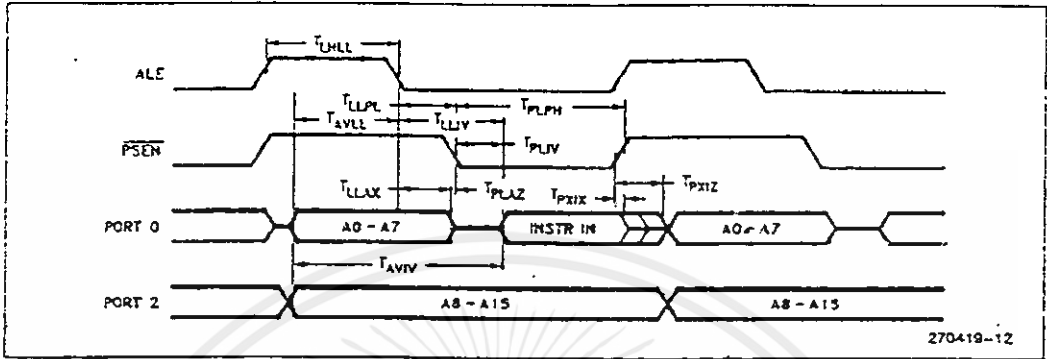
## EXTERNAL PROGRAM AND DATA MEMORY CHARACTERISTICS

Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
$1/T_{CLCL}$	Oscillator Frequency 87C51/80C51BH/80C31BH			3.5	12-16	MHz
$T_{LHLL}$	ALE Pulse Width	127		$2T_{CLCL} - 40$		ns
$T_{AVLL}$	Address Valid to ALE Low	28		$T_{CLCL} - 55$		ns
$T_{LLAX}$	Address Hold After ALE Low	48		$T_{CLCL} - 35$		ns
$T_{LLIV}$	ALE Low to Valid Instr In		224		$4T_{CLCL} - 110$	ns
$T_{LLPL}$	ALE Low to PSEN Low	43		$T_{CLCL} - 40$		ns
$T_{PLPH}$	PSEN Pulse Width	205		$3T_{CLCL} - 45$		ns
$T_{PLIV}$	PSEN Low to Valid Instr In		135		$3T_{CLCL} - 115$	ns
$T_{PXIX}$	Input Instr Hold After PSEN	0		0		ns
$T_{PXIZ}$	Input Instr Float After PSEN		59		$T_{CLCL} - 25$	ns
$T_{AVIV}$	Address Valid to Valid Instr In		312		$5T_{CLCL} - 105$	ns
$T_{PLAZ}$	PSEN Low to Address Float		10		10	ns
$T_{RLRH}$	RD Pulse Width	400		$6T_{CLCL} - 100$		ns
$T_{WLWH}$	WR Pulse Width	400		$6T_{CLCL} - 100$		ns
$T_{RLDV}$	RD Low to Valid Data In		252		$5T_{CLCL} - 165$	ns
$T_{RHDX}$	Data Hold After RD High	0		0		ns
$T_{RHDX}$	Data Float After RD High		97		$2T_{CLCL} - 70$	ns
$T_{LLDV}$	ALE Low to Valid Data In		517		$8T_{CLCL} - 150$	ns
$T_{AVDV}$	Address Valid to Valid Data In		585		$9T_{CLCL} - 165$	ns
$T_{LLWL}$	ALE Low to RD or WR Low	200	300	$3T_{CLCL} - 50$	$3T_{CLCL} + 50$	ns
$T_{AVWL}$	Address Valid to RD or WR Low	203		$4T_{CLCL} - 130$		ns
$T_{QVWX}$	Data Valid to WR Transition	23		$T_{CLCL} - 60$		ns
$T_{WHOX}$	Data Hold After WR High	33		$T_{CLCL} - 50$		ns
$T_{RLAZ}$	RD Low to Address Float		0		0	ns
$T_{WHLH}$	RD or WR High to ALE High	43	123	$T_{CLCL} - 40$	$T_{CLCL} + 40$	ns

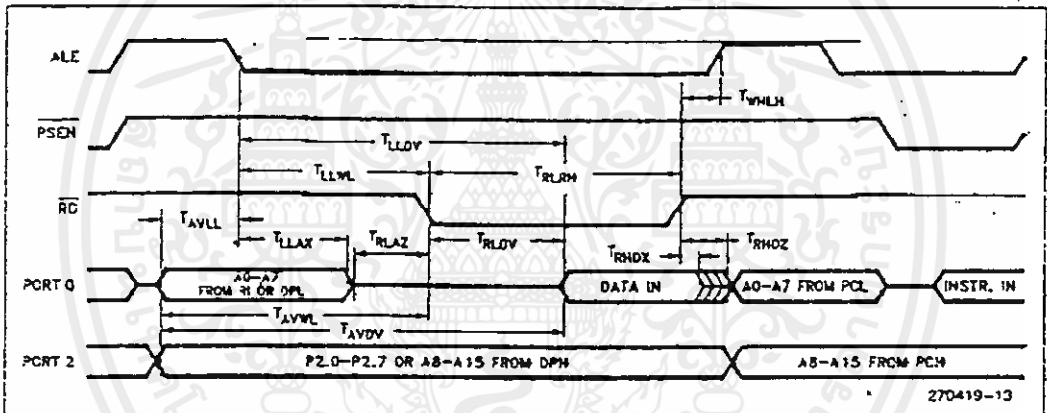
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะมิใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



