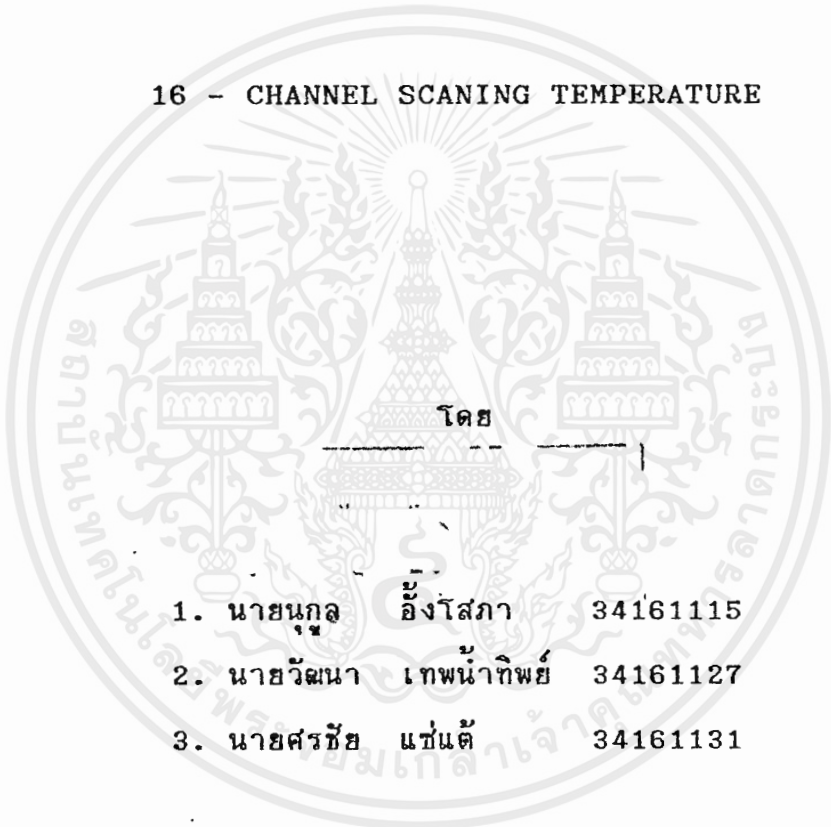




ปีการศึกษา 2535

เครื่องวัดอุณหภูมิ 16 ช่อง

16 - CHANNEL SCANING TEMPERATURE



โดย

1. นายบุญ อิงโสภา 34161115
2. นายวัฒนา เทพน้ำทิพย์ 34161127
3. นายศรัทธัย แซ่ตันดี 34161131

วัดดล

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. วิทยา กิพย์สุวรรณพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032571

ภาควิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

สาขาวิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง

เครื่องวัดอุณหภูมิ 16 ช่อง  
16-Channel Scanning Temperature

ผู้จัดทำ

๑. นายกุล	อึ้งโสภา	๓๔๐๖๑๑๑๕
๒. นายวิวัฒนา	เทพน้ำทิพย์	๓๔๐๖๑๑๑๗
๓. นายศรัชัย	แซ่แต้	๓๔๐๖๑๑๑๓

..... (11/๒๕) .....  
 .....อาจารย์ที่ปรึกษา  
 (อาจารย์วิทยา ทิพย์สุวรรณพร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดอุณหภูมิ 16 ช่อง

นายอนุกุล	อึ้งโสภา	34161115
นายวัฒนา	เทพน้ำทิพย์	34161127
นายศรัชย์	แช่แต่	34161131

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. วิทยา ทิพย์สุวรรณพร

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นเนื้อหาศาสตร์เกี่ยวกับการวัดอุณหภูมิซึ่งใช้ในการวัดและเป็นการนำมาประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการวัดอุณหภูมิ ในโรงงาน อุตสาหกรรม และเป็นการเสนอเทคนิคในการใช้ และเนื้อหาที่สำคัญ เพื่อให้ เข้าใจเกี่ยวกับระบบการวัดอุณหภูมิได้ดียิ่งขึ้น นำเสนอการเอาไปใช้งานของ ตัวตรวจวัดอุณหภูมิ ( Thermocouple ) แต่ละชนิดซึ่งสามารถวัดได้เป็นแรงเคลื่อน ไฟฟ้าระดับต่ำ ๆ ( Low voltage ) นำมาขยายและเปลี่ยนเป็นอุณหภูมิโดย ใช้วิธีการทางด้านอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะทำให้ได้ผลของอุณหภูมิที่ถูก ตีอย่างรวดเร็วและชัดเจนของการวัด ในส่วนที่เสริมเพิ่มขึ้นมา เพื่อให้สามารถวัดได้ 16 ช่อง โดยแต่ละช่อง เป็นอิสระต่อกันสามารถแสดงผลได้ครบ 16 ช่อง

16-CHANNEL SCANING TEMPERATURE

MR. NUKUL AUNGSOPA 34161115

MR. WATTANA TAPNANTIP 34161127

MR. SORNCHAI SAETAE 34161131

ADVISER

VITAYA TIPSUWANPORN

1993

ABSTRACT

This thesis is a fraction of measuring and controlling temperature which is used to apply in a work concerning about measuring temperature in industrial factory. This thesis presents technique for using and important items for better understanding in measuring temperature system. application of these is used with thermocouple which can measure in from of low voltage and then can be changed into temperature by electronic and computer methods. The result of measured temperature obtained from these methods is more clear and corrected.

In addition, these can measure 16 channels. which each channel is independent each others. then result can be show 16 channels.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทคัดย่อ

ABSTRACT

บทนำ

<b>บทที่ 1</b>	<b>ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</b>	
1.1	อุณหภูมิ และมาตราวัดอุณหภูมิ .....	1
1.2	เทอร์โมคอปเปิ้ลแบบมาตรฐาน .....	3
<b>บทที่ 2</b>	<b>วงจรขยาย INSTRUMENTATION AMPLIFIER และ TRANSDUCER</b>	
2.1	DIFFERENTIAL AMPLIFIER .....	7
2.2	COMMON MODE VOLTAGE .....	8
2.3	การสร้างวงจร MEASUREMENT โดยใช้ DIFFERENTIAL .....	9
2.4	การปรับปรุงวงจร DIFFERENTIAL AMPLIFIER .....	10
2.5	INSTRUMENTATION AMPLIFIER .....	12
2.6	การอ้างอิงแรงดัน เอาท์พุท .....	13
<b>บทที่ 3</b>	<b>ทฤษฎีการแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็นดิจิตอลและแปลงดิจิตอล</b>	
3.1	วงจรปรับค่าความต้าน (VARIABLE RESISTOR NETWORK).....	14
3.2	BINARY LADDER .....	18
3.3	ตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก D to A CONVERTER	20
3.4	ความละเอียดและความเที่ยงตรงของ D to A .....	25
3.5	ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล A to D CONVERTER	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4	LCD ( LIQUID CRYSTAL DISPLAY )	
4.1	ส่วนประกอบของ LCD	28
4.2	หน้าที่ของขาต่าง ๆ	29
4.3	การต่อใช้งานของกับ 8051	30
4.4	ค่าสิ่งควบคุมของ LCD	31
4.5	โปรแกรมของอินเทอร์เฟส	34
บทที่ 5	MCS - 51 ไมโครคอนโทรลเลอร์	
5.1	โครงสร้างสถาปัตยกรรม MCS - 51	35
5.2	การจัดการทางสถาปัตยกรรม	41
5.3	หน่วยศูนย์กลางประมวลผลหรือ ซีพียู	42
5.4	การจัดการหน่วยความจำ	47
5.5	ฮอสซิลเลเตอร์ และวงจรมานาฬิกา	48
5.6	ช่องจังหวะเวลาของซีพียู	53
5.7	โครงสร้างพอร์ต และการทำงาน	54
บทที่ 6	การทำงานของจร	
	การทำงานของวงจร	56
	ส่วนของโปรแกรม	60
บทที่ 7	การทดลอง	
	การทดลอง	89
บทที่ 8	บทสรุป	
	สรุปผลการทดลอง	90
	ข้อเสนอแนะ	91

ภาคผนวก

THERMOCOUPLE REFERENCE TABLES	A
MCS-51	O
OP-07	X
ADC 574A	AB



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทนำ

### ความเป็นมา

เครื่องมือวัดอุณหภูมิเป็นส่วนสำคัญ ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งการวัดอุณหภูมินั้นส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับ เรื่องของอุณหภูมิการวัดอุณหภูมิดังกล่าว จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์ ที่มีความแน่นอนและแม่นยำของการวัดอุณหภูมิที่มีประสิทธิภาพ จึงจะสามารถทำให้เกิดผลผลิตที่ต้องการได้ในอดีต เครื่องมือวัดอุณหภูมิมักจะเป็นแบบกึ่งยว ๆ ไม่สลับซับซ้อน และมีการวัดค่าได้เพียงหยาบ ๆ นั่นคือเครื่องมือวัดอุณหภูมิทำหน้าที่ ที่เพียงเพื่อช่วยให้เราทราบถึงค่าตัวแปร ที่ต้องการวัดและเพื่อใช้ในการพิจารณาว่าอุปกรณ์หรือกระบวนการผลิต การทำงานเป็นอย่างไร เช่น ทำให้เราทราบว่าระดับ ของอุณหภูมิ ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมหนึ่งชนิดหรือหลาย ๆ ชนิดเป็นอย่างไรเนื่องจากมีความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ และการพัฒนาทางเทคโนโลยีรวมถึงความเจริญเติบโตทางด้านอุตสาหกรรมที่ทันสมัย จึงทำให้เครื่องมือวัดอุณหภูมิมี บทบาทและความจำเป็นมากขึ้นทุกขณะในทางอุตสาหกรรมที่ทันสมัยในปัจจุบันนั้นมีการ พัฒนาเครื่องมือวัดอุณหภูมิ ที่มีความสามารถในการวัดอุณหภูมิที่มีความถูกต้องแน่นอน ในการวัด และยังสามารถวัดอุณหภูมิได้หลาย ๆ จุดพร้อมกันภายในเวลาเดียวกัน โดยสามารถเลือกดูจาก Display ของเครื่องวัด ว่าต้องการทราบค่าของอุณหภูมิจุด ใด ๆ ของโรงงานอุตสาหกรรมว่ามีอุณหภูมิเป็นเช่นไร ในเวลาที่ต้องการทราบค่าหรือ ตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ ว่ามีอุณหภูมิเกินกำหนดหรือต่ำกว่ากำหนด เราสามารถตรวจสอบและวัดค่าของอุณหภูมิ ได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องแน่นอนเราสามารถตรวจสอบได้จากเครื่องมือวัดอุณหภูมิ 12 ช่องพร้อมระบบแสดงผล

