สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์



นายพิบูล คุณวิรารักษ์
นายอภิสิทธิ สุทธิโสภาอาภรณ์

โครงงานพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 51872
วัน,เดือน,ปี 4 ส.ค. 2547
b.....
i.....
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Digital Thermometer

Mr.Pibool Khunvirarak

Mr.Apisit Suttisopa-arporn

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์

นักศึกษา นายพิบูล คุณวิรารักษ์
นายอภิสิทธิ สุทธิโสภาอาภรณ์

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ วิชิต ศิริโชติ

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ อ.สาหร่าย คุณีพงษ์	
กรรมการ อ.อัศวิน เรณูสวัสดิ์	
กรรมการ อ.เบญจพล ตันฮู้	
กรรมการที่ปรึกษา รศ.วิชิต ศิริโชติ	

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชาญ เตชิตธีระ)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษ เรื่อง ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์

นักศึกษา นายพิบูล คุณวิรารักษ์
นายอภิสิทธิ สุทธิโสภาอาภรณ์
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา 2546
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์วิชิต ศิริโชติ

บทคัดย่อ

อุปกรณ์นี้ได้ถูกออกแบบและพัฒนาเพื่อใช้สำหรับวัดอุณหภูมิ โดยอุปกรณ์นี้เป็นตัววัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ช่วยประมวลผล หลักการทำงานอาศัยการวัดค่าแรงดัน จากเซ็นเซอร์ เทอร์โมคัพเปิล ชนิดเค โดยได้ค่าเทอร์โมอิเล็กทริกซีเบ็ค จากเทอร์โมคัพเปิล แล้วนำค่านี้ไปขยายด้วย chopperless DC amplifier เบอร์ OP07 และนำค่าอนาลอกที่ได้นี้ไปแปลงเป็นดิจิตอลโดย 12-bit integrating type converter เบอร์ 7109 ซึ่งค่าอินพุทนี้จะอยู่ในช่วง +/- 400 มิลลิโวลต์ ซึ่งค่าดิจิตอลที่ได้นี้จะถูกประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C52 และแสดงผลทางจอ LCD 16x1 แถว อุณหภูมิได้รับการปรับแต่งแบ่งเป็นสี่ช่วงตามเส้นโค้งกำลังสองน้อยที่สุดเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project	Digital Thermometer
Name	Mr.Pibool Khunvirarak
	Mr.Apisit Suttisopa-arporn
Department	Applied Physics
Program	Applied Physics
Academic Year	2003
Special project Advisor	Assoc. Prof. Wichit Sirichote

ABSTRACT

A device used for measuring temperature has been designed and developed. The device was microprocessor based digital thermometer. The temperature sensor was thermocouple type-K. The seebeck EMF produced by thermocouple was amplified with chopperless DC amplifier, OP07. A 12-bit integrating type converter converts analog output from DC amplifier. The input range of ADC was +/- 400.0mV with 100uV resolution. Digital data was processed by microcontroller, 89C52 and displayed on 16x1 line LCD. Temperature was calibrated with four ranges linear least square curve.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษเรื่องนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีทางผู้จัดทำต้องขอขอบคุณในความกรุณาและความอนุเคราะห์จากอาจารย์และบุคคลหลายๆท่านด้วยกัน กล่าวคือ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ วิชิต ศิริโชติ ซึ่งท่านเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและช่วยคอยให้คำแนะนำต่างๆในการดำเนินการทดลอง และวิธีการทดลองพร้อมทั้งตรวจและแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนการเรียบเรียงข้อมูลในการทำโครงงานพิเศษเรื่องนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อ.อัครเดช วัชระภูพงษ์ ที่คอยให้คำแนะนำทางด้านโปรแกรม และพี่ ๆ น้องๆ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้เราตลอด

ขอขอบพระคุณบิดามารดา และญาติพี่น้องที่ได้ให้ความช่วยเหลือทางด้านทุนทรัพย์และคอยให้กำลังใจอย่างดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ขอบคุณท่านอาจารย์ทุกท่านที่สั่งสอนทางด้านวิชาการ ให้ความรู้แก่เราเสมอมา คอยอบรมสั่งสอนเราในด้านต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์ที่ให้เราใช้สถานที่ ในการเรียนและการทำโครงงานนี้และห้องคอมพิวเตอร์ ตึกจุฬาภรณ์วลัยลักษณ์ 2 คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

และสุดท้ายขอขอบคุณเพื่อน ๆ รุ่นเดียวกันทุกคน ที่มีส่วนช่วยเหลือและคอยให้กำลังใจในการทำโครงงานพิเศษครั้งนี้เป็นอย่างดีเสมอ และตลอดมา

นายพิบูล คุณวิรารักษ์

นายอภิสิทธิ สุทธิโสภาอาภรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและแนวคิดสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 นิยามของอุณหภูมิ	3
2.1.1 พลังงานความร้อน	3
2.1.2 อุณหภูมิ	3
2.1.3 สเกลของอุณหภูมินานาชาติที่ใช้ในทางปฏิบัติ	5
2.2 เทอร์โมคัพเปิล	6
2.2.1 ผลของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากความร้อน	7
2.3 การเปลี่ยนจุดอ้างอิงของตาราง	18
2.4 การชดเชยจุดอ้างอิง	20
2.4.1 อุณหภูมิที่ถูกควบคุมด้วยบล็อกอ้างอิง	21
2.4.2 วงจรชดเชยจุดอ้างอิง	22
2.5 การขยายสัญญาณ	23
2.5.1 คุณสมบัติของออปแอมป์	23
2.5.2 คุณลักษณะจำเพาะของออปแอมป์	24
2.5.3 การขยายแบบกลับขั้ว	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C52 26
2.6.1 คุณสมบัติของ AT89C52 27
2.7 Dual Slope ADC 28
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย
3.1 การทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล 30
3.2 หลักการทำงานของวงจรที่ใช้สร้างเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล 30
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล 36
(ผลการทดลอง)
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 74
(สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ)
เอกสารอ้างอิง (บรรณานุกรม)
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงจุดของสเกลอุณหภูมิในการสอบเทียบ	7
2.2	แสดงความไวและย่านการใช้งานของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละระบบ	9
4.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลชนิดเค	37
4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและเลขดิจิตอลเทียบกับอุณหภูมิของชุดทดลองครั้งที่ 1	43
4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและเลขดิจิตอลเทียบกับอุณหภูมิของชุดทดลองครั้งที่ 2	48
4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและเลขดิจิตอลเทียบกับอุณหภูมิของชุดทดลองครั้งที่ 3	53
4.5	แสดงค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและเลขดิจิตอลเทียบกับอุณหภูมิของชุดทดลอง	58
4.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลชนิดเค กับ อุณหภูมิที่วัดได้จากชุดทดลอง	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ผลของซีเบค	7
2.2	แรงเคลื่อนเทอร์โมคัปเปิลกับอุณหภูมิสำหรับจุดอ้างอิง 0°C โดยให้ความไวและความไม่เป็นเชิงเส้นแตกต่างกัน	8
2.3	โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล	10
2.4	จุดต่อและท่อป้องกันแบบต่าง ๆ	11
2.5	แสดงการเปลี่ยนจุดอ้างอิงจาก 0 ถึง 20°C ซึ่งจุดสมดุลกับการเลื่อนลงของเส้นโค้งแรงเคลื่อนเทอร์โมคัปเปิล	18
2.6	แสดงการวัดแรงเคลื่อนโดย DVM	20
2.7	แสดงการวัดเทอร์โมคัปเปิลโดยใช้จุดอ้างอิงจากภายนอก	21
2.8	แสดงการใช้จุดอ้างอิงจากภายนอกโดยไม่ใช้อ่างน้ำแข็ง	21
2.9	แสดงสัญลักษณ์มาตรฐานของออปแอมป์	22
2.10	แสดงการขยายแบบกลับขั้วโดยใช้ออปแอมป์	24
2.11	ตัวถังและขาสัญญาณของชิปAT89C52	26
2.12	วงจร Dual Slope ADC	27
2.13	การทำงานของวงจร Dual Slope ADC	28
3.1	แสดงการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล	31
3.2	แสดงวงจรการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลโดยใช้ 89C52	32
3.3	แสดงรูปเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลโดยใช้ 89C52 ไมโครคอนโทรลเลอร์	32
3.4	แสดงวงจรที่ต่อจาก Thermocouple ไปยัง OP Amp	33
3.5	แสดงขั้นตอนการทำงานของดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ ในส่วนของ Main โปรแกรม	34
3.6	แสดงขั้นตอนการทำงานของดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ ในส่วนของ Interrupt	35
4.1	แสดงชุดอุปกรณ์ในการทดลอง	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและแนวความคิดที่สำคัญ

กิจกรรมประจำวันของมนุษย์จะต้องมีส่วนเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิไม่มากก็น้อย ดังนั้นการวัดอุณหภูมิจึงมีความสำคัญเป็นอันมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีการผลิตพลังงาน และอุตสาหกรรมการผลิตทุกชนิด รวมถึงการวางแผนและการออกแบบระบบป้องกันและควบคุมสภาพสิ่งแวดล้อม

เพื่อให้การวัดและการควบคุมอุณหภูมิเป็นไปตามความประสงค์ดังกล่าวข้างต้น นักวิทยาศาสตร์จึงได้ประดิษฐ์อุปกรณ์สำหรับใช้ในการวัดอุณหภูมิขึ้น ซึ่งมีอยู่หลายชนิดและมีวิธีการที่แตกต่างกันไป ทั้งนี้เพื่อสนองความต้องการของการวัดอุณหภูมิที่ระดับต่าง ๆ และความละเอียดถูกต้องของผลการวัดที่ต้องการ

และเพื่อให้สามารถกำหนดหรือระบุค่าความถูกต้องของการวัดอุณหภูมิของเครื่องวัดได้ จึงจำเป็นต้องมีการสอบเทียบตัววัดนั้นกับตัวมาตรฐาน จึงมีความจำเป็นที่นักวิทยาศาสตร์จะต้องกำหนดตัวมาตรฐานทางอุณหภูมิขึ้น เพื่อใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิงในการสอบเทียบ

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิล
2. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ และคำสั่งต่าง ๆ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในการวัดอุณหภูมิ โดยแสดงค่าอุณหภูมิที่วัดได้ออกทาง LCD
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันของเทอร์โมคัปเปิลกับอุณหภูมิ
4. สามารถนำอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นไปประยุกต์ใช้ในการวัดค่าอุณหภูมิ

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. ศึกษาและทดลองสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลเป็นหัววัด
2. ทำการวัดค่าแรงดันที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิล เพื่อให้สามารถกำหนดหรือระบุค่าความถูกต้องของการวัดอุณหภูมิของเครื่องวัดได้
3. ศึกษาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วเขียนโปรแกรมสั่งงาน เพื่อที่จะนำค่าอุณหภูมิที่ได้จากเทอร์มิสเตอร์ไปแสดงผลทาง LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาคุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลชนิด เค
2. ศึกษาคุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้เป็นมาตรฐานในการทดลอง
3. จัดหาอุปกรณ์และวงจรที่ใช้ในการสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ
4. ศึกษาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
5. ทำการทดลองวัดค่าแรงดันของเทอร์โมคัปเปิลเทียบกับอุณหภูมิ นำค่าที่ได้จากการทดลองมาเทียบกับค่าที่ได้จากข้อมูลจริงว่าผิดพลาดไปกี่เปอร์เซ็นต์
6. บันทึกผลการทดลอง
7. ดำเนินงานจัดสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ
8. เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
9. จัดทำรายงานและเสนอโครงงาน
10. วิเคราะห์ผลการทดลอง
11. สรุปผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. ทราบถึงคุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลตลอดจนปัญหาที่เกี่ยวกับเทอร์โมคัพเปิล
2. ทราบถึงหลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
3. ทราบถึงวิธีการออกแบบและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 นิยามของอุณหภูมิ (Definition of Temperature)

ในการพิจารณารูปของพลังงานความร้อนต้องพิจารณาความสัมพันธ์ที่เจาะจงลงไปที่ธาตุหรือโมเลกุลของของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส

2.1.1 พลังงานความร้อน (Thermal Energy)

ในวัสดุที่เป็นของแข็ง แต่ละอะตอมหรือแต่ละโมเลกุลจะยึดเกาะหรือมีพันธะต่อกันอย่างแข็งแรง สภาวะดังกล่าวนี้เรียกว่า "ตำแหน่งสมดุล" (equilibrium position) อย่างไรก็ตามแต่ละอะตอมยังคงสามารถสั่นสะเทือนรอบตำแหน่งที่มันตั้งอยู่ได้ แต่ถ้าของแข็งที่ไม่มีการสั่นสะเทือนของโมเลกุล แสดงว่า พลังงานความร้อนภายในอะตอมเป็นศูนย์หรือ $W_{TH} > 0$ ตอนนี้หากเราเพิ่มพลังงานให้กับวัตถุดังกล่าวจะทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นสะเทือนรอบ ๆ ตำแหน่งสมดุลของมัน จึงกล่าวได้ว่าขณะนี้มีพลังงานความร้อนเกิดขึ้นหรือ $W_{TH} > 0$ หากเราเพิ่มพลังงานเข้าไปในวัตถุนี้อีก การสั่นสะเทือนก็จะเพิ่มมากขึ้น สุดท้ายสภาพในการยึดเกาะก็จะน้อยลงและแตกออกจากกันในที่สุด แสดงว่าวัตถุดังกล่าวนี้เกิดการหลอมละลายและกำลังกลายเป็นของเหลว

ในกรณีของแก๊ส หากเพิ่มพลังงานความร้อนในวัตถุที่เป็นของเหลวให้มากขึ้นต่อไปอีก ความเร็วของโมเลกุลก็จะเพิ่มขึ้นจนอยู่ในสภาวะสุดท้าย ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างแต่ละโมเลกุลเต็มที่ หากถึงขั้นโมเลกุลไม่สัมผัสกันและเคลื่อนที่อย่างสุ่ม ๆ (Random) ในภาชนะ วัตถุดังกล่าวก็จะกลายเป็นแก๊สในที่สุด มีผลให้โมเลกุลชนกระแทกกับโมเลกุลอื่น ๆ รวมถึงผนังของภาชนะ

ในงานจริง วัตถุประสงค์ของการตรวจวัดความร้อน อุปกรณ์วัดความร้อนของวัตถุหรือสิ่งแวดล้อมจะอยู่ในรูปแบบที่แตกต่างกัน

2.1.2 อุณหภูมิ (Temperature)

หน่วยในการวัดพลังงานความร้อนเดิมคือ "ร้อน" และ "เย็น" ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับการใช้งานสมัยใหม่ ปัจจุบันหน่วยของการวัดพลังงานที่เหมาะสมคือ "จูล" (Joule) ซึ่งเป็นหน่วยในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SI ค่านี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของวัตถุ เพราะมันจะเป็นตัวบอกปริมาณในการเก็บความร้อน ส่วนการวัดพลังงานความร้อนเฉลี่ยต่อโมเลกุลก็มีหน่วยเป็นจูลเช่นเดียวกัน

2.1.2.1 สเกลของอุณหภูมิสัมบูรณ์ (Absolute Temperature Scale)

การกำหนดสเกลอุณหภูมิสัมบูรณ์ เป็นการกำหนดอุณหภูมิศูนย์ของวัตถุขณะที่ไม่มีพลังงานความร้อนหลงเหลืออยู่ในวัตถุแม้แต่น้อยซึ่งมีใช้งานกัน 2 สเกลด้วยกันคือ : สเกลเคลวิน (K) และสเกลแรงคิล ($^{\circ}$R) สเกลของอุณหภูมินี้ที่ 1 K จะมีค่ามากกว่า 1°R ซึ่งอัตราส่วนของจำนวน 2 จำนวนจะมีความสัมพันธ์กันดังนี้คือ

$$(1\ \mathrm{K}) = \frac{180}{100}(1^{\circ}\mathrm{R}) = \frac{9}{5}1^{\circ}\mathrm{R} \qquad \text{.....(2.1)}$$

ดังนั้น การแปลงสเกล ก็จะกำหนดได้เป็น

$$T(\mathrm{K}) = \frac{5}{9}T(^{\circ}\mathrm{R}) \qquad \text{.....(2.2)}$$

เมื่อ $T(\mathrm{K})$ = อุณหภูมิในหน่วย K

$T(^{\circ}\mathrm{R})$ = อุณหภูมิในหน่วย $^{\circ}$R

2.1.2.2 สเกลอุณหภูมิสัมพัทธ์ (Relative Temperature Scale)

สเกลอุณหภูมิสัมพัทธ์แตกต่างจากอุณหภูมิสัมบูรณ์เฉพาะการเลื่อนของแกนศูนย์เท่านั้น ดังนั้นเมื่อสเกลนี้บอกอุณหภูมิเป็นศูนย์ พลังงานความร้อนของตัวอย่างดังกล่าวจะไม่ใช่ค่าศูนย์จริง ซึ่งสเกลดังกล่าวนี้คือสเกลขององศาเซลเซียส (สัมพันธ์กับองศาเคลวิน) และองศาฟาเรนไฮต์ (สัมพันธ์กับองศาเคลวิน) จะเห็นว่า จำนวนขององศาเซลเซียสเหมือนกับองศาเคลวิน เพียงแต่จะเลื่อนแกนศูนย์ไปเท่านั้น ดังนั้น

$$T(^{\circ}\mathrm{C}) = T(\mathrm{K}) - 273.15 \qquad \text{.....(2.3)}$$

$$T(^{\circ}\mathrm{F}) = T(\mathrm{R}) - 459.6 \qquad \text{.....(2.4)}$$

ในการแปลงหน่วยองศาเซลเซียสไปเป็นฟาเรนไฮต์ จะเห็นว่าสเกล 2 ค่านี้แตกต่างกันที่ขนาดขององศา และเลื่อนไป 32 หน่วย ดังนั้น

$$T(^{\circ}\mathrm{F}) = \frac{9}{5}T(^{\circ}\mathrm{C}) + 32 \qquad \text{.....(2.55)}$$

2.1.2.3 ความสัมพันธ์กับพลังงานความร้อน (Relation to Thermal Energy)

หากต้องการแปลงอุณหภูมิไปเป็นพลังงานความร้อนจริงในหน่วยจูล ทำได้โดยใช้ค่าคงที่ของโบลซ์มาน (Boltzmann's constant) ค่าดังกล่าวอาจจะไม่ถูกต้องในทุก ๆ กรณี แต่ก็เป็นการประมาณค่าพลังงานความร้อนโดยเฉลี่ยที่ดีวิธีหนึ่ง ค่า W_{TH} ของโมเลกุลนี้ พบได้จากอุณหภูมิสัมบูรณ์ในหน่วย K จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$W_{TH} = \frac{3}{2} kT \qquad \text{.....(2.6)}$$

เมื่อ $k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K เป็นค่าคงที่ของโบลซ์มาน

ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะหาค่าความเร็วเฉลี่ยของความร้อน v_{TH} ของโมเลกุลแก๊ส โดยการสมดุลพลังงานจลน์ของโมเลกุลที่พลังงานความร้อนนั้น ซึ่ง

$$\frac{1}{2} m v^2_{TH} = W_{TH} = \frac{3}{2} kT \qquad \text{.....(2.7)}$$

และ

$$V_{TH} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \qquad \text{.....(2.8)}$$

2.1.3 สเกลของอุณหภูมินานาชาติที่ใช้ในทางปฏิบัติ **(International Practical Temperature Scale)**

จุดในการสอบเทียบ	อุณหภูมิ	
	K	°C
- จุดไตรภาคของจุดสมดุลไฮโดรเจน (จุดสมดุลระหว่าง ของแข็ง ของเหลว และสถานะไอของจุดสมดุลของไฮโดรเจน)	13.81	-259.34
- จุดเดือดของจุดสมดุลไฮโดรเจน	20.28	-252.87
- จุดเดือดของออกซิเจน	90.188	-182.692
- จุดไตรภาคของน้ำ (จุดสมดุลระหว่าง ของแข็ง ของเหลว และสถานะไอของน้ำ)	273.16	0.01
- จุดเดือดของน้ำ	373.15	100
- จุดเยือกแข็งของสังกะสี	692.73	419.58
- จุดเยือกแข็งของเงิน	1235.08	691.93
- จุดเยือกแข็งของทอง	1337.58	1064.43

<u>ตารางที่ 2. 1</u> ตารางแสดงจุดของสเกลอุณหภูมิในการสอบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้สามารถสอบเทียบอุณหภูมิในย่านองศาเคลวินได้อย่างแน่นอน International Practical Temperature Scale หรือ IPTS จึงได้ถูกจัดตั้งขึ้น เพื่อกำหนดรายละเอียดให้เกิดความแน่นอนในการวัดตัวอย่างของค่าดังกล่าวเป็นไปตามตารางที่ 2.1

ในลักษณะที่ต้องการสร้างสเกลให้สมบูรณ์ขึ้นกว่าเดิม จำเป็นต้องมีการแบ่งสเกล (interpolation) ระหว่างจุดคงที่ 2 จุด จากจุดที่ได้ในมาตรฐานปฐมภูมิ จะมีมาตรฐานทุติยภูมิที่สร้างขึ้นจาก IPTS ซึ่งมีความสะดวกต่อการนำไปใช้สอบเทียบอุปกรณ์ที่จะทำการวัดค่า ตัวอย่างของค่าสำหรับจุดดังกล่าวนี้มีค่าเป็น

1. sublimation point ของคาบอนไดออกไซด์	194.674 K	-74.476°C
2. จุดเยือกแข็งของปรอท	234.288 K	-383862°C
3. จุดสมดุลระหว่างน้ำแข็งและน้ำ(จุดน้ำแข็ง)	273.15 K	0°C
4. จุดเยือกแข็งของบิสมัท	544.592 K	271.442°C
5. จุดเยือกแข็งของตะกั่ว	600.652 K	327.502°C
6. จุดเยือกแข็งของแอนติโมนี	903.87 K	630.74°C
7. จุดเยือกแข็งของอะลูมิเนียม	933.52 K	660.37°C
8. จุดเยือกแข็งของทองแดง	1357.6 K	1084.5°C
9. จุดเยือกแข็งของแพลทินัม	2045 K	1772.0°C
10. จุดเยือกแข็งของทังสเตน	3660 K	338°C

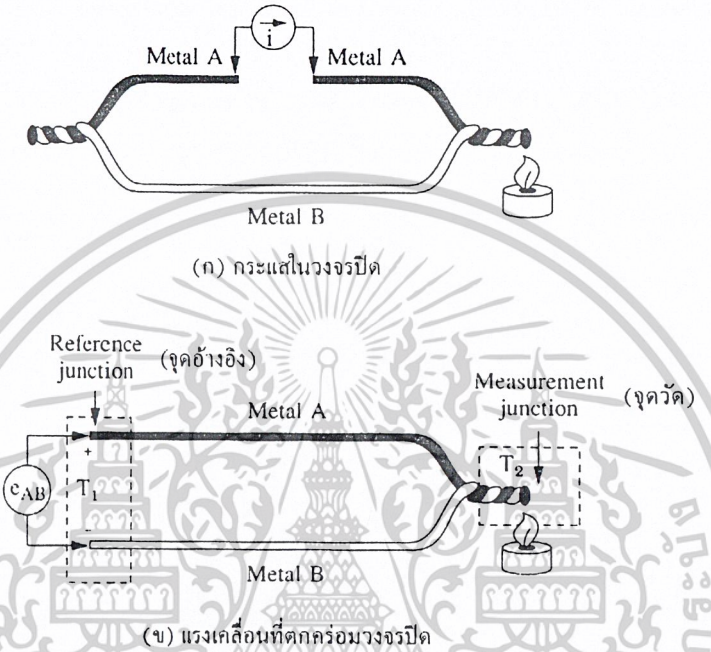
การให้คำนิยามในหน่วย SI ของอุณหภูมิเคลวิน จะอยู่ในเทอมของจุดไตรภาค (triple point) ของน้ำซึ่งเป็นสภาวะสมดุลที่มีอยู่ระหว่างสถานะของเหลว ของแข็ง และแก๊ส ของน้ำที่รักษาอยู่ในถังปิดที่อุณหภูมิ 273.16 องศาเคลวิน

2.2 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

เทอร์โมคัปเปิล คืออุปกรณ์ที่วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (emf) เทอร์โมคัปเปิลทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว (แตกต่างกันทางโครงสร้างของอะตอม) นำมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกันที่ปลายด้านหนึ่ง เรียกว่าจุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยเปิดไว้ เรียกว่าจุดอ้างอิง หากที่จุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกัน ก็จะทำให้มีการนำกระแสในวงจรเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองเกิดขึ้น ปรากฏการณ์

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าวนี้ค้นพบโดย Thomas Seebeck นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันในปี ค.ศ. 1821 ในรูปที่ 2.1 เป็นวงจรที่ใช้อธิบายผลของซีเบคดังกล่าว



รูปที่ 2. 1 ผลของซีเบค

2.2.1 ผลของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากความร้อน (Thermoelectric Effects)

ทฤษฎีพื้นฐานของผลจากเทอร์โมอิเล็กทริก เกิดจากการส่งผ่านทางไฟฟ้าและทางความร้อนของโลหะที่แตกต่างกัน จึงทำให้เกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้าตกคร่อมที่โลหะนั้น ความต่างศักย์นี้จะสัมพันธ์กับความจริงที่ว่า อิเล็กตรอนในปลายด้านร้อนของโลหะจะมีพลังงานความร้อนมากกว่าปลายทางด้านเย็น จึงทำให้อิเล็กตรอนมีความเร็วไปหาปลายด้านเย็น ที่อุณหภูมิเดียวกันนี้ การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะแปรเปลี่ยนไปตามโลหะที่ต่างชนิดกันด้วย ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าโลหะที่ต่างกันจะมีการนำความร้อนที่ต่างกันนั่นเอง

2.2.1.1 ผลของซีเบค (Seebeck Effect)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้ทฤษฎีโซลิดสเตท เราสามารถวิเคราะห์ค่า emf. ได้จากการอินทิเกรตค่าจากย่านอุณหภูมิดังกล่าว นั่นคือ

$$\varepsilon = \int_{T_1}^{T_2} (Q_A - Q_B)dT \qquad \text{.....(2.9)}$$

สมการนี้จะอธิบายผลของซีเบค ซึ่งพบว่า

1. ค่า emf. ที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของอุณหภูมิ จึงเกิดความแตกต่างของค่าคงที่ในการส่งผ่านความร้อนของโลหะ (คือ α จากสมการที่ 2.10)

2. ถ้าใช้โลหะชนิดเดียวกันมาทำเทอร์โมคัปเปิลค่า emf. ที่ได้ก็จะมีค่าเป็นศูนย์ และ

3. ถ้าอุณหภูมิทั้งสองจุดคือจุดวัดและจุดอ้างอิงเหมือนกันค่า emf. ก็จะเป็นศูนย์

โดยสูตรที่ง่ายและสามารถนำมาคำนวณได้เช่นกันคือ

$$\varepsilon = \alpha(T_2 - T_1) \qquad \text{.....(2.10)}$$

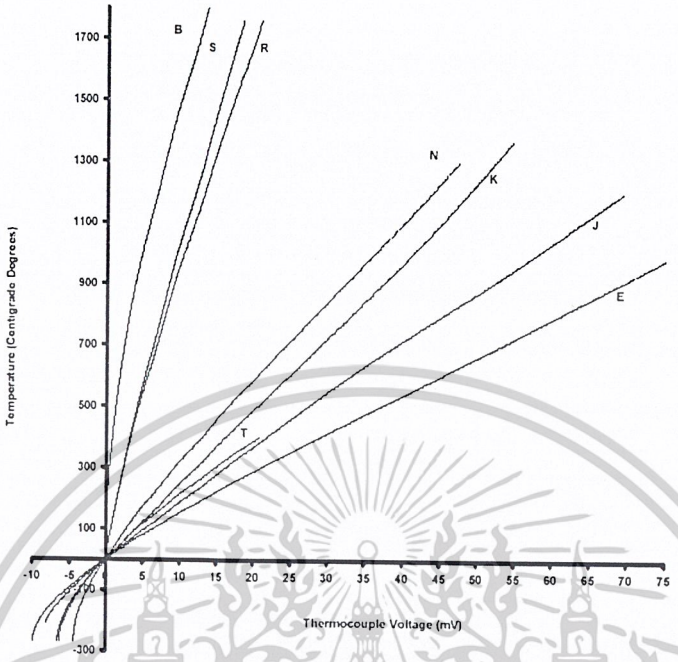
เมื่อ α = ค่าคงที่หรือเรียกว่า สัมประสิทธิ์ของซีเบค ; volts/K

T_1, T_2 = อุณหภูมิที่จุดต่อ ; K

2.2.1.2 คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน (Characteristic of Standard Thermocouples)

1. *ความไว (Sensitivity)* จากตารางแรงเคลื่อนของ NBS แสดงว่าย่านของแรงเคลื่อนจากเทอร์โมคัปเปิลจะมีค่าน้อยกว่า 100 mV แต่ความไวที่แท้จริงในการใช้งานจะขึ้นอยู่กับการใช้วงจรปรับสภาพสัญญาณและตัวเทอร์โมคัปเปิลเอง จากรูปที่ 2.2 แสดงความไวของเทอร์โมคัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



<u>รูปที่ 2.2</u> แรงเคลื่อนเทอร์โมคัปเปิลกับอุณหภูมิสำหรับจุดอ้างอิง 0 °C โดยให้ความไวและความไม่เป็นเชิงเส้นแตกต่างกัน

ประเภทของโลหะ	วัสดุเทอร์โมคัปเปิล(ชนิด)	ความไว โดยประมาณ mV/K	ย่านอุณหภูมิที่ใช้วัด(C)	ความแน่นอน โดยประมาณ
base metal	ทองแดง-คอนสแตนแตน(T)	0.05	-270-400 °C	±1/2%
base metal	เหล็ก-คอนสแตนแตน(J)	0.05	-210-1200 °C	±1%
base metal	โครเมล-อะลูเมล(K)	0.04	-270-1372 °C	±1%
base metal	โครเมล-คอนสแตนแตน(E)	0.08	-270-1000 °C	±1%
base metal	แพลทินัม-แพลทินัม/โรเดียม 10%(S)	0.01	-50-1767 °C	±1/2%
base metal	แพลทินัม-แพลทินัม/โรเดียม 13%(R)	0.012	-50-1767 °C	±1/2%
base metal	แพลทินัม/โรเดียม 30% - แพลทินัม/โรเดียม 6%(B)	0.012	0-1820 °C	±1/2%

<u>ตารางที่ 2. 2</u> แสดงความไวและย่านการใช้งานของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Base metal คือ เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้ส่วนผสมของโลหะบริสุทธิ์และโลหะผสม ทองแดง และนิกเกิล ใช้กับอุณหภูมิได้ถึง 1450 K โดยปกติแล้วส่วนใหญ่จะถูกใช้ในทางปฏิบัติ ซึ่งจะให้ความไวกว่า ถูกกว่า และมีคุณสมบัติใกล้ความเป็นเชิงเส้นสูงกว่า หลักสำคัญที่สุดคือจะต้องจำกัดย่านการใช้งานต่ำสุด เพราะว่าโลหะจำพวกนี้จะมีจุดหลอมละลายต่ำ และมีโอกาสการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้ง่าย

Rare metal คือ เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้ส่วนผสมของโลหะบริสุทธิ์และโลหะผสมของแพลทินัม ใช้กับอุณหภูมิได้สูงถึง 2000 K หากเป็นส่วนผสมของทังสเตน โรเดียม และโมลิบดีนัม ใช้สำหรับอุณหภูมิถึง 2900 K

สังเกต เทอร์โมคัปเปิลที่ทำจากธาตุบริสุทธิ์ จะให้ความเป็นเชิงเส้นที่ดี แต่ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ

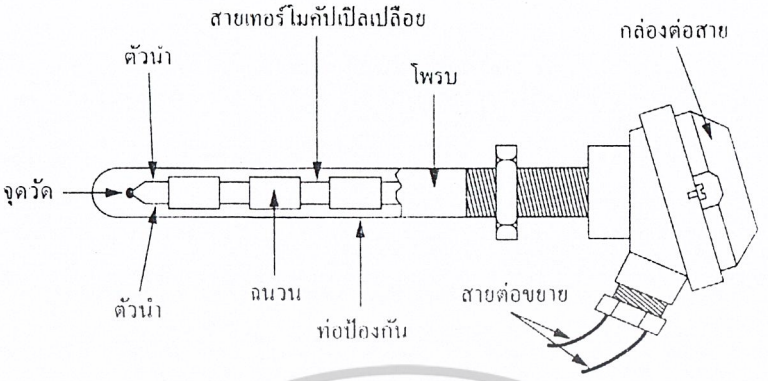
หมายเหตุ constantan = copper + nickel
cromel = nickel + chromium
Alumel = nickel + aluminium

2. *โครงสร้าง (Construction)* โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิลมีลักษณะดังรูปที่ 2.3 โดยต้องมีลักษณะดังนี้คือ : มีความต้านทานต่ำ ให้สัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูง ต้านทานต่อการเกิดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูง ๆ ทนต่อสภาวะแวดล้อมที่นำไปใช้วัดค่า และเป็นเชิงเส้นสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ตัวฝักหรือท่อป้องกันส่วนมากจะทำจากโลหะสแตนเลส ความไวของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับความหนาของท่อป้องกันทั้งเยอรมันเนียมและซิลิคอน จะให้คุณสมบัติการเกิดเทอร์โมอิเล็กทริกจึงใช้กันมากในอุปกรณ์ทำความเย็น (Perltier element) มากกว่าที่จะใช้เป็นเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิ

ในทางปฏิบัติจุดต่อที่สัมผัสกับอุณหภูมิที่จุดวัดมีอยู่หลาย ๆ แบบ เช่นแบบบิดเข้าด้วยกัน (Twist) แล้วบัดกรีด้วยทองเหลือง หรือใช้การเชื่อมด้วยไฟฟ้า ส่วนฉนวนที่ใช้หากว่าในงานที่สัมผัสกับอุณหภูมิต่ำ ๆ มักจะเป็นสายเปลือย แต่เมื่ออุณหภูมิที่ต้องการวัดมีค่าสูง ก็ต้องมีท่อป้องกันแตกต่างกันออกไป

ขนาดของสายเทอร์โมคัปเปิลกำหนดได้จากการใช้งานแต่ละอย่าง และมีขนาดจาก # 10 ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่คงที่ จนถึงขนาด # 30 หรือแม้กระทั่ง 0.02 mm ซึ่งเป็นสายแบบไมโครไวร์ (Micro-wire) ที่ใช้กับการวัดอุณหภูมิการกลั่นในงานทางชีววิทยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล

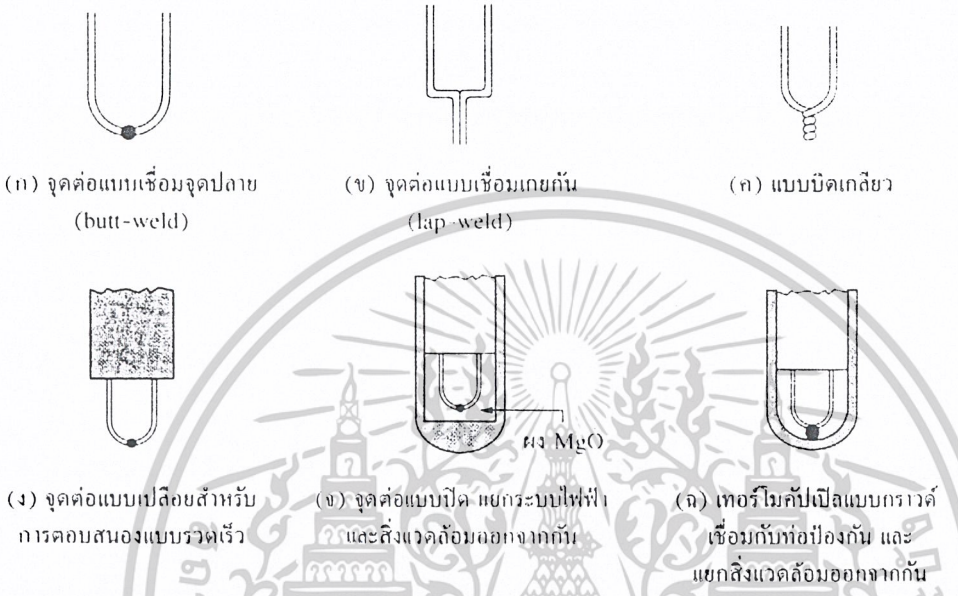
3. *ย่านการใช้งาน (Range)* ย่านอุณหภูมิการใช้งานและความไวในการวัดของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละตัว จะแตกต่างกันตามแต่ละสมาคมจะกำหนด ตัวอย่างเช่นในการใช้งานเทอร์โมคัปเปิลชนิด J ย่านอุณหภูมิในการใช้งานของตำราบางสมาคมจะกำหนดแค่ 745°C ส่วนบางสมาคมจะเป็น 760°C ในส่วนที่สำคัญคือค่าแรงเคลื่อนออกมาจากแต่ละอุณหภูมิ จะต้องอ้างอิงกับตารางค่ามาตรฐานของแต่ละสมาคมที่ใช้ให้ถูกต้องเป็นเอกภาพเดียวกันหมดทั้งระบบ

ในบางงานอุณหภูมิที่จะวัดมีค่าสูงเป็นพิเศษ เช่นในเครื่องยนต์ของเครื่องบิน เครื่องยนต์จรวด และเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ซึ่งอยู่ในระหว่างช่วง 2,000 – 4,000 °F จึงต้องใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิดพิเศษวัดอุณหภูมิเช่น ชนิดโรเดียม – อิริเดียม/โรเดียม, ทังสเตน/รีเนียม (rhenium) และโบรอน/แกรไฟต์ โดยชนิดที่ประกอบด้วยโรเดียม – อิริเดียม ใช้งานได้ถึง 4,000°F ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ความไวอยู่ในช่วง 6 μV/°C โลหะผสมระหว่างทังสเตนและรีเนียมใช้งานได้ถึง 5,000°F ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ความไวโดยประมาณจะเหมือนกับค่าที่อุณหภูมิสูงสุดของโรเดียม-อิริเดียม ในแบบโบรอน-แกรไฟต์ จะมีความไวสูง (ประมาณ 40 mV/°C) หากใช้งานระยะสั้น ๆ จะวัดได้สูงสุด 4,500°F และในแบบซึ่งใช้เทคนิคที่เรียกว่า “cooled thermocouples” สามารถใช้วัดอุณหภูมิได้ในช่วง 5,000 – 8,000°F