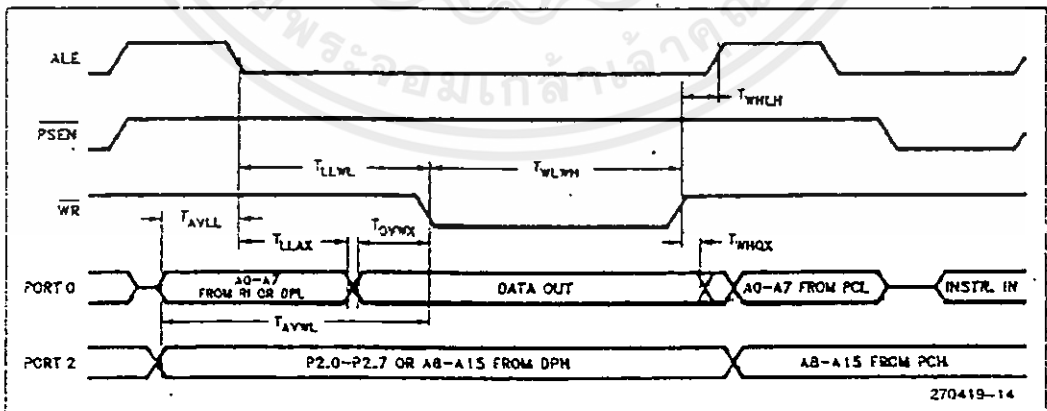
EXTERNAL PROGRAM MEMORY READ CYCLE



EXTERNAL DATA MEMORY READ CYCLE



EXTERNAL DATA MEMORY WRITE CYCLE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

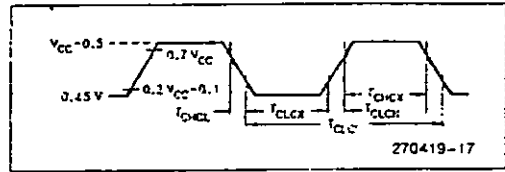
AUTOMOTIVE 80C31BH/60C51BH/87C51



EXTERNAL CLOCK DRIVE

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$1/T_{CLCL}$	Oscillator Frequency	3.5	12	MHz
$T_{CHCX}$	High Time	20		ns
$T_{CLCX}$	Low Time	20		ns
$T_{CLCH}$	Rise Time		20	ns
$T_{CHCL}$	Fall Time		20	ns

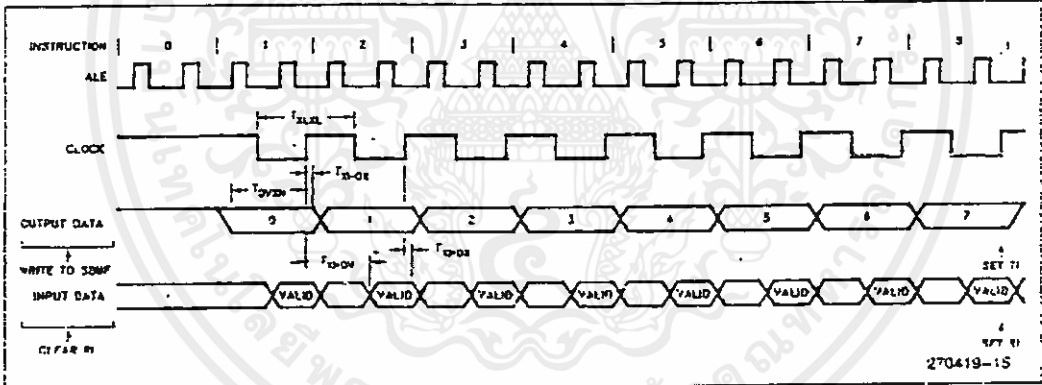
EXTERNAL CLOCK DRIVE WAVEFORM



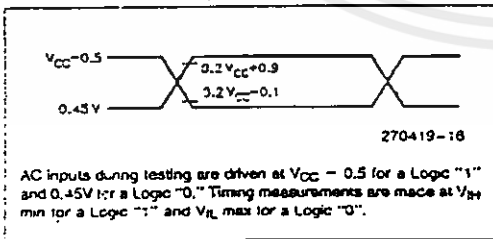
SERIAL PORT TIMING—SHIFT REGISTER MODE

Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
$T_{XLXL}$	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		$12T_{CLCL}$		$\mu s$
$T_{OVXH}$	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		$10T_{CLCL} - 133$		ns
$T_{XHOX}$	Output Data Hold After Clock Rising Edge	50		$2T_{CLCL} - 117$		ns
$T_{XHDX}$	Input Data Hold After Clock Rising Edge	0		0		ns
$T_{XHDV}$	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		$10T_{CLCL} - 133$	ns

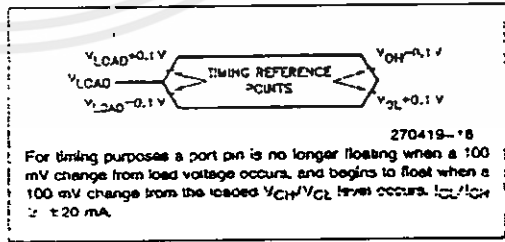
SHIFT REGISTER MODE TIMING WAVEFORMS



AC TESTING INPUT, OUTPUT WAVEFORMS



FLOAT WAVEFORMS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## AUTOMOTIVE 80C31BH/80C51BH/87C51

### EPROM CHARACTERISTICS (EPROM Only)

The 87C51 is programmed by a modified Quick-Pulse Programming algorithm. It differs from older methods in the value used for  $V_{pp}$  (Programming Supply Voltage) and in the width and number of the ALE/PROG pulses.

The 87C51 contains two signature bytes that can be read and used by an EPROM programming system

to identify the device. The signature bytes identify the device as an 87C51 manufactured by Intel.

Table 3 shows the logic levels for reading the signature byte, and for programming the Program Memory, the Encryption Table, and the Lock Bits. The circuit configuration and waveforms for Quick-Pulse Programming are shown in Figures 11 and 12. Figure 13 shows the circuit configuration for normal Program Memory verification.

Table 3. EPROM Programming Modes

MODE	RST	PSEN	ALE/ PROG	EA/ V <sub>pp</sub>	P2.7	P2.6	P3.7	P3.6
Read Signature	1	0	1	1	0	0	0	0
Program Code Data	1	0	0*	V <sub>pp</sub>	1	0	1	1
Verify Code Data	1	0	1	1	0	0	1	1
Pgm Encryption Table	1	0	0*	V <sub>pp</sub>	1	0	1	0
Pgm Lock Bit 1	1	0	0*	V <sub>pp</sub>	1	1	1	1
Pgm Lock Bit 2	1	0	0*	V <sub>pp</sub>	1	1	0	0

## NOTES:

"1" = Valid high for that pin

"0" = Valid low for that pin

$V_{pp} = 12.75V \pm 0.25V$

$V_{CC} = 5V \pm 20\%$  during programming and verification

\*ALE/PROG receives 25 programming pulses while  $V_{pp}$  is held at 12.75V. Each programming pulse is low for 100  $\mu s$  (= 10  $\mu s$ ) and high for a minimum of 10  $\mu s$ .