### วัตถุประสงค์

- สร้างเครื่องมือวัดอุณหภูมิ 16 ช่อง พร้อมระบบแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถเลือกวัดอุณหภูมิได้ครั้งละ 1 ช่อง โดยเลือกช่องใดก็ได้
- สามารถต่อกับ Port Rs - 232c และ ออก Printer ได้

### ขอบเขตของโครงการ

- สามารถเลือกวัดอุณหภูมิได้ 16 ช่อง
- สามารถเลือกดูได้ที่ละช่อง

### วิสัยทัศน์การดำเนินการออกเป็น

- การศึกษาเบื้องต้นและกำหนดกระบวนการศึกษา
- ทำการศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์และจัดหาวัสดุ
- ทำการทดลองอุปกรณ์และทำการวิจัยผลการทดลอง
- การเก็บรวบรวมข้อมูลที่ทำการศึกษาทดลอง
- การวิเคราะห์ข้อมูล
- การจัดทำรายงานสรุปผล

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ทำให้เราได้เรียนรู้การทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิ 16 ช่อง พร้อมแสดงผล
- เป็นการพัฒนาเครื่องมือวัดอุณหภูมิจากระบบแมนนัวมาเป็นระบบอัตโนมัติ
- สามารถประยุกต์ใช้กับงานอุตสาหกรรมได้หลายชนิด

# บทที่ 1

## ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 1.1 อุณหภูมิและมาตราวัดอุณหภูมิ

หน่วยวัดและมาตราวัดอุณหภูมิ (Temperature Units and Temperature Scales)

อุณหภูมิเป็นหน่วยมูลฐานที่สำคัญ และ ใช้มากที่สุดค่าหนึ่งในอุตสาหกรรมหน่วยของอุณหภูมิที่ใช้ในปัจจุบันมีหลายหน่วยด้วยกันสำคัญคือเซลเซียส (Celsius) เคลวิน (Kelvin) ฟาเรนไฮต์ (Fahrenheit) เซลเซียส เป็นหน่วยวัดอุณหภูมิที่ตั้งชื่อตามนักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดน Anders Celsius (1707 - 1744) โดยเซลเซียส พบว่า ให้ความดันบรรยากาศน้ำบริสุทธิ์จะมีจุดที่ทางอุณหภูมิอยู่ 2 จุดคือจุดเยือกแข็งของน้ำ และจุดที่น้ำเดือด เขาจึงได้กำหนดจุด 0 องศาที่จุดเยือกแข็งและน้ำ 100 องศาที่จุดเดือดของน้ำ

ฟาเรนไฮต์ เป็นหน่วยวัดอุณหภูมิที่ตั้งชื่อตามนักวิทยาศาสตร์ชาวเดนมาร์ก Daniel Gabriel Fahrenheit (1686 - 1763) โดย ฟาเรนไฮต์ ได้พยายามหาจุดต่ำสุดของอุณหภูมิโดยการทดลองกับสารต่าง ๆ หลาย ๆ อย่างและพบว่า จุดเยือกแข็งของแอมโมเนียมคลอไรด์เป็นจุดต่ำสุดของอุณหภูมิเท่าที่เขาทดลองได้ จึง กำหนดจุดนี้เป็นจุด 0 องศา ส่วนจุดบนของสเกลนั้นเขาพบว่าอุณหภูมิของร่างกายมนุษย์ เป็นจุดที่อุณหภูมิคงที่ จึงกำหนดจุดนี้เป็น 98 องศา สาเหตุที่ไม่กำหนดจุดบนของสเกลเป็น 100 องศาเพราะต้องการให้ค่าเป็นสัดส่วนทวิคูณของ 12 ตามหน่วย อื่น ๆ ที่นิยมในสมัยนี้

ทั้งหน่วยเซลเซียสและฟาเรนไฮต์ ก็เป็นมาตรฐานวัดอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองหาสภาวะคงที่ทางอุณหภูมิของสาร ณ จุดต่าง ๆ ที่อยู่ในย่านบรรยากาศ ของพื้นโลกและสเกลให้เป็นไปตามความสะดวกเหมาะสม มิได้มีหลักการตายตัวอะไร ต่อมา นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษลอร์ดเคลวินเป็นผู้ค้นคิดหน่วยของอุณหภูมิทางวิทยาศาสตร์ขึ้นในปี 1851 เรียกว่า มาตราเคลวิน โดยกำหนดจุดอุณหภูมิศูนย์สัมบูรณ์ ( zero absolute

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

temperature) ขึ้น ณ จุดที่เป็น ideal นี้อิเล็กตรอนใน อะตอมของ สารต่าง ๆ จะหยุดโคจรรอบนิวเคลียส โดยไม่มีพลังงานความร้อนหลงเหลือ อยู่ในสาร นั้น ๆ อีกต่อไปในทางปฏิบัติไม่สามารถทำให้เย็นจัดถึงจุดนี้ได้ (กำหนดได้จากการคำนวณ) และ แบ่งช่วงของมาตราตามมาตราเซลเซียส ระบบหน่วยสากล ( The System International d' Unites) ซึ่งเรียกย่อว่า SI ได้กำหนดหน่วยสากลของอุณหภูมิ เทอร์โมไดนามิกเป็นมาตราเคลวินและเป็นหน่วยอุณหภูมิทั่ว ๆ ไปเป็นเซลเซียส

เปรียบเทียบจุดมาตราอ้างอิง ( reference ) ของมาตราต่าง ๆ

จุดศูนย์สัมบูรณ์	= -273.15 C	= -459.67 F	= 0 K
จุดเยือกแข็งของน้ำ	= 0 C	= 32 F	= 273.15 K
จุดเดือดของน้ำ	= 100 C	= 212 F	= 373.15 K

สูตรการเปลี่ยนมาตราเซลเซียสและฟาเรนไฮต์เป็นมาตราเคลวิน

$$\begin{aligned} \dots K &= \dots C + 273.15 \\ \dots K &= \frac{5(F - 32)}{9} + 273.15 \end{aligned}$$

## 1.2 เทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน

1.2.1 เทอร์โมคัปเปิลแบบ J ( Type J Iron V.S. Constantan )  
เนื่องจากพลาตินัม เป็นธาตุที่ราคาแพงเพื่อที่จะทำให้เทอร์โมคัปเปิลมีราคาถูกลง ได้มีการค้นคว้าหาวัสดุที่มีราคาถูกกว่าใช้แทนพลาตินัม วัสดุที่ทดลองใช้เช่น เหล็ก นิเกิล นิเกิลบริสุทธิ์ เพราะมากในสภาพงานที่เป็น oxidizing การทดลองต่อมาพบว่าโลหะผสมระหว่าง 60 % ของทองแดง + 40 % ของนิเกิล ที่ต่อมาเรียกว่า constantan สามารถแก้ปัญหานี้ได้ เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้สายบวกทำด้วยเหล็ก และสายลบทำด้วย constantan จึงถือกำเนิดขึ้นและต่อมากลายเป็นแบบมาตรฐาน แบบ J

คุณสมบัติเทอร์โมคัปเปิลแบบ J เหมาะสำหรับสภาพงานที่เป็น vacuum, oxidizing, reducing หรือ inert ที่อุณหภูมิไม่เกิน 760 C ไม่เหมาะสำหรับงานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 C และ ที่อุณหภูมิสูงกว่า 538 C (1000 F) สายที่เป็นเหล็กจะเกิด oxidization ด้วยอัตราสูงกว่าปกติมากสำหรับอุณหภูมิที่สูงกว่า 538 C จะต้องใช้สายเทอร์โมคัปเปิลขนาดใหญ่ จะช่วยให้อายุการใช้งานยาวขึ้น จากการทดลองใช้งานภายใน 20 ปี พบว่าส่วนผสมของโลหะเทอร์โมคัปเปิลจะเปลี่ยนไป 0.5 %

1.2.2 เทอร์โมคัปเปิล แบบ K ( Type K Chromel V.S. Alumel )  
เพื่อที่จะทำให้เทอร์โมคัปเปิลสามารถวัดอุณหภูมิได้สูงกว่า แบบ J และมีราคาถูกกว่า จึงได้มีผู้ประดิษฐ์เทอร์โมคัปเปิลแบบใหม่ ที่สายบวกทำจากโลหะผสม ระหว่างนิเกิล 10 % + โครเมียม 90 % และสายลบทำจาก โลหะผสมระหว่าง นิเกิล 95 % + 5 % ของส่วนผสมระหว่าง อลูมิเนียม , แมงกานีส , ซิลิกอน ซึ่งต่อมาได้กลายเป็นแบบมาตรฐานแบบ K เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายมากที่สุด สามารถ ใช้กับสภาวะงาน ที่เป็น oxidizing หรือ inert ได้ดีกว่าแบบอื่น สามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 1260 C (2300 F) และที่อุณหภูมิต่ำถึง -250 C (-420 F) ในสภาพงาน ที่ต้องรับการแผ่รังสีโดยตรงจากแหล่งกำเนิดความร้อนแบบ K ก็สามารถใช้ได้ดีเช่นกัน คุณสมบัติที่เด่นมากของเทอร์โมคัปเปิลแบบ K คือให้แรงเคลื่อนเอาต์พุตสูงกว่าแบบอื่น ๆ

