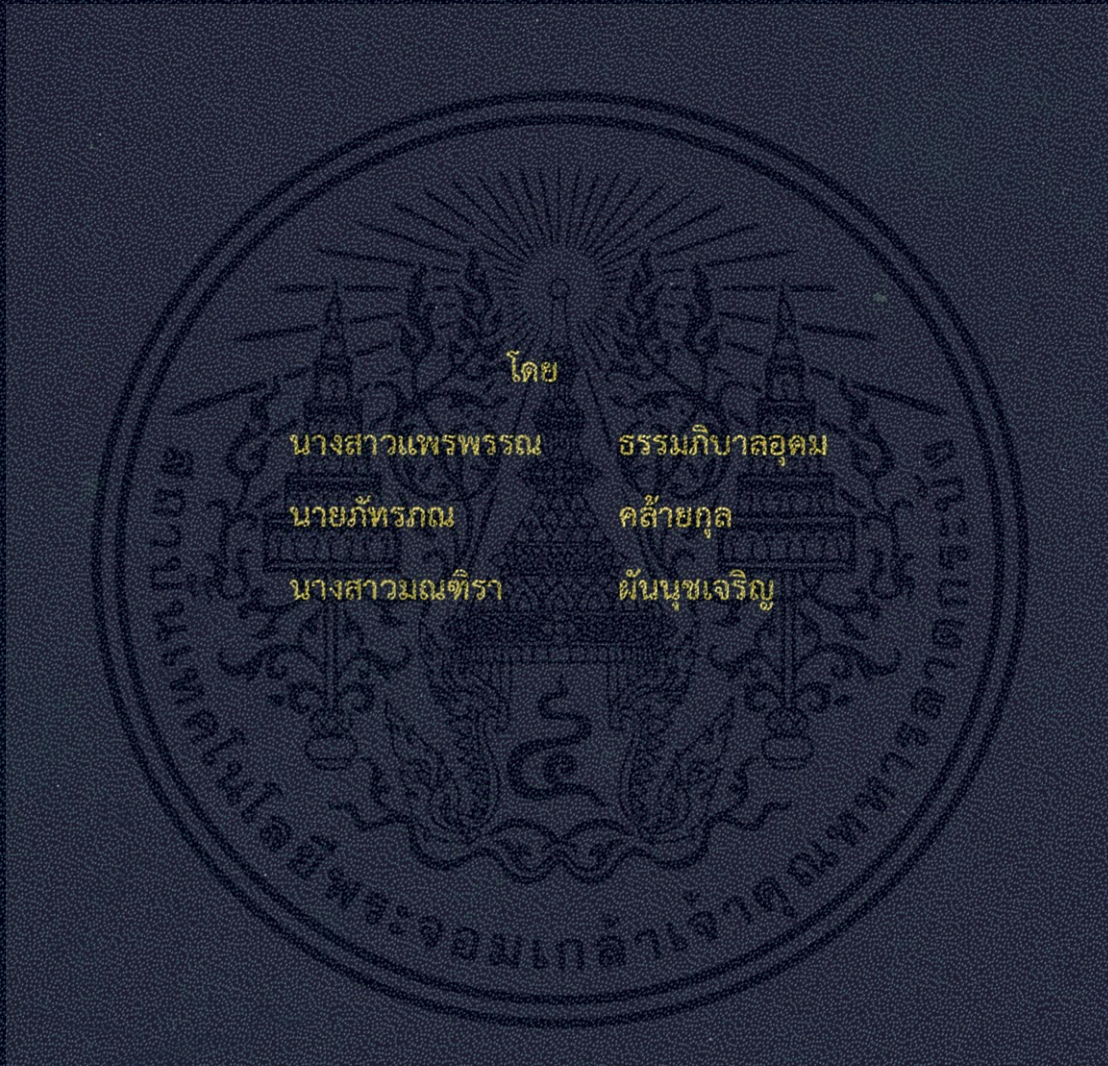


เครื่องวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล  
MEASURING BY USING THERMOCOUPLE



โดย

นางสาวเพชรพรรณ ธรรมภิบาลอุดม

นายภัทรภณ คล้ายกุล

นางสาวมณจิรา พันนุชเจริญ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เครื่องวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล  
MEASURING BY USING THERMOCOUPLE



โดย  
นางสาวแพรวพรรณ ธรรมภิบาลอุดม  
นายภัทรภณ คล้ายกุล  
นางสาวมณฑิรา พันนุชเจริญ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล

MEASURING BY USING THERMOCOUPLE

ผู้จัดทำ

1. นางสาวแพพรพรรณ ธรรมภิบาลอุดม 53011187
2. นายภัทรภณ คล้ายกุล 53011215
3. นางสาวมณฑิรา พันนุชเจริญ 53011289

.....  
(ดร.สิรภพ ตูประกาย) อาจารย์ที่ปรึกษา

.....  
(รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ) อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี ต้องขอขอบพระคุณ ดร.สิรภพ ตู้ประกาย และ รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ อาจารย์ที่ควบคุมโครงการของกลุ่มข้าพเจ้า ได้ให้แนวความคิด ให้คำปรึกษา และให้การแนะนำแนวทางในการทำโครงการตลอดจนการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกี่ยวกับโครงการ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อโครงการของกลุ่มข้าพเจ้าเป็นอย่างยิ่ง และขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยให้คำแนะนำเสมอมาจนทำให้ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ขอขอบคุณบิดา-มารดา ครอบครัวของกลุ่มข้าพเจ้า ที่คอยกำลังใจการสนับสนุนและความช่วยเหลือในระหว่างการศึกษามาโดยตลอด ขอขอบคุณภาควิชาโทรคมนาคม ที่มอบโอกาสในการทำปริญญานิพนธ์

ประโยชน์และคุณค่าที่ได้จากโครงการฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่กล่าวมาตั้งแต่ตอนต้น และหวังว่าโครงการฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจในด้านนี้ต่อไป

นางสาวแพรวพรรณ ธรรมภีบาลอุดม

นายภัทรภณ คล้ายกุล

นางสาวมณฑิรา พันนุชเจริญ

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล

## MEASURING BY USING THERMOCOUPLE

โดย นางสาวแพรพรรณ ธรรมภิบาลอุดม 53011187

นายภัทรภณ คล้ายกุล 53011215

นางสาวมณฑิรา ผันนุชเจริญ 53011289

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.สิรภพ ตู้ประกาย  
รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ

### บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษา ออกแบบ และสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด J และ ชนิด K แสดงผลอุณหภูมิ เครื่องวัดอุณหภูมิจะทำการรับแรงดัน จากเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K และชนิด J ได้พร้อมกัน ผ่านวงจรขยายแรงดันและวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล จากนั้นประมวลผลผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้สามารถแสดงผลอุณหภูมิพร้อมกันผ่านทางจอแอลซีดีในหน่วยองศาเซลเซียส และสามารถแปลงหน่วยอุณหภูมิจากองศาเซลเซียสเป็นฟาเรนไฮต์และเคลวินได้

### ABSTRACT

This project presents a measuring by using type J and type K thermocouples for showing the result. Measuring by using thermocouple is received the voltage from types J and type K thermocouple simultaneously. The voltage will flow through the amplifier circuit and transform to the analog to digital convertor circuit. The microcontroller shows a result through the LCD in degree Celsius and can be convert the temperature from degree Celsius to degree Fahrenheit and degree Kelvin.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VIII
<b>บทที่ 1</b>	
<b>บทนำ</b>	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของปริิณยานิพนธ์	2
<b>บทที่ 2</b>	
<b>ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง</b>	3
2.1 เทอร์โมคัปเปิ้ล (THERMOCOUPLE)	3
2.2 THERMOCOUPLE REFERENCE TABLES	8
2.3 IC AD594AQ และ IC AD595AQ	9
2.4 IC ADC0804	11
2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น PIC18F4620	14
2.6 LCD 16X2	16
<b>บทที่ 3</b>	
<b>การออกแบบและการจัดทำปริิณยานิพนธ์</b>	20
3.1 การออกแบบ	20
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	29
3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	30

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	31
4.1 ผลการทดลองการทำงานของเทอร์โมคัปเปิ้ล	31
4.2 ผลการทดลองประสิทธิภาพของเครื่องวัด	34
4.3 ผลการทำงานของวงจรถยายแรงดันของเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE K และ TYPE J	38
4.4 ผลการทำงานประสิทธิภาพวงจรถยายแรงดันไฟฟ้า	39
4.5 ผลการทำงานของการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลของเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE K และ TYPE J	45
4.6 ผลการแสดงผลอุณหภูมิผ่านจอ LCD	58
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	65
5.1 สรุปผล	65
5.2 ข้อเสนอแนะ	65
บรรณานุกรม	66
ภาคผนวก ก ตารางอ้างอิงของเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE J และ เทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE K	68
ภาคผนวก ข โปรแกรมคำสั่งแสดงผลอุณหภูมิผ่านจอ LCD	71
ภาคผนวก ค รายละเอียดสำคัญของ AD594AQ AD595AQ ADC0804 PIC 18F4620 และ 16 x 2 Character LCD	77

## สารบัญรูป

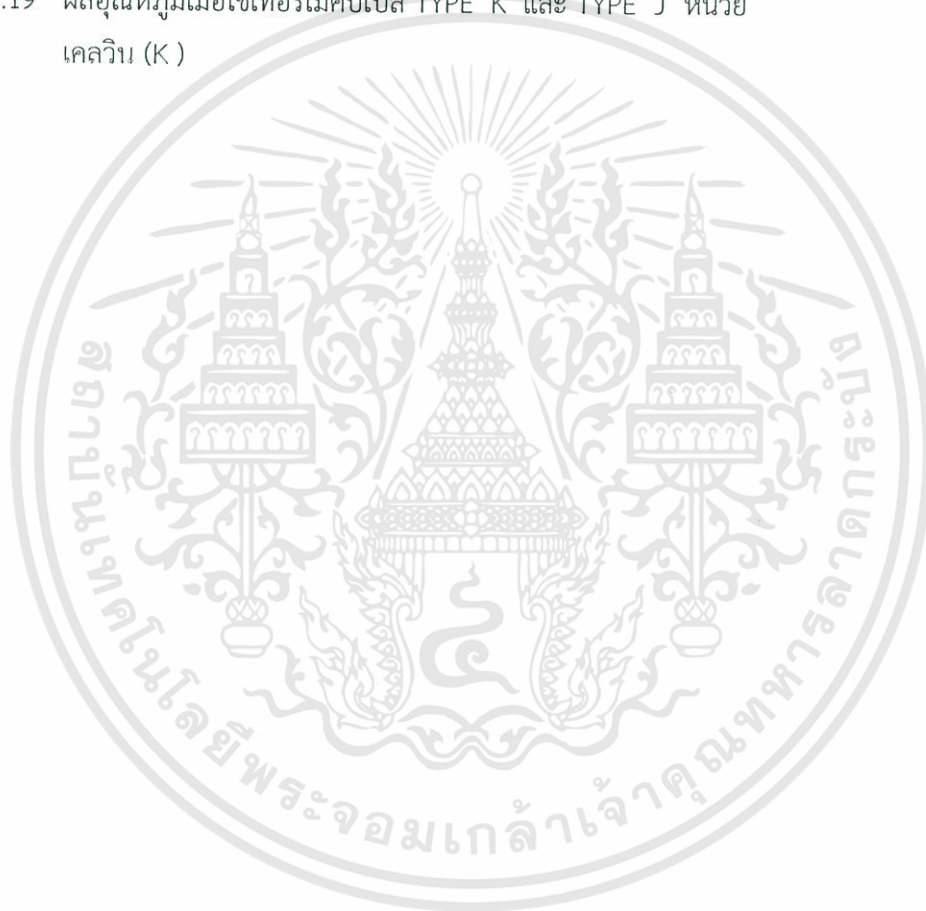
รูปที่	หน้า
2.1 เทอร์โมคัปเปิ้ล	3
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิ และแรงดันซีเบคที่เกิดขึ้นไม่เป็นเชิงเส้น แต่เป็นแบบพาราโบลา	6
2.3 ลักษณะภายนอกไอซี AD594AQ	9
2.4 ลักษณะภายนอกไอซี AD595AQ	10
2.5 วงจรภายใน IC AD594AQ และ AD595AQ	10
2.6 การ INTERFACE เข้ากับเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K และ เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด J	11
2.7 ลักษณะภายนอกไอซี ADC0804	12
2.8 การจัดวางขาไอซีเบอร์ ADC0804	12
2.9 ลักษณะภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F4620	14
2.10 ตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น PIC18F4620	16
2.11 LCD CHARACTERS 16X2	17
2.12 การจัดตำแหน่งขาของ LCD	19
3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของระบบ	20
3.2 วงจรการทำงานโดยรวม	21
3.3 การออกแบบการทำงานของวงจร	22
3.4 วงจรเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิต่อเข้ากับวงจรขยายแรงดันของเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE K	25
3.5 วงจรเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิต่อเข้ากับวงจรขยายแรงดันของเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE J	26
3.6 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	26
3.7 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	27
3.8 วงจรแสดงผล	28

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE J ที่อุณหภูมิ 0 °C	31
4.2 ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE J ที่อุณหภูมิ 50 °C	32
4.3 ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE K ที่อุณหภูมิ 0 °C	32
4.4 ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE K ที่อุณหภูมิ 50 °C	33
4.5 กราฟเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าจากตารางอ้างอิงกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นที่อุณหภูมิต่างๆ ของเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE J	37
4.6 กราฟเปรียบเทียบค่าแรงดันจากตารางอ้างอิงกับค่าแรงดันที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นที่อุณหภูมิต่างๆ ของเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE K	37
4.7 ผลการวัดวงจรขยายแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE J ที่อุณหภูมิ 50 °C	38
4.8 ผลการวัดวงจรขยายแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE J ที่อุณหภูมิ 50 °C	39
4.9 กราฟเปรียบเทียบค่าแรงดันจากตารางอ้างอิงกับค่าแรงดันที่วัดได้จากวงจรขยายที่อุณหภูมิต่างๆ ของเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE J	44
4.10 กราฟเปรียบเทียบค่าแรงดันจากตารางอ้างอิงกับค่าแรงดันที่วัดได้จากวงจรขยายที่อุณหภูมิต่างๆ ของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K	44
4.11 ผลการวัดอุณหภูมิเมื่อเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J หน่วยองศาเซลเซียส (°C)	59
4.12 ผลการวัดอุณหภูมิเมื่อเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE J หน่วยองศาฟาเรนไฮต์ (F)	59
4.13 ผลการวัดอุณหภูมิเมื่อเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE J หน่วยเคลวิน (K)	60
4.14 ผลการวัดอุณหภูมิเมื่อเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE K หน่วยองศาเซลเซียส (°C)	61
4.15 ผลการวัดอุณหภูมิเมื่อเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE K หน่วยองศาฟาเรนไฮต์ (F)	61
4.16 ผลการวัดอุณหภูมิเมื่อเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE K หน่วยเคลวิน (K)	62
4.17 ผลอุณหภูมิเมื่อใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE K และ TYPE J หน่วยองศาเซลเซียส (°C )	63

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.18	ผลอุณหภูมิเมื่อใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE K และ TYPE J หน่วย องศาฟาเรนไฮต์ (F )	63
4.19	ผลอุณหภูมิเมื่อใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE K และ TYPE J หน่วย เคลวิน (K )	64



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติเปรียบเทียบเทอร์โมคัปเปิ้ลแบบมาตรฐาน TYPE ต่าง ๆ	4
2.2 ชุดคำสั่งควบคุมการทำงานของโมดูล LCD	17
3.1 ค่าแรงดันอ้างอิงของเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE J (REF JUNCTION 0 °C) ที่อุณหภูมิ 0 °C – 100 °C	23
3.2 ค่าแรงดันอ้างอิงของเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE K (REF JUNCTION 0 °C) ที่อุณหภูมิ 0 °C – 100 °C	24
4.1 ผลการวัดอุณหภูมิจากเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE J	34
4.2 ผลการวัดอุณหภูมิจากเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE K	35
4.3 ผลการวัดอุณหภูมิจากวงจรขยายแรงดันเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE J	40
4.4 เกนขยายแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE J	41
4.5 ผลการวัดอุณหภูมิจากวงจรขยายแรงดันเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE K	42
4.6 เกนขยายแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE K	43
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟตรง บิตดิจิทัลขนาด 8 บิต และองศาเซลเซียส ของเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE J	45
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟตรง บิตดิจิทัลขนาด 8 บิต และองศาเซลเซียส ของเทอร์โมคัปเปิ้ล TYPE K	51

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการวัดอุณหภูมิ (Temperature Measurement) โดยทั่วไปมีอุปกรณ์มากมายที่นำมาใช้ในการวัด เช่น การวัดอุณหภูมิโดยใช้ Thermocouple การวัดอุณหภูมิโดยใช้ PT100 (Platinum Resistance Thermometer) การวัดอุณหภูมิโดยใช้ NTC (Thermistor) เป็นต้น ซึ่งการวัดอุณหภูมิโดยใช้ Thermocouple (Type K, Type J) นั้นมีความสำคัญมากสำหรับในวงการอุตสาหกรรมโดยจัดเป็นทรานสดิวเซอร์แบบไวงาน (Active Transducer) คือสามารถผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้เองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ต้องการตรวจวัดโดยไม่ต้องกระตุ้นด้วยแหล่งจ่ายจากภายนอก

ผู้จัดทำได้เห็นถึงปัญหาจึงมีแนวคิดในการสร้างระบบตรวจวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล เพื่อให้สามารถวัดค่าอุณหภูมิได้ถูกต้อง และแม่นยำมากขึ้น โดยแรงเคลื่อนไฟฟ้าเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ซึ่งเครื่องวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ลนี้ใช้งานได้สะดวก เพียงนำสายไปใส่ในของเหลวที่ต้องการวัดอุณหภูมิ ก็สามารถอ่านค่าอุณหภูมิบน LCD ได้ทันที

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ทำการออกแบบเครื่องวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล (Measuring by using Thermocouple) ขึ้นมา โดยการออกแบบเครื่องวัดอุณหภูมินี้อาจจะยังไม่สมบูรณ์ที่สุด ซึ่งผู้จัดทำหวังว่าคงมีผู้ที่สนใจได้นำหลักการนี้ไปพัฒนาหรือนำไปเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้กับเครื่องวัดต่างๆ เพื่อให้เครื่องวัดอุณหภูมามีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

#### 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาหลักการทำงานของเทอร์โมคัปเปิ้ล
- 2) เพื่อศึกษาหลักการทำงานของวงจรขยายแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมคัปเปิ้ลและวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

- 3) เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมคำสั่งบนไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)
- 4) เพื่อออกแบบเครื่องวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล

### 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล โดยอาศัยหลักการทำงานของเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K และ J ในการตรวจวัดอุณหภูมิโดยสร้างวงจรอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมคัปเปิ้ลที่วัดอุณหภูมิต่างๆ นำค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากวงจรมาเทียบกับตารางอ้างอิงของเทอร์โมคัปเปิ้ลแต่ละชนิดว่าตรงตามอุณหภูมิที่ต้องการหรือไม่โดยมีเทอร์โมคัปเปิ้ลเป็นอุปกรณ์เปรียบเทียบ จากนั้นนำแรงดันที่ได้มาแปลงจากสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และเขียนโปรแกรมลงไมโครคอนโทรลเลอร์ และแสดงผลอุณหภูมิที่ได้ผ่านทางหน้าจอ LCD



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

เทอร์โมคัปเปิล คือ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (cmf) เทอร์โมคัปเปิลทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว (แตกต่างกันทางโครงสร้างของอะตอม) นำมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกันที่ปลายด้านหนึ่ง เรียกว่าจุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยให้ว่าง เรียกว่าจุดอ้างอิง หากจุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกันก็จะทำให้มีการนำกระแสในวงจรเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองข้าง ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ค้นพบโดย Thomas Seebeck นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันในปี ค.ศ.1821 ลักษณะของเทอร์โมคัปเปิล แสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 เทอร์โมคัปเปิล [2]

เทอร์โมคัปเปิ้ลมีหลาย Type ให้เลือกแสดงได้ดังตารางที่ 2.1 แล้วแต่ย่านอุณหภูมิ และลักษณะการใช้งาน

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติเปรียบเทียบเทอร์โมคัปเปิ้ลแบบมาตรฐาน Type ต่าง ๆ [3]

Type	ส่วนผสม	ย่านอุณหภูมิใช้งาน		แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้ mV
		°C	°F	
B	แพลทินัม - 30% โรเดียม	0 ถึง 1820	32 ถึง 3310	0 ถึง 13.814
	แพลทินัม - 6% โรเดียม			
R	แพลทินัม - 13% โรเดียม	-50 ถึง 1768	-60 ถึง 3210	-0.226 ถึง 21.108
	แพลทินัม			
S	แพลทินัม-10% โรเดียม	-50 ถึง 1768	-60 ถึง 3210	-0.236 ถึง 18.698
	แพลทินัม			
J	เหล็ก/คอนสแตนแตน	-210 ถึง 760	-350 ถึง 1400	-8.096 ถึง 42.922
K	โครเมล/อะลูเมล	-270 ถึง 1372	-450 ถึง 2500	-6.458 ถึง 54.875
T	ทองแดง/คอนสแตนแตน	-270 ถึง 400	- 450 ถึง 750	-6.258 ถึง 20.865
E	โครเมล/คอนสแตนแตน	-270 ถึง 1000	- 450 ถึง 1830	-9.835 ถึง 76.358

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดกับจุดเยือกแข็งของน้ำ

## 2.1.1 คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิ้ลแบบมาตรฐาน (Characteristic of Standard Thermocouples)

### 2.1.1.1 ความไว (Sensitivity)

แรงเคลื่อนจากเทอร์โมคัปเปิ้ลจะมีค่าน้อยกว่า 100 mV แต่ความไวที่แท้จริงในการใช้งานจะขึ้นอยู่กับการใช้งานจริงปรับสภาพสัญญาณและตัวเทอร์โมคัปเปิ้ลเอง

### 2.1.1.2 ย่านการใช้งาน (Range)

ย่านอุณหภูมิการใช้งานและความไวในการวัดของเทอร์โมคัปเปิ้ล แต่ละตัว จะแตกต่างกันตามแต่ละสมาคมจะกำหนด ในส่วนที่สำคัญคือค่าแรงเคลื่อนที่ออกมาจากแต่ละอุณหภูมิ จะต้องอ้างอิงกับตารางค่ามาตรฐานของแต่ละสมาคมที่ใช้ให้ถูกต้องเป็นเอกภาพเดียวกันหมดทั้งระบบ

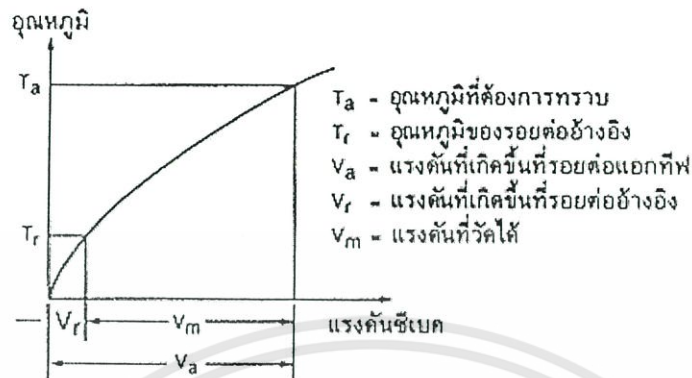
### 2.1.1.3 เวลาตอบสนอง (Time Response)

เวลาตอบสนองของเทอร์โมคัปเปิ้ลขึ้นอยู่กับขนาดของสายและวัสดุที่นำมาทำท่อป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิ้ล

2.1.1.4 การปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning) ปกติแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิ้ลจะมีขนาดน้อยมากจึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์ขยายความแตกต่างที่มีอัตราขยายสูงๆ

2.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิ้ลและแรงดัน

ผลลัพธ์ที่ได้นั้นไม่ได้เปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้น แต่จะคล้ายกราฟพาราโบลา (parabolic curve) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิ และแรงดันซีเบค  
 ที่เกิดขึ้นไม่เป็นเชิงเส้น แต่เป็นแบบพาราโบลา [3]

### 2.1.3 การใช้งานเทอร์โมคัปเปิ้ลมาตรฐาน (Characteristic in Application of Thermocouple Standard Type)

ในปัจจุบัน พบว่ามีเทอร์โมคัปเปิ้ลมาตรฐานอยู่ 7 ชนิดตามมาตรฐานของ ANSI และ ASTM ในปริญญานี้พบนีเลือก Type J และ K

#### 2.1.3.1 เทอร์โมคัปเปิ้ล Type J

เทอร์โมคัปเปิ้ล Type J มีข้อดี ดังนี้

- 1) ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิได้ดี
- 2) มีราคาถูกกว่าแบบที่ทำจากธาตุบริสุทธิ์
- 3) ตามมาตรฐาน BS 7937 Part30 สามารถวัดอุณหภูมิได้

ต่อเนื่องจากช่วงประมาณ  $-210$  ถึง  $1200^{\circ}\text{C}$

4) เหมาะกับสภาพงานที่เป็นสุญญากาศ งานที่งานที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิไดซิง และงานที่อยู่ในสภาพเฉื่อย เมื่ออุณหภูมิไม่เกิน  $7600^{\circ}\text{C}$

- 5) นิยมใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก
- 6) เป็นแบบที่นิยมใช้ ราคาไม่แพง

เทอร์โมคัปเปิล Type J มีข้อเสีย ดังนี้

- 1) วัดอุณหภูมิได้ต่ำกว่าแบบ T
- 2) ไม่เหมาะสมมากนักกับงานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า  $0^{\circ}\text{C}$
- 3) หากวัดที่อุณหภูมิสูงกว่า  $5380^{\circ}\text{C}$  จะเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซิงที่สายซึ่งทำจากเหล็กด้วยอัตราสูง
- 4) หากใช้งานนานเกินช่วง 20 ปี ส่วนผสมทางเคมี คือ แมงกานีสในเหล็กจะเพิ่มขึ้น 0.5% ทำให้คุณสมบัติของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

2.1.3.2 เทอร์โมคัปเปิล Type K

เทอร์โมคัปเปิล Type K มีข้อดี ดังนี้

- 1) เป็นแบบที่นิยมใช้แพร่หลายมากที่สุด
- 2) สำหรับการวัดอุณหภูมิช่วงสั้น ๆ จะวัดได้จาก  $-1800^{\circ}\text{C}$  ถึง  $1350^{\circ}\text{C}$
- 3) สามารถใช้วัดในงานที่มีปฏิกิริยาออกซิไดซิง หรือสภาวะแบบเฉื่อย (inert) ได้ดีกว่าแบบอื่น ๆ
- 4) สามารถใช้กับสภาพงานที่มีการแผ่รังสีความร้อนได้ดี
- 5) ให้อัตราการเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิดีกว่าแบบอื่น (ความชันเกือบเป็น 1) และมีความเป็นเชิงเส้นมากที่สุดในเทอร์โมคัปเปิลด้วยกัน

เทอร์โมคัปเปิล Type K มีข้อเสีย ดังนี้

- 1) ไม่เหมาะกับการวัดที่ต้องสัมผัสกับปฏิกิริยารีดิวซิงและออกซิไดซิงโดยตรง
- 2) ไม่เหมาะกับการวัดที่มีไอของซิลเฟอร์
- 3) ไม่เหมาะกับการวัดที่เป็นสุญญากาศ (ยกเว้นจะใช้ในระยะเวลาสั้นๆ)
- 4) หลังการใช้งานไป 30 ปี ทำให้ส่วนผสมทางเคมีเปลี่ยนไป เป็นผลทำให้คุณสมบัติของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนไป

## 2.2 Thermocouple Reference Tables

ตารางเทอร์โมคัปเปิลจะให้แรงเคลื่อนสำหรับเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด เมื่ออ้างอิงกับจุดอ้างอิงที่กำหนด ( $0^{\circ}\text{C}$ ) ณ อุณหภูมิที่จุดวัดต่างๆ พบว่าที่อุณหภูมิ  $210^{\circ}\text{C}$  เทอร์โมคัปเปิลชนิด j เมื่ออ้างอิงที่  $0^{\circ}\text{C}$  จะมีแรงเคลื่อนเป็น

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

ในทางกลับกัน ถ้าเราวัดแรงเคลื่อนได้ 4.768 mV กับชนิด s และอุณหภูมิอ้างอิงที่  $0^{\circ}\text{C}$  พบว่า

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

แต่บางกรณี แรงเคลื่อนที่วัดได้จะไม่ตรงกับค่าในตาราง จึงจำเป็นต้องมีการแบ่งสเกล (interpolate) ระหว่างค่าในตาราง ซึ่งหาได้จากสมการการแบ่งสเกลดังนี้

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

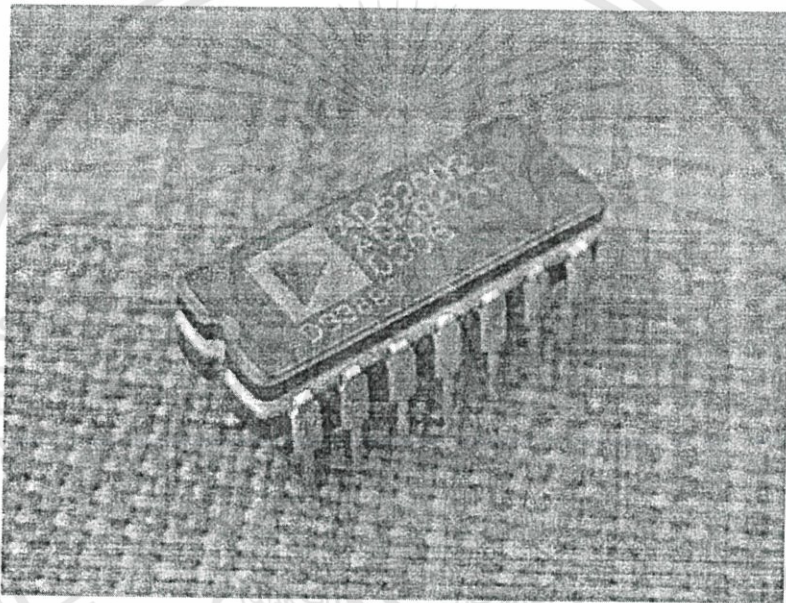
เมื่อ  $V_M =$  คือแรงเคลื่อนที่วัดได้จากมิเตอร์

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

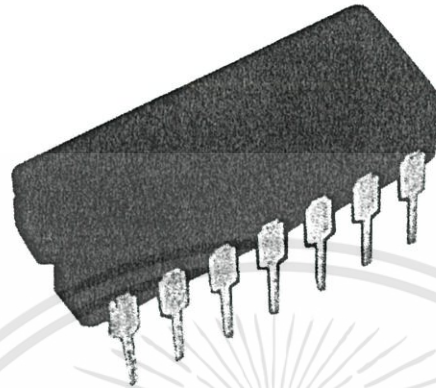
$T_H$  และ  $T_L =$  ค่าอุณหภูมิที่ตรงกับค่าแรงเคลื่อน  $V_H$  และ  $V_L$  ตามลำดับ

### 2.3 IC AD594AQ และ IC AD595 AQ

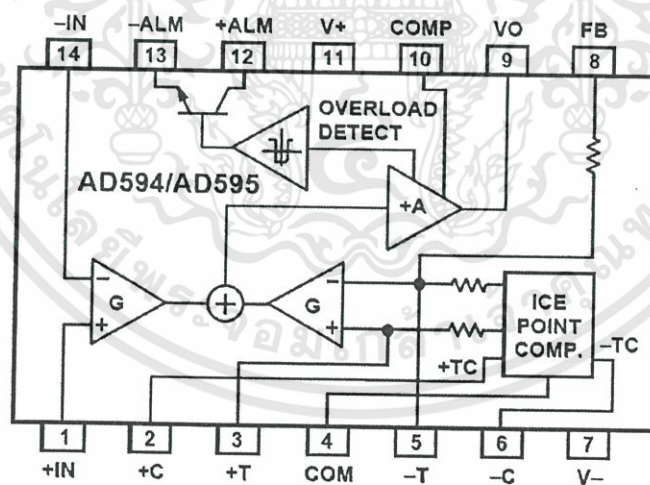
ไอซีเบอร์ AD594AQ และAD595AQ แสดงดังรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4 ทำหน้าที่ขยายสัญญาณและชดเชยสัญญาณโดยการวัดอุณหภูมิรอบตัว ซึ่งออกแบบมาใช้งานกับเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด J และเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K ตามลำดับ วงจรภายใน IC AD594AQ และ AD595AQ แสดงได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.3 ลักษณะภายนอกไอซี AD594AQ [4]



รูปที่ 2.4 ลักษณะภายนอกไอซี AD595AQ [4]



รูปที่ 2.5 วงจรภายใน IC AD594AQ และ AD595AQ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 คุณสมบัติของไอซี AD594AQ และ AD595AQ

2.3.1.1 ทำงานร่วมกับเทอร์โมคัปเปิลชนิด J และเทอร์โมคัปเปิลชนิด K

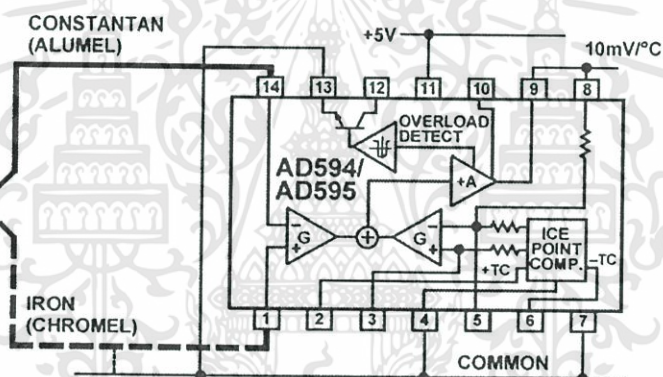
2.3.1.2 ความแม่นยำ +/-3 องศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ )

2.3.1.3 ใช้ไฟเลี้ยง +5 V

2.3.1.4 Single analog input (ADC)

2.3.1.5 ขยายแรงดัน และ ทำให้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเป็นกราฟ