4. *เวลาตอบสนอง (Time Response)* เวลาตอบสนองของเทอร์โมคัปเปิลจะขึ้นอยู่กับขนาดของสายและวัสดุที่นำมาทำท่อป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิล เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้งานในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ๆ จะใช้ท่อแบบหนาหรือห่อหุ้มในท่อป้องกันแบบสแตนเลสสตีล ซึ่งอาจจะมีเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอบสนองในช่วง 10 – 20 วินาที ในทางกลับกันหากทำจาก gauge wire เล็ก ๆ ก็จะมีเวลาคงที่อยู่ในช่วง 10 – 20 มิลลิวินาที



<u>รูปที่ 2. 4</u> จุดต่อและท่อป้องกันแบบต่าง ๆ

ในรูปที่ 2.4 แสดงจุดต่อแบบต่าง ๆ เช่นจุดต่อแบบเปลือยจะเหมาะสำหรับการวัดแบบสถิต หรือในสภาวะที่ไม่มีแก๊สกัดกร่อนไหลผ่าน พร้อมกับเป็นการแยกระบบทางไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิลออก ส่วนจุดต่อที่ปิดด้วยฝักซึ่งฉนวนภายในอาจจะเป็นน้ำมัน ปรอท หรือผงโลหะ หากเราต้องการผลตอบสนองที่รวดเร็ว แต่ไม่ต้องการฝักหุ้มหนา ๆ ก็จะใช้ฉนวนแร่ แล้วใส่ผง MgO, Al_2O_3 หรือ BeO ไว้ภายใน ประการสุดท้ายผลตอบสนองจะขึ้นอยู่กับความกะทัดรัดของฉนวน และความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดที่ยอมให้ใช้ได้

จุดต่อแบบกราวด์ทำให้สามารถวัดอุณหภูมิแบบสถิตหรืออุณหภูมิที่มีการไหลของแก๊สหรือของเหลวกัดกร่อน จุดต่อดังกล่าวจะถูกเชื่อมไปยังท่อหรือฝักหุ้มป้องกัน ทำให้ผลตอบสนองสูงกว่าแบบที่มีฉนวน อย่างไรก็ตาม ก็ไม่สามารถจะต่อใช้งานได้หากว่ากราวด์มีสัญญาณรบกวน จึงต้องเลี่ยงไปใช้เทอร์โมคัปเปิลที่มีฉนวน บางครั้งจุดต่อแบบกราวด์ก็ยังจะใช้ในการวัดอุณหภูมิที่มีความดันสูง ๆ อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. *การปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning)* ปกติแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลจะมีขนาดน้อยมาก ๆ จึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์ขยายความแตกต่างที่มีอัตราขยายสูง ๆ

2.2.1.3 ชนิดของเทอร์โมคัปเปิล

ในปัจจุบัน พบว่ามีเทอร์โมคัปเปิลชนิดมาตรฐานอยู่ 7 ชนิดตามมาตรฐานของ ANSI และ ASTM โดยการจำแนกตามประเภทของวัสดุที่ใช้ทำได้แก่

1. เทอร์โมคัปเปิลแบบ S ประดิษฐ์โดยนาย Le Chatelier ในปี 1886

   ข้อดีของแบบ S

   - เหมาะกับการใช้งานในสภาพวะที่เกิดปฏิกิริยาเคมีแบบออกซิไดซิง (Oxidizing)
   - เหมาะกับการใช้งานในสภาวะงานเฉื่อย (Inert) คืองานที่ไม่เปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาใด ๆ ได้ง่าย ๆ
   - นิยมใช้กับงานวัดตัวแปรที่มีอุณหภูมิสูง เช่น เตาหลอมเหล็ก
   - วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 – 1,550°C และอุณหภูมิช่วงสั้นได้จากช่วงประมาณ -50 – 1,700°C
   - หากอยู่ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะให้ความเที่ยงตรงสูงที่สุด
   - ใช้ในการสอบเทียบ ตั้งแต่จุดแข็งตัวของแอนติโมนี (630.74°C) จนถึงจุดแข็งตัวของทองแดง (1,064.43°C) ตามมาตรฐาน IPTS 68

   ข้อเสียของแบบ S

   - ต้องใช้ท่อป้องกันในทุกสภาวะบรรยากาศ
   - ไม่เหมาะกับงานที่มีปฏิกิริยาแบบรีดิวซิง (Reducing)
   - ไม่เหมาะกับงานที่เป็นสุญญากาศ (Vacuum)
   - ไม่เหมาะกับงานที่มีไอโลหะ เช่น สังกะสี ตะกั่ว
   - ไม่เหมาะกับงานที่มีไออโลหะ เช่นจำพวก อาเซนิค ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส เพราะจะมีอายุการใช้งานสั้นลง

2. เทอร์โมคัปเปิลแบบ R เป็นแบบที่เหมาะกับการวัดอุณหภูมิสูง ๆ

   ข้อดีของแบบ R

   - ให้แรงเคลื่อนทางด้านเอาต์พุตสูงกว่าแบบ S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 – 1,600°C
- วัดอุณหภูมิช่วงสั้นได้จากช่วง -50 – 1,700°C
- เหมาะกับการวัดอุณหภูมิสูง ๆ เช่น ในเตาหลอมเหล็ก อุตสาหกรรมแก้ว
- ทนทานต่อการกัดกร่อน และให้เสถียรภาพของอุณหภูมิที่ดี

ส่วนลักษณะ**ข้อเสีย**เช่นเดียวกับแบบ S แต่ส่วนที่เพิ่มเติมคือ ให้ความเป็นเชิงเส้นต่ำเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 540°C

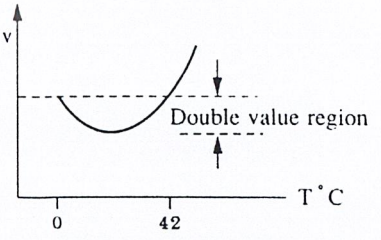
3. **เทอร์โมคัปเปิลแบบ B** ผลิตครั้งแรกเมื่อปี 1954 ในประเทศเยอรมัน

ข้อดีของแบบ B

- วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 100 – 1,600°C
- วัดอุณหภูมิช่วงสั้นได้จากช่วง 50 – 1,750°C
- แข็งแรงกว่าแบบ S และแบบ R
- เหมาะกับการใช้งานในสภาวะที่มีปฏิกิริยาแบบออกซิไดซิงและสภาวะเฉื่อย ให้ความเป็นเชิงเส้นของสัญญาณ (Linearity) ดี

ข้อเสียของแบบ B

- ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าน้อยกว่าแบบอื่น ๆ เมื่อวัดอุณหภูมิที่เงื่อนไขเดียวกัน
- ไม่เหมาะกับสภาวะที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาแบบรีดิวซิง
- ไม่เหมาะกับสภาวะที่เป็นสุญญากาศ
- ไม่เหมาะกับสภาพงานที่มีไอของโลหะและอโลหะเช่นเดียวกับแบบ R และ S
- ให้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าสองค่า (double value region) จากอุณหภูมิในช่วง 0 - 42°C (ดังรูปด้านล่าง) ทำให้ไม่สามารถทราบได้ว่าที่แรงเคลื่อนไฟฟ้านั้นมีอุณหภูมิเป็นเท่าใด เช่นที่อุณหภูมิ 0°C จะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับ 42°C



- **ให้ความชัน (การเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนต่ออุณหภูมิ) ของสัญญาณต่ำกว่าแบบอื่นๆ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. **เทอร์โมคัปเปิลแบบ J** พบว่าหากใช้แพลทินัมมาทำเป็นเทอร์โมคัปเปิลความคุ้มทุนก็ลดลงไป ดังนั้นเพื่อที่จะทำให้เทอร์โมคัปเปิลมีราคาถูกลง จึงต้องใช้วัตถุธาตุอื่นที่มีราคาถูกกว่ามาทดแทนแพลทินัม โดยรหัสสีตามมาตรฐาน BS มีดังนี้ ถ้าขั้วบวกจะเป็นสีดำ ขั้วลบจะเป็นสีขาว ทั้งตัวจะสีดำ

ความแน่นอนตามมาตรฐาน BS 7937 Part 30, 1993 ได้แก่

1. Class 1 = -40°C ถึง +750°C $\pm 0.004 \times t$ หรือ ± 1.5°C

2. Class 2 = -40°C ถึง +750°C $\pm 0.0075 \times t$ หรือ ± 2.5°C

เมื่อ t คืออุณหภูมิจริง

ข้อดีของแบบ J

- ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิได้ดี
- มีราคาถูกกว่าแบบที่ทำจากธาตุบริสุทธิ์
- ตามมาตรฐาน BS 7937 Part 30 สามารถวัดอุณหภูมิได้ต่อเนื่องจากช่วงประมาณ -210 ถึง +1,200°C
- เหมาะกับสภาพงานที่เป็นสุญญากาศ งานที่ก่อนให้เกิดปฏิกิริยาแบบออกซิไดซิง และงานที่อยู่ในสภาพเฉื่อย เมื่ออุณหภูมิไม่เกิน 760°C
- นิยมใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก
- เป็นแบบที่นิยมใช้ ราคาไม่แพง

ข้อเสียของแบบ J

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

5. **เทอร์โมคัปเปิลแบบ K** ธาตุหนึ่งที่เป็นฐานสำหรับการสร้างคือนิกเกิล เทอร์โมคัปเปิลชนิดนี้เริ่มผลิตให้เป็นมาตรฐานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1916 โดยพื้นฐานการผลิต ขั้วหนึ่งจะเป็นนิกเกิลที่เจือปนด้วยอะลูมิเนียม ส่วนอีกด้านเป็นนิกเกิลที่เจือปนด้วยโครเมียม เพราะว่าในปี ค.ศ. 1916 ยังไม่สามารถสร้างนิกเกิลบริสุทธิ์ได้ จึงได้เติมสารไม่บริสุทธิ์ต่าง ๆ ในส่วนผสมของวัสดุชนิด K แต่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันได้ระมัดระวังส่วนผสมที่จะทำให้เกิดความไม่บริสุทธิ์ดังกล่าวเพื่อเหตุผลในการบำรุงรักษาและสอบเทียบ

ด้วยเหตุนี้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ที่กำหนดเป็นมาตรฐานจะไม่ใช้โลหะผสม แต่โดยทั่วไปจะต้องผสมธาตุพิเศษเข้าไปเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแรงเคลื่อน / อุณหภูมิของจุดหลอมละลายที่กำหนดไว้

ข้อควรระวังในการใช้งานของชนิด K มีดังนี้

1. ขั้วลบของเทอร์โมคัปเปิลจะเป็นวัสดุเฟอร์โรแมกเนติก (เหล็กที่เป็นสารแม่เหล็ก) ที่อุณหภูมิห้อง แต่ที่จุดคิวรีของมัน (จุดคิวรี, curie point คืออุณหภูมิที่ซึ่งมันเปลี่ยนจากคุณสมบัติเหล็กไปเป็นแม่เหล็ก) อยู่ในช่วงที่ใช้งานพอดี ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนทางเอาต์พุตอย่างทันทีทันใด ยิ่งไปกว่านั้น พบว่าจุดคิวรีดังกล่าวจุขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโลหะผสม จุดคิวรีนี้จะเปลี่ยนคุณสมบัติจากเทอร์โมคัปเปิลตัวหนึ่งให้เป็นเทอร์โมคัปเปิลอีกตัวหนึ่ง ดังนั้นจึงต้องทดลองหาการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนที่ไม่ทราบค่า ณ อุณหภูมิที่เราไม่ทราบค่านี้
2. ที่อุณหภูมิสูง ๆ (ช่วง 200°C ถึง 600°C) เทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะมีผลของฮิสเตอร์รีซิสเกิดขึ้นขณะที่มันอ่านค่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและในช่วงที่อุณหภูมิลดลง ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่สามารถจะคาดเดาการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนได้
3. ที่อุณหภูมิประมาณ 1,000°C ขั้วของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะเกิดออกไซด์ เป็นเหตุให้มีการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อน
4. การใช้โคบอลต์เป็นโลหะผสมสำหรับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะทำให้เกิดปัญหาในอุตสาหกรรมนิวเคลียร์ หรือในพื้นที่อื่น ๆ ที่มีฟลักซ์นิวตรอนสูง ๆ ธาตุบางตัวจะรับเอาการปลดปล่อยนิวเคลียร์จึงทำให้เปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนทางด้านเอาต์พุต

ย่านการทำงานและความแน่นอนของเทอร์โมคัปเปิลในงานอุตสาหกรรม ที่กำหนดโดยมาตรฐาน IEC 584 (รหัสสำหรับการงวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล) ช่วงในการวัดอุณหภูมิต่อเนื่องของเทอร์โมคัปเปิลแบบนี้จะเป็น -270°C ถึง + 1,370°C

โดยมีระดับความแน่นอนซึ่งกำหนดโดยมาตรฐาน IEC 584 (ตารางอ้างอิงสำหรับเทอร์โมคัปเปิลนานาชาติ) เป็นดังต่อไปนี้

1. Class -40°C ถึง +1,000°C $\pm 0.004 \times t$ หรือ ± 1.5°C
2. Class -40°C ถึง +1,200°C $\pm 0.0075 \times t$ หรือ ± 2.5°C
3. Class -200°C ถึง +40°C $\pm 0.015 \times t$ หรือ ± 2.5°C

เมื่อ t คืออุณหภูมิจริงที่ทำการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รหัสสีสำหรับสายเทอร์โมคัปเปิลและเคเบิลกำหนดโดยมาตรบาน BS 4937 part 30, 1993 รหัสสีตามมาตรฐานอังกฤษสำหรับสายชดเชยแบบคู่ของเทอร์โมคัปเปิล) สำหรับชนิด K ขั้วบวกจะเป็นสีเขียว ขั้วลบจะเป็นสีขาว ถ้าตลอดทั้งตัวจะเป็นสีเขียว ส่วนสายชดเชยสัญญาณ (ชนิด VX) ก็เหมือนกับสีด้านบนที่กล่าวมา โดยสรุป

ข้อดีของแบบ K

- เป็นแบบที่นิยมใช้แพร่หลายมากที่สุด
- สำหรับการวัดอุณหภูมิช่วงสั้น ๆ วัดจาก -180°C ถึงประมาณ 1,350°C
- สามารถใช้วัดในงานที่ปฏิกิริยาแบบบออกซิไดซิง หรือมีสภาวะปฏิกิริยาแบบเฉื่อย (Inert) ได้ดีกว่าแบบอื่น ๆ
- สามารถใช้กับสภาพงานที่มีการแผ่รังสีความร้อนได้ดี
- ให้อัตราการเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิดีกว่าแบบอื่น ๆ (ความชันเกือบเป็น 1) และมีความเป็นเชิงเส้นมากที่สุดในบรรดาเทอร์โมคัปเปิลด้วยกัน

ข้อเสียของแบบ K

- ไม่เหมาะกับการวัดที่ต้องสัมผัสกับปฏิกิริยารีดิวซิง และออกซิไดซิงโดยตรง
- ไม่เหมาะกับงานที่มีไอของซัลเฟอร์
- ไม่เหมาะกับสภาพงานที่เป็นสุญญากาศ (ยกเว้นจะใช้ในช่วงเวลาสั้น)
- หลังการใช้งานไป 20 ปี ทำให้ส่วนผสมทางเคมีเปลี่ยนไป เป็นผลทำให้คุณสมบัติของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนไป

5. **เทอร์โมคัปเปิลแบบ T**

ข้อดีของแบบ T

- ดีกว่าแบบ K ตรงที่สามารถวัดอุณหภูมิได้ต่ำกว่า นั่นคือเหมาะกับการวัดอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ เช่นในห้องเย็น ตู้แช่แข็ง
- ให้ความแน่นอนในการวัดดีกว่าแบบ K (ช่วงที่ต่ำกว่า 100°C ความแน่นอนจะเป็น ± 1%)
- มีเสถียรภาพในการวัดอุณหภูมิดี
- การวัดสภาพงานที่เป็นสุญญากาศ งานที่มีปฏิกิริยาแบบออกซิไดซิงรีดิวซิง และงานที่มีปฏิกิริยาแบบเฉื่อยจะทำได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

51872

- วัดอุณหภูมิแบบต่อเนื่องได้จากช่วง -185 ถึง 300°C และวัอุณหภูมิช่วงสั้น ๆ ได้จากช่วง -250 ถึง 400°C
- ทนต่อบรรยากาศที่มีการกัดกร่อนได้ดี

ข้อเสียของแบบ T

- เป็นแบบที่วัดอุณหภูมิช่วงบวกได้น้อยกว่าแบบอื่น ๆ
- หากใช้วัดอุณหภูมิที่สูงกว่า 370°C จะทำให้เกิดออกไซด์มาก
- ไม่เหมาะกับงานวัดอุณหภูมิที่สัมผัสกับการแผ่รังสีความร้อนโดยตรง (ทำให้ส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ทำเปลี่ยนไป คุณสมบัติทางไฟฟ้าเปลี่ยนไปด้วย)
- เมื่อใช้งานไปนาน ๆ ในช่วง 20 ปี ส่วนผสมของนิกเกิลและสังกะสีจะเพิ่มประมาณ 10% ทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน
- คุณสมบัติของแรงเคลื่อนต่อุณหภูมิไม่เป็นเชิงเส้น (แต่ก็ปรับปรุงได้จากวงจรปรับสภาพสัญญาณ)

6. **เทอร์โมคัปเปิลแบบ E**

ข้อดีของแบบ E

- ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุดเมื่อวัดอุณหภูมิเทียบกับแบบอื่น ๆ ในสภาวะเดียวกัน
- วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 ถึง 800°C
- คุณสมบัติอื่น ๆ คล้ายกับแบบ K

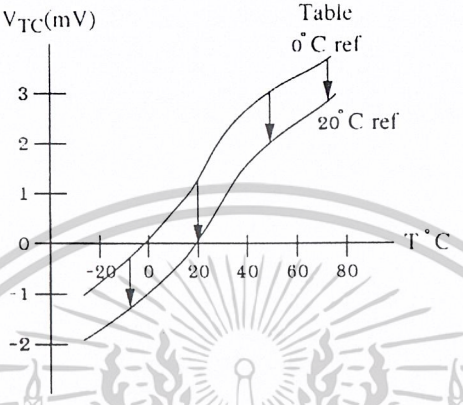
2.3 การเปลี่ยนจุดอ้างอิงของตาราง (Change of Table Reference)

หากอุณหภูมิอ้างอิงแตกต่างจากตารางเทอร์โมคัปเปิลที่กำหนดไว้ เราก็ยังสามารถใช้ค่าจากตารางนี้เป็นฐานในการคำนวณได้ ข้อควรจำคือเมื่อวัดอุณหภูมิเดียวกันแต่เปลี่ยนไปใช้จุดอ้างอิงที่สูงกว่าจะทำให้แรงเคลื่อนทางเอาท์พุตถูกกดให้ต่ำลง ดังรูปที่ 2.5

เช่นนำเทอร์โมคัปเปิลชนิด J ซึ่งมีจุดอ้างอิงที่ 30°C ไปวัดอุณหภูมิ 400 °C วิธีการหาแรงเคลื่อนใหม่ที่ได้คือ ขั้นแรกหาแรงเคลื่อน ณ อุณหภูมิที่ต้องการอ้างอิงใหม่จากตาราง ในที่นี้คือ 30°C ณ จุดอ้างอิง 0°C จากตารางเทอร์โมคัปเปิลชนิด J พบว่ามีแรงเคลื่อน 1.54 mV. (เรียกค่าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาได้นี้ว่าตัวประกอบ) หลังจากนั้นก็นำค่านี้ไปลบออกจากแรงเคลื่อนที่จุดวัดที่ 400°C เมื่อจุดอ้างอิงเป็น 0°C หรือเขียนเป็นขั้นตอนได้ดังนี้



<u>รูปที่ 2.5</u> แสดงการเปลี่ยนจุดอ้างอิงจาก 0 ถึง 20 °C ซึ่งจุดสมดุลกับการเลื่อนลงของเส้นโค้งแรงเคลื่อนเทอร์โมคัปเปิล

V (30°C) = 1.54 mV (ชนิด J, 0°C ref.) ขั้นแรก

และ V(400°C) = 21.85 mV (ชนิด J, 0°C ref.) ขั้นสอง

นำค่า (ตัวประกอบ) ที่ได้จากขั้นที่สองมาลบออกจากขั้นแรก ทำให้ได้แรงเคลื่อนซึ่งขึ้นอยู่กับความแตกต่างนี้เป็น

V (400°C) = 20.31 mV (ชนิด J, 30°C ref.)

เพื่อหลีกเลี่ยงความสับสนของจุดอ้างอิง จะเขียนในแบบใหม่ เช่น V_{j0} จะหมายถึงแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลชนิด J อ้างอิงที่ 0°C และ V_{j30} หมายถึงของชนิด J อ้างอิงที่ 30°C

มาดูกันอีกกรณีหนึ่ง เช่น

V_{j30} (150°C) = 8.00 - 1.54 = 6.46 mV

V_{j30} (-90°C) = -4.21 - 1.54 = -5.75 mV

ในกรณีนี้แรงเคลื่อนที่ได้จะมากกว่ากรณีแรก เพราะความแตกต่างระหว่าง -90°C และ 30°C จะมากกว่าความแตกต่างระหว่าง -90°C และ 0°C ซึ่งแรงเคลื่อนจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างนี้ ดังนั้นการใช้ตัวประกอบที่ถูกต้องคือ “ลบค่าตัวเลขออกจากค่าในตาราง ถ้าค่าอ้างอิงนั้นมีค่าน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าจุดอ้างอิงในตาราง" และ "บวกเข้าไปในตารางถ้าหากว่าค่าอ้างอิงใหม่มีค่ามากกว่าค่าอ้างอิงในตาราง"

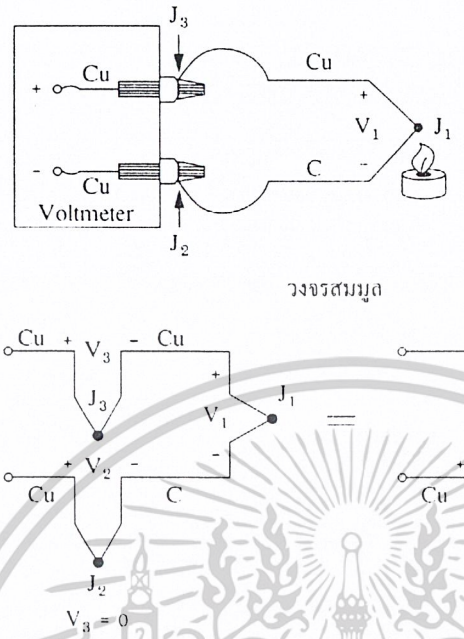
ในรูปที่ 2.5 แสดงกราฟของกระบวนการที่ถูกต้อง จะเห็นได้ว่าเส้นโค้งที่จุดอ้างอิง 20°C จะลดลง (เลื่อนสเกล) จาก 0°C ด้วยขนาดแรงเคลื่อน 1.02 mV เท่ากันหมดทุกจุด

2.4 การชดเชยจุดอ้างอิง (Reference Compensation)

เพราะว่าแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลมีค่าเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่จุดวัดและอุณหภูมิที่จุดอ้างอิง ดังนั้นหากอุณหภูมิจุดอ้างอิงเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาก็จะทำให้การวัดมีค่าผิดพลาด จึงต้องมีเทคนิคในการชดเชยอุณหภูมิอ้างอิงเพื่อให้คงที่มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

จากรูปที่ 2.6 สมมติว่าเป็นการวัดแรงเคลื่อนของซีเบ็ค โดยต่อโวลต์มิเตอร์คร่อมเข้ากับเทอร์โมคัปเปิลชนิด J (ทองแดง-คอนสแตนแตน) เพื่อหาค่าเอาต์พุต V_1 ที่เกิดจากขั้ว J_1 จากวงจรสมมูล จะเห็นว่ามีโลหะ 2 ชนิดมาต่อกัน ที่ J_2 เกิดจากทองแดง – คอนสแตนแตนต่อกันจึงเกิดเทอร์โมคัปเปิลขึ้นใหม่อีกหนึ่งตัว ทำให้ได้แรงเคลื่อน (V_2) เพิ่มเข้าไป แต่มีทิศทางตรงกันข้ามกับ V_1 ส่วนที่ J_3 ขั้วที่ต่อเป็น ทองแดง – ทองแดง จึงไม่เกิดผลของเทอร์โมคัปเปิลตัวใหม่ขึ้น ดังนั้นค่าของแรงเคลื่อนที่อ่านได้จึงเป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิที่แตกต่างระหว่าง J_1 และ J_2 แต่เราก็ยังไม่สามารถหาค่าอุณหภูมิที่ J_1 ได้ จึงต้องมีการชดเชยจุด J_2 ซึ่งให้เป็นจุดอ้างอิงเสียก่อน โดยทั่วไปจะมีเทคนิคในการชดเชย 3 วิธีด้วยกันคือ (ยังมีวิธีการอื่นๆ อีก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2. 6 แสดงการวัดแรงเคลื่อนโดย DVM

2.4.1 อุณหภูมิที่ถูกควบคุมด้วยบล็อกอ้างอิง (Controlled Temperature Reference Block)

ในบางกรณี ต้องใช้เทอร์โมคัปเปิลหลายๆ ตัววัดอุณหภูมิ จึงต้องเดินสายขยายนำจุดต่อทั้งหมดไปยังกล่องควบคุมอุณหภูมิในห้องควบคุม ทำให้เราสามารถหาค่าอุณหภูมิของ J_1 ได้ โดยการใส่ J_2 ลงไปในน้ำแข็งซึ่งมีค่า $0^{\circ}C$ และตั้ง J_2ให้เป็นจุดอ้างอิง จะเห็นว่าในตอนนี้ขั้วของโวลต์มิเตอร์ทั้งสองเป็นทองแดง-ทองแดง จึงไม่ทำให้เกิดแรงเคลื่อน emf ขึ้นมาใหม่ ในความจริงพบว่าแรงเคลื่อนที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์จะเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง J_1 และ J_2 ดังรูปที่

โวลติมิเตอร์จะอ่านค่าได้เป็น

$V = V_1 - V_2 = t_{j1} - t_{j2}$

กำหนด ในหน่วยองศาเซลเซียส

$T_{j1}\ (^{\circ}C) + 273.15 = t_{j1}$

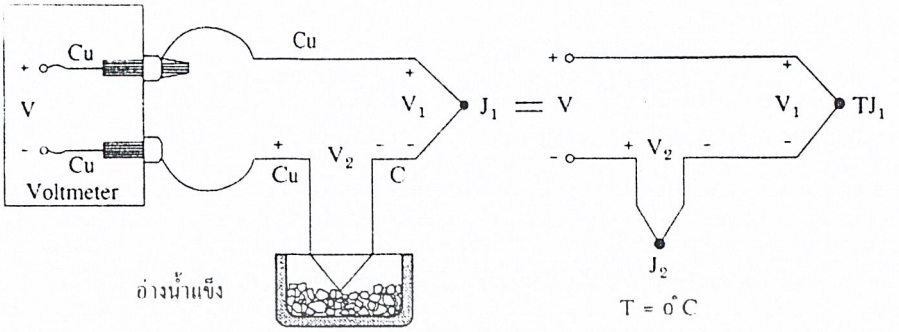
$V = V_1 - V_2 = (T_{j1} + 273.15) = (T_{j2} + 273.15)$

$= T_{j1} - T_{j2} = T_{j1} - 0$

$= T_{j1}$

นั่นคือ V จะไม่เป็นศูนย์ แต่จะเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิสัมบูรณ์

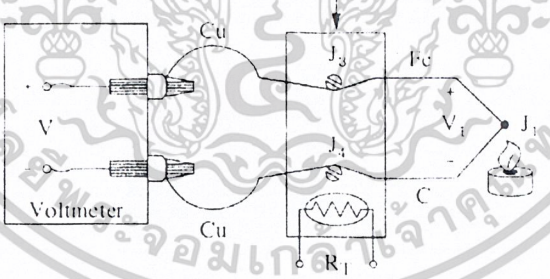
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



<u>รูปที่ 2.7</u> แสดงการวัดเทอร์โมคัปเปิลโดยใช้จุดอ้างอิงจากภายนอก

2.4.2 วงจรชดเชยจุดอ้างอิง (Reference Compensation Circuit)

การชดเชยจุดอ้างอิงสมัยใหม่มักจะใช้ไอซีเป็นตัวชดเชยโดยสามารถนำมาลบหรือบวกโดยตรงกับค่าที่วัดได้ แต่ต้องใช้ตัประกอบที่ถูกต้องไปลบกับเอาต์พุตของเทอร์โมคัปเปิล ไอซีดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า “ตัวชดเชยจุดเย็น” (Cold Junction Compensators) หรือตัวชดเชยจุดน้ำแข็ง (Ice Point Compensators) ที่อุณหภูมิจริงของตัวเซ็นเซอร์ ณ จุดอ้างอิง



<u>รูปที่ 2. 8</u> แสดงการใช้จุดอ้างอิงจากภายนอกโดยไม่ใช้อ่างน้ำแข็ง

หากใช้เทอร์มิสเตอร์ (หรืออาร์ทีดี) เป็นตัวอ้างอิง ซึ่งมีความต้านทานเป็น R_T โดยเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ จากรูปที่ 8 จุดต่อ J_3 , J_4 และเทอร์มิสเตอร์ ทั้งหมดก็จะถูกทำให้มีอุณหภูมิเดียวกันเนื่องจากเหตุผลในการออกแบบตัวบล็อกอ้างอิงอุณหภูมิ (Isothermal block) และหากจะอ่านออกมาในรูปดิจิตลมัลติมิเตอร์ภายใต้การควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ก็สามารถเคลื่อนจุดอ้างอิงสมมูล V_{ref}

1. วัดค่าR_T เพื่อหาค่า T_{ref} และเปลี่ยนไปเป็นแรงเคลื่อนจุดอ้างอิงสมมูล V_{ref}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วัดค่าแรงเคลื่อน V_1 และลบ V_{ref} เพื่อหา V_1 และเปลี่ยน V_1 ไปเป็นอุณหภูมิ T_{j1}

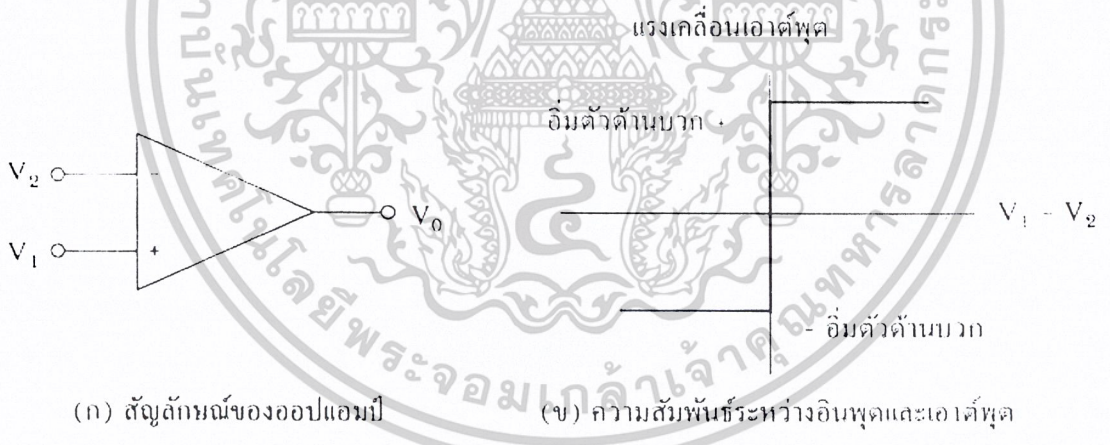
อุปกรณ์ที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติเป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ อาจจะใช้อาร์ทีดี เทอร์มิสเตอร์หรือไอซี มาเป็นตัวเซ็นเซอร์ก็ได้

2.5 การขยายสัญญาณ (Signal Amplifier)

อุปกรณ์เซ็นเซอร์และทรานสดิวเซอร์เกือบทุกตัวจะต้องมีการขยายสัญญาณหรือปรับสภาพสัญญาณก่อนที่จะส่งไปยังส่วนอื่น ๆ ซึ่งในโครงงานนี้เราได้ใช้ออปแอมป์เป็นตัวขยายสัญญาณทางไฟฟ้า

2.5.1 คุณสมบัติของออปแอมป์ (Op Amp Characteristics)

รูปที่ 2.9 แสดงสัญลักษณ์มาตรฐานของออปแอมป์ ออปแอมป์จริงจะมีอินพุต 2 ขา คือขานอนอินเวอร์ตติง (+) และขาอินเวอร์ตติง (-) ส่วนเอาต์พุตมี 1 ขา



<u>รูปที่ 2. 9</u> แสดงสัญลักษณ์มาตรฐานของออปแอมป์

เพื่ออธิบายคุณสมบัติทางอุดมคติของออปแอมป์ กำหนด V_1 ให้เป็นแรงเคลื่อนทางด้านอินพุตของขานอนอินเวอร์ตติง V_2 เป็นอินพุตของขาอินเวอร์ตติง และ V_0 เป็นแรงเคลื่อนทางด้านเอาต์พุตในทางอุดมคติ จากรูปที่ 2.9 อาจสรุปได้ว่า

1. ถ้า $V_1 - V_2$ เป็นบวก ($V_1 > V_2$) V_0 จะอิ่มตัวที่ค่าบวก
2. ถ้า $V_1 - V_2$ เป็นลบV_0 จะอิ่มตัวที่ค่าลบ
3. แรงเคลื่อนทางเอาต์พุตจะถูกกำหนดโดยแรงเคลื่อนที่จ่ายเลี้ยงออปแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนคุณสมบัติอื่น ๆ ของออปแอมป์คือ

1. อิมพีแดนซ์ระหว่างอินพุตมีค่าเป็นอนันต์ (เมกะโอห์ม ถึงเทราโอห์ม)
2. อิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุตต่ำ (เป็นเศษส่วนของโอห์มเมื่อมีการป้อนกลับ)
3. ให้อัตราขยายสูง ($10^5 - 10^6$ หรือ 100 dB – 120 dB)
4. ผลตอบสนองรวมเร็ว (เอาต์พุตเปลี่ยนรวดเร็วหลาย ๆ โวลต์ต่อไมโครวินาที)

ในทางปฏิบัติ ออปแอมป์จะใช้วิธีการป้อนกลับจากด้านเอาต์พุตไปยังขั้วทางด้านอินพุตเสมอ

2.5.2 คุณลักษณะจำเพาะของออปแอมป์ (Op Amp Specifications)

คุณสมบัติที่สำคัญของออปแอมป์
มีดังต่อไปนี้

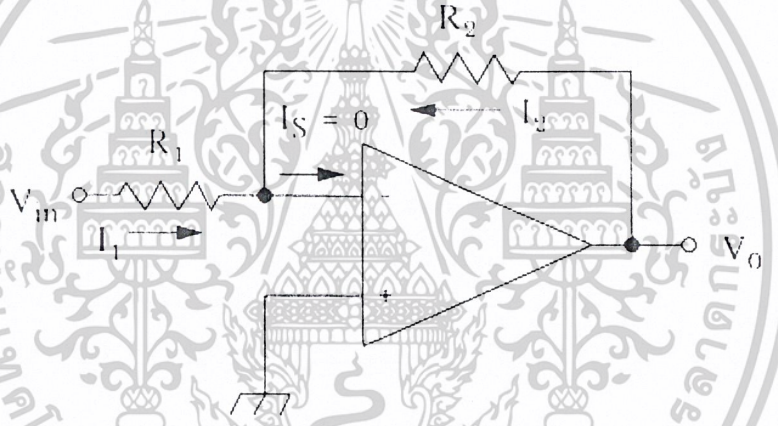
1. แรงเคลื่อนอินพุตออฟเซต : ในหลาย ๆ กรณี แรงเคลื่อนทางด้านเอาต์พุตของออปแอมป์จะไม่เป็นศูนย์เมื่อแรงเคลื่อนตกคร่อมตัวมันเป็นศูนย์ แรงเคลื่อนที่จ่ายเพื่อให้ตกคร่อมขั้วทางด้านอินพุต เพื่อขับให้เอาต์พุตเป็นศูนย์ กำหนดให้เป็นแรงเคลื่อนอินพุตออฟเซต
2. กระแสอินพุตออฟเซต : จากการที่ต้องจ่ายแรงเคลื่อนออฟเซตให้ตกคร่อมอินพุตเพื่อให้เอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์ แต่จะมีกระแสไหลผ่านอินพุตเมื่อแรงเคลื่อนเอาต์พุตเป็นศูนย์ กระแสนี้จะเรียกว่ากระแสอินพุตออฟเซต ซึ่งค่านี้มาจากความแตกต่างระหว่างกระแสอินพุตทั้งสอง
3. กระแสไบอัสอินพุต : เป็นค่าเฉลี่ยของกระแสอินพุตสองตัวที่ต้องการ เพื่อขับแรงเคลื่อนเอาต์พุตให้เป็นศูนย์
4. อัตราสลู (slew rate) : หากเราจ่ายแรงเคลื่อนทันทีทันใดไปยังขาอินพุตของออปแอมป์ เอาต์พุตจะอิ่มตัวที่ค่าสูงสุด สำหรับอินพุตแบบขั้นบันได (step) อัตราสลูคืออัตราที่ซึ่งเอาต์พุตเปลี่ยนไปเป็นค่าอิ่มตัว โดยปกติค่านี้จะแสดงในหน่วย V/μs (โวลต์ต่อไมโครวินาที)
5. แบนด์ความกว้างของความถี่เมื่ออัตราขยายเป็นหนึ่ง (unitity gain frequency bandwidth) : โดยปกติผลตอบสนองความถี่ของออปแอมป์ สามารถกำหนดได้จาก Bode Plot ระหว่างอัตราขยายแรงเคลื่อนขณะลูปเปิดต่อความถี่ การพล็อตนี้จะสำคัญมากสำหรับการออกแบบวงจรที่ทำงานกับสัญญาณไฟกระแสสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การขยายแบบกลับขั้ว (Inverting Amplifier)