ข้อควรระวัง ไม่ควรใช้เทอร์โมคัปเปิล แบบ K สัมผัสโดยตรงกับ

(1) ในสภาวะงานที่เป็น reducing หรือ เป็นการใช้งานสลับกันระหว่าง oxidizing และ reducing

(2) สภาวะงานที่มี ไอ ของซิลเฟอร์ เพราะซิลเฟอร์จะทำลายโลหะทั้ง  
คู่ของเทอร์โมคัปเปิล โดยเฉพาะสายลบจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

(3) สภาวะงานที่เป็น vacuum ยกเว้นในช่วงระยะเวลาสั้น

ถ้าจำเป็นต้องใช้เทอร์โมคัปเปิลกับสภาพดังกล่าวนี้จะต้องใช้ protecting  
tube ป้องกันเสียก่อน อายุการใช้งานของเทอร์โมคัปเปิลแบบ K นี้ประมาณ 20 ปี  
เพราะหลังจากนั้น ส่วนผสมจะเปลี่ยนไป โดยมีเหล็กเพิ่มขึ้นประมาณ 2 % และมีส่วน  
ผสมบางอย่าง เช่น แมงกานีสจะลดปริมาณลง

1.2.3 เทอร์โมคัปเปิลแบบ T (Type T copper V.S. Constantan)  
เป็นเทอร์โมคัปเปิลแบบที่เหมาะสมสำหรับการวัดอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำสายบวก  
ของเทอร์โมคัปเปิลแบบ T ทำจากทองแดงสายลบทำจากconstantan ในสภาพการใช้งาน  
ปกติสามารถวัดอุณหภูมิได้ต่ำถึง  $-184^{\circ}\text{C}$  แต่อุณหภูมิทางบวก วัดได้ ต่ำกว่าแบบอื่น  
ๆ คือ ประมาณ  $370^{\circ}\text{C}$  เท่านั้น เพราะที่อุณหภูมิสูงกว่า  $370^{\circ}\text{C}$  อัตราการเกิด oxide  
ของโลหะเทอร์โมคัปเปิลจะเพิ่มมากขึ้นเป็นแบบที่ทนการกัดกร่อน ในบรรยากาศที่มีความชื้น  
ได้ดีเป็นพิเศษ และสามารถใช้งานได้ในสภาวะที่เป็น vacuum , oxidizing ,  
reducing หรือ inert ได้ดี

การใช้งานที่ต้องสัมผัสกับการแพร่รังสีโดยตรง จะทำให้ส่วนผสมเทอร์โม  
คัปเปิลเปลี่ยนไปได้ จึงไม่เหมาะกับงานในลักษณะนี้ จากการทดลองใช้งานใน 20 ปี  
ส่วนผสมของนิเกิล และสังกะสีจะเพิ่มขึ้นประมาณ 10 %

1.2.4 เทอร์โมคัปเปิลแบบ E (Type E Chromel V.S. Constantan)  
สายบวกทำจากส่วนผสมระหว่าง 10% ของโครเมียม + 90% ของนิเกิล  
และสายลบทำจาก constantan อุณหภูมิใช้งานปกติอยู่ระหว่าง  $-250^{\circ}\text{C}$  ถึง  $871^{\circ}\text{C}$   
เหมาะกับสภาพงานที่เป็น oxidizing v.คุณสมบัติด้านอื่น ๆ คล้ายกับเทอร์โมคัปเปิล  
แบบ K

1.2.5 แบบของเทอร์โมคัปเปิลที่กล่าวมานี้เป็นแบบมาตรฐาน  
แต่ในปัจจุบัน ได้มีการทดลองนำ โลหะหลายชนิด เช่น ทังสเตนรีเนียว  
ออร์เดียมมาประดิษฐ์เทอร์โมคัปเปิลแบบใหม่ เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ต่างไปจากแบบมาตรฐาน  
ที่มีอยู่ ซึ่งจะได้รับการจัดเป็นแบบมาตรฐานในอนาคตต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) นิโครซิล - นิชิล (นิเกิล , โครเมียม , ซิลิกอน , นิเกิล , ซิลิกอน)  
คุณสมบัติช่วงอุณหภูมิใช้งานจาก - 240 C ถึง 1230 C คุณสมบัติโดยทั่วไปเหมือนแบบ K  
แต่ให้อายุการใช้งานนานและมีเสถียรภาพดีกว่าแบบ K

(2) พลาตินัม 20 % , โรเดียม 80 % - พลาตินัม 5 % , โรเดียม 80 %

(3) พลาตินัม 40 % , โรเดียม 60 % - พลาตินัม 20 % , โรเดียม 80 %

(4) พลาตินัม 13 % , โรเดียม 87 % - พลาตินัม 1 % , โรเดียม 99 %

(5) พลาตินัม 15 % , เออร์เดียม 85 % - พาลาเดียม ให้แรงเคลื่อน  
เอาท์พุทสูงกว่าแบบที่มีส่วนผสมพลาตินัมชนิดอื่น ๆ

(6) พลาตินัม 5 % , โมลิบดีนัม 95 % - โมลิบดีนัม 99.9 % , พลาตินัม  
0.1 % ทำให้คุณสมบัติการรับภาระแผ่รังสีโดยตรงจากแหล่งกำเนิดความร้อนได้ดีกว่าแบบที่  
มีส่วนผสมพลาตินัมชนิดอื่น

(7) เออร์เดียม 40 % , โรเดียม 60 % - โรเดียม สามารถวัดอุณหภูมิ  
ได้สูงถึง 1830 C

(8) ทังสเตน - ทังสเตน 74 % , รีเนียม 26 %

(9) ทังสเตน 97 % , รีเนียม 3 % - ทังสเตน 75 , รีเนียม  
25 % สามารถวัดอุณหภูมิได้สูงถึง 2760 C

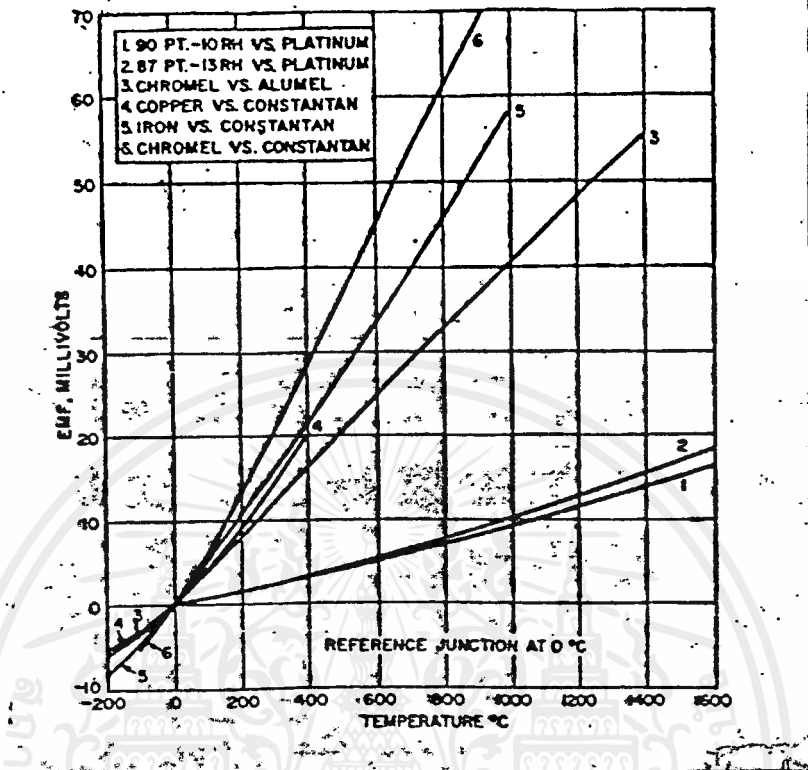
(10) ทังสเตน 95 % , รีเนียม 5 % - ทังสเตน 74 % , รีเนียม 26 %

(11) ทองแดง - ทอง 97.89 % , โคบอลต์ 2.11 %

สำหรับ วัดอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำถึงจุด C สัมบูรณ์ แต่ไม่เหมาะสำหรับการ  
วัดอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศปกติ

(12) โครเมล - ทอง 99.03 % , เหล็ก 0.07 % สำหรับการวัดอุณหภูมิ  
ที่มีค่าเป็นลบมาก ๆ ให้แรงเคลื่อนเอาท์พุทสูง และมีเสถียรภาพดี

กราฟแสดงการเปรียบเทียบเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน



รูปที่ 1.1 แสดงแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากผลต่างของอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานทั้ง 4 แบบ

แบบ	ส่วนผสม	ย่านอุณหภูมิใช้งาน		แรงเคลื่อนไฟฟ้า ที่ได้ mV
		°C	°F	
J	เหล็ก/คอนสแตนแตน	-210 to 760	-350 to 1400	-8.096 to 42.922
K	โครเมล/อลูเมล	-270 to 1372	-450 to 2500	-6.458 to 54.875
T	ทองแดง/คอนสแตนแตน	-270 to 400	-450 to 750	-6.258 to 20.869
E	โคเมล/คอนสแตนแตน	-270 to 1000	-450 to 1830	-9.835 to 76.358