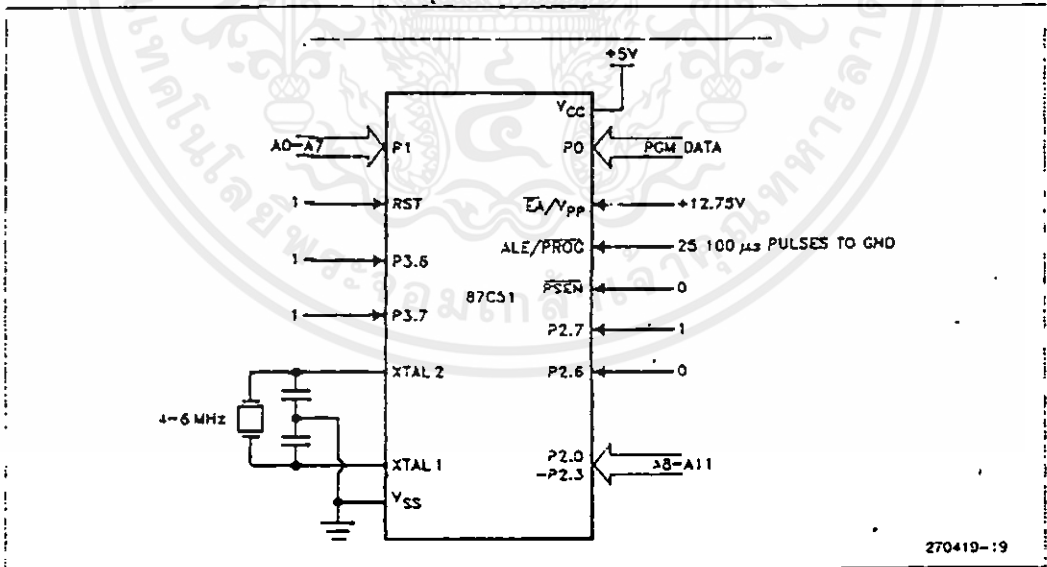


Figure 11. Programming Configuration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

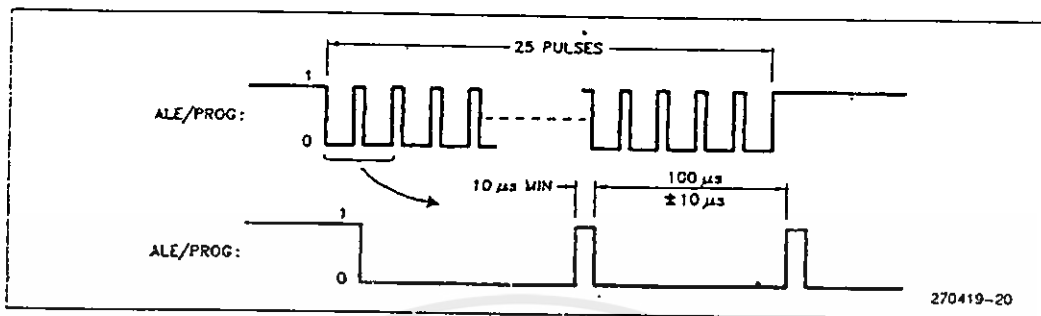


Figure 12. PROG Waveforms

### Quick-Pulse Programming (EPROM Only)

The setup for Microcontroller Quick-Pulse Programming is shown in Figure 11. Note that the 87C51 is running with a 4 to 6 MHz oscillator. The reason the oscillator needs to be running is that the device is executing internal address and program data transfers.

The address of the EPROM location to be programmed is applied to Ports 1 and 2, as shown in Figure 11. The code byte to be programmed into that location is applied to Port 0. RST, PSEN, and pins of Ports 2 and 3 specified in Table 3 are held at the "Program Code Data" levels indicated in Table 2. Then ALE/PROG is pulsed low 25 times as shown in Figure 12.

To program the Encryption Table, repeat the 25-pulse programming sequence for addresses 0

through 1FH, using the "Pgm Encryption Table" levels. Don't forget that after the Encryption Table is programmed, verify cycles will produce only encrypted data.

To program the Lock Bits, repeat the 25-pulse programming sequence using the "Pgm Lock Bit" levels. After one Lock Bit is programmed, further programming of the Code Memory and Encryption Table is disabled. However, the other Lock Bit can still be programmed.

Note that the EA/V<sub>PP</sub> pin must not be allowed to go above the maximum specified V<sub>pp</sub> level for any amount of time. Even a narrow glitch above that voltage level can cause permanent damage to the device. The V<sub>pp</sub> source should be well regulated and free of glitches and overshoot.