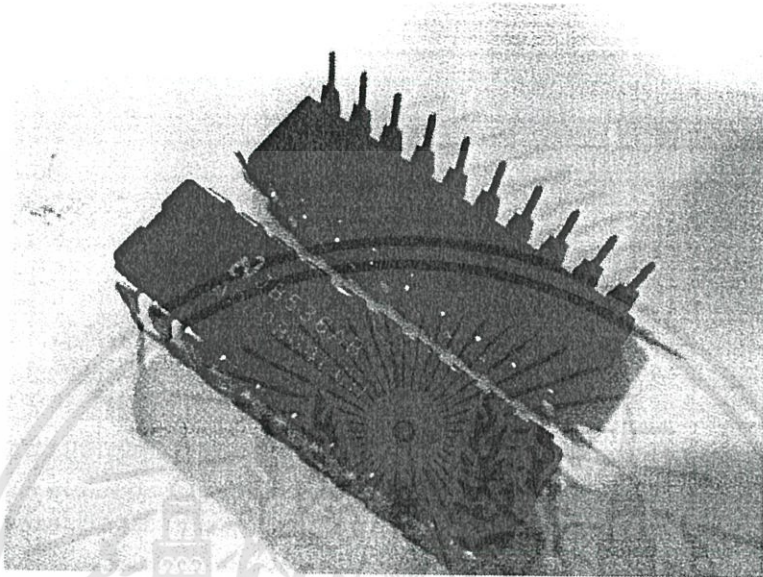
เส้นตรง



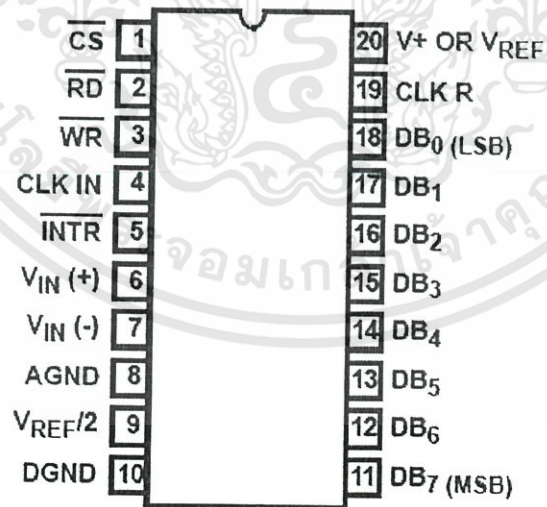
รูปที่ 2.6 การ interface เข้ากับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K และ เทอร์โมคัปเปิลชนิด J [4]

## 2.4 IC ADC0804

วงจรรวมเบอร์ ADC0804 แสดงดังรูปที่ 2.7 เป็นวงจรแปลงอะนาล็อกเป็นดิจิตอล เอาต์พุตขนาด 8 บิต เอาต์พุตเป็นเลขฐานสอง มีขา 20 ขา ตัวถังแบบ DIP ลักษณะการจัดวางขา แสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 ลักษณะภายนอกไอซี ADC0804 [5]



รูปที่ 2.8 การจัดวางขาไอซีเบอร์ ADC0804 [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.1 รายละเอียดและหน้าที่ของขา ADC0804

2.4.1.1 ขา 1 คือ ขา  $\overline{CS}$  (Chip Select) รับสัญญาณการเลือกทำงานจากไมโครคอนโทรลเลอร์

2.4.1.2 ขา 2 คือ ขา  $\overline{RD}$  (Read) ขาควบคุมการอ่านข้อมูลจาก ADC0804 โดยสัญญาณควบคุมมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์

2.4.1.3 ขา 3 คือ ขา  $\overline{WR}$  (Write) ขาควบคุมการเขียนข้อมูลลงใน ADC0804 โดยสัญญาณควบคุมมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์

2.4.1.4 ขา 4 คือ ขา CLK in รับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก

2.4.1.5 ขา 5 คือ ขา  $\overline{INTR}$  (Interrupt) รับสัญญาณอินเทอร์รัพท์มาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ADC0804

2.4.1.6 ขา 6 คือขา  $V_{in}(+)$  เป็นอินพุตรับแรงดันบวก

2.4.1.7 ขา 7 คือขา  $V_{in}(-)$  เป็นอินพุตรับแรงดันลบ (0 V)

2.4.1.8 ขา 8 คือขา A GND (Analog GND) จุดดินของวงจรอนาล็อกภายใน ADC0804

2.4.1.9 ขา 9 คือขา  $V_{REF}/2$  เป็นอินพุตรับแรงดันอ้างอิง

2.4.1.10 ขา 10 คือขา D GND (Digital GND) จุดกราวด์ของวงจรดิจิทัลภายใน ADC0804

2.4.1.11 ขา 11-18 คือขา Digital output ขา 11 คือ D7 (MSB) และขา 18 คือขา D0 (LSB)

2.4.1.12 ขา 19 คือขา CLK out เป็นอินพุตสำหรับต่อตัวต้านทานภายนอกสำหรับสัญญาณนาฬิกา

2.4.1.13 ขา 20 คือขา  $V_{CC}$  (or  $V_{REF}$ ) เป็นขาจ่ายกำลังไฟฟ้า +5 V

ADC0804 ซึ่งเป็นไอซีขนาด 8 บิต ซึ่งขนาดแรงดันที่เปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดทางอินพุตแล้วมีผลทำให้เอาต์พุต (ค่าความแยกชัดต่อบิต) สามารถคำนวณหาได้ ดังนี้

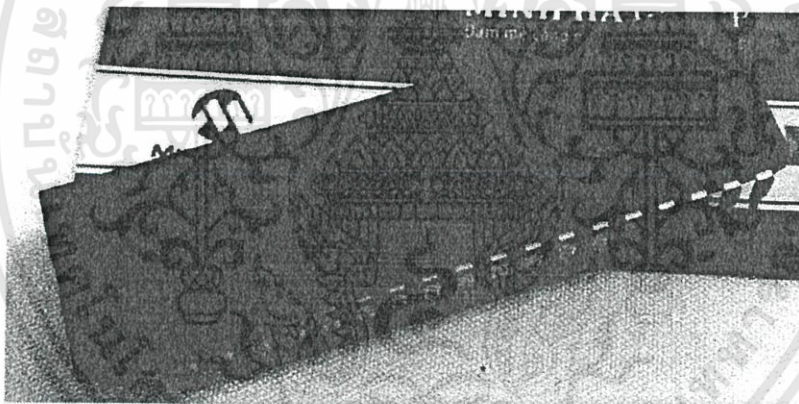
$$\text{ค่าความแยกชัดต่อบิต} = \frac{V_{in}}{255}$$

$$= \frac{1}{255}$$

$$= 3.92 \text{ มิลลิโวลต์}$$

เพราะฉะนั้น แรงดันอินพุตจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่า 3.92 มิลลิโวลต์ จึงจะทำให้เอาต์พุตเปลี่ยนแปลง 1 บิต

## 2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น PIC18F4620



รูปที่ 2.9 ลักษณะภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F4620 [7]

### 2.5.1 คุณสมบัติต่างๆของ PIC18F4620

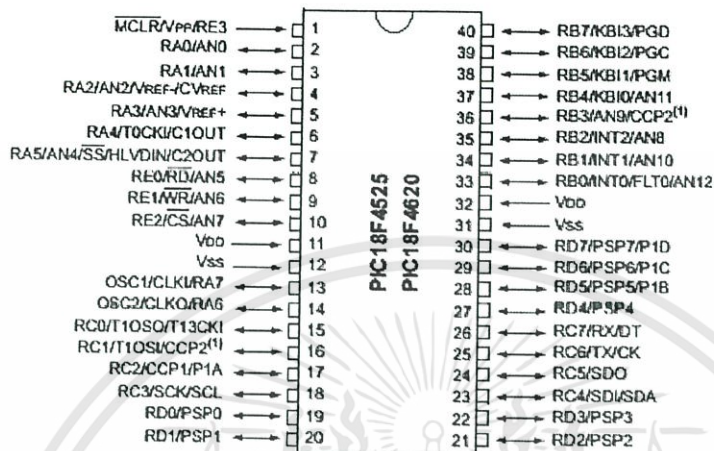
2.5.1.1 ซีพียูเป็นแบบ RISC (Reduced Instruction-Set Computer)

2.5.1.2 มีคำสั่งใช้งาน 35 คำสั่ง

2.5.1.3 ทำตามคำสั่งโดยใช้สัญญาณ 1 ลูก

- 2.5.1.4 ทำงานด้วยความถี่สัญญาณนาฬิกาตั้งแต่ไฟตรงจนถึง 40 MHz
  - 2.5.1.5 หน่วยความจำโปรแกรม 64 KB
  - 2.5.1.6 หน่วยความจำข้อมูลแรมหรือรีจิสเตอร์ 3968 Bytes
  - 2.5.1.7 หน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม 1024 Bytes
  - 2.5.1.8 มีการตอบสนองสัญญาณอินเทอร์รัปต์
  - 2.5.1.9 มีวงจรเพาเวอร์อนรีเซ็ท (POR)
  - 2.5.1.10 มีเพาเวอร์อัปไทมเมอร์ (PWRT)
  - 2.5.1.11 ยอสซิลเลเตอร์สตาร์ทอัปไทมเมอร์ (OS1)
  - 2.5.1.12 วงจรวอตช์ด็อกไทมเมอร์ (WDT) วงจรออสซิลเลเตอร์ในตัว
  - 2.5.1.13 เลือกป้องกันข้อมูลทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลได้
  - 2.5.1.14 สามารถโปรแกรมแรงดัน +5 V
  - 2.5.1.15 แก่ไขตัวโปรแกรมในหน่วยความจำผ่านพอร์ตเพียง 2 ขา ด้วยกระบวนการ ICD (In-Circuit Debugger)
  - 2.5.1.16 ซีพียูสามารถอ่านและเขียนหน่วยความจำโปรแกรมได้
  - 2.5.1.17 ใช้ไฟเลี้ยงที่ใช้งานตั้งแต่ +2 V ถึง +5.5 V
- 2.5.2 คุณสมบัติพิเศษ
- 2.5.2.1 วงจรแปลงสัญญาณ analog เป็น digital 10 bit สูงสุด 13 ช่อง
  - 2.5.2.2 วงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมทั้ง SPI และ I<sup>2</sup>C
  - 2.5.2.3 วงจรสื่อสารข้อมูลอนุกรม (USART) พร้อมการตรวจจับแอดเดรส
  - 2.5.2.4 วงจรตรวจจับระดับแรงดันไฟเลี้ยง (Brown-out detection) เพื่อ Reset ซีพียู หรือ BOR (Brown-out Reset)

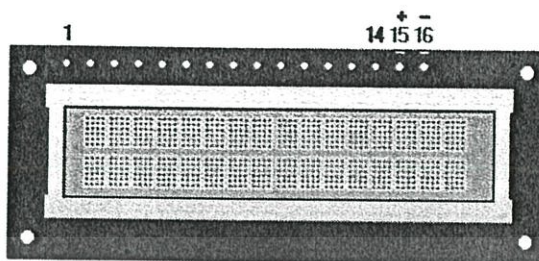
## 40-Pin PDIP



รูปที่ 2.10 ตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น PIC18F4620 [8]

## 2.6 LCD 16x2

หน่วยแสดงผลโมดูล LCD (Liquid Crystal Display module) หรือหน่วยแสดงผลแบบผลึกเหลวโดยโมดูล LCD มีอยู่ 2 ชนิดด้วยกัน คือ แบบตัวอักษร และแบบกราฟฟิก โครงสร้างพื้นฐานของโมดูล LCD แบบตัวอักษรแสดงดังรูปที่ 2.10 LCD 16x2 โมดูลที่แสดงผลหน้าจอได้ทั้งหมด 32 ตัวอักษร 2 บรรทัด แบ่งเป็นบรรทัดละ 16 ตัวอักษร มีหลอดไฟเป็นแสงสีเขียวน สามารถแสดงผลได้แม้ในที่มืดที่มีแสงสว่างน้อย โดยมีชุดคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมการแสดงผลของโมดูล LCD ดังแสดงดังตารางที่ 2.2



LCD 16x2 Line

รูปที่ 2.11 LCD Characters 16x2 [9]

## 2.6.1 คุณสมบัติ

2.6.1.1 แสดงผล 16x2 Character

2.6.1.2 ใช้ไฟเลี้ยง 5 V

2.6.1.3 หน้าจอสามารถเปิดไฟเป็นแสงสีเขียว (Backlight)

2.6.1.4 อุณหภูมิใช้งาน 20 °C – 70 °C

## ตารางที่ 2.2 ชุดคำสั่งควบคุมการทำงานของโมดูล LCD

คำสั่งการทำงาน (LCD Command)	ค่าที่ส่งให้กับโมดูล LCD (Hex)
LCD Clear	0x01
Cursor to home	0x02
Display move cursor to left	0x04
Move to left	0x05
Display move cursor to right	0x06
Move to left	0x07
LCD off & cursor off	0x08
LCD off & cursor on	0x0A
LCD on, & cursor off	0x0c

คำสั่งการทำงาน (LCD Command)	ค่าที่ส่งให้กับโมดูล LCD (Hex)
LCD on, & cursor on	0x0E
LCD on, & cursor blink	0x0F
Move cursor to left	0x10
Move cursor to right	0x14
Move new character to left	0x18
Move new character to right	0x1C
LCD start 1st line	0x80
LCD start 2nd line	0xC0
LCD start 2nd line (4-bit Mode,5x7)	0x28
LCD start 2nd line (4-bit Mode,5x10)	0x2C

## 2.6.2 รายละเอียดขาสัญญาณของโมดูล LCD

2.6.2.1 ขาที่ 1: GND สำหรับต่อขากราวด์ของวงจร

2.6.2.2 ขาที่ 2: +Vcc ต่อกับไฟเลี้ยง +5 V

2.6.2.3 ขาที่ 3: Vo สำหรับปรับความสว่างของหน้าจอ LCD

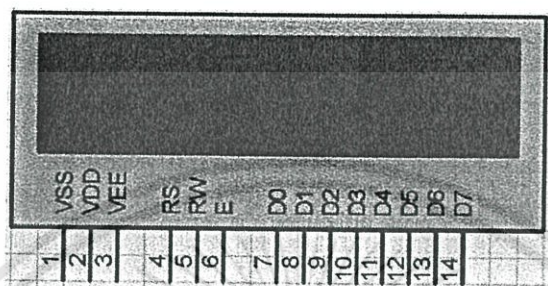
2.6.2.4 ขาที่ 4: RS (Register Select) ขาเลือกการติดต่อกับรีจิสเตอร์คำสั่งหรือข้อมูล โดย “0” จะติดต่อกับคำสั่ง “1” จะติดต่อข้อมูล

2.6.2.5 ขาที่ 5: RW (Read/Write control) ขาอ่านหรือเขียนข้อมูลกับโมดูล LCD

2.6.2.6 ขาที่ 6: E (Enable) ป้อนสัญญาณพัลส์ Enable ให้โมดูล LCD เริ่มทำงาน

2.6.2.7 ขาที่ 7 ถึง ขาที่ 14: DB0-DB7 (DATA) ขาข้อมูลขนาด 8 บิต ใช้สำหรับส่งผ่านข้อมูลระหว่าง LCD กับอุปกรณ์ภายนอก

ตำแหน่งและชื่อขาต่างๆของ LCD แบบ 16 ตัวอักษร 2 แถวและการจัดตำแหน่งขา  
แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การจัดตำแหน่งขาของ LCD [9]

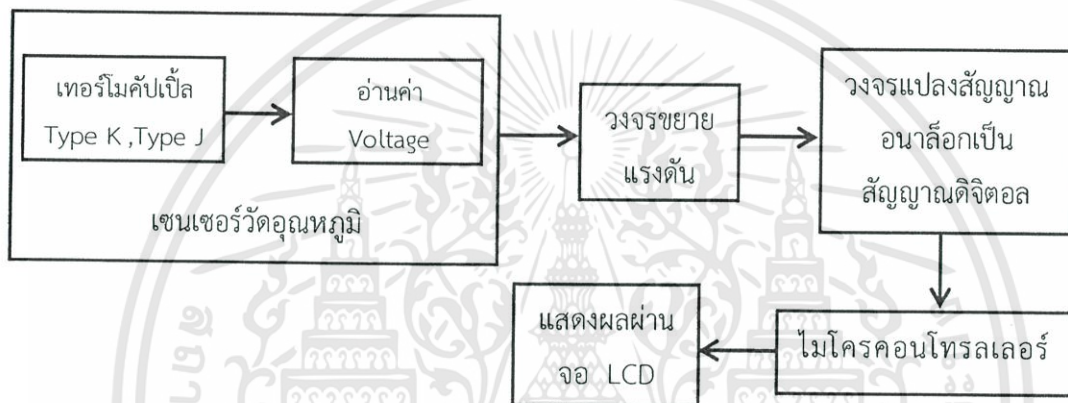
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### การออกแบบและการจัดทำปฏิญานิพนธ์

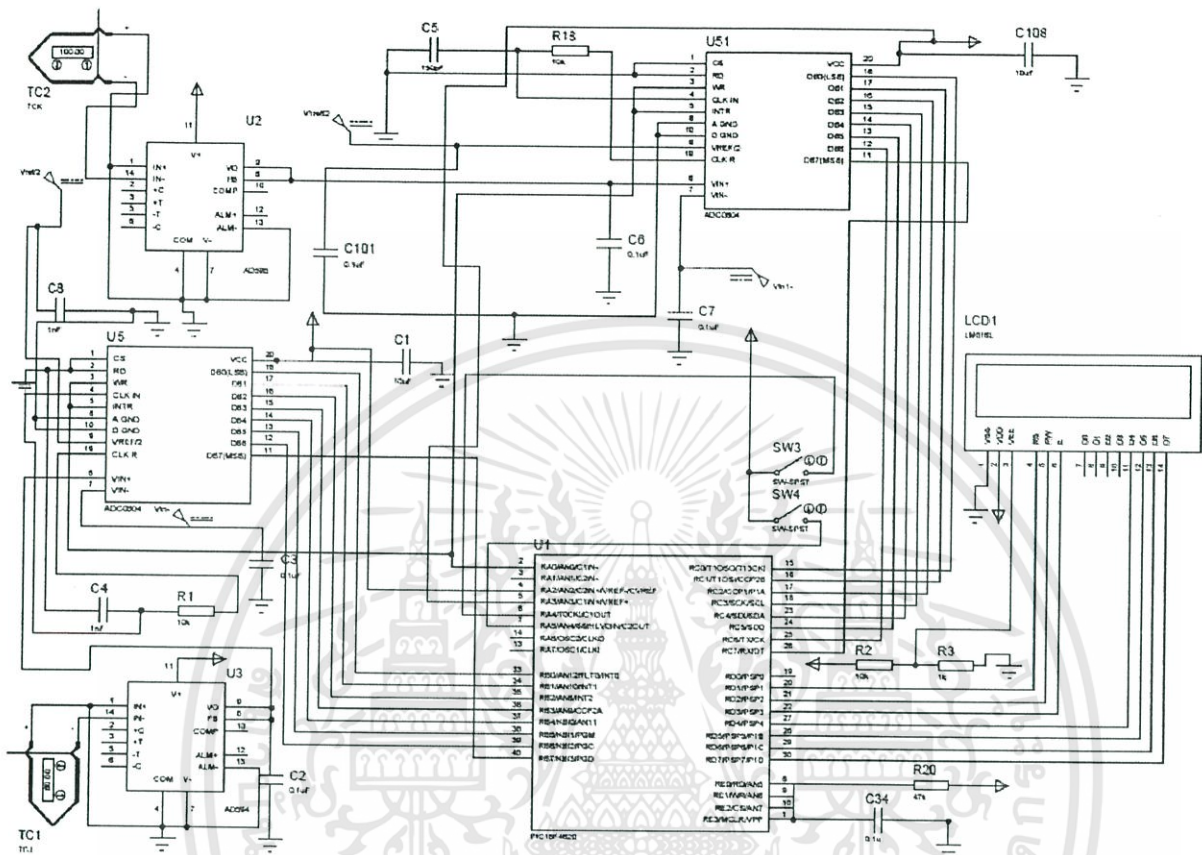
##### 3.1 การออกแบบ

##### 3.1.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการในการทำงานของระบบ



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของระบบ

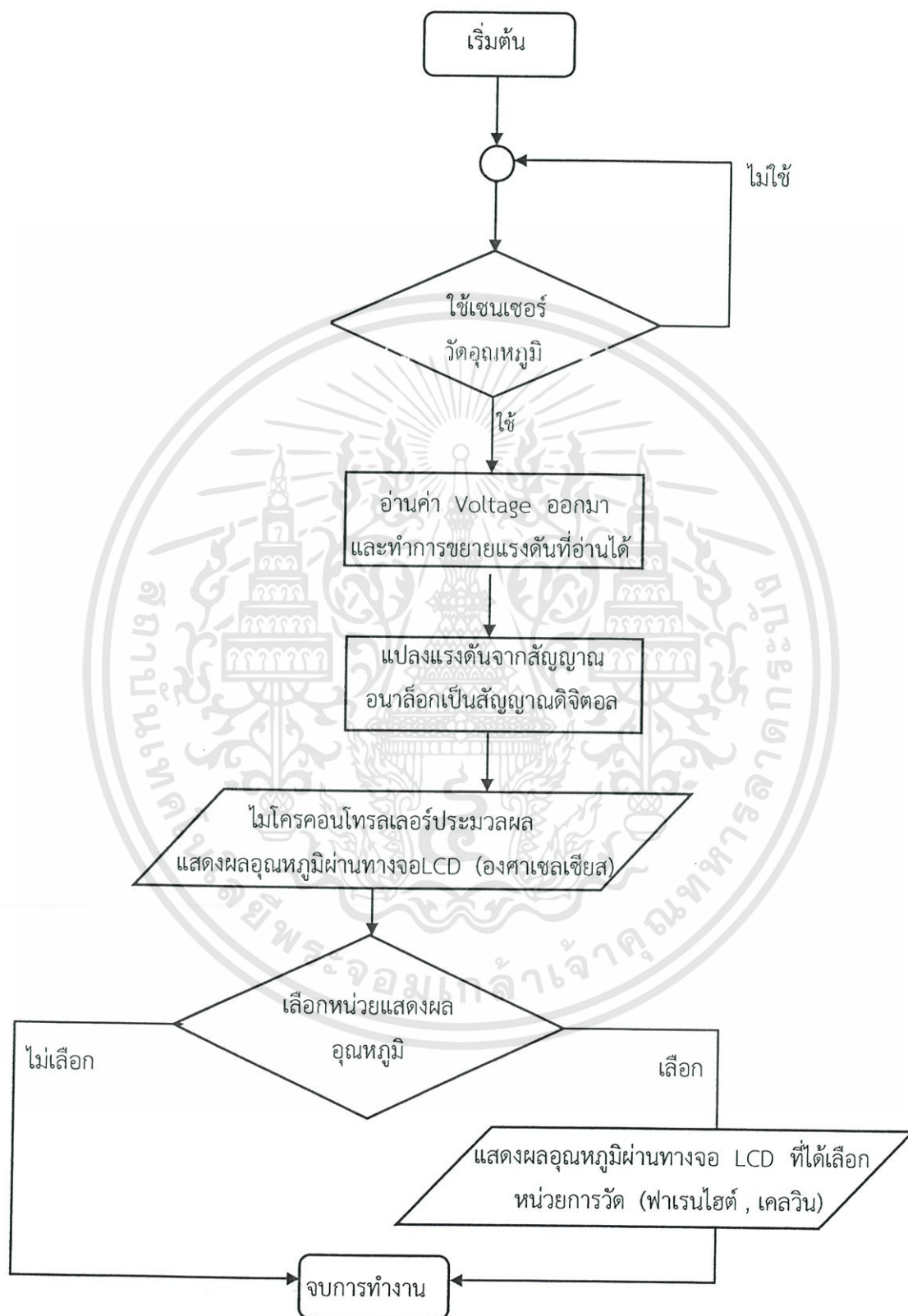
จากบล็อกไดอะแกรมข้างต้นนี้ ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ คือ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ วงจรขยายแรงดัน วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ไมโครคอนโทรลเลอร์ และการแสดงผลผ่านจอ LCD ซึ่งสามารถแสดงวงจรการทำงานในส่วนเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ได้ดังนี้



รูปที่ 3.2 วงจรการทำงานโดยรวม

### 3.1.2 การออกแบบผังงาน (Flowchart) การทำงานของวงจร

ผังงานการทำงานเป็นการแสดงขั้นตอนการทำงานโดยสรุป เพื่อให้เห็นภาพรวมของการทำงาน โดยผังงานการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.3



รูป 3.3 การออกแบบการทำงานวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 ตารางอ้างอิงของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J และ ตารางอ้างอิงของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K

ตารางอ้างอิงของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J และ ตารางอ้างอิงของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K แสดงได้ดังตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ค่าแรงดันอ้างอิงของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J

(Ref. Junction 0 °C) ที่อุณหภูมิ 0 °C – 100 °C [6]

°C	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
Thermoelectric Voltage in mV											
0	0.000	0.050	0.101	0.151	0.202	0.253	0.303	0.354	0.405	0.456	0.507
10	0.507	0.588	0.609	0.660	0.711	0.762	0.814	0.865	0.916	0.968	1.019
20	1.019	1.071	1.122	1.174	1.226	1.277	1.329	1.381	1.433	1.485	1.537
30	1.537	1.589	1.641	1.693	1.745	1.797	1.849	1.902	1.954	2.006	2.059
40	2.059	2.111	2.164	2.216	2.269	2.322	2.374	2.427	2.480	2.532	2.585
50	2.585	2.638	2.691	2.744	2.797	2.850	2.903	2.956	3.009	3.062	3.116
60	3.116	3.169	3.222	3.275	3.329	3.382	3.436	3.489	3.543	3.596	3.650
70	3.650	3.703	3.757	3.810	3.864	3.918	3.971	4.025	4.079	4.133	4.187
80	4.187	4.240	4.294	4.348	4.402	4.456	4.510	4.564	4.618	4.672	4.726
90	4.726	4.781	4.835	4.889	4.943	4.997	5.052	5.106	5.160	5.215	5.269
100	5.269	5.323	5.378	5.432	5.487	5.541	5.595	5.650	5.705	5.759	5.814
Thermoelectric Voltage in mV											
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

ตารางที่ 3.2 ค่าแรงดันอ้างอิงของเทอร์โมคัปเปิล Type K  
(Ref. Junction 0 °C) ที่อุณหภูมิ 0 °C – 100 °C [6]

°C	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
Thermoelectric Voltage in mV											
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	0.397
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758	0.798
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.163	1.203
30	1.203	1.244	1.285	1.326	1.366	1.407	1.448	1.489	1.530	1.571	1.612
40	1.612	1.653	1.694	1.735	1.776	1.817	1.858	1.899	1.941	1.982	2.023
50	2.023	2.064	2.106	2.147	2.188	2.230	2.271	2.312	2.354	2.395	2.436
60	2.436	2.478	2.519	2.561	2.602	2.644	2.685	2.727	2.768	2.810	2.851
70	2.851	2.893	2.934	2.976	3.017	3.059	3.100	3.142	3.184	3.225	3.267
80	3.267	3.308	3.350	3.391	3.433	3.474	3.516	3.557	3.599	3.640	3.682
90	3.682	3.723	3.765	3.806	3.848	3.889	3.931	3.972	4.013	4.055	4.096
100	4.096	4.138	4.179	4.220	4.262	4.303	4.344	4.385	4.427	4.468	4.529
Thermoelectric Voltage in mV											
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

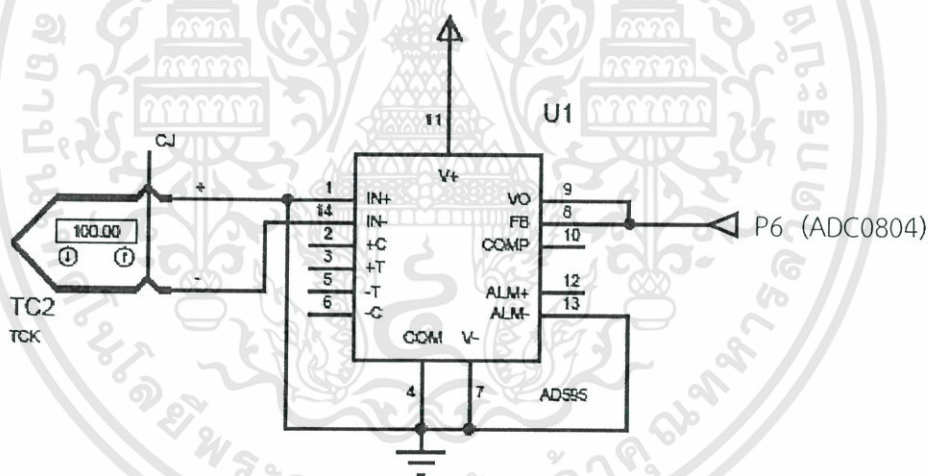
### 3.1.4 รายละเอียดของการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอน

ในการดำเนินการสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล มีขั้นตอนในการดำเนินงานให้เสร็จตามเป้าหมาย จะต้องประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆด้วยกัน คือ ฮาร์ดแวร์ และ ซอฟต์แวร์ ซึ่งทั้งสองส่วนจะขาดส่วนใดส่วนหนึ่งไปไม่ได้ เพราะจะทำให้เครื่องวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลไม่สามารถทำงานได้

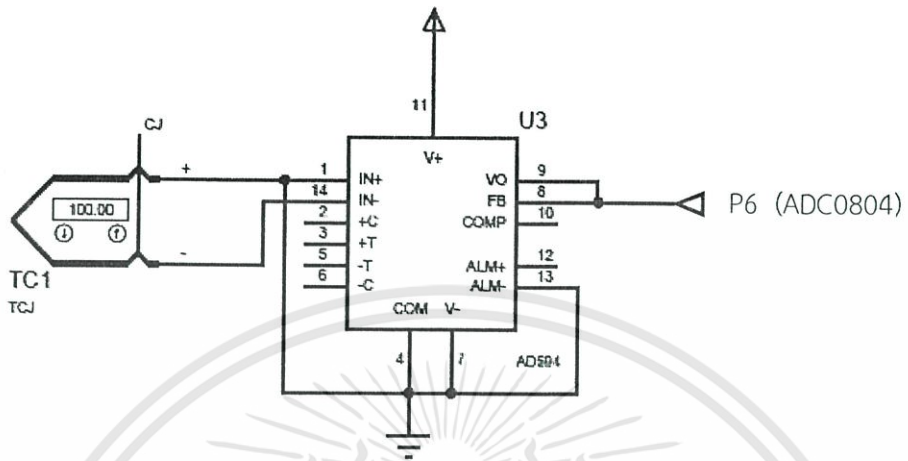
### 3.1.4.1 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์

การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์ จะต้องประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรแสดงผลผ่านจอ LCD

- 1) วงจรเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิต่อเข้ากับวงจรขยายแรงดัน เมื่อใช้เทอร์โมคัปเปิ้ลวัดอุณหภูมิ จะได้ค่าแรงดันออกมาซึ่งมีค่าน้อยมากจึงต้องทำการขยายแรงดัน เพื่อนำค่าแรงดันที่ขยายได้ไปใช้ต่อไป แสดงได้ดังรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5



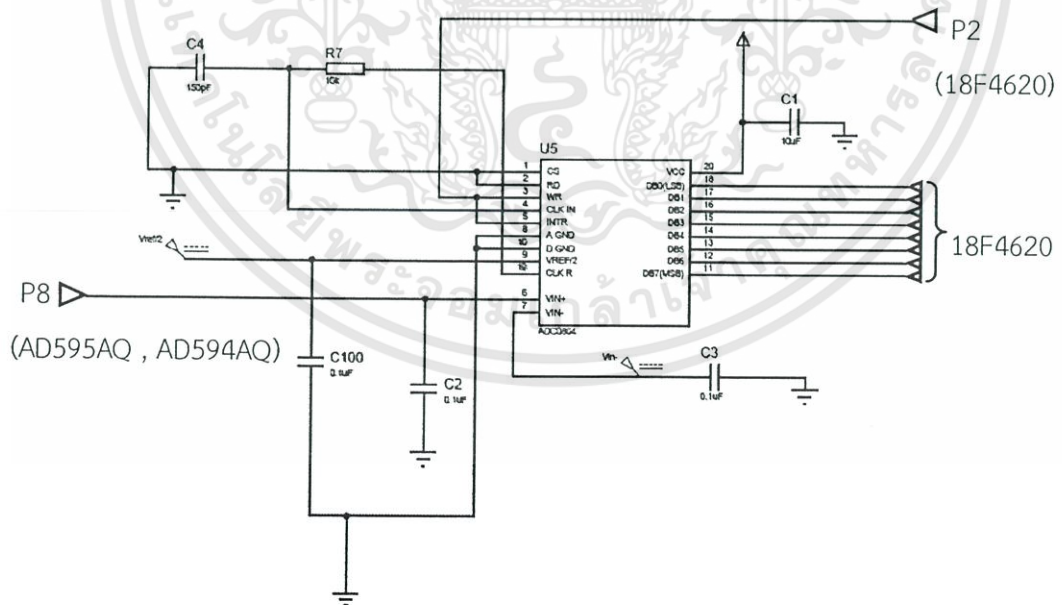
รูปที่ 3.4 วงจรเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิต่อเข้ากับวงจรขยายแรงดันของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K



รูปที่ 3.5 วงจรเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิต่อเข้ากับวงจรขยายแรงดันของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J

2) วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล

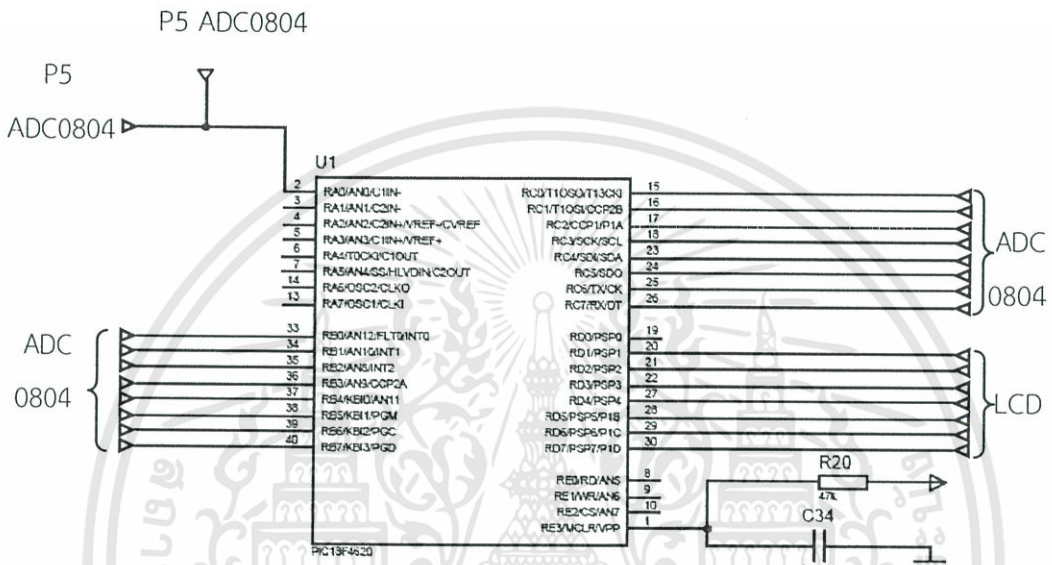
เมื่อได้แรงดันจากวงจรขยายของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K และ Type J แล้ว นำมาแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล แสดงได้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

3) วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

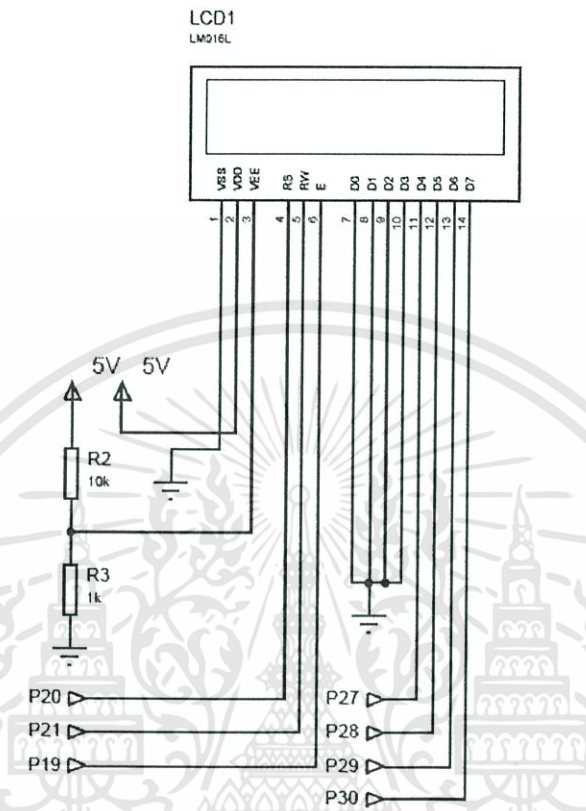
เมื่อแปลงได้สัญญาณดิจิตอลแล้วนำเข้าวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลผล แสดงได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