พิจารณารูปที่ 2.10 ตัวต้านทาง R_2 ถูกใช้เป็นตัวป้อนกลับค่าทางด้านเอาต์พุตไปยังอินพุตที่ขาอินเวอร์ตติง ส่วน R_1 จะต่ออยู่กับแรงเคลื่อน V_{in} ที่จุดนี้จะถูกเรียกว่า "จุดรวมสัญญาณ" (summing point) พบว่า

1. หากไม่มีการต่อป้อนกลับและ (+) ลงกราวด์, $V_{10} > 0$ ค่าทางด้านเอาต์พุตจะอิ่มตัวที่ค่าลบ, $V_{in} < 0$ ค่าทางด้านเอาต์พุตจะอิ่มตัวที่ค่าบวก
2. หากมีการต่อป้อนกลับ ค่าทางด้านเอาต์พุตจะปรับแรงเคลื่อนโดยแรงเคลื่อนที่จุดรวมสัญญาณจะมีค่าเท่ากับระดับอินพุตที่ขา (+) นั่นคือจะมีค่าเป็นศูนย์
3. หากมีการต่อป้อนกลับ จะไม่มีกระแสไหลผ่านขั้วอินพุตของออปแอมป์ เพราะในทางแนวคิดกำหนดให้อิมพีแดนซ์ทางอินพุตเป็นอนันต์



<u>รูปที่ 2.10</u> แสดงการขยายแบบกลับขั้วโดยใช้ออปแอมป์

ในกรณีนี้ ผลรวมของกระแสที่จุดรวมสัญญาณจะเป็นศูนย์ นั่นคือ

$I_1 + I_2 = 0$

เมื่อ I_1 = กระแสที่ไหลผ่าน R_1

I_2 = กระแสที่ไหลผ่าน R_2

เพราะว่าที่จุดรวมสัญญาณถูกสมมติให้เป็นศูนย์ โดยกฎของโอห์มจะได้

$$\frac{V_{in}}{R_1} + \frac{V_{out}}{R_2} = 0 \qquad \text{.....(2.11)}$$

จากสมการที่ (2.11) เราสามารถเขียนผลตอบสนองของวงจรได้เป็น

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_{in} \qquad \text{.....(2.12)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างนี้ ใช้กฎเพียงสองข้อก็สามารถวิเคราะห์การทำงานของออปแอมป์ในทางอุดมคติได้ แต่ส่วนใหญ่การวิเคราะห์จะใช้การทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของวงจร โดยจะมีค่าความผิดพลาดเพียงเล็กน้อย กฎในการออกแบบคือ

กฎข้อที่ 1 สมมติให้ไม่มีการไหลของกระแส ผ่านขั้วอินพุตของออปแอมป์ นั่นคือไม่ผ่านขา inverting และ noninverting

กฎข้อที่ 2 สมมติให้ไม่มีความแตกต่างของแรงเคลื่อนระหว่างขั้วอินพุตทั้งสอง นั่นคือ $V_+ = V_-$

จากรูปที่ 2.10 และสมการที่ 2.12 แสดงให้เห็นว่าวงจรนี้

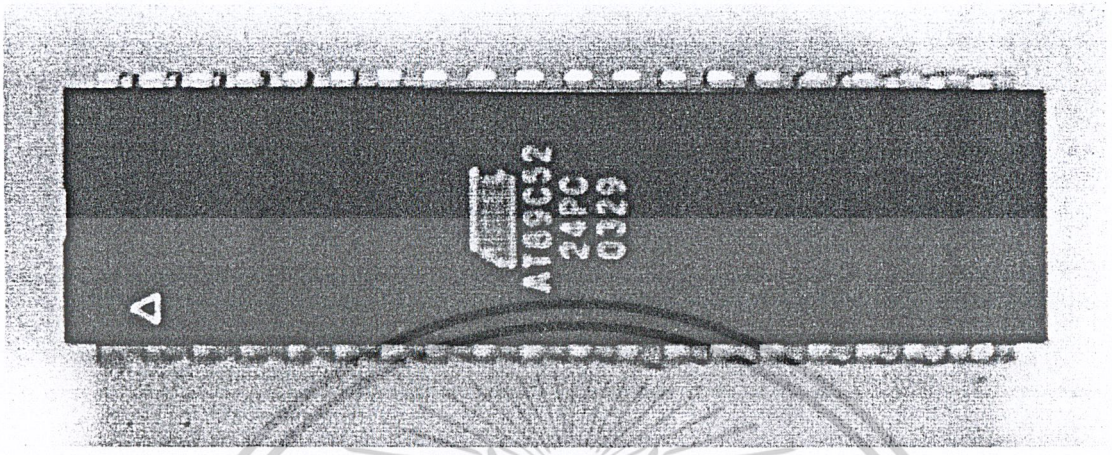
1. มีการขยายแบบกลับขั้ว นั่นคือมุมเฟสเลื่อนไป 180° (กลับขั้ว) ไปจากขั้วทางด้านอินพุต
2. สามารถต่อให้เป็นวงจรขยายหรือลดทอนสัญญาณได้ จากการกำหนดอัตราส่วนของ R_2/R_1
3. อิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุตของวงจรนี้มีค่าเท่ากับ R_1 ส่วนค่าอิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุตจะมีค่าต่ำ
4. ถ้าต่อ R_3 ที่ขา + จะทำให้อิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุตของขา – และ + มีค่าเท่ากัน โดย $R_3 = R_1//R_2$
5. วงจรเปรียบเสมือนเครื่องหมายคูณ หรือหารด้วยค่าคงที่ในทางคณิตศาสตร์

2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C52

AT89C52 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 8 บิตขนาด 40 ขา สามารถนำมาใช้แทนไมโครคอมพิวเตอร์ตระกูล MCS-51 โดยมีหน่วยความจำโปรแกรมภายในขนาด4 กิโลไบต์แบบ Flash memory หรือที่เรียกกันว่า Programable and Erasable Read Only Memory (PEROM) หน่วยความจำข้อมูลภายในแบบ 256 ไบต์ สร้างด้วยเทคโนโลยี CMOS

AT89C52 เป็นไมโครคอมพิวเตอร์ผลิตโดย ATMEL ที่ใช้พลังงานต่ำและมีหน่วยความจำภายในสามารถเขียนและลบได้ไม่น้อยกว่า 1000 ครั้ง และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ตัวถังและขาสัญญาณของชิปAT89C52

รูปที่ 2.12 แสดงไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C52 ลักษณะเป็นแบบ PDIP (Plastic Dual Inline Package) ขนาด 40

2.6.1 คุณสมบัติของ AT89C52

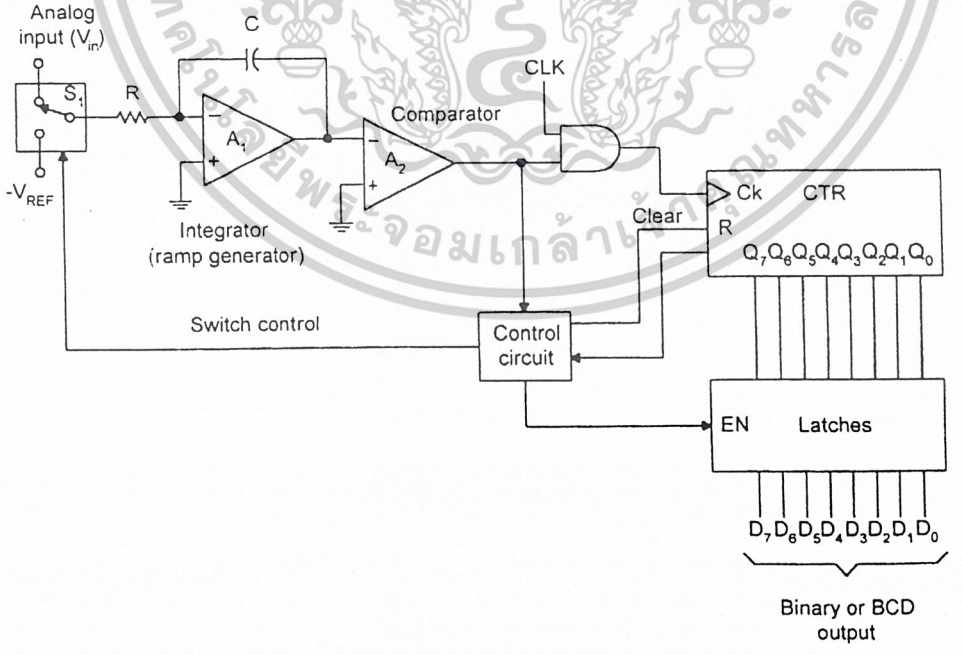
1. สามารถใช้แทนไมโครคอมพิวเตอร์ตระกูล MCS-51
2. หน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบ Flash Memory ขนาด 8 กิโลไบต์ สามารถเขียนและลบได้ไม่น้อยกว่า 1,000 ครั้ง และเก็บข้อมูลได้นานถึง 10 ปี
3. ใช้ไฟเลี้ยง 2.7 – 6 โวลต์
4. ทำงานได้ในช่วงความถี่ 0-24 เมกะเฮร์ิต
5. ระบบหน่วยความจำโปรแกรมมี 3 ระดับ
6. มี I/o พอร์ท 32 บิต
7. แหล่งอินเตอร์รัพ 2 ระดับ 5 ตำแหน่ง
8. มี Counter/Timer ขนาด 16 บิต 2 ตัว
9. พอร์ทอนุกรมแบบ Full Duplex
10. สามารถล็อกโปรแกรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 Dual-slope ADC

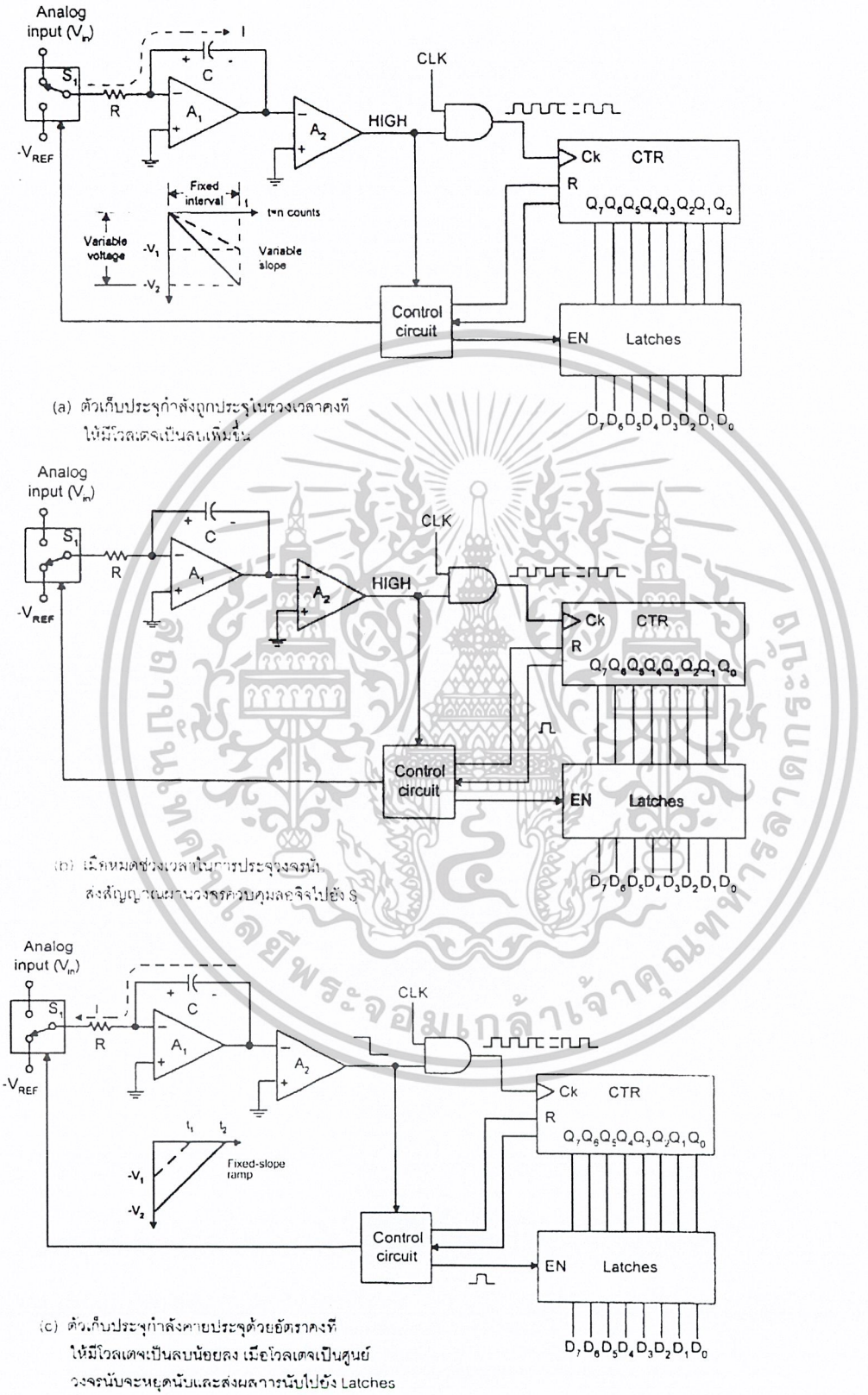
วงจร Dual-slope ADC ดังแสดงในรูปที่ 3.11 มีการทำงานคล้ายกับแบบ Single-slope ADC แต่ใช้โวลเตจอ้างอิงที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (ความชัน) 2 แบบ คือ แบบคงที่และแบบไม่คงที่ วงจรแปลงสัญญาณแบบนี้มีการใช้โดยใวไปในดิจิตอลโวลมิเตอร์และเครื่องมือวัดทั้งหลาย

Op-amp, A_1 ถูกต่อเป็นวงจร integrator ทำหน้าที่กำเนิดโวลเตจที่เพิ่มขึ้นตามเวลา เริ่มต้นสมมติว่าวงจรนับถูกรีเซ็ตและเอาท์พุทของวงจร Integrator เป็น 0 V ขณะนี้สมมติว่าสัญญาณแอนาลอก (V_{in}) ที่มีค่าเป็นบวกถูกป้อนผ่าน S_1 ซึ่งถูกควบคุมโดยวงจร Control Logic เนื่องจาก Inverting input (-) ของ A_1 เป็น Virtual ground และคิดว่า V_{in} มีค่าคงที่ในช่วงเวลาที่กำลังพิจารณา ดังนั้นจะมีกระแสไฟฟ้าคงที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R ไปยังตัวเก็บประจุ C เป็นผลให้เอาท์พุทของ A_1 มีโวลเตจเป็นลบเพิ่มขึ้นด้วยอัตราคงที่ โดยอัตรานี้ขึ้นกับสัญญาณแอนาลอก (V_{in}) (ความชัน หรือ Slope ไม่คงที่ แต่ขึ้นกับ V_{in}) ดังรูปที่ 3.11 (a) ในขณะนี้โวลเตจที่ขา non- inverting input (+) ซึ่งเป็น 0 V (Ground) ทำให้เอาท์พุทของตัวเปรียบเทียบเป็น ลอจิก 1 ส่งผลให้สัญญาณนาฬิกาสามารถผ่าน AND gate ไปยังวงจรนับได้ วงจรก็จะเริ่มนับและให้เอาท์พุทเป็นรหัสดิจิตอลที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.13 วงจร Dual-Slope ADC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 การทำงานของวงจร Dual-Slope ADC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อวงจรนับจนถึงค่าเฉพาะค่าหนึ่ง (ที่ถูกกำหนดขึ้นเป็นค่าใดๆ) วงจรนับจะถูกรีเซ็ตและส่งสัญญาณไปยังวงจร control logic เพื่อควบคุมให้ S_1 สับมายังโวลเตจอ้างอิง ($-V_{REF}$) ซึ่งมีค่าเป็นลบ ดังรูปที่ 3.12 (b) ในขณะนั้นสมมติว่าตัวเก็บประจุถูกประจุจนทำให้เอาท์พุทของวงจร Integrator มีค่าเป็น –V ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสัญญาณแอนาลอกที่อินพุท (V_{in})

เมื่อ S_1 ถูกสับมายังโวลเตจอ้างอิงที่เป็นลบ ตัวเก็บประจุจะเริ่มคายประจุ (discharge) ด้วยอัตราคงที่เนื่องจากโวลเตจอ้างอิงมีค่าคงที่ ดังรูปที่ 3.12 (C) การคายประจุด้วยอัตราคงที่ทำให้เอาท์พุทของ A_1 มีโวลเตจเป็นลบน้อยลงเริ่มต้นจาก –V (มีค่าเพิ่มขึ้น) ด้วยอัตราคงที่ เนื่องจากโวลเตจอ้างอิง ($-V_{REF}$) มีค่างคงที่ (ความชันคงที่ ไม่ขึ้นกับ V_{in}) ขณะนี้โวลเตจ (เป็นลบ) ที่ขา inverting input (-) ยังคงเป็นลบทำให้เอาท์พุทของตัวเปรียบเทียบยังคงเป็น ลอจิก 1 ดังนั้นวงจรนับจึงยังคงนับต่อไปเริ่มจากศูนย์อีกครั้งเนื่องจากถูกรีเซ็ตก่อนหน้านี้ วงจรนับจะนับไปเรื่อยๆ ตราบใดที่เอาท์พุทของตัวเปรียบเทียบยังคงเป็น ลอจิก 1 เอาท์พุทของตัวเปรียบเทียบจะเปลี่ยนเป็นลอจิก 0 เมื่อตัวเก็บประจุคายประจุจนหมด (เอมท์พุทของ A_1 จะมีโวลเตจเป็น 0 V) เนื่องจากอัตราการคายประจุมีค่าคงที่ (ความชันคงที่) ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการคายประจุจนหมดจึงขึ้นกับจำนวนประจุไฟฟ้าที่พูกประจุไว้ ซึ่งขึ้นกับโวลเตจเริ่มต้น –V (ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสัญญาณอนาลอกที่อินพุท V_{in}) เมื่อเอาท์พุทของตัวเปรียบเทียบเปลี่ยนเป็น ลอจิก 0 วงจรนับจึงหยุดนับ รหัสดิจิตอลที่เอาท์พุทของวงจรนับจะถูกส่งไปยัง latches ดังนั้นการแปลงสัญญาณจึงเสร็จสมบูรณ์และจะเริ่มแปลงสัญญาณรอบต่อไป เนื่องจากช่วงเวลาที่ใช้ในการคายประจุขึ้นกับ –V เพียงอย่างเดียว โดยค่าของ –V นี้ขึ้นกับ V_{in} และวงจรนับจะนับสัญญาณนาฬิกาได้มากหรือน้อยขึ้นกับช่วงเวลานี้ ดังนั้นรหัสดิจิตอลที่เอาท์พุทของวงจรนับนี้จึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสัญญาณแอนาลอกที่อินพุท

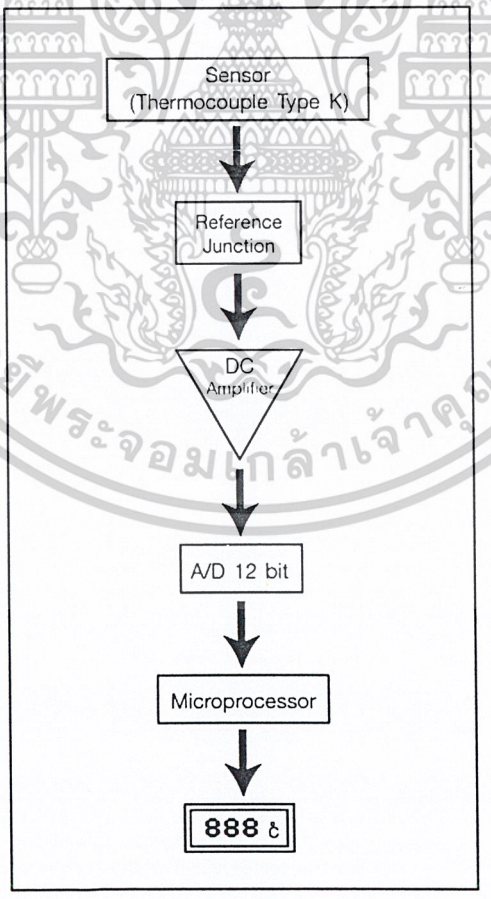
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การทำงานของเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล

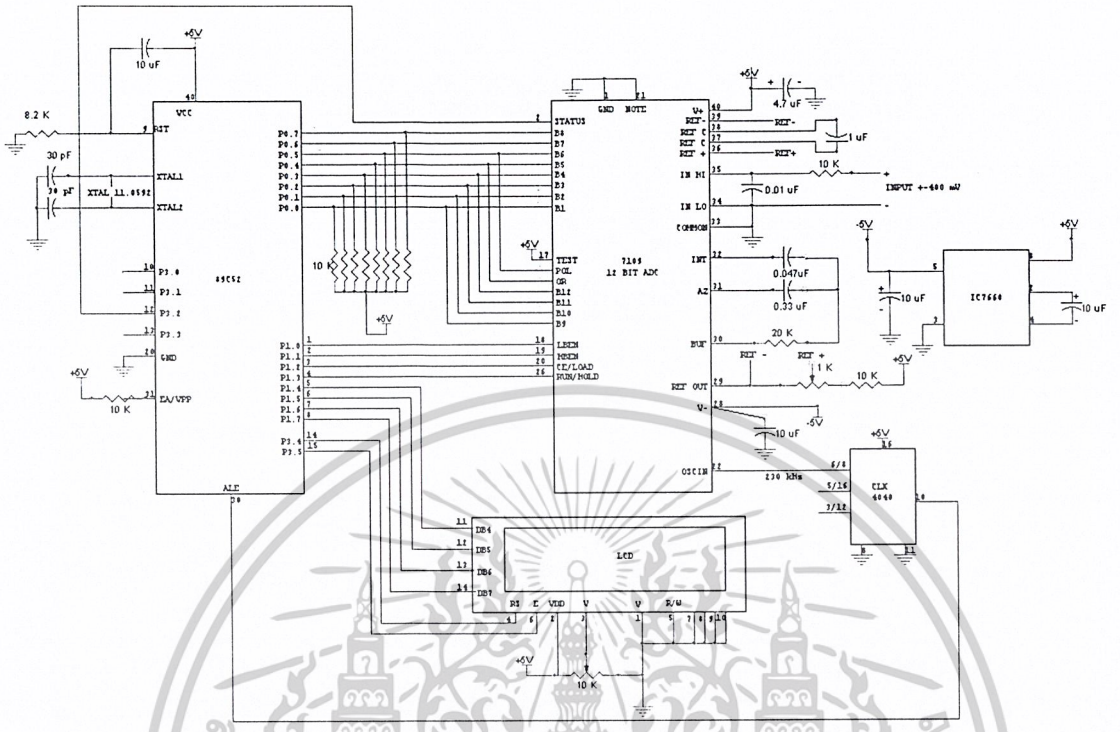
เครื่องวัดอุณหภูมิอาศัยหลักการของเทอร์โมคัพเปิล ซึ่งมีค่าแรงดันเปลี่ยนตามอุณหภูมิ โดยนำไปเปรียบเทียบค่ากับ วงจร Reference Junction แล้วขยายสัญญาณโดย Chopperless DC amplifier OP07 โดยมีกำลังขยาย 25 เท่า ส่งสัญญาณอินพุทในช่วง +/- 400 mV ให้ 12-bit integrating type converter ICL7109 เข้าสู่โปรแกรมมิ่ง 89C52 Flash Microprocessor และ แสดงผลทางจอ LCD ขนาด 1 แถว 16 ตัวอักษร

3.2 หลักการทำงานของวงจรที่ใช้ในการสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล

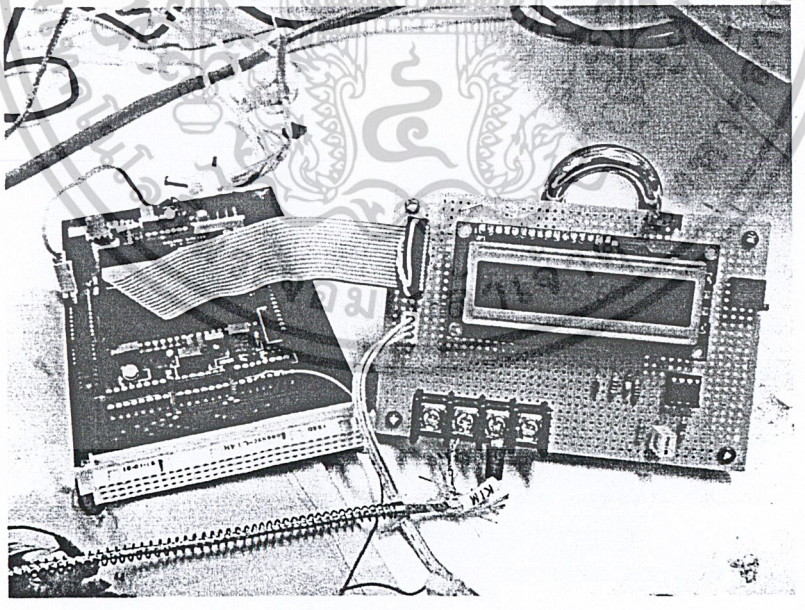


รูปที่ 3.1 แสดงการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



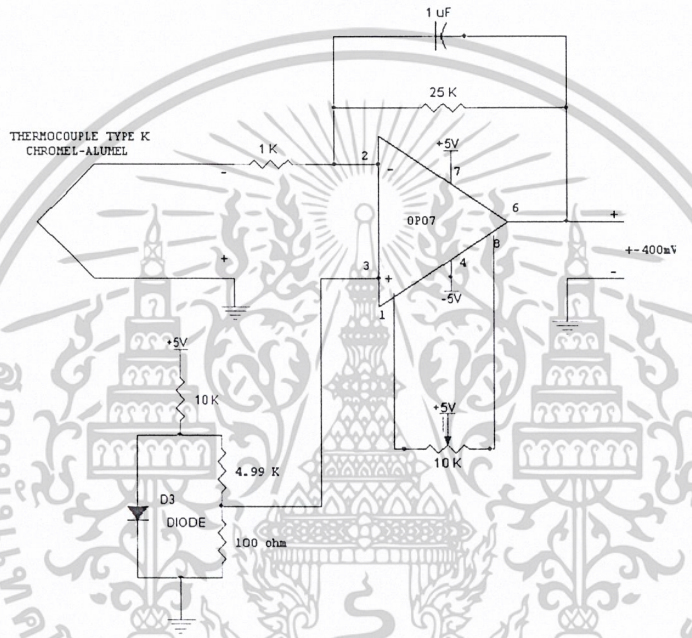
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลโดยใช้ 89C52 ไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.3 แสดงรูปเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลโดยใช้ 89C52 ไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.2 หลักการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลโดยใช้เทอร์โมคัพเปิลเป็นเซ็นเซอร์นั้น เราใช้เทอร์โมคัพเปิลต่อเข้าขาลบ (ขา 2) ของ OP07 และวงจร Reference Junction ต่อเข้าที่ขาบวก (ขา 3) ซึ่งเรานำตัวต้านทาน 25 kΩ และตัวเก็บประจุ 1 uF มาต่อขนานกัน แล้วต่อคร่อมขาลบ และขาเอาท์พุท (ขา 6) ของ OP07 เพื่อให้ได้กำลังขยาย 25 เท่า และนำตัวต้านทานปรับค่าได้ 10 kΩ มาต่อผ่านขา 1 และ ขา 8 เพื่อลดค่าแรงดัน ให้อยู่ในช่วงที่ต้องการคือ ช่วง +/- 400 mV

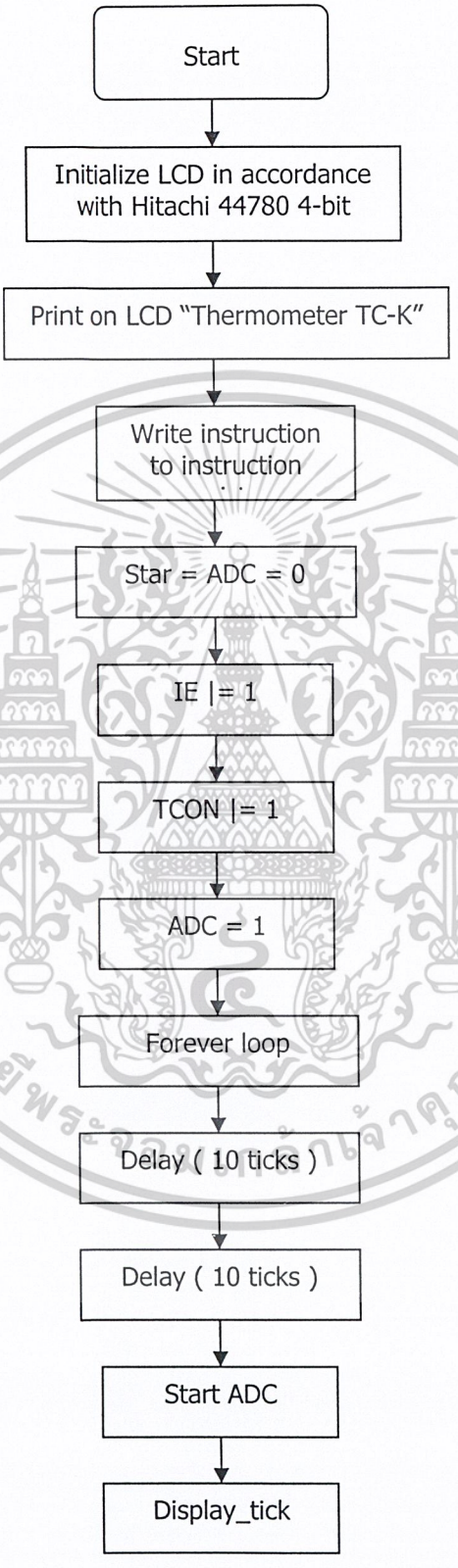


รูปที่ 3.4 แสดงวงจรที่ต่อจาก Thermocouple ไปยัง OP Amp

แล้วนำค่า +/- 400 mV นี้ไปต่อเป็นอินพุทของ 12-bit integrating type converter ICL7109 เพื่อให้ทำการแปลงค่าออกมาเป็นดิจิตอล โดยมีโปรแกรมมิ่งควบคุมจาก 89C52 Flash Microprocessor แล้วแสดงผลทางจอ LCD 1 บรรทัด 16 ตัวอักษร

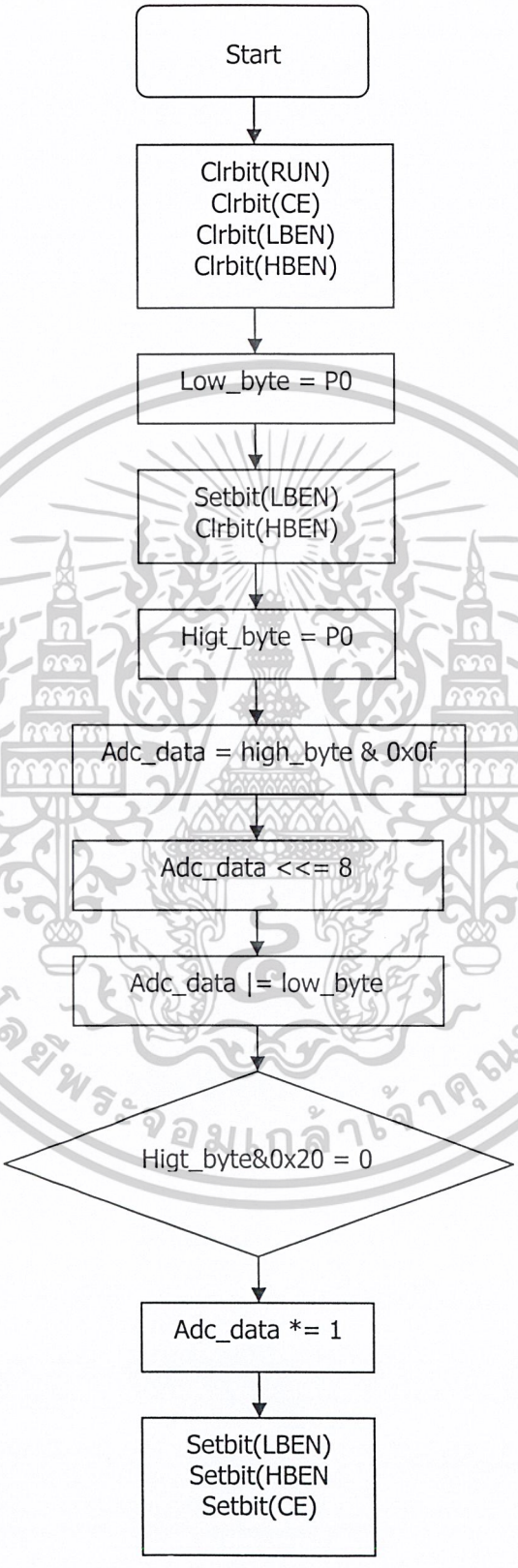
โดยที่ LCD นั้นเราได้ต่อตัวต้านทานปรับค่าได้ 10 kΩ ไว้เพื่อความสะดวกในการปรับความเข้มให้กับจอ LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงขั้นตอนการทำงานของดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ ในส่วนของ Main โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการทำงานของดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ ในส่วนของ Interrupt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง

4.1 วัตถุประสงค์การทดลอง

4.1.1 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันของเทอร์โมคัปเปิลกับอุณหภูมิตามทฤษฎี

4.1.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันของเทอร์โมคัปเปิลกับอุณหภูมิที่อ่านได้จาก LCD

4.1.3 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่าแรงดันตามทฤษฎี กับอุณหภูมิและเลขดิจิตอลที่อ่านได้จากชุดทดลอง

4.1.4 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จากชุดทดลองเทียบกับอุณหภูมิที่วัดได้จากเครื่องวัดมาตรฐาน

4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

4.2.1 เครื่องทำความร้อน

4.2.2 เครื่องวัดอุณหภูมิที่เป็นมาตรฐานที่ใช้ในการเทียบ

4.2.3 ชุดทดลองเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล

4.2.4 น้ำ, น้ำแข็ง และภาชนะต่าง ๆ

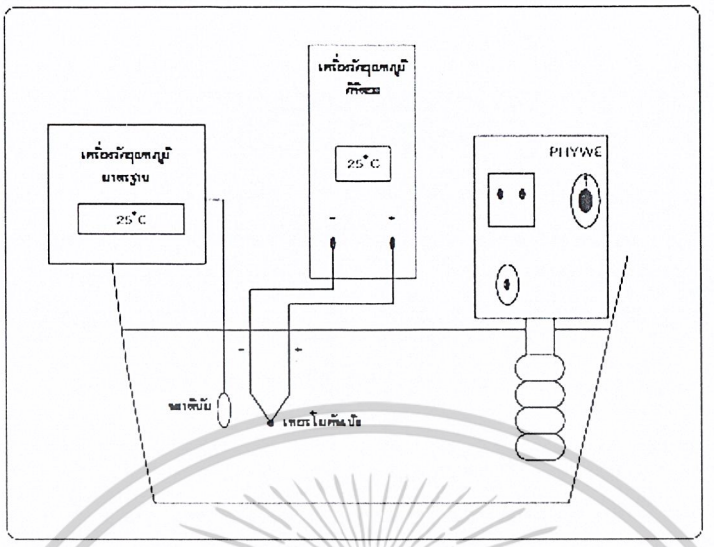
4.3 วิธีการทดลอง

1. จัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.1

2. ทำการทดลองวัดค่าแรงดันของชุดทดลองเทียบกับอุณหภูมิ โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย นำไปเขียนกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับอุณหภูมิ จากนั้นนำค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองมาเทียบกับค่าที่ได้จากข้อมูลจริง เพื่อหาค่าผิดพลาดของเครื่องมือ

3. ทำการทดลองวัดค่าอุณหภูมิของชุดทดลอง นำไปเขียนกราฟ จากนั้นนำไปเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐานที่ใช้ในการเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงชุดอุปกรณ์ในการทดลอง

4.4 ผลการทดลอง

จากทฤษฎี เทอร์โมคัปเปิลชนิด K สามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ช่วงอุณหภูมิที่ -270-1372 °C แต่เนื่องจากการทดลองไม่สามารถหาในช่วง -270 ถึง -51 °C และช่วง 101 – 1372 °C ได้ **ตอนที่ 1** จากทฤษฎีของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ในช่วง -50 ถึง 100 °C

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K

อุณหภูมิ °C	แรงดัน mV
-50	-1.889
-49	-1.854
-48	-1.818
-47	-1.782
-46	-1.745
-45	-1.709
-44	-1.673
-43	-1.637
-42	-1.6
-41	-1.564
-40	-1.527

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ °C	แรงดัน mV
-39	-1.49
-38	-1.453
-37	-1.417
-36	-1.38
-35	-1.343
-34	-1.305
-33	-1.268
-32	-1.231
-31	-1.194
-30	-1.156
-29	-1.119
-28	-1.081
-27	-1.043
-26	-1.006
-25	-0.968
-24	-0.93
-23	-0.892
-22	-0.854
-21	-0.816
-20	-0.778
-19	-0.739
-18	-0.701
-17	-0.663
-16	-0.624
-15	-0.586
-14	-0.547
-13	-0.508
-12	-0.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ °C	แรงดัน mV
-11	-0.431
10	-0.392
-9	-0.353
-8	-0.314
-7	-0.275
-6	-0.236
-5	-0.197
-4	-0.157
-3	-0.118
-2	-0.079
-1	-0.039
0	0
1	0.039
2	0.079
3	0.119
4	0.158
5	0.198
6	0.238
7	0.277
8	0.317
9	0.357
10	0.397
11	0.437
12	0.477
13	0.517
14	0.557
15	0.597
16	0.637