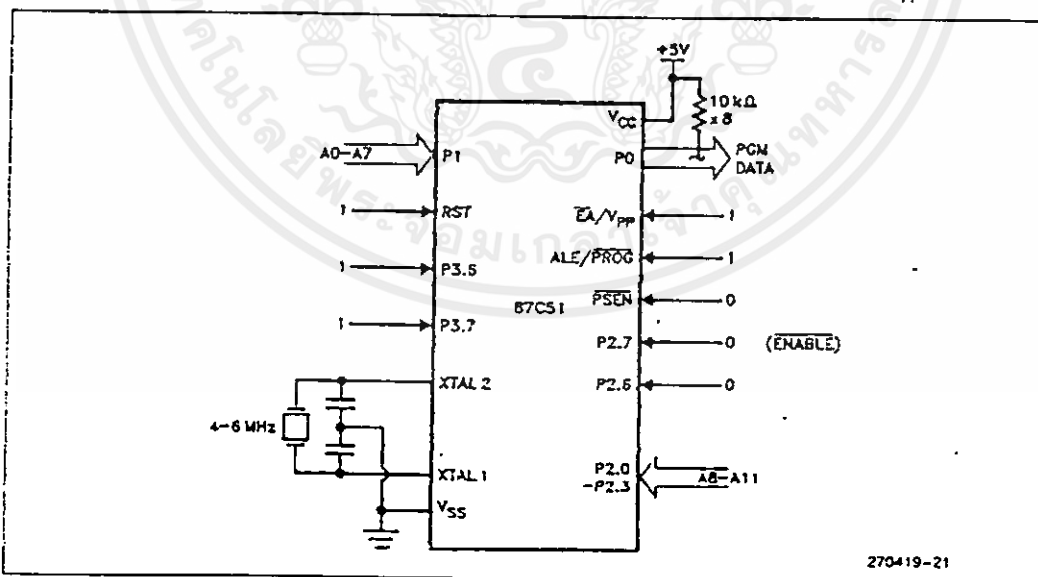


Figure 13. Program Verification

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะฉี โฉงทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### Program Verification (EPROM Only)

If Lock Bit 2 has not been programmed, the on-chip Program Memory can be read out for program verification. The address of the Program Memory location to be read is applied to Ports 1 and 2 as shown in Figure 13. The other pins are held at the "Verify Code Data" levels indicated in Table 3. The contents of the addressed location will be emitted on Port 0. External pullups are required on Port 0 for this operation. Detailed timing specifications are shown in later sections of this datasheet.

If the Encryption Table has been programmed, the data presented at Port 0 will be the Exclusive NOR of the program byte with one of the encryption bytes. The user will have to know the Encryption Table contents in order to correctly decode the verification data. The Encryption Table itself can not be read out.

### Reading the Signature Bytes (EPROM Only)

The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 030H and 031H, except that P3.6 and P3.7 need to be pulled to a logic low. The values returned are:

- (030H) = 89H indicates manufactured by Intel
- (031H) = 57H indicates 87C51

### Program/Verify Algorithms (EPROM Only)

Any algorithm in agreement with the conditions listed in Table 3, and which satisfies the timing specifications, is suitable.

### Erase Characteristics (EPROM Only)

Erase of the EPROM begins to occur when the chip is exposed to light with wavelengths shorter than approximately 4,000 Angstroms. Since sunlight and fluorescent lighting have wavelengths in this range, exposure to these light sources over an extended time (about 1 week in sunlight, or 3 years in room level fluorescent lighting) could cause inadvertent erasure. If an application subjects the device to this type of exposure, it is suggested that an opaque label be placed over the window.

The recommended erasure procedure is exposure to ultraviolet light (at 2537 Angstroms) to an integrated dose of at least 15 W-sec/cm<sup>2</sup>. Exposing the EPROM to an ultraviolet lamp of 12,000  $\mu$ W/cm<sup>2</sup> rating for 30 minutes, at a distance of about 1 inch, should be sufficient.

Erase leaves the array in an all 1s state.

### EPROM PROGRAMMING AND VERIFICATION CHARACTERISTICS:

(T<sub>A</sub> = 21°C to 27°C, V<sub>CC</sub> = 5V  $\pm$ 20%, V<sub>SS</sub> = 0V)

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
V <sub>PP</sub>	Programming Supply Voltage	12.5	13.0	V
I <sub>PP</sub>	Programming Supply Current		50	mA
1/T <sub>CLCL</sub>	Oscillator Frequency	4	6	MHz
T <sub>AVGL</sub>	Address Setup to $\overline{\text{PRG}}$ Low	48T <sub>CLCL</sub>		
T <sub>GHAX</sub>	Address Hold After $\overline{\text{PRG}}$	48T <sub>CLCL</sub>		
T <sub>DVGL</sub>	Data Setup to $\overline{\text{PRG}}$ Low	48T <sub>CLCL</sub>		
T <sub>GHDX</sub>	Data Hold After $\overline{\text{PRG}}$	48T <sub>CLCL</sub>		
T <sub>ESHSH</sub>	P2.7 ( $\overline{\text{ENABLE}}$ ) High to V <sub>PP</sub>	48T <sub>CLCL</sub>		
T <sub>SHGL</sub>	V <sub>PP</sub> Setup to $\overline{\text{PRG}}$ Low	10		$\mu$ s
T <sub>GHSL</sub>	V <sub>PP</sub> Hold After $\overline{\text{PRG}}$	10		$\mu$ s
T <sub>GLGH</sub>	$\overline{\text{PRG}}$ Width	90	110	$\mu$ s
T <sub>AVCV</sub>	Address to Data Valid		48T <sub>CLCL</sub>	
T <sub>ELCV</sub>	$\overline{\text{ENABLE}}$ Low to Data Valid		48T <sub>CLCL</sub>	
T <sub>EH0Z</sub>	Data Float After $\overline{\text{ENABLE}}$	0	48T <sub>CLCL</sub>	
T <sub>GHGL</sub>	$\overline{\text{PRG}}$ High to $\overline{\text{PRG}}$ Low	10		$\mu$ s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ Intel Corporation. การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจาก Intel Corporation อาจทำให้ข้อมูลผิดพลาดได้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SEMICONDUCTOR  
**TOSHIBA**  
 TECHNICAL DATA

TOSHIBA PHOTOCOUPLER  
**TLP250**  
 GaAs IRED & PHOTO-IC

(TLP250)