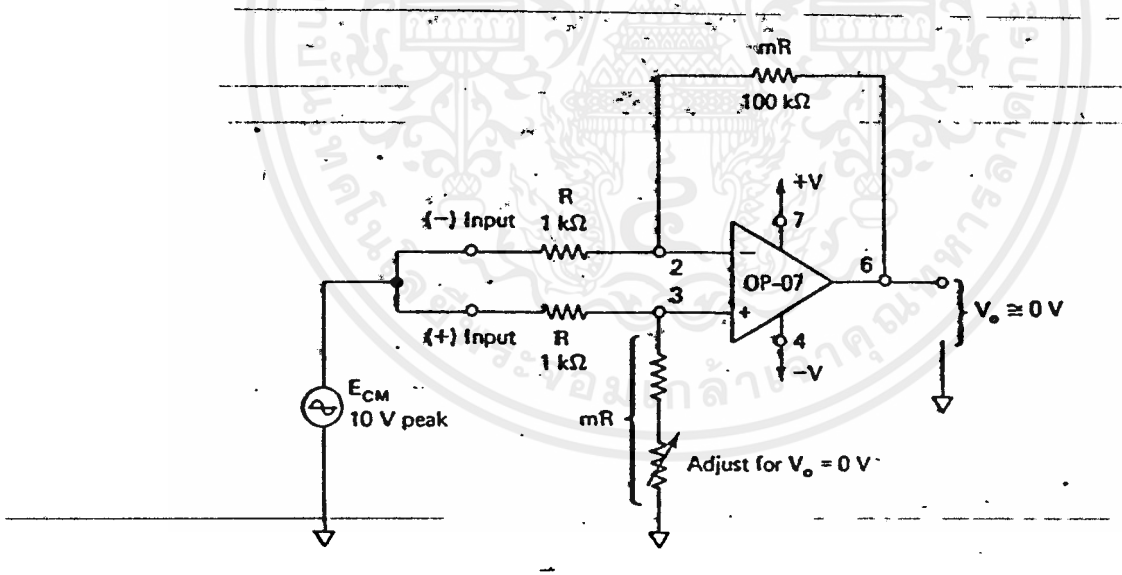
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 - แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดจากจุดเยือกแข็งของน้ำ  
 ไม่ว่าจะกรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางกรมการไฟฟ้า

## บทที่ 2

### วงจรขยาย INSTRUMENTATION AMPLIFIER และ TRANSDUCER

วงจร INSTRUMENTATION AMPLIFIER มีความสำคัญมากในการที่ขยายสัญญาณที่ได้จาก TRANSDUCER ที่มีขนาดสัญญาณน้อย ๆ ซึ่งปัจจุบันมีชิพไอซีสำเร็จรูปให้ใช้อยู่ทั่วไป แต่จะมีราคาค่อนข้างสูง ในโครงการนี้ใช้ OP-AMP มาประกอบเป็นวงจร INSTRUMENTATION AMPLIFIER โดยจะพิจารณาเป็นส่วน ๆ ต่อไป

#### 2.1 DIFFERENTIAL AMPLIFIER



รูปที่ 2.1 BASIC DIFFERENTIAL AMPLIFIER

จากรูปเป็นวงจร BASIC DIFFERENTIAL AMP ซึ่งอินพุตจะถูกป้อนเข้าที่ขา (-) และ (+) ถ้าเราลัดวงจรที่สัญญาณอินพุต  $E_1$  จะเห็นว่านั่นคือวงจรเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

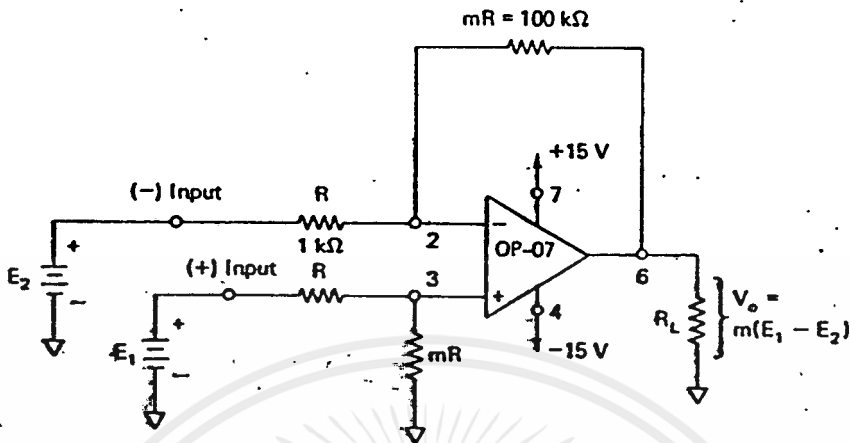
INVERTING AMP โดยสัญญาณอินพุต E2 จะป้อนให้กับขา INVERTING ซึ่งมี GAIN เท่ากับ  $-mE2$  ในทางตรงข้ามถ้าหากลัดวงจรสัญญาณอินพุต E2 แล้ว จะเห็นว่า E1 จะถูกแบ่งแรงดัน ( DIVIDEN ) ออกระหว่าง R และ mR ดังนั้นที่ขา NON-INV (+) จะมีแรงดันที่ป้อนให้กับวงจร NONINVERTINGAMP จะเท่ากับ  $mE1/(1+m)$  โดยที่วงจรมี GAIN เท่ากับ  $(1+m)$  ดังเอาท์พุทที่ได้จะเท่ากับ  $mE1$  เมื่อป้อนอินพุททั้งสองให้แก่วงจรพร้อมกัน เอาท์พุทที่ได้จะเท่ากับ  $mE1-mE2$  หรือ

$$V_o = mE1 - mE2 = m(E1-E2) \dots\dots\dots(1)$$

จากสมการที่ 1 แสดงเอาท์พุทของวงจร DIFFERENTIAL AMP ซึ่ง  $V_o$  จะขยายสัญญาณที่แตกต่างกันของสัญญาณอินพุทที่ขา (-) และ (+) โดยมี GAIN เท่ากับ  $m$  หรือที่เรียกว่า DIFFERENTIAL GAIN ซึ่ง สามารถเช็ค ค่าอัตราขยายได้ที่  $mR$  จะเห็นว่าเมื่อป้อนอินพุททั้งสองเท่ากัน เอาท์พุทจะเป็น 0 หรือที่เรียกว่า COMMON MODE VOLTAGE

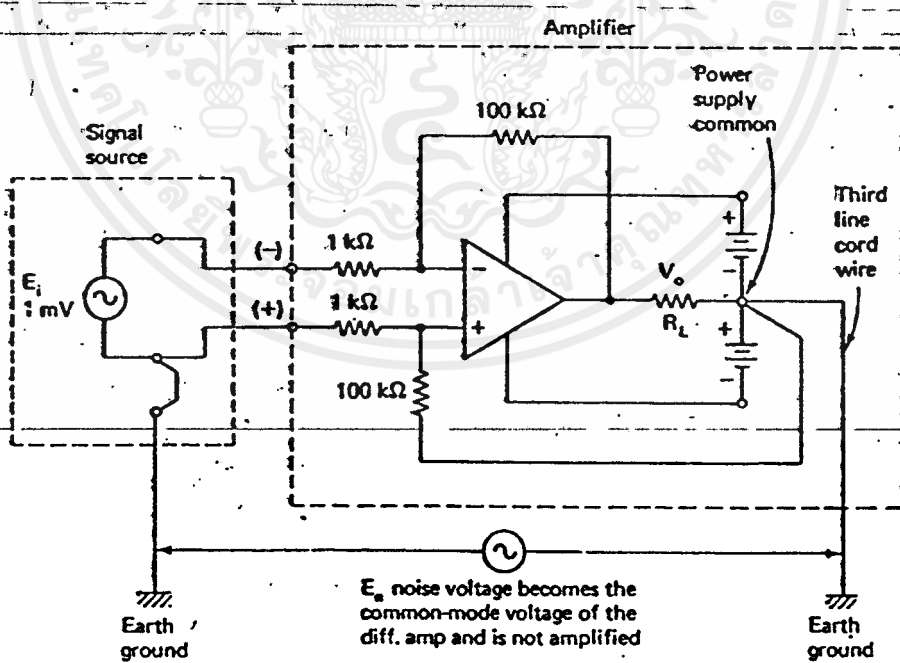
**2.2 COMMON MODE VOLTAGE**

จากที่กล่าวมาเอาท์พุทของ DIFFERENTIAL AMP เป็น 0 V เมื่อ E1 เท่ากับ E2 ในรูปที่ 2.1 จะเห็นว่า สัญญาณอินพุทถูกต่อรวมกันอยู่เรียกว่า COMMON MODE INPUT VOLTAGE หรือ  $E_{cm}$  ดังนั้น  $V_o$  เป็น 0 V เมื่อ  $mR$  และ R ที่เป็น INVERTING GAIN มีค่าเท่ากับ  $mR$  และ R ของ VOLTAGE DIVIDER NETWORK ในทางปฏิบัติจะต่อ ความต้านทานปรับค่าได้ออกฤทธิ์ที่  $mR$  ของ VOLTAGE DIVDER ดังรูปที่ 2.1 และจะปรับค่าความต้านทานนั้นจนกระทั่ง  $V_o = 0 V$  ซึ่ง จะทำให้ COMMON MODE VOLTAGE GAIN (  $V_o/E_{cm}$  ) มีค่าเป็น 0 นั้นเป็น HARACTERISTIC ของวงจร DIFFERENTIAL AMP ที่จะยอมให้สัญญาณอินพุทที่มีขนาดต่างๆผ่านเข้าวงจรได้ แต่จะกำจัดสัญญาณรบกวนที่มีขนาดสูงออกไป