4) วงจรแสดงผล

การแสดงผลจะทำการแสดงผลการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิ โดยแสดงผลหน่วยของอุณหภูมิที่เลือกและแสดงผลค่าของอุณหภูมิวัดได้ผ่านจอ LCD 16x2 ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 วงจรแสดงผล

3.1.3.2 การออกแบบทางด้านซอฟต์แวร์

รูปแบบการเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถแบ่งได้ดังนี้

- 1) เขียนโปรแกรมด้วยภาษาซี และทำการ Compile ด้วยโปรแกรม PIC C Compiler เพื่อสร้าง Hex file แล้วนำไปโปรแกรมเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป
- 2) เมื่อได้ Hex file แล้วทำการนำ Hex file ที่เขียนไว้โปรแกรมเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้โปรแกรม PIC kit2

## 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

### 3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1.1 เทอร์โมคัปเปิ้ล Type K และ Type J

3.2.1.2 IC AD594AQ 1 ตัว

3.2.1.3 IC AD595AQ 1 ตัว

3.2.1.4 IC ADC0804 2 ตัว

3.2.1.5 ตัวต้านทาน (R)

1) R 10k ohms 5 ตัว

2) R ปรับค่าได้ 10k ohms 3 ตัว

3.2.1.6 ตัวเก็บประจุ (C)

1) C 22 pF 2 ตัว

2) C 150 pF 2 ตัว

3) C 0.1  $\mu$ F 4 ตัว

4) C 10  $\mu$ F 2 ตัว

3.2.1.7 crystal 20 MHz 1 ตัว

### 3.2.2 Measument

3.2.2.1 เพาเวอร์ ซัพพลาย (Power supply)

3.2.2.2 สายสโคป (Probe)

3.2.2.3 มัลติมิเตอร์ (Multimeter)

3.2.2.4 เทอร์โมคัปเปิ้ล (Thermocouple)

3.2.2.5 เครื่องเบิร์นไมโครคอนโทรลเลอร์

### 3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

3.3.1 จัดเก็บผลการทำงานของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K และ Type J

3.3.2 จัดเก็บผลการวัดอุณหภูมิของของเหลว เปรียบเทียบระหว่างตารางอ้างอิงกับอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมา

3.3.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ ) กับแรงดัน (mV) เปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นกับตารางเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K และ Type J

3.3.4 จัดเก็บผลการทำงานวงจรขยายแรงดันของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K และ Type J

3.3.5 จัดเก็บผลการทำงานวงจรขยายแรงดัน เปรียบเทียบระหว่างตารางอ้างอิงกับอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมา

3.3.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ ) กับแรงดันขยาย (mV) เปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นกับตารางเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K และ Type J

3.3.7 จัดเก็บผลการทำงานของสัญญาณที่แปลงจากอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K และ Type J

3.3.8 จัดเก็บผลการแสดงผลอุณหภูมิผ่านจอ LCD

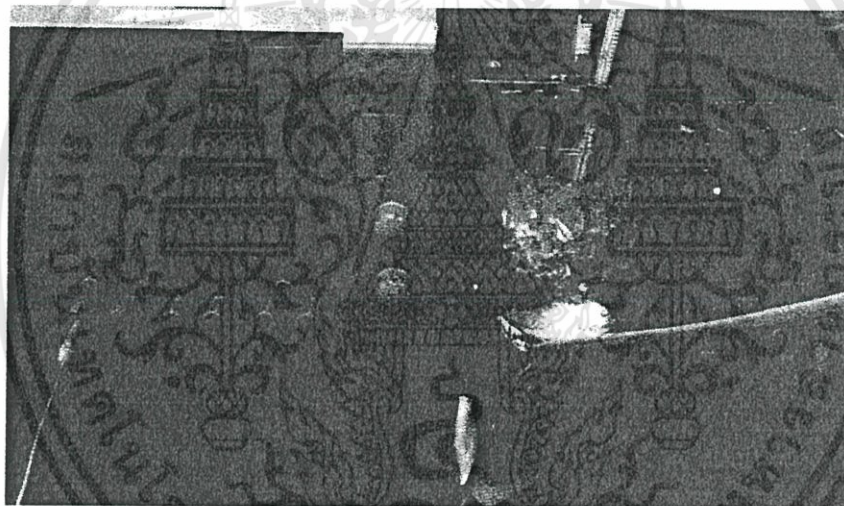
## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการทดลองการทำงานของเทอร์โมคัปเปิ้ล

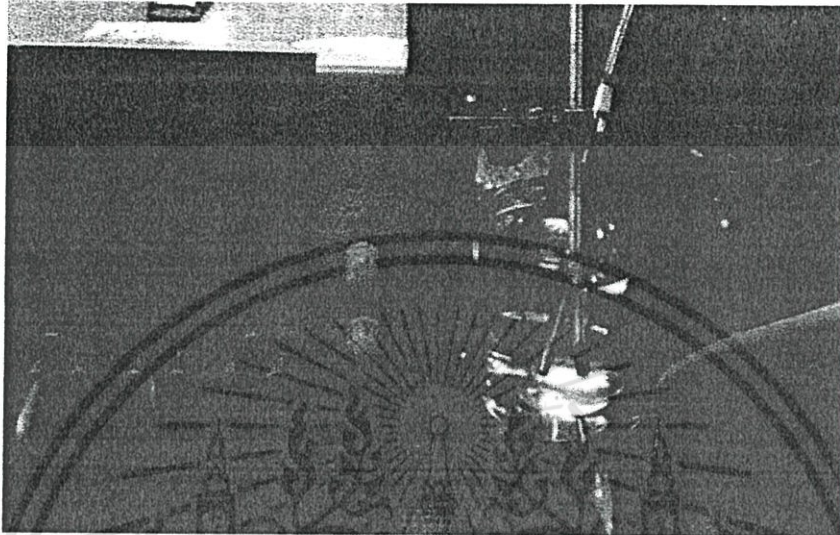
##### 4.1.1 ผลการทดลองเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J

##### 4.1.1.1 วัดอุณหภูมิที่ 0 °C แสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J ที่อุณหภูมิ 0 °C

#### 4.1.1.2 วัดอุณหภูมิที่ 50 °C แสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J ที่อุณหภูมิ 50 °C

#### 4.1.2 ผลการทดลองเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K

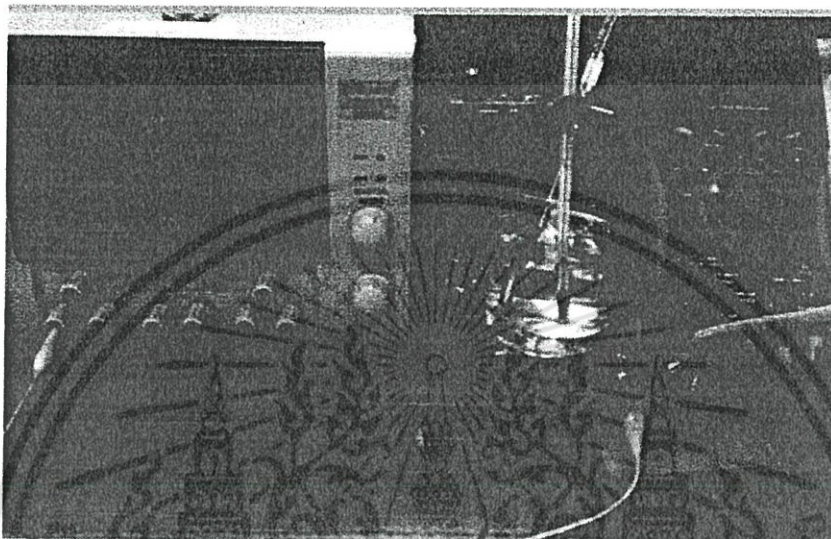
##### 4.1.2.1 วัดอุณหภูมิที่ 0 °C แสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K ที่อุณหภูมิ 0 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2.2 วัดอุณหภูมิที่ 50 °C แสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K ที่อุณหภูมิ 50 °C

## 4.2 ผลการทำงานประสิทธิภาพของเครื่องวัด

ทำการทดลองวัดอุณหภูมิน้ำ โดยใช้อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าแล้วนำมาเปรียบเทียบในตารางอ้างอิงของเทอร์โมคัปเปิ้ลแต่ละชนิด กับอุปกรณ์อ้างอิง คือ เทอร์โมคัปเปิ้ล โดยการวัดอุณหภูมิทั้งหมด 3 ครั้ง พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ย

### 4.2.1 อุณหภูมิจากวงจรขยายแรงดันไฟฟ้าเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J

ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดอุณหภูมิจากเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J

อุณหภูมิ (°C)	ตารางอ้างอิง	อุปกรณ์ที่สร้างขึ้น			
	แรงดันไฟฟ้า (mV)	แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ (mV)			แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (mV)
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
0	0.000	0.00	0.00	0.00	0.000
5	0.253	0.20	0.30	0.30	0.267
10	0.507	0.50	0.50	0.50	0.500
15	0.762	0.80	0.80	0.70	0.767
20	1.019	1.00	1.00	1.00	1.000
25	1.277	1.20	1.30	1.30	1.267
30	1.537	1.60	1.50	1.50	1.533
35	1.797	1.80	1.80	1.80	1.800
40	2.059	2.00	2.10	2.00	2.034
45	2.322	2.30	2.30	2.40	2.334
50	2.585	2.60	2.60	2.50	2.567
55	2.850	2.90	2.90	2.80	2.867

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดอุณหภูมิจากเทอร์โมคัปเปิล Type J (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	ตารางอ้างอิง	อุปกรณ์ที่สร้างขึ้น			
	แรงดันไฟฟ้า (mV)	แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ (mV)			แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (mV)
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
60	3.116	3.20	3.10	3.10	3.133
65	3.382	3.30	3.40	3.40	3.367
70	3.650	3.70	3.70	3.60	3.667
75	3.918	3.90	3.90	3.90	3.900
80	4.187	4.10	4.20	4.20	4.167

4.2.2 อุณหภูมิจากวงจรรขยายแรงดันไฟฟ้าเทอร์โมคัปเปิล Type K  
ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดอุณหภูมิจากเทอร์โมคัปเปิล Type K

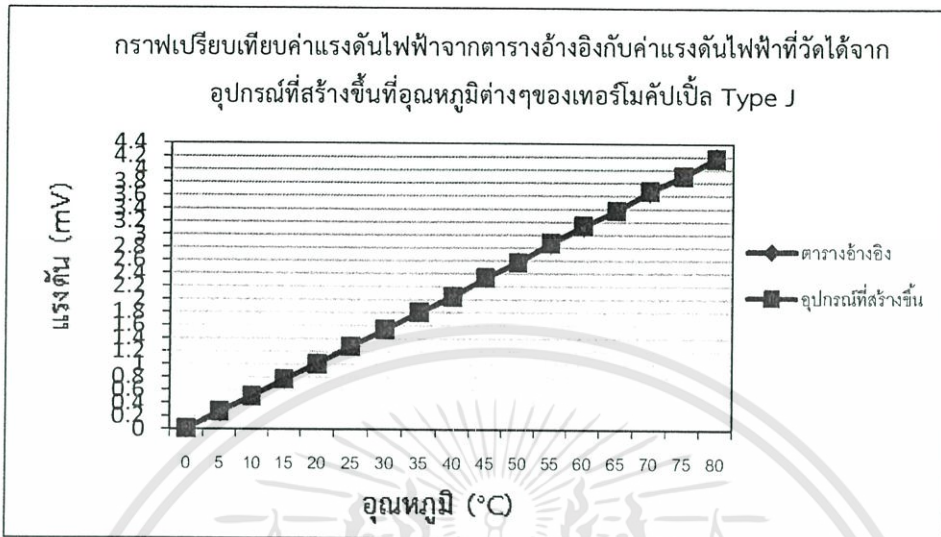
อุณหภูมิ (°C)	ตารางอ้างอิง	อุปกรณ์ที่สร้างขึ้น			
	แรงดันไฟฟ้า (mV)	แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ (mV)			แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (mV)
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
0	0.000	0.00	0.00	0.00	0.000
5	0.198	0.20	0.20	0.20	0.200
10	0.397	0.40	0.40	0.40	0.400
15	0.597	0.60	0.60	0.60	0.600
20	0.798	0.80	0.80	0.80	0.800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

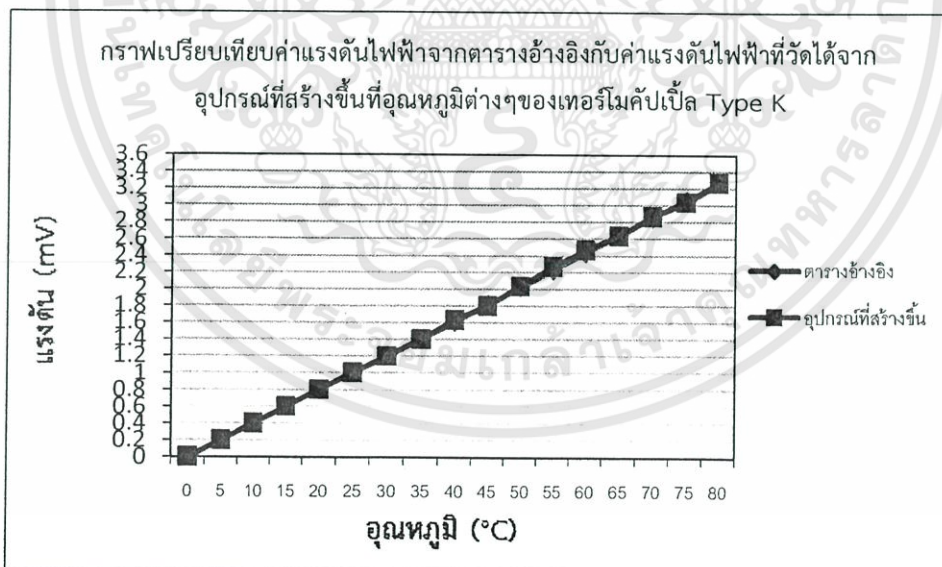
ตารางที่ 4.2 ผลการวัดอุณหภูมิจากเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	ตารางอ้างอิง	อุปกรณ์ที่สร้างขึ้น			
	แรงดันไฟฟ้า (mV)	แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ (mV)			แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (mV)
25	1.000	1.00	1.00	1.00	1.000
30	1.203	1.20	1.20	1.20	1.200
35	1.407	1.40	1.40	1.40	1.400
40	1.612	1.60	1.60	1.70	1.633
45	1.817	1.80	1.80	1.80	1.800
50	2.023	2.00	2.00	2.10	2.033
55	2.230	2.20	2.30	2.30	2.267
60	2.436	2.50	2.40	2.50	2.467
65	2.644	2.60	2.70	2.60	2.633
70	2.851	2.90	2.90	2.80	2.867
75	3.059	3.00	3.00	3.10	3.033
80	3.267	3.30	3.30	3.20	3.267

สามารถนำค่าจากตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2 มาแสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าจากตารางอ้างอิงกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นที่อุณหภูมิต่างๆ ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6



รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าจากตารางอ้างอิงกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นที่อุณหภูมิต่างๆ ของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J

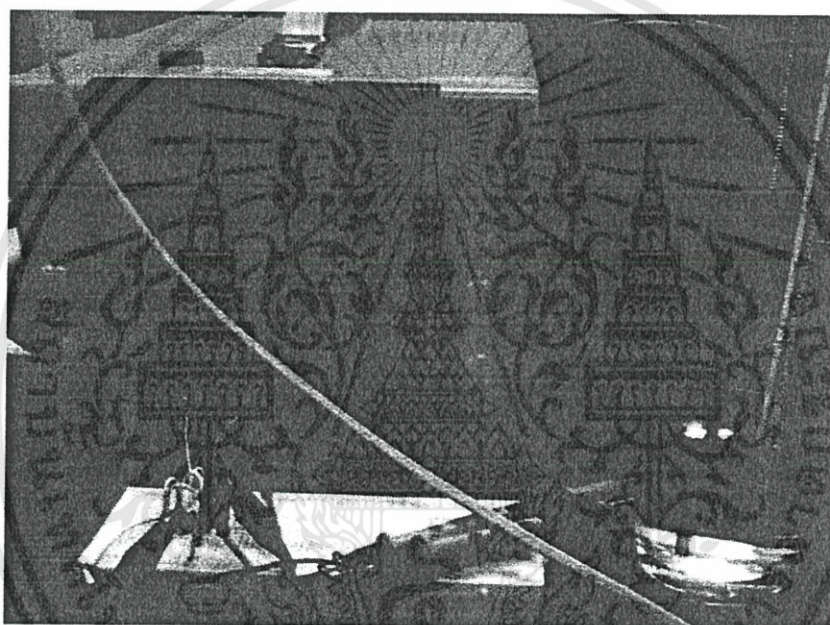


รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบค่าแรงดันจากตารางอ้างอิงกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นที่อุณหภูมิต่างๆ ของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K

### 4.3 ผลการทำงานของวงจรถยายแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K และ Type J

#### 4.3.1 ผลการทดลองวงจรถยายแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J

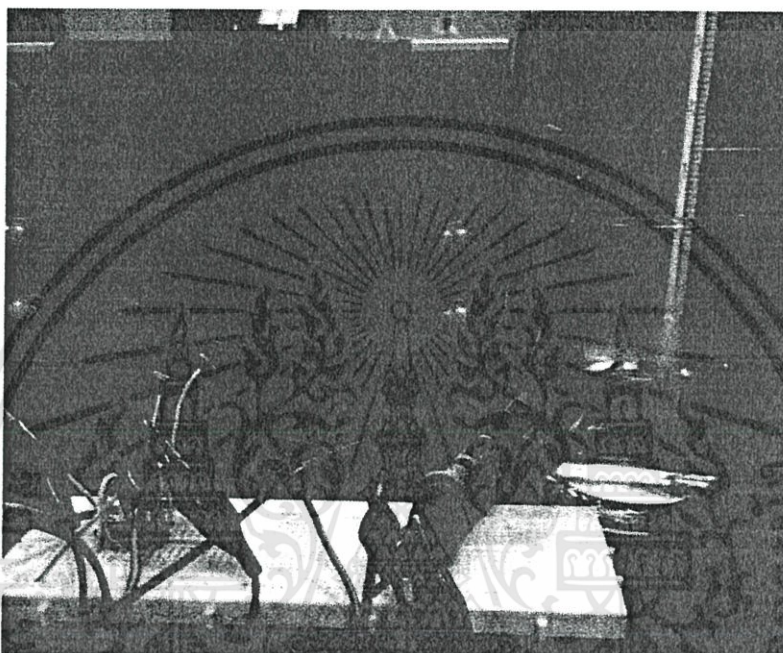
##### 4.3.1.1 วัดอุณหภูมิที่ 51 °C แสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ผลการวัดวงจรถยายแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J ที่อุณหภูมิ 51 °C

#### 4.3.2 ผลการทดลองวงจรรขยายแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K

##### 4.3.2.1 วัดอุณหภูมิที่ 51 °C แสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ผลการวัดวงจรรขยายแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J ที่อุณหภูมิ 51 °C

#### 4.4 ผลการทำงานประสิทธิภาพพวงจรรขยายแรงดันไฟฟ้า

ทำการทดลองวัดอุณหภูมิน้ำ โดยใช้วงจรรขยายแรงดันไฟฟ้าอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าแล้วนำมาเปรียบเทียบในตารางอ้างอิงของเทอร์โมคัปเปิ้ลแต่ละชนิด กับอุปกรณ์อ้างอิง คือ เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด J และชนิด K โดยการวัดอุณหภูมิทั้งหมด 3 ครั้ง พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ย

4.4.1 ผลการทดลองวงจรขยายแรงดันไฟฟ้าเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J  
 ดังตารางที่ 4.3 และเกณฑ์ขยายแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดอุณหภูมิจากวงจรขยายแรงดันเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J

อุณหภูมิ (°C)	ตารางอ้างอิง IC AD594AQ	วงจรขยายแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J			
	แรงดันไฟฟ้า (mV)	แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ (mV)			แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (mV)
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
0	3.10	8.50	8.00	9.00	9.167
5	52.05	52.00	51.00	51.00	51.333
10	101.00	103.00	102.00	101.50	102.167
15	150.00	150.50	150.80	150.00	150.433
20	200.00	202.00	202.00	202.50	202.167
25	250.00	252.00	250.00	250.40	250.800
30	300.00	300.90	300.50	300.00	300.467
35	350.00	350.00	351.40	351.50	350.967
40	401.00	400.50	400.00	400.50	400.333
45	451.00	460.50	455.00	455.50	457.000
50	503.00	505.00	504.00	504.50	504.500
55	554.00	555.00	555.00	555.50	555.167
60	605.00	600.00	604.60	605.50	603.367
65	657.75	655.50	655.50	657.00	656.000
70	709.50	710.00	710.00	711.00	710.333
75	761.25	760.00	760.50	762.00	760.833
80	813.00	813.00	813.00	813.60	813.200

ตารางที่ 4.4 เกนขยายแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J

อุณหภูมิ (°C)	แรงดันไฟฟ้าตารางอ้างอิง (mV)			แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ (mV)			เปอร์เซ็นต์ความ คลาดเคลื่อน (%)
	Type J	AD594	เกน	Type J	AD594	เกน	
0	0.000	3.10	3.100	0.000	5.200	4.200	35.484
5	0.253	52.05	205.731	0.267	51.333	192.258	6.545
10	0.507	101.00	199.211	0.500	102.167	202.334	1.567
15	0.762	150.00	196.850	0.767	150.433	196.132	0.365
20	1.019	200.00	196.270	1.000	202.167	202.167	3.005
25	1.277	250.00	195.771	1.267	250.800	197.948	1.112
30	1.537	300.00	195.185	1.533	300.467	195.999	0.417
35	1.797	350.00	194.769	1.800	350.967	194.982	0.109
40	2.059	401.00	194.755	2.034	400.333	196.821	1.061
45	2.322	451.00	194.229	2.334	457.000	195.801	0.809
50	2.585	503.00	194.584	2.567	504.500	196.533	1.002
55	2.850	554.00	194.386	2.867	555.167	193.640	0.384
60	3.116	605.00	194.159	3.133	603.367	192.584	0.812
65	3.382	657.75	194.486	3.367	656.000	194.832	0.178
70	3.650	709.50	194.384	3.667	710.333	193.710	0.347
75	3.918	761.25	194.296	3.900	760.833	195.085	0.406
80	4.187	813.00	194.172	4.167	813.200	195.152	0.488

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ผลการทดลองวงจรขยายแรงดันไฟฟ้าเทอร์โมคัปเปิล Type K  
 ดังตารางที่ 4.5 และเกณฑ์ขยายแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิล Type K ดังตารางที่ 4.6

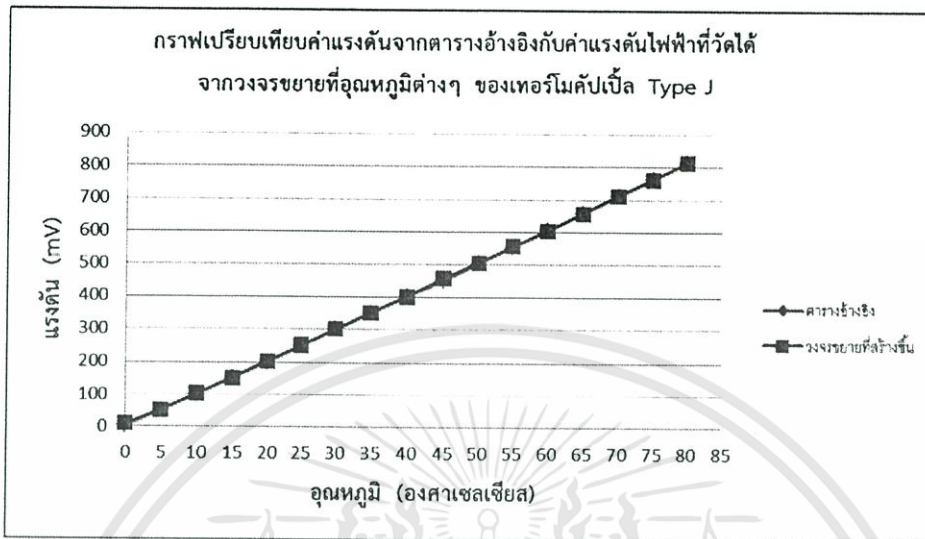
ตารางที่ 4.5 ผลการวัดแรงดันจากวงจรขยายแรงดันเทอร์โมคัปเปิล Type K

อุณหภูมิ (°C)	ตารางอ้างอิง IC AD595AQ	วงจรขยายแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิล Type K			
	แรงดันไฟฟ้า (mV)	แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ (mV)			แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (mV)
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
0	2.70	3.00	2.80	2.80	2.867
5	51.85	53.00	53.00	52.50	52.833
10	101.00	103.00	102.00	103.50	102.833
15	150.00	150.50	150.80	150.00	150.433
20	200.00	198.50	201.00	201.50	200.333
25	250.00	253.00	250.00	250.40	251.133
30	300.00	303.20	301.50	301.00	301.900
35	350.00	353.00	352.50	352.50	352.667
40	401.00	402.50	402.00	402.50	402.333
45	451.00	453.50	455.00	455.00	454.500
50	503.00	505.00	505.00	504.50	504.833
55	554.00	555.00	555.00	555.00	555.000
60	605.00	605.00	604.50	605.00	604.833
65	656.25	655.50	655.50	655.00	655.333
70	707.50	710.00	710.00	710.00	710.000
75	758.75	760.00	761.00	761.00	760.667
80	810.00	815.00	814.00	814.40	814.467

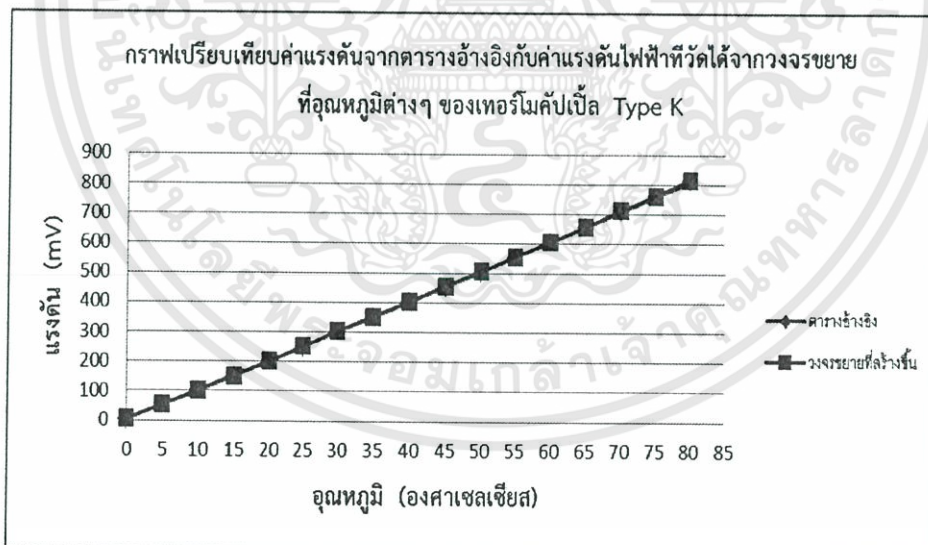
ตารางที่ 4.6 เกนขยายแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K

อุณหภูมิ (°C)	แรงดันไฟฟ้าตารางอ้างอิง (mV)			แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ (mV)			เปอร์เซ็นต์ความ คาดเคลื่อน (%)
	Type K	AD595	เกน	Type K	AD595	เกน	
0	0.000	2.70	2.700	0.000	2.867	3.167	6.190
5	0.198	51.85	261.867	0.200	52.833	264.165	0.878
10	0.397	101.00	254.408	0.400	102.833	257.083	1.051
15	0.597	150.00	251.256	0.600	150.433	250.722	0.213
20	0.798	200.00	250.627	0.800	200.333	250.416	0.084
25	1.000	250.00	250.000	1.000	251.133	251.133	0.453
30	1.203	300.00	249.377	1.200	301.900	251.583	0.885
35	1.407	350.00	248.756	1.400	352.667	251.905	1.266
40	1.612	401.00	248.759	1.633	402.333	246.377	0.958
45	1.817	451.00	248.211	1.800	454.500	252.200	1.607
50	2.023	503.00	248.641	2.033	504.833	248.319	0.130
55	2.230	554.00	248.430	2.267	555.000	244.817	1.454
60	2.436	605.00	248.358	2.467	604.833	245.169	1.284
65	2.644	656.25	248.203	2.633	655.333	248.892	0.276
70	2.851	707.50	248.159	2.867	710.000	247.646	0.207
75	3.059	758.75	248.039	3.033	760.667	250.797	1.112
80	3.267	810.00	247.933	3.267	814.467	249.301	0.552

สามารถนำค่าจากตารางที่ 4.3 และ ตารางที่ 4.5 แสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าจากตารางอ้างอิงกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากวงจรขยายที่อุณหภูมิต่างๆ ดังรูปที่ 4.9 และ 4.10



รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบค่าแรงดันจากรางอ้างอิงกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้  
จากวงจรขยายที่อุณหภูมิต่างๆ ของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J



รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบค่าแรงดันจากรางอ้างอิงกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้  
จากวงจรขยายที่อุณหภูมิต่างๆ ของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 ผลการทำงานของ การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K และ Type J

เมื่อทำการขยายแรงดันแล้ว ทำการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล แสดงดังตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8 ดังนี้

ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟตรง บิตดิจิทัลขนาด 8 บิต และองศาเซลเซียส ของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J

องศาเซลเซียส (°C)	แรงดัน input (mV)	Binary 8 bit
0.0	3.100	00000001
0.5	7.995	00000010
1.0	12.890	00000011
1.5	17.785	00000100
2.0	22.680	00000110
2.5	27.575	00000111
3.0	32.470	00001000
3.5	37.365	00001001
4.0	42.260	00001011
4.5	47.155	00001100
5.0	52.050	00001101
5.5	56.945	00001110
6.0	61.840	00010000
6.5	66.735	00010001
7.0	71.630	00010010
7.5	76.525	00010011
8.0	81.420	00010101

ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟตรง บิตดิจิทัลขนาด 8 บิต  
และองศาเซลเซียส ของเทอร์โมคัปเปิล Type J (ต่อ)

องศาเซลเซียส (°C)	แรงดัน input (mV)	Binary 8 bit
9.0	91.21	00010111
9.5	96.11	00011001
10.0	101.00	00011010
10.5	105.00	00011011
11.0	110.00	00011100
11.5	115.00	00011101
12.0	120.00	00011111
12.5	125.00	00100000
13.0	130.00	00100001
13.5	135.00	00100010
14.0	140.00	00100100
14.5	145.00	00100101
15.0	150.00	00100110
15.5	155.00	00101000
16.0	160.00	00101001
16.5	165.00	00101010
17.0	170.00	00101011
17.5	175.00	00101101
18.0	180.00	00101110
18.5	185.00	00101111
19.0	190.00	00110000
19.5	195.00	00110010
20.0	200.00	00110011
20.5	205.00	00110100
21.0	210.00	00110110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟตรง บิตดิจิตอลขนาด 8 บิต  
และองศาเซลเซียส ของเทอร์โมคัปเปิล Type J (ต่อ)

องศาเซลเซียส (°C)	แรงดัน input (mV)	Binary 8 bit
21.5	215.00	00110111
22.0	220.00	00111000
22.5	225.00	00111001
23.0	230.00	00111011
23.5	235.00	00111100
24.0	240.00	00111101
24.5	245.00	00111110
25.0	250.00	01000000
25.5	255.00	01000001
26.0	260.00	01000010
26.5	265.00	01000100
27.0	270.00	01000101
27.5	275.00	01000110
28.0	280.00	01000111
28.5	285.00	01001001
29.0	290.00	01001010
29.5	295.00	01001011
30.0	300.00	01001101
30.5	305.00	01001110
31.0	310.00	01001111
31.5	315.00	01010000
32.0	320.00	01010010
32.5	325.00	01010011
33.0	330.00	01010100
33.5	335.00	01010101

ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟตรง บิตดิจิทัลขนาด 8 บิต  
และองศาเซลเซียส ของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J (ต่อ)

องศาเซลเซียส (°C)	แรงดัน input (mV)	Binary 8 bit
34.0	340.00	01010111
34.5	345.00	01011000
35.0	350.00	01011001
35.5	355.00	01011011
36.0	360.00	01011100
36.5	365.00	01011101
37.0	370.00	01011110
37.5	375.00	01100000
38.0	380.00	01100001
38.5	385.00	01100010
39.0	390.00	01100011
39.5	395.00	01100101
40.0	400.00	01100110
40.5	406.10	01101000
41.0	411.20	01101001
41.5	416.30	01101010
42.0	421.40	01101011
42.5	426.00	01101101
43.0	430.60	01101110
43.5	435.70	01101111
44.0	440.80	01110000
44.5	445.75	01110010
45.0	451.00	01110011
45.5	456.10	01110100
46.0	461.20	01110110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟตรง บิตดิจิทัลขนาด 8 บิต และองศาเซลเซียส ของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J (ต่อ)

องศาเซลเซียส (°C)	แรงดัน input (mV)	Binary 8 bit
46.5	466.30	01110111
47.0	471.40	01111000
47.5	476.50	01111010
48.0	481.60	01111011
48.5	486.70	01111100
49.0	491.80	01111101
49.5	497.40	01111111
50.0	503.00	10000000
50.5	508.10	10000010
51.0	513.20	10000011
51.5	518.30	10000100
52.0	523.40	10000101
52.5	528.50	10000111
53.0	533.60	10001000
53.5	538.70	10001001
54.0	543.80	10001011
54.5	548.90	10001100
55.0	554.00	10001101
55.5	559.10	10001111
56.0	564.20	10010000
56.5	567.80	10010001
57.0	574.40	10010010
57.5	579.50	10010100
58.0	585.60	10010101
58.5	589.55	10010110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟตรง บิตดิจิตอลขนาด 8 บิต  
และองศาเซลเซียส ของเทอร์โมคัปเปิล Type J (ต่อ)

องศาเซลเซียส (°C)	แรงดัน input (mV)	Binary 8 bit
59.0	594.80	10011000
59.5	599.90	10011001
60.0	605.00	10011010
60.5	610.13	10011100
61.0	616.35	10011101
61.5	621.18	10011110
62.0	626.70	10100000
62.5	631.88	10100001
63.0	637.05	10100010
63.5	642.28	10100100
64.0	647.40	10100101
64.5	652.58	10100110
65.0	657.75	10101000
65.5	662.93	10101001
66.0	668.10	10101010
66.5	673.28	10101100
67.0	678.45	10101101
67.5	683.63	10101110
68.0	688.80	10110000
68.5	693.98	10110001
69.0	699.15	10110010
69.5	704.33	10110100
70.0	709.50	10110101
70.5	714.68	10110110
71.0	719.85	10111000

ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟตรง บิตดิจิทัลขนาด 8 บิต และองศาเซลเซียส ของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J (ต่อ)

องศาเซลเซียส (°C)	แรงดัน input (mV)	Binary 8 bit
71.5	725.03	10111001
72.0	730.20	10111010
72.5	735.38	10111100
73.0	740.55	10111101
73.5	745.73	10111110
74.0	750.90	10111111
74.5	756.08	11000001
75.0	761.25	11000010
75.5	766.43	11000011
76.0	771.60	11000101
76.5	776.78	11000110
77.0	781.95	11000111
77.5	787.13	11001001
78.0	792.30	11001010
78.5	797.48	11001011
79.0	802.65	11001101
79.5	807.83	11001110
80.0	813.00	11001111

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟตรง บิตดิจิทัลขนาด 8 บิต และองศาเซลเซียส ของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K

องศาเซลเซียส (°C)	แรงดัน input (mV)	Binary 8 bit
0.0	2.700	00000001
0.5	7.615	00000010
1.0	12.530	00000011

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟตรง บิตดิจิทัลขนาด 8 บิต  
และองศาเซลเซียส ของเทอร์โมคัปเปิล Type K (ต่อ)

องศาเซลเซียส (°C)	แรงดัน input (mV)	Binary 8 bit
1.5	17.445	00000100
2.0	22.360	00000110
2.5	27.275	00000111
3.0	32.190	00001000
3.5	37.105	00001001
4.0	42.020	00001011
4.5	46.935	00001100
5.0	51.850	00001101
5.5	56.765	00001110
6.0	61.680	00010000
6.5	66.595	00010001
7.0	71.510	00010010
7.5	76.425	00010011
8.0	81.340	00010101
8.5	86.255	00010110
9.0	91.170	00010111
9.5	96.085	00011001
10.0	101.000	00011010
10.5	105.000	00011011
11.0	110.000	00011100
11.5	115.000	00011101
12.0	120.000	00011111
12.5	125.000	00100000
13.0	130.000	00100001
13.5	135.000	00100010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟตรง บิตดิจิตอลขนาด 8 บิต  
และองศาเซลเซียส ของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K (ต่อ)

องศาเซลเซียส (°C)	แรงดัน input (mV)	Binary 8 bit
14.0	140.000	00100100
14.5	145.000	00100101
15.0	150.000	00100110
15.5	155.000	00101000
16.0	160.000	00101001
16.5	165.000	00101010
17.0	170.000	00101011
17.5	175.000	00101101
18.0	180.000	00101110
18.5	185.000	00101111
19.0	190.000	00110000
19.5	195.000	00110010
20.0	200.000	00110011
20.5	205.000	00110100
21.0	210.000	00110110
21.5	215.000	00110111
22.0	220.000	00111000
22.5	225.000	00111001
23.0	230.000	00111011
23.5	235.000	00111100
24.0	240.000	00111101
24.5	245.000	00111110
25.0	250.000	01000000
25.5	255.000	01000001
26.0	260.000	01000010

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟตรง บิตดิจิทัลขนาด 8 บิต และองศาเซลเซียส ของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K (ต่อ)

องศาเซลเซียส (°C)	แรงดัน input (mV)	Binary 8 bit
26.5	265.000	01000100
27.0	270.000	01000101
27.5	275.000	01000110
28.0	280.000	01000111
28.5	285.000	01001001
29.0	290.000	01001010
29.5	295.000	01001011
30.0	300.000	01001101
30.5	305.000	01001110
31.0	310.000	01001111
31.5	315.000	01010000
32.0	320.000	01010010
32.5	325.000	01010011
33.0	330.000	01010100
33.5	335.000	01010101
34.0	340.000	01010111
34.5	345.000	01011000
35.0	350.000	01011001
35.5	355.000	01011011
36.0	360.000	01011100
36.5	365.000	01011101
37.0	370.000	01011110
37.5	375.000	01100000
38.0	380.000	01100001
38.5	385.000	01100010

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟตรง บิตดิจิทัลขนาด 8 บิต และองศาเซลเซียส ของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K (ต่อ)

องศาเซลเซียส (°C)	แรงดัน input (mV)	Binary 8 bit
39.0	390.000	01100011
39.5	395.000	01100101
40.0	400.000	01100110
40.5	406.100	01101000
41.0	411.200	01101001
41.5	416.300	01101010
42.0	421.400	01101011
42.5	426.000	01101101
43.0	430.600	01101110
43.5	435.700	01101111
44.0	440.800	01110000
44.5	445.750	01110010
45.0	451.000	01110011
45.5	456.100	01110100
46.0	461.200	01110110
46.5	466.300	01110111
47.0	471.400	01111000
47.5	476.500	01111010
48.0	481.600	01111011
48.5	486.700	01111100
49.0	491.800	01111101
49.5	497.400	01111111
50.0	503.000	10000000
50.5	508.100	10000010
51.0	513.200	10000011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟตรง บิตดิจิทัลขนาด 8 บิต  
และองศาเซลเซียส ของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K (ต่อ)

องศาเซลเซียส (°C)	แรงดัน input (mV)	Binary 8 bit
51.5	518.300	10000100
52.0	523.400	10000101
52.5	528.500	10000111
53.0	533.600	10001000
53.5	538.700	10001001
54.0	543.800	10001011
54.5	548.900	10001100
55.0	554.000	10001101
55.5	559.100	10001111
56.0	564.200	10010000
56.5	567.800	10010001
57.0	574.400	10010010
57.5	579.500	10010100
58.0	585.600	10010101
58.5	589.550	10010110
59.0	594.800	10011000
59.5	599.900	10011001
60.0	605.000	10011010
60.5	610.125	10011100
61.0	615.250	10011101
61.5	620.375	10011110
62.0	625.500	10100000
62.5	630.610	10100001
63.0	635.750	10100010
63.5	640.875	10100011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟตรง บิตดิจิทัลขนาด 8 บิต และองศาเซลเซียส ของเทอร์โมคัปเปิล Type K (ต่อ)

องศาเซลเซียส (°C)	แรงดัน input (mV)	Binary 8 bit
64.0	646.000	10100101
64.5	651.125	10100110
65.0	656.250	10100111
65.5	661.375	10101001
66.0	666.500	10101010
66.5	671.625	10101011
67.0	676.750	10101101
67.5	681.875	10101110
68.0	687.000	10101111
68.5	692.125	10110000
69.0	697.250	10110010
69.5	702.375	10110011
70.0	707.500	10110100
70.5	712.125	10110110
71.0	717.750	10110111
71.5	722.875	10111000
72.0	728.000	10111010
72.5	733.125	10111011
73.0	738.250	10111100
73.5	741.875	10111101
74.0	748.500	10111111
74.5	753.625	11000000
75.0	758.750	11000001
75.5	762.375	11000010
76.0	769.000	11000100

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟตรง บิตดิจิทัลขนาด 8 บิต และองศาเซลเซียส ของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K (ต่อ)

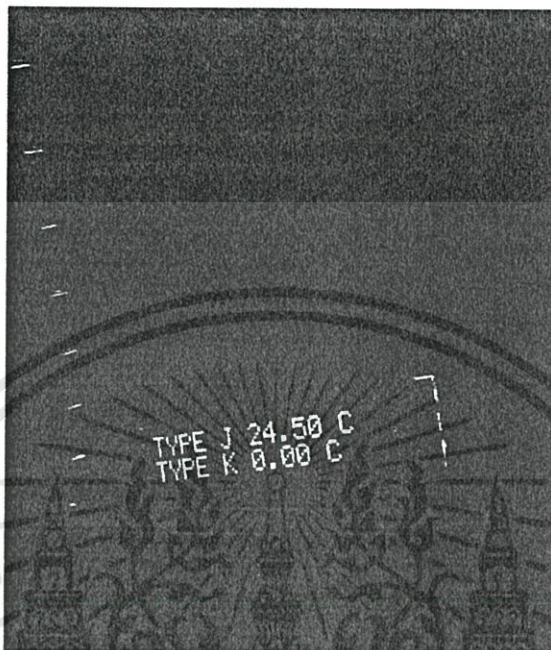
องศาเซลเซียส (°C)	แรงดัน input (mV)	Binary 8 bit
76.5	774.000	11000101
77.0	779.250	11000111
77.5	784.250	11001000
78.0	789.500	11001001
78.5	794.625	11001011
79.0	799.750	11001100
79.5	804.875	11001101
80.0	810.000	11001111

#### 4.6 การแสดงผลอุณหภูมิผ่านจอ LCD

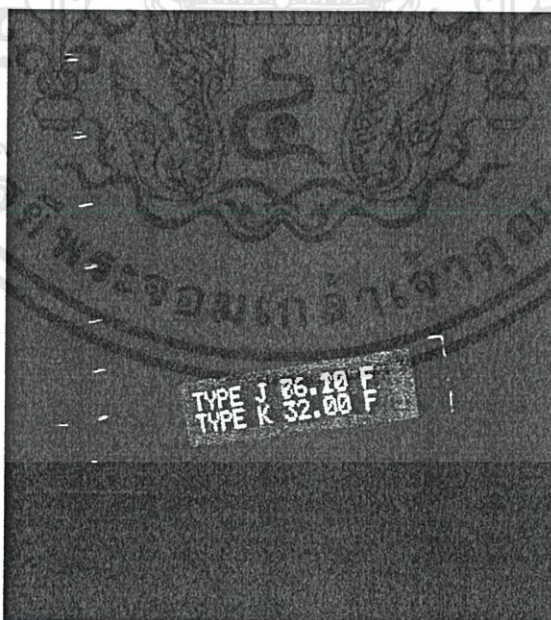
ทำการวัดผลอุณหภูมิเพื่อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดอุณหภูมิอ้างอิงรุ่น SL305 Digital Thermometer กับเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น

##### 4.6.1 ผลอุณหภูมิเมื่อใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล Type J

หน่วยองศาเซลเซียส (°C) ดังรูปที่ 4.11 หน่วยองศาฟาเรนไฮต์ (F) ดังรูปที่ 4.12 และหน่วยเคลวิน (K) ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.11 ผลการวัดอุณหภูมิเมื่อเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J หน่วยองศาเซลเซียส (°C)



รูปที่ 4.12 ผลการวัดอุณหภูมิเมื่อเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J หน่วยองศาฟาเรนไฮต์ (F)

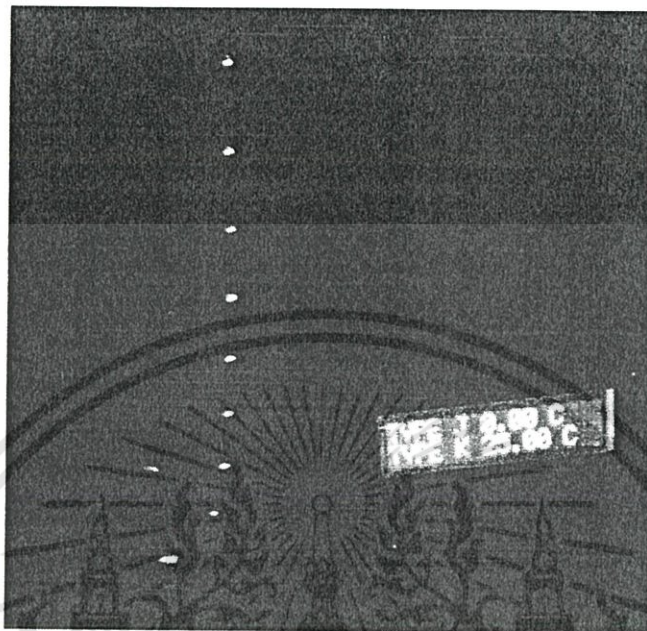
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



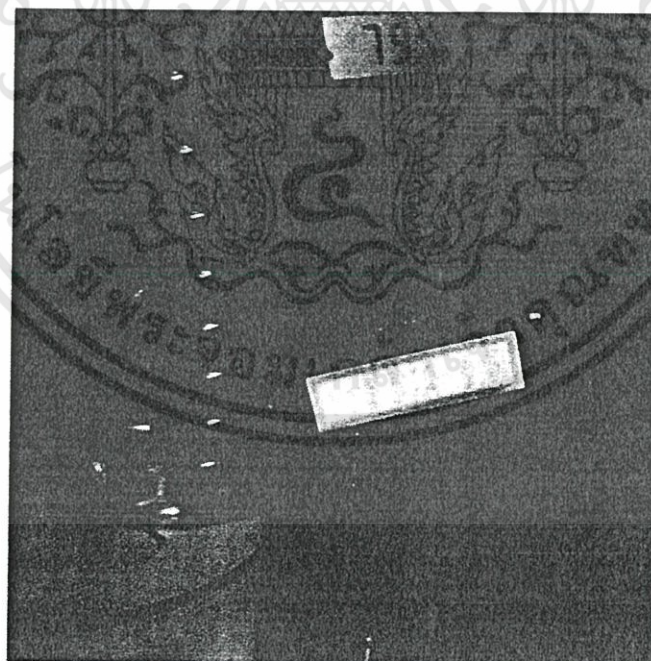
รูปที่ 4.13 ผลการวัดอุณหภูมิเมื่อเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J หน่วยเคลวิน (K)

4.6.2 แสดงผลอุณหภูมิเมื่อใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล Type K

หน่วยองศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) ดังรูปที่ 4.14 หน่วยองศาฟาเรนไฮต์ (F) ดังรูปที่ 4.15 และหน่วยเคลวิน (K) ดังรูปที่ 4.16

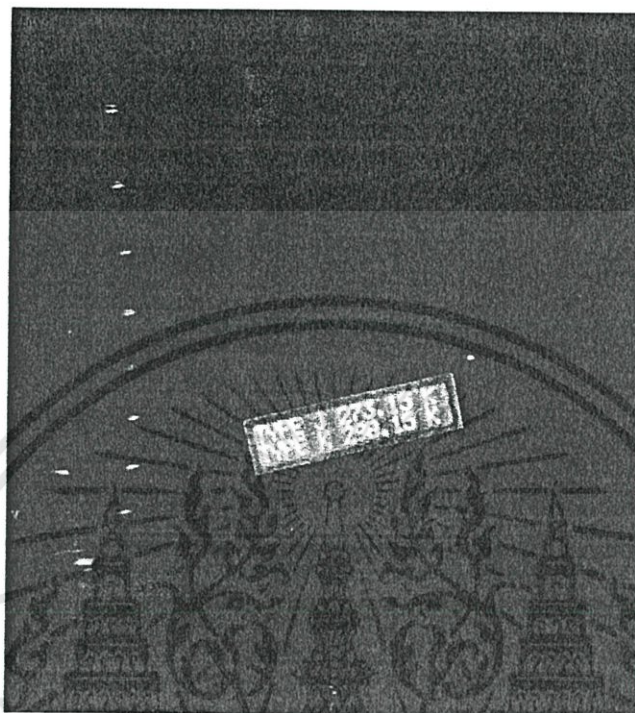


รูปที่ 4.14 ผลการวัดอุณหภูมิเมื่อเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K หน่วยองศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ )



รูปที่ 4.15 ผลการวัดอุณหภูมิเมื่อเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K หน่วยองศาฟาเรนไฮต์ (F)

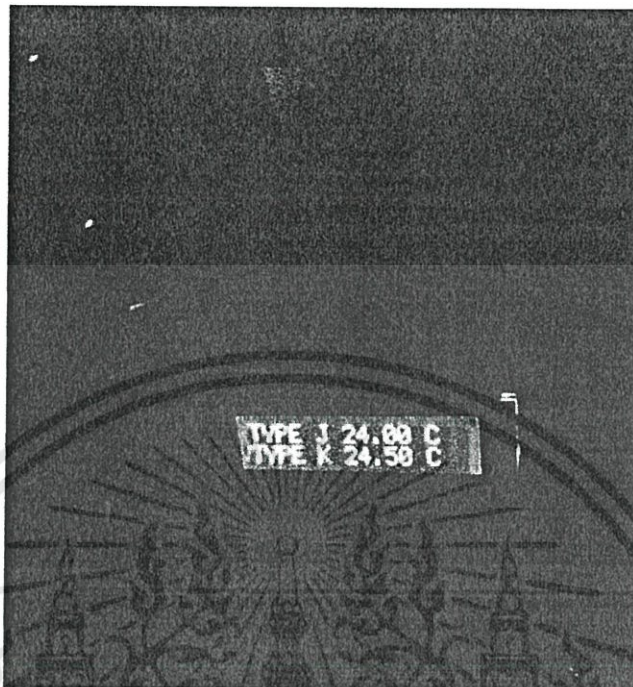
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



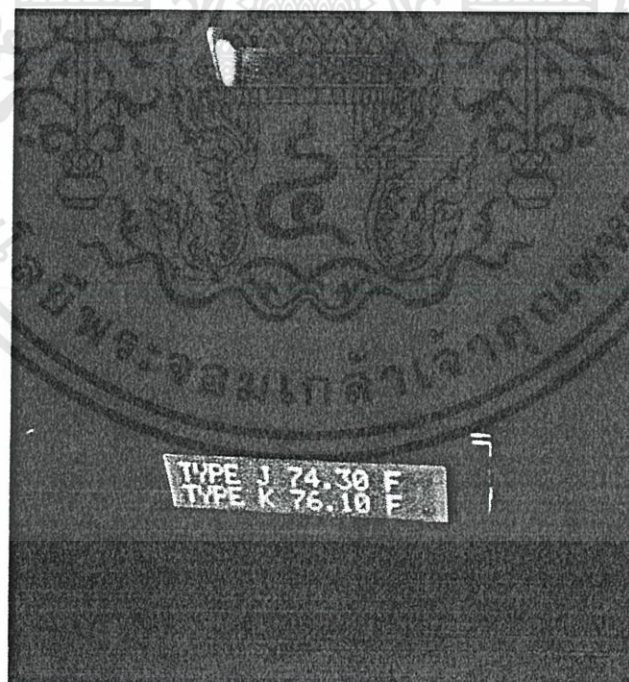
รูปที่ 4.16 ผลการวัดอุณหภูมิเมื่อเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K หน่วยเคลวิน (K)

4.6.3 ผลอุณหภูมิเมื่อใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล Type K และ Type J

หน่วยองศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) ดังรูปที่ 4.17 หน่วยองศาฟาเรนไฮต์ (F) ดังรูปที่ 4.18 และหน่วยเคลวิน (K) ดังรูปที่ 4.19

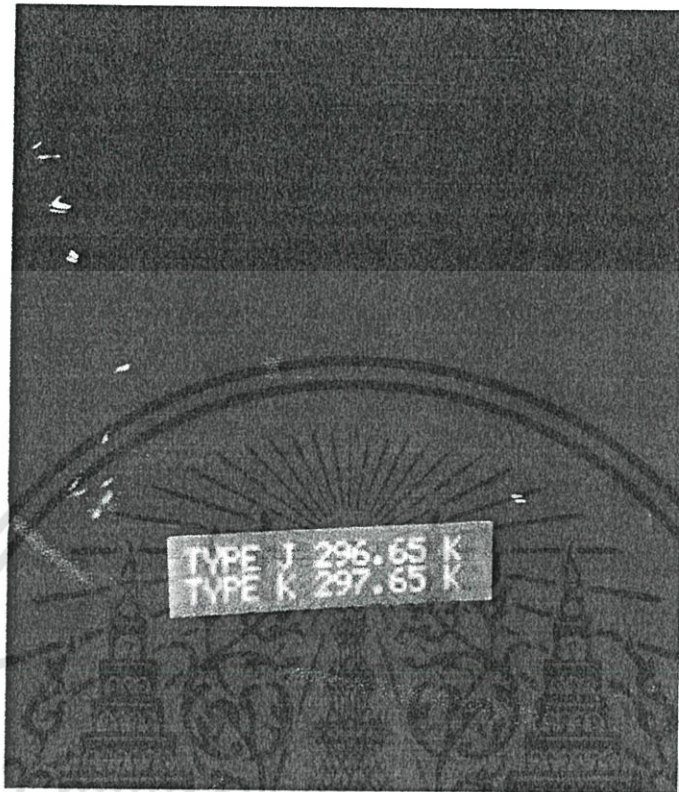


รูปที่ 4.17 ผลอุณหภูมิเมื่อใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล Type K และ Type J หน่วยองศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ )



รูปที่ 4.18 ผลอุณหภูมิเมื่อใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล Type K และ Type J หน่วยองศาฟาเรนไฮต์ (F)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 ผลอุณหภูมิเมื่อใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล Type K และ Type J หน่วยเคลวิน (K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

การออกแบบเครื่องวัดอุณหภูมินี้ออกแบบเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้สะดวก เพราะสามารถอ่านค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมคัปเปิ้ลได้พร้อมกันทั้งสองชนิด รวมทั้งสามารถแปลงค่าหน่วยอุณหภูมิจากองศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) เป็นฟาเรนไฮต์ (F) และเคลวิน (K) ได้ เมื่อเปรียบเทียบผลการวัดอุณหภูมิกับเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นพบว่าอุณหภูมิที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนไปจากเครื่องวัดอุณหภูมิอ้างอิงรุ่น SL305 Digital Thermometer  $0.1-1^{\circ}\text{C}$  สำหรับเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K และ  $0.1-0.5^{\circ}\text{C}$  สำหรับเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด J

ดังนั้น การนำเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด J และชนิด K ไปประยุกต์ใช้ ในการสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ลนี้ก่อให้เกิดประสิทธิภาพและเป็นประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี เพราะ อุณหภูมิเป็นตัวแปรสำคัญทางอุตสาหกรรม ที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ถ้าอุณหภูมิไม่เหมาะสมกับกระบวนการผลิต อาจทำให้เกิดความเสียหายได้ เราจึงสามารถใช้เครื่องวัดอุณหภูมินี้ เพื่อแสดงค่าอุณหภูมิที่ถูกต้อง

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากปัญญานิพนธ์เครื่องวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ลนี้ สามารถออกแบบในส่วนของวงจรขยายแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด J และชนิด K ได้หลายวิธีตามต้องการ และในส่วนของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลสามารถใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมได้ เพื่อให้วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลของเครื่องนี้มีขนาดมากกว่า 8 บิตได้

## บรรณานุกรม

- [1] Alan S. Morris. (2001). *Measurement and Instrumentation Principles*. Great Britain: plantatree.
- [2] THERMOCOUPLE. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:  
<http://www.mechashop.com/store/product/เทอร์โมคัปเปิล-1875010-th.html>  
(วันที่ค้น ข้อมูล: 14 กรกฎาคม 2556).
- [3] THERMOCOUPLE. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:  
<http://www.engtemp.com/articles/34-temperature-sensor/48-thermocouple> (วันที่ค้นข้อมูล: 14 กรกฎาคม 2556).
- [4] AD594AQ AD595AQ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:  
[http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD594\\_595.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD594_595.pdf)  
(วันที่ค้นข้อมูล: 4 สิงหาคม 2556).
- [5] ADC0804. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:  
<http://www.ece.rochester.edu/courses/ECE216/ADC0804LCN.pdf> (วันที่ค้นข้อมูล: 10 สิงหาคม 2556).
- [6] THERMOCOUPLE. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:  
<http://www.reotemp.com/thermocoupleinfo/thermocouple-types.html>  
(วันที่ค้นข้อมูล: 10 สิงหาคม 2556).
- [7] ไมโครคอนโทรลเลอร์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:  
<http://banlinhkien.vn/goods-1544-pic18f4620-i-p-dip40.html> (วันที่ค้นข้อมูล: 1 ธันวาคม 2556).
- [8] PIC18F4620. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39626b.pdf> (วันที่ค้นข้อมูล: 1 ธันวาคม 2556).
- [9] LCD. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:  
<http://www.thaimicrotron.com/Reference/LCD/LCD-Module1.html> (วันที่ค้นข้อมูล: 17 ธันวาคม 2556).

- [10] ประภาพร ช่างไม้. คู่มือเขียนโปรแกรมภาษา C ฉบับผู้เริ่มต้น. พิมพ์ครั้งที่1. นนทบุรี : ไอดีซี อินโฟ ดิสทริบิวเตอร์ เซ็นเตอร์ จำกัด, 2551.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

ตารางอ้างอิงของเทอร์โมคัปเปิ้ล Type J และ เทอร์โมคัปเปิ้ล Type K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

°C	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
<b>Thermoelectric Voltage in mV</b>											
0	0.000	0.050	0.101	0.151	0.202	0.253	0.303	0.354	0.405	0.456	0.507
10	0.507	0.558	0.609	0.660	0.711	0.762	0.814	0.865	0.916	0.968	1.019
20	1.019	1.071	1.122	1.174	1.226	1.277	1.329	1.381	1.433	1.485	1.537
30	1.537	1.589	1.641	1.693	1.745	1.797	1.849	1.902	1.954	2.006	2.059
40	2.059	2.111	2.164	2.216	2.269	2.322	2.374	2.427	2.480	2.532	2.585
50	2.585	2.638	2.691	2.744	2.797	2.850	2.903	2.956	3.009	3.062	3.116
60	3.116	3.169	3.222	3.275	3.329	3.382	3.436	3.489	3.543	3.596	3.650
70	3.650	3.703	3.757	3.810	3.864	3.918	3.971	4.025	4.079	4.133	4.187
80	4.187	4.240	4.294	4.348	4.402	4.456	4.510	4.564	4.618	4.672	4.726
90	4.726	4.781	4.835	4.889	4.943	4.997	5.052	5.106	5.160	5.215	5.269
100	5.269	5.323	5.378	5.432	5.487	5.541	5.595	5.650	5.705	5.759	5.814
110	5.814	5.868	5.923	5.977	6.032	6.087	6.141	6.196	6.251	6.306	6.360
120	6.360	6.415	6.470	6.525	6.579	6.634	6.689	6.744	6.799	6.854	6.909
130	6.909	6.964	7.019	7.074	7.129	7.184	7.239	7.294	7.349	7.404	7.459
140	7.459	7.514	7.569	7.624	7.679	7.734	7.789	7.844	7.900	7.955	8.010
150	8.010	8.065	8.120	8.175	8.231	8.286	8.341	8.396	8.452	8.507	8.562
160	8.562	8.618	8.673	8.728	8.783	8.839	8.894	8.949	9.005	9.060	9.115
170	9.115	9.171	9.226	9.282	9.337	9.392	9.448	9.503	9.559	9.614	9.669
180	9.669	9.725	9.780	9.836	9.891	9.947	10.002	10.057	10.113	10.168	10.224
190	10.224	10.279	10.335	10.390	10.446	10.501	10.557	10.612	10.668	10.723	10.779
200	10.779	10.834	10.890	10.945	11.001	11.056	11.112	11.167	11.223	11.278	11.334
210	11.334	11.389	11.445	11.501	11.556	11.612	11.667	11.723	11.778	11.834	11.889
220	11.889	11.945	12.000	12.056	12.111	12.167	12.222	12.278	12.334	12.389	12.445
230	12.445	12.500	12.556	12.611	12.667	12.722	12.778	12.833	12.889	12.944	13.000
240	13.000	13.056	13.111	13.167	13.222	13.278	13.333	13.389	13.444	13.500	13.555
250	13.555	13.611	13.666	13.722	13.777	13.833	13.888	13.944	13.999	14.055	14.110
260	14.110	14.166	14.221	14.277	14.332	14.388	14.443	14.499	14.554	14.609	14.665
270	14.665	14.720	14.776	14.831	14.887	14.942	14.998	15.053	15.109	15.164	15.219
280	15.219	15.275	15.330	15.386	15.441	15.496	15.552	15.607	15.663	15.718	15.773
290	15.773	15.829	15.884	15.940	15.995	16.050	16.106	16.161	16.216	16.272	16.327
300	16.327	16.383	16.438	16.493	16.549	16.604	16.659	16.715	16.770	16.825	16.881
310	16.881	16.936	16.991	17.046	17.102	17.157	17.212	17.268	17.323	17.378	17.434
320	17.434	17.489	17.544	17.599	17.655	17.710	17.765	17.820	17.876	17.931	17.986
330	17.986	18.041	18.097	18.152	18.207	18.262	18.318	18.373	18.428	18.483	18.538
340	18.538	18.594	18.649	18.704	18.759	18.814	18.870	18.925	18.980	19.035	19.090
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**K**

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Thermoelectric Voltage in mV</b>											
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	0.397
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758	0.798
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.163	1.203
30	1.203	1.244	1.285	1.326	1.366	1.407	1.448	1.489	1.530	1.571	1.612
40	1.612	1.653	1.694	1.735	1.776	1.817	1.858	1.899	1.941	1.982	2.023
50	2.023	2.064	2.106	2.147	2.188	2.230	2.271	2.312	2.354	2.395	2.436
60	2.436	2.478	2.519	2.561	2.602	2.644	2.685	2.727	2.768	2.810	2.851
70	2.851	2.893	2.934	2.976	3.017	3.059	3.100	3.142	3.184	3.225	3.267
80	3.267	3.308	3.350	3.391	3.433	3.474	3.516	3.557	3.599	3.640	3.682
90	3.682	3.723	3.765	3.806	3.848	3.889	3.931	3.972	4.013	4.055	4.096
100	4.096	4.138	4.179	4.220	4.262	4.303	4.344	4.385	4.427	4.468	4.509
110	4.509	4.550	4.591	4.633	4.674	4.715	4.756	4.797	4.838	4.879	4.920
120	4.920	4.961	5.002	5.043	5.084	5.124	5.165	5.206	5.247	5.288	5.328
130	5.328	5.369	5.410	5.450	5.491	5.532	5.572	5.613	5.653	5.694	5.735
140	5.735	5.775	5.815	5.856	5.896	5.937	5.977	6.017	6.058	6.098	6.138
150	6.138	6.179	6.219	6.259	6.299	6.339	6.380	6.420	6.460	6.500	6.540
160	6.540	6.580	6.620	6.660	6.701	6.741	6.781	6.821	6.861	6.901	6.941
170	6.941	6.981	7.021	7.060	7.100	7.140	7.180	7.220	7.260	7.300	7.340
180	7.340	7.380	7.420	7.460	7.500	7.540	7.579	7.619	7.659	7.699	7.739
190	7.739	7.779	7.819	7.859	7.899	7.939	7.979	8.019	8.059	8.099	8.138
200	8.138	8.178	8.218	8.258	8.298	8.338	8.378	8.418	8.458	8.499	8.539
210	8.539	8.579	8.619	8.659	8.699	8.739	8.779	8.819	8.860	8.900	8.940
220	8.940	8.980	9.020	9.061	9.101	9.141	9.181	9.222	9.262	9.302	9.343
230	9.343	9.383	9.423	9.464	9.504	9.545	9.585	9.626	9.666	9.707	9.747
240	9.747	9.788	9.828	9.869	9.909	9.950	9.991	10.031	10.072	10.113	10.153
250	10.153	10.194	10.235	10.276	10.316	10.357	10.398	10.439	10.480	10.520	10.561
260	10.561	10.602	10.643	10.684	10.725	10.766	10.807	10.848	10.889	10.930	10.971
270	10.971	11.012	11.053	11.094	11.135	11.176	11.217	11.259	11.300	11.341	11.382
280	11.382	11.423	11.465	11.506	11.547	11.588	11.630	11.671	11.712	11.753	11.795
290	11.795	11.836	11.877	11.919	11.960	12.001	12.043	12.084	12.126	12.167	12.209
300	12.209	12.250	12.291	12.333	12.374	12.416	12.457	12.499	12.540	12.582	12.624
310	12.624	12.665	12.707	12.748	12.790	12.831	12.873	12.915	12.956	12.998	13.040
320	13.040	13.081	13.123	13.165	13.206	13.248	13.290	13.331	13.373	13.415	13.457
330	13.457	13.498	13.540	13.582	13.624	13.665	13.707	13.749	13.791	13.833	13.874
340	13.874	13.916	13.958	14.000	14.042	14.084	14.126	14.167	14.209	14.251	14.293
350	14.293	14.335	14.377	14.419	14.461	14.503	14.545	14.587	14.629	14.671	14.713
360	14.713	14.755	14.797	14.839	14.881	14.923	14.965	15.007	15.049	15.091	15.133
370	15.133	15.175	15.217	15.259	15.301	15.343	15.385	15.427	15.469	15.511	15.554
380	15.554	15.596	15.638	15.680	15.722	15.764	15.806	15.849	15.891	15.933	15.975
390	15.975	16.017	16.059	16.102	16.144	16.186	16.228	16.270	16.313	16.355	16.397
400	16.397	16.439	16.482	16.524	16.566	16.608	16.651	16.693	16.735	16.778	16.820
410	16.820	16.862	16.904	16.947	16.989	17.031	17.074	17.116	17.158	17.201	17.243
420	17.243	17.285	17.328	17.370	17.413	17.455	17.497	17.540	17.582	17.624	17.667
430	17.667	17.709	17.752	17.794	17.837	17.879	17.921	17.964	18.006	18.049	18.091
440	18.091	18.134	18.176	18.218	18.261	18.303	18.346	18.388	18.431	18.473	18.516

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <18f4620.h>
#include <math.h>
#fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP
#use delay(clock=20000000)
#include <lcd.c>
unsigned int getposition(unsigned char *arr,unsigned int size, char c);
int i=0;
float Temperature[207] = {0,0.5,1,1.5,1.5,2,2.5,3,3.5,3.5
,4,4.5,5,5.5,5.5,6,6.5,7,7.5,7.5
,8,8.5,9,9,9.5,10,10.5,11,11.5,11.5
,12,12.5,13,13.5,13.5,14,14.5,15,15,15.5
,16,16.5,17,17,17.5,18,18.5,19,19,19.5
,20,20.5,20.5,21,21.5,22,22.5,22.5,23,23.5
,24,24.5,24.5,25,25.5,26,26,26.5,27,27.5
,28,28,28.5,29,29.5,29.5,30,30.5,31,31.5
,31.5,32,32.5,33,33.5,33.5,34,34.5,35,35
,35.5,36,36.5,37,37,37.5,38,38.5,39,39
,39.5,40,40,40.5,41,41.5,42,42,42.5,43
,43.5,44,44,44.5,45,45.5,45.5,46,46.5,47
,47,47.5,48,48.5,49,49,49.5,50,50,50.5
,51,51.5,52,52,52.5,53,53.5,53.5,54,54.5
,55,55,55.5,56,56.5,57,57,57.5,58,58.5
,58.5,59,59.5,60,60,60.5,61,61.5,61.5,62
,62.5,63,63,63.5,64,64.5,64.5,65,65,65.5
,66,66.5,67,67.5,67.5,68,68.5,69,69,69.5
,70,70.5,70.5,71,71.5,72,72.5,72.5,73,73.5
,74,74,74.5,75,75.5,76,76,76.5,77,77.5
,78,78,78.5,79,79,79.5,80};

unsigned char binTempK[207] = {0x01,0x02,0x03,0x04,0x05,0x06,0x07,0x08,0x09
,0x0a,0x0b,0x0c,0x0d,0x0e,0x0f,0x10,0x11,0x12,0x13
,0x14,0x15,0x16,0x17,0x18,0x19,0x1a,0x1b,0x1c,0x1d
,0x1e,0x1f,0x20,0x21,0x22,0x23,0x24,0x25,0x26,0x27
,0x28,0x29,0x2a,0x2b,0x2c,0x2d,0x2e,0x2f,0x30,0x31

```