TRANSISTOR INVERTER  
 INVERTER FOR AIR CONDITIONOR  
 IGBT GATE DRIVE  
 POWER MOS FET GATE DRIVE

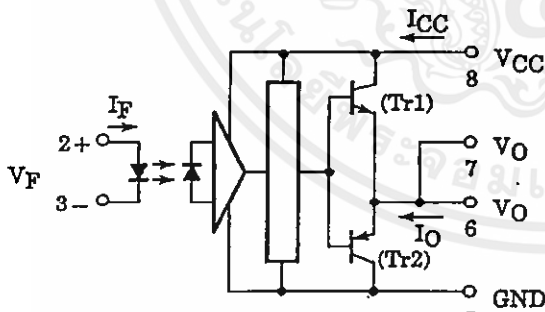
The Toshiba TLP250 consists of a GaAs light emitting diode and a integrated photodetector.  
 This unit is 8-lead DIP package.  
 TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input Threshold Current :  $I_F = 5\text{mA (Max.)}$
- Supply Current ( $I_{CC}$ ) :  $1\text{mA (Max.)}$
- Supply Voltage ( $V_{CC}$ ) :  $10\text{-}35\text{V}$
- Output Current ( $I_O$ ) :  $\pm 0.5\text{A (Min.)}$
- Switching Time ( $t_{PLH}/t_{PHL}$ ) :  $0.5\mu\text{s (Max.)}$
- Isolation Voltage :  $2500V_{\text{rms (Min.)}}$
- UL Recognized : UL1577, File No.E67349
- Option (D4) type  
 VDE Approved : DIN VDE0884/06.92, Certificate No.76823  
 Maximum Operating Insulation Voltage :  $630V_{\text{PK}}$   
 Highest Permissible Over Voltage :  $4000V_{\text{PK}}$

(Note) When a VDE0884 approved type is needed,  
 please designate the "Option (D4)"

- Creepage Distance :  $6.4\text{mm (Min.)}$
- Clearance :  $6.4\text{mm (Min.)}$

## SCHMATIC

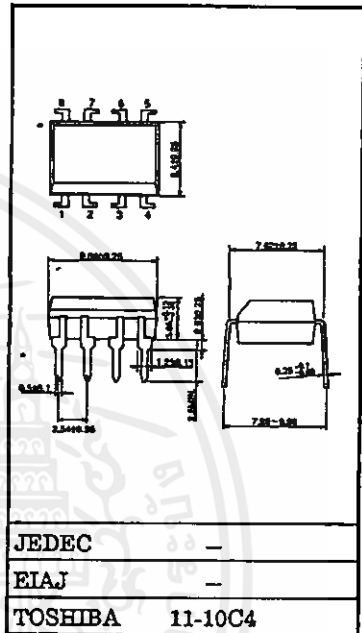


A  $0.1\mu\text{F}$  bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5 (See more 5).

## TRUTH TABLE

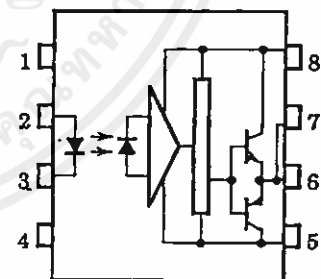
		Tr1	Tr2
Input LED	ON	ON	OFF
	OFF	OFF	ON

Unit in mm



Weight : 0.54g

## PIN CONFIGURATION (TOP VIEW)



- 1 : N.C.
- 2 : ANODE
- 3 : CATHODE
- 4 : N.C.
- 5 : GND
- 6 :  $V_O$  (OUTPUT)
- 7 :  $V_O$
- 8 :  $V_{CC}$

① The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA CORPORATION for any infringements of intellectual property or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any intellectual property or other rights of TOSHIBA CORPORATION or others.

② These TOSHIBA products are intended for use in general commercial applications (office equipment, communication equipment, measuring equipment, domestic appliances, etc.) please make sure that you consult with us before you use these TOSHIBA products in equipment which requires extraordinarily high quality and/or reliability, and in equipment which may involve life threatening or critical application, including but not limited to such uses as atomic energy control, airplane or space ship instrumentation, traffic signals, medical instrumentation, combustion control, all types of safety devices, etc. TOSHIBA cannot accept and hereby disclaims liability for any damage which may occur in case the TOSHIBA products are used in such equipment or applications without prior consultation with TOSHIBA.

TLP250 - 1

1996 - 4 - 8

TOSHIBA CORPORATION

(TLP250)

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Ta = 25°C)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	RATING	UNIT	
LED	Forward Current	I <sub>F</sub>	20	mA	
	Forward Current Derating (Ta ≥ 70°C)	ΔI <sub>F</sub> /ΔTa	-0.36	mA/°C	
	Peak Transient Forward Current (Note 1)	I <sub>FPT</sub>	1	A	
	Reverse Voltage	V <sub>R</sub>	5	V	
	Junction Temperature	(T <sub>j</sub> )	125	°C	
DETECTOR	"H" Peak Output Current (P <sub>W</sub> ≤ 2.5 μs, f ≤ 15 kHz)(Note 2)	I <sub>OPH</sub>	-1.5	A	
	"L" Peak Output Current (P <sub>W</sub> ≤ 2.5 μs, f ≤ 15 kHz)(Note 2)	I <sub>OPL</sub>	+1.5	A	
	Output Voltage	V <sub>O</sub>	(Ta ≤ 70°C)	35	V
			(Ta = 85°C)	24	
	Supply Voltage	V <sub>CC</sub>	(Ta ≤ 70°C)	35	V
			(Ta = 85°C)	24	
	Output Voltage Derating (Ta ≥ 70°C)	ΔV <sub>O</sub> /ΔTa	-0.73	V/°C	
	Supply Voltage Derating (Ta ≥ 70°C)	ΔV <sub>CC</sub> /ΔTa	-0.73	V/°C	
	Junction Temperature	(T <sub>j</sub> )	125	°C	
Operating Frequency (Note 3)	f	25	kHz		
Operating Temperature Range	T <sub>opr</sub>	-20~70	°C		
Storage Temperature Range	T <sub>stg</sub>	-55~125	°C		
Lead Solder Temperature (10s)	T <sub>sol</sub>	260	°C		
Isolation Voltage (AC, 1min., R.H. ≤ 60%, Ta = 25°C) (Note 4)	BV <sub>S</sub>	2500	V <sub>rms</sub>		

Note 1 : Pulse width P<sub>W</sub> ≤ 1 μs, 300pps

Note 2 : Exponential Waveform

Note 3 : Exponential Waveform, I<sub>OPH</sub> ≤ -1.0A (≤ 2.5 μs), I<sub>OPL</sub> ≤ +1.0A (≤ 2.5 μs)

Note 4 : Device considered a two terminal device : pins 1,2,3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

Note 5 : A ceramic capacitor (0.1 μF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

## RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

CHARACTERISTIC	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Input Current, ON	I <sub>F</sub> (ON)	7	8	10	mA
Input Voltage, OFF	V <sub>F</sub> (OFF)	0	—	0.8	V
Supply Voltage	V <sub>CC</sub>	15	—	30   20	V
Peak Output Current	I <sub>OPH</sub> /I <sub>OPL</sub>	—	—	±0.5	A
Operating Temperature	T <sub>opr</sub>	-20	25	70   85	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของ

SEMICONDUCTOR  
**TOSHIBA**  
 TECHNICAL DATA

TLP250

(TLP250)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta = -20~70°C, Unless otherwise specified)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	TEST CIR-CUIT	TEST CONDITION	MIN.	TYP.*	MAX.	UNIT
Input Forward Voltage		V <sub>F</sub>	—	I <sub>F</sub> =10mA, Ta=25°C		1.6	1.8	V
Temperature Coefficient of Forward Voltage		ΔV <sub>F</sub> /ΔTa	—	I <sub>F</sub> =10mA	—	-2.0	—	mV/°C
Input Reverse Current		I <sub>R</sub>	—	V <sub>R</sub> =5V, Ta=25°C		—	10	μA
Input Capacitance		C <sub>T</sub>	—	V=0, f=1MHz, Ta=25°C	—	45	250	pF
Output Current	"H" Level	I <sub>OPH</sub>	3	V <sub>CC</sub> =30V (*1) I <sub>F</sub> =10mA V <sub>8-6</sub> =4V I <sub>F</sub> =0 V <sub>6-5</sub> =2.5V	-0.5	-1.5	—	A
	"L" Level	I <sub>OPL</sub>	2		0.5	2	—	
Output Voltage	"H" Level	V <sub>OH</sub>	4	V <sub>CC1</sub> =+15V, V <sub>EE1</sub> =-15V R <sub>L</sub> =200Ω, I <sub>F</sub> =5mA	11	12.8	—	V
	"L" Level	V <sub>OL</sub>	5	V <sub>CC1</sub> =+15V, V <sub>EE1</sub> =-15V R <sub>L</sub> =200Ω, V <sub>F</sub> =0.8V	—	-14.2	-12.5	
Supply Current	"H" Level	I <sub>CCH</sub>	—	V <sub>CC</sub> =30V, I <sub>F</sub> =10mA Ta=25°C	—	7	—	mA
				V <sub>CC</sub> =30V, I <sub>F</sub> =10mA	—	—	11	
	"L" Level	I <sub>CCL</sub>	—	V <sub>CC</sub> =30V, I <sub>F</sub> =0mA Ta=25°C	—	7.5	—	
				V <sub>CC</sub> =30V, I <sub>F</sub> =0mA	—	—	11	
Threshold Input Current	"Output L→H"	I <sub>FLH</sub>	—	V <sub>CC1</sub> =+15V, V <sub>EE1</sub> =-15V R <sub>L</sub> =200Ω, V <sub>O</sub> >0V	—	1.2	5	mA
Threshold Input Voltage	"Output H→L"	V <sub>FHL</sub>	—	V <sub>CC1</sub> =+15V, V <sub>EE1</sub> =-15V R <sub>L</sub> =200Ω, V <sub>O</sub> <0V	0.8	—	—	V
Supply Voltage		V <sub>CC</sub>	—		10	—	35	V
Capacitance (Input-Output)		C <sub>S</sub>	—	V <sub>S</sub> =0, f=1MHz Ta=25°C	—	1.0	2.0	pF
Resistance (Input-Output)		R <sub>S</sub>	—	V <sub>S</sub> =500V, Ta=25°C R.H.≤60%	5×10 <sup>10</sup>	10 <sup>14</sup>	—	Ω

\* All typical values are at Ta=25°C (\*1) : Duration of I<sub>O</sub> time≤50μs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะพิมพ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(TLP250)

SWITCHING CHARACTERISTICS (Ta = -20~70°C, Unless otherwise specified)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	TEST CIR-CUIT	TEST CONDITION	MIN.	TYP.*	MAX.	UNIT		
Propagation Delay Time	L→H	t <sub>pLH</sub>	6	I <sub>F</sub> =8mA V <sub>CC1</sub> =+15V, V <sub>EE1</sub> =-15V R <sub>L</sub> =200Ω	—	0.15	0.5	μs		
	H→L	t <sub>pHL</sub>			—	0.15	0.5			
Output Rise Time		t <sub>r</sub>				—			—	
Output Fall Time		t <sub>f</sub>				—			—	
Common Mode Transient Immunity at High Level Output		C <sub>MH</sub>	7	V <sub>CM</sub> =600V, I <sub>F</sub> =8mA V <sub>CC</sub> =30V, Ta=25°C	-5000	—	—	V/μs		
Common Mode Transient Immunity at Low Level Output		C <sub>ML</sub>	7	V <sub>CM</sub> =600V, I <sub>F</sub> =0mA V <sub>CC</sub> =30V, Ta=25°C	5000	—	—	V/μs		

\* All typical values are at Ta=25°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะมิใช่ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร

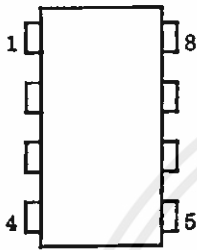
TLP250-4

1996-4-8

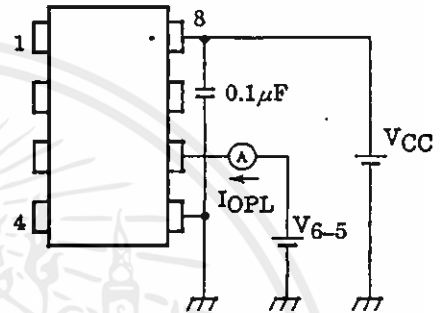
TOSHIBA CORPORATION

(TLP250)

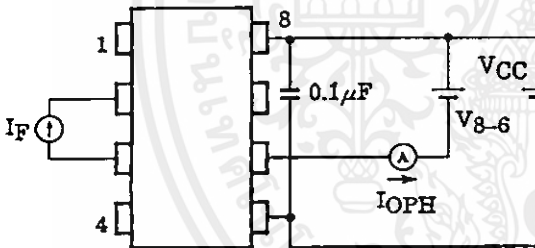
TEST CIRCUIT 1 :