รูปที่ 2.2 COMMON MODE VOLTAGE GAIN

2.3 การสร้างวงจร MEASUREMENT โดยใช้ DIFFERENTIAL



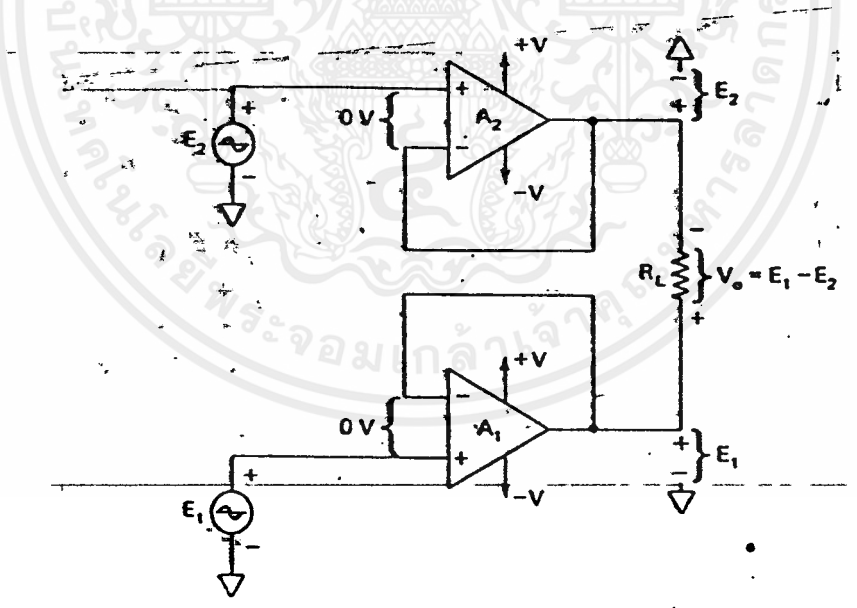
รูปที่ 2.3 การกำจัดสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AMPLIFIER ในรูปที่ 2.3 สัญญาณอินพุต  $E_i$  ต่อเข้ากับขา (+) และ (-) ของวงจร DIFFERENTIAL AMP ซึ่งมีอัตราขยายเท่ากับ  $-100$  สัญญาณรบกวนซึ่งอาจเกิดจาก LEAKAGE RESISTANCE, CAPACITANCE COUPLING ลงกราวด์ หรือกราวด์ลูป เหล่านี้จะกลายเป็น COMMON MODE INPUT ของ DIFFERENTIAL AMP ดังนั้น สัญญาณรบกวนเหล่านี้จะไม่ถูกขยายออกไป

### 2.4 การปรับปรุงวงจร DIFFERENTIAL AMPLIFIER

ในวงจร DIFFERENTIAL AMP จะมีความต้านทานทางด้านอินพุตค่อนข้างต่ำ และการเปลี่ยนแปลงอัตราขยายนั้นยุ่งยากมาก เพราะค่า RESISTANCE RATIO จะต้องสัมพันธ์กันในการปรับปรุงวงจรนี้ จึงพิจารณาที่สิ่งเหล่านี้ การเพิ่มความต้านทานทางด้านอินพุตนั้นสามารถทำได้โดย เพิ่ม BUFFER ให้แก่อินพุตของวงจร โดยใช้ OP-AMP ดังรูปที่ 2.4 จะเห็นว่า  $V_o$  ที่  $R_L$  ได้รับจะเท่ากับ  $E_1 - E_2$  เหมือนเดิม



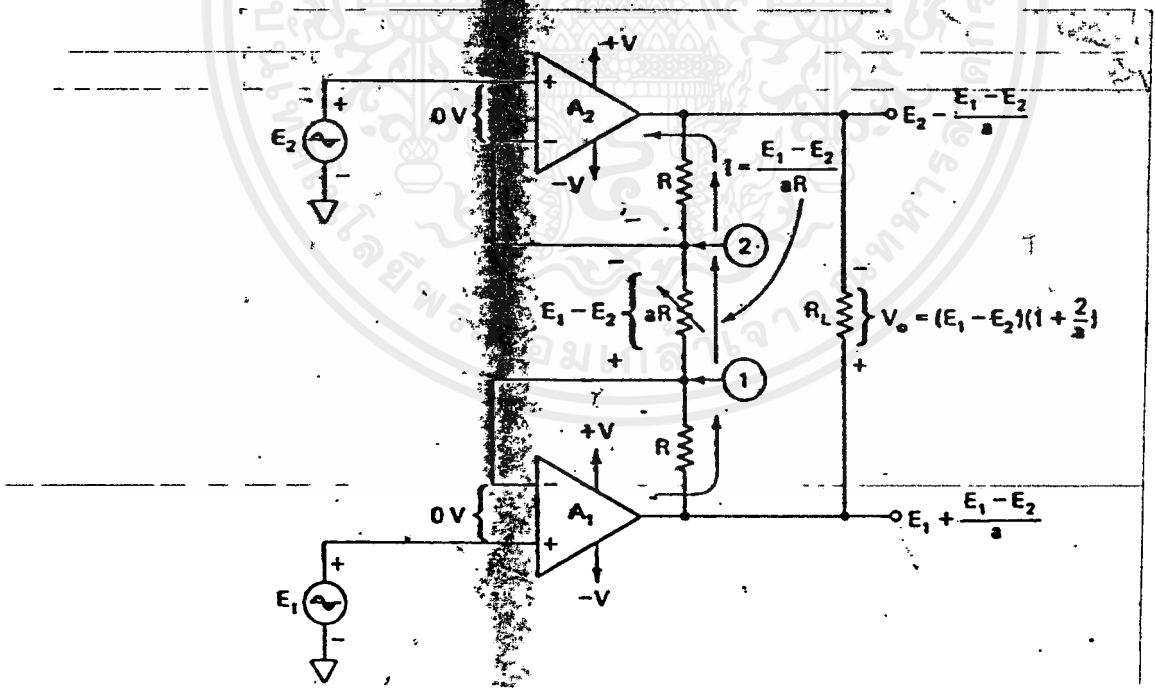
รูปที่ 2.4 BUFFER DIFFERENTIAL-INPUT TO DIFFERENTIAL-OUTPUT AMPLIFIER

การปรับอัตราขยายของวงจรสามารถทำได้โดย เพิ่ม R ให้ แก่วงจร BUFFER ดังรูปที่ 2.5 จะเห็นว่า DIFFERENTIAL INPUT VOLTAGE ของ OP-AMP แต่ละตัวมีค่าเป็น 0 V แรงดันที่จุด 1 และ 2 ในรูปจะเทียบกับ E1 และ E2 ดังนั้น แรงดันที่ตกคร่อม aR จะเท่ากับ E1-E2 ซึ่งเราจะนำเอา aR นี้มาใช้ในการปรับค่า อัตราขยายของวงจร กระแสที่ผ่าน aR จะได้เป็น

$$I = ( E_1 - E_2 ) / aR \dots\dots\dots (2)$$

เมื่อ E1 มีค่าเป็นบวกมากกว่า E2 ทิศทางของกระแสจะไหลดังรูปที่ 2.5 โดยผ่าน R ทั้งสามตัว และแรงดันที่ตกคร่อม R ทั้งสามก็คือ Vo นั่นเอง ดังนั้นเราสามารถปรับอัตราขยายของวงจรได้ที่ aR จะได้ว่า

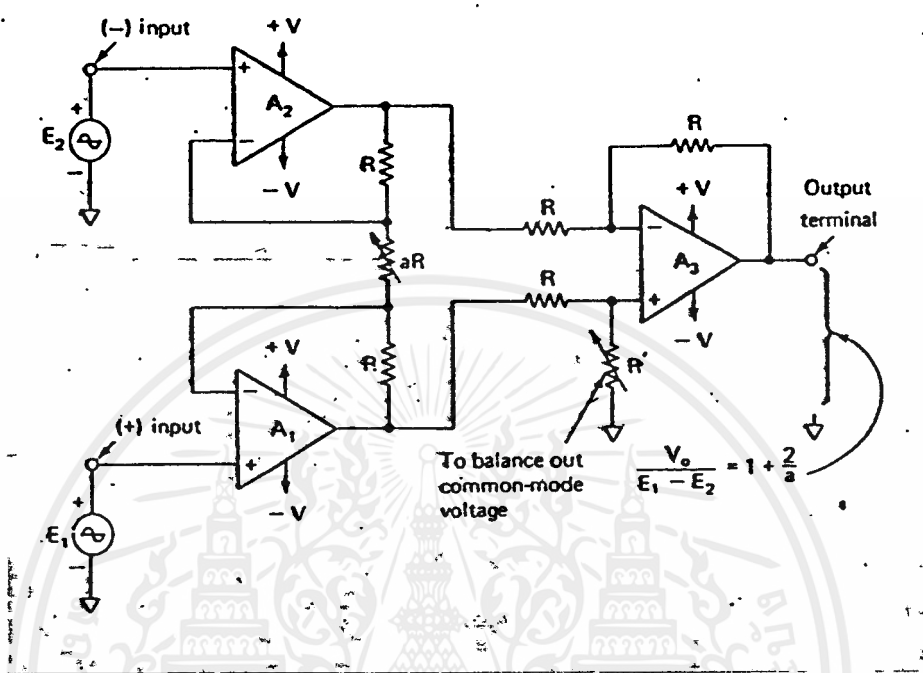
$$V_o = ( E_1 - E_2 ) ( 1 + 2 / a ) \dots\dots\dots (3)$$



รูปที่ 2.5 BUFFER DIFFERENTIAL-INPUT TO DIFFERENTIAL-OUTPUT AMPLIFIER WITH ADJUSTABLE GAIN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5 INSTRUMENTATION AMPLIFIER