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ °C	แรงดัน mV
17	0.677
18	0.718
19	0.758
20	0.798
21	0.838
22	0.879
23	0.919
24	0.96
25	1
26	1.041
27	1.081
28	1.122
29	1.163
30	1.203
31	1.244
32	1.285
33	1.326
34	1.366
35	1.407
36	1.448
37	1.489
38	1.53
39	1.571
40	1.612
41	1.653
42	1.694
43	1.735
44	1.776

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ °C	แรงดัน mV
45	1.817
46	1.858
47	1.899
48	1.941
49	1.982
50	2.023
51	2.064
52	2.106
53	2.147
54	2.188
55	2.23
56	2.271
57	2.312
58	2.354
59	2.395
60	2.436
61	2.478
62	2.519
63	2.561
64	2.602
65	2.644
66	2.685
67	2.727
68	2.768
69	2.81
70	2.851
71	2.893
72	2.934

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ °C	แรงดัน mV
73	2.976
74	3.017
75	3.059
76	3.1
77	3.142
78	3.184
79	3.225
80	3.267
81	3.308
82	3.35
83	3.391
84	3.433
85	3.474
86	3.516
87	3.557
88	3.599
89	3.64
90	3.682
91	3.723
92	3.765
93	3.806
94	3.848
95	3.889
96	3.931
97	3.972
98	4.013
99	4.055
100	4.096

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองหาค่าแรงดันและเลขดิจิตอลเทียบกับอุณหภูมิโดยใช้ชุดการทดลอง ในช่วง -10 ถึง 100 °C

ตารางที่ 4.2 จากการทดลองครั้งที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและเลขดิจิตอลเทียบกับอุณหภูมิของชุดทดลอง

อุณหภูมิ °C	แรงดัน mV	เลขดิจิตอล
-10	9.8	1095
-9	8.825	1105
-8	7.85	1116
-7	6.875	1126
-6	5.9	1135
-5	4.925	1145
-4	3.925	1155
-3	-2.95	1166
-2	-1.975	1176
-1	-0.975	1186
0	0	1195
1	0.975	1204
2	1.975	1214
3	2.975	1224
4	3.95	1237
5	4.95	1247
6	5.95	1258
7	6.925	1268
8	7.925	1278
9	8.925	1287
10	9.925	1295
11	10.925	1305

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ °C	แรงดัน(mV)	เลขดิจิตอล
12	11.925	1315
13	12.925	1324
14	13.925	1334
15	14.925	1344
16	15.925	1355
17	16.925	1360
18	17.95	1370
19	18.95	1380
20	19.95	1390
21	20.95	1400
22	21.975	1414
23	22.975	1428
24	24	1438
25	25	1448
26	26.025	1457
27	27.025	1467
28	28.05	1477
29	29.075	1487
30	30.075	1497
31	31.1	1507
32	32.125	1509
33	33.15	1527
34	34.15	1537
35	35.175	1547
36	36.2	1557
37	37.225	1567
38	38.25	1578
39	39.275	1588

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ °C	แรงดัน(mV)	เลขดิจิตอล
40	40.3	1598
41	41.325	1608
42	42.35	1618
43	43.375	1628
44	44.4	1638
45	45.425	1648
46	46.45	1659
47	47.475	1669
48	48.525	1679
49	49.55	1689
50	50.575	1699
51	51.65	1709
52	52.65	1719
53	53.675	1729
54	54.7	1739
55	55.75	1751
56	56.775	1761
57	57.8	1771
58	58.85	1781
59	59.875	1791
60	60.9	1800
61	61.95	1810
62	62.975	1820
63	64.025	1830
64	65.05	1840
65	66.1	1851
66	67.125	1861
67	68.175	1871

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ ^{o}C	แรงดัน(mV)	เลขดิจิตอล
68	69.2	1882
69	70.25	1892
70	71.275	1901
71	72.325	1912
72	73.35	1922
73	74.4	1932
74	75.425	1942
75	76.475	1952
76	77.5	1962
77	78.55	1972
78	79.6	1982
79	80.625	1993
80	81.675	2013
81	82.7	2023
82	83.75	2033
83	84.775	2043
84	85.825	2053
85	86.85	2063
86	87.9	2073
87	88.925	2084
88	89.975	2094
89	91	2104
90	92.05	2114
91	93.075	2124
92	94.125	2134
93	95.15	2144
94	96.2	2154
95	97.225	2165

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ ^{o}C	แรงดัน(mV)	เลขดิจิตอล
96	98.275	2175
97	99.3	2185
98	100.325	2196
99	101.375	2206
100	102.4	2217

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 จากการทดลองครั้งที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและเลขดิจิตอล เทียบกับอุณหภูมิของชุดทดลอง

อุณหภูมิ ^{o}C	แรงดัน mV	เลขดิจิตอล
-10	9.8	1095
-9	8.825	1105
-8	7.85	1116
-7	6.875	1126
-6	5.9	1135
-5	4.925	1145
-4	3.925	1155
-3	-2.95	1166
-2	-1.975	1176
-1	-0.975	1186
0	0	1195
1	0.975	1204
2	1.975	1214
3	2.975	1224
4	3.95	1237
5	4.95	1247
6	5.95	1258
7	6.925	1268
8	7.925	1278
9	8.925	1287
10	9.925	1295
11	10.925	1305
12	11.925	1315
13	12.925	1324
14	13.925	1334

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ °C	แรงดัน(mV)	เลขดิจิตอล
15	14.925	1344
16	15.925	1355
17	16.925	1360
18	17.95	1370
19	18.95	1380
20	19.95	1390
21	20.95	1400
22	21.975	1414
23	22.975	1428
24	24	1438
25	25	1448
26	26.025	1457
27	27.025	1467
28	28.05	1477
29	29.075	1487
30	30.075	1497
31	31.1	1507
32	32.125	1509
33	33.15	1527
34	34.15	1537
35	35.175	1547
36	36.2	1557
37	37.225	1567
38	38.25	1578
39	39.275	1588
40	40.3	1598
41	41.325	1608
42	42.35	1618

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ °C	แรงดัน(mV)	เลขดิจิตอล
43	43.375	1628
44	44.4	1638
45	45.425	1648
46	46.45	1659
47	47.475	1669
48	48.525	1679
49	49.55	1689
50	50.575	1699
51	51.65	1709
52	52.65	1719
53	53.675	1729
54	54.7	1739
55	55.75	1751
56	56.775	1761
57	57.8	1771
58	58.85	1781
59	59.875	1791
60	60.9	1800
61	61.95	1810
62	62.975	1820
63	64.025	1830
64	65.05	1840
65	66.1	1851
66	67.125	1861
67	68.175	1871
68	69.2	1882
69	70.25	1892
70	71.275	1901

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ °C	แรงดัน(mV)	เลขดิจิตอล
71	72.325	1912
72	73.35	1922
73	74.4	1932
74	75.425	1942
75	76.475	1952
76	77.5	1962
77	78.55	1972
78	79.6	1982
79	80.625	1993
80	81.675	2013
81	82.7	2023
82	83.75	2033
83	84.775	2043
84	85.825	2053
85	86.85	2063
86	87.9	2073
87	88.925	2084
88	89.975	2094
89	91	2104
90	92.05	2114
91	93.075	2124
92	94.125	2134
93	95.15	2144
94	96.2	2154
95	97.225	2165
96	98.275	2175
97	99.3	2185
98	100.325	2196

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ ^{o}C	แรงดัน(mV)	เลขดิจิตอล
99	101.375	2206
100	102.4	2217

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 จากการทดลองครั้งที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและเลขดิจิตอลเทียบกับอุณหภูมิของชุดทดลอง

อุณหภูมิ °C	แรงดัน mV	เลขดิจิตอล
-10	9.8	1095
-9	8.825	1105
-8	7.85	1116
-7	6.875	1126
-6	5.9	1135
-5	4.925	1145
-4	3.925	1155
-3	-2.95	1166
-2	-1.975	1176
-1	-0.975	1186
0	0	1195
1	0.975	1204
2	1.975	1214
3	2.975	1224
4	3.95	1237
5	4.95	1247
6	5.95	1258
7	6.925	1268
8	7.925	1278
9	8.925	1287
10	9.925	1295
11	10.925	1305
12	11.925	1315
13	12.925	1324
14	13.925	1334

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ °C	แรงดัน(mV)	เลขดิจิตอล
15	14.925	1344
16	15.925	1355
17	16.925	1360
18	17.95	1370
19	18.95	1380
20	19.95	1390
21	20.95	1400
22	21.975	1414
23	22.975	1428
24	24	1438
25	25	1448
26	26.025	1457
27	27.025	1467
28	28.05	1477
29	29.075	1487
30	30.075	1497
31	31.1	1507
32	32.125	1509
33	33.15	1527
34	34.15	1537
35	35.175	1547
36	36.2	1557
37	37.225	1567
38	38.25	1578
39	39.275	1588
40	40.3	1598
41	41.325	1608
42	42.35	1618

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ °C	แรงดัน(mV)	เลขดิจิตอล
43	43.375	1628
44	44.4	1638
45	45.425	1648
46	46.45	1659
47	47.475	1669
48	48.525	1679
49	49.55	1689
50	50.575	1699
51	51.65	1709
52	52.65	1719
53	53.675	1729
54	54.7	1739
55	55.75	1751
56	56.775	1761
57	57.8	1771
58	58.85	1781
59	59.875	1791
60	60.9	1800
61	61.95	1810
62	62.975	1820
63	64.025	1830
64	65.05	1840
65	66.1	1851
66	67.125	1861
67	68.175	1871
68	69.2	1882
69	70.25	1892
70	71.275	1901

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ °C	แรงดัน(mV)	เลขดิจิตอล
71	72.325	1912
72	73.35	1922
73	74.4	1932
74	75.425	1942
75	76.475	1952
76	77.5	1962
77	78.55	1972
78	79.6	1982
79	80.625	1993
80	81.675	2013
81	82.7	2023
82	83.75	2033
83	84.775	2043
84	85.825	2053
85	86.85	2063
86	87.9	2073
87	88.925	2084
88	89.975	2094
89	91	2104
90	92.05	2114
91	93.075	2124
92	94.125	2134
93	95.15	2144
94	96.2	2154
95	97.225	2165
96	98.275	2175
97	99.3	2185
98	100.325	2196

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ ^{o}C	แรงดัน(mV)	เลขดิจิตอล
99	101.375	2206
100	102.4	2217

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 นำผลการทดลองทั้ง 3 ครั้ง มาหาค่าเฉลี่ย สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและเลขดิจิตอลเทียบกับอุณหภูมิของชุดทดลอง

อุณหภูมิ ^{o}C	แรงดัน mV	เลขดิจิตอล
-10	9.8	1095
-9	8.825	1105
-8	7.85	1116
-7	6.875	1126
-6	5.9	1135
-5	4.925	1145
-4	3.925	1155
-3	-2.95	1166
-2	-1.975	1176
-1	-0.975	1186
0	0	1195
1	0.975	1204
2	1.975	1214
3	2.975	1224
4	3.95	1237
5	4.95	1247
6	5.95	1258
7	6.925	1268
8	7.925	1278
9	8.925	1287
10	9.925	1295
11	10.925	1305
12	11.925	1315
13	12.925	1324
14	13.925	1334

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ °C	แรงดัน(mV)	เลขดิจิตอล
15	14.925	1344
16	15.925	1355
17	16.925	1360
18	17.95	1370
19	18.95	1380
20	19.95	1390
21	20.95	1400
22	21.975	1414
23	22.975	1428
24	24	1438
25	25	1448
26	26.025	1457
27	27.025	1467
28	28.05	1477
29	29.075	1487
30	30.075	1497
31	31.1	1507
32	32.125	1509
33	33.15	1527
34	34.15	1537
35	35.175	1547
36	36.2	1557
37	37.225	1567
38	38.25	1578
39	39.275	1588
40	40.3	1598
41	41.325	1608
42	42.35	1618

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ °C	แรงดัน(mV)	เลขดิจิตอล
43	43.375	1628
44	44.4	1638
45	45.425	1648
46	46.45	1659
47	47.475	1669
48	48.525	1679
49	49.55	1689
50	50.575	1699
51	51.65	1709
52	52.65	1719
53	53.675	1729
54	54.7	1739
55	55.75	1751
56	56.775	1761
57	57.8	1771
58	58.85	1781
59	59.875	1791
60	60.9	1800
61	61.95	1810
62	62.975	1820
63	64.025	1830
64	65.05	1840
65	66.1	1851
66	67.125	1861
67	68.175	1871
68	69.2	1882
69	70.25	1892
70	71.275	1901

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ °C	แรงดัน(mV)	เลขดิจิตอล
71	72.325	1912
72	73.35	1922
73	74.4	1932
74	75.425	1942
75	76.475	1952
76	77.5	1962
77	78.55	1972
78	79.6	1982
79	80.625	1993
80	81.675	2013
81	82.7	2023
82	83.75	2033
83	84.775	2043
84	85.825	2053
85	86.85	2063
86	87.9	2073
87	88.925	2084
88	89.975	2094
89	91	2104
90	92.05	2114
91	93.075	2124
92	94.125	2134
93	95.15	2144
94	96.2	2154
95	97.225	2165
96	98.275	2175
97	99.3	2185
98	100.325	2196

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ °C	แรงดัน(mV)	เลขดิจิตอล
99	101.375	2206
100	102.4	2217

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2

เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลกับอุณหภูมิที่วัดได้จากชุดทดลอง(เฉลี่ย)

ตารางที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลชนิด K กับอุณหภูมิที่วัดได้จากชุดทดลอง

อุณหภูมิที่วัดได้จากเครื่องวัดมาตรฐาน	แรงดัน(mV)	เลขดิจิตอล	อุณหภูมิที่วัดได้จากชุดทดลอง°C
-2.5	-2.475	1171	-2.6
-2.0	-1.975	1176	-2.1
-1.0	-0.975	1186	-1.2
0.0	0	1195	0.3
1.0	0.975	1204	2.5
2.0	1.975	1214	2.9
3.0	2.975	1224	3.2
4.0	3.95	1237	5.3
5.0	4.95	1247	6.3
6.0	5.95	1258	7.3
7.0	6.925	1268	8.4
8.0	7.925	1278	9.4
9.0	8.925	1287	10.5
10.0	9.925	1295	11.4
11.0	10.925	1305	12.3
12.0	11.925	1315	13.4
13.0	12.925	1324	14.8
14.0	13.925	1334	15.5
15.0	14.925	1344	16.7
16.0	15.925	1355	17.8
17.0	16.925	1360	18.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิที่วัดได้จากเครื่องวัดมาตรฐาน	แรงดัน(mV)	เลขดิจิตอล	อุณหภูมิที่วัดได้จากชุดทดลอง°C
18.0	17.95	1370	19.7
19.0	18.95	1380	20.3
20.0	19.95	1390	20.8
21.0	20.95	1400	21.3
22.0	21.975	1414	23
23.0	22.975	1428	23.7
24.0	24	1438	24.3
25.0	25	1448	25.7
26.0	26.025	1457	26.5
27.0	27.025	1467	27.6
28.0	28.05	1477	28.4
29.0	29.075	1487	29.3
30.0	30.075	1497	30.5
31.0	31.1	1507	31.5
32.0	32.125	1509	32
33.0	33.15	1527	32.9
34.0	34.15	1537	34
35.0	35.175	1547	35.3
36.0	36.2	1557	36
37.0	37.225	1567	37.5
38.0	38.25	1578	38.5
39.0	39.275	1588	39
40.0	40.3	1598	40
41.0	41.325	1608	41.5
42.0	42.35	1618	42.5
43.0	43.375	1628	43.5
44.0	44.4	1638	44.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิที่วัดได้จากเครื่องวัดมาตรฐาน	แรงดัน(mV)	เลขดิจิตอล	อุณหภูมิที่วัดได้จากชุดทดลอง°C
45.0	45.425	1648	45
46.0	46.45	1659	46
47.0	47.475	1669	47
48.0	48.525	1679	47.5
49.0	49.55	1689	48.5
50.0	50.575	1699	49.5
51.0	51.65	1709	51
52.0	52.65	1719	52
53.0	53.675	1729	53.5
54.0	54.7	1739	54.5
55.0	55.75	1751	55.5
56.0	56.775	1761	56.5
57.0	57.8	1771	57.5
58.0	58.85	1781	58.5
59.0	59.875	1791	59.5
60.0	60.9	1800	60.3
61.0	61.95	1810	61.47
62.0	62.975	1820	62.5
63.0	64.025	1830	63.5
64.0	65.05	1840	64.7
65.0	66.1	1851	65
66.0	67.125	1861	65.5
67.0	68.175	1871	66
68.0	69.2	1882	67
69.0	70.25	1892	68
70.0	71.275	1901	69.5
71.0	72.325	1912	70.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

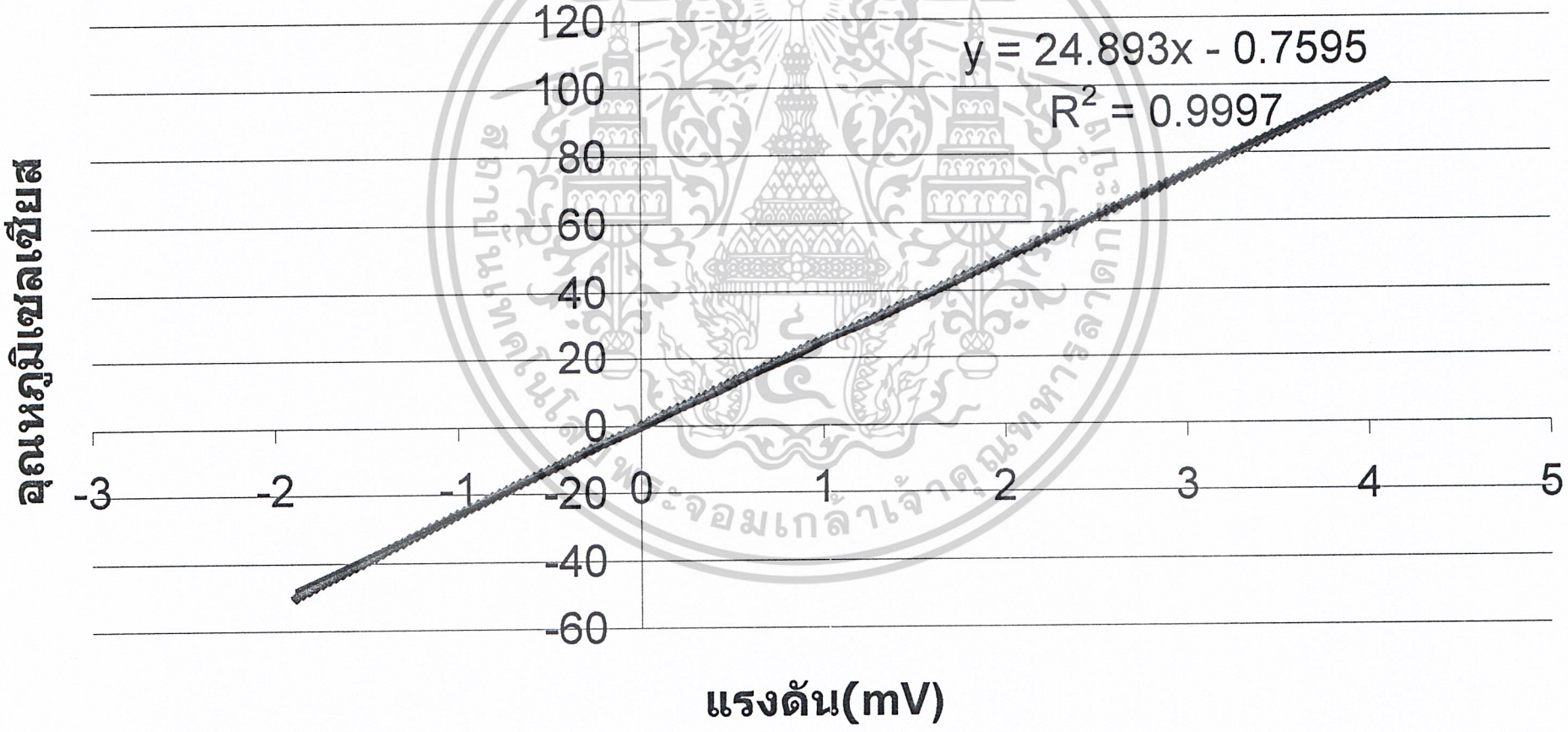
อุณหภูมิที่วัดได้จากเครื่องวัดมาตรฐาน	แรงดัน(mV)	เลขดิจิตอล	อุณหภูมิที่วัดได้จากชุดทดลอง°C
72.0	73.35	1922	72
73.0	74.4	1932	72.5
74.0	75.425	1942	75
75.0	76.475	1952	76
76.0	77.5	1962	77
77.0	78.55	1972	78
78.0	79.6	1982	79
79.0	80.625	1993	80
80.0	81.675	2013	80.4
81.0	82.7	2023	82
82.0	83.75	2033	82.5
83.0	84.775	2043	83
84.0	85.825	2053	83.5
85.0	86.85	2063	84.5
86.0	87.9	2073	86
87.0	88.925	2084	87.5
88.0	89.975	2094	88.5
89.0	91	2104	89
90.0	92.05	2114	90.5
91.0	93.075	2124	91.5
92.0	94.125	2134	92
93.0	95.15	2144	93.5
94.0	96.2	2154	93.5
95.0	97.225	2165	95
96.0	98.275	2175	96.5
97.0	99.3	2185	97.5
98.0	100.325	2196	97.5

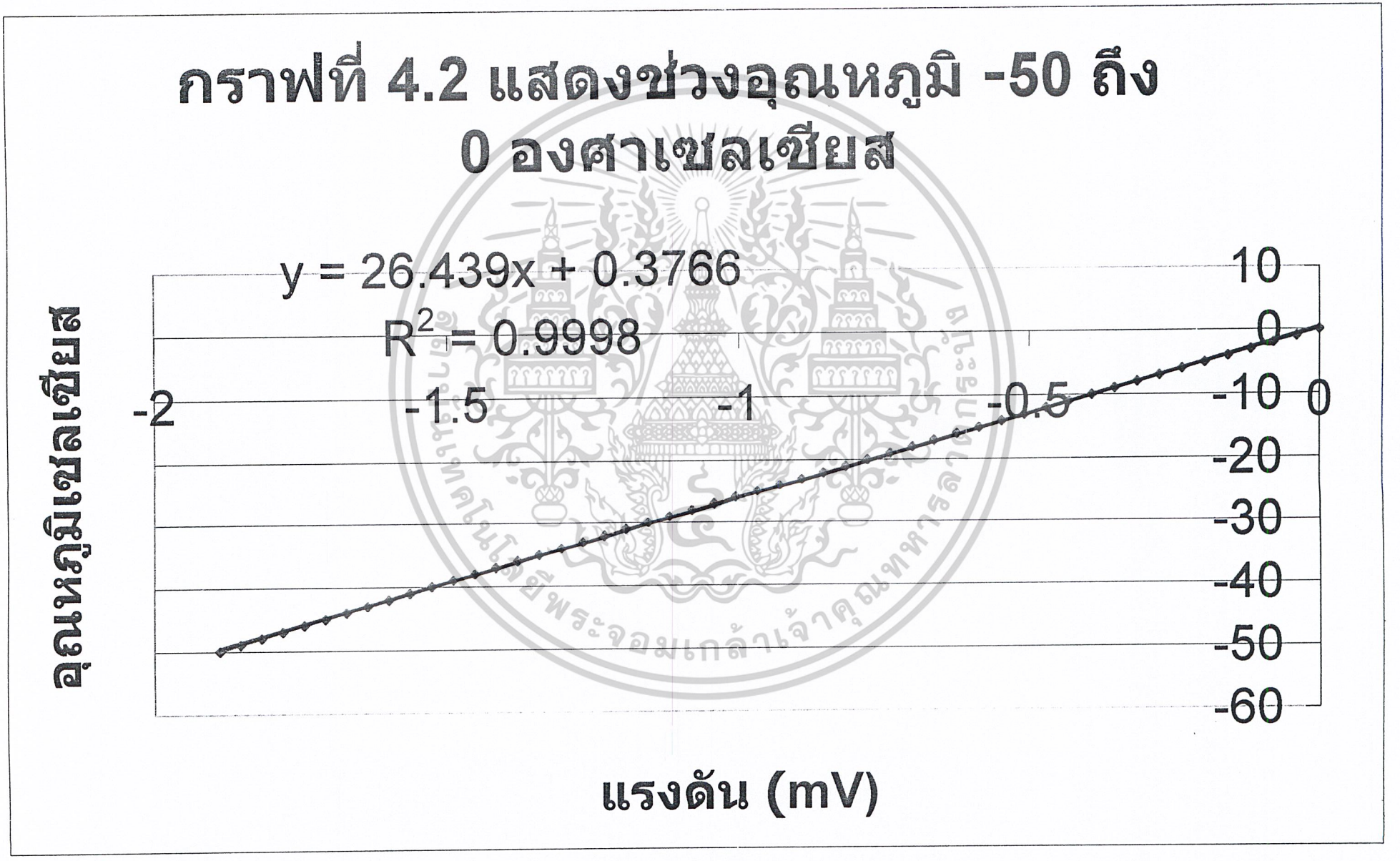
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิที่วัดได้จากเครื่องวัดมาตรฐาน	แรงดัน(mV)	เลขดิจิตอล	อุณหภูมิที่วัดได้จากชุดทดลอง ^{o}C
99.0	101.375	2206	98.5
100.0	102.4	2217	100.2

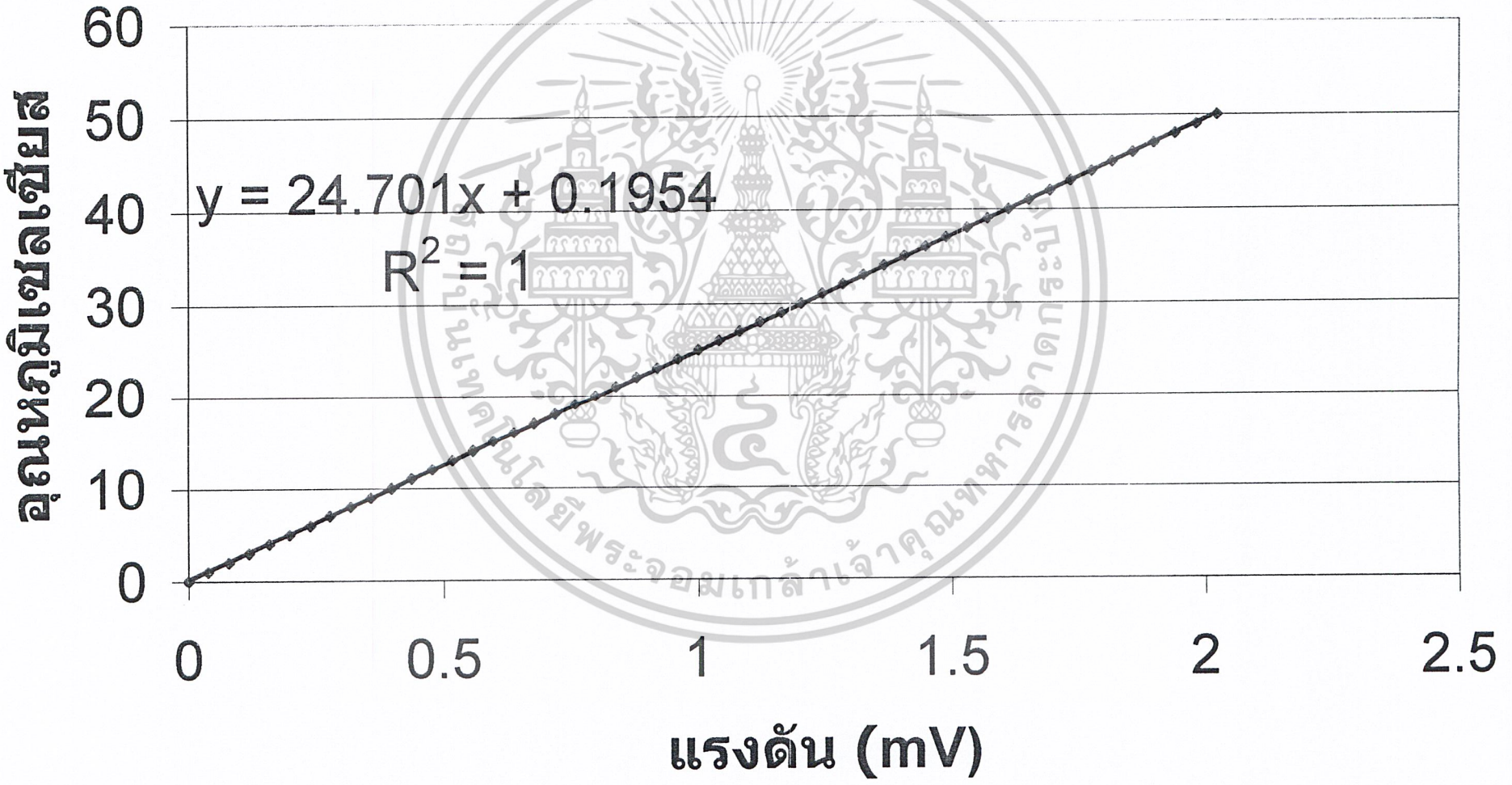
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิเซลเซียสกับแรงดัน

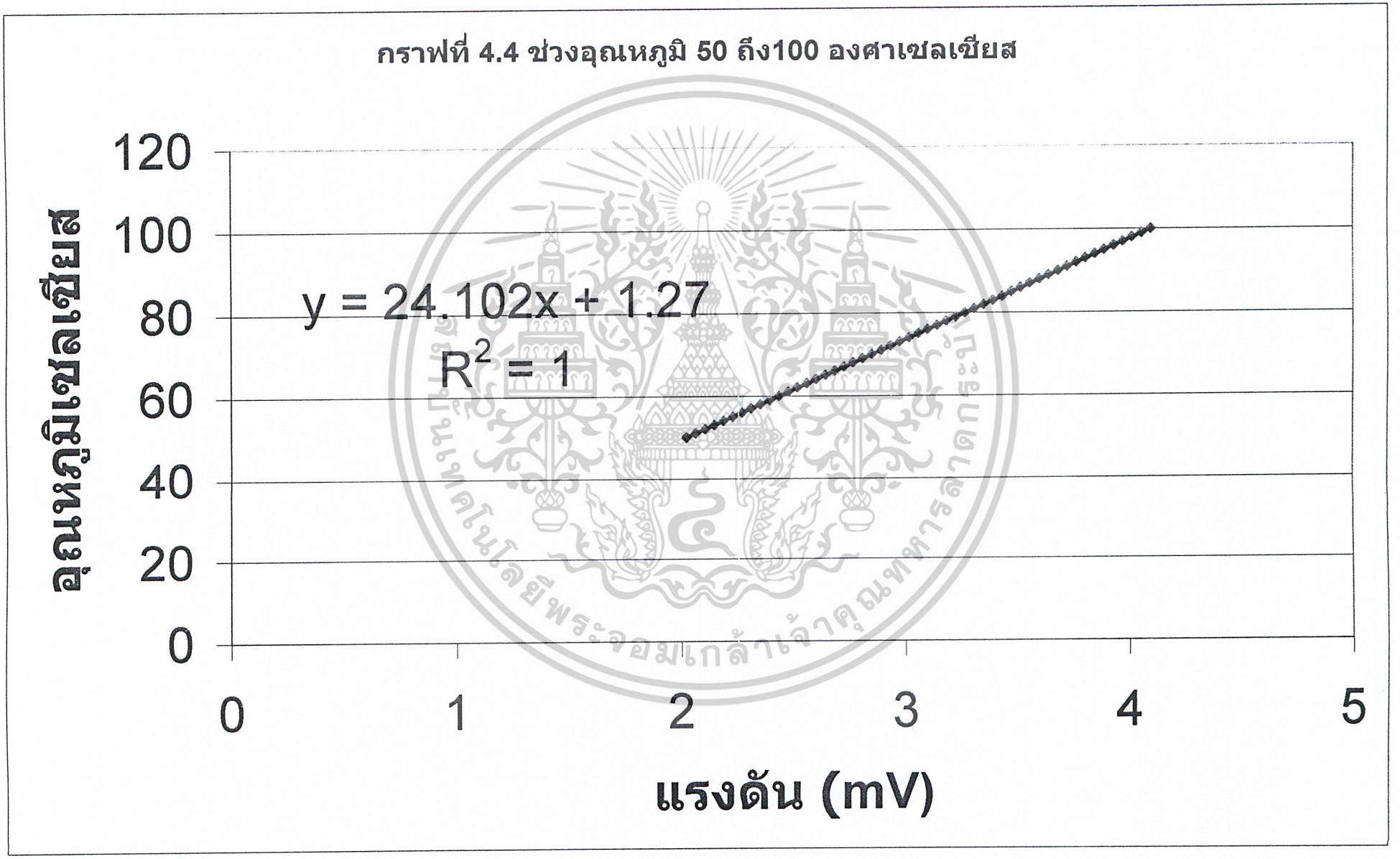



กราฟที่ 4.2 แสดงช่วงอุณหภูมิ -50 ถึง 0 องศาเซลเซียส
y = 26.439x + 0.3766
R2 = 0.9998
-2
-1.5
-1
-0.5
0
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
อุณหภูมิเซลเซียส
แรงดัน (mV)

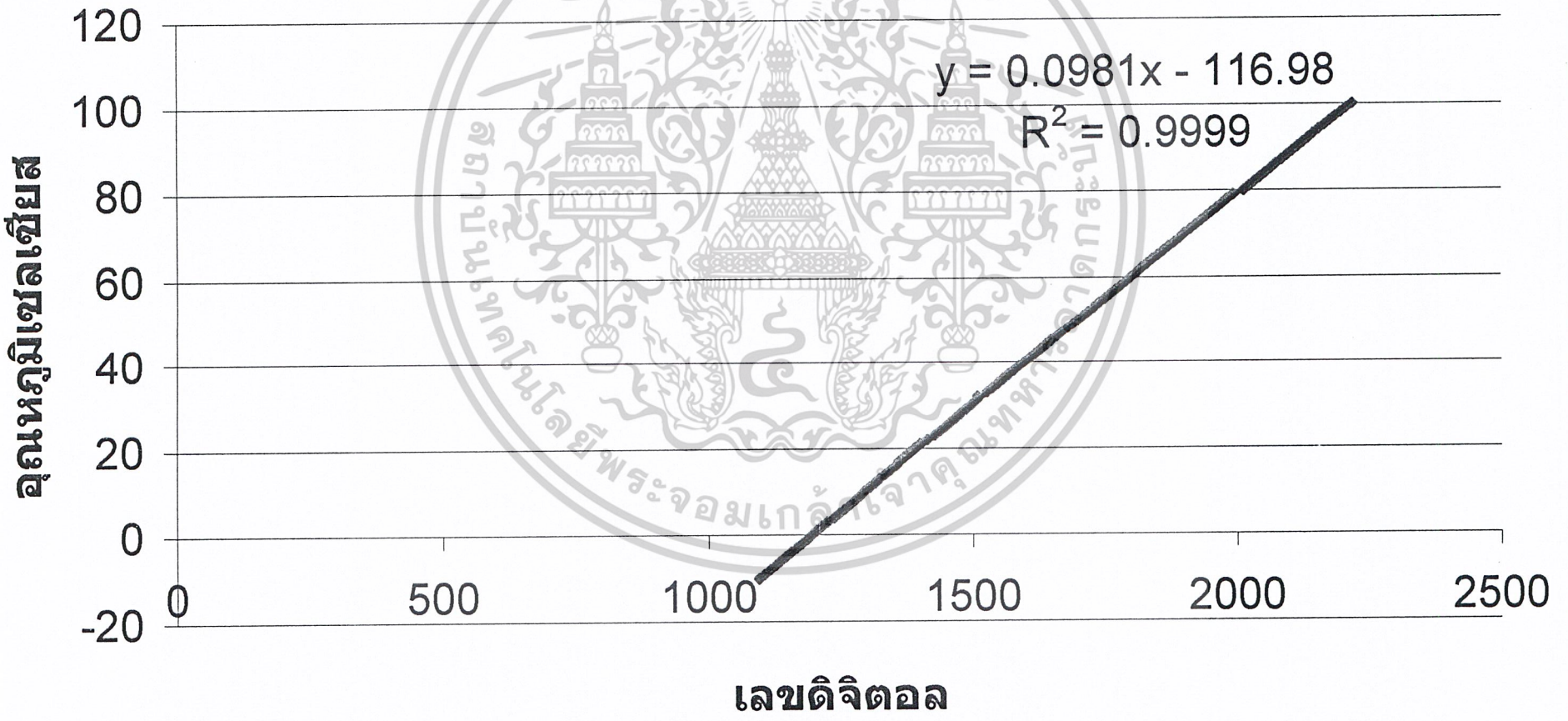
กราฟที่ 4.3 แสดงช่วงอุณหภูมิ 0 ถึง50 องศาเซลเซียส