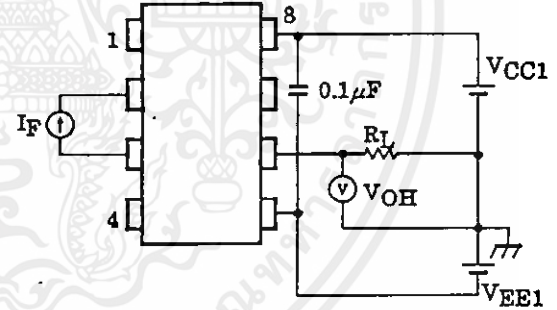
TEST CIRCUIT 2 : IOPL



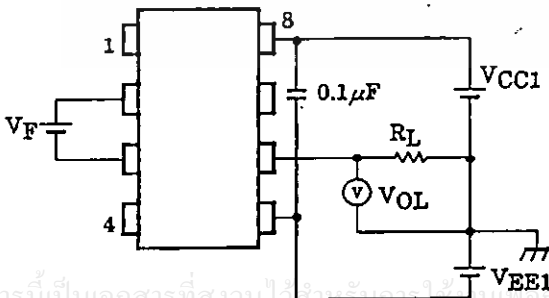
TEST CIRCUIT 3 : IOPH



TEST CIRCUIT 4 : VOH



TEST CIRCUIT 5 : VOL



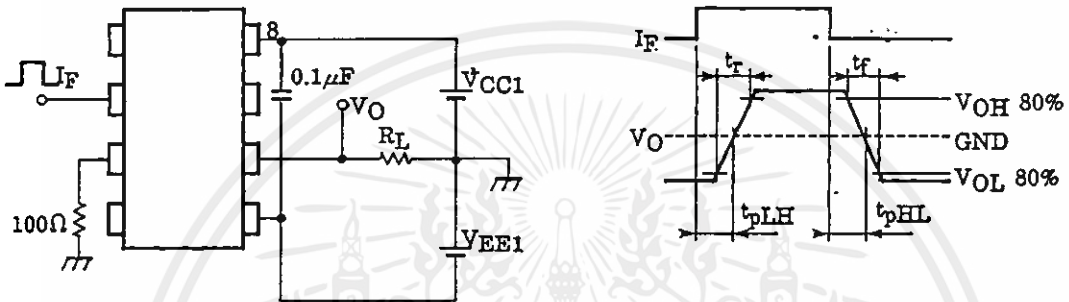
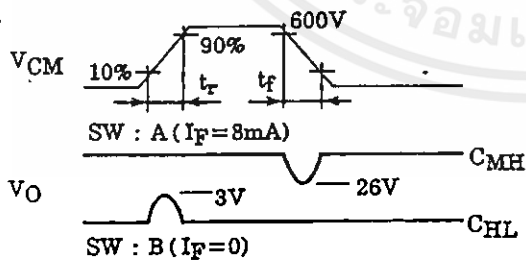
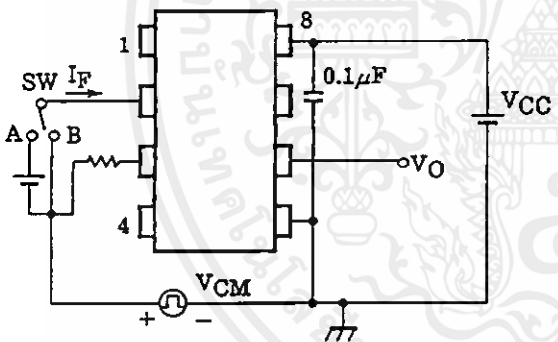
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะพิมพ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร

TLP250 - 5

1996-4-8

TOSHIBA CORPORATION

(TLP250)

TEST CIRCUIT 6 :  $t_{pLH}$ ,  $t_{pHL}$ ,  $t_r$ ,  $t_f$ TEST CIRCUIT 7 :  $C_{MH}$ ,  $C_{ML}$ 

$$C_{ML} = \frac{480(V)}{t_f(\mu s)}$$

$$C_{MH} = \frac{480(V)}{t_r(\mu s)}$$

$C_{ML}$  ( $C_{MH}$ ) is the maximum rate of rise (fall) of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low (high) state.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะมิใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TLP250-6

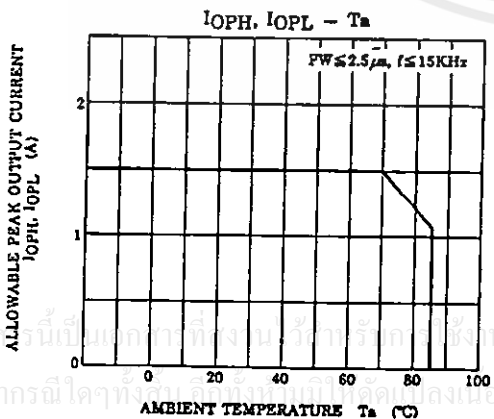
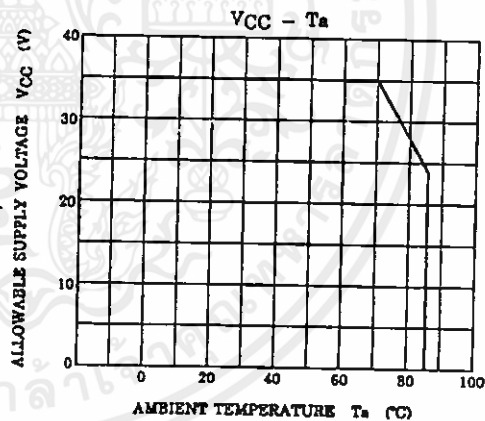
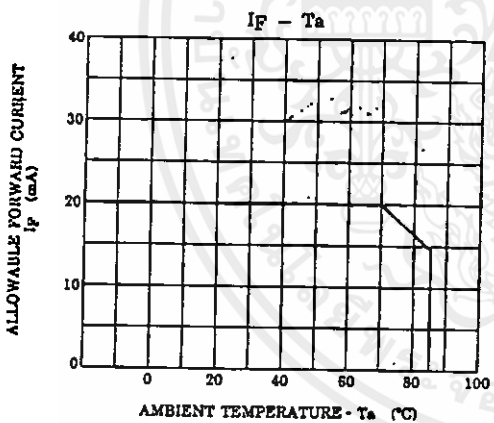
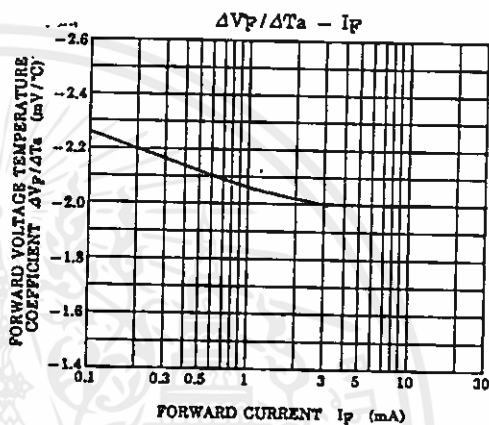
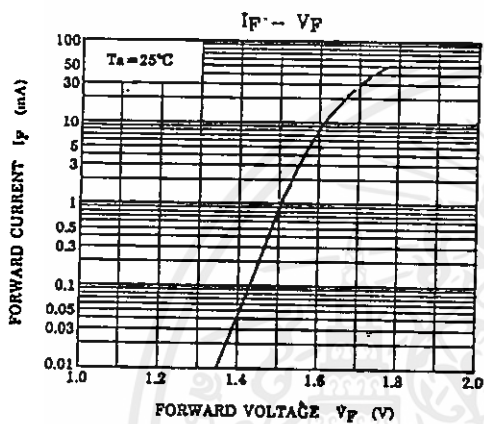
1996-4-8