```
,0x32,0x33,0x34,0x35,0x36,0x37,0x38,0x39,0x3a,0x3b
,0x3c,0x3d,0x3e,0x3f,0x40,0x41,0x42,0x43,0x44,0x45
,0x46,0x47,0x48,0x49,0x4a,0x4b,0x4c,0x4d,0x4e,0x4f
,0x50,0x51,0x52,0x53,0x54,0x55,0x56,0x57,0x58,0x59
,0x5a,0x5b,0x5c,0x5d,0x5e,0x5f,0x60,0x61,0x62,0x63
,0x64,0x65,0x66,0x67,0x68,0x69,0x6a,0x6b,0x6c,0x6d
,0x6e,0x6f,0x70,0x71,0x72,0x73,0x74,0x75,0x76,0x77
,0x78,0x79,0x7a,0x7b,0x7c,0x7d,0x7e,0x7f,0x80,0x81
,0x82,0x83,0x84,0x85,0x86,0x87,0x88,0x89,0x8a,0x8b
,0x8c,0x8d,0x8e,0x8f,0x90,0x91,0x92,0x93,0x94,0x95
,0x96,0x97,0x98,0x99,0x9a,0x9b,0x9c,0x9d,0x9e,0x9f
,0xa0,0xa1,0xa2,0xa3,0xa4,0xa5,0xa6,0xa7,0xa8,0xa9
,0xaa,0xab,0xac,0xad,0xae,0xaf,0xb0,0xb1,0xb2,0xb3
,0xb4,0xb5,0xb6,0xb7,0xb8,0xb9,0xba,0xbb,0xbc,0xbd
,0xbe,0xbf,0xc0,0xc1,0xc2,0xc3,0xc4,0xc5,0xc6,0xc7
,0xc8,0xc9,0xca,0xcb,0xcc,0xcd,0xce,0xcf};
```

```
unsigned char binTempJ[207] = {0x01,0x02,0x03,0x04,0x05,0x06,0x07,0x08,0x09
,0x0a,0x0b,0x0c,0x0d,0x0e,0x0f,0x10,0x11,0x12,0x13
,0x14,0x15,0x16,0x17,0x18,0x19,0x1a,0x1b,0x1c,0x1d
,0x1e,0x1f,0x20,0x21,0x22,0x23,0x24,0x25,0x26,0x27
,0x28,0x29,0x2a,0x2b,0x2c,0x2d,0x2e,0x2f,0x30,0x31
,0x32,0x33,0x34,0x35,0x36,0x37,0x38,0x39,0x3a,0x3b
,0x3c,0x3d,0x3e,0x3f,0x40,0x41,0x42,0x43,0x44,0x45
,0x46,0x47,0x48,0x49,0x4a,0x4b,0x4c,0x4d,0x4e,0x4f
,0x50,0x51,0x52,0x53,0x54,0x55,0x56,0x57,0x58,0x59
,0x5a,0x5b,0x5c,0x5d,0x5e,0x5f,0x60,0x61,0x62,0x63
,0x64,0x65,0x66,0x67,0x68,0x69,0x6a,0x6b,0x6c,0x6d
,0x6e,0x6f,0x70,0x71,0x72,0x73,0x74,0x75,0x76,0x77
,0x78,0x79,0x7a,0x7b,0x7c,0x7d,0x7e,0x7f,0x80,0x81
,0x82,0x83,0x84,0x85,0x86,0x87,0x88,0x89,0x8a,0x8b
,0x8c,0x8d,0x8e,0x8f,0x90,0x91,0x92,0x93,0x94,0x95
,0x96,0x97,0x98,0x99,0x9a,0x9b,0x9c,0x9d,0x9e,0x9f
,0xa0,0xa1,0xa2,0xa3,0xa4,0xa5,0xa6,0xa7,0xa8,0xa9
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

,0xaa,0xab,0xac,0xad,0xae,0xaf,0xb0,0xb1,0xb2,0xb3
,0xb4,0xb5,0xb6,0xb7,0xb8,0xb9,0xba,0xbb,0xbc,0xbd
,0xbe,0xbf,0xc0,0xc1,0xc2,0xc3,0xc4,0xc5,0xc6,0xc7
,0xc8,0xc9,0xca,0xcb,0xcc,0xcd,0xce,0xcf};

void main(void)
{
float Temp_k=-1,Temp_kF=-1,Temp_kK=-1,Temp_j=-1,Temp_jF=-1,Temp_jK=-1;
lcd_init();
set_tris_a(0b11111100);
set_tris_b(0xFF);
set_tris_c(0xFF);
output_b(0x00);
output_c(0x00);
int16 value_k,value_j;
delay_us(10);
while(true)
{
output_a(0x00);
output_b(0x00);
output_c(0x00);
output_low(PIN_A0);
delay_ms(100);
output_high(PIN_A0);
Temp_j = Temperature [getposition(binTempJ,197,input_b())];
Temp_k = Temperature [getposition(binTempK,198,input_c())];
if (input(PIN_A2)==0 && input(PIN_A3)==0)
{
lcd_putc("\n");
lcd_gotoxy(3,1);
printf(lcd_putc,"Measuring by");
lcd_gotoxy(3,2);
printf(lcd_putc,"Thermocouple");
}
else if (input(PIN_A2)==1 && input(PIN_A3)==1)

```

```

{
  if((input(PIN_A4) ^ input(PIN_A5)==0))
  {
    lcd_putc("\n");
    lcd_gotoxy(1,1);
    printf(lcd_putc,"TYPE J %3.2f C",Temp_j);
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc,"TYPE K %3.2f C",Temp_k);
  }
  else if (input(PIN_A4)==1 && input(PIN_A5)==0)
  {
    Temp_jK=(Temp_j+(273.15));
    lcd_putc("\n");
    lcd_gotoxy(1,1);
    printf(lcd_putc,"TYPE J %3.2f K",Temp_jK);
    Temp_kK=(Temp_k+(273.15));
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc,"TYPE K %3.2f K",Temp_kK);
  }
  else if (input(PIN_A4)==0 && input(PIN_A5)==1)
  {
    Temp_jF=(Temp_j*(1.8))+32);
    lcd_putc("\n");
    lcd_gotoxy(1,1);
    printf(lcd_putc,"TYPE J %3.2f F",Temp_jF);
    Temp_kF=(Temp_k*(1.8))+32);
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc,"TYPE K %3.2f F",Temp_kF);
  }
}
}
delay_ms(1000);
}
}
unsigned int getposition(unsigned char *arr,unsigned int size, char c)

```

```
{  
  i = 0;  
  for (i = 0; i < size; i++)  
  {  
    if (arr[i] == c)  
      return i;  
  }  
  return -1;  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

รายละเอียดสำคัญของ AD594AQ AD595AQ ADC0804  
PIC 18F4620 และ 16 X 2 CHARACTER LCD

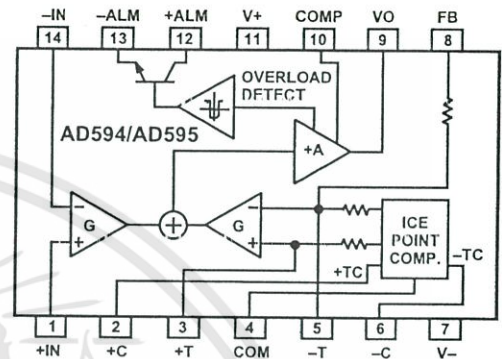
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## AD594/AD595

### FEATURES

Pretrimmed for Type J (AD594) or  
 Type K (AD595) Thermocouples  
 Can Be Used with Type T Thermocouple Inputs  
 Low Impedance Voltage Output: 10 mV/°C  
 Built-In Ice Point Compensation  
 Wide Power Supply Range: +5 V to ±15 V  
 Low Power: <1 mW typical  
 Thermocouple Failure Alarm  
 Laser Wafer Trimmed to 1°C Calibration Accuracy  
 Setpoint Mode Operation  
 Self-Contained Celsius Thermometer Operation  
 High Impedance Differential Input  
 Side-Brazed DIP or Low Cost Cerdip

### FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



### PRODUCT DESCRIPTION

The AD594/AD595 is a complete instrumentation amplifier and thermocouple cold junction compensator on a monolithic chip. It combines an ice point reference with a precalibrated amplifier to produce a high level (10 mV/°C) output directly from a thermocouple signal. Pin-strapping options allow it to be used as a linear amplifier-compensator or as a switched output setpoint controller using either fixed or remote setpoint control. It can be used to amplify its compensation voltage directly, thereby converting it to a stand-alone Celsius transducer with a low impedance voltage output.

The AD594/AD595 includes a thermocouple failure alarm that indicates if one or both thermocouple leads become open. The alarm output has a flexible format which includes TTL drive capability.

The AD594/AD595 can be powered from a single ended supply (including +5 V) and by including a negative supply, temperatures below 0°C can be measured. To minimize self-heating, an unloaded AD594/AD595 will typically operate with a total supply current 160 µA, but is also capable of delivering in excess of ±5 mA to a load.

The AD594 is precalibrated by laser wafer trimming to match the characteristic of type J (iron-constantan) thermocouples and the AD595 is laser trimmed for type K (chromel-alumel) inputs. The temperature transducer voltages and gain control resistors

are available at the package pins so that the circuit can be recalibrated for the thermocouple types by the addition of two or three resistors. These terminals also allow more precise calibration for both thermocouple and thermometer applications.

The AD594/AD595 is available in two performance grades. The C and the A versions have calibration accuracies of ±1°C and ±3°C, respectively. Both are designed to be used from 0°C to +50°C, and are available in 14-pin, hermetically sealed, side-brazed ceramic DIPs as well as low cost cerdip packages.

### PRODUCT HIGHLIGHTS

1. The AD594/AD595 provides cold junction compensation, amplification, and an output buffer in a single IC package.
2. Compensation, zero, and scale factor are all precalibrated by laser wafer trimming (LWT) of each IC chip.
3. Flexible pinout provides for operation as a setpoint controller or a stand-alone temperature transducer calibrated in degrees Celsius.
4. Operation at remote application sites is facilitated by low quiescent current and a wide supply voltage range +5 V to dual supplies spanning 30 V.
5. Differential input rejects common-mode noise voltage on the thermocouple leads.

### REV. C

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.  
 Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: <http://www.analog.com>  
 Fax: 781/326-8703 © Analog Devices, Inc., 1999

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# AD594/AD595—SPECIFICATIONS (@ +25°C and $V_S = 5\text{ V}$ , Type J (AD594), Type K (AD595) Thermocouple, unless otherwise noted)

Model	AD594A			AD594C			AD595A			AD595C			Units
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
<b>ABSOLUTE MAXIMUM RATING</b>													
+ $V_S$ to $-V_S$			36			36			36			36	Volts
Common-Mode Input Voltage	$-V_S - 0.15$		$+V_S$	$-V_S - 0.15$		$+V_S$	$-V_S - 0.15$		$+V_S$	$-V_S - 0.15$		$+V_S$	Volts
Differential Input Voltage	$-V_S$		$+V_S$	$-V_S$		$+V_S$	$-V_S$		$+V_S$	$-V_S$		$+V_S$	Volts
Alarm Voltages													
+ALM	$-V_S$		$-V_S + 36$	$-V_S$		$-V_S + 36$	$-V_S$		$-V_S + 36$	$-V_S$		$-V_S + 36$	Volts
-ALM	$-V_S$		$+V_S$	$-V_S$		$+V_S$	$-V_S$		$+V_S$	$-V_S$		$+V_S$	Volts
Operating Temperature Range	-55		+125	-55		+125	-55		+125	-55		+125	°C
Output Short Circuit to Common	Indefinite			Indefinite			Indefinite			Indefinite			
<b>TEMPERATURE MEASUREMENT</b> (Specified Temperature Range 0°C to +50°C)													
Calibration Error at +25°C <sup>1</sup>			±3			±1			±3			±1	°C
Stability vs. Temperature <sup>2</sup>			±0.05			±0.025			±0.05			±0.025	°C/°C
Gain Error			±1.5			±0.75			±1.5			±0.75	%
Nominal Transfer Function			10			10			10			10	mV/°C
<b>AMPLIFIER CHARACTERISTICS</b>													
Closed Loop Gain <sup>3</sup>		193.4			193.4			247.3			247.3		
Input Offset Voltage		(Temperature in °C) × 51.70 μV/°C			(Temperature in °C) × 51.70 μV/°C			(Temperature in °C) × 40.44 μV/°C			(Temperature in °C) × 40.44 μV/°C		
Input Bias Current		0.1			0.1			0.1			0.1		μV
Differential Input Range	-10		+50	-10		+50	-10		+50	-10		+50	μA
Common-Mode Range	$-V_S - 0.15$		$-V_S - 4$	$-V_S - 0.15$		$-V_S - 4$	$-V_S - 0.15$		$-V_S - 4$	$-V_S - 0.15$		$-V_S - 4$	mV
Common-Mode Sensitivity – RTO		10			10			10			10		Volts
Power Supply Sensitivity – RTO		10			10			10			10		mV/V
Output Voltage Range													mV/V
Dual Supply	$-V_S + 2.5$		$+V_S - 2$	$-V_S + 2.5$		$+V_S - 2$	$-V_S + 2.5$		$+V_S - 2$	$-V_S + 2.5$		$+V_S - 2$	Volts
Single Supply	0		$+V_S - 2$	0		$-V_S - 2$	0		$+V_S + 2$	0		$+V_S - 2$	Volts
Usable Output Current <sup>4</sup>		±5			±5			±5			±5		mA
3 dB Bandwidth		15			15			15			15		kHz
<b>ALARM CHARACTERISTICS</b>													
$V_{CE(SAT)}$ at 2 mA		0.3			0.3			0.3			0.3		Volts
Leakage Current			±1			±1			±1			±1	μA max
Operating Voltage at –ALM			$+V_S - 4$			$+V_S - 4$			$+V_S - 4$			$+V_S - 4$	Volts
Short Circuit Current		20			20			20			20		mA
<b>POWER REQUIREMENTS</b>													
Specified Performance		$+V_S = 5, -V_S = 0$			$+V_S = 5, -V_S = 0$			$+V_S = 5, -V_S = 0$			$+V_S = 5, -V_S = 0$		Volts
Operating <sup>5</sup>		$+V_S$ to $-V_S \leq 30$			$+V_S$ to $-V_S \leq 30$			$+V_S$ to $-V_S \leq 30$			$+V_S$ to $-V_S \leq 30$		Volts
Quiescent Current (No Load)													
+ $V_S$		160	300		160	300		160	300		160	300	μA
- $V_S$		100			100			100			100		μA
<b>PACKAGE OPTION</b>													
TO-116 (D-14)		AD594AD			AD594CD			AD595AD			AD595CD		
CerDip (Q-14)		AD594AQ			AD594CQ			AD595AQ			AD595CQ		

## NOTES

<sup>1</sup>Calibrated for minimum error at +25°C using a thermocouple sensitivity of 51.7 μV/°C. Since a J type thermocouple deviates from this straight line approximation, the AD594 will normally read 3.1 mV when the measuring junction is at 0°C. The AD595 will similarly read 2.7 mV at 0°C.

<sup>2</sup>Defined as the slope of the line connecting the AD594/AD595 errors measured at 0°C and 50°C ambient temperature.

<sup>3</sup>Pin 8 shorted to Pin 9.

<sup>4</sup>Current Sink Capability in single supply configuration is limited to current drawn to ground through a 50 kΩ resistor at output voltages below 2.5 V.

<sup>5</sup>- $V_S$  must not exceed -16.5 V.

Specifications shown in boldface are tested on all production units at final electrical test. Results from those tests are used to calculate outgoing quality levels. All min and max specifications are guaranteed, although only those shown in boldface are tested on all production units. Specifications subject to change without notice.

## INTERPRETING AD594/AD595 OUTPUT VOLTAGES

To achieve a temperature proportional output of 10 mV/°C and accurately compensate for the reference junction over the rated operating range of the circuit, the AD594/AD595 is gain trimmed to match the transfer characteristic of J and K type thermocouples at 25°C. For a type J output in this temperature range the TC is 51.70 μV/°C, while for a type K it is 40.44 μV/°C. The resulting gain for the AD594 is 193.4 (10 mV/°C divided by 51.7 μV/°C) and for the AD595 is 247.3 (10 mV/°C divided by 40.44 μV/°C). In addition, an absolute accuracy trim induces an input offset to the output amplifier characteristic of 16 μV for the AD594 and 11 μV for the AD595. This offset arises because the AD594/AD595 is trimmed for a 250 mV output while applying a 25°C thermocouple input.

Because a thermocouple output voltage is nonlinear with respect to temperature, and the AD594/AD595 linearly amplifies the

compensated signal, the following transfer functions should be used to determine the actual output voltages:

$$AD594 \text{ output} = (\text{Type J Voltage} + 16 \mu\text{V}) \times 193.4$$

$$AD595 \text{ output} = (\text{Type K Voltage} + 11 \mu\text{V}) \times 247.3 \text{ or conversely:}$$

$$\text{Type J voltage} = (AD594 \text{ output}/193.4) - 16 \mu\text{V}$$

$$\text{Type K voltage} = (AD595 \text{ output}/247.3) - 11 \mu\text{V}$$

Table I lists the ideal AD594/AD595 output voltages as a function of Celsius temperature for type J and K ANSI standard thermocouples, with the package and reference junction at 25°C. As is normally the case, these outputs are subject to calibration, gain and temperature sensitivity errors. Output values for intermediate temperatures can be interpolated, or calculated using the output equations and ANSI thermocouple voltage tables referred to zero degrees Celsius. Due to a slight variation in alloy content between ANSI type J and DIN FE-CUNI

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Table I. Output Voltage vs. Thermocouple Temperature (Ambient +25°C, V<sub>S</sub> = -5 V, +15 V)**

Thermocouple Temperature °C	Type J Voltage mV	AD594 Output mV	Type K Voltage mV	AD595 Output mV	Thermocouple Temperature °C	Type J Voltage mV	AD594 Output mV	Type K Voltage mV	AD595 Output mV
-200	-7.890	-1523	-5.891	-1454	500	27.388	5300	20.640	5107
-180	-7.402	-1428	-5.550	-1370	520	28.511	5517	21.493	5318
-160	-6.821	-1316	-5.141	-1269	540	29.642	5736	22.346	5529
-140	-6.159	-1188	-4.669	-1152	560	30.782	5956	23.198	5740
-120	-5.426	-1046	-4.138	-1021	580	31.933	6179	24.050	5950
-100	-4.632	-893	-3.553	-876	600	33.096	6404	24.902	6161
-80	-3.785	-729	-2.920	-719	620	34.273	6632	25.751	6371
-60	-2.892	-556	-2.243	-552	640	35.464	6862	26.599	6581
-40	-1.960	-376	-1.527	-375	660	36.671	7095	27.445	6790
-20	-0.995	-189	-0.777	-189	680	37.893	7332	28.288	6998
-10	-0.501	-94	-0.392	-94	700	39.130	7571	29.128	7206
0	0	3.1	0	2.7	720	40.382	7813	29.965	7413
10	0.507	101	0.397	101	740	41.647	8058	30.799	7619
20	1.019	200	0.798	200	750	42.283	8181	31.214	7722
25	1.277	250	1.000	250	760	-	-	31.629	7825
30	1.536	300	1.203	300	780	-	-	32.455	8029
40	2.058	401	1.611	401	800	-	-	33.277	8232
50	2.585	503	2.022	503	820	-	-	34.095	8434
60	3.115	606	2.436	605	840	-	-	34.909	8636
80	4.186	813	3.266	810	860	-	-	35.718	8836
100	5.268	1022	4.095	1015	880	-	-	36.524	9035
120	6.359	1233	4.919	1219	900	-	-	37.325	9233
140	7.457	1445	5.733	1420	920	-	-	38.122	9430
160	8.560	1659	6.539	1620	940	-	-	38.915	9626
180	9.667	1873	7.338	1817	960	-	-	39.703	9821
200	10.777	2087	8.137	2015	980	-	-	40.488	10015
220	11.887	2302	8.938	2213	1000	-	-	41.269	10209
240	12.998	2517	9.745	2413	1020	-	-	42.045	10400
260	14.108	2732	10.560	2614	1040	-	-	42.817	10591
280	15.217	2946	11.381	2817	1060	-	-	43.585	10781
300	16.325	3160	12.207	3022	1080	-	-	44.339	10970
320	17.432	3374	13.039	3227	1100	-	-	45.108	11158
340	18.537	3588	13.874	3434	1120	-	-	45.863	11345
360	19.640	3801	14.712	3641	1140	-	-	46.612	11530
380	20.743	4015	15.552	3849	1160	-	-	47.356	11714
400	21.846	4228	16.395	4057	1180	-	-	48.095	11897
420	22.949	4441	17.241	4266	1200	-	-	48.828	12078
440	24.054	4655	18.088	4476	1220	-	-	49.555	12258
460	25.161	4869	18.938	4686	1240	-	-	50.276	12436
480	26.272	5084	19.788	4896	1250	-	-	50.633	12524

thermocouples Table I should not be used in conjunction with European standard thermocouples. Instead the transfer function given previously and a DIN thermocouple table should be used. ANSI type K and DIN NiCr-Ni thermocouples are composed

### SINGLE AND DUAL SUPPLY CONNECTIONS

The AD594/AD595 is a completely self-contained thermocouple conditioner. Using a single +5 V supply the interconnections shown in Figure 1 will provide a direct output from a type J thermocouple (AD594) or type K thermocouple (AD595) measuring from 0°C to +300°C.

Any convenient supply voltage from +5 V to +30 V may be used, with self-heating errors being minimized at lower supply levels. In the single supply configuration the +5 V supply connects to Pin 11 with the V- connection at Pin 7 strapped to power and signal common at Pin 4. The thermocouple wire inputs connect to Pins 1 and 14 either directly from the measuring point or through intervening connections of similar thermocouple wire type. When the alarm output at Pin 13 is not used it should be connected to common or -V. The precalibrated feedback network at Pin 8 is tied to the output at Pin 9 to provide a 10 mV/°C nominal temperature transfer characteristic.

By using a wider ranging dual supply, as shown in Figure 2, the AD594/AD595 can be interfaced to thermocouples measuring both negative and extended positive temperatures.

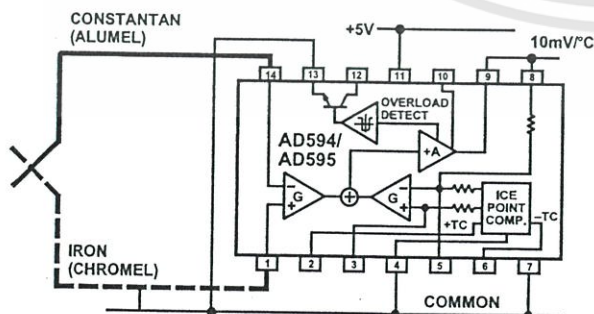


Figure 1. Basic Connection, Single Supply Operation

of identical alloys and exhibit similar behavior. The upper temperature limits in Table I are those recommended for type J and type K thermocouples by the majority of vendors.

# AD594/AD595

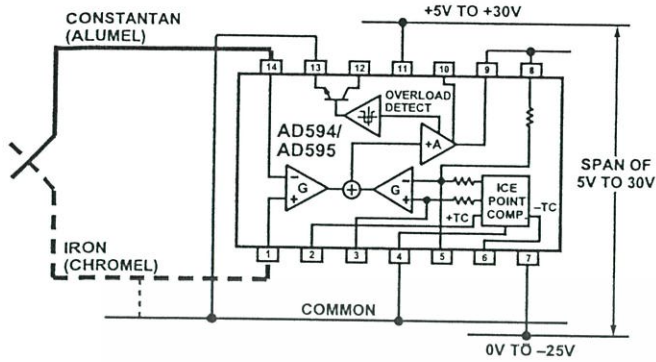


Figure 2. Dual Supply Operation

With a negative supply the output can indicate negative temperatures and drive grounded loads or loads returned to positive voltages. Increasing the positive supply from 5 V to 15 V extends the output voltage range well beyond the 750°C temperature limit recommended for type J thermocouples (AD594) and the 1250°C for type K thermocouples (AD595).

Common-mode voltages on the thermocouple inputs must remain within the common-mode range of the AD594/AD595, with a return path provided for the bias currents. If the thermocouple is not remotely grounded, then the dotted line connections in Figures 1 and 2 are recommended. A resistor may be needed in this connection to assure that common-mode voltages induced in the thermocouple loop are not converted to normal mode.

## THERMOCOUPLE CONNECTIONS

The isothermal terminating connections of a pair of thermocouple wires forms an effective reference junction. This junction must be kept at the same temperature as the AD594/AD595 for the internal cold junction compensation to be effective.

A method that provides for thermal equilibrium is the printed circuit board connection layout illustrated in Figure 3.

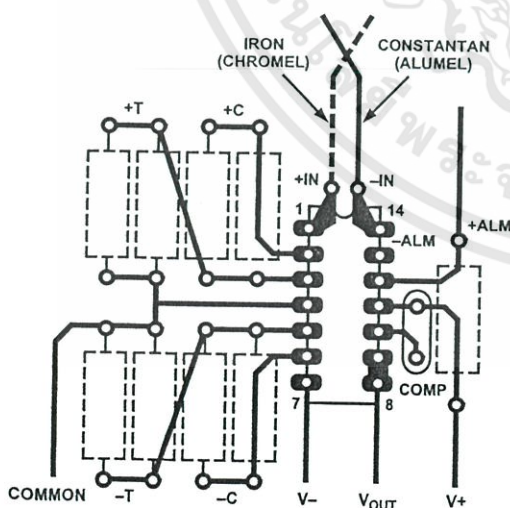


Figure 3. PCB Connections

Here the AD594/AD595 package temperature and circuit board are thermally contacted in the copper printed circuit board tracks under Pins 1 and 14. The reference junction is now composed of a copper-constantan (or copper-alumel) connection and copper-iron (or copper-chromel) connection, both of which are at the same temperature as the AD594/AD595.

The printed circuit board layout shown also provides for placement of optional alarm load resistors, recalibration resistors and a compensation capacitor to limit bandwidth.

To ensure secure bonding the thermocouple wire should be cleaned to remove oxidation prior to soldering. Noncorrosive rosin flux is effective with iron, constantan, chromel and alumel and the following solders: 95% tin-5% antimony, 95% tin-5% silver or 90% tin-10% lead.

## FUNCTIONAL DESCRIPTION

The AD594 behaves like two differential amplifiers. The outputs are summed and used to control a high gain amplifier, as shown in Figure 4.

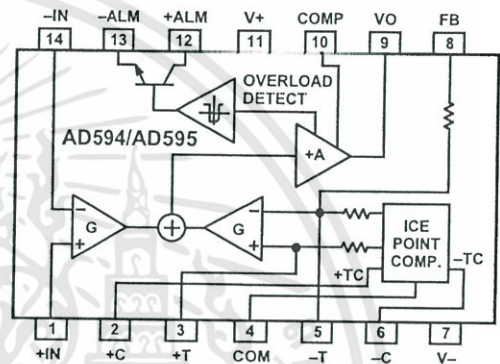


Figure 4. AD594/AD595 Block Diagram

In normal operation the main amplifier output, at Pin 9, is connected to the feedback network, at Pin 8. Thermocouple signals applied to the floating input stage, at Pins 1 and 14, are amplified by gain G of the differential amplifier and are then further amplified by gain A in the main amplifier. The output of the main amplifier is fed back to a second differential stage in an inverting connection. The feedback signal is amplified by this stage and is also applied to the main amplifier input through a summing circuit. Because of the inversion, the amplifier causes the feedback to be driven to reduce this difference signal to a small value. The two differential amplifiers are made to match and have identical gains, G. As a result, the feedback signal that must be applied to the right-hand differential amplifier will precisely match the thermocouple input signal when the difference signal has been reduced to zero. The feedback network is trimmed so that the effective gain to the output, at Pins 8 and 9, results in a voltage of 10 mV/°C of thermocouple excitation.

In addition to the feedback signal, a cold junction compensation voltage is applied to the right-hand differential amplifier. The compensation is a differential voltage proportional to the Celsius temperature of the AD594/AD595. This signal disturbs the differential input so that the amplifier output must adjust to restore the input to equal the applied thermocouple voltage.

The compensation is applied through the gain scaling resistors so that its effect on the main output is also 10 mV/°C. As a result, the compensation voltage adds to the effect of the thermocouple voltage a signal directly proportional to the difference between 0°C and the AD594/AD595 temperature. If the thermocouple reference junction is maintained at the AD594/AD595 temperature, the output of the AD594/AD595 will correspond to the reading that would have been obtained from amplification of a signal from a thermocouple referenced to an ice bath.

The AD594/AD595 also includes an input open circuit detector that switches on an alarm transistor. This transistor is actually a current-limited output buffer, but can be used up to the limit as a switch transistor for either pull-up or pull-down operation of external alarms.

The ice point compensation network has voltages available with positive and negative temperature coefficients. These voltages may be used with external resistors to modify the ice point compensation and recalibrate the AD594/AD595 as described in the next column.

The feedback resistor is separately pinned out so that its value can be padded with a series resistor, or replaced with an external resistor between Pins 5 and 9. External availability of the feedback resistor allows gain to be adjusted, and also permits the AD594/AD595 to operate in a switching mode for setpoint operation.

#### CAUTIONS:

The temperature compensation terminals (+C and -C) at Pins 2 and 6 are provided to supply small calibration currents only. The AD594/AD595 may be permanently damaged if they are grounded or connected to a low impedance.

The AD594/AD595 is internally frequency compensated for feedback ratios (corresponding to normal signal gain) of 75 or more. If a lower gain is desired, additional frequency compensation should be added in the form of a 300 pF capacitor from Pin 10 to the output at Pin 9. As shown in Figure 5 an additional 0.01  $\mu$ F capacitor between Pins 10 and 11 is recommended.

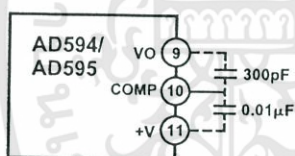


Figure 5. Low Gain Frequency Compensation

#### RECALIBRATION PRINCIPLES AND LIMITATIONS

The ice point compensation network of the AD594/AD595 produces a differential signal which is zero at 0°C and corresponds to the output of an ice referenced thermocouple at the temperature of the chip. The positive TC output of the circuit is proportional to Kelvin temperature and appears as a voltage at +T. It is possible to decrease this signal by loading it with a resistor from +T to COM, or increase it with a pull-up resistor from +T to the larger positive TC voltage at +C. Note that adjustments to +T should be made by measuring the voltage which tracks it at -T. To avoid destabilizing the feedback amplifier the measuring instrument should be isolated by a few thousand ohms in series with the lead connected to -T.

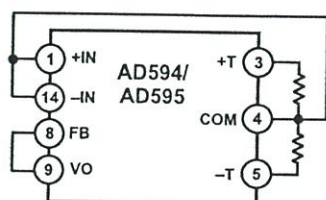


Figure 6. Decreased Sensitivity Adjustment

Changing the positive TC half of the differential output of the compensation scheme shifts the zero point away from 0°C. The zero can be restored by adjusting the current flow into the negative input of the feedback amplifier, the -T pin. A current into

this terminal can be produced with a resistor between -C and -T to balance an increase in +T, or a resistor from -T to COM to offset a decrease in +T.

If the compensation is adjusted substantially to accommodate a different thermocouple type, its effect on the final output voltage will increase or decrease in proportion. To restore the nominal output to 10 mV/°C the gain may be adjusted to match the new compensation and thermocouple input characteristics. When reducing the compensation the resistance between -T and COM automatically increases the gain to within 0.5% of the correct value. If a smaller gain is required, however, the nominal 47 k $\Omega$  internal feedback resistor can be paralleled or replaced with an external resistor.

Fine calibration adjustments will require temperature response measurements of individual devices to assure accuracy. Major reconfigurations for other thermocouple types can be achieved without seriously compromising initial calibration accuracy, so long as the procedure is done at a fixed temperature using the factory calibration as a reference. It should be noted that intermediate recalibration conditions may require the use of a negative supply.

#### EXAMPLE: TYPE E RECALIBRATION—AD594/AD595

Both the AD594 and AD595 can be configured to condition the output of a type E (chromel-constantan) thermocouple. Temperature characteristics of type E thermocouples differ less from type J, than from type K, therefore the AD594 is preferred for recalibration.

While maintaining the device at a constant temperature follow the recalibration steps given here. First, measure the device temperature by tying both inputs to common (or a selected common-mode potential) and connecting FB to VO. The AD594 is now in the stand alone Celsius thermometer mode. For this example assume the ambient is 24°C and the initial output VO is 240 mV. Check the output at VO to verify that it corresponds to the temperature of the device.

Next, measure the voltage -T at Pin 5 with a high impedance DVM (capacitance should be isolated by a few thousand ohms of resistance at the measured terminals). At 24°C the -T voltage will be about 8.3 mV. To adjust the compensation of an AD594 to a type E thermocouple a resistor, R1, should be connected between +T and +C, Pins 2 and 3, to raise the voltage at -T by the ratio of thermocouple sensitivities. The ratio for converting a type J device to a type E characteristic is:

$$r(AD594) = (60.9 \mu V/^\circ C) / (51.7 \mu V/^\circ C) = 1.18$$

Thus, multiply the initial voltage measured at -T by  $r$  and experimentally determine the R1 value required to raise -T to that level. For the example the new -T voltage should be about 9.8 mV. The resistance value should be approximately 1.8 k $\Omega$ .

The zero differential point must now be shifted back to 0°C. This is accomplished by multiplying the original output voltage VO by  $r$  and adjusting the measured output voltage to this value by experimentally adding a resistor, R2, between -C and -T, Pins 5 and 6. The target output value in this case should be about 283 mV. The resistance value of R2 should be approximately 240 k $\Omega$ .

Finally, the gain must be recalibrated such that the output VO indicates the device's temperature once again. Do this by adding a third resistor, R3, between FB and -T, Pins 8 and 5. VO should now be back to the initial 240 mV reading. The resistance value

# AD594/AD595

of R3 should be approximately 280 kΩ. The final connection diagram is shown in Figure 7. An approximate verification of the effectiveness of recalibration is to measure the differential gain to the output. For type E it should be 164.2.

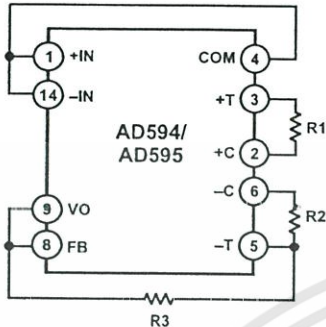


Figure 7. Type E Recalibration

When implementing a similar recalibration procedure for the AD595 the values for R1, R2, R3 and r will be approximately 650 Ω, 84 kΩ, 93 kΩ and 1.51, respectively. Power consumption will increase by about 50% when using the AD595 with type E inputs.

Note that during this procedure it is crucial to maintain the AD594/AD595 at a stable temperature because it is used as the temperature reference. Contact with fingers or any tools not at ambient temperature will quickly produce errors. Radiational heating from a change in lighting or approach of a soldering iron must also be guarded against.

### USING TYPE T THERMOCOUPLES WITH THE AD595

Because of the similarity of thermal EMFs in the 0°C to +50°C range between type K and type T thermocouples, the AD595 can be directly used with both types of inputs. Within this ambient temperature range the AD595 should exhibit no more than an additional 0.2°C output calibration error when used with type T inputs. The error arises because the ice point compensator is trimmed to type K characteristics at 25°C. To calculate the AD595 output values over the recommended -200°C to +350°C range for type T thermocouples, simply use the ANSI thermocouple voltages referred to 0°C and the output equation given on page 2 for the AD595. Because of the relatively large nonlinearities associated with type T thermocouples the output will deviate widely from the nominal 10 mV/°C. However, cold junction compensation over the rated 0°C to +50°C ambient will remain accurate.