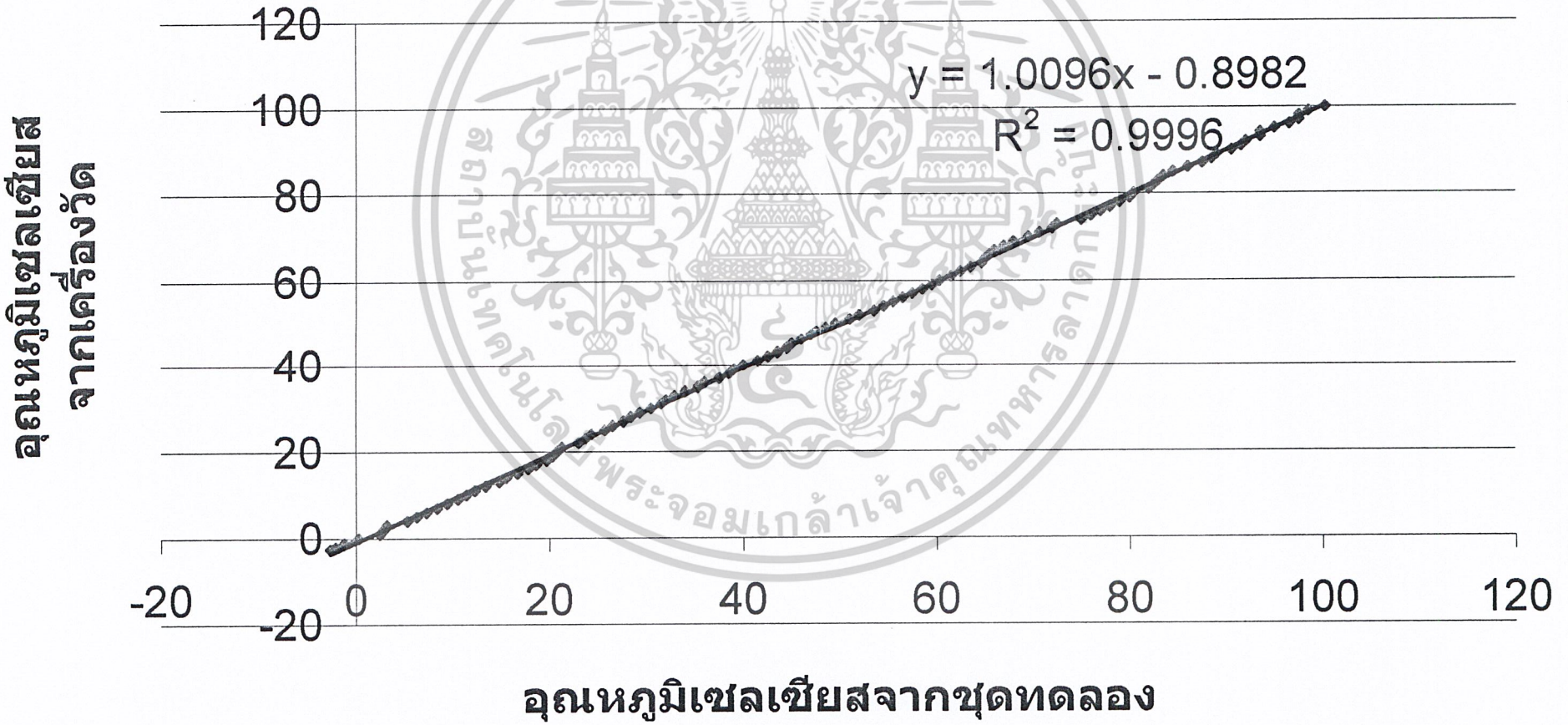
กราฟที่ 4.4 ช่วงอุณหภูมิ 50 ถึง100 องศาเซลเซียส



กราฟที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเลขดิจิตอลที่ได้จากชุดทดลอง



กราฟที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จากเครื่องวัดมาตรฐานกับชุดทดลอง



บทที่ 5
สรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

ตอนที่ 1 จากทฤษฎีความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K กราฟรูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน (mV) กับอุณหภูมิ ($^{\circ}$C) จะได้กราฟเป็นแบบเชิงเส้น ซึ่งนั่นก็คือคุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลนั่นเอง

จากการทดลองตอนที่ 1 จากกราฟรูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเฉลี่ย (mV) กับเลขดิจิตอล จะได้กราฟเป็นแบบเชิงเส้น แสดงว่าอุณหภูมิแปรผันตรงกับเลขดิจิตอล ซึ่งจากทฤษฎีอุณหภูมิแปรผันตรงกับค่าแรงดัน ดังนั้นแรงดันจะแปรผันตรงกับเลขดิจิตอลด้วย

จากการทดลองตอนที่ 2 จากกราฟรูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากเครื่องวัดมาตรฐาน ($^{\circ}$C) กับอุณหภูมิที่ได้จากชุดทดลอง ($^{\circ}$C) จะได้กราฟเป็นเชิงเส้น แสดงว่าค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากชุดทดลองแปรผันโดยตรงกับค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน ซึ่งมีค่าผิดพลาดไม่มากนัก

จากการทดลอง เครื่องวัดอุณหภูมิสามารถใช้งานได้ตั้งแต่ช่วง -10 ถึง 100 ($^{\circ}$C) ส่วนค่าอุณหภูมิที่ต่ำหรือสูงกว่านี้ ไม่สามารถทดลองได้ เนื่องจากไม่สามารถหาอุณหภูมิในช่วงนั้น ๆ ได้นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 แนวทางในการพัฒนาโครงงาน

จากการทดลองสร้างเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลในโครงงานพิเศษนี้ สามารถระบุแนวทางในการพัฒนาได้ดังนี้

1. สามารถพัฒนาเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลให้สามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วงกว้าง ๆ โดยใช้วิธีการแบ่งช่วงสเกลที่อ่านได้จากแรงดันของชุดทดลองออกเป็นช่วง ๆ โดยแต่ละช่วงกราฟที่ได้จะมีความเป็นเชิงเส้นที่แน่นอนกว่า ทำให้เราได้ค่าของอุณหภูมิที่ละเอียดมากขึ้นเมื่อเทียบกับตัวมาตรฐานที่ใช้ในการทดลอง
2. สามารถพัฒนาเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลให้สามารถวัดอุณหภูมิที่ต่ำกว่าหรือสูงกว่านี้ได้ โดยการออกแบบระบบการทดลองที่ทำให้เกิดอุณหภูมิในช่วงต่ำ ๆ หรือสูง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิให้ดียิ่งขึ้น
3. สามารถพัฒนาให้แสดงค่าอุณหภูมิที่ละเอียดได้มากขึ้นในช่วงอุณหภูมิสูง ๆ หรือต่ำ ๆ โดยเพิ่มหลักทศนิยมขึ้นมา ซึ่งในชุดทดลองนี้ใช้ความละเอียดที่ 12 BIT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

รศ. วิชิต ศิริโชติ.2544. **การเขียนโปรแกรมภาษาแอสแซมบลี** กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

รศ. วิชิต ศิริโชติ.2544. **ไมโครคอนโทรลเลอร์ภาษาซี** กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พจนาฎ สุวรรณมณี. 2545. **เซ็นเซอร์และทรานสดิวเซอร์ เบื้องต้น** กรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MICROCHIP

TC7109/A

12-Bit µA-Compatible Analog-to-Digital Converters

Features

- Zero Integrator Cycle for Fast Recovery from Input Overloads
- Eliminates Cross-Talk in Multiplexed Systems
- 12-Bit Plus Sign Integrating A/D Converter with Over Range Indication
- Sign Magnitude Coding Format
- True Differential Signal Input and Differential Reference Input
- Low Noise: 15µV_{P-P} Typ.
- Input Current: 1pA Typ.
- No Zero Adjustment needed
- TTL Compatible, Byte Organized Tri-State Outputs
- UART Handshake Mode for simple Serial Data Transmissions

Device Selection Table

Part Number (TC7109X)*	Package	Temperature Range
TC7109CKW	44-Pin PQFP	0°C to +70°C
TC7109CLW	44-Pin PLCC	0°C to +70°C
TC7109CPL	40-Pin PDIP	0°C to +70°C
TC7109IJL	40-Pin CERDIP	-25°C to +85°C

*The "A" version has a higher I_{OUT} on the digital lines.

General Description

The TC7109A is a 12-bit plus sign, CMOS low power analog-to-digital converter (ADC). Only eight passive components and a crystal are required to form a complete dual slope integrating ADC.

The improved V_{OH} source current and other TC7109A features make it an attractive per-channel alternative to analog multiplexing for many data acquisition applications. These features include typical input bias current of 1pA, drift of less than 1µV/°C, input noise typically 15µV_{P-P} and auto-zero. True differential input and reference allow measurement of bridge type transducers, such as load cells, strain gauges, and temperature transducers.

The TC7109A provides a versatile digital interface. In the Direct mode, chip select and HIGH/$\overline{\text{LOW}}$ byte enable control parallel bus interface. In the Handshake mode, the TC7109A will operate with industry standard UARTs in controlling serial data transmission – ideal for remote data logging. Control and monitoring of conversion timing is provided by the RUN/$\overline{\text{HOLD}}$ input and STATUS output.

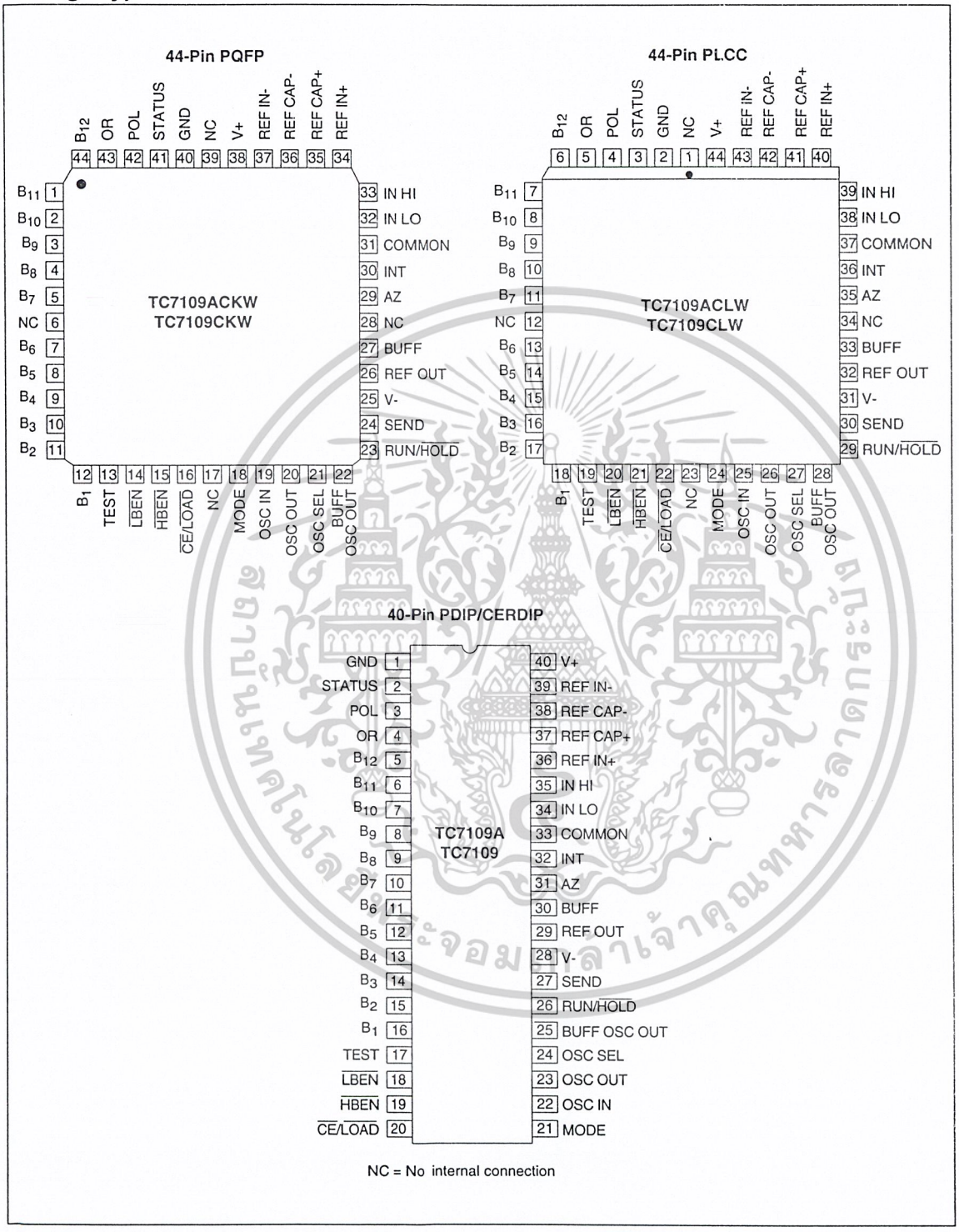
For applications requiring more resolution, see the TC500, 15-bit plus sign ADC data sheet. The TC7109A has improved over range recovery performance and higher output drive capability than the original TC7109. All new (or existing) designs should specify the TC7109A wherever possible.

© 2002 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TC7109/A

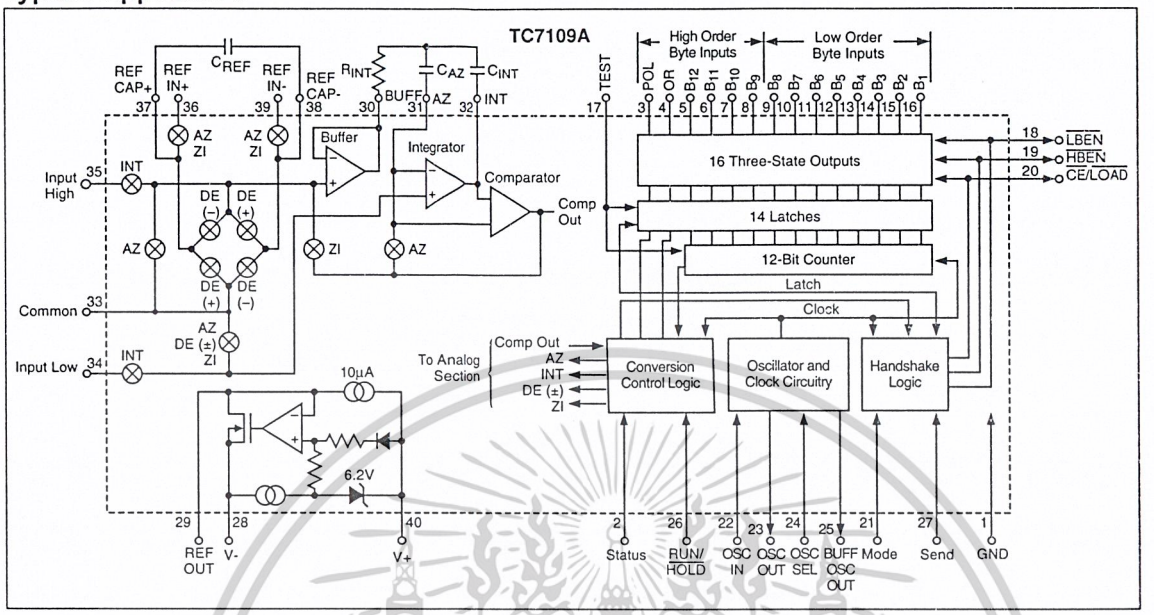
Package Type



© 2002 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Application



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Absolute Maximum Ratings*

Positive Supply Voltage (GND to V+) ..... +6.2V
Negative Supply Voltage (GND to V-) ..... -9V
Analog Input Voltage (Low to High) **(Note 1)** .... V+ to V-
Reference Input Voltage:
(Low to High) **(Note 1)** ..... V+ to V-
Digital Input Voltage:
(Pins 2-27) **(Note 2)** ..... GND – 0.3V
Power Dissipation, $T_A \leq 70°C$ **(Note 3)**
CerDIP 2.29W
Plastic DIP 1.23W
PLCC 1.23W
PQFP 1.00W
Operating Temperature Range
Plastic Package (C) ..... 0°C to +70°C
Ceramic Package (I) ..... -25°C to +85°C
Storage Temperature Range ..... -65°C to +150°C

*Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of the specifications is not implied. Exposure to Absolute Maximum Rating conditions for extended periods may affect device reliability.

TC7109/TC7109A ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Electrical Characteristics: All parameters with V+ = +5V, V- = -5V, GND = 0V, T_A = +25°C, unless otherwise indicated.

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit	Test Conditions
Analog						
	Overload Recovery Time (TC7109A)	—	0	1	Measurement Cycle	
	Zero Input Reading	-0000_8	$\pm0000_8$	$+0000_8$	Octal Reading	V_{IN} = 0V; Full Scale = 409.6mV
	Ratio Metric Reading	3777_8	3777_8 4000_8	4000_8	Octal Reading	$V_{IN} = V_{REF}$ V_{REF} = 204.8mV
NL	Non-Linearity (Max Deviation from Best Straight Line Fit)	-1	±0.2	+1	Count	Full Scale = 409.6mV to 2.048V Over Full Operating Temperature Range
	Rollover Error (Difference in Reading for Equal Positive and Inputs near (Full Scale)	-1	±0.02	+1	Count	Full Scale = 409.6mV to 2.048V Over Full Operating Temperature Range
CMRR	Input Common Mode Rejection Ratio	—	50	—	µV/V	V_{CM} ±1V, V_{IN} = 0V Full Scale = 409.6mV
V_{CMR}	Common Mode Voltage Range	V- +1.5	—	V+ -1.5	V	Input High, Input Low and Common Pins
e_N	Noise (P-P Value Not Exceeded 95% of Time)	—	15	—	µV	V_{IN} = 0V, Full Scale = 409.6mV
I_{IN}	Leakage Current at Input	—	1	10	pA	V_{IN}, All Packages: +25°C
		—	20	100	pA	C Device: 0°C ≤ T_A ≤ +70°C
		—	100	250	pA	I Device: -25°C ≤ T_A ≤ +85°C
TC_{ZS}	Zero Reading Drift	—	0.2	1	µV/°C	V_{IN} = 0V
TC_{FS}	Scale Factor Temperature Coefficient	—	1	5	µV/°C	V_{IN} = 408.9mV = $>7770_8$ Reading, Ext Ref = 0ppm/°C

Note 1: Input voltages may exceed supply voltages if input current is limited to ±100µA.
2: Connecting any digital inputs or outputs to voltages greater than V+ or less than GND may cause destructive device latchup. Therefore, it is recommended that inputs from sources other than the same power supply should not be applied to the TC7109A before its power supply is established. In multiple supply systems, the supply to the device should be activated first.
3: This limit refers to that of the package and will not occur during normal operation.

© 2002 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TC7109/TC7109A ELECTRICAL SPECIFICATIONS (CONTINUED)

Electrical Characteristics: All parameters with V+ = +5V, V- = -5V, GND = 0V, T_A = +25°C, unless otherwise indicated.

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit	Test Conditions
I^+	Supply Current (V+ to GND)	—	700	1500	µA	V_{IN} = 0V, Crystal Oscillator 3.58MHz Test Circuit
I_S	Supply Current (V+ to V-)	—	700	1500	µA	Pins 2-21, 25, 26, 27, 29 Open
V_{REF}	Reference Out Voltage	-2.4	-2.8	-3.2	V	Referenced to V+, 25kΩ Between V+ and Ref Out
TC_{REF}	Ref Out Temperature Coefficient	—	80	—	ppm/°C	25kΩ Between V+ and Ref Out 0°C ≤ T_A ≤ +70°C
Digital						
V_{OH}	Output High Voltage I_{OUT} = 700µA	3.5	4.3	—	V	TC7109: I_{OUT} = 100µA Pins 3 -16, 18, 19, 20 TC7109A: I_{OUT} = 700µA
V_{OL}	Output Low Voltage	—	0.2	0.4	µA	I_{OUT} = 1.6mA
	Output Leakage Current	—	±0.01	±1	µA	Pins 3 -16 High Impedance
	Control I/O Pull-up Current	—	5	—	µF	Pins 18, 19, 20 V_{OUT} = V+ – 3V Mode Input at GND
	Control I/O Loading	—	—	50	pF	$\overline{HBEN}$, Pin 19; $\overline{LBEN}$, Pin 18
V_{IH}	Input High Voltage	2.5	—	—	V	Pins 18 -21, 26, 27 Referenced to GND
V_{IL}	Input Low Voltage	—	—	1	V	Pins 18-21, 26, 27 Referenced to GND
	Input Pull-up Current	— —	5 25	— —	µA µA	Pins 26, 27; V_{OUT} = V+ – 3V Pins 17, 24; V_{OUT} = V+ – 3V
	Input Pull-down Current	—	1	—	µA	Pins 21, V_{OUT} = GND = +3V
	Oscillator Output Current, High	—	1	—	mA	V_{OUT} – 2.5V
	Oscillator Output Current, Low	—	1.5	—	mA	V_{OUT} – 2.5V
	Buffered Oscillator Output Current High	—	2	—	mA	V_{OUT} – 2.5V
	Buffered Oscillator Output Current Low	—	5	—	mA	V_{OUT} – 2.5V
t_W	Mode Input Pulse Width	60	—	—	nsec	

Note 1: Input voltages may exceed supply voltages if input current is limited to ±100µA.

2: Connecting any digital inputs or outputs to voltages greater than V+ or less than GND may cause destructive device latchup. Therefore, it is recommended that inputs from sources other than the same power supply should not be applied to the TC7109A before its power supply is established. In multiple supply systems, the supply to the device should be activated first.

3: This limit refers to that of the package and will not occur during normal operation.

HANDLING PRECAUTIONS: These devices are CMOS and must be handled correctly to prevent damage. Package and store only in conductive foam, antistatic tubes, or other conducting material. Use proper antistatic handling procedures. Do not connect in circuits under "power-on" conditions, as high transients may cause permanent damage.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.0 PIN DESCRIPTIONS

The descriptions of the pins are listed in Table 2-1.

TABLE 2-1: PIN FUNCTION TABLE

Pin Number (40-Pin PDIP)	Symbol	Description
1	GND	Digital ground, 0V, ground return for all digital logic.
2	STATUS	Output HIGH during integrate and de-integrate until data is latched. Output LOW when analog section is in auto-zero or zero integrator configuration.
3	POL	Polarity - High for positive input.
4	OR	Over Range - High if over ranged (Three-State Data bit).
5	B_{12}	Bit 12 (Most Significant bit) (Three-State Data bit).
6	B_{11}	Bit 11 (Three-State Data bit).
7	B_{10}	Bit 10 (Three-State Data bit).
8	B_9	Bit 9 (Three-State Data bit).
9	B_8	Bit 8 (Three-State Data bit).
10	B_7	Bit 7 (Three-State Data bit).
11	B_6	Bit 6 (Three-State Data bit).
12	B_5	Bit 5 (Three-State Data bit).
13	B_4	Bit 4 (Three-State Data bit).
14	B_3	Bit 3 (Three-State Data bit).
15	B_2	Bit 2 (Three-State Data bit).
16	B_1	Bit 1 (Least Significant bit) (Three-State Data bit).
17	TEST	Input High - Normal operation. Input LOW - Forces all bit outputs HIGH. **Note:** This input is used for test purposes only.
18	$\overline{\text{LBEN}}$	Low Byte Enable - with MODE (Pin 21) LOW, and $\overline{\text{CE/LOAD}}$ (Pin 20) LOW, taking this pin LOW activates low order byte outputs, B_1–B_8. With MODE (Pin 21) HIGH, this pin serves as low byte flag output used in Handshake mode. (See Figure 3-7, Figure 3-8, and Figure 3-9.)
19	$\overline{\text{HBEN}}$	High Byte Enable - with MODE (Pin 21) LOW, and $\overline{\text{CE/LOAD}}$ (Pin 20) LOW, taking this pin LOW activates high order byte outputs, B_9–B_{12}, POL, OR. With MODE (Pin 21) HIGH, this pin serves as high byte flag output used in Handshake mode. See Figures 3-7, 3-8, and 3-9.
20	$\overline{\text{CE/LOAD}}$	Chip Enable/Load - with MODE (Pin 21) LOW, $\overline{\text{CE/LOAD}}$ serves as a master output enable. When HIGH, B_1–B_{12}, POL, OR outputs are disabled. When MODE (Pin 21) is HIGH, a load strobe is used in handshake mode. (See Figure 3-7, Figure 3-8, and Figure 3-9.)
21	MODE	Input LOW - Direct Output mode where $\overline{\text{CE/LOAD}}$ (Pin 20), $\overline{\text{HBEN}}$ (Pin 19), and $\overline{\text{LBEN}}$ (Pin 18) act as inputs directly controlling byte outputs. Input Pulsed HIGH - Causes immediate entry into Handshake mode and output of data as in Figure 3-9. Input HIGH - enables $\overline{\text{CE/LOAD}}$ (Pin 20), $\overline{\text{HBEN}}$ (Pin 19), and $\overline{\text{LBEN}}$ (Pin 18) as outputs, Handshake mode will be entered and data output as in Figure 3-7 and Figure 3-9 at conversions completion.
22	OSC IN	Oscillator Input.
23	OSC OUT	Oscillator Output.
24	OSC SEL	Oscillator Select - Input HIGH configures OSC IN, OSC OUT, BUFF OSC OUT as RC oscillator - clock will be same phase and duty cycle as BUFF OSC OUT. Input LOW configures OSC IN, OSC OUT for crystal oscillator - clock frequency will be 1/58 of frequency at BUFF OSC OUT.
25	BUFF OSC OUT	Buffered Oscillator Output.
26	RUN/$\overline{\text{HOLD}}$	Input HIGH - Conversions continuously performed every 8192 clock pulses. Input LOW - Conversion in progress completed; converter will stop in auto-zero seven counts before integrate.
27	SEND	Input - Used in Handshake mode to indicate ability of an external device to accept data. Connect to V+ if not used.
28	V-	Analog Negative Supply - Nominally -5V with respect to GND (Pin 1).
29	REF OUT	Reference Voltage Output - Nominally 2.8V down from V+ (Pin 40).

© 2002 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 2-1: PIN FUNCTION TABLE (CONTINUED)

Pin Number (40-Pin PDIP)	Symbol	Description
30	BUFF	Buffer Amplifier Output.
31	AZ	Auto-Zero Node - Inside foil of C_{AZ}.
32	INT	Integrator Output - Outside foil of C_{INT}.
33	COMMON	Analog Common - System is auto-zeroed to COMMON.
34	IN LO	Differential Input Low Side.
35	IN HI	Differential Input High Side.
36	REF IN+	Differential Reference Input Positive.
37	REF CAP+	Reference Capacitor Positive.
38	REF CAP-	Reference Capacitor Negative.
39	REF IN-	Differential Reference Input Negative.
40	V+	Positive Supply Voltage - Nominally +5V with respect to GND (Pin 1).

Note: All Digital levels are positive true.

3.0 DETAILED DESCRIPTION

(All Pin Designations Refer to 40-Pin DIP.)

3.1 Analog Section

The Typical Application diagram on page 3 shows a block diagram of the analog section of the TC7109A. The circuit will perform conversions at a rate determined by the clock frequency (8192 clock periods per cycle), when the RUN/HOLD input is left open or connected to V+. Each measurement cycle is divided into four phases, as shown in Figure 3-1. They are: (1) Auto-Zero (AZ), (2) Signal Integrate (INT), (3) Reference De-integrate (DE), and (4) Zero Integrator (ZI).

3.1.1 AUTO-ZERO PHASE

The buffer and the integrator inputs are disconnected from input high and input low and connected to analog common. The reference capacitor is charged to the reference voltage. A feedback loop is closed around the system to charge the auto-zero capacitor, C_{AZ}, to compensate for offset voltage in the buffer amplifier, integrator, and comparator. Since the comparator is included in the loop, the AZ accuracy is limited only by the noise of the system. The offset referred to the input is less than 10μV.

3.1.2 SIGNAL INTEGRATE PHASE

The buffer and integrator inputs are removed from common and connected to input high and input low. The auto-zero loop is opened. The auto-zero capacitor is placed in series in the loop to provide an equal and opposite compensating offset voltage. The differential voltage between input high and input low is integrated for a fixed time of 2048 clock periods. At the end of this phase, the polarity of the integrated signal is determined. If the input signal has no return to the converter's power supply, input low can be tied to analog common to establish the correct Common mode voltage.

3.1.3 DE-INTEGRATE PHASE

Input high is connected across the previously charged reference capacitor and input low is internally connected to analog common. Circuitry within the chip ensures the capacitor will be connected with the correct polarity to cause the integrator output to return to the zero crossing (established by auto-zero), with a fixed slope. The time, represented by the number of clock periods counted for the output to return to zero, is proportional to the input signal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 ZERO INTEGRATOR PHASE

The ZI phase only occurs when an input over range condition exists. The function of the ZI phase is to eliminate residual charge on the integrator capacitor after an over range measurement. Unless removed, the residual charge will be transferred to the auto-zero capacitor and cause an error in the succeeding conversion.

The ZI phase virtually eliminates hysteresis, or "cross-talk" in multiplexed systems. An over range input on one channel will not cause an error on the next channel measured. This feature is especially useful in thermocouple measurements, where unused (or broken thermocouple) inputs are pulled to the positive supply rail.

During ZI, the reference capacitor is charged to the reference voltage. The signal inputs are disconnected from the buffer and integrator. The comparator output is connected to the buffer input, causing the integrator output to be driven rapidly to 0V (Figure 3-1). The ZI phase only occurs following an over range and lasts for a maximum of 1024 clock periods.

3.1.5 DIFFERENTIAL INPUT

The TC7109A has been optimized for operation with analog common near digital ground. With +5V and -5V power supplies, a full ±4V full scale integrator swing maximizes the analog section's performance.

A typical CMRR of 86dB is achieved for input differential voltages anywhere within the typical Common mode range of 1V below the positive supply, to 1.5V above the negative supply. However, for optimum performance, the IN HI and IN LO inputs should not come within 2V of either supply rail. Since the integrator also swings with the Common mode voltage, care must be exercised to ensure the integrator output does not saturate. A worst case condition is near a full scale negative differential input voltage with a large positive Common mode voltage. The negative input signal drives the integrator positive when most of its swing has been used up by the positive Common mode voltage. In such cases, the integrator swing can be reduced to less than the recommended ±4V full scale value, with some loss of accuracy. The integrator output can swing to within 0.3V of either supply without loss of linearity.

3.1.6 DIFFERENTIAL REFERENCE

The reference voltage can be generated anywhere within the power supply voltage of the converter. Roll-over voltage is the main source of Common mode error, caused by the reference capacitor losing or gaining charge, due to stray capacity on its nodes. With a large Common mode voltage, the reference capacitor can gain charge (increase voltage) when called upon to de-integrate a positive signal and lose charge (decrease voltage) when called upon to de-integrate a negative input signal. This difference in reference for (+) or (–) input voltages will cause a rollover error. This error can be held to less than 0.5 count, worst case, by using a large reference capacitor in comparison to the stray capacitance. To minimize rollover error from these sources, keep the reference Common mode voltage near or at analog common.

3.2 Digital Section

The digital section is shown in Figure 3-2 and includes the clock oscillator and scaling circuit, a 12-bit binary counter with output latches and TTL compatible three-state output drivers, UART handshake logic, polarity, over range, and control logic. Logic levels are referred to as LOW or HIGH.

Inputs driven from TTL gates should have 3kΩ to 5kΩ pull-up resistors added for maximum noise immunity. For minimum power consumption, all inputs should swing from GND (LOW) to V+ (HIGH).

3.2.1 STATUS OUTPUT

During a conversion cycle, the STATUS output goes high at the beginning of signal integrate and goes low one-half clock period after new data from the conversion has been stored in the output latches (see Figure 3-1). The signal may be used as a "data valid" flag to drive interrupts, or for monitoring the status of the converter. (Data will not change while status is low.)

3.2.2 MODE INPUT

The Output mode of the converter is controlled by the MODE input. The converter is in its "Direct" Output mode, when the MODE input is LOW or left open. The output data is directly accessible under the control of the chip and byte enable inputs (this input is provided with a pull-down resistor to ensure a LOW level when the pin is left open). When the MODE input is pulsed high, the converter enters the UART Handshake mode and outputs the data in 2 bytes, then returns to "Direct" mode. When the MODE input is kept HIGH, the converter will output data in the Handshake mode at the end of every conversion cycle. With MODE = 0 (direct bus transfer), the send input should be tied to V+. (See "Handshake Mode".)

© 2002 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 RUN/$\overline{\text{HOLD}}$ INPUT

With the RUN/$\overline{\text{HOLD}}$ input high, or open, the circuit operates normally as a dual slope ADC, as shown in Figure 3-1. Conversion cycles operate continuously with the output latches updated after zero crossing in the De-integrate mode. An internal pull-up resistor is provided to ensure a HIGH level with an open input.

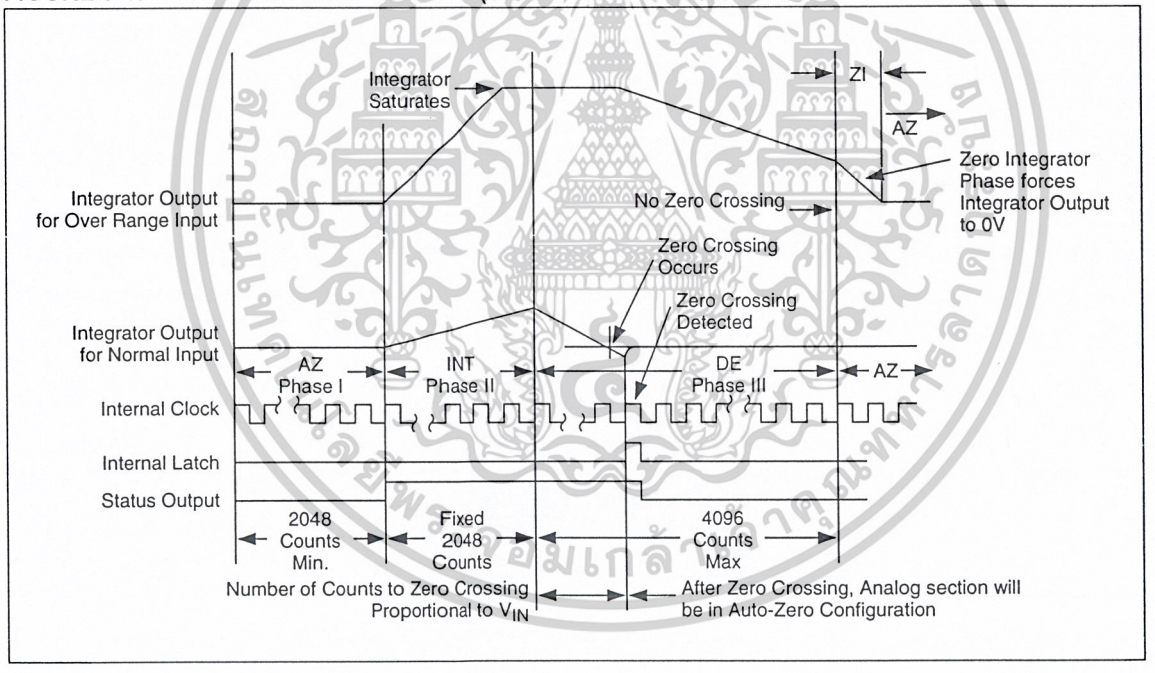
The RUN/$\overline{\text{HOLD}}$ input may be used to shorten conversion time. If RUN/$\overline{\text{HOLD}}$ goes LOW any time after zero crossing in the De-integrate mode, the circuit will jump to auto-zero and eliminate that portion of time normally spent in de-integrate.

If RUN/$\overline{\text{HOLD}}$ stays or goes LOW, the conversion will complete with minimum time in de-integrate. It will stay in auto-zero for the minimum time and wait in auto-zero for a HIGH at the RUN/$\overline{\text{HOLD}}$ input. As shown in Figure 3-3, the STATUS output will go HIGH, 7 clock periods after RUN/$\overline{\text{HOLD}}$ is changed to HIGH, and the converter will begin the integrate phase of the next conversion.

The RUN/$\overline{\text{HOLD}}$ input allows controlled conversion interface. The converter may be held at IDLE in auto-zero with RUN/$\overline{\text{HOLD}}$ LOW. The conversion is started when RUN/$\overline{\text{HOLD}}$ goes HIGH, and the new data is valid when the STATUS output goes LOW (or is transferred to the UART; see "Handshake Mode"). RUN/$\overline{\text{HOLD}}$ may now go LOW, terminating de-integrate and ensuring a minimum auto-zero time before stopping to wait for the next conversion. Conversion time can be minimized by ensuring RUN/$\overline{\text{HOLD}}$ goes LOW during de-integrate, after zero crossing, and goes HIGH after the hold point is reached.

The required activity on the RUN/$\overline{\text{HOLD}}$ input can be provided by connecting it to the buffered oscillator output. In this mode, the input value measured determines the conversion time.