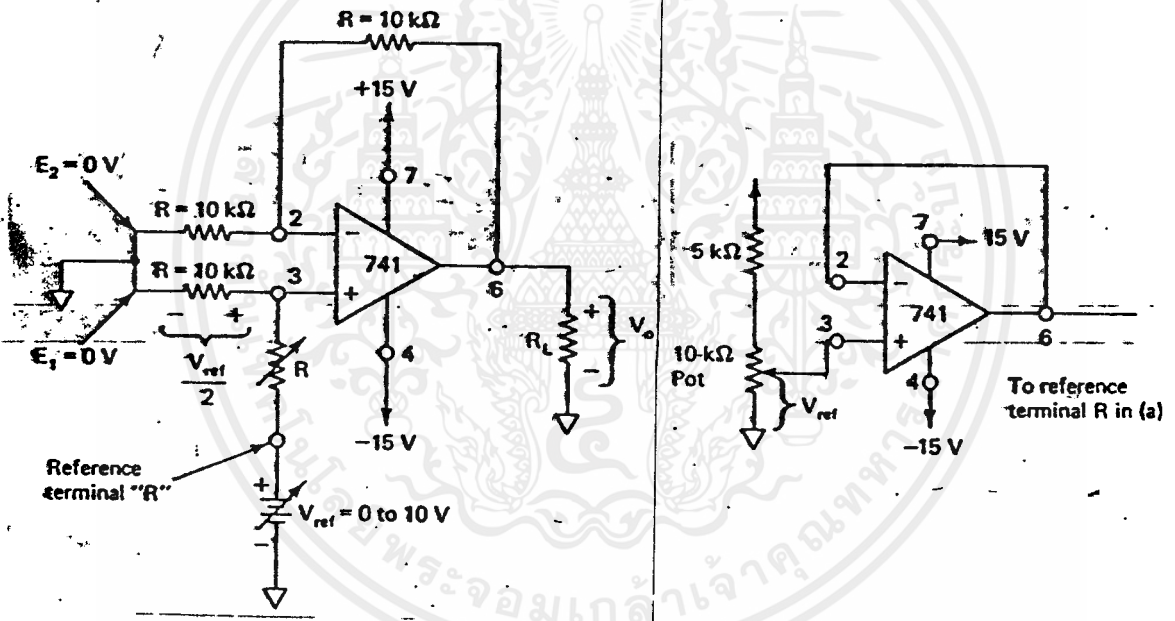
รูปที่ 2.6 INSTRUMENTATION AMPLIFIER

ในรูปเป็นวงจร INSTRUMENTATION AMPLIFIER โดยนำเอาส่วนต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นมาประกอบกัน โดยให้ R มีค่าเท่ากัน จะเห็นว่าที่ A<sub>3</sub> มี R ซึ่งใช้ในการปรับให้ COMMON MODE INPUT VOLTAGE มีค่าเป็น 0 V และมี aR ใช้ในการปรับอัตราขยายของวงจร เราสามารถสรุปคุณสมบัติของวงจรได้คือ

- (1) VOLTAGE GAIN ที่ได้จาก DIFFERENCE INPUT (E<sub>1</sub>-E<sub>2</sub>) ต่อ SINGLE ENDED OUTPUT สามารถปรับได้ที่ aR
- (2) V<sub>O</sub> จะไม่ขึ้นอยู่กับ VOLTAGE COMMON ของ E<sub>1</sub> และ E<sub>2</sub> แต่จะขึ้นอยู่กับ DIFFERENTIAL VOLTAGE
- (3) มีค่าความต้านทานทางด้านอินพุตสูง

### 2.6 การอ้างอิงแรงดันเอาต์พุต

ในการปรับให้เอาต์พุตของวงจร ที่มีระดับแรงดันอ้างอิงมีค่ามากกว่า 0V สามารถทำได้โดยการเพิ่มแรงดันอ้างอิง ( $V_{ref}$ ) ต่อนุกรมเข้ากับวงจร BASIC DIFFERENTIAL AMP ดังรูป 2.7 จ สมมุติว่า  $E_1$  และ  $E_2$  เป็น 0 V เอาต์พุตของ  $A_1$  และ  $A_2$  จะเป็น 0 V เมื่อเพิ่มแรงดันอ้างอิง ( $V_{ref}$ ) ให้แก่วงจรโดยป้อนให้แก่ขา (+) ของ BUFFER ในรูปที่ 2.8 และเอาต์พุตของ BUFFER ต่อเข้ากับ TERMINAL R จะได้ว่า



รูปที่ 2.7  $V_o=0$  เมื่อ  $E_1=E_2=0$       รูปที่ 2.8  $V_{ref}$  ที่ป้อนที่ terminal R

$$V_o = V_{ref} + m ( E_1 - E_2 ) \dots\dots\dots (4)$$

แต่  $E_1$  เท่ากับ  $E_2$  ดังนั้น  $V_o = V_{ref}$  จะเห็นได้ว่าเมื่อป้อน  $V_{ref}$  จะเห็นได้ว่าเมื่อป้อน  $V_{ref}$  ให้แก่วงจรที่ค่าใด ก็จะเป็นการปรับ OFFSET ให้กับเอาต์พุตของวงจรเท่ากับค่า  $V_{ref}$  นั้นนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### ทฤษฎีการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลและแปลงดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก

#### ANALOG(A) TO DIGITAL(D) AND DIGITAL(D) TO ANALOG(A)

การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก เป็นการแปลง ข้อมูลหรือข่าวสารทางดิจิทัลให้เป็นข้อมูลในทางอนาล็อก เช่น เอาท์พุท ของระบบดิจิทัลจะต้องเปลี่ยนเป็นอนาล็อกเสียก่อน ในการที่จะใช้ขับปากกาเรคคอร์ดเดอร์ (recoder) โดยใช้ D to A converter หรือสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลเป็นสิ่งจำเป็นมาก สำหรับการประมวลผลทางดิจิทัล ขบวนการของการแปลงสัญญาณอนาล็อกนั้น ทำได้โดยใช้ A to D converter ซึ่งถูกใช้สำหรับแปลงสัญญาณอนาล็อก จากเอาท์พุทของทรานสดิวเซอร์ (transducer) ไปเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อใช้ป้อนเข้ายังระบบดิจิทัล การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก เป็นขบวนการที่ทำได้โดยตรง และทำได้ง่ายกว่าการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

#### 3.1 วงจรปรับค่าความต้าน (VARIABLE RESISTOR NETWORK)

ปัญหาพื้นฐานในการแปลงสัญญาณดิจิทัลไปเป็นสัญญาณอนาล็อกคือ การเปลี่ยนระดับของดิจิทัลโวลท์เตจ (digital voltage) ค่าใดๆไปเป็นอนาล็อกโวลท์เตจ (analog voltage) ที่เหมาะสมซึ่งเราแก้ไขปัญหานี้ได้โดยการออกแบบวงจรปรับความต้านทานที่สามารถเปลี่ยนแต่ละระดับ ของสัญญาณดิจิทัลไปเป็น -binary weight equivalent voltage ตัวอย่างในการพิจารณา อะไรคือความหมายของ equivalent binary weight ให้พิจารณาได้จากตารางความจริง (truth table) สำหรับสัญญาณไบนารี 3, บิต ดังรูปที่ 3.1 สมมุติว่าเราต้องการเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลทั้ง 8 ค่าดังในรูปเป็นอนาล็อกโวลท์เตจ จำนวนน้อยที่สุดที่แสดงไว้ในรูปคือ "000" ที่ดิจิทัลว่านี้เราต้องการแปลงให้เป็นอนาล็อกโวลท์เตจเท่ากับ "0" โวลท์ และจำนวนที่มากที่สุดคือ "111" ต้องการเปลี่ยนเป็นอนาล็อกเท่ากับ 7 โวลท์ การทำเช่นนี้เป็นการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดย่านของสัญญาณอนาล็อกที่เราต้องการ จากตารางที่ 3.2 เราจะเห็นว่าระหว่างค่า "000" กับ "111" นั้นสามารถแบ่งออกเป็น 7 ระดับด้วยกัน ดังนั้นสัญญาณอนาล็อกที่ได้ จะถูกแบ่งออกเป็น 7 ระดับเช่นกันการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นน้อยที่สุดของสัญญาณดิจิทัลอยู่ที่บิตต่ำสุด ( LSB ) ดังนั้น บิตนี้จะทำให้การเปลี่ยนแปลงของอนาล็อกเอาต์พุตเท่ากับ  $1/7$  ของค่าเต็มสเกล ( FULL SCALE ) R DIVIDER ถูกกำหนดให้เป็น "1" ในตำแหน่ง  $2^0$  ซึ่งจะทำให้อนาล็อกเอาต์พุตเท่ากับ  $7 * 1/7 = 1$  โวลต์

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าไบนารี 3 บิต

$2^2$	$2^1$	$2^0$	DEC
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	2
0	1	1	3
1	0	0	4
1	0	1	5
1	1	0	6
1	0	1	7

พิจารณาที่บิต  $2^1$  เราจะเห็นได้ว่าเป็นที่บิต  $2^1$  มีค่าเป็นสองเท่าของบิต  $2^0$  ดังนั้น บิต  $2^1$  จะทำให้การเปลี่ยนแปลงของอนาล็อกเอาต์พุตโวลต์เด่นเป็นสองเท่าของ LSB และค่า Resistive Divider จะทำให้อนาล็อกเอาต์พุตโวลต์เด่นเท่ากับ  $7 * 2/7$  เท่ากับ โวลต์ ในการพิจารณาที่บิตอื่นก็ใช้หลักการเดียวกันจากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจะเห็นว่า บิตต่ำสุดจะให้ Weight เท่ากับ  $1/7$  บิต  $2^1$  เท่ากับ  $2/7$  ผลรวมของ Weight ทั้งหมดจะเท่ากับ 1 โดยทั่วไปแล้ว Binary Weight ที่บิตต่ำสุดจะเขียนเป็นสมการได้คือ