TOSHIBA CORPORATION

SEMICONDUCTOR  
**TOSHIBA**  
 TECHNICAL DATA

TLP250

(TLP250)

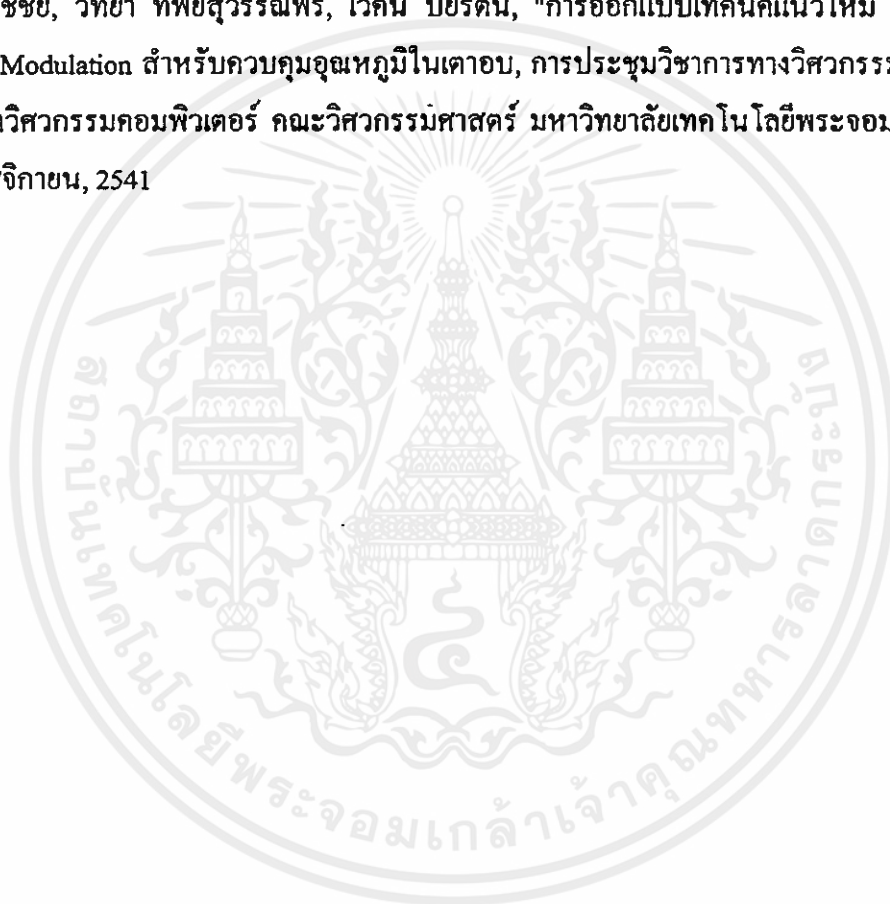


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะมิได้ทำหนังสือขออนุญาตล่วงหน้าโดยผู้ลงนาม และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

### ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

- 1) วิทยา ทิพย์สุวรรณพร, นิรัญ โชชชัย, มานะ นิจมานพ, "การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้การผสมสัญญาณ AC LINE แบบ Integral - Cycle Binary Rate", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 19, ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 7 - 8 พฤศจิกายน, 2539
- 2) นิรัญ โชชชัย, วิทยา ทิพย์สุวรรณพร, เวทิน ปิยรัตน์, "การออกแบบเทคนิคแนวใหม่ Integral - Cycle Binary Modulation สำหรับควบคุมอุณหภูมิในเตาอบ, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 21, ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 12 - 13 พฤศจิกายน, 2541



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

นายนิรุฒ โขชัย เกิดเมื่อวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ. 2504 ที่อำเภอท่าช้าง จังหวัดสิงห์บุรี สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ช่างอิเล็กทรอนิกส์) จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคพายัพ จังหวัดเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2525 และระดับปริญญาตรีสำเร็จการศึกษาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2527 เข้าทำงานในตำแหน่งช่างเทคนิค บริษัท C. N. Palace CO. LTD. ตั้งแต่ปี 2526 และเข้าทำงานในตำแหน่งอาจารย์ประจำแผนกอิเล็กทรอนิกส์ โรงเรียนเซนต์จอห์นโปลีเทคนิค ตั้งแต่ปี 2528 และปัจจุบันทำงานในตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเซนต์จอห์น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้