FIGURE 3-1: CONVERSION TIMING (RUN/$\overline{\text{HOLD}}$ PIN HIGH



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 3-2: DIGITAL SECTION

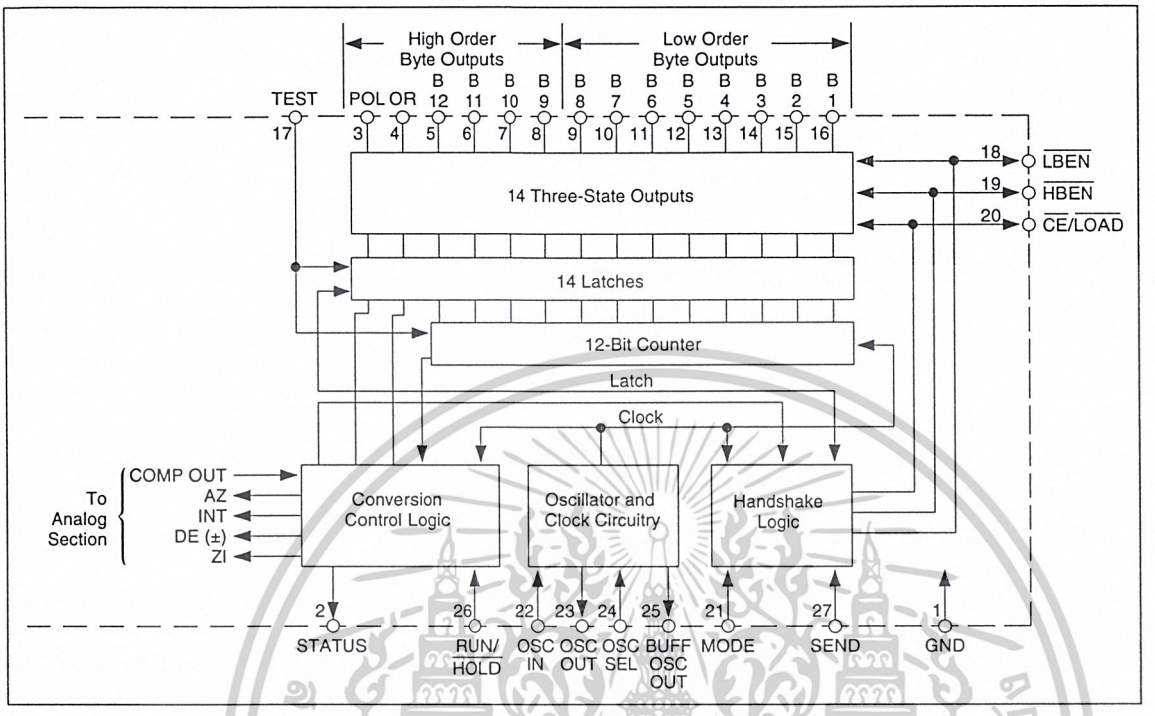
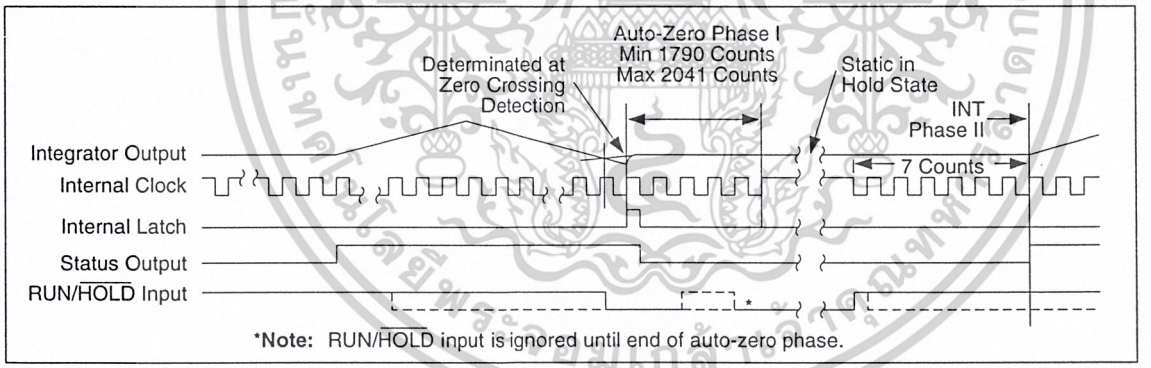


FIGURE 3-3: TC7109A RUN/HOLD OPERATION



© 2002 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 DIRECT MODE

The data outputs (bits 1 through 8, low order bytes; bits 9 through 12, polarity and over range high order bytes) are accessible under control of the byte and chip enable terminals as inputs, with the MODE pin at a LOW level. These three inputs are all active LOW. Internal pull-up resistors are provided for an inactive HIGH level when left open. When chip enable is LOW, a byte enable input LOW will allow the outputs of the byte to become active. A variety of parallel data accessing techniques may be used, as shown in the "Interfacing" section. (See Figure 3-4 and Table 3-1.)

The access of data should be synchronized with the conversion cycle by monitoring the STATUS output. This prevents accessing data while it is being updated and eliminates the acquisition of erroneous data.

FIGURE 3-4: TC7109A DIRECT MODE OUTPUT TIMING

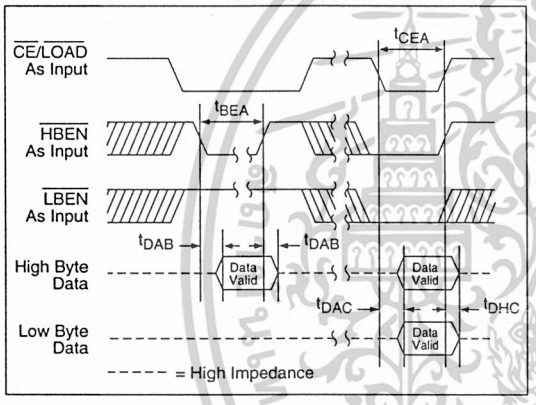


TABLE 3-1: TC7109A DIRECT MODE TIMING REQUIREMENTS

Symbol	Description	Min	Typ	Max	Units
t_{BEA}	Byte Enable Width	200	500	—	nsec
t_{DAB}	Data Access Time from Byte Enable	—	150	300	nsec
t_{DHB}	Data Hold Time from Byte Enable	—	150	300	nsec
t_{CEA}	Chip Enable Width	300	500		nsec
t_{DAC}	Data Access Time from Chip Enable	—	200	400	nsec
t_{DHC}	Data Hold Time from Chip Enable	—	200	400	nsec

3.2.5 HANDSHAKE MODE

An alternative means of interfacing the TC7109A to digital systems is provided when the Handshake Output mode of the TC7109A becomes active in controlling the flow of data, instead of passively responding to chip and byte enable inputs. This mode allows a direct interface between the TC7109A and industry standard UARTs with no external logic required. The TC7109A provides all the control and flag signals necessary to sequence the two bytes of data into the UART and initiate their transmission in serial form when triggered into the Handshake mode. The cost of designing remote data acquisition stations is reduced using serial data transmission to minimize the number of lines to the central controlling processor.

The MODE input controls the Handshake mode. When the MODE input is held HIGH, the TC7109A enters the Handshake mode after new data has been stored in the output latches at the end of every conversion performed (see Figure 3-7 and Figure 3-8). Entry into the Handshake mode may be triggered on demand by the MODE input. At any time during the conversion cycle, the LOW-to-HIGH transition of a short pulse at the MODE input will cause immediate entry into the Handshake mode. If this pulse occurs while new data is being stored, the entry into Handshake mode is delayed until the data is stable. The MODE input is ignored in the Handshake mode, and until the converter completes the output cycle and clears the Handshake mode, data updating will be inhibited (see Figure 3-9).

When the MODE input is HIGH, or when the converter enters the Handshake mode, the chip and byte enable inputs become TTL compatible outputs, which provide the output cycle control signals (see Figure 3-7, Figure 3-8 and Figure 3-9). The SEND input is used by the converter as an indication of the ability of the receiving device (such as a UART) to accept data in the Handshake mode. The sequence of the output cycle with SEND held HIGH is shown in Figure 3-7. The Handshake mode (internal MODE HIGH) is entered after the data latch pulse (the $\overline{CE}/\overline{LOAD}$, $\overline{LBEN}$ and $\overline{HBEN}$ terminals are active as outputs, since MODE remains HIGH).

The HIGH level at the SEND input is sensed on the same HIGH-to-LOW internal clock edge. On the next LOW-to-HIGH internal clock edge, the high order byte (bits 9 through 12, POL, and OR) outputs are enabled and the $\overline{CE}/\overline{LOAD}$ and the $\overline{HBEN}$ outputs assume a LOW level. The $\overline{CE}/\overline{LOAD}$ output remains LOW for one full internal clock period only; the data outputs remain active for 1-1/2 internal clock periods; and the high byte enable remains LOW for 2 clock periods.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The $\overline{CE}/\overline{LOAD}$ output LOW level, or LOW-to-HIGH edge, may be used as a synchronizing signal to ensure valid data, and the byte enable as an output may be used as a byte identification flag. With SEND remaining HIGH, the converter completes the output cycle using $\overline{CE}/\overline{LOAD}$ and $\overline{LBEN}$, while the low order byte outputs (bits 1 through 8) are activated. When both bytes are sent, the Handshake mode is terminated. The typical UART interfacing timing is shown in Figure 3-8.

The SEND input is used to delay portions of the sequence, or handshake, to ensure correct data transfer. This timing diagram shows an industry standard HD6403 or CDP1854 CMOS UART to interface to serial data channels. The SEND input to the TC7109A is driven by the TBRE (Transmitter Buffer Register Empty) output of the UART, and the $\overline{CE}/\overline{LOAD}$ input of the TC7109A drives the TBRL (Transmitter Buffer Register Load) input to the UART. The eight transmitter buffer register inputs accept the parallel data outputs. With the UART transmitter buffer register empty, the SEND input will be HIGH when the Handshake mode is entered, after new data is stored. The high order byte outputs become active and the $\overline{CE}/\overline{LOAD}$ and $\overline{HBEN}$ inputs will go LOW after SEND is sensed. When $\overline{CE}/\overline{LOAD}$ goes HIGH at the end of one clock period, the high order byte data is clocked into the UART transmitter buffer register. The UART TBRE output will go LOW, which halts the output cycle with the $\overline{HBEN}$ output LOW, and the high order byte outputs active. When the UART has transferred the data to the transmitter register and cleared the transmitter buffer register, the TBRE returns HIGH. The high order byte outputs are disabled on the next TC7109A internal clock HIGH-to-LOW edge, and one-half internal clock later, the $\overline{HBEN}$ output returns HIGH. The $\overline{CE}/\overline{LOAD}$ and $\overline{LBEN}$ outputs go LOW at the same time as the low order byte outputs become active. When the $\overline{CE}/\overline{LOAD}$ returns HIGH at the end of one clock period, the low order data is clocked into the UART transmitter buffer register, and TBRE again goes LOW. The next TC7109A internal clock HIGH-to-LOW edge will sense when TBRE returns to a HIGH, disabling the data inputs. One-half internal clock later, the Handshake mode is cleared, and the $\overline{CE}/\overline{LOAD}$, $\overline{HBEN}$ and $\overline{LBEN}$ terminals return HIGH and stay active, if MODE still remains HIGH.

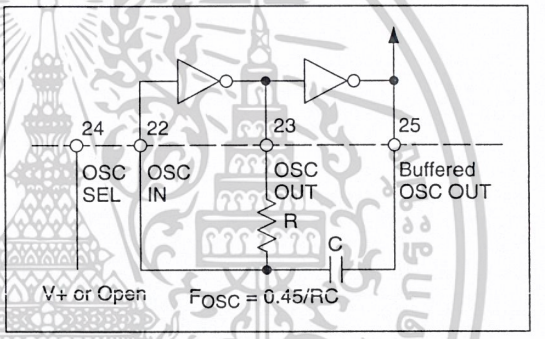
Handshake output sequences may be performed on demand by triggering the converter into Handshake mode with a LOW-to-HIGH edge on the MODE input. A handshake output sequence triggered is shown in Figure 3-9. The SEND input is LOW when the converter enters Handshake mode. The whole output sequence is controlled by the SEND input, and the sequence for the first (high order) byte is similar to the sequence for the second byte.

Figure 3-9 also shows that the output sequence can take longer than a conversion cycle. New data will not be latched when the Handshake mode is still in progress and is, therefore, lost.

3.3 Oscillator

The oscillator may be over driven, or may be operated as an RC or crystal oscillator. The OSCILLATOR SELECT input optimizes the internal configuration of the oscillator for RC or crystal operation. The OSCILLATOR SELECT input is provided with a pull-up resistor. When the OSCILLATOR SELECT input is HIGH or left open, the oscillator is configured for RC operation. The internal clock will be the same frequency and phase as the signal at the BUFFERED OSCILLATOR OUTPUT. Connect the resistor and capacitor as in Figure 3-5. The circuit will oscillate at a frequency given by f = 0.45/RC. A 100kΩ resistor is recommended for useful ranges of frequency. The capacitor value should be chosen such that 2048 clock periods are close to an integral multiple of the 60Hz period for optimum 60Hz line rejection.

FIGURE 3-5: TC7109A RC OSCILLATOR



With OSCILLATOR SELECT input LOW, two on-chip capacitors and a feedback device are added to the oscillator. In this configuration, the oscillator will operate with most crystals in the 1MHz to 5MHz range, with no external components (Figure 3-6). The OSCILLATOR SELECT input LOW inserts a fixed 458 divider circuit between the BUFFERED OSCILLATOR OUTPUT and the internal clock. A 3.58MHz TV crystal gives a division ratio, providing an integration time given by:

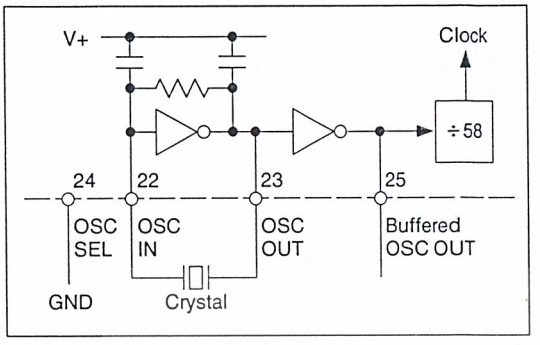
EQUATION 3-1:

$$t = (2048 \text{ clock periods}) \frac{58}{3.58\text{MHz}} = 33.18\text{msec}$$

© 2002 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 3-6: CRYSTAL OSCILLATOR

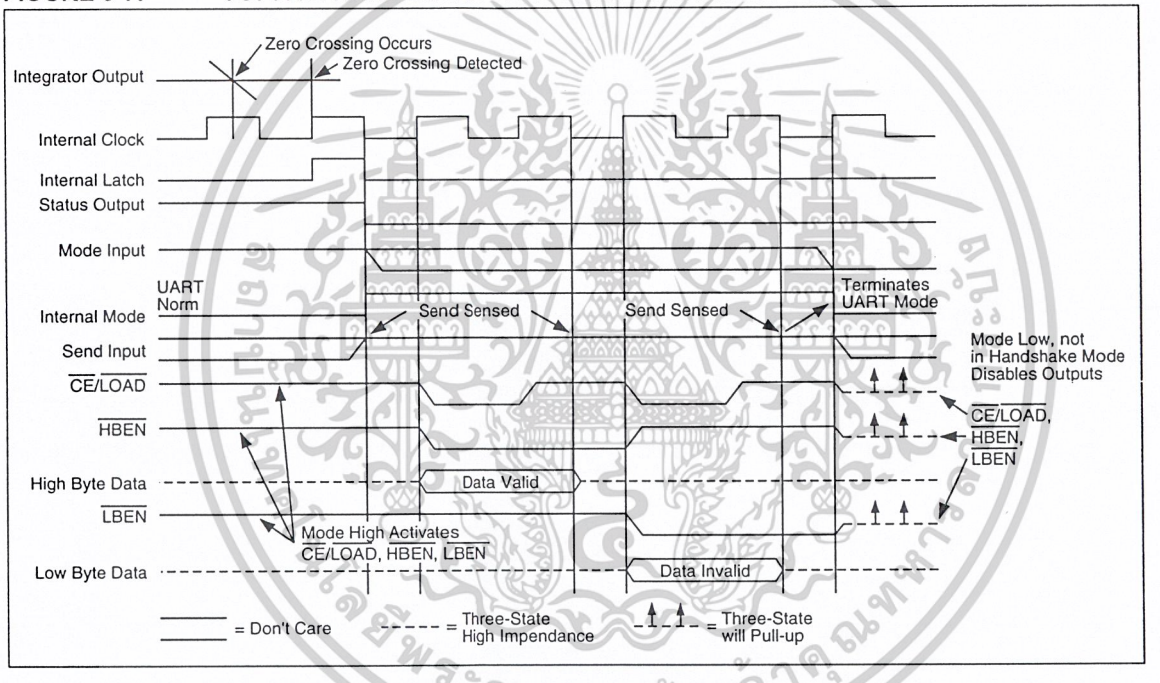


The error is less than 1% from two 60Hz periods, or 33.33msec, which will give better than 40dB, 60Hz rejection. The converter will operate reliably at conversion rates up to 30 per second, corresponding to a clock frequency of 245.8kHz.

When the oscillator is to be over driven, the OSCILLATOR OUTPUT should be left open, and the over driving signal should be applied at the OSCILLATOR INPUT.

The internal clock will be of the same duty cycle, frequency and phase as the input signal. When the OSCILLATOR SELECT is at GND, the clock will be 1/58 of the input frequency.

FIGURE 3-7: TC7109A HANDSHAKE WITH SEND INPUT HELD POSITIVE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 3-8: TC7109A HANDSHAKE - TYPICAL UART INTERFACE TIMING

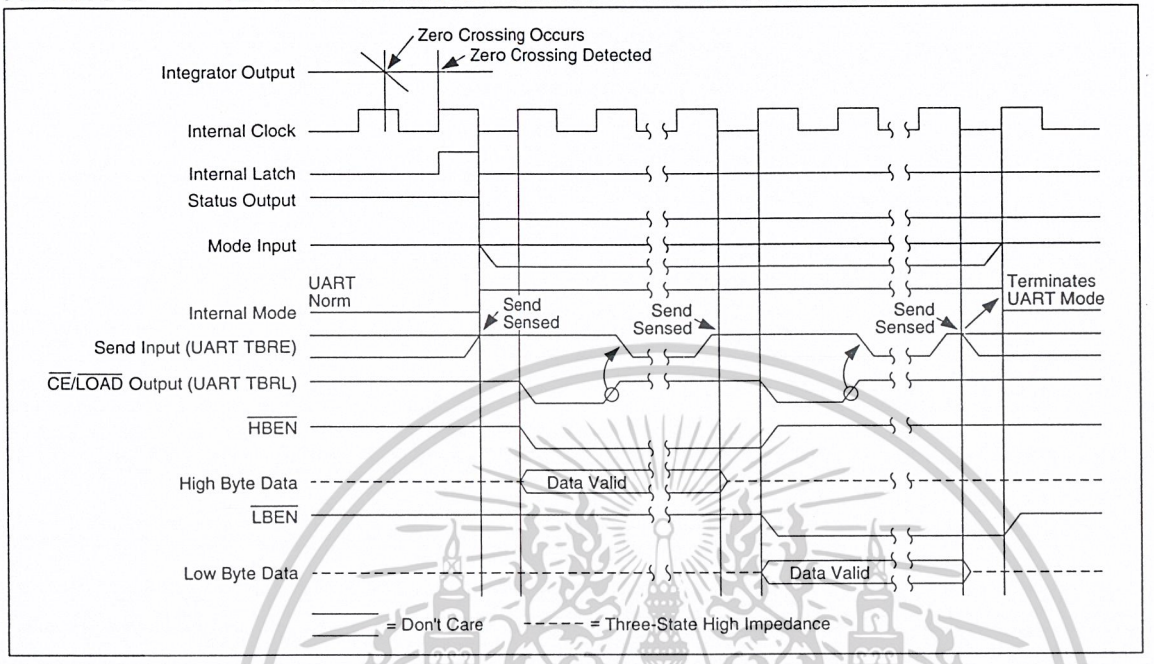
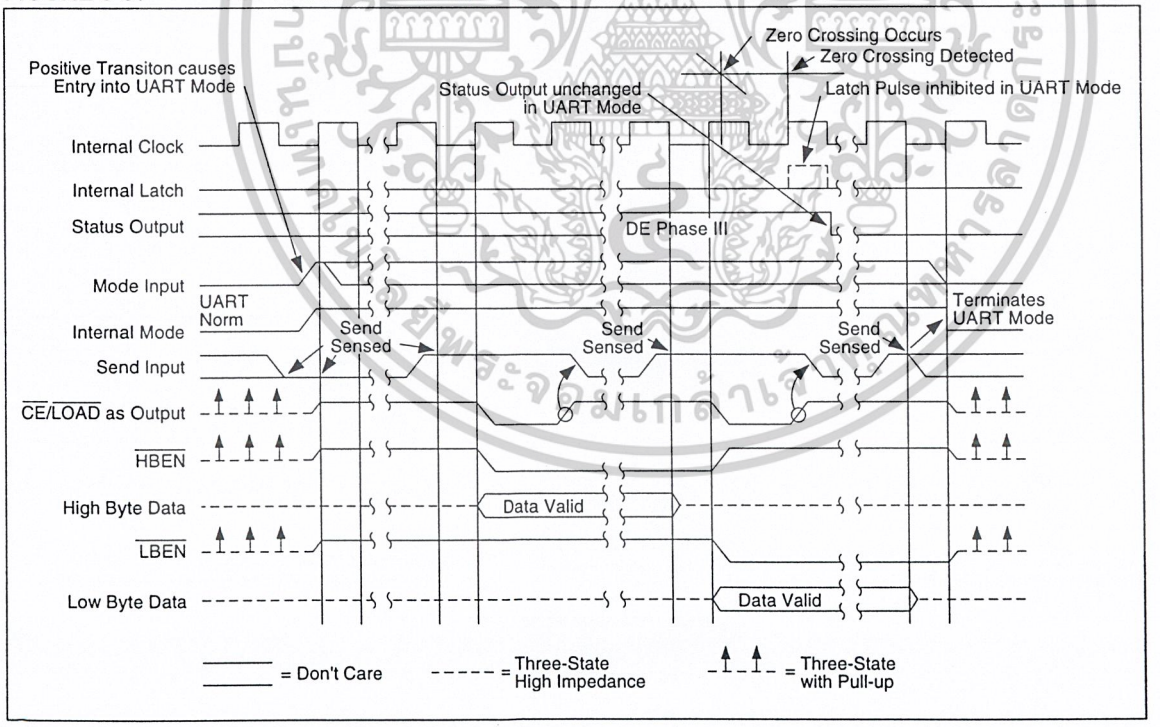


FIGURE 3-9: TC7109A HANDSHAKE TRIGGERED BY MODE INPUT



© 2002 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 Test Input

The counter and its outputs may be tested easily. When the TEST input is connected to GND, the internal clock is disabled and the counter outputs are all forced into the HIGH state. When the input returns to the 1/2 (V+ – GND) voltage or to V+ and one clock is input, the counter outputs will all be clocked to the LOW state.

The counter output latches are enabled when the TEST input is taken to a level halfway between V+ and GND, allowing the counter contents to be examined any time.

3.5 Component Value Selection

The integrator output swing for full scale should be as large as possible. For example, with ±5V supplies and COMMON connected to GND, the nominal integrator output swing at full scale is ±4V. Since the integrator output can go to 0.3V from either supply without significantly effecting linearity, a 4V integrator output swing allows 0.7V for variations in output swing, due to component value and oscillator tolerances. With ±5V supplies and a Common mode voltage range of ±1V required, the component values should be selected to provide ±3V integrator output swing. Noise and rollover errors will be slightly worse than in the ±4V case. For large Common mode voltage ranges, the integrator output swing must be reduced further. This will increase both noise and rollover errors. To improve performance, ±6V supplies may be used.

3.5.1 INTEGRATING CAPACITOR

The integrating capacitor, C_{INT}, should be selected to give the maximum integrator output voltage swing that will not saturate the integrator to within 0.3V from either supply. A ±3.5V to ±4V integrator output swing is nominal for the TC7109A, with ±5V supplies and analog common connected to GND. For 7-1/2 conversions per second (61.72kHz internal clock frequency), nominal values C_{INT} and C_{AZ} are 0.15µF and 0.33µF, respectively. These values should be changed if different clock frequencies are used to maintain the integrator output voltage swing. The value of C_{INT} is given by:

EQUATION 3-2:

$$C_{INT} = \frac{(2048\ \text{Clock Period})\ (20\mu A)}{\text{Integrator Output Voltage Swings}}$$

The integrating capacitor must have low dielectric absorption to prevent rollover errors. Polypropylene capacitors give undetectable errors, at reasonable cost, up to +85°C.

3.5.2 INTEGRATING RESISTOR

The integrator and buffer amplifiers have a class A output stage with 100µA of quiescent current. They supply 20µA of drive current with negligible non-linearity. The integrating resistor should be large enough to remain in this very linear region over the input voltage range, but small enough that undue leakage requirements are not placed on the PC board. For 2.048V full scale, a 100kΩ resistor is recommended and for 409.6mV full scale, a 20k resistor is recommended. R_{INT} may be selected for other values of full scale by:

EQUATION 3-3:

$$R_{INT} = \frac{\text{Full Scale Voltage}}{20\mu A}$$

3.5.3 AUTO-ZERO CAPACITOR

As the auto-zero capacitor is made large, the system noise is reduced. Since the TC7109A incorporates a zero integrator cycle, the size of the auto-zero capacitor does not affect overload recovery. The optimal value of the auto-zero capacitor is between 2 and 4 times C_{INT}. A typical value for C_{AZ} is 0.33µF.

The inner foil of C_{AZ} should be connected to Pin 31 and the outer foil to the RC summing junction. The inner foil of C_{INT} should be connected to the RC summing junction and the outer foil to Pin 32, for best rejection of stray pickups.

3.5.4 REFERENCE CAPACITOR

A 1µF capacitor is recommended for most circuits. However, where a large Common mode voltage exists, a larger value is required to prevent rollover error (e.g., the reference low is not analog common), and a 409.6mV scale is used. The rollover error will be held to 0.5 count with a 10µF capacitor.

3.5.5 REFERENCE VOLTAGE

To generate full scale output of 4096 counts, the analog input required is $V_{IN} = 2V_{REF}$. For 409.6mV full scale, use a reference of 204.8mV. In many applications, where the ADC is connected to a transducer, a scale factor will exist between the input voltage and the digital reading. For instance, in a measuring system, the designer might like to have a full scale reading when the voltage for the transducer is 700mV. Instead of dividing the input down to 409.6mV, the designer should use the input voltage directly and select V_{REF} = 350mV. Suitable values for integrating resistor and capacitor would be 34kΩ and 0.15µF. This makes the system slightly quieter and also avoids a divider network on the input. Another advantage of this system occurs when temperature and weight measurements, with an offset or tare, are desired for non-zero input. The offset may be introduced by connecting the voltage output of the transducer between common and analog high, and the offset voltage between common and analog low, observing polarities carefully. In processor based systems using the TC7109A, it may be more desirable to use software and perform this type of scaling or tare subtraction digitally.

© 2002 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.6 REFERENCE SOURCES

A major factor in the absolute accuracy of the ADC is the stability of the reference voltage. The 12-bit resolution of the TC7109A is one part in 4096, or 244 ppm. Thus, for the on-board reference temperature coefficient of 70ppm/°C, a temperature difference of 3°C will introduce a one-bit absolute error. Where the ambient temperature is not controlled, or where high accuracy absolute measurements are being made, it is recommended that an external high quality reference be used.

A reference output (Pin 29) is provided, which may be used with a resistive divider to generate a suitable reference voltage (20mA may be sunk without significant variation in output voltage). A pull-up bias device is provided, which sources about 10µA. The output voltage is nominally 2.8V below V+. When using the on-board reference, REF OUT (Pin 29) should be connected to REF IN- (pin 39), and REF IN+ should be connected to the wiper of a precision potentiometer between REF OUT and V+. The test circuit shows the circuit for a 204.8mV reference, generated by a 2kΩ precision potentiometer in series with a 24kΩ fixed resistor.

4.0 INTERFACING

4.1 Direct Mode

Combinations of chip enable and byte enable control signals, which may be used when interfacing the TC7109A to parallel data lines, are shown in Figure 4-1. The $\overline{CE}$/$\overline{LOAD}$ input may be tied low, allowing either byte to be controlled by its own enable (see Figure 4-1(A)). Figure 4-1(B) shows the $\overline{HBEN}$ and $\overline{LBEN}$ as flag inputs, and $\overline{CE}$/$\overline{LOAD}$ as a master enable, which could be the READ strobe available from most microprocessors. Figure 4-1(C) shows a configuration where the two byte enables are connected together. The $\overline{CE}$/$\overline{LOAD}$ is a chip enable, and the $\overline{HBEN}$ and $\overline{LBEN}$ may be used as a second chip enable, or connected to ground. The 14 data outputs will be enabled at the same time. In the direct MODE, SEND should be tied to V+.

Figure 4-2 shows interfacing several TC7109A's to a bus, ganging the $\overline{HBEN}$ and $\overline{LBEN}$ signals to several converters together, and using the $\overline{CE}$/$\overline{LOAD}$ input to select the desired converter.

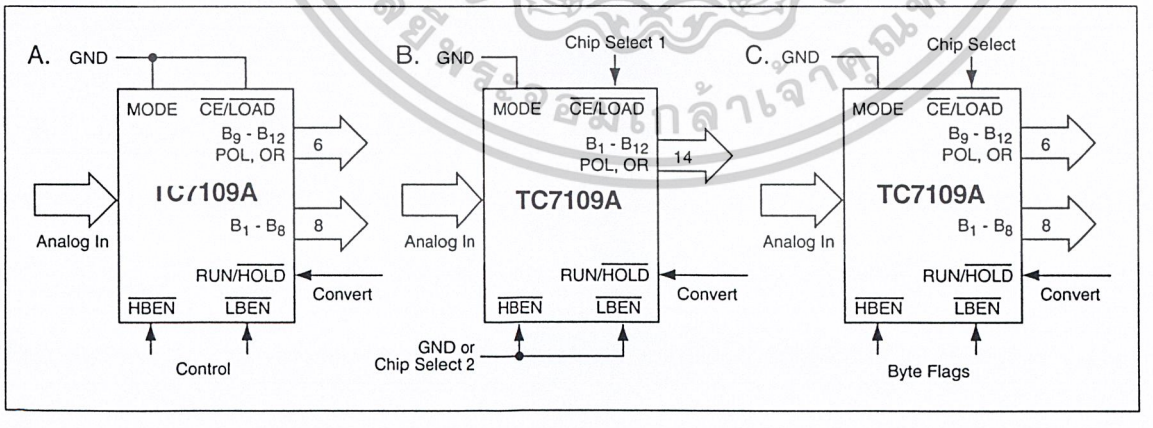
Figure 4-3 through Figure 4-5 give practical circuits utilizing the parallel three-state output capabilities of the TC7109A. Figure 4-3 shows parallel interface to the 8748/49 systems via an 8255 PPI, where the TC7109A data outputs are active at all times. This interface can be used in a read-after-update sequence, as shown in Figure 4-4. The data is accessed by the high-to-low transition of the STATUS driving an interrupt to the microcontroller.

The RUN/$\overline{HOLD}$ input is also used to initiate conversions under software control.

Direct interfacing to most microcontroller busses is easily accomplished through the three-state output of the TC7109A.

Figure 4-8 is a typical connection diagram. To ensure requirements for setup and hold times, minimum pulse widths, and the drive limitations on long busses are met, it is necessary to carefully consider the system timing in this type of interface. This type of interface is used when the memory peripheral address density is low, providing simple address decoding. Interrupt handling can be simplified by using an interface to reduce the component count.

FIGURE 4-1: DIRECT MODE CHIP AND BYTE ENABLE COMBINATION



© 2002 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 4-2: THREE-STATING SEVERAL TC7109AS TO A SMALL BUS

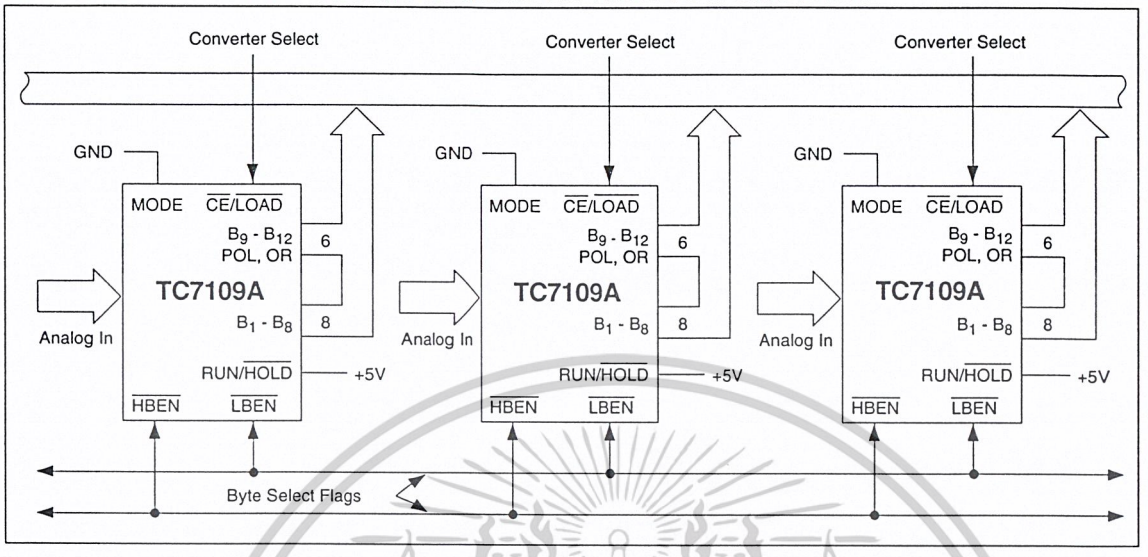
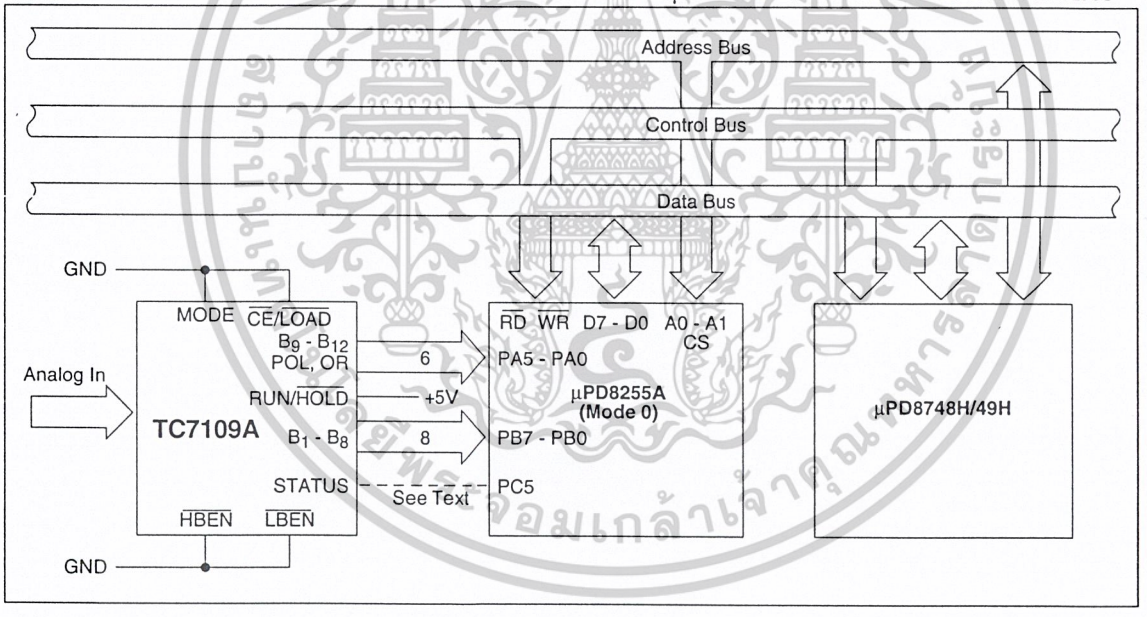


FIGURE 4-3: FULL TIME PARALLEL INTERFACE TO μPD8748H/494 MICROCONTROLLERS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 4-4: FULL TIME PARALLEL INTERFACE TO μPD8748H/494 MICROCONTROLLERS

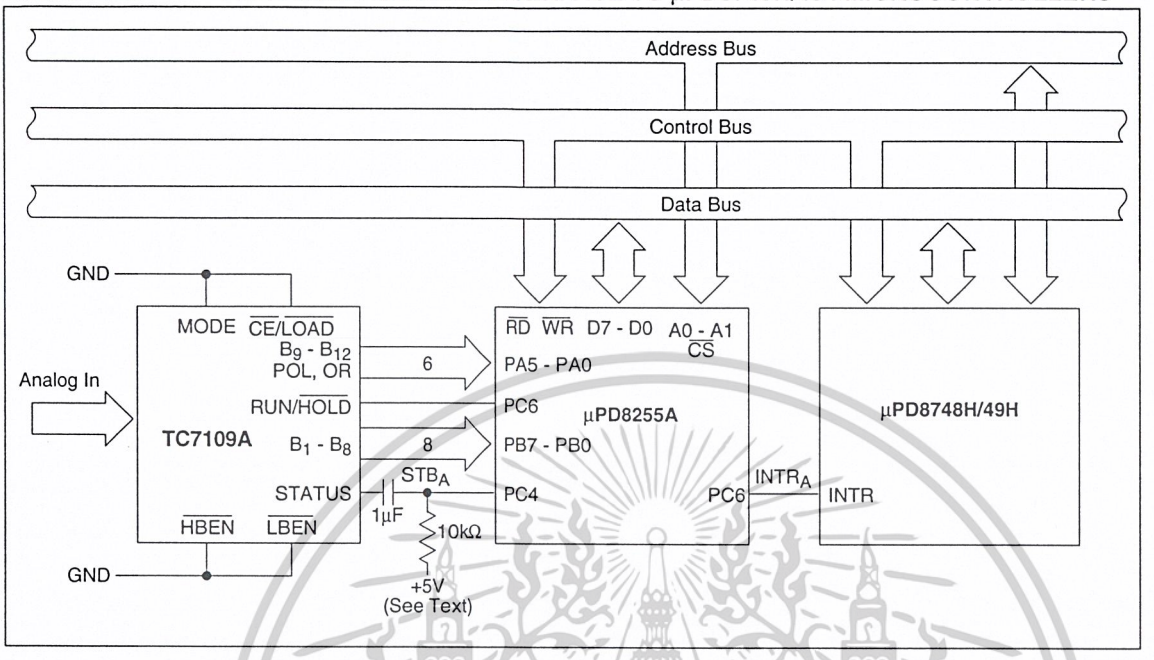
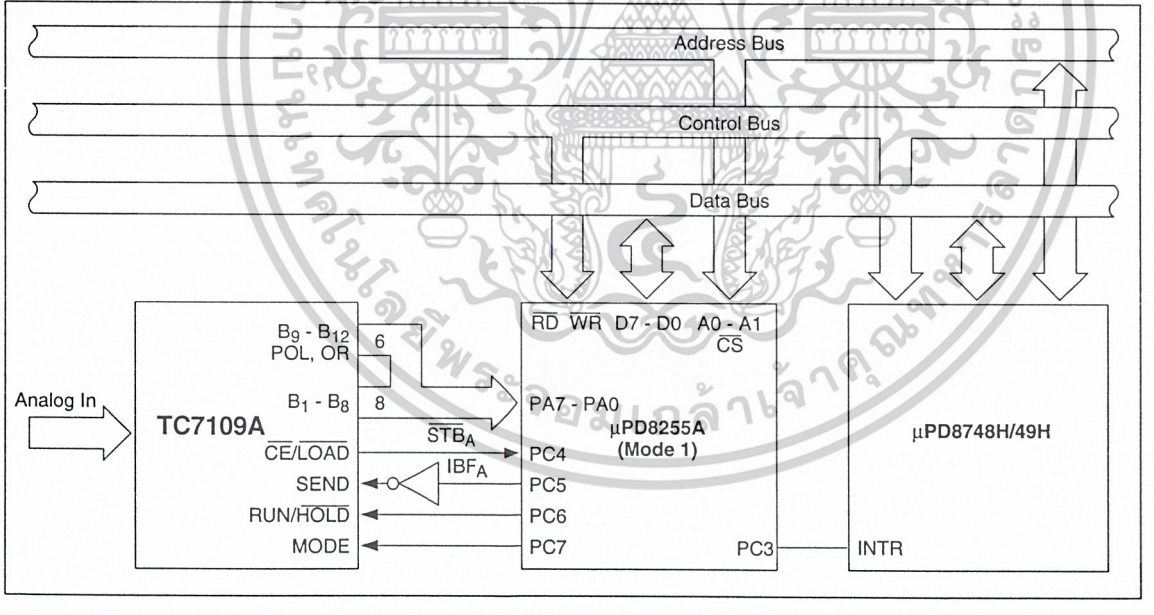


FIGURE 4-5: TC7109A HANDSHAKE INTERFACE TO μPD8748H/494 MICROCONTROLLERS



© 2002 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 Handshake Mode

The Handshake mode provides an interface to a wide variety of external devices. The byte enables may be used as byte identification flags, or as load enables, and external latches may be clocked by the rising edge of CE/LOAD. A handshake interface to Intel® microprocessors using an 8255 PPI is shown in Figure 4-5. The handshake operation with the 8255 is controlled by inverting its Input Buffer Full (IBF) flag to drive the SEND input to the TC7109A, and using the CE/LOAD to drive the 8255 strobe. The internal control register of the PPI should be set in MODE 1 for the port used. If the 8255 IBF flag is LOW and the TC7109A is in Handshake mode, the next word will be strobed into the port. The strobe will cause IBF to go HIGH (SEND goes LOW), which will keep the enabled byte outputs active. The PPI will generate an interrupt which, when executed, will result in the data being read. The IBF will be reset LOW when the byte is read, causing the TC7109A to sequence into the next byte. The MODE input to the TC7109A is connected to the control line on the PPI.