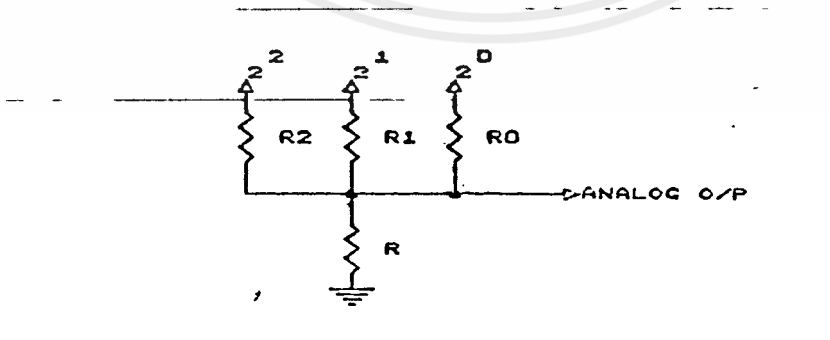
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 BINARY EQUIVALENT WEIGHTS

BIT	WEIGHT	BIT	WEIGHT
$2^0$	$1/7$	$2^0$	$1/15$
$2^1$	$2/7$	$2^1$	$2/15$
$2^2$	$4/7$	$2^2$	$4/15$
		$2^3$	$8/15$

$1/2^{n-1}$  เมื่อ  $n$  คือจำนวนบิตต่อไปเราจะหาค่าของ resistive divider สำหรับ ดิจิตอล 3 บิต ดังตารางที่ 3.2

สมมุติดิจิตอลอินพุตมีค่า "000" ต้องการอนาล็อกเอาต์พุตเท่ากับ 0 โวลต์ และ "111" เท่ากับ 7 โวลต์ เพราะฉะนั้นสำหรับอินพุต "001" จะได้เอาต์พุตเท่ากับ 1 โวลต์ในทำนองเดียวกัน—เมื่ออินพุตเท่ากับ "010" จะได้ออนาล็อกเอาต์พุตเท่ากับ 2 โวลต์สำหรับค่าอื่น ๆ ก็เช่นกันจะได้ออนาล็อกเอาต์พุตตาม ตารางที่ 3.2 Resistive Divider จะต้องทำหน้าที่สองอย่างด้วยกัน เพื่อจะเปลี่ยนดิจิตอลอินพุตไปเป็นอนาล็อกเอาต์พุตโวลต์เตจ คือ



รูปที่ 3.3 RESISTIVE DIVIDER

1. บิต 2 จะต้องเปลี่ยนเป็น 1 โวลต์ บิต  $2^1$  เท่ากับ 2 โวลต์ และ บิต  $2^2$  เท่ากับ 4 โวลต์
2. โวลต์เตจทั้งสามค่านี้ ที่แสดงดิจิตอลบิต เมื่อรวมกันแล้วจะได้อนาล็อก เอาท์พุทโวลต์เตจรูปที่ 3.3 แสดงถึง Resistive Divider ที่สมบูรณ์ของตัว อย่างนี้  $R_0$ ,  $R_1$  และ  $R_2$  ต่อแบบ Divider Network ความต้านทาน  $R_1$  เป็นโหลดสมมุติว่าดิจิตอลอินพุทเท่ากับ "001" เราสามารถเขียนวงจรสมมูลย์ (equivalent circuit) ได้ดังรูปที่ 3.4 อนาล็อกเอาท์พุทโวลต์เตจ สามารถหาได้ โดยใช้ MILLMAN 's theorem ดังสมการต่อไปนี้

$$V = \frac{V_1/R_1 + V_2/R_2 + V_3/R_3 + \dots}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots} \dots (5)$$

โดยการ ใช้ MILLMAN 's theorem จากรูปที่ 2.43. จะได้

$$V = \frac{V_0/R_0 + V_1/(R_0/2) + V_2/(R_0/4) + \dots}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots} \dots (6)$$

สรุป Resistive Divider สามารถสร้างขึ้นเพื่อแปลงดิจิตอลโวลต์เตจ ไปเป็นอนาล็อกโวลต์เตจ โดยใช้กฎเกณฑ์ต่อไปนี้

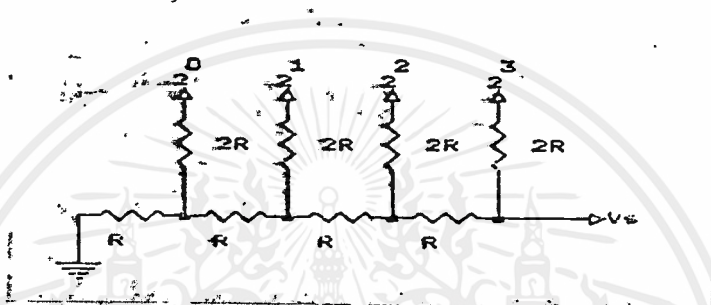
1. ต้องมีความต้านทานอินพุทหนึ่งตัวสำหรับแต่ละบิตของดิจิตอล
2. เริ่มต้นที่บิตต่ำสุด ค่าความต้านทานในบิตต่อมา — มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของความต้านทาน ของบิตก่อนหน้านั้น
3. ค่าเต็มสเกลของเอาท์พุทโวลต์เตจ  $V_0$  มีค่าเท่ากับผลบวกของสัญญาณ ดิจิตอลอินพุท
4. บิตต่ำสุดจะมี weight เท่ากับ  $1/2^{n-1}$  เมื่อ  $n$  คือจำนวนบิต
5. การเปลี่ยนแปลงของอินพุทโวลต์เตจ ต่อการเปลี่ยนแปลงของบิตต่ำสุด เท่ากับ  $V/2^{n-1}$

6. เอาท์พุทโวลท์ที่เตจ สามารถหาได้โดยใช้ MILLMAN 's theorem

$$V_u = V_0 \cdot 2^0 + V_1 \cdot 2^1 + V_2 \cdot 2^2 + \dots \dots \dots V_{n-1} \cdot 2^{n-1} \dots (7)$$

### 3.2 BINARY LADDER

Binary Ladder เป็น Network ที่ Output Voltage เป็นผลรวม Weight ของดิจิตอลอินพุทเราลองมาพิจารณา ladder ขนาด 4 bit ดังรูปที่ 3.4

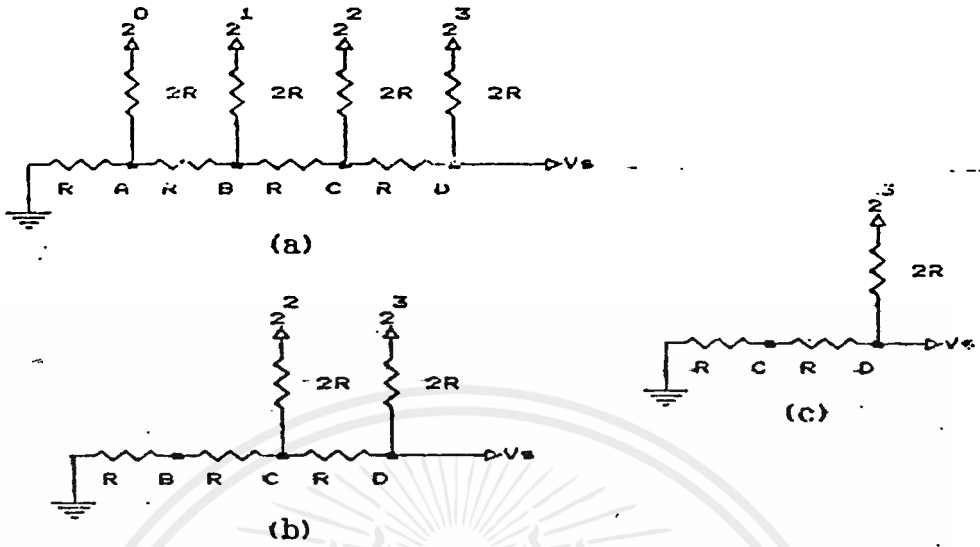


รูปที่ 3.4 BINARY LADDER

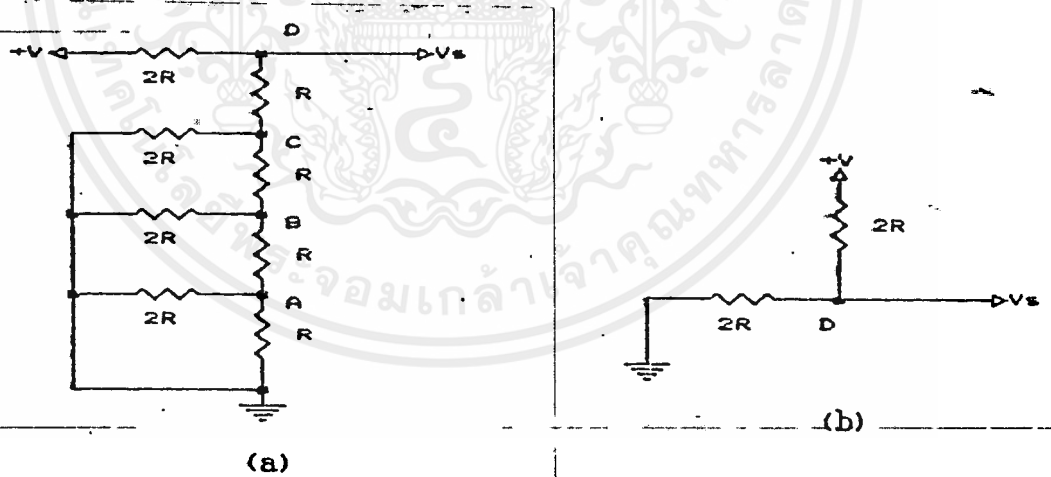
จากรูปจะเห็นว่าใช้ Resistor เพียงสองค่า สมมติว่าดิจิตอลทั้งหมดถูกต่อลงกราวด์ เริ่มต้นที่จุด A ค่าความต้านทานที่มองที่จุด A ไปยัง Resistor ตัวซ้ายสุดคือ 2R ค่าความต้านทานที่มองไปยังบิต 2<sup>0</sup> มีค่าเป็น 2R เช่นกัน ซึ่งค่าความต้านทาน 2R ทั้งสองตัวนี้จะขนานกันอยู่ ด้วยเหตุนี้เราจึงสามารถแทนด้วย ความต้านสมมูลย์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ R ดังรูป 3.5 (a) ต่อไปเราพิจารณาที่จุด B จะเห็นว่าค่าความต้านทานที่จุด B นี้มีค่าเป็น 2R และค่าความต้านทานของบิต 2<sup>1</sup> เราสามารถใช้คุณสมบัติของ ladder เพื่อกำหนดเอาท์พุทของโวลท์ที่เตจ สำหรับดิจิตอลเอาท์พุทค่าต่าง ๆ ได้ สมมุติดิจิตอลอินพุทเป็น 1000 Binary ladder สามารถเขียนได้ดังรูปที่ 3.5 (a) เพราะฉะนั้น Network ที่อยู่ด้านซ้าย ของจุด D สามารถแทนด้วยความต้าน 2R ดังรูป 3.5 (b)