### STABILITY OVER TEMPERATURE

Each AD594/AD595 is tested for error over temperature with the measuring thermocouple at 0°C. The combined effects of cold junction compensation error, amplifier offset drift and gain error determine the stability of the AD594/AD595 output over the rated ambient temperature range. Figure 8 shows an AD594/AD595 drift error envelope. The slope of this figure has units of °C/°C.

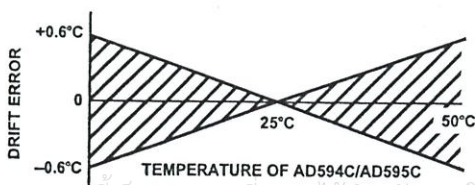


Figure 8. Drift Error vs. Temperature

### THERMAL ENVIRONMENT EFFECTS

The inherent low power dissipation of the AD594/AD595 and the low thermal resistance of the package make self-heating errors almost negligible. For example, in still air the chip to ambient thermal resistance is about 80°C/watt (for the D package). At the nominal dissipation of 800 μW the self-heating in free air is less than 0.065°C. Submerged in fluorinert liquid (unstirred) the thermal resistance is about 40°C/watt, resulting in a self-heating error of about 0.032°C.

### SETPOINT CONTROLLER

The AD594/AD595 can readily be connected as a setpoint controller as shown in Figure 9.

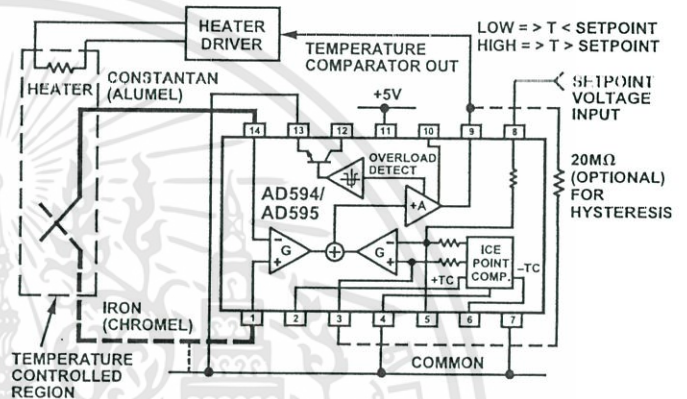


Figure 9. Setpoint Controller

The thermocouple is used to sense the unknown temperature and provide a thermal EMF to the input of the AD594/AD595. The signal is cold junction compensated, amplified to 10 mV/°C and compared to an external setpoint voltage applied by the user to the feedback at Pin 8. Table I lists the correspondence between setpoint voltage and temperature, accounting for the nonlinearity of the measurement thermocouple. If the setpoint temperature range is within the operating range (-55°C to +125°C) of the AD594/AD595, the chip can be used as the transducer for the circuit by shorting the inputs together and utilizing the nominal calibration of 10 mV/°C. This is the centigrade thermometer configuration as shown in Figure 13.

In operation if the setpoint voltage is above the voltage corresponding to the temperature being measured the output swings low to approximately zero volts. Conversely, when the temperature rises above the setpoint voltage the output switches to the positive limit of about 4 volts with a +5 V supply. Figure 9 shows the setpoint comparator configuration complete with a heater element driver circuit being controlled by the AD594/AD595 toggled output. Hysteresis can be introduced by injecting a current into the positive input of the feedback amplifier when the output is toggled high. With an AD594 about 200 nA into the +T terminal provides 1°C of hysteresis. When using a single 5 V supply with an AD594, a 20 MΩ resistor from V<sub>O</sub> to +T will supply the 200 nA of current when the output is forced high (about 4 V). To widen the hysteresis band decrease the resistance connected from V<sub>O</sub> to +T.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ALARM CIRCUIT

In all applications of the AD594/AD595 the -ALM connection, Pin 13, should be constrained so that it is not more positive than  $(V+) - 4V$ . This can be most easily achieved by connecting Pin 13 to either common at Pin 4 or  $V-$  at Pin 7. For most applications that use the alarm signal, Pin 13 will be grounded and the signal will be taken from +ALM on Pin 12. A typical application is shown in Figure 10.

In this configuration the alarm transistor will be off in normal operation and the 20 k pull up will cause the +ALM output on Pin 12 to go high. If one or both of the thermocouple leads are interrupted, the +ALM pin will be driven low. As shown in Figure 10 this signal is compatible with the input of a TTL gate which can be used as a buffer and/or inverter.

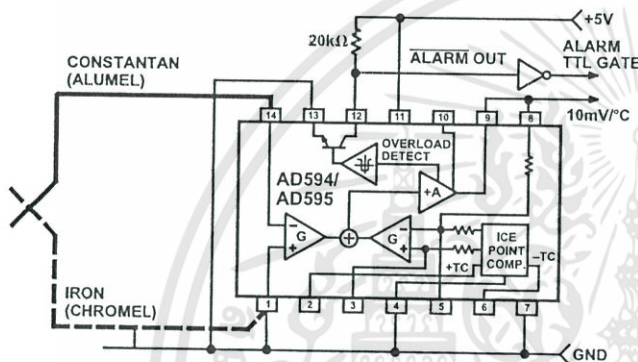


Figure 10. Using the Alarm to Drive a TTL Gate ("Grounded" Emitter Configuration)

Since the alarm is a high level output it may be used to directly drive an LED or other indicator as shown in Figure 11.

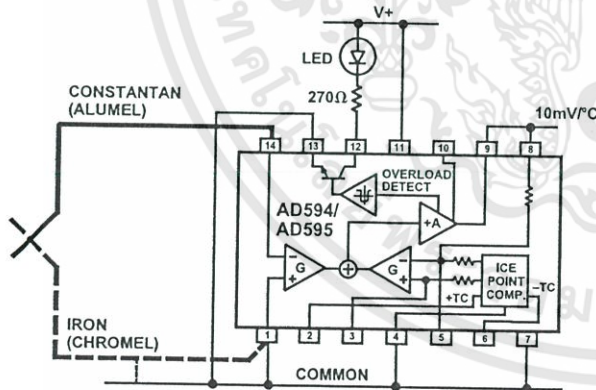


Figure 11. Alarm Directly Drives LED

A 270 Ω series resistor will limit current in the LED to 10 mA, but may be omitted since the alarm output transistor is current limited at about 20 mA. The transistor, however, will operate in a high dissipation mode and the temperature of the circuit will rise well above ambient. Note that the cold junction compensation will be affected whenever the alarm circuit is activated. The time required for the chip to return to ambient temperature will depend on the power dissipation of the alarm circuit, the nature of the thermal path to the environment and the alarm duration.

The alarm can be used with both single and dual supplies. It can be operated above or below ground. The collector and emitter configuration can be used in any normal switch configuration. As an example a negative referenced load can be driven from -ALM as shown in Figure 12.

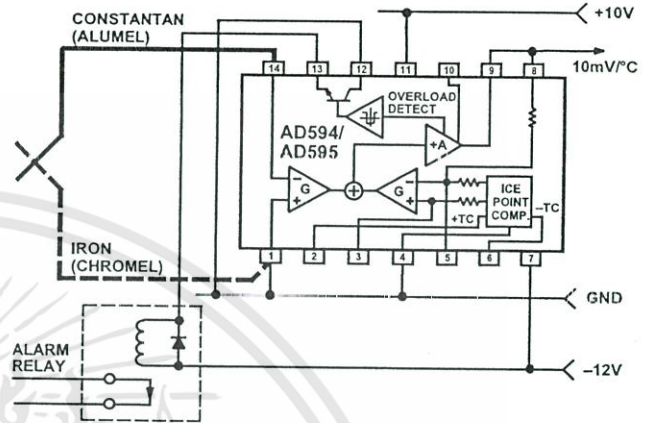


Figure 12. -ALM Driving A Negative Referenced Load

The collector (+ALM) should not be allowed to become more positive than  $(V-) + 36V$ , however, it may be permitted to be more positive than  $V+$ . The emitter voltage (-ALM) should be constrained so that it does not become more positive than 4 volts below the  $V+$  applied to the circuit.

Additionally, the AD594/AD595 can be configured to produce an extreme upscale or downscale output in applications where an extra signal line for an alarm is inappropriate. By tying either of the thermocouple inputs to common most runaway control conditions can be automatically avoided. A +IN to common connection creates a downscale output if the thermocouple opens, while connecting -IN to common provides an upscale output.

## CELSIUS THERMOMETER

The AD594/AD595 may be configured as a stand-alone Celsius thermometer as shown in Figure 13.

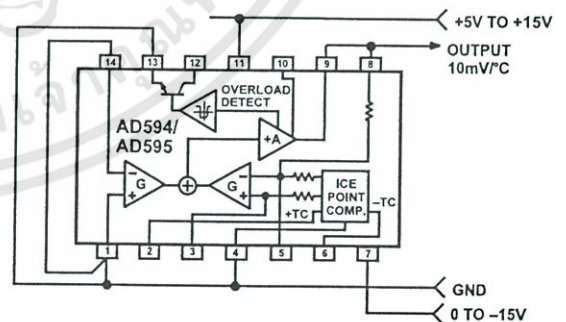


Figure 13. AD594/AD595 as a Stand-Alone Celsius Thermometer

Simply omit the thermocouple and connect the inputs (Pins 1 and 14) to common. The output now will reflect the compensation voltage and hence will indicate the AD594/AD595 temperature with a scale factor of 10 mV/°C. In this three terminal, voltage output, temperature sensing mode, the AD594/AD595 will operate over the full military  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$  temperature range.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

# AD594/AD595

## THERMOCOUPLE BASICS

Thermocouples are economical and rugged; they have reasonably good long-term stability. Because of their small size, they respond quickly and are good choices where fast response is important. They function over temperature ranges from cryogenics to jet-engine exhaust and have reasonable linearity and accuracy.

Because the number of free electrons in a piece of metal depends on both temperature and composition of the metal, two pieces of dissimilar metal in isothermal and contact will exhibit a potential difference that is a repeatable function of temperature, as shown in Figure 14. The resulting voltage depends on the temperatures,  $T_1$  and  $T_2$ , in a repeatable way.

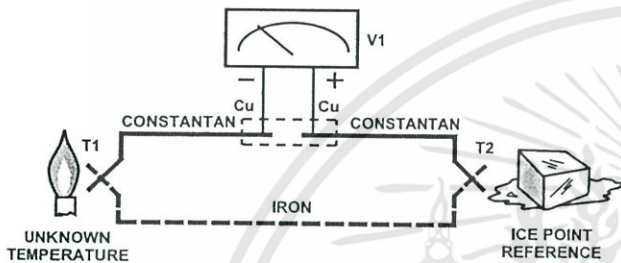


Figure 14. Thermocouple Voltage with 0°C Reference

Since the thermocouple is basically a differential rather than absolute measuring device, a known reference temperature is required for one of the junctions if the temperature of the other is to be inferred from the output voltage. Thermocouples made of specially selected materials have been exhaustively characterized in terms of voltage versus temperature compared to primary temperature standards. Most notably the water-ice point of 0°C is used for tables of standard thermocouple performance.

An alternative measurement technique, illustrated in Figure 15, is used in most practical applications where accuracy requirements do not warrant maintenance of primary standards. The reference junction temperature is allowed to change with the environment of the measurement system, but it is carefully measured by some type of absolute thermometer. A measurement of the thermocouple voltage combined with a knowledge of the reference temperature can be used to calculate the measurement junction temperature. Usual practice, however, is to use a convenient thermoelectric method to measure the reference temperature

and to arrange its output voltage so that it corresponds to a thermocouple referred to 0°C. This voltage is simply added to the thermocouple voltage and the sum then corresponds to the standard voltage tabulated for an ice-point referenced thermocouple.

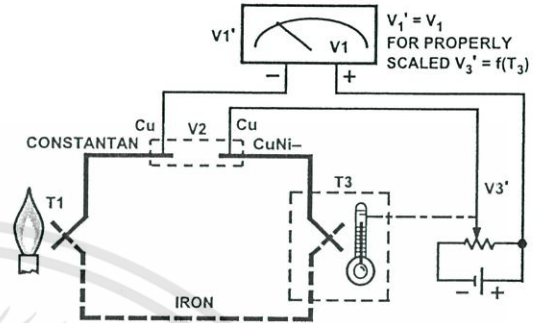


Figure 15. Substitution of Measured Reference Temperature for Ice Point Reference

The temperature sensitivity of silicon integrated circuit transistors is quite predictable and repeatable. This sensitivity is exploited in the AD594/AD595 to produce a temperature related voltage to compensate the reference of "cold" junction of a thermocouple as shown in Figure 16.

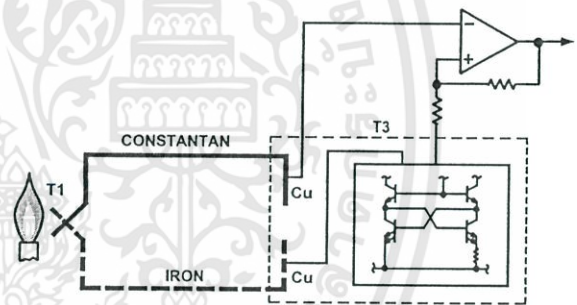


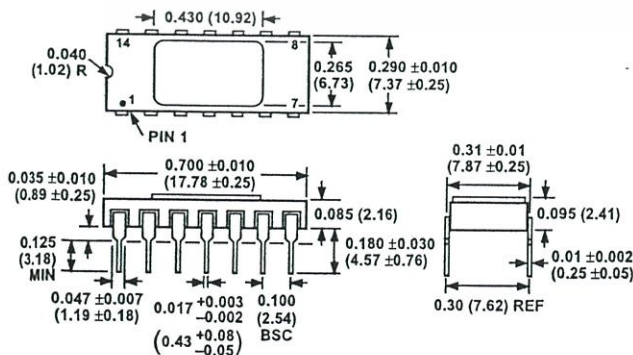
Figure 16. Connecting Isothermal Junctions

Since the compensation is at the reference junction temperature, it is often convenient to form the reference "junction" by connecting directly to the circuit wiring. So long as these connections and the compensation are at the same temperature no error will result.

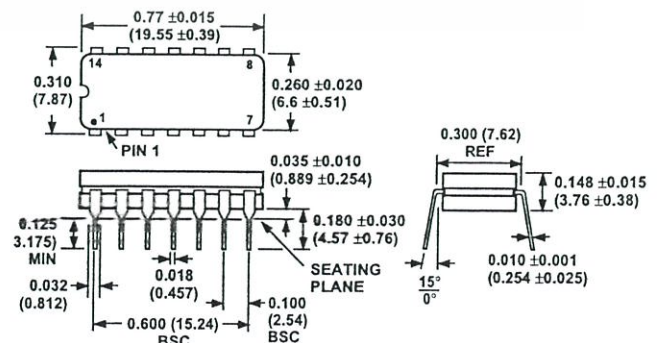
## OUTLINE DIMENSIONS

Dimensions shown in inches and (mm).

### TO-116 (D) Package



### Cerdip (Q) Package



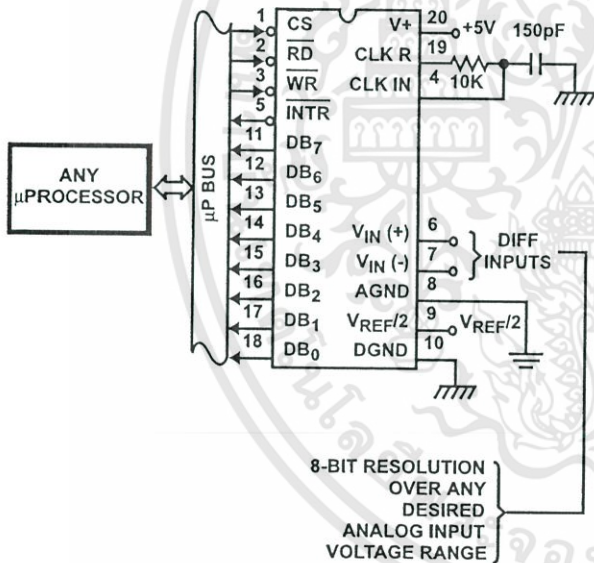
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 8-Bit, Microprocessor-Compatible, A/D Converters

The ADC080X family are CMOS 8-Bit, successive-approximation A/D converters which use a modified potentiometric ladder and are designed to operate with the 8080A control bus via three-state outputs. These converters appear to the processor as memory locations or I/O ports, and hence no interfacing logic is required.

The differential analog voltage input has good common-mode-rejection and permits offsetting the analog zero-input-voltage value. In addition, the voltage reference input can be adjusted to allow encoding any smaller analog voltage span to the full 8 bits of resolution.

### Typical Application Schematic

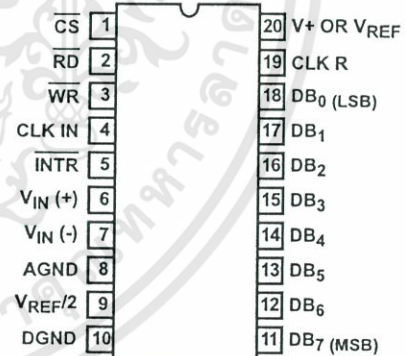


### Features

- 80C48 and 80C80/85 Bus Compatible - No Interfacing Logic Required
- Conversion Time ..... <100µs
- Easy Interface to Most Microprocessors
- Will Operate in a "3land Alone" Mode
- Differential Analog Voltage Inputs
- Works with Bandgap Voltage References
- TTL Compatible Inputs and Outputs
- On-Chip Clock Generator
- Analog Voltage Input Range (Single + 5V Supply) ..... 0V to 5V
- No Zero-Adjust Required
- 80C48 and 80C80/85 Bus Compatible - No Interfacing Logic Required

### Pinout

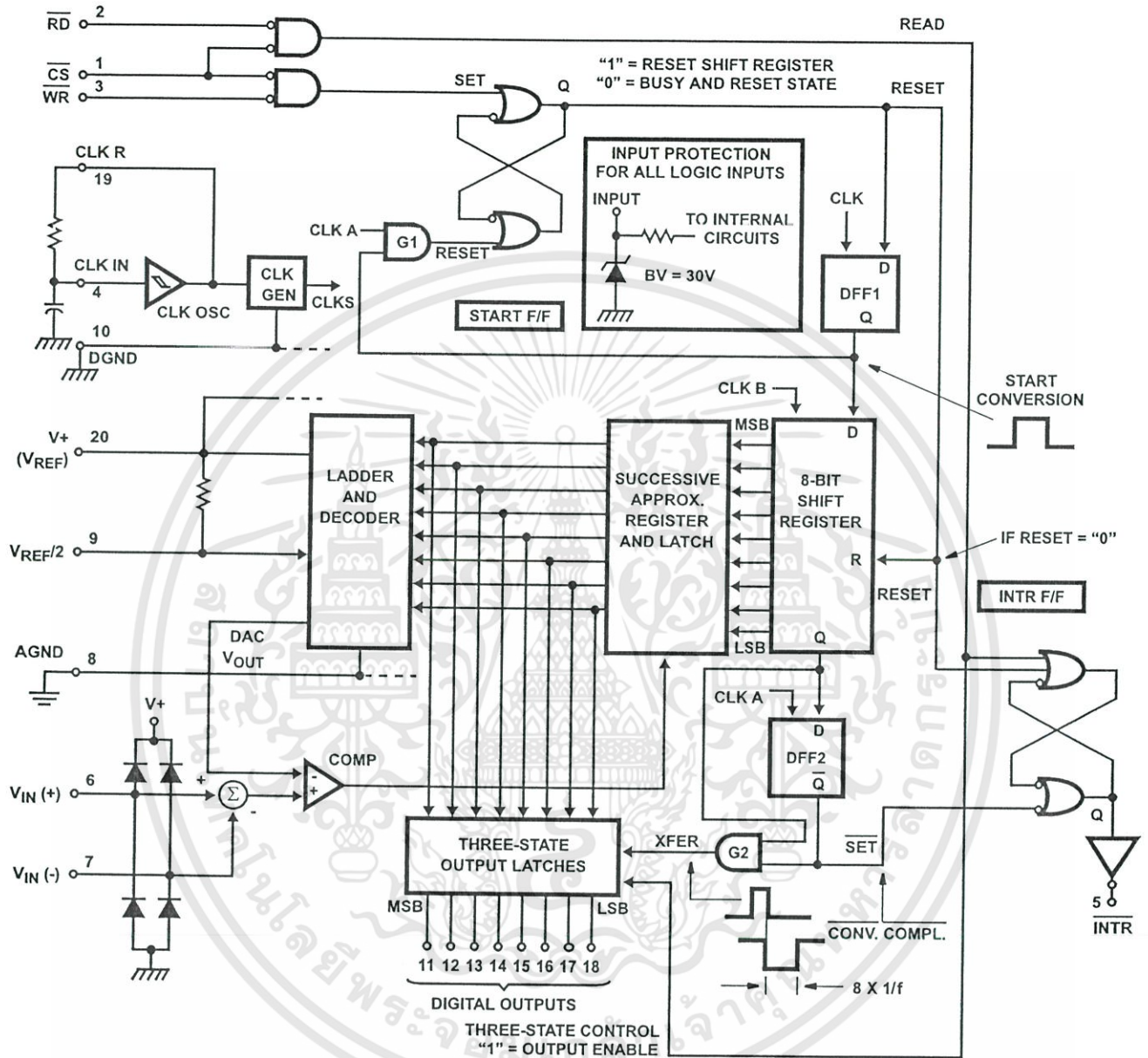
ADC0803, ADC0804 (PDIP) TOP VIEW



### Ordering Information

PART NUMBER	ERROR	EXTERNAL CONDITIONS	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO
ADC0803LCN	±1/2 LSB	V <sub>REF/2</sub> Adjusted for Correct Full Scale Reading	0 to 70	20 Ld PDIP	E20.3
ADC0804LCN	±1 LSB	V <sub>REF/2</sub> = 2.500V <sub>DC</sub> (No Adjustments)	0 to 70	20 Ld PDIP	E20.3

Functional Diagram



# ADC0803, ADC0804

## Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage . . . . . 6.5V  
 Voltage at Any Input . . . . . -0.3V to (V<sup>+</sup> +0.3V)

## Operating Conditions

Temperature Range . . . . . 0°C to 70°C

## Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 1)  $\theta_{JA}$  (°C/W)  
 PDIP Package . . . . . 80  
 Maximum Junction Temperature  
 Plastic Package . . . . . 150°C  
 Maximum Storage Temperature Range . . . . . -65°C to 150°C  
 Maximum Lead Temperature (Soldering, 10s) . . . . . 300°C

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

### NOTE:

1.  $\theta_{JA}$  is measured with the component mounted on a low effective thermal conductivity test board in free air. See Tech Brief TB379 for details.

## Electrical Specifications (Notes 2, 8)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>CONVERTER SPECIFICATIONS</b> V <sup>+</sup> = 5V, T <sub>A</sub> = 25°C and f <sub>CLK</sub> = 640kHz, Unless Otherwise Specified					
Total Unadjusted Error					
ADC0803	V <sub>REF/2</sub> Adjusted for Correct Full Scale Reading	-	-	±1/2	LSB
ADC0804	V <sub>REF/2</sub> = 2.500V	-	-	±1	LSB
V <sub>REF/2</sub> Input Resistance	Input Resistance at Pin 9	1.0	1.3	-	kΩ
Analog Input Voltage Range	(Note 3)	GND-0.05	-	(V <sup>+</sup> ) + 0.05	V
DC Common-Mode Rejection	Over Analog Input Voltage Range	-	±1/16	±1/8	LSB
Power Supply Sensitivity	V <sup>+</sup> = 5V ±10% Over Allowed Input Voltage Range	-	±1/16	±1/8	LSB
<b>CONVERTER SPECIFICATIONS</b> V <sup>+</sup> = 5V, 0°C to 70°C and f <sub>CLK</sub> = 640kHz, Unless Otherwise Specified					
Total Unadjusted Error					
ADC0803	V <sub>REF/2</sub> Adjusted for Correct Full Scale Reading	-	-	±1/2	LSB
ADC0804	V <sub>REF/2</sub> = 2.500V	-	-	±1	LSB
V <sub>REF/2</sub> Input Resistance	Input Resistance at Pin 9	1.0	1.3	-	kΩ
Analog Input Voltage Range	(Note 3)	GND-0.05	-	(V <sup>+</sup> ) + 0.05	V
DC Common-Mode Rejection	Over Analog Input Voltage Range	-	±1/8	±1/4	LSB
Power Supply Sensitivity	V <sup>+</sup> = 5V ±10% Over Allowed Input Voltage Range	-	±1/16	±1/8	LSB
<b>AC TIMING SPECIFICATIONS</b> V <sup>+</sup> = 5V, and T <sub>A</sub> = 25°C, Unless Otherwise Specified					
Clock Frequency, f <sub>CLK</sub>	V <sup>+</sup> = 6V (Note 4)	100	640	1280	kHz
	V <sup>+</sup> = 5V	100	640	800	kHz
Clock Periods per Conversion (Note 5), t <sub>CONV</sub>		62	-	73	Clocks/Conv
Conversion Rate In Free-Running Mode, CR	INTR tied to WR with CS = 0V, f <sub>CLK</sub> = 640kHz	-	-	8888	Conv/s
Width of WR Input (Start Pulse Width), t <sub>w(WR)</sub>	CS = 0V (Note 6)	100	-	-	ns
Access Time (Delay from Falling Edge of RD to Output Data Valid), t <sub>ACC</sub>	C <sub>L</sub> = 100pF (Use Bus Driver IC for Larger C <sub>L</sub> )	-	135	200	ns
Three-State Control (Delay from Rising Edge of RD to HI-Z State), t <sub>1H</sub> , t <sub>0H</sub>	C <sub>L</sub> = 10pF, R <sub>L</sub> = 10K (See Three-State Test Circuits)	-	125	250	ns
Delay from Falling Edge of WR to Reset of INTR, t <sub>wI</sub> , t <sub>RI</sub>		-	300	450	ns
Input Capacitance of Logic Control Inputs, C <sub>IN</sub>		-	5	-	pF
Three-State Output Capacitance (Data Buffers), C <sub>OUT</sub>		-	5	-	pF

# ADC0803, ADC0804

## Electrical Specifications (Notes 2, 8) (Continued)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>DC DIGITAL LEVELS AND DC SPECIFICATIONS</b> $V_+ = 5V$ , and $T_{MIN}$ to $T_{MAX}$ , Unless Otherwise Specified					
<b>CONTROL INPUTS</b> (Note 7)					
Logic "1" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN), $V_{INH}$	$V_+ = 5.25V$	2.0	-	$V_+$	V
Logic "0" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN), $V_{INL}$	$V_+ = 4.75V$	-	-	0.8	V
CLK IN (Pin 4) Positive Going Threshold Voltage, $V_{+CLK}$		2.7	3.1	3.5	V
CLK IN (Pin 4) Negative Going Threshold Voltage, $V_{-CLK}$		1.5	1.8	2.1	V
CLK IN (Pin 4) Hysteresis, $V_H$		0.6	1.3	2.0	V
Logic "1" Input Current (All Inputs), $I_{INH1}$	$V_{IN} = 5V$	-	0.005	1	$\mu A$
Logic "0" Input Current (All Inputs), $I_{INL0}$	$V_{IN} = 0V$	-1	-0.005	-	$\mu A$
Supply Current (Includes Ladder Current), $I_+$	$f_{CLK} = 640kHz$ , $T_A = 25^\circ C$ and $\overline{CS} = HI$	-	1.3	2.5	mA
<b>DATA OUTPUTS AND INTR</b>					
Logic "0" Output Voltage, $V_{OL}$	$I_O = 1.6mA$ , $V_+ = 4.75V$	-	-	0.4	V
Logic "1" Output Voltage, $V_{OH}$	$I_O = -360\mu A$ , $V_+ = 4.75V$	2.4	-	-	V
Three-State Disabled Output Leakage (All Data Buffers), $I_{LO}$	$V_{OUT} = 0V$	-3	-	-	$\mu A$
	$V_{OUT} = 5V$	-	-	3	$\mu A$
Output Short Circuit Current, $I_{SOURCE}$	$V_{OUT}$ Short to GND, $T_A = 25^\circ C$	4.5	6	-	mA
Output Short Circuit Current, $I_{SINK}$	$V_{OUT}$ Short to $V_+$ , $T_A = 25^\circ C$	9.0	16	-	mA

**NOTES:**

- All voltages are measured with respect to GND, unless otherwise specified. The separate AGND point should always be wired to the DGND, being careful to avoid ground loops.
- For  $V_{IN(-)} \geq V_{IN(+)}$  the digital output code will be 0000 0000. Two on-chip diodes are tied to each analog input (see Block Diagram) which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the  $V_+$  supply. Be careful, during testing at low  $V_+$  levels (4.5V), as high level analog inputs (5V) can cause this input diode to conduct - especially at elevated temperatures, and cause errors for analog inputs near full scale. As long as the analog  $V_{IN}$  does not exceed the supply voltage by more than 50mV, the output code will be correct. To achieve an absolute 0V to 5V input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of 4.950V over temperature variations, initial tolerance and loading.
- With  $V_+ = 6V$ , the digital logic interfaces are no longer TTL compatible.
- With an asynchronous start pulse, up to 8 clock periods may be required before the internal clock phases are proper to start the conversion process.
- The  $\overline{CS}$  input is assumed to bracket the  $\overline{WR}$  strobe input so that timing is dependent on the  $\overline{WR}$  pulse width. An arbitrarily wide pulse width will hold the converter in a reset mode and the start of conversion is initiated by the low to high transition of the  $\overline{WR}$  pulse (see Timing Diagrams).
- CLK IN (pin 4) is the input of a Schmitt trigger circuit and is therefore specified separately.
- None of these A/Ds requires a zero-adjust. However, if an all zero code is desired for an analog input other than 0V, or if a narrow full scale span exists (for example: 0.5V to 4V full scale) the  $V_{IN(-)}$  input can be adjusted to achieve this. See the Zero Error description in this data sheet.

## Timing Waveforms

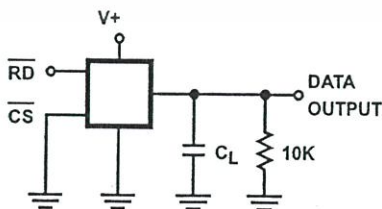


FIGURE 1A.  $t_{1H}$

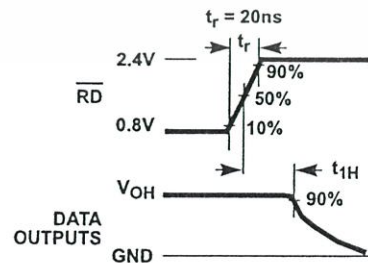


FIGURE 1B.  $t_{1H}$ ,  $C_L = 10pF$

Timing Waveforms (Continued)

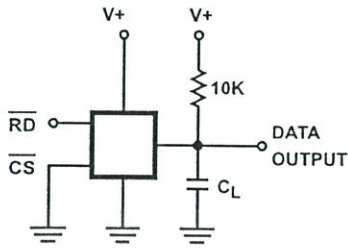


FIGURE 1C.  $t_{0H}$

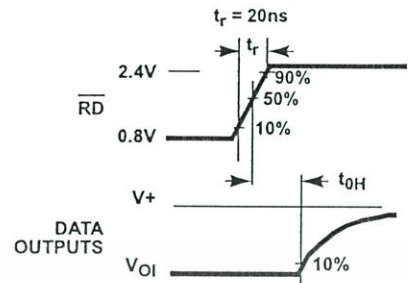


FIGURE 1D.  $t_{0H}$ ,  $C_L = 10pF$

FIGURE 1. THREE-STATE CIRCUITS AND WAVEFORMS

Typical Performance Curves

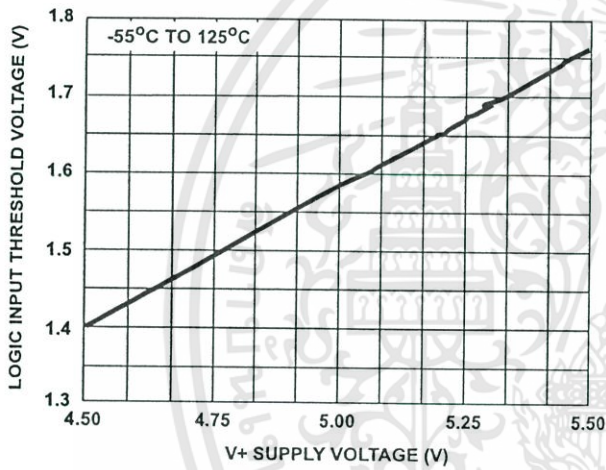


FIGURE 2. LOGIC INPUT THRESHOLD VOLTAGE vs SUPPLY VOLTAGE

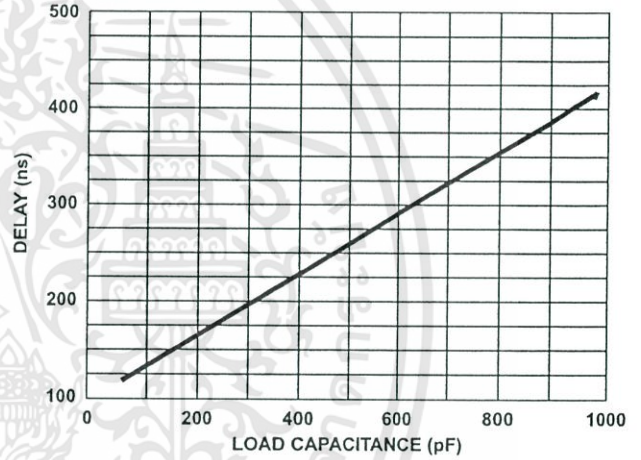


FIGURE 3. DELAY FROM FALLING EDGE OF  $\overline{RD}$  TO OUTPUT DATA VALID vs LOAD CAPACITANCE

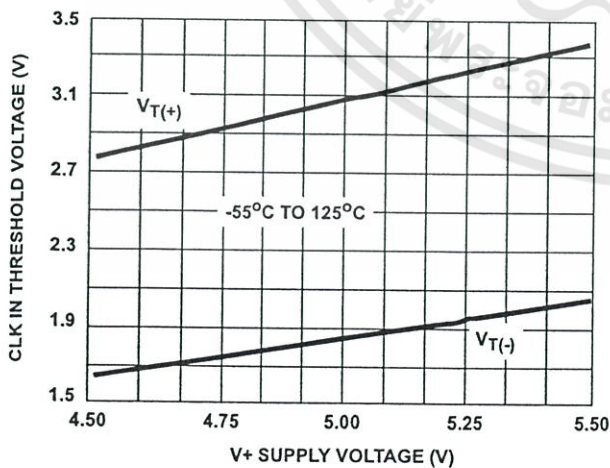


FIGURE 4. CLK IN SCHMITT TRIP LEVELS vs SUPPLY VOLTAGE

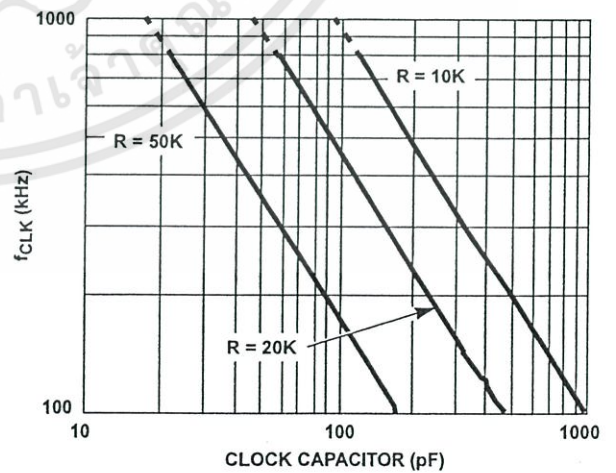


FIGURE 5.  $f_{CLK}$  vs CLOCK CAPACITOR

Typical Performance Curves (Continued)

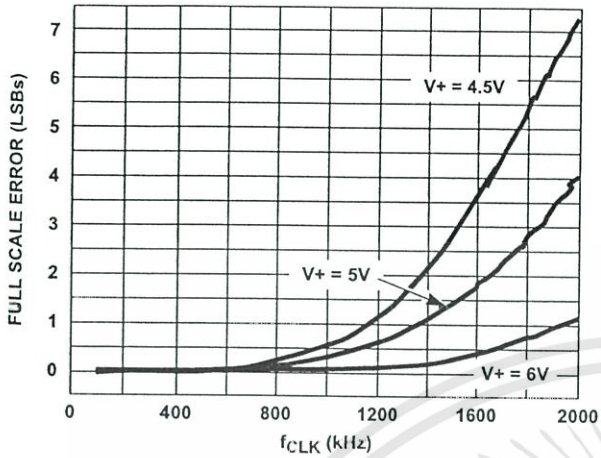


FIGURE 6. FULL SCALE ERROR vs  $f_{CLK}$

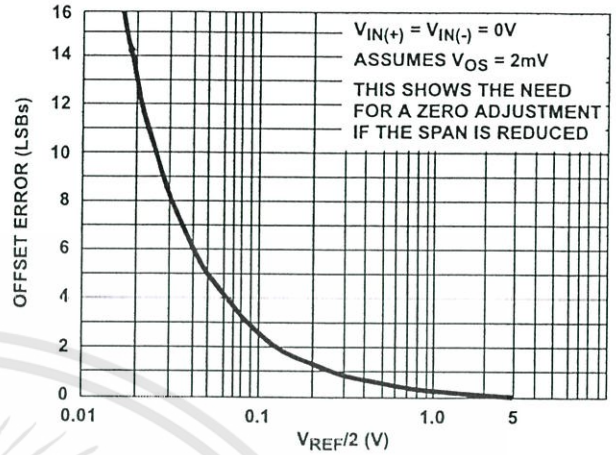


FIGURE 7. EFFECT OF UNADJUSTED OFFSET ERROR

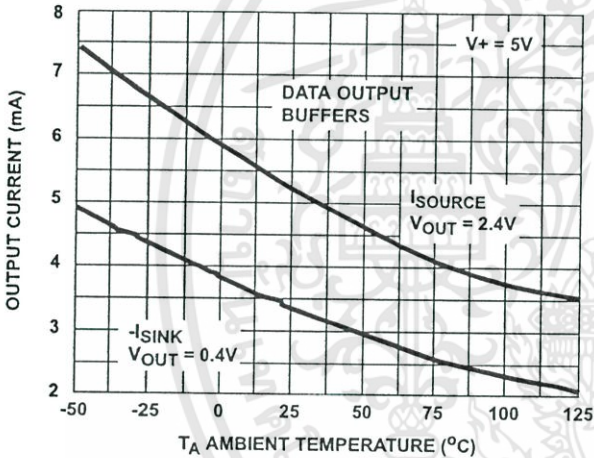


FIGURE 8. OUTPUT CURRENT vs TEMPERATURE

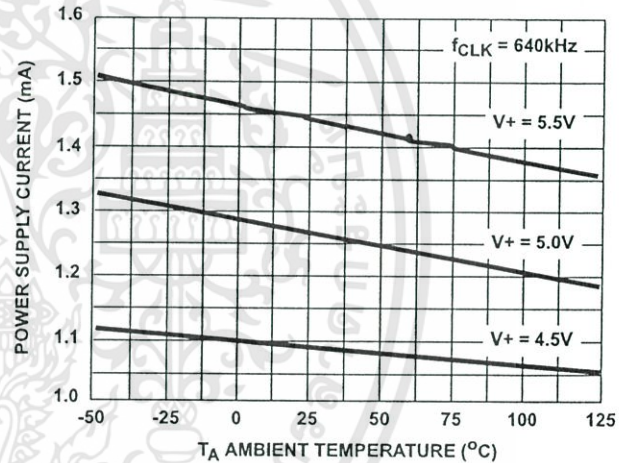


FIGURE 9. POWER SUPPLY CURRENT vs TEMPERATURE

Timing Diagrams

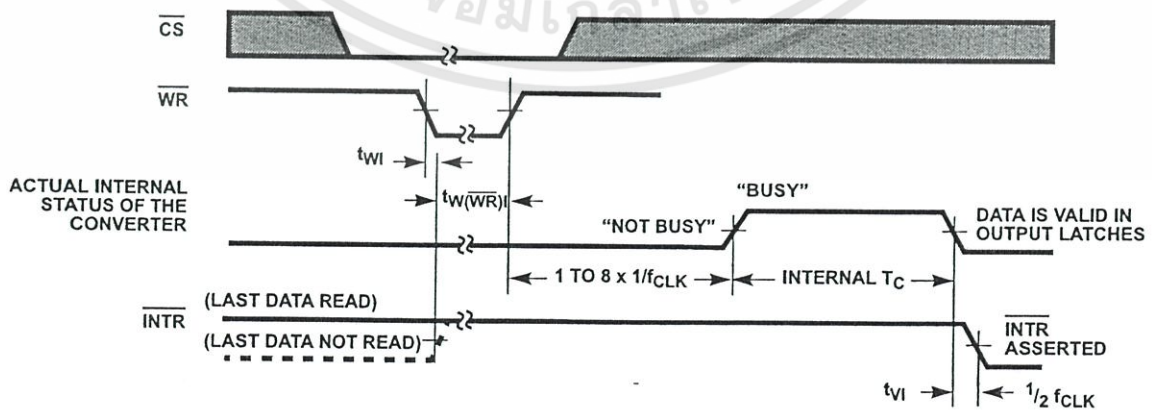


FIGURE 10A. START CONVERSION

Timing Diagrams (Continued)

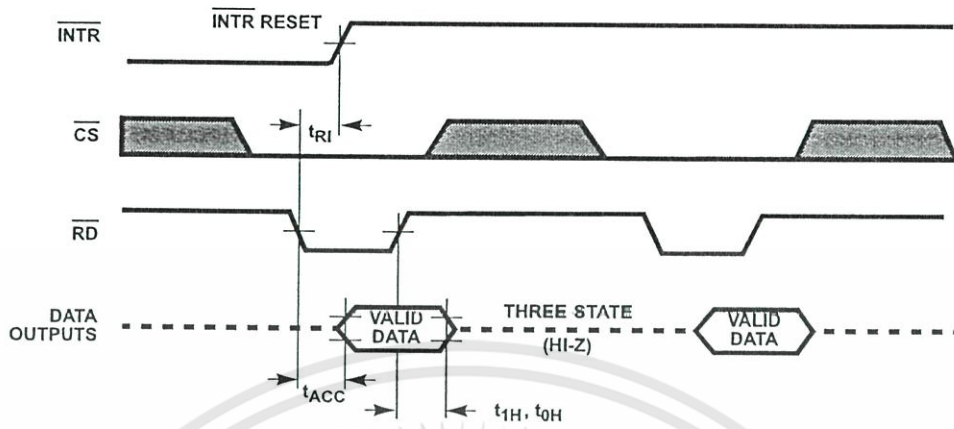


FIGURE 10B. OUTPUT ENABLE AND RESET INTR

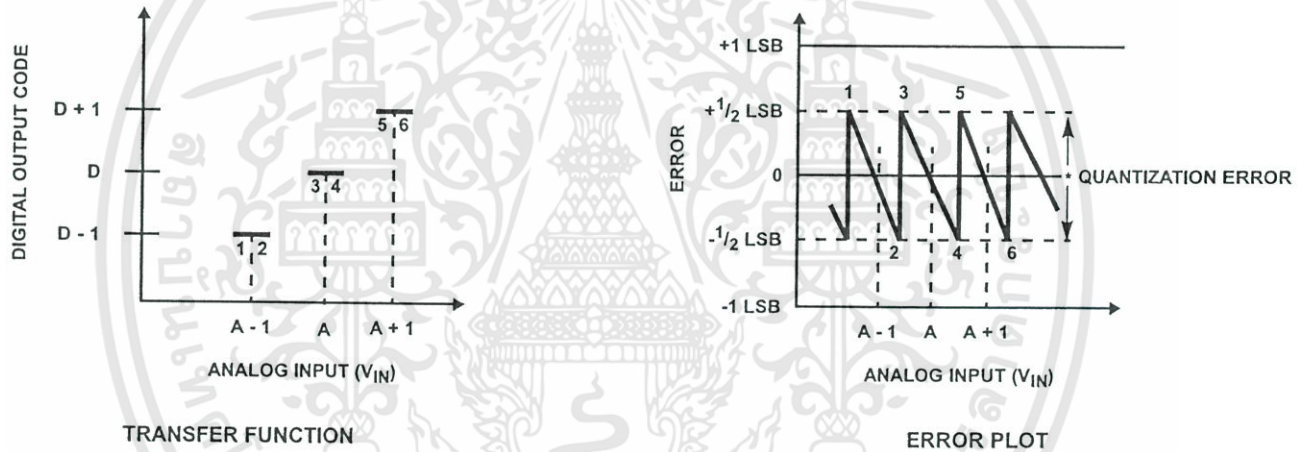


FIGURE 11A. ACCURACY =  $\pm 0$  LSB; PERFECT A/D

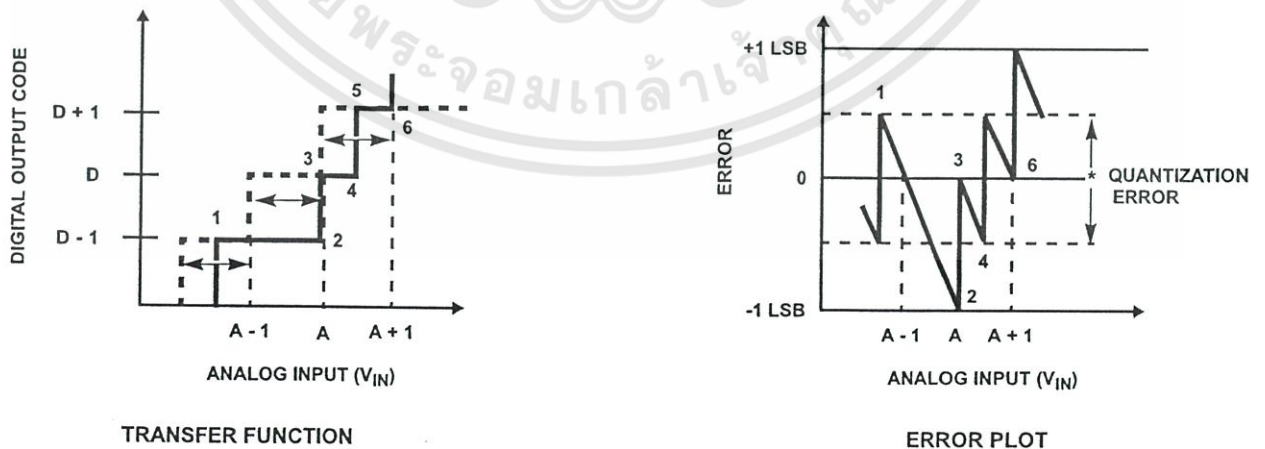


FIGURE 11B. ACCURACY =  $\pm 1/2$  LSB

FIGURE 11. CLARIFYING THE ERROR SPECS OF AN A/D CONVERTER

## Understanding A/D Error Specs

A perfect A/D transfer characteristic (staircase wave-form) is shown in Figure 11A. The horizontal scale is analog input voltage and the particular points labeled are in steps of 1 LSB (19.53mV with 2.5V tied to the  $V_{REF/2}$  pin). The digital output codes which correspond to these inputs are shown as D-1, D, and D+1. For the perfect A/D, not only will center-value (A - 1, A, A + 1, . . .) analog inputs produce the correct output digital codes, but also each riser (the transitions between adjacent output codes) will be located  $\pm 1/2$  LSB away from each center-value. As shown, the risers are ideal and have no width. Correct digital output codes will be provided for a range of analog input voltages which extend  $\pm 1/2$  LSB from the ideal center-values. Each tread (the range of analog input voltage which provides the same digital output code) is therefore 1 LSB wide.

The error curve of Figure 11B shows the worst case transfer function for the ADC080X. Here the specification guarantees that if we apply an analog input equal to the LSB analog voltage center-value, the A/D will produce the correct digital code.

Next to each transfer function is shown the corresponding error plot. Notice that the error includes the quantization uncertainty of the A/D. For example, the error at point 1 of Figure 11A is  $+1/2$  LSB because the digital code appeared  $1/2$  LSB in advance of the center-value of the tread. The error plots always have a constant negative slope and the abrupt upside steps are always 1 LSB in magnitude, unless the device has missing codes.

## Detailed Description

The functional diagram of the ADC080X series of A/D converters operates on the successive approximation principle (see Application Notes AN016 and AN020 for a more detailed description of this principle). Analog switches are closed sequentially by successive-approximation logic until the analog differential input voltage [ $V_{IN(+)} - V_{IN(-)}$ ] matches a voltage derived from a tapped resistor string across the reference voltage. The most significant bit is tested first and after 8 comparisons (64 clock cycles), an 8-bit binary code (1111 1111 = full scale) is transferred to an output latch.

The normal operation proceeds as follows. On the high-to-low transition of the WR input, the internal SAR latches and the shift-register stages are reset, and the INTR output will be set high. As long as the CS input and WR input remain low, the A/D will remain in a reset state. Conversion will start from 1 to 8 clock periods after at least one of these inputs makes a low-to-high transition. After the requisite number of clock pulses to complete the conversion, the INTR pin will make a high-to-low transition. This can be used to interrupt a processor, or otherwise signal the availability of a new conversion. A RD operation (with CS low) will clear the INTR line high again. The device may be operated in the free-running mode by

connecting INTR to the WR input with CS = 0. To ensure start-up under all possible conditions, an external WR pulse is required during the first power-up cycle. A conversion-in-process can be interrupted by issuing a second start command.

## Digital Operation

The converter is started by having CS and WR simultaneously low. This sets the start flip-flop (F/F) and the resulting "1" level resets the 8-bit shift register, resets the Interrupt (INTR) F/F and inputs a "1" to the D flip-flop, DFF1, which is at the input end of the 8-bit shift register. Internal clock signals then transfer this "1" to the Q output of DFF1. The AND gate, G1, combines this "1" output with a clock signal to provide a reset signal to the start F/F. If the set signal is no longer present (either WR or CS is a "1"), the start F/F is reset and the 8-bit shift register then can have the "1" clocked in, which starts the conversion process. If the set signal were to still be present, this reset pulse would have no effect (both outputs of the start F/F would be at a "1" level) and the 8-bit shift register would continue to be held in the reset mode. This allows for asynchronous or wide CS and WR signals.

After the "1" is clocked through the 8-bit shift register (which completes the SAR operation) it appears as the input to DFF2. As soon as this "1" is output from the shift register, the AND gate, G2, causes the new digital word to transfer to the Three-State output latches. When DFF2 is subsequently clocked, the  $\bar{Q}$  output makes a high-to-low transition which causes the INTR F/F to set. An inverting buffer then supplies the  $\overline{\text{INTR}}$  output signal.

When data is to be read, the combination of both  $\overline{\text{CS}}$  and  $\overline{\text{RD}}$  being low will cause the INTR F/F to be reset and the three-state output latches will be enabled to provide the 8-bit digital outputs.

## Digital Control Inputs

The digital control inputs (CS, RD, and WR) meet standard TTL logic voltage levels. These signals are essentially equivalent to the standard A/D Start and Output Enable control signals, and are active low to allow an easy interface to microprocessor control busses. For non-microprocessor based applications, the CS input (pin 1) can be grounded and the standard A/D Start function obtained by an active low pulse at the WR input (pin 3). The Output Enable function is achieved by an active low pulse at the RD input (pin 2).

## Analog Operation

The analog comparisons are performed by a capacitive charge summing circuit. Three capacitors (with precise ratioed values) share a common node with the input to an auto-zeroed comparator. The input capacitor is switched between  $V_{IN(+)}$  and  $V_{IN(-)}$ , while two ratioed reference capacitors are switched between taps on the reference voltage divider string. The net charge corresponds to the weighted difference between the input and the current total value set by the

successive approximation register. A correction is made to offset the comparison by  $1/2$  LSB (see Figure 11A).

### Analog Differential Voltage Inputs and Common-Mode Rejection

This A/D gains considerable applications flexibility from the analog differential voltage input. The  $V_{IN(-)}$  input (pin 7) can be used to automatically subtract a fixed voltage value from the input reading (tare correction). This is also useful in 4mA - 20mA current loop conversion. In addition, common-mode noise can be reduced by use of the differential input.

The time interval between sampling  $V_{IN(+)}$  and  $V_{IN(-)}$  is  $4^{1/2}$  clock periods. The maximum error voltage due to this slight time difference between the input voltage samples is given by:

$$\Delta V_E(\text{MAX}) = (V_{\text{PEAK}})(2\pi f_{\text{CM}}) \left[ \frac{4.5}{f_{\text{CLK}}} \right]$$

where:

$\Delta V_E$  is the error voltage due to sampling delay,

$V_{\text{PEAK}}$  is the peak value of the common-mode voltage,

$f_{\text{CM}}$  is the common-mode frequency.

For example, with a 60Hz common-mode frequency,  $f_{\text{CM}}$ , and a 640kHz A/D clock,  $f_{\text{CLK}}$ , keeping this error to  $1/4$  LSB ( $\sim 5\text{mV}$ ) would allow a common-mode voltage,  $V_{\text{PEAK}}$ , given by:

$$V_{\text{PEAK}} = \frac{[\Delta V_E(\text{MAX})(f_{\text{CLK}})]}{(2\pi f_{\text{CM}})(4.5)}$$

or

$$V_{\text{PEAK}} = \frac{(5 \times 10^{-3})(640 \times 10^3)}{(6.28)(60)(4.5)} \cong 1.9\text{V}$$

The allowed range of analog input voltage usually places more severe restrictions on input common-mode voltage levels than this.

An analog input voltage with a reduced span and a relatively large zero offset can be easily handled by making use of the differential input (see Reference Voltage Span Adjust).

### Analog Input Current

The internal switching action causes displacement currents to flow at the analog inputs. The voltage on the on-chip capacitance to ground is switched through the analog differential input voltage, resulting in proportional currents entering the  $V_{IN(+)}$  input and leaving the  $V_{IN(-)}$  input. These current transients occur at the leading edge of the internal clocks. They rapidly decay and do not inherently cause errors as the on-chip comparator is strobed at the end of the clock period.

### Input Bypass Capacitors

Bypass capacitors at the inputs will average these charges and cause a DC current to flow through the output resistances of the analog signal sources. This charge pumping action is worse for continuous conversions with the  $V_{IN(+)}$  input voltage at full scale. For a 640kHz clock frequency with the  $V_{IN(+)}$

input at 5V, this DC current is at a maximum of approximately  $5\mu\text{A}$ . Therefore, **bypass capacitors should not be used at the analog inputs or the  $V_{\text{REF}/2}$  pin** for high resistance sources ( $>1\text{k}\Omega$ ). If input bypass capacitors are necessary for noise filtering and high source resistance is desirable to minimize capacitor size, the effects of the voltage drop across this input resistance, due to the average value of the input current, can be compensated by a full scale adjustment while the given source resistor and input bypass capacitor are both in place. This is possible because the average value of the input current is a precise linear function of the differential input voltage at a constant conversion rate.

### Input Source Resistance

Large values of source resistance where an input bypass capacitor is not used will not cause errors since the input currents settle out prior to the comparison time. If a low-pass filter is required in the system, use a low-value series resistor ( $\leq 1\text{k}\Omega$ ) for a passive RC section or add an op amp RC active low-pass filter. For low-source-resistance applications ( $\leq 1\text{k}\Omega$ ), a  $0.1\mu\text{F}$  bypass capacitor at the inputs will minimize EMI due to the series lead inductance of a long wire. A  $100\Omega$  series resistor can be used to isolate this capacitor (both the R and C are placed outside the feedback loop) from the output of an op amp, if used.

### Stray Pickup

The leads to the analog inputs (pins 6 and 7) should be kept as short as possible to minimize stray signal pickup (EMI). Both EMI and undesired digital-clock coupling to these inputs can cause system errors. The source resistance for these inputs should, in general, be kept below  $5\text{k}\Omega$ . Larger values of source resistance can cause undesired signal pickup. Input bypass capacitors, placed from the analog inputs to ground, will eliminate this pickup but can create analog scale errors as these capacitors will average the transient input switching currents of the A/D (see Analog Input Current). This scale error depends on both a large source resistance and the use of an input bypass capacitor. This error can be compensated by a full scale adjustment of the A/D (see Full Scale Adjustment) with the source resistance and input bypass capacitor in place, and the desired conversion rate.

### Reference Voltage Span Adjust

For maximum application flexibility, these A/Ds have been designed to accommodate a 5V, 2.5V or an adjusted voltage reference. This has been achieved in the design of the IC as shown in Figure 12.

Notice that the reference voltage for the IC is either  $1/2$  of the voltage which is applied to the  $V+$  supply pin, or is equal to the voltage which is externally forced at the  $V_{\text{REF}/2}$  pin. This allows for a pseudo-ratiometric voltage reference using, for the  $V+$  supply, a 5V reference voltage. Alternatively, a voltage less than 2.5V can be applied to the  $V_{\text{REF}/2}$  input. The internal gain to the  $V_{\text{REF}/2}$  input is 2 to allow this factor of 2 reduction in the reference voltage.

Such an adjusted reference voltage can accommodate a reduced span or dynamic voltage range of the analog input voltage. If the analog input voltage were to range from 0.5V to 3.5V, instead of 0V to 5V, the span would be 3V. With 0.5V applied to the  $V_{IN(-)}$  pin to absorb the offset, the reference voltage can be made equal to  $1/2$  of the 3V span or 1.5V. The A/D now will encode the  $V_{IN(+)}$  signal from 0.5V to 3.5V with the 0.5V input corresponding to zero and the 3.5V input corresponding to full scale. The full 8 bits of resolution are therefore applied over this reduced analog input voltage range. The requisite connections are shown in Figure 13. For expanded scale inputs, the circuits of Figures 14 and 15 can be used.

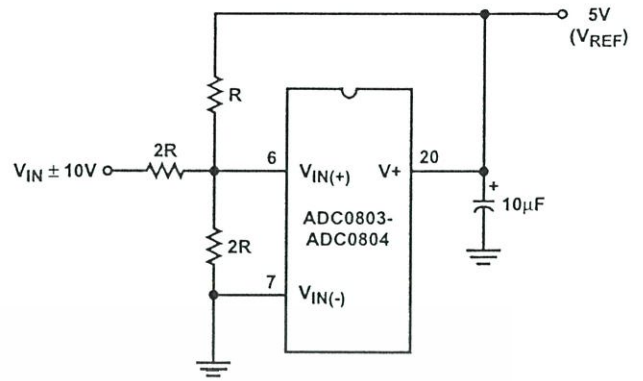


FIGURE 14. HANDLING ±10V ANALOG INPUT RANGE

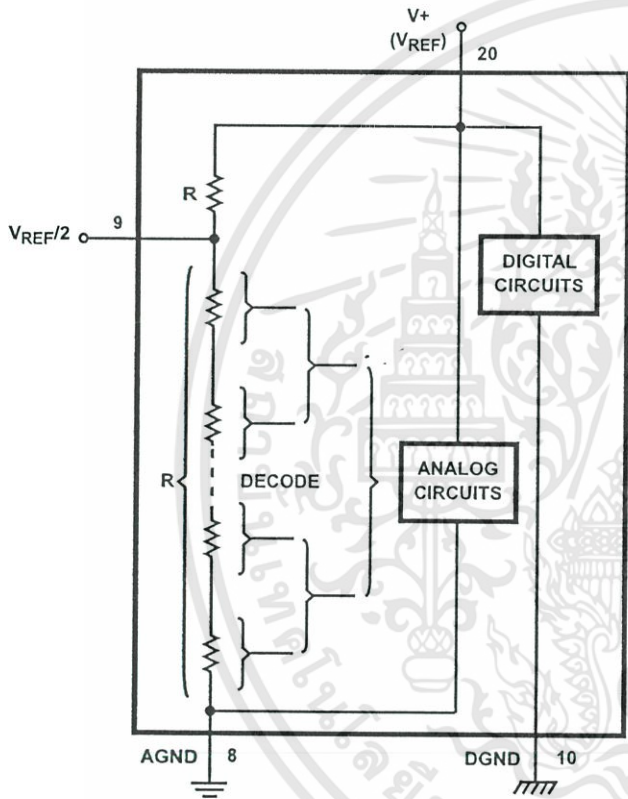


FIGURE 12. THE  $V_{REFERENCE}$  DESIGN ON THE IC

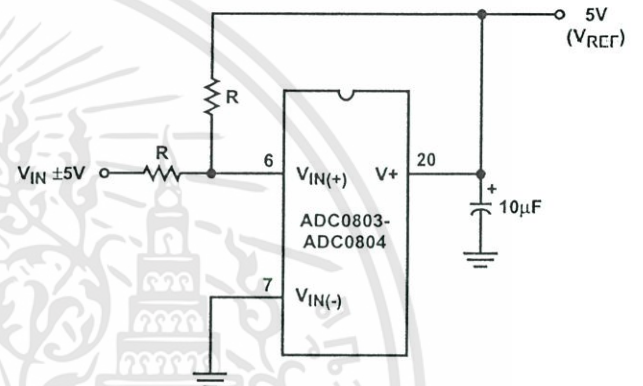


FIGURE 15. HANDLING ±5V ANALOG INPUT RANGE

**Reference Accuracy Requirements**

The converter can be operated in a pseudo-ratiometric mode or an absolute mode. In ratiometric converter applications, the magnitude of the reference voltage is a factor in both the output of the source transducer and the output of the A/D converter and therefore cancels out in the final digital output code. In absolute conversion applications, both the initial value and the temperature stability of the reference voltage are important accuracy factors in the operation of the A/D converter. For  $V_{REF}/2$  voltages of 2.5V nominal value, initial errors of ±10mV will cause conversion errors of ±1 LSB due to the gain of 2 of the  $V_{REF}/2$  input. In reduced span applications, the initial value and the stability of the  $V_{REF}/2$  input voltage become even more important. For example, if the span is reduced to 2.5V, the analog input LSB voltage value is correspondingly reduced from 20mV (5V span) to 10mV and 1 LSB at the  $V_{REF}/2$  input becomes 5mV. As can be seen, this reduces the allowed initial tolerance of the reference voltage and requires correspondingly less absolute change with temperature variations. Note that spans smaller than 2.5V place even tighter requirements on the initial accuracy and stability of the reference source.

In general, the reference voltage will require an initial adjustment. Errors due to an improper value of reference voltage appear as full scale errors in the A/D transfer

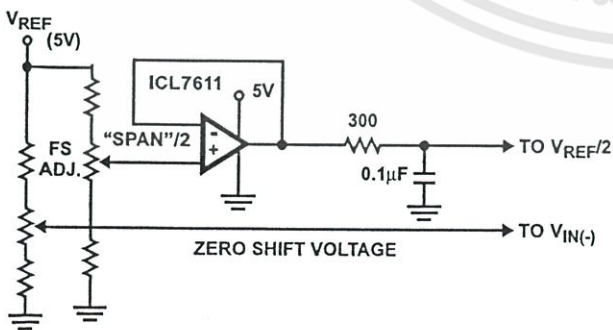


FIGURE 13. OFFSETTING THE ZERO OF THE ADC080X AND PERFORMING AN INPUT RANGE (SPAN) ADJUSTMENT

function. IC voltage regulators may be used for references if the ambient temperature changes are not excessive.

**Zero Error**

The zero of the A/D does not require adjustment. If the minimum analog input voltage value,  $V_{IN(MIN)}$ , is not ground, a zero offset can be done. The converter can be made to output 0000 0000 digital code for this minimum input voltage by biasing the A/D  $V_{IN(-)}$  input at this  $V_{IN(MIN)}$  value (see Applications section). This utilizes the differential mode operation of the A/D.

The zero error of the A/D converter relates to the location of the first riser of the transfer function and can be measured by grounding the  $V_{IN(-)}$  input and applying a small magnitude positive voltage to the  $V_{IN(+)}$  input. Zero error is the difference between the actual DC input voltage which is necessary to just cause an output digital code transition from 0000 0000 to 0000 0001 and the ideal  $1/2$  LSB value ( $1/2$  LSB = 9.8mV for  $V_{REF}/2 = 2.500V$ ).

**Full Scale Adjust**

The full scale adjustment can be made by applying a differential input voltage which is  $1/2$  LSB down from the desired analog full scale voltage range and then adjusting the magnitude of the  $V_{REF}/2$  input (pin 9) for a digital output code which is just changing from 1111 1110 to 1111 1111. When offsetting the zero and using a span-adjusted  $V_{REF}/2$  voltage, the full scale adjustment is made by inputting  $V_{MIN}$  to the  $V_{IN(-)}$  input of the A/D and applying a voltage to the  $V_{IN(+)}$  input which is given by:

$$V_{IN(+)} f_{SADJ} = V_{MAX} - 1.5 \left[ \frac{(V_{MAX} - V_{MIN})}{256} \right]$$

where:

$V_{MAX}$  = the high end of the analog input range, and

$V_{MIN}$  = the low end (the offset zero) of the analog range. (Both are ground referenced.)

**Clocking Option**

The clock for the A/D can be derived from an external source such as the CPU clock or an external RC network can be added to provide self-clocking. The CLK IN (pin 4) makes use of a Schmitt trigger as shown in Figure 16.

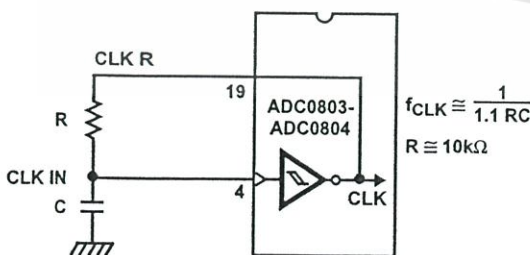


FIGURE 16. SELF-CLOCKING THE A/D

Heavy capacitive or DC loading of the CLK R pin should be avoided as this will disturb normal converter operation.

Loads less than 50pF, such as driving up to 7 A/D converter clock inputs from a single CLK R pin of 1 converter, are allowed. For larger clock line loading, a CMOS or low power TTL buffer or PNP input logic should be used to minimize the loading on the CLK R pin (do not use a standard TTL buffer).

**Restart During a Conversion**

If the A/D is restarted ( $\overline{CS}$  and  $\overline{WR}$  go low and return high) during a conversion, the converter is reset and a new conversion is started. The output data latch is not updated if the conversion in progress is not completed. The data from the previous conversion remain in this latch.

**Continuous Conversions**

In this application, the  $\overline{CS}$  input is grounded and the  $\overline{WR}$  input is tied to the INTR output. This  $\overline{WR}$  and INTR node should be momentarily forced to logic low following a power-up cycle to insure circuit operation. See Figure 17 for details.

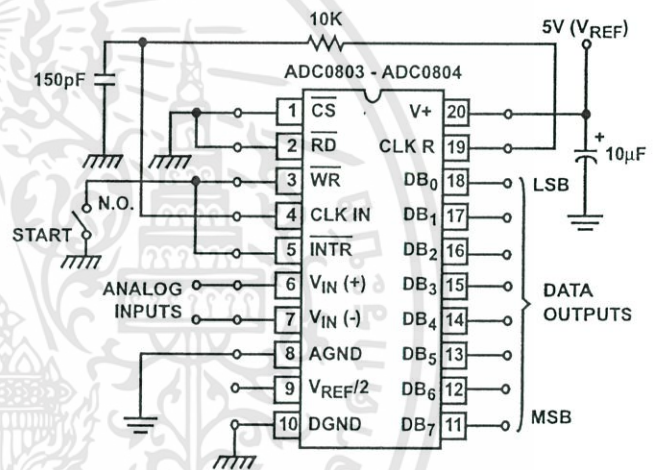


FIGURE 17. FREE-RUNNING CONNECTION

**Driving the Data Bus**

This CMOS A/D, like MOS microprocessors and memories, will require a bus driver when the total capacitance of the data bus gets large. Other circuitry, which is tied to the data bus, will add to the total capacitive loading, even in three-state (high-impedance mode). Back plane busing also greatly adds to the stray capacitance of the data bus.

There are some alternatives available to the designer to handle this problem. Basically, the capacitive loading of the data bus slows down the response time, even though DC specifications are still met. For systems operating with a relatively slow CPU clock frequency, more time is available in which to establish proper logic levels on the bus and therefore higher capacitive loads can be driven (see Typical Performance Curves).

At higher CPU clock frequencies time can be extended for I/O reads (and/or writes) by inserting wait states (8080) or using clock-extending circuits (6800).

Finally, if time is short and capacitive loading is high, external bus drivers must be used. These can be three-state buffers (low power Schottky is recommended, such as the 74LS240 series) or special higher-drive-current products which are designed as bus drivers. High-current bipolar bus drivers with PNP inputs are recommended.

**Power Supplies**

Noise spikes on the V+ supply line can cause conversion errors as the comparator will respond to this noise. A low-inductance tantalum filter capacitor should be used close to the converter V+ pin, and values of 1µF or greater are recommended. If an unregulated voltage is available in the system, a separate 5V voltage regulator for the converter (and other analog circuitry) will greatly reduce digital noise on the V+ supply. An ICL7663 can be used to regulate such a supply from an input as low as 5.2V.

**Wiring and Hook-Up Precautions**

Standard digital wire-wrap sockets are not satisfactory for breadboarding with this A/D converter. Sockets on PC boards can be used. All logic signal wires and leads should be grouped and kept as far away as possible from the analog signal leads. Exposed leads to the analog inputs can cause undesired digital noise and hum pickup; therefore, shielded leads may be necessary in many applications.

A single-point analog ground should be used which is separate from the logic ground points. The power supply bypass capacitor and the self-clocking capacitor (if used) should both be returned to digital ground. Any V<sub>REF/2</sub> bypass capacitors, analog input filter capacitors, or input signal shielding should be returned to the analog ground point. A test for proper grounding is to measure the zero error of the A/D converter. Zero errors in excess of 1/4 LSB can usually be traced to improper board layout and wiring (see Zero Error for measurement). Further information can be found in Application Note AN018.

**Testing the A/D Converter**

There are many degrees of complexity associated with testing an A/D converter. One of the simplest tests is to apply a known analog input voltage to the converter and use LEDs to display the resulting digital output code as shown in Figure 18.

For ease of testing, the V<sub>REF/2</sub> (pin 9) should be supplied with 2.560V and a V+ supply voltage of 5.12V should be used. This provides an LSB value of 20mV.

If a full scale adjustment is to be made, an analog input voltage of 5.090V (5.120 - 1/2 LSB) should be applied to the V<sub>IN(+)</sub> pin with the V<sub>IN(-)</sub> pin grounded. The value of the V<sub>REF/2</sub> input voltage should be adjusted until the digital output code is just changing from 1111 1110 to 1111 1111. This value of V<sub>REF/2</sub> should then be used for all the tests.

The digital-output LED display can be decoded by dividing the 8 bits into 2 hex characters, one with the 4 most-

significant bits (MS) and one with the 4 least-significant bits (LS). The output is then interpreted as a sum of fractions times the full scale voltage:

$$V_{OUT} = \left(\frac{MS}{16} + \frac{LS}{256}\right)(5.12)V.$$

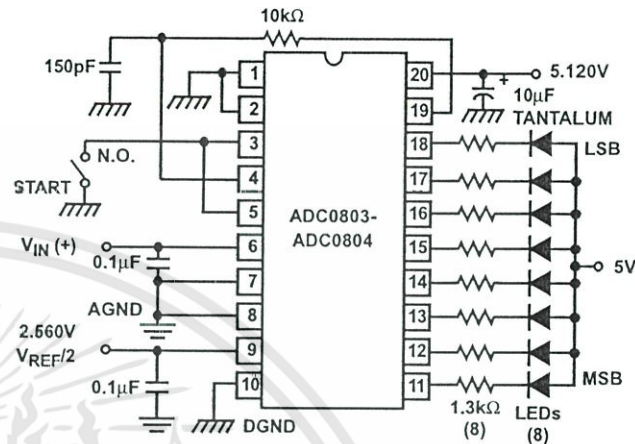


FIGURE 18. BASIC TESTER FOR THE A/D

For example, for an output LED display of 1011 0110, the MS character is hex B (decimal 11) and the LS character is hex (and decimal) 6, so:

$$V_{OUT} = \left(\frac{11}{16} + \frac{6}{256}\right)(5.12) = 3.64V.$$

Figures 19 and 20 show more sophisticated test circuits.

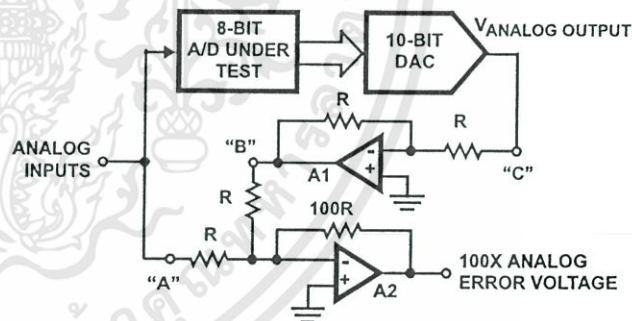


FIGURE 19. A/D TESTER WITH ANALOG ERROR OUTPUT. THIS CIRCUIT CAN BE USED TO GENERATE "ERROR PLOTS" OF FIGURE 11.



FIGURE 20. BASIC "DIGITAL" A/D TESTER

**Typical Applications**

**Interfacing 8080/85 or Z-80 Microprocessors**

This converter has been designed to directly interface with 8080/85 or Z-80 Microprocessors. The three-state output capability of the A/D eliminates the need for a peripheral interface device, although address decoding is still required to generate the appropriate CS for the converter. The A/D can be mapped into memory space (using standard memory-address decoding for CS and the MEMR and MEMW strobes) or it can be controlled as an I/O device by using the I/OR and I/OW strobes and decoding the address bits A0 → A7 (or address bits A8 → A15, since they will contain the same 8-bit address information) to obtain the CS input. Using the I/O space provides 256 additional addresses and may allow a simpler 8-bit address decoder, but the data can only be input to the accumulator. To make use of the additional memory reference instructions, the A/D should be mapped into memory space. See AN020 for more discussion of memory-mapped vs I/O-mapped Interfaces. An example of an A/D in I/O space is shown in Figure 21.

The standard control-bus signals of the 8080 (CS, RD and WR) can be directly wired to the digital control inputs of the A/D, since the bus timing requirements, to allow both starting the converter, and outputting the data onto the data bus, are met. A bus driver should be used for larger microprocessor systems where the data bus leaves the PC board and/or must drive capacitive loads larger than 100pF.

It is useful to note that in systems where the A/D converter is 1 of 8 or fewer I/O-mapped devices, no address-decoding circuitry is necessary. Each of the 8 address bits (A0 to A7) can be directly used as CS inputs, one for each I/O device.

**Interfacing the Z-80 and 8085**

The Z-80 and 8085 control buses are slightly different from that of the 8080. General RD and WR strobes are provided and separate memory request, MREQ, and I/O request, IORQ, signals have to be combined with the generalized strobes to provide the appropriate signals. An advantage of operating the A/D in I/O space with the Z-80 is that the CPU will automatically insert one wait state (the RD and WR strobes are extended one clock period) to allow more time for the I/O devices to respond. Logic to map the A/D in I/O space is shown in Figure 22. By using MREQ in place of IORQ, a memory-mapped configuration results.

Additional I/O advantages exist as software DMA routines are available and use can be made of the output data transfer which exists on the upper 8 address lines (A8 to A15) during I/O input instructions. For example, MUX channel selection for the A/D can be accomplished with this operating mode.

The 8085 also provides a generalized RD and WR strobe, with an IO/M line to distinguish I/O and memory requests. The circuit of Figure 22 can again be used, with IO/M in place of IORQ for a memory-mapped interface, and an extra inverter (or the logic equivalent) to provide IO/M for an I/O-mapped connection.

**Interfacing 6800 Microprocessor Derivatives (6502, etc.)**

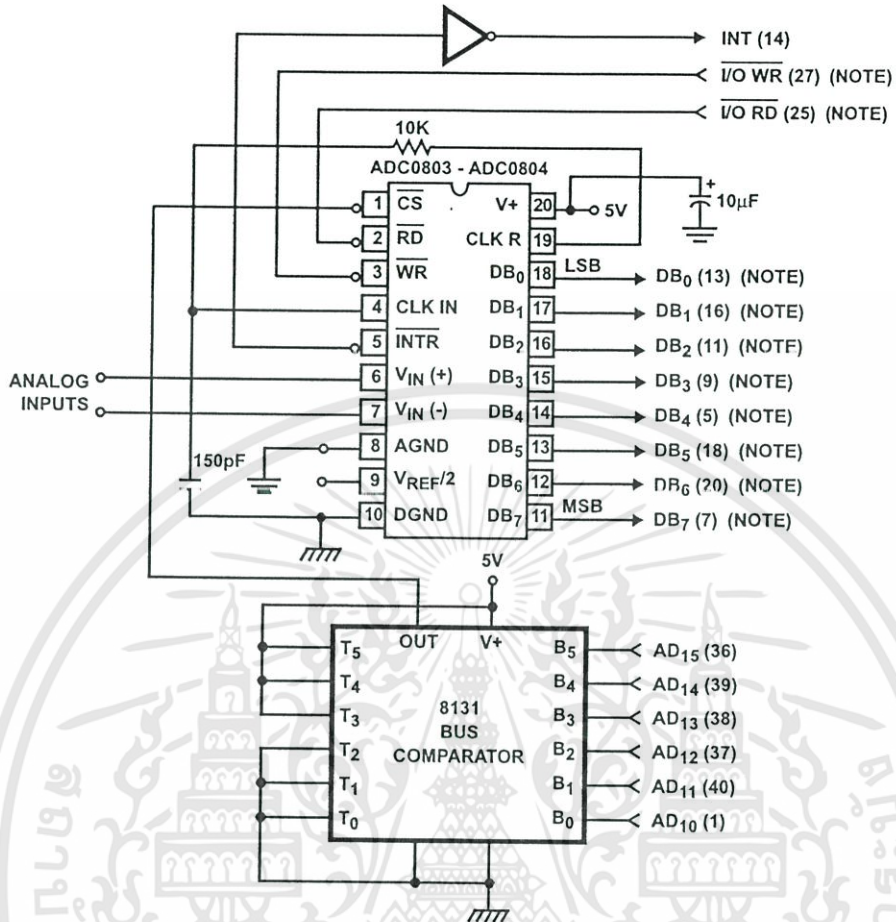
The control bus for the 6800 microprocessor derivatives does not use the RD and WR strobe signals. Instead it employs a single R/W line and additional timing, if needed, can be derived from the φ2 clock. All I/O devices are memory-mapped in the 6800 system, and a special signal, VMA, indicates that the current address is valid. Figure 23 shows an interface schematic where the A/D is memory-mapped in the 6800 system. For simplicity, the CS decoding is shown using 1/2 DM8092. Note that in many 6800 systems, an already decoded 1/5 line is brought out to the common bus at pin 21. This can be tied directly to the CS pin of the A/D, provided that no other devices are addressed at HEX ADDR: 4XXX or 5XXX.

In Figure 24 the ADC080X series is interfaced to the MC6800 microprocessor through (the arbitrarily chosen) Port B of the MC6820 or MC6821 Peripheral Interface Adapter (PIA). Here the CS pin of the A/D is grounded since the PIA is already memory-mapped in the MC6800 system and no CS decoding is necessary. Also notice that the A/D output data lines are connected to the microprocessor bus under program control through the PIA and therefore the A/D RD pin can be grounded.

**Application Notes**

NOTE #	DESCRIPTION
AN016	"Selecting A/D Converters"
AN018	"Do's and Don'ts of Applying A/D Converters"
AN020	"A Cookbook Approach to High Speed Data Acquisition and Microprocessor Interfacing"
AN030	"The ICL7104 - A Binary Output A/D Converter for Microprocessors"

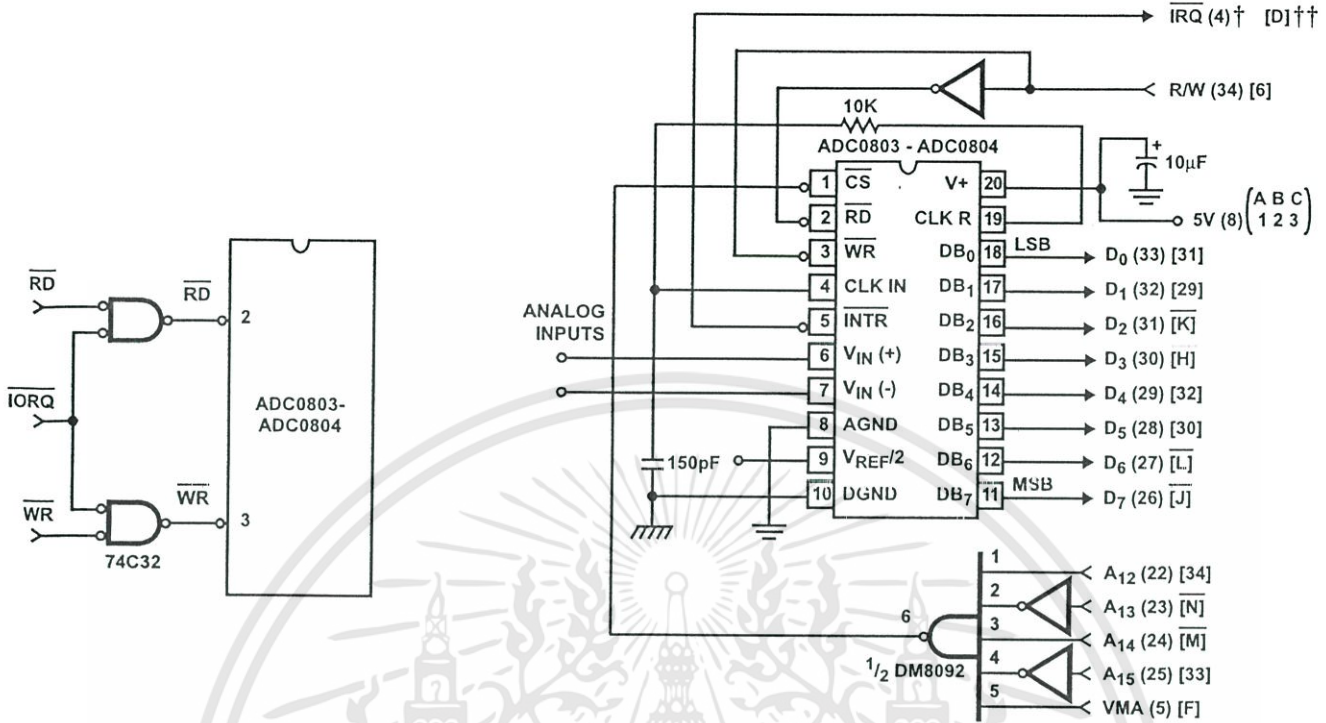
## ADC0803, ADC0804



NOTE: Pin numbers for 8228 System Controller: Others are 8080A.

FIGURE 21. ADC080X TO 8080A CPU INTERFACE

## ADC0803, ADC0804



† Numbers in parentheses refer to MC6800 CPU Pinout.  
 †† Numbers or letters in brackets refer to standard MC6800 System Common Bus Code.

FIGURE 22. MAPPING THE A/D AS AN I/O DEVICE FOR USE WITH THE Z-80 CPU

FIGURE 23. ADC080X TO MC6800 CPU INTERFACE

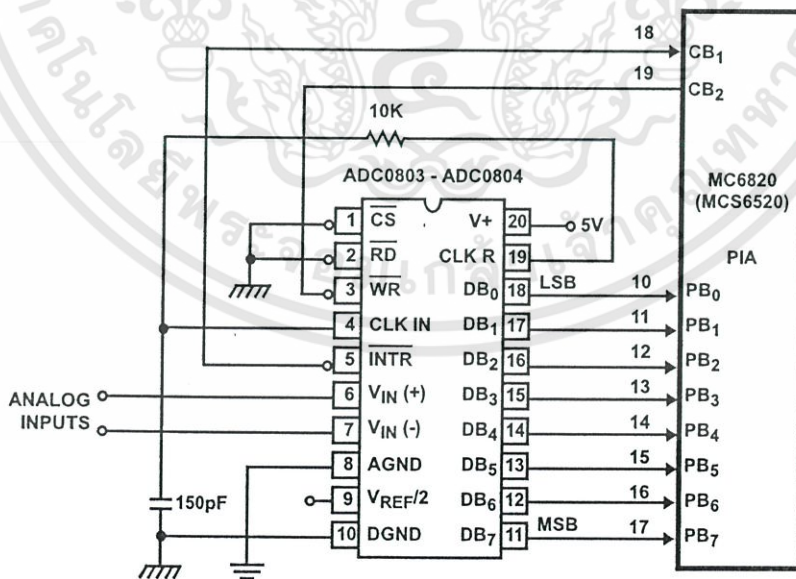


FIGURE 24. ADC080X TO MC6820 PIA INTERFACE

**Die Characteristics**

**DIE DIMENSIONS**

101 mils x 93 mils

**METALLIZATION**

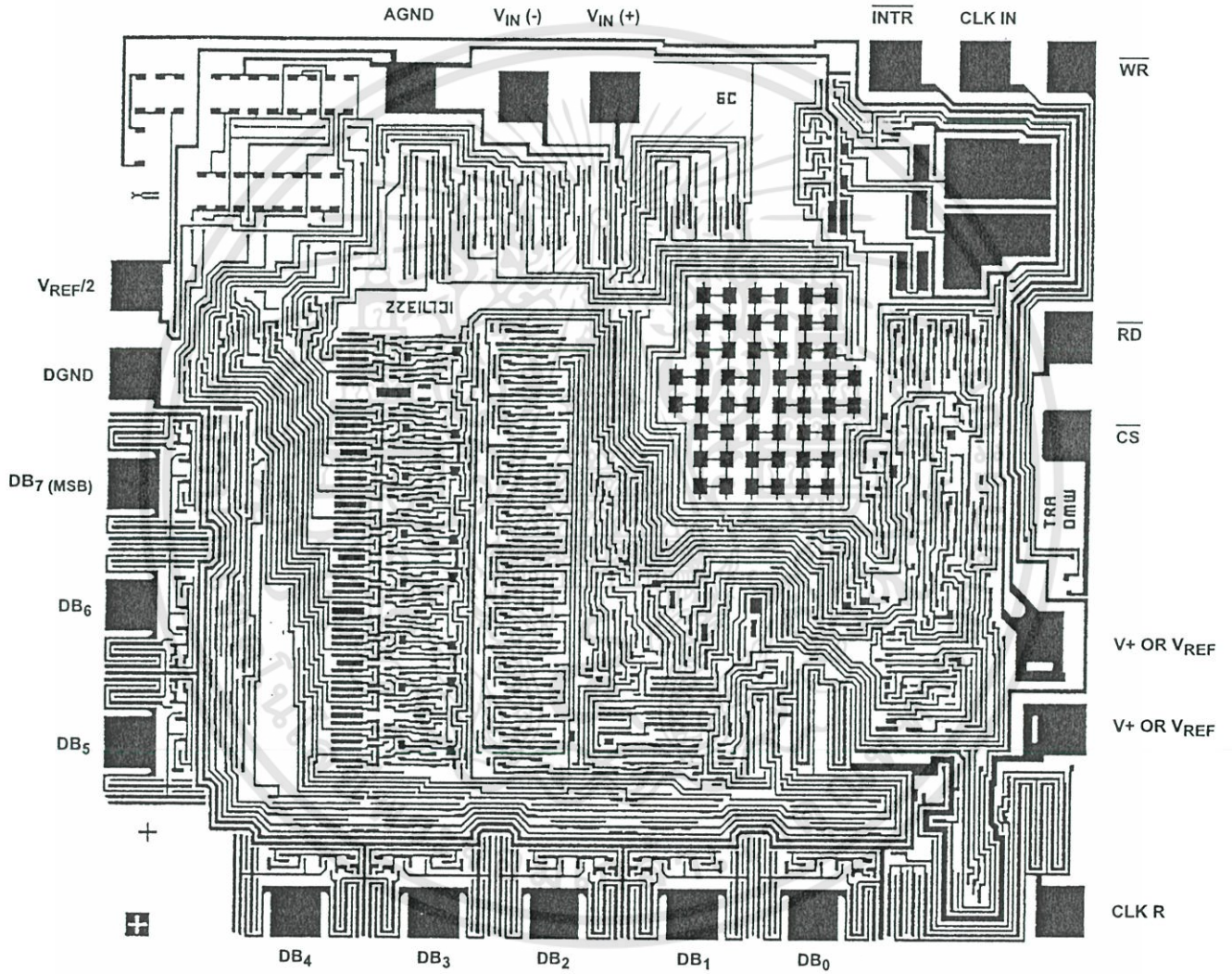
Type: Al  
Thickness:  $10\text{k}\text{\AA} \pm 1\text{k}\text{\AA}$

**PASSIVATION**

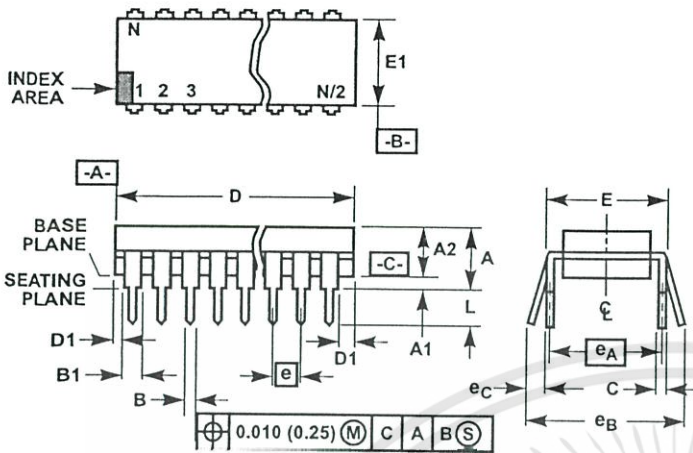
Type: Nitride over Silox  
Nitride Thickness:  $8\text{k}\text{\AA}$   
Silox Thickness:  $7\text{k}\text{\AA}$

**Metallization Mask Layout**

ADC0803, ADC0804



Dual-In-Line Plastic Packages (PDIP)



E20.3 (JEDEC MS-001-AD ISSUE D)  
20 LEAD DUAL-IN-LINE PLASTIC PACKAGE

SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS		NOTES
	MIN	MAX	MIN	MAX	
A	-	0.210	-	5.33	4
A1	0.015	-	0.39	-	4
A2	0.115	0.195	2.93	4.95	-
B	0.014	0.022	0.356	0.558	-
B1	0.045	0.070	1.55	1.77	8
C	0.008	0.014	0.204	0.355	-
D	0.980	1.060	24.89	26.9	5
D1	0.005	-	0.13	-	5
L	0.300	0.325	7.62	8.25	6
E1	0.240	0.280	6.10	7.11	5
e	0.100 BSC		2.54 BSC		-
eA	0.300 BSC		7.62 BSC		6
eB	-	0.430	-	10.92	7
L	0.115	0.150	2.93	3.81	4
N	20		20		9

Rev. 0 12/93

NOTES:

1. Controlling Dimensions: INCH. In case of conflict between English and Metric dimensions, the inch dimensions control.
2. Dimensioning and tolerancing per ANSI Y14.5M-1982.
3. Symbols are defined in the "MO Series Symbol List" in Section 2.2 of Publication No. 95.
4. Dimensions A, A1 and L are measured with the package seated in JEDEC seating plane gauge GS-3.
5. D, D1, and E1 dimensions do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.010 inch (0.25mm).
6. E and  $e_A$  are measured with the leads constrained to be perpendicular to datum  $-C-$ .
7.  $e_B$  and  $e_C$  are measured at the lead tips with the leads unconstrained.  $e_C$  must be zero or greater.
8. B1 maximum dimensions do not include dambar protrusions. Dambar protrusions shall not exceed 0.010 inch (0.25mm).
9. N is the maximum number of terminal positions.
10. Corner leads (1, N, N/2 and N/2 + 1) for E8.3, E16.3, E18.3, E28.3, E42.6 will have a B1 dimension of 0.030 - 0.045 inch (0.76 - 1.14mm).

All Intersil products are manufactured, assembled and tested utilizing ISO9000 quality systems. Intersil Corporation's quality certifications can be viewed at website [www.intersil.com/quality/iso.asp](http://www.intersil.com/quality/iso.asp).

Intersil products are sold by description only. Intersil Corporation reserves the right to make changes in circuit design and/or specifications at any time without notice. Accordingly, the reader is cautioned to verify that data sheets are current before placing orders. Information furnished by Intersil is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Intersil or its subsidiaries for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Intersil or its subsidiaries.

For information regarding Intersil Corporation and its products, see web site [www.intersil.com](http://www.intersil.com)



**MICROCHIP**

**PIC18F2525/2620/4525/4620**

**28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers with 10-Bit A/D and nanoWatt Technology**

**Power Managed Modes:**

- Run: CPU on, peripherals on
- Idle: CPU off, peripherals on
- Sleep: CPU off, peripherals off
- Idle mode currents down to 2.5  $\mu$ A typical
- Sleep mode current down to 100 nA typical
- Timer1 Oscillator: 1.8  $\mu$ A, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 1.4  $\mu$ A, 2V typical
- Two-Speed Oscillator Start-up

**Flexible Oscillator Structure:**

- Four Crystal modes, up to 40 MHz
- 4x Phase Lock Loop (PLL) – available for crystal and internal oscillators
- Two External RC modes, up to 4 MHz
- Two External Clock modes, up to 40 MHz
- Internal oscillator block:
  - 8 user selectable frequencies, from 31 kHz to 8 MHz
  - Provides a complete range of clock speeds from 31 kHz to 32 MHz when used with PLL
  - User tunable to compensate for frequency drift
- Secondary oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Fail-Safe Clock Monitor
  - Allows for safe shutdown if peripheral clock stops

**Peripheral Highlights:**

- High-current sink/source 25 mA/25 mA
- Three programmable external interrupts
- Four input change interrupts
- Up to 2 Capture/Compare/PWM (CCP) modules, one with Auto-Shutdown (28-pin devices)
- Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) module (40/44-pin devices only):
  - One, two or four PWM outputs
  - Selectable polarity
  - Programmable dead time
  - Auto-Shutdown and Auto-Restart

**Peripheral Highlights (Continued):**

- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module supporting 3-wire SPI™ (all 4 modes) and I<sup>2</sup>C™ Master and Slave modes
- Enhanced Addressable USART module:
  - Supports RS-485, RS-232 and LIN 1.2
  - RS-232 operation using internal oscillator block (no external crystal required)
  - Auto-Wake-up on Start bit
  - Auto-Baud Detect
- 10-bit, up to 13-channel Analog-to-Digital Converter module (A/D):
  - Auto-acquisition capability
  - Conversion available during Sleep
- Dual analog comparators with input multiplexing
- Programmable 16-level High/Low-Voltage Detection (HLVD) module:
  - Supports interrupt on High/Low-Voltage Detection

**Special Microcontroller Features:**

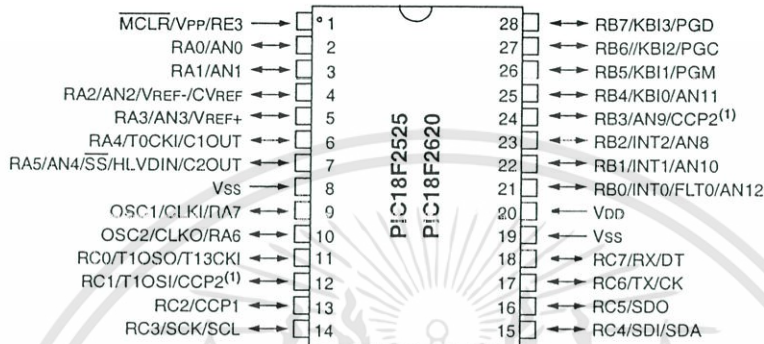
- C compiler optimized architecture:
  - Optional extended instruction set designed to optimize re-entrant code
- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory typical
- Flash/Data EEPROM Retention: 100 years typical
- Self-programmable under software control
- Priority levels for interrupts
- 8 x 8 Single Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
  - Programmable period from 4 ms to 131s
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- Programmable Brown-out Reset (BOR) with software enable option

Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-bit A/D (ch)	CCP/ ECCP (PWM)	MSSP		EUSART	Comp.	Timers 8/16-bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)				SPI™	Master I <sup>2</sup> C™			
PIC18F2525	48K	24576	3986	1024	25	10	2/0	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2620	64K	32768	3986	1024	25	10	2/0	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4525	48K	24576	3986	1024	36	13	1/1	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4620	64K	32768	3986	1024	36	13	1/1	Y	Y	1	2	1/3

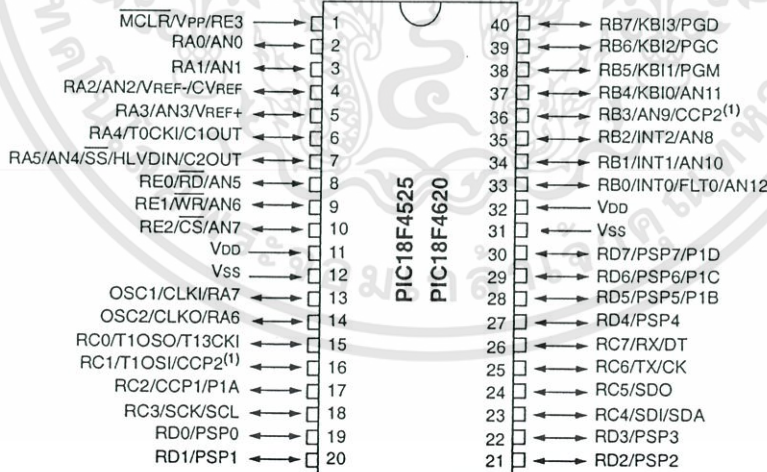
# PIC18F2525/2620/4525/4620

## Pin Diagrams

### 28-Pin SPDIP, SOIC



### 40-Pin PDIP

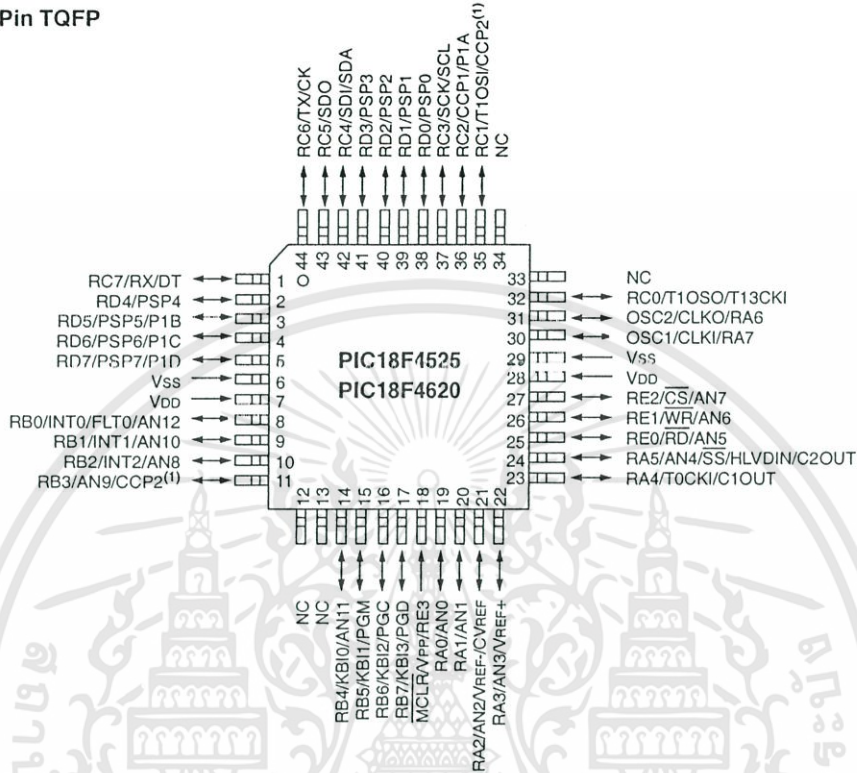


Note 1: RB3 is the alternate pin for CCP2 multiplexing.

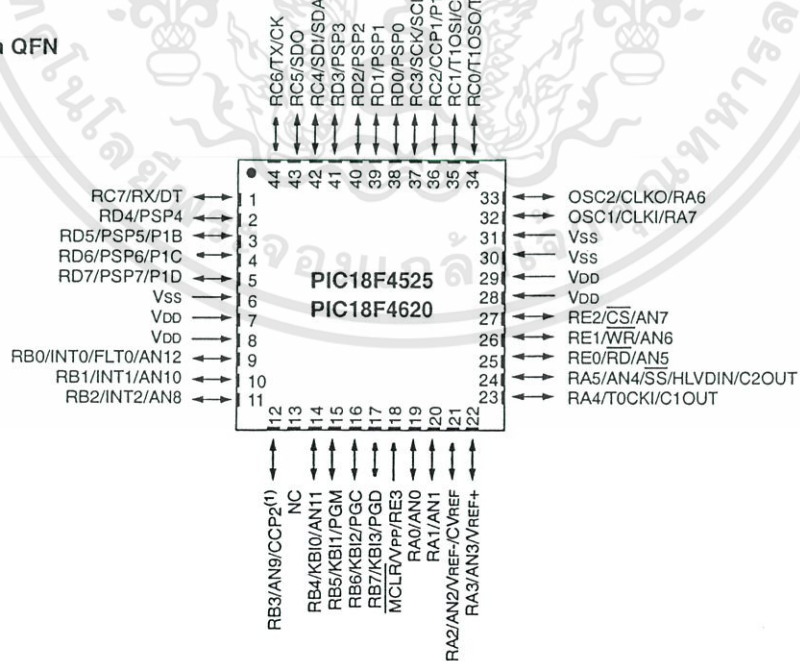
# PIC18F2525/2620/4525/4620

## Pin Diagrams (Cont.'d)

44-Pin TQFP

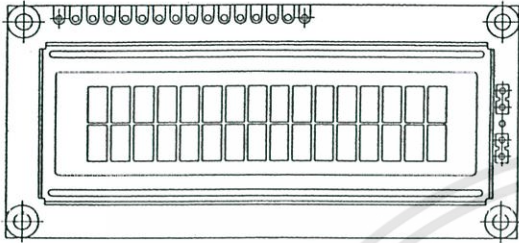


44-Pin QFN



Note 1: RB3 is the alternate pin for CCP2 multiplexing.

## 16 x 2 Character LCD



### FEATURES

- Type: Character
- Display format: 16 x 2 characters
- Built-in controller: KS 0066 (or equivalent)
- Duty cycle: 1/16
- 5 x 8 dots includes cursor
- + 5 V power supply (also available for + 3 V)
- LED can be driven by pin 1, pin 2, pin 15, pin 16 or A and K
- N.V. optional for + 3 V power supply
- Optional: Smaller character size (2.95 mm x 4.35 mm)
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC


**RoHS**  
COMPLIANT

### MECHANICAL DATA

ITEM	STANDARD VALUE	UNIT
Module Dimension	80.0 x 36.0	mm
Viewing Area	66.0 x 16.0	
Dot Size	0.55 x 0.65	
Dot Pitch	0.60 x 0.70	
Mounting Hole	75.0 x 31.0	
Character Size	2.96 x 5.56	

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

ITEM	SYMBOL	STANDARD VALUE			UNIT
		MIN.	TYP.	MAX.	
Power Supply	$V_{DD}$ to $V_{SS}$	- 0.3	-	7.0	V
Input Voltage	$V_I$	- 0.3	-	$V_{DD}$	

#### Note

- $V_{SS} = 0$  V,  $V_{DD} = 5.0$  V

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS

ITEM	SYMBOL	CONDITION	STANDARD VALUE			UNIT
			MIN.	TYP.	MAX.	
Input Voltage	$V_{DD}$	$V_{DD} = +5$ V	4.7	5.0	5.3	V
Supply Current	$I_{DD}$	$V_{DD} = +5$ V	-	1.2	1.5	mA
Recommended LC Driving Voltage for Normal Temperature Version Module	$V_{DD}$ to $V_0$	- 20 °C	-	-	5.2	V
		0 °C	-	-	4.2	
		25 °C	-	3.8	-	
		50 °C	3.5	-	-	
		70 °C	3.2	-	-	
LED Forward Voltage	$V_F$	25 °C	-	4.2	4.6	V
LED Forward Current - Array	$I_F$	25 °C	-	100	-	mA
LED Forward Current - Edge			-	20	40	
EL Power Supply Current	$I_{EL}$	$V_{EL} = 110$ V <sub>AC</sub> , 400 Hz	-	-	5.0	mA

### OPTIONS

PROCESS COLOR						BACKLIGHT			
TN	STN Gray	STN Yellow	STN Blue	FSTN B&W	STN Color	None	LED	EL	CCFL
X	X	X	X			X	X	X	

For detailed information, please see the "Product Numbering System" document.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**DISPLAY CHARACTER ADDRESS CODE**

Display Position

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DD RAM Address	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
DD RAM Address	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F

**INTERFACE PIN FUNCTION**

PIN NO.	SYMBOL	FUNCTION
1	V <sub>SS</sub>	Ground
2	V <sub>DD</sub>	+ 3 V or + 5 V
3	V <sub>0</sub>	Contrast adjustment
4	RS	H/L register select signal
5	RW	H/L read/write signal
6	E	H → L enable signal
7	DB0	H/L data bus line
8	DB1	H/L data bus line
9	DB2	H/L data bus line
10	DB3	H/L data bus line
11	DB4	H/L data bus line
12	DB5	H/L data bus line
13	DB6	H/L data bus line
14	DB7	H/L data bus line
15	A/V <sub>EE</sub>	+ 4.2 V for LED (R <sub>A</sub> = 0 Ω)/negative voltage output
16	K	Power supply for B/L (0 V)

**DIMENSIONS** in millimeters