The data from every conversion will be sequenced in two bytes in the system, if this output is left HIGH, or tied HIGH separately. (The data access must take less time than a conversion.) The output sequence can be obtained on demand if this output is made to go from LOW to HIGH and the interrupt may be used to reset the MODE bit.

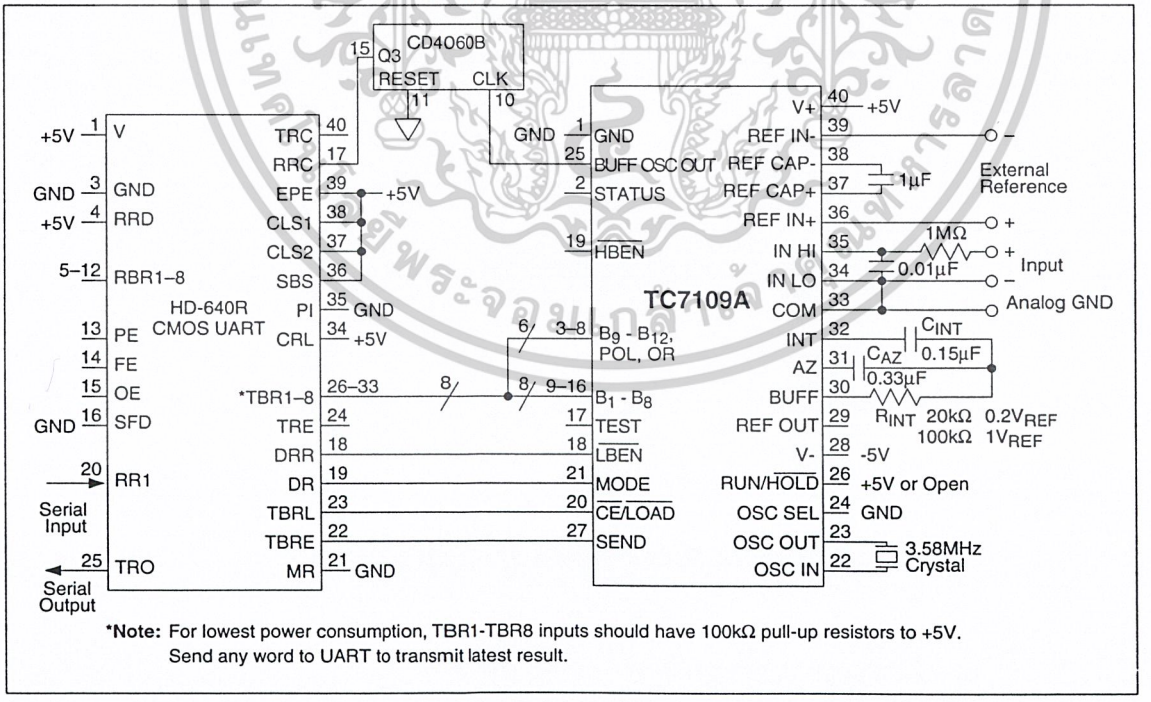
Conversions may be obtained on command under software control by driving the RUN/HOLD input to the TC7109A by a bit of the 8255. Another peripheral device may be serviced by the unused port of the 8255.

The Handshake mode is particularly useful for directly interfacing to industry standard UARTs (such as Intersil HD-6402), providing a means of serially transmitting converted data with minimum component count.

A typical UART connection is shown in Figure 4-6. In this circuit, any word received by the UART causes the UART DR (Data Ready) output to go HIGH. The MODE input to the TC7109A goes HIGH, triggering the TC7109A into Handshake mode. The high order byte is output to the UART and when the UART has transferred the data to the Transmitter register, TBRE (SEND) goes HIGH again, LBEN will go HIGH, driving the UART DRR (Data Ready Reset), which will signal the end of the transfer of data from the TC7109A to the UART.

An extension of the typical connection to several TC7109A's with one UART is shown in Figure 4-7. In this circuit, the word received by the UART (available at the RBR outputs when DR is HIGH) is used to select which converter will handshake with the UART. Up to eight TC7109A's may interface with one UART, with no external components. Up to 256 converters may be accessed on one serial line with additional components.

FIGURE 4-6: TC7109 TYPICAL UART INTERFACE



***Note:** For lowest power consumption, TBR1-TBR8 inputs should have 100kΩ pull-up resistors to +5V. Send any word to UART to transmit latest result.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 4-7: HANDSHAKE INTERFACE FOR MULTIPLEXED CONVERTERS

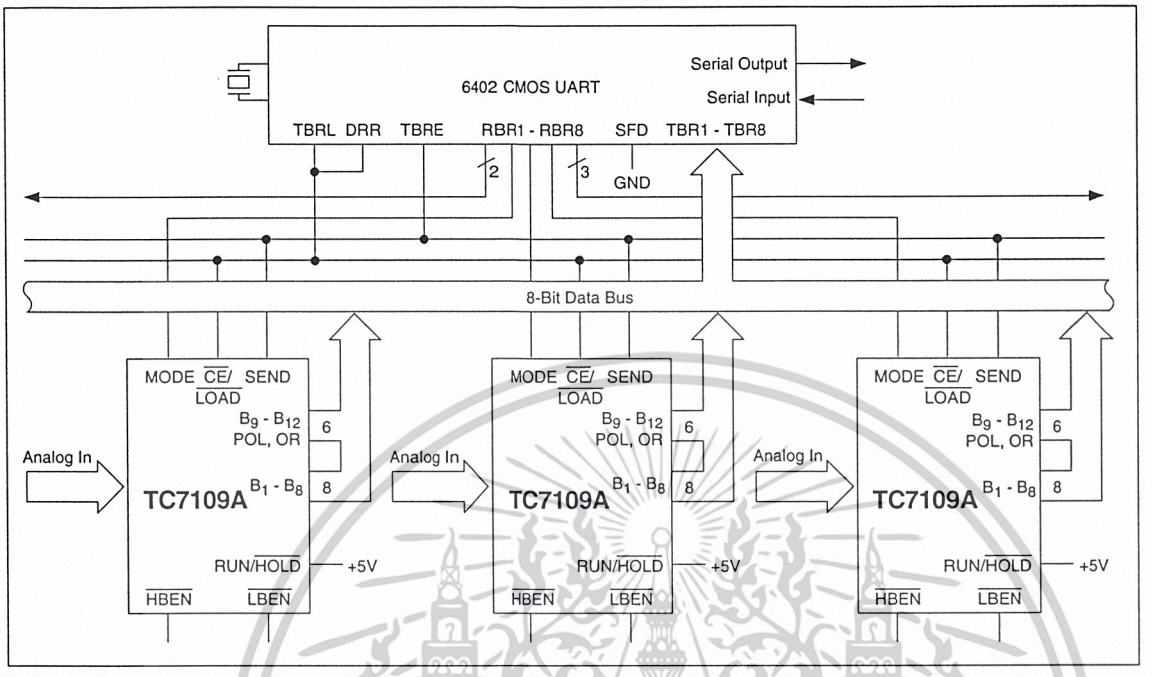
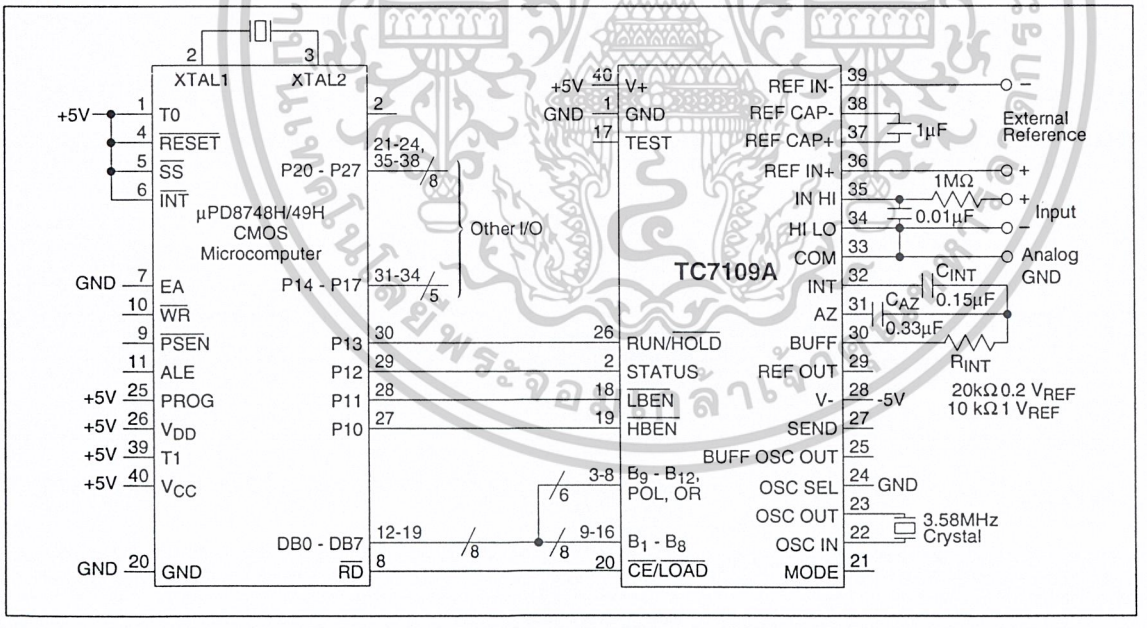


FIGURE 4-8:



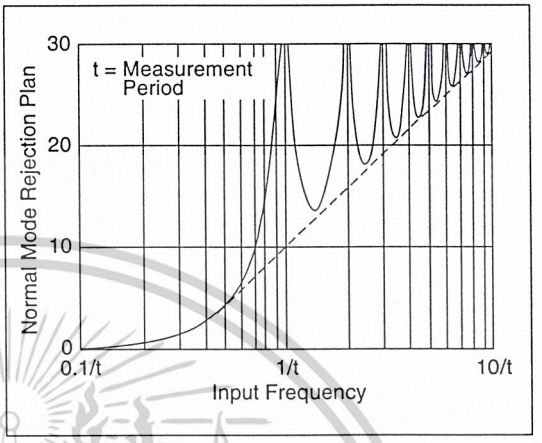
© 2002 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.0 INTEGRATING CONVERTER FEATURES

The output of integrating ADCs represents the integral, or average, of an input voltage over a fixed period of time. Compared with techniques in which the input is sampled and held, the integrating converter averages the effects of noise. A second important characteristic is that time is used to quantize the answer, resulting in extremely small non-linearity errors and no missing output codes. The integrating converter also has very good rejection of frequencies whose periods are an integral multiple of the measurement period. This feature can be used to advantage in reducing line frequency noise (Figure 5-1).

FIGURE 5-1: NORMAL MODE REJECTION OF DUAL SLOPE CONVERTER AS A FUNCTION OF FREQUENCY



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

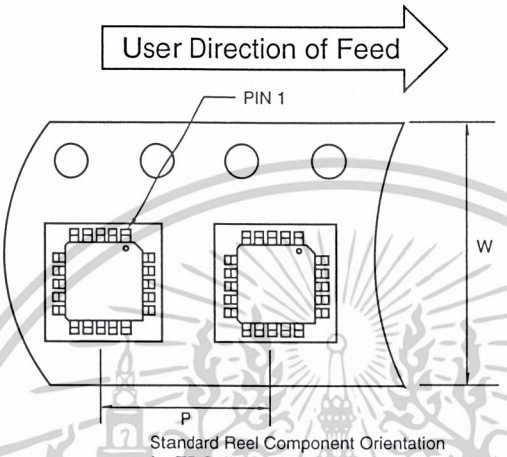
6.0 PACKAGING INFORMATION

6.1 Package Marking Information

Package marking data not available at this time.

6.2 Taping Form

Component Taping Orientation for 44-Pin PQFP Devices



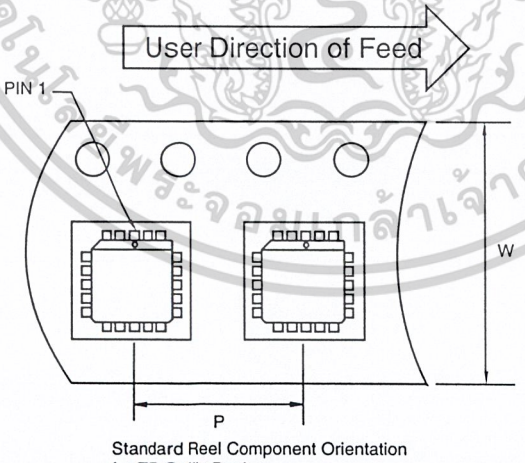
Standard Reel Component Orientation
for TR Suffix Device

Carrier Tape, Number of Components Per Reel and Reel Size

Package	Carrier Width (W)	Pitch (P)	Part Per Full Reel	Reel Size
44-Pin PQFP	24 mm	16 mm	500	13 in

Note: Drawing does not represent total number of pins.

Component Taping Orientation for 44-Pin PLCC Devices



Standard Reel Component Orientation
for TR Suffix Device

Carrier Tape, Number of Components Per Reel and Reel Size

Package	Carrier Width (W)	Pitch (P)	Part Per Full Reel	Reel Size
44-Pin PLCC	32 mm	24 mm	500	13 in

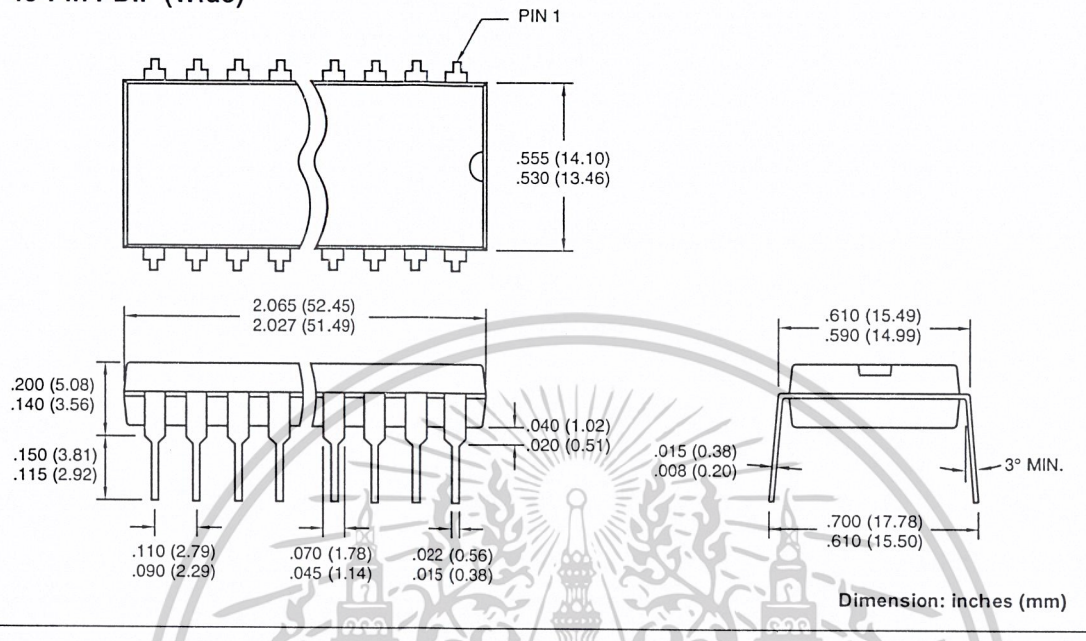
Note: Drawing does not represent total number of pins.

© 2002 Microchip Technology Inc.

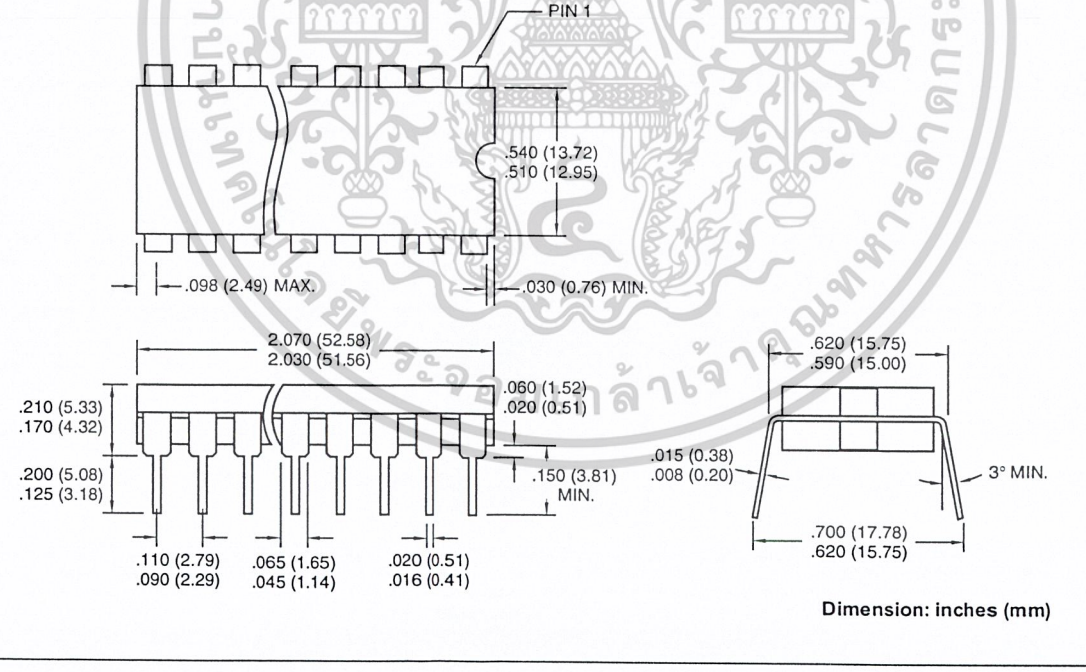
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 Package Dimensions

40-Pin PDIP (Wide)



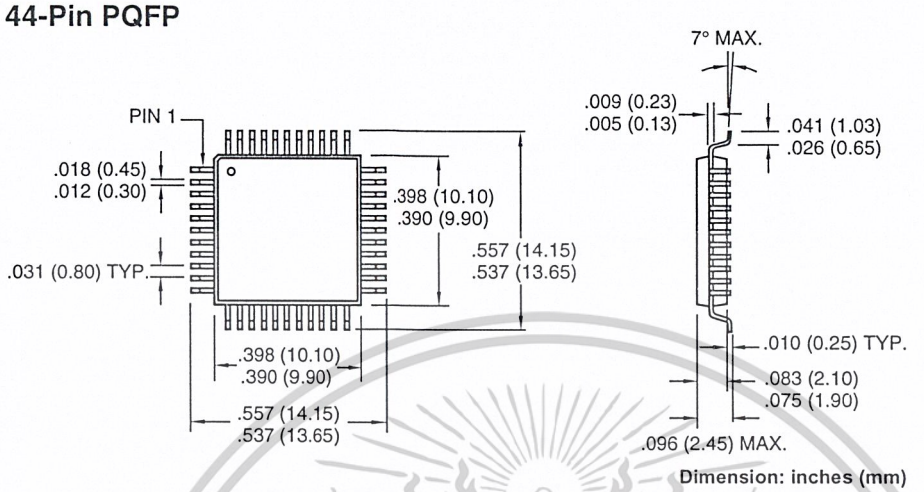
40-Pin CERDIP (Wide)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

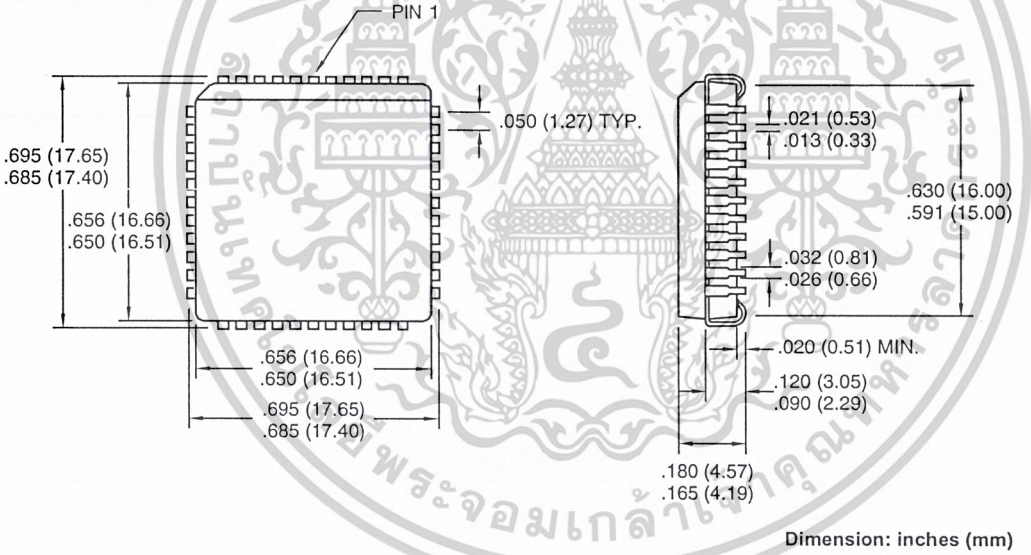
6.3 Package Dimensions (Continued)

44-Pin PQFP



Dimension: inches (mm)

44-Pin PLCC



Dimension: inches (mm)

© 2002 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NOTES:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SALES AND SUPPORT

Data Sheets
Products supported by a preliminary Data Sheet may have an errata sheet describing minor operational differences and recommended workarounds. To determine if an errata sheet exists for a particular device, please contact one of the following:

1. Your local Microchip sales office
2. The Microchip Corporate Literature Center U.S. FAX: (480) 792-7277
3. The Microchip Worldwide Site (www.microchip.com)

Please specify which device, revision of silicon and Data Sheet (include Literature #) you are using.

New Customer Notification System
Register on our web site (www.microchip.com/cn) to receive the most current information on our products.



© 2002 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Information contained in this publication regarding device applications and the like is intended through suggestion only and may be superseded by updates. It is your responsibility to ensure that your application meets with your specifications. No representation or warranty is given and no liability is assumed by Microchip Technology Incorporated with respect to the accuracy or use of such information, or infringement of patents or other intellectual property rights arising from such use or otherwise. Use of Microchip's products as critical components in life support systems is not authorized except with express written approval by Microchip. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any intellectual property rights.

Trademarks

The Microchip name and logo, the Microchip logo, FilterLab, KEELOQ, microID, MPLAB, PIC, PICmicro, PICMASTER, PICSTART, PRO MATE, SEEVAL and The Embedded Control Solutions Company are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

dsPIC, ECONOMONITOR, FanSense, FlexROM, fuzzyLAB, In-Circuit Serial Programming, ICSP, ICEPIC, microPort, Migratable Memory, MPASM, MPLIB, MPLINK, MPSIM, MXDEV, PICC, PICDEM, PICDEM.net, rfPIC, Select Mode and Total Endurance are trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

Serialized Quick Turn Programming (SQTP) is a service mark of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

All other trademarks mentioned herein are property of their respective companies.

© 2002, Microchip Technology Incorporated, Printed in the U.S.A., All Rights Reserved.

Printed on recycled paper.

DNV Certification, Inc. USA — ANSI-RAB QMS ACCREDITED — DNV MSC The Netherlands Accredited by the RvA — DNV — ISO 9001 / QS-9000 REGISTERED FIRM

Microchip received QS-9000 quality system certification for its worldwide headquarters, design and wafer fabrication facilities in Chandler and Tempe, Arizona in July 1999 and Mountain View, California in March 2002. The Company's quality system processes and procedures are QS-9000 compliant for its PICmicro® 8-bit MCUs, KEELOQ® code hopping devices, Serial EEPROMs, microperipherals, non-volatile memory and analog products. In addition, Microchip's quality system for the design and manufacture of development systems is ISO 9001 certified.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MICROCHIP

WORLDWIDE SALES AND SERVICE

AMERICAS

Corporate Office
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 480-792-7200 Fax: 480-792-7277
Technical Support: 480-792-7627
Web Address: http://www.microchip.com

Rocky Mountain
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 480-792-7966 Fax: 480-792-7456

Atlanta
500 Sugar Mill Road, Suite 200B
Atlanta, GA 30350
Tel: 770-640-0034 Fax: 770-640-0307

Boston
2 Lan Drive, Suite 120
Westford, MA 01886
Tel: 978-692-3848 Fax: 978-692-3821

Chicago
333 Pierce Road, Suite 180
Itasca, IL 60143
Tel: 630-285-0071 Fax: 630-285-0075

Dallas
4570 Westgrove Drive, Suite 160
Addison, TX 75001
Tel: 972-818-7423 Fax: 972-818-2924

Detroit
Tri-Atria Office Building
32255 Northwestern Highway, Suite 190
Farmington Hills, MI 48334
Tel: 248-538-2250 Fax: 248-538-2260

Kokomo
2767 S. Albright Road
Kokomo, Indiana 46902
Tel: 765-864-8360 Fax: 765-864-8387

Los Angeles
18201 Von Karman, Suite 1090
Irvine, CA 92612
Tel: 949-263-1888 Fax: 949-263-1338

New York
150 Motor Parkway, Suite 202
Hauppauge, NY 11788
Tel: 631-273-5305 Fax: 631-273-5335

San Jose
Microchip Technology Inc.
2107 North First Street, Suite 590
San Jose, CA 95131
Tel: 408-436-7950 Fax: 408-436-7955

Toronto
6285 Northam Drive, Suite 108
Mississauga, Ontario L4V 1X5, Canada
Tel: 905-673-0699 Fax: 905-673-6509

ASIA/PACIFIC

Australia
Microchip Technology Australia Pty Ltd
Suite 22, 41 Rawson Street
Epping 2121, NSW
Australia
Tel: 61-2-9868-6733 Fax: 61-2-9868-6755

China - Beijing
Microchip Technology Consulting (Shanghai) Co., Ltd., Beijing Liaison Office
Unit 915
Bei Hai Wan Tai Bldg.
No. 6 Chaoyangmen Beidajie
Beijing, 100027, No. China
Tel: 86-10-85282100 Fax: 86-10-85282104

China - Chengdu
Microchip Technology Consulting (Shanghai) Co., Ltd., Chengdu Liaison Office
Rm. 2401, 24th Floor,
Ming Xing Financial Tower
No. 88 TIDU Street
Chengdu 610016, China
Tel: 86-28-6766200 Fax: 86-28-6766599

China - Fuzhou
Microchip Technology Consulting (Shanghai) Co., Ltd., Fuzhou Liaison Office
Unit 28F, World Trade Plaza
No. 71 Wusi Road
Fuzhou 350001, China
Tel: 86-591-7503506 Fax: 86-591-7503521

China - Shanghai
Microchip Technology Consulting (Shanghai) Co., Ltd.
Room 701, Bldg. B
Far East International Plaza
No. 317 Xian Xia Road
Shanghai, 200051
Tel: 86-21-6275-5700 Fax: 86-21-6275-5060

China - Shenzhen
Microchip Technology Consulting (Shanghai) Co., Ltd., Shenzhen Liaison Office
Rm. 1315, 13/F, Shenzhen Kerry Centre,
Renminnan Lu
Shenzhen 518001, China
Tel: 86-755-2350361 Fax: 86-755-2366086

Hong Kong
Microchip Technology Hongkong Ltd.
Unit 901-6, Tower 2, Metroplaza
223 Hing Fong Road
Kwai Fong, N.T., Hong Kong
Tel: 852-2401-1200 Fax: 852-2401-3431

India
Microchip Technology Inc.
India Liaison Office
Divyasree Chambers
1 Floor, Wing A (A3/A4)
No. 11, O'Shaugnessey Road
Bangalore, 560 025, India
Tel: 91-80-2290061 Fax: 91-80-2290062

Japan
Microchip Technology Japan K.K.
Benex S-1 6F
3-18-20, Shinyokohama
Kohoku-Ku, Yokohama-shi
Kanagawa, 222-0033, Japan
Tel: 81-45-471- 6166 Fax: 81-45-471-6122

Korea
Microchip Technology Korea
168-1, Youngbo Bldg. 3 Floor
Samsung-Dong, Kangnam-Ku
Seoul, Korea 135-882
Tel: 82-2-554-7200 Fax: 82-2-558-5934

Singapore
Microchip Technology Singapore Pte Ltd.
200 Middle Road
#07-02 Prime Centre
Singapore, 188980
Tel: 65-6334-8870 Fax: 65-6334-8850

Taiwan
Microchip Technology Taiwan
11F-3, No. 207
Tung Hua North Road
Taipei, 105, Taiwan
Tel: 886-2-2717-7175 Fax: 886-2-2545-0139

EUROPE

Denmark
Microchip Technology Nordic ApS
Regus Business Centre
Lautrup hoj 1-3
Ballerup DK-2750 Denmark
Tel: 45 4420 9895 Fax: 45 4420 9910

France
Microchip Technology SARL
Parc d'Activite du Moulin de Massy
43 Rue du Saule Trapu
Batiment A - ler Etage
91300 Massy, France
Tel: 33-1-69-53-63-20 Fax: 33-1-69-30-90-79

Germany
Microchip Technology GmbH
Gustav-Heinemann Ring 125
D-81739 Munich, Germany
Tel: 49-89-627-144 0 Fax: 49-89-627-144-44

Italy
Microchip Technology SRL
Centro Direzionale Colleoni
Palazzo Taurus 1 V. Le Colleoni 1
20041 Agrate Brianza
Milan, Italy
Tel: 39-039-65791-1 Fax: 39-039-6899883

United Kingdom
Arizona Microchip Technology Ltd.
505 Eskdale Road
Winnersh Triangle
Wokingham
Berkshire, England RG41 5TU
Tel: 44 118 921 5869 Fax: 44-118 921-5820

03/01/02

© 2002 Microchip Technology Inc.
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

K °C

TABLE 9 ***Type K Thermocouple*** *— thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C*

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
					Thermoelectric Voltage in Millivolts							
-270	-6.458											-270
-260	-6.411	-6.444	-6.446	-6.448	-6.450	-6.452	-6.453	-6.455	-6.456	-6.457	-6.458	-260
-250	-6.404	-6.408	-6.413	-6.417	-6.421	-6.425	-6.429	-6.432	-6.435	-6.438	-6.441	-250
-240	-6.344	-6.351	-6.358	-6.364	-6.370	-6.377	-6.382	-6.388	-6.393	-6.399	-6.404	-240
-230	-6.262	-6.271	-6.280	-6.289	-6.297	-6.306	-6.314	-6.322	-6.329	-6.337	-6.344	-230
-220	-6.158	-6.170	-6.181	-6.192	-6.202	-6.213	-6.223	-6.233	-6.243	-6.252	-6.262	-220
-210	-6.035	-6.048	-6.061	-6.074	-6.087	-6.099	-6.111	-6.123	-6.135	-6.147	-6.158	-210
-200	-5.891	-5.907	-5.922	-5.936	-5.951	-5.965	-5.980	-5.994	-6.007	-6.021	-6.035	-200
-190	-5.730	-5.747	-5.763	-5.780	-5.797	-5.813	-5.829	-5.845	-5.861	-5.876	-5.891	-190
-180	-5.550	-5.569	-5.588	-5.606	-5.624	-5.642	-5.660	-5.678	-5.695	-5.713	-5.730	-180
-170	-5.354	-5.374	-5.395	-5.415	-5.435	-5.454	-5.474	-5.493	-5.512	-5.531	-5.550	-170
-160	-5.141	-5.163	-5.185	-5.207	-5.228	-5.250	-5.271	-5.292	-5.313	-5.333	-5.354	-160
-150	-4.913	-4.936	-4.960	-4.983	-5.006	-5.029	-5.052	-5.074	-5.097	-5.119	-5.141	-150
-140	-4.669	-4.694	-4.719	-4.744	-4.768	-4.793	-4.817	-4.841	-4.865	-4.889	-4.913	-140
-130	-4.411	-4.437	-4.463	-4.490	-4.516	-4.542	-4.567	-4.593	-4.618	-4.644	-4.669	-130
-120	-4.138	-4.166	-4.194	-4.221	-4.249	-4.276	-4.303	-4.330	-4.357	-4.384	-4.411	-120
-110	-3.852	-3.882	-3.911	-3.939	-3.968	-3.997	-4.025	-4.054	-4.082	-4.110	-4.138	-110
-100	-3.554	-3.584	-3.614	-3.645	-3.675	-3.705	-3.734	-3.764	-3.794	-3.823	-3.852	-100
-90	-3.243	-3.274	-3.306	-3.337	-3.368	-3.400	-3.431	-3.462	-3.492	-3.523	-3.554	-90
-80	-2.920	-2.953	-2.986	-3.018	-3.050	-3.083	-3.115	-3.147	-3.179	-3.211	-3.243	-80
-70	-2.587	-2.620	-2.654	-2.688	-2.721	-2.755	-2.788	-2.821	-2.854	-2.887	-2.920	-70
-60	-2.243	-2.278	-2.312	-2.347	-2.382	-2.416	-2.450	-2.485	-2.519	-2.553	-2.587	-60
-50	-1.889	-1.925	-1.961	-1.996	-2.032	-2.067	-2.103	-2.138	-2.173	-2.208	-2.243	-50
-40	-1.527	-1.564	-1.600	-1.637	-1.673	-1.709	-1.745	-1.782	-1.818	-1.854	-1.889	-40
-30	-1.156	-1.194	-1.231	-1.268	-1.305	-1.343	-1.380	-1.417	-1.453	-1.490	-1.527	-30
-20	-0.778	-0.816	-0.854	-0.892	-0.930	-0.968	-1.006	-1.043	-1.081	-1.119	-1.156	-20
-10	-0.392	-0.431	-0.470	-0.508	-0.547	-0.586	-0.624	-0.663	-0.701	-0.739	-0.778	-10
0	0.000	-0.039	-0.079	-0.118	-0.157	-0.197	-0.236	-0.275	-0.314	-0.353	-0.392	0
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	0.397	0
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758	0.798	10
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.163	1.203	20
30	1.203	1.244	1.285	1.326	1.366	1.407	1.448	1.489	1.530	1.571	1.612	30
40	1.612	1.653	1.694	1.735	1.776	1.817	1.858	1.899	1.941	1.982	2.023	40
50	2.023	2.064	2.106	2.147	2.188	2.230	2.271	2.312	2.354	2.395	2.436	50
60	2.436	2.478	2.519	2.561	2.602	2.644	2.685	2.727	2.768	2.810	2.851	60
70	2.851	2.893	2.934	2.976	3.017	3.059	3.100	3.142	3.184	3.225	3.267	70
80	3.267	3.308	3.350	3.391	3.433	3.474	3.516	3.557	3.599	3.640	3.682	80
90	3.682	3.723	3.765	3.806	3.848	3.889	3.931	3.972	4.013	4.055	4.096	90
100	4.096	4.138	4.179	4.220	4.262	4.303	4.344	4.385	4.427	4.468	4.509	100
110	4.509	4.550	4.591	4.633	4.674	4.715	4.756	4.797	4.838	4.879	4.920	110
120	4.920	4.961	5.002	5.043	5.084	5.124	5.165	5.206	5.247	5.288	5.328	120
130	5.328	5.369	5.410	5.450	5.491	5.532	5.572	5.613	5.653	5.694	5.735	130
140	5.735	5.775	5.815	5.856	5.896	5.937	5.977	6.017	6.058	6.098	6.138	140
150	6.138	6.179	6.219	6.259	6.299	6.339	6.380	6.420	6.460	6.500	6.540	150
160	6.540	6.580	6.620	6.660	6.701	6.741	6.781	6.821	6.861	6.901	6.941	160
170	6.941	6.981	7.021	7.060	7.100	7.140	7.180	7.220	7.260	7.300	7.340	170
180	7.340	7.380	7.420	7.460	7.500	7.540	7.579	7.619	7.659	7.699	7.739	180
190	7.739	7.779	7.819	7.859	7.899	7.939	7.979	8.019	8.059	8.099	8.138	190

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 9 ***Type K Thermocouple*** *— thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C*