จากรูปเราจะได้

$$V_u = V \cdot [2R / (2R + 2R)] \\ = V / 2$$



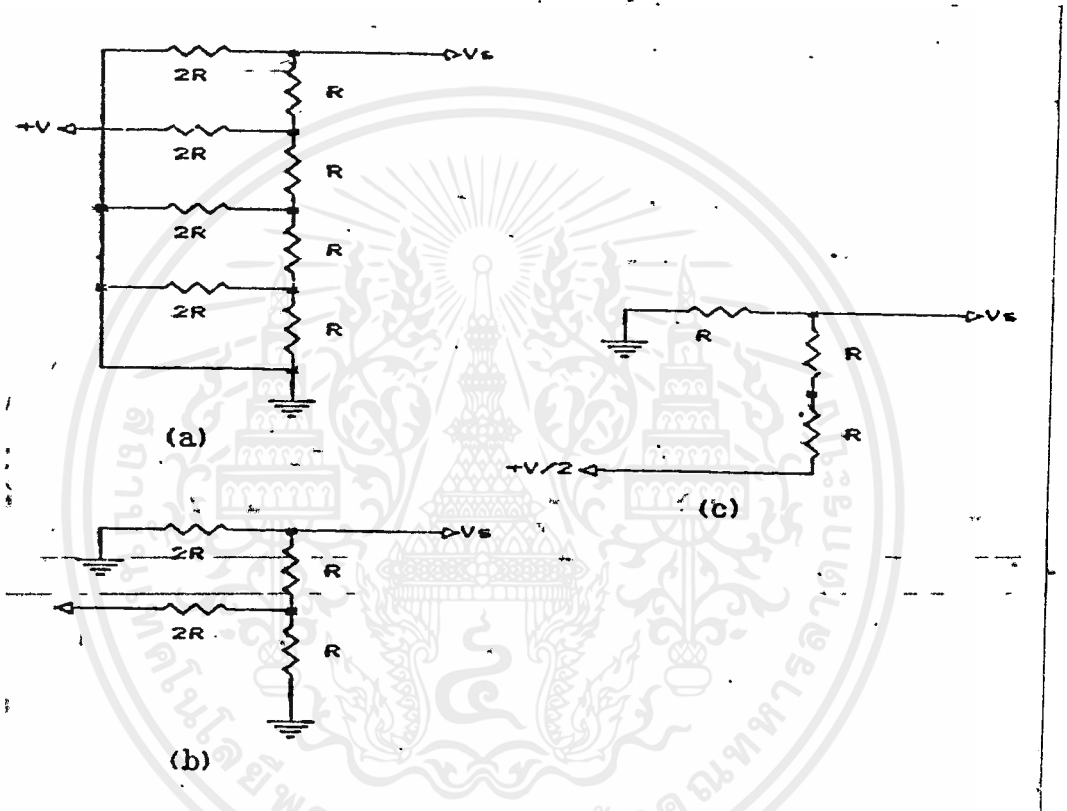
รูปที่ 3.5 วิธีหา BINARY LADDER



รูปที่ 3.6 (a) BINARY LADDER WITH A DIGITAL INPUT 100  
 (b) EQUIVALENT CIRCUIT FOR DIGITAL INPUT 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นคือถ้าบิตสูงสุด ( MSB ) มีค่าลอจิก (logic) เป็น 1 จะได้  $V_o = V/2$  โวลต์ ในการหาเอาต์พุตโวลต์เตจเมื่ออินพุตเป็น 0100 สามารถทำได้ ดังแสดงในรูป 3.6 (a) จะเห็นว่าไม่มีโวลต์เตจทางด้านซ้ายมือของจุด c เลย เพราะฉะนั้นทางด้านซ้ายมือของจุด C สามารถแทนด้วยความต้าน  $2R$  ดังรูป 3.7 ( b ) ต่อไปเราสามารถแทนที่วงจรทางด้านซ้ายของจุด c โดยใช้ทฤษฎีของ THEVENIN 's theorem โดยการตัดวงจรดังรูป 3.7 ( b) จะได้วงจรใหม่ดังรูป 3.7 ( c)



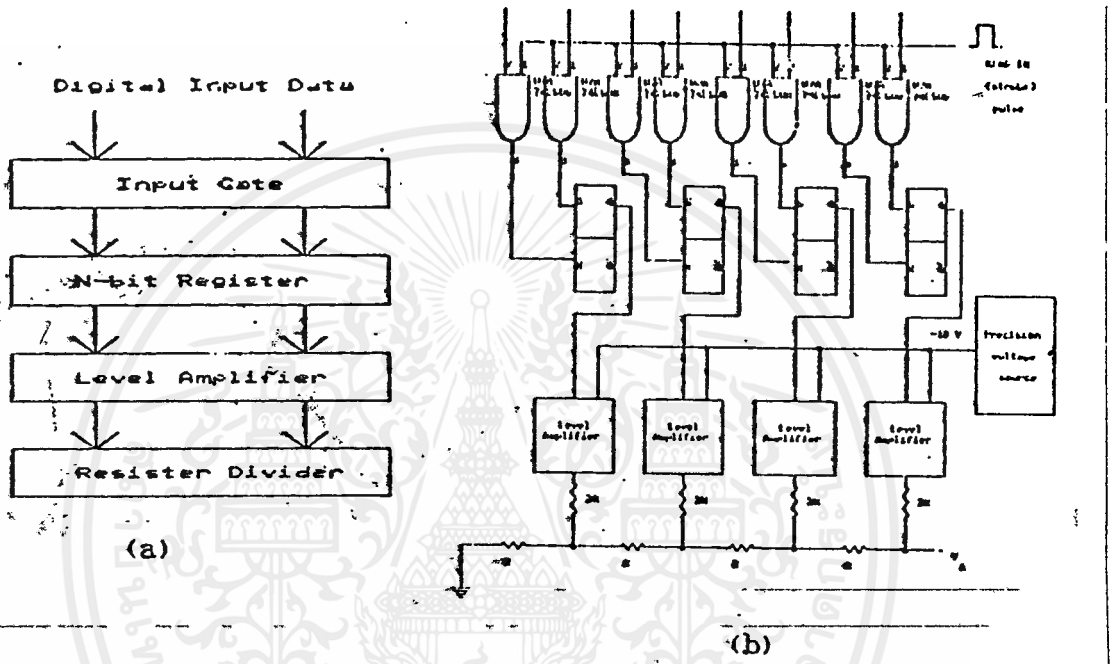
รูปที่ 3.7 การใช้ THEVENIN 'S THEOREM เข้าช่วยแก้ไขวงจร

### 3.3 ตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก ( D TO A CONVERTER )

เราสามารถใช่วงจรพื้นฐานของวงจร Resistive Divider or ladder มาทำเป็น AC ได้หรืออาจกล่าวได้ว่า DAC มีส่วนประกอบพื้นฐาน หรือโครงสร้างที่ประกอบขึ้นจาก Resistive Dividernetwork หรือ ladder อย่งไรก็ตาม DAC ต้องการส่วนปลั๊กย่อยอื่น ๆ อีกเพื่อที่จะทำให้ DAC ที่สมบูรณ์ขึ้นคือ DAC จะต้องมีส่วนของรีจิสเตอร์ ( register ) ที่สามารถใช้เก็บข้อมูลทางดิจิตอล Register ที่ง่ายที่สุดจะใช้ฟลิปฟลอป ( flip-flop ) ซึ่งสำหรับ 1 บิตจะใช้ฟลิปฟลอป 1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DAC ต้องมี level Amplifier อยู่ระหว่าง Register กับ Resistive Network เพื่อให้แน่ใจได้ว่าสัญญาณดิจิทัลที่ส่งไปยัง Resistive Network เป็นสัญญาณที่คงที่อยู่ในระดับเดียวกัน ส่วนสุดท้ายของ DAC จะต้องมีส่วน อินพุตเกตเพื่อทำการ Gating อินพุตของ Register ฟลิปฟลอปสามารถถูกใช้ให้มีความถี่ข้อมูลที่เหมาะสมกับข้อมูลดิจิทัลที่เข้ามา DAC ที่สมบูรณ์แสดงดัง Block Diagram ดังรูปที่ 3.8 (a) อาศัยหลักการที่แสดง