K°C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
						Thermoelectric Voltage in Millivolts						
200	8.138	8.178	8.218	8.258	8.298	8.338	8.378	8.418	8.458	8.499	8.539	200
210	8.539	8.579	8.619	8.659	8.699	8.739	8.779	8.819	8.860	8.900	8.940	210
220	8.940	8.980	9.020	9.061	9.101	9.141	9.181	9.222	9.262	9.302	9.343	220
230	9.343	9.383	9.423	9.464	9.504	9.545	9.585	9.626	9.666	9.707	9.747	230
240	9.747	9.788	9.828	9.869	9.909	9.950	9.991	10.031	10.072	10.113	10.153	240
250	10.153	10.194	10.235	10.276	10.316	10.357	10.398	10.439	10.480	10.520	10.561	250
260	10.561	10.602	10.643	10.684	10.725	10.766	10.807	10.848	10.889	10.930	10.971	260
270	10.971	11.012	11.053	11.094	11.135	11.176	11.217	11.259	11.300	11.341	11.382	270
280	11.382	11.423	11.465	11.506	11.547	11.588	11.630	11.671	11.712	11.753	11.795	280
290	11.795	11.836	11.877	11.919	11.960	12.001	12.043	12.084	12.126	12.167	12.209	290
300	12.209	12.250	12.291	12.333	12.374	12.416	12.457	12.499	12.540	12.582	12.624	300
310	12.624	12.665	12.707	12.748	12.790	12.831	12.873	12.915	12.956	12.998	13.040	310
320	13.040	13.081	13.123	13.165	13.206	13.248	13.290	13.331	13.373	13.415	13.457	320
330	13.457	13.498	13.540	13.582	13.624	13.665	13.707	13.749	13.791	13.833	13.874	330
340	13.874	13.916	13.958	14.000	14.042	14.084	14.126	14.167	14.209	14.251	14.293	340
350	14.293	14.335	14.377	14.419	14.461	14.503	14.545	14.587	14.629	14.671	14.713	350
360	14.713	14.755	14.797	14.839	14.881	14.923	14.965	15.007	15.049	15.091	15.133	360
370	15.133	15.175	15.217	15.259	15.301	15.343	15.385	15.427	15.469	15.511	15.554	370
380	15.554	15.596	15.638	15.680	15.722	15.764	15.806	15.849	15.891	15.933	15.975	380
390	15.975	16.017	16.059	16.102	16.144	16.186	16.228	16.270	16.313	16.355	16.397	390
400	16.397	16.439	16.482	16.524	16.566	16.608	16.651	16.693	16.735	16.778	16.820	400
410	16.820	16.862	16.904	16.947	16.989	17.031	17.074	17.116	17.158	17.201	17.243	410
420	17.243	17.285	17.328	17.370	17.413	17.455	17.497	17.540	17.582	17.624	17.667	420
430	17.667	17.709	17.752	17.794	17.837	17.879	17.921	17.964	18.006	18.049	18.091	430
440	18.091	18.134	18.176	18.218	18.261	18.303	18.346	18.388	18.431	18.473	18.516	440
450	18.516	18.558	18.601	18.643	18.686	18.728	18.771	18.813	18.856	18.898	18.941	450
460	18.941	18.983	19.026	19.068	19.111	19.154	19.196	19.239	19.281	19.324	19.366	460
470	19.366	19.409	19.451	19.494	19.537	19.579	19.622	19.664	19.707	19.750	19.792	470
480	19.792	19.835	19.877	19.920	19.962	20.005	20.048	20.090	20.133	20.175	20.218	480
490	20.218	20.261	20.303	20.346	20.389	20.431	20.474	20.516	20.559	20.602	20.644	490
500	20.644	20.687	20.730	20.772	20.815	20.857	20.900	20.943	20.985	21.028	21.071	500
510	21.071	21.113	21.156	21.199	21.241	21.284	21.326	21.369	21.412	21.454	21.497	510
520	21.497	21.540	21.582	21.625	21.668	21.710	21.753	21.796	21.838	21.881	21.924	520
530	21.924	21.966	22.009	22.052	22.094	22.137	22.179	22.222	22.265	22.307	22.350	530
540	22.350	22.393	22.435	22.478	22.521	22.563	22.606	22.649	22.691	22.734	22.776	540
550	22.776	22.819	22.862	22.904	22.947	22.990	23.032	23.075	23.117	23.160	23.203	550
560	23.203	23.245	23.288	23.331	23.373	23.416	23.458	23.501	23.544	23.586	23.629	560
570	23.629	23.671	23.714	23.757	23.799	23.842	23.884	23.927	23.970	24.012	24.055	570
580	24.055	24.097	24.140	24.182	24.225	24.267	24.310	24.353	24.395	24.438	24.480	580
590	24.480	24.523	24.565	24.608	24.650	24.693	24.735	24.778	24.820	24.863	24.905	590
600	24.905	24.948	24.990	25.033	25.075	25.118	25.160	25.203	25.245	25.288	25.330	600
610	25.330	25.373	25.415	25.458	25.500	25.543	25.585	25.627	25.670	25.712	25.755	610
620	25.755	25.797	25.840	25.882	25.924	25.967	26.009	26.052	26.094	26.136	26.179	620
630	26.179	26.221	26.263	26.306	26.348	26.390	26.433	26.475	26.517	26.560	26.602	630
640	26.602	26.644	26.687	26.729	26.771	26.814	26.856	26.898	26.940	26.983	27.025	640
650	27.025	27.067	27.109	27.152	27.194	27.236	27.278	27.320	27.363	27.405	27.447	650
660	27.447	27.489	27.531	27.574	27.616	27.658	27.700	27.742	27.784	27.826	27.869	660
670	27.869	27.911	27.953	27.995	28.037	28.079	28.121	28.163	28.205	28.247	28.289	670
680	28.289	28.332	28.374	28.416	28.458	28.500	28.542	28.584	28.626	28.668	28.710	680
690	28.710	28.752	28.794	28.835	28.877	28.919	28.961	29.003	29.045	29.087	29.129	690
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

K °C

TABLE 9 ***Type K Thermocouple*** *— thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C*

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
						Thermoelectric Voltage in Millivolts						
700	29.129	29.171	29.213	29.255	29.297	29.338	29.380	29.422	29.464	29.506	29.548	700
710	29.548	29.589	29.631	29.673	29.715	29.757	29.798	29.840	29.882	29.924	29.965	710
720	29.965	30.007	30.049	30.090	30.132	30.174	30.216	30.257	30.299	30.341	30.382	720
730	30.382	30.424	30.466	30.507	30.549	30.590	30.632	30.674	30.715	30.757	30.798	730
740	30.798	30.840	30.881	30.923	30.964	31.006	31.047	31.089	31.130	31.172	31.213	740
750	31.213	31.255	31.296	31.338	31.379	31.421	31.462	31.504	31.545	31.586	31.628	750
760	31.628	31.669	31.710	31.752	31.793	31.834	31.876	31.917	31.958	32.000	32.041	760
770	32.041	32.082	32.124	32.165	32.206	32.247	32.289	32.330	32.371	32.412	32.453	770
780	32.453	32.495	32.536	32.577	32.618	32.659	32.700	32.742	32.783	32.824	32.865	780
790	32.865	32.906	32.947	32.988	33.029	33.070	33.111	33.152	33.193	33.234	33.275	790
800	33.275	33.316	33.357	33.398	33.439	33.480	33.521	33.562	33.603	33.644	33.685	800
810	33.685	33.726	33.767	33.808	33.848	33.889	33.930	33.971	34.012	34.053	34.093	810
820	34.093	34.134	34.175	34.216	34.257	34.297	34.338	34.379	34.420	34.460	34.501	820
830	34.501	34.542	34.582	34.623	34.664	34.704	34.745	34.786	34.826	34.867	34.908	830
840	34.908	34.948	34.989	35.029	35.070	35.110	35.151	35.192	35.232	35.273	35.313	840
850	35.313	35.354	35.394	35.435	35.475	35.516	35.556	35.596	35.637	35.677	35.718	850
860	35.718	35.758	35.798	35.839	35.879	35.920	35.960	36.000	36.041	36.081	36.121	860
870	36.121	36.162	36.202	36.242	36.282	36.323	36.363	36.403	36.443	36.484	36.524	870
880	36.524	36.564	36.604	36.644	36.685	36.725	36.765	36.805	36.845	36.885	36.925	880
890	36.925	36.965	37.006	37.046	37.086	37.126	37.166	37.206	37.246	37.286	37.326	890
900	37.326	37.366	37.406	37.446	37.486	37.526	37.566	37.606	37.646	37.686	37.725	900
910	37.725	37.765	37.805	37.845	37.885	37.925	37.965	38.005	38.044	38.084	38.124	910
920	38.124	38.164	38.204	38.243	38.283	38.323	38.363	38.402	38.442	38.482	38.522	920
930	38.522	38.561	38.601	38.641	38.680	38.720	38.760	38.799	38.839	38.878	38.918	930
940	38.918	38.958	38.997	39.037	39.076	39.116	39.155	39.195	39.235	39.274	39.314	940
950	39.314	39.353	39.393	39.432	39.471	39.511	39.550	39.590	39.629	39.669	39.708	950
960	39.708	39.747	39.787	39.826	39.866	39.905	39.944	39.984	40.023	40.062	40.101	960
970	40.101	40.141	40.180	40.219	40.259	40.298	40.337	40.376	40.415	40.455	40.494	970
980	40.494	40.533	40.572	40.611	40.651	40.690	40.729	40.768	40.807	40.846	40.885	980
990	40.885	40.924	40.963	41.002	41.042	41.081	41.120	41.159	41.198	41.237	41.276	990
1000	41.276	41.315	41.354	41.393	41.431	41.470	41.509	41.548	41.587	41.626	41.665	1000
1010	41.665	41.704	41.743	41.781	41.820	41.859	41.898	41.937	41.976	42.014	42.053	1010
1020	42.053	42.092	42.131	42.169	42.208	42.247	42.286	42.324	42.363	42.402	42.440	1020
1030	42.440	42.479	42.518	42.556	42.595	42.633	42.672	42.711	42.749	42.788	42.826	1030
1040	42.826	42.865	42.903	42.942	42.980	43.019	43.057	43.096	43.134	43.173	43.211	1040
1050	43.211	43.250	43.288	43.327	43.365	43.403	43.442	43.480	43.518	43.557	43.595	1050
1060	43.595	43.633	43.672	43.710	43.748	43.787	43.825	43.863	43.901	43.940	43.978	1060
1070	43.978	44.016	44.054	44.092	44.130	44.169	44.207	44.245	44.283	44.321	44.359	1070
1080	44.359	44.397	44.435	44.473	44.512	44.550	44.588	44.626	44.664	44.702	44.740	1080
1090	44.740	44.778	44.816	44.853	44.891	44.929	44.967	45.005	45.043	45.081	45.119	1090
1100	45.119	45.157	45.194	45.232	45.270	45.308	45.346	45.383	45.421	45.459	45.497	1100
1110	45.497	45.534	45.572	45.610	45.647	45.685	45.723	45.760	45.798	45.836	45.873	1110
1120	45.873	45.911	45.948	45.986	46.024	46.061	46.099	46.136	46.174	46.211	46.249	1120
1130	46.249	46.286	46.324	46.361	46.398	46.436	46.473	46.511	46.548	46.585	46.623	1130
1140	46.623	46.660	46.697	46.735	46.772	46.809	46.847	46.884	46.921	46.958	46.995	1140
1150	46.995	47.033	47.070	47.107	47.144	47.181	47.218	47.256	47.293	47.330	47.367	1150
1160	47.367	47.404	47.441	47.478	47.515	47.552	47.589	47.626	47.663	47.700	47.737	1160
1170	47.737	47.774	47.811	47.848	47.884	47.921	47.958	47.995	48.032	48.069	48.105	1170
1180	48.105	48.142	48.179	48.216	48.252	48.289	48.326	48.363	48.399	48.436	48.473	1180
1190	48.473	48.509	48.546	48.582	48.619	48.656	48.692	48.729	48.765	48.802	48.838	1190
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

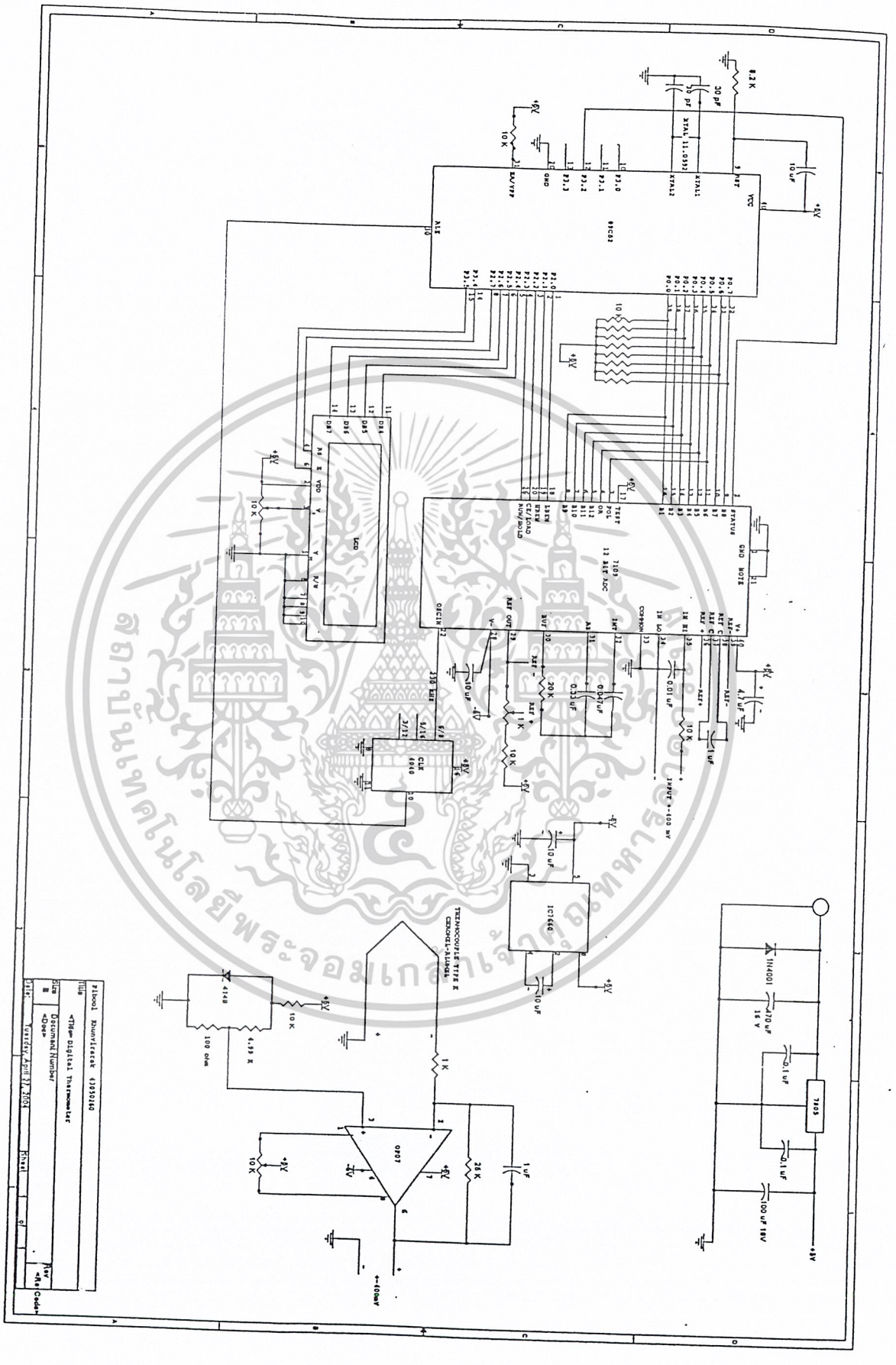
K°C

TABLE 9 ***Type K Thermocouple*** *— thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C*

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
						Thermoelectric Voltage in Millivolts						
1200	48.838	48.875	48.911	48.948	48.984	49.021	49.057	49.093	49.130	49.166	49.202	1200
1210	49.202	49.239	49.275	49.311	49.348	49.384	49.420	49.456	49.493	49.529	49.565	1210
1220	49.565	49.601	49.637	49.674	49.710	49.746	49.782	49.818	49.854	49.890	49.926	1220
1230	49.926	49.962	49.998	50.034	50.070	50.106	50.142	50.178	50.214	50.250	50.286	1230
1240	50.286	50.322	50.358	50.393	50.429	50.465	50.501	50.537	50.572	50.608	50.644	1240
1250	50.644	50.680	50.715	50.751	50.787	50.822	50.858	50.894	50.929	50.965	51.000	1250
1260	51.000	51.036	51.071	51.107	51.142	51.178	51.213	51.249	51.284	51.320	51.355	1260
1270	51.355	51.391	51.426	51.461	51.497	51.532	51.567	51.603	51.638	51.673	51.708	1270
1280	51.708	51.744	51.779	51.814	51.849	51.885	51.920	51.955	51.990	52.025	52.060	1280
1290	52.060	52.095	52.130	52.165	52.200	52.235	52.270	52.305	52.340	52.375	52.410	1290
1300	52.410	52.445	52.480	52.515	52.550	52.585	52.620	52.654	52.689	52.724	52.759	1300
1310	52.759	52.794	52.828	52.863	52.898	52.932	52.967	53.002	53.037	53.071	53.106	1310
1320	53.106	53.140	53.175	53.210	53.244	53.279	53.313	53.348	53.382	53.417	53.451	1320
1330	53.451	53.486	53.520	53.555	53.589	53.623	53.658	53.692	53.727	53.761	53.795	1330
1340	53.795	53.830	53.864	53.898	53.932	53.967	54.001	54.035	54.069	54.104	54.138	1340
1350	54.138	54.172	54.206	54.240	54.274	54.308	54.343	54.377	54.411	54.445	54.479	1350
1360	54.479	54.513	54.547	54.581	54.615	54.649	54.683	54.717	54.751	54.785	54.819	1360
1370	54.819	54.852	54.886									1370

°C 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/*
    tc.c
    digital thermometer

    sensor: Thermocouple Type-K, 40uV/C
    Amplifier: Chopperless DC amplifier, OP-07 GAIN set to 25
    The output will be 1mV/C.
    ADC: 12-Bit integraing type converter, ICL7109
    input range of ADC is +/-400.0mV with 0.1mV resolution
    MCU: 89C52 8-kB Flash Microcontroller
    Display: 16x1 LCD

    Copyright (C) 2004 WICHIT SIRICHOTE kswichit@kmitl.ac.th
*/

#include <8051io.h>
#include <8051reg.h>
#include <8051int.h>
#include <8051bit.h>


#define LBEN P1.7
#define HBEN P1.6
#define CE P1.5
#define RUN P1.4

extern register char tick;
register char star,low_byte, high_byte, ADC, ACCU, timer1;

register int adc_data, temp;

register int x0,x1,x2,x3,x4;

register char buffer[10];

register int temp16;

register int v1,v2,v3,ans1,ans2,ans;

INTERRUPT(_IE0_) adc_interrupt()
{
     clrbit(RUN)    // stop ADC

     clrbit(CE)
     clrbit(LBEN)
     setbit(HBEN)

     low_byte = P0;

     setbit(LBEN)
     clrbit(HBEN)
     high_byte = P0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      adc_data = high_byte&0x0f;  // read only low nibble
      adc_data <<=8;

      adc_data |= low_byte;

     if(high_byte&0x20==0)adc_data *= -1; // negative if POL = 1

      setbit(LBEN)
      setbit(HBEN)
      setbit(CE)
      ADC  = 1;   // data available now

      low_pass_filter_xin();


      calculate_temp();
      adc_to_buffer();
      write_LCD();

      printf("\n %d mV -> %d.%02d Degree Celcius" ,adc_data, ans1,
ans2);

}



adc_to_buffer()
{
  if (ans1> 0){
    temp = ans1;
 } else {
      temp = -ans1;
 }
// buffer[0]= ;
  buffer[1]=temp/100+48;
  temp = temp%100;
  buffer[2]=temp/10+48;
  temp = temp%10;
  buffer[3]=temp/1+48;
  buffer[4]='.';
  buffer[5]=ans2/10+48;
  buffer[6]=0xdf;
  buffer[7]='C';
  buffer[8]=0;
 }

asm_equ()
{
  asm "E  EQU P3.5";
  asm "RS EQU P3.4";
}

pulseE()
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    asm{
        SETB E
        NOP
        CLR E
  }
}

pause(int j)
{
   int i;
   for (i = 0; i < j; i++)
   ;
}

LCDWI(char c)      /* write instruction to instruction register */

{
     ACCU = c; /* use ACCU for interfacing to Assembly */
     asm {
        MOV A,ACCU /* copy ACCU to accumulator */
        CLR RS     /* RS = 0instruction register */
        CLR E
        SWAP A
        MOV P2,A   /* put high nibble first */
        SETB E
        NOP
        CLR  E
        SWAP A
        MOV  P2,A  /* then followed with low nibble */
        SETB E
        NOP
        CLR  E
 }
    pause(1);

}


LCDWD(char c)     /* write data to data register */

{
     ACCU = c; /* use ACCU for interfacing to Assembly */
     asm {
        MOV A,ACCU
        SETB RS   /* write data */
        CLR E
        SWAP A
        MOV P2,A  /* similary put high nibble first */
        SETB E
        NOP
        CLR  E
        SWAP A
        MOV  P2,A    /* then followed with low nibble */
        SETB E
        NOP
        CLR  E
   }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    pause(1);
}

// PORT P2 low nibble P2.0-P2.3 are tied to DB4-DB7!

i_LCD() /* initialize LCD in accordance with Hitachi 44780 4-bit
mode */
{
    asm" CLR RS";
    asm" CLR E";

    P2 = 0X03;
    pulseE();
    delay(10);
    pulseE();
    delay(1);
    pulseE();
    delay(1);
    P2 = 0X02;
    pulseE();
    pulseE();
    pulseE();
    LCDWI(0X28); // set 4-bit bus, 1/16 line, 5*7 dots
    LCDWI(0X0C); // display on/off on display,off cursor, no blink
    LCDWI(0X06); // entry mode DDRAM auto address increment
    LCDWI(1);    // clear display
    delay(5);
}

print_LCD(char a,char *s)
{
   LCDWI(a);   // send address first
   while(*s != 0)// if not found end of string
       LCDWD(*s++); // write to data register and increment pointer
}

put_lcd(char a,char s)
{
   LCDWI(a);
   LCDWD(s);
}

write_LCD()
{
  if (ans1 > 0){
    temp = ans1;
 } else {
      temp = -ans1;
 }
  if (temp < 100)
        buffer[1]=' ';
  if (temp < 10)
        buffer[2]=' ';
  if (ans1 < 0)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        buffer[0]='-';
  if (ans1 > 0)
        buffer[0]='+';

   LCDWI(0x80);
   LCDWD('T');
   LCDWD(' ');
   LCDWD('=');
   LCDWD(' ');
   LCDWD(buffer[0]);
   LCDWD(buffer[1]);
   LCDWD(buffer[2]);
   LCDWD(buffer[3]);
   LCDWI(0xc0);
   LCDWD(buffer[4]);
   LCDWD(buffer[5]);
   LCDWD(buffer[6]);
   LCDWD(buffer[7]);


}

display_tick()
{
    if(++timer1 >5)
 {
      timer1=0;
     star ^=1;
     if(star) put_lcd(0xc7,'*');
         else put_lcd(0xc7,' ');
 }

}

start_adc()
{
  setbit(RUN)  // run ADC if ADC == 0
}

//perform 5-point moving average

low_pass_filter_xin()
{   x4=x3;
    x3=x2;
    x2=x1;
    x1=x0;
    x0=adc_data;
    adc_data=(x0+x1+x2+x3+x4)/5;
}

calculate_temp()
{
  v1=(adc_data*9)/1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    v2=(adc_data*8)/10;
    v3=((adc_data*8)+1954)/100;
    ans  = (v1+v2+v3)/100;
    ans1=((v1+v2+v3)/100)-120;
    ans2=(v1+v2+v3)-(ans*100);
}

main()
{
        delay(10);
        i_LCD();
        print_LCD(0x80,"Thermome");
        print_LCD(0xc0,"ter TC-K");
        delay(1000);

        serinit(9600);

        printf("\n Thermometer type-K");
        LCDWI(1); // clear LCD
        star = ADC = 0;
        IE |= 1;  // enable EX0 interrupt
        TCON |=1; // edge trigger
        ADC = 1;

        for(;;)
  {
         while(tick<10)
           ;
           tick = 0;
           setbit(RUN)
           display_tick();
  }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COLD JUNCTION COMPENSATION:

The temperature reference circuit is shown in Figure 11. The diode voltage has the form

$$V_D = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_{DIODE}}{I_{SAT}}$$

Typically at $T_2 = +25°C$, $V_D = 0.6V$ and $\Delta V_D/\Delta T = -2mV/°C$. R_5 and R_6 form a voltage divider for the diode voltage V_D. The divider values are selected so that the gradient $\Delta V_D/\Delta T$ equals the gradient of the thermocouple at the reference temperature. At +25°C this is approximately $52\mu V/°C$ (obtained from standard thermocouple table); therefore,

$$\Delta V_{TC}/\Delta T = \Delta V_D/\Delta T \left(\frac{R_6}{R_5 + R_6}\right) \quad (2)$$

$$52\mu V/°C = 200\mu V/°C \left(\frac{R_6}{R_5 + R_6}\right)$$

R_5 is chosen as 2kΩ to be much larger than the resistance of the diode. Solving for R_6 yields 51Ω.

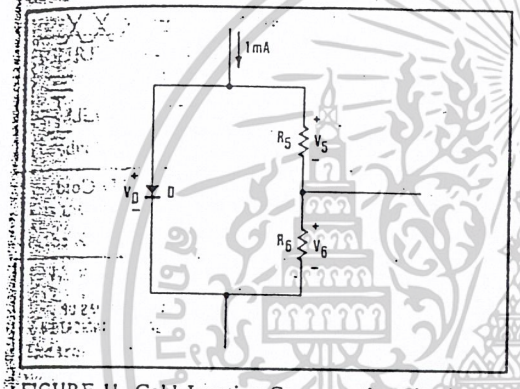


FIGURE 11. Cold Junction Compensation Circuit.

THERMOCOUPLE BURN-OUT INDICATION

In process control applications it is desirable to detect when a thermocouple has burned out. This is typically done by forcing the two-wire transmitter current to either limit when the thermocouple impedance goes very high. The circuits of Figures 16 and 17 inherently have down scale indication. When the impedance of the thermocouple gets very large (open) the bias current flowing into the + input (large impedance) will cause I_O to go to its lower range limit value (about 3.8mA). If up scale indication is desired the circuit of Figure 18 should be used. When the TC opens the output will go to its upper range limit value (about 25mA or higher).

OPTIONAL INPUT OFFSET VOLTAGE TRIM

The XTR101 has provisions for nulling the input offset voltage associated with the input amplifiers. In many applications the already low offset voltages ($30\mu V$ max for the B grade, $60\mu V$ max for the A grade) will not need to be nulled at all. The null adjustment can be done with a potentiometer at pins 1, 2, and 14 as shown in Figures 5 and 6. Either of these two circuits may be used. NOTE: It is not recommended to use this input offset voltage nulling capability for elevation or suppression. See the Signal Suppression and Elevation section for the proper techniques.

OPTIONAL BANDWIDTH CONTROL

Low-pass filtering is recommended where possible and can be done by either one of two techniques shown in Figure 12. C_2 connected to pins 3 and 4 will reduce the bandwidth with a cutoff frequency given by,

$$f_{CO} = \frac{15.9}{(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)(C_2 + 3pF)}$$

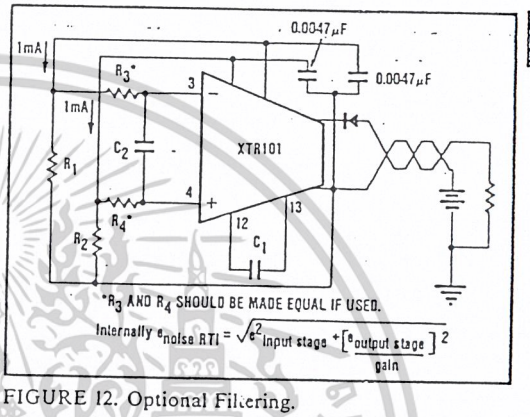


FIGURE 12. Optional Filtering.

This method has the disadvantage of having f_{CO} vary with R_1, R_2, R_3, R_4, and it may require large values of R_3 and R_4. The other method, using C_1, will use smaller values of capacitance and is not a function of the input resistors. It is, however, more subject to nonlinear distortion caused by slew rate limiting. This is normally not a problem with the slow signals associated with most process control transducers. The relationship between C_1 and f_{CO} is shown in the Typical Performance Curves.

APPLICATION CIRCUITS

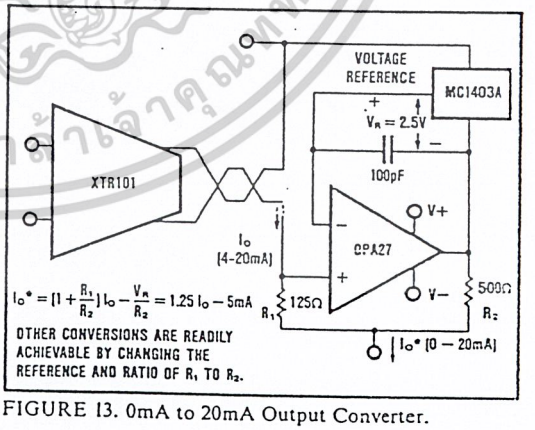
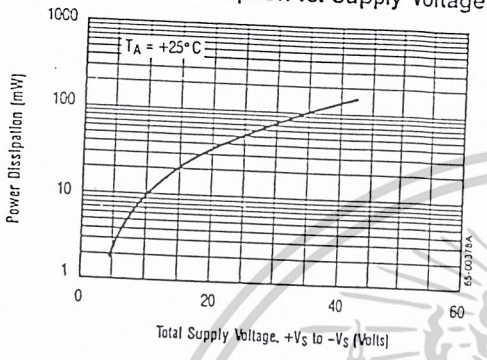


FIGURE 13. 0mA to 20mA Output Converter.

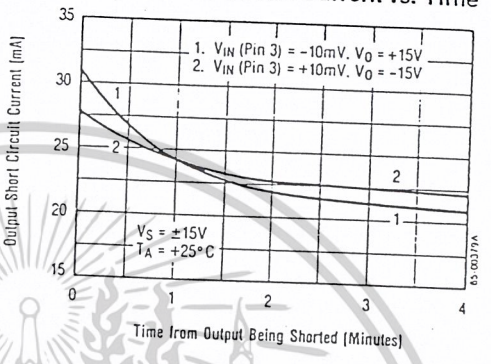
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)

Power Consumption vs. Supply Voltage

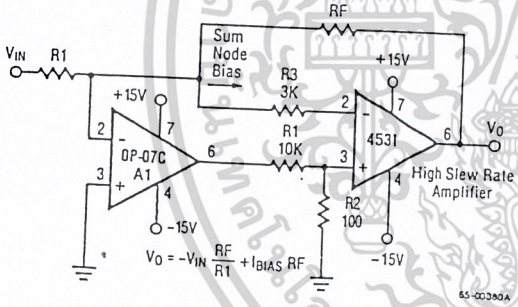


Output Short Circuit Current vs. Time

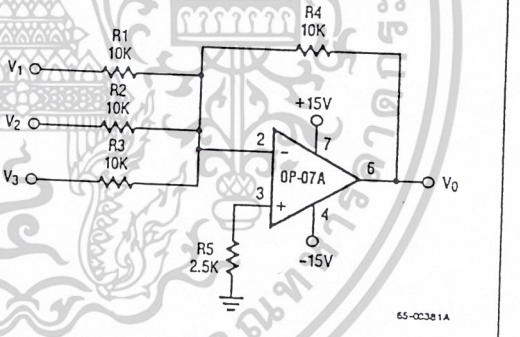


Typical Applications

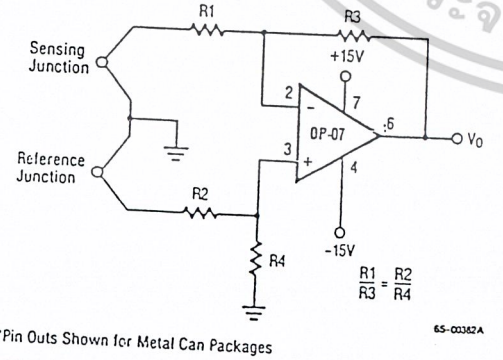
High Speed, Low V_{OS} Composite Amplifier*



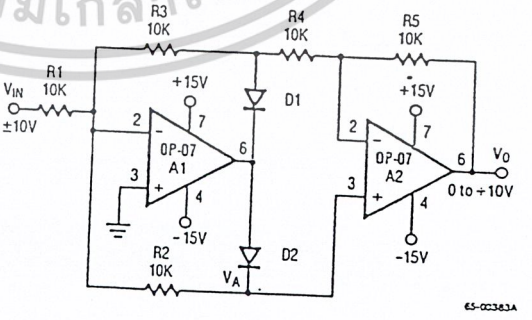
Adjustment-Free Precision Summing Amplifier*



High Stability Thermocouple Amplifier*



Precision Absolute Value Circuit*



*Pin Outs Shown for Metal Can Packages

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Raytheon

Instrumentation Grade Operational Amplifier

OP-07 Series

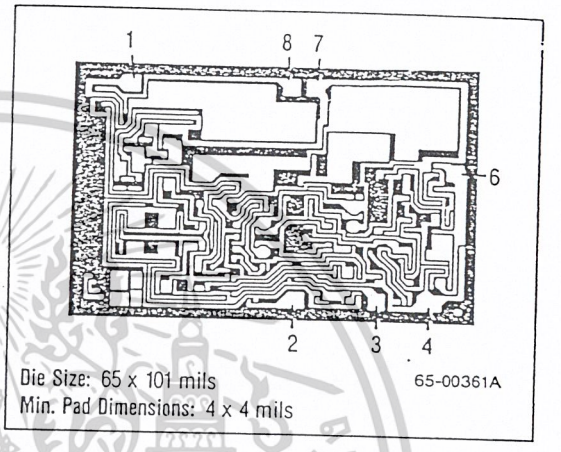
Features

- Low noise 0.1Hz to 10Hz — 0.35μV_{p-p}
- Ultra-low V_{OS} — 10μV
- Ultra-low V_{OS} Drift — 0.2$\mu V/°C$
- Fits 725, 108A, 741, and AD510 sockets
- Long term stability — 0.2μV/Month
- Low input bias current — ±1nA
- High CMRR — 126dB
- Wide input voltage range — ±14V

Description

The OP-07 amplifier series is designed for precision low level signal conditioning where ultra low V_{OS} and T_CV_{OS} are required along with very low bias currents. Internal compensation eliminates the need for external components. Novel circuit design and tight process controls are used to obtain very low values of V_{OS}. V_{OS} is further reduced by a computer controlled digital nulling technique at test. Low frequency noise is minimized. Internal biasing techniques reduce external bias and offset currents to values in the order of ±1nA over the military temperature range. OP-07s are direct replacements for the 108A, 714, 725 and 5507. They can replace chopper stabilized amplifiers in many applications.

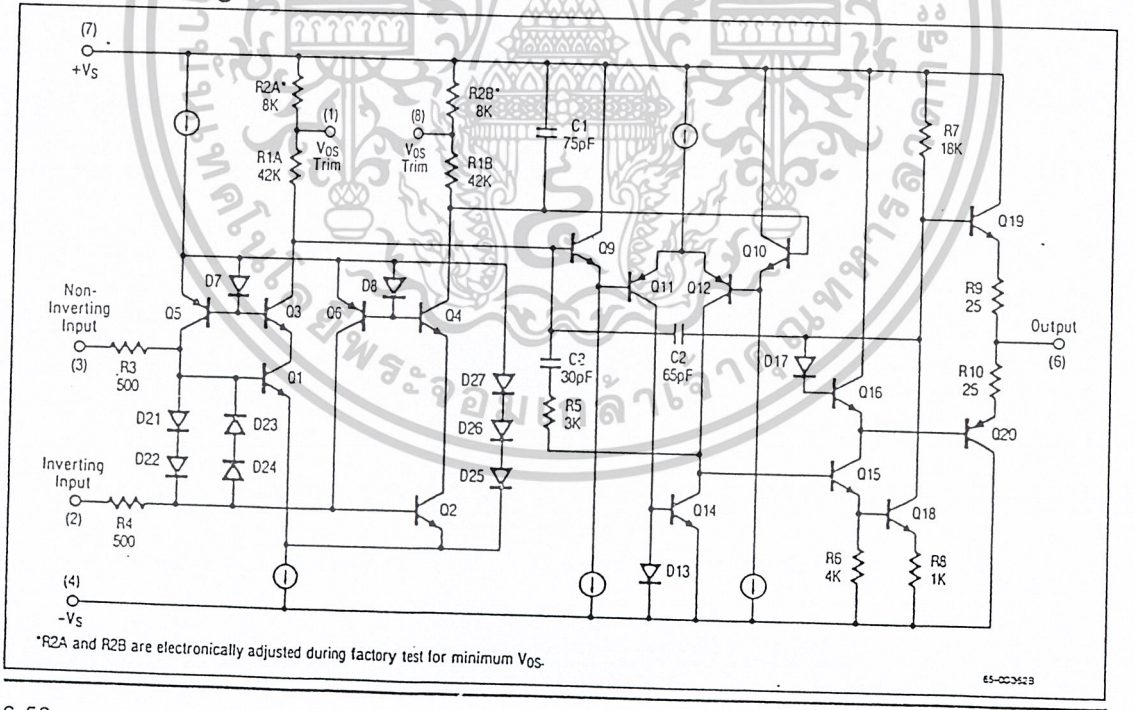
Mask Pattern



Die Size: 65 x 101 mils
Min. Pad Dimensions: 4 x 4 mils

65-00361A

Schematic Diagram



*R2A and R2B are electronically adjusted during factory test for minimum V_{OS}.

65-00362B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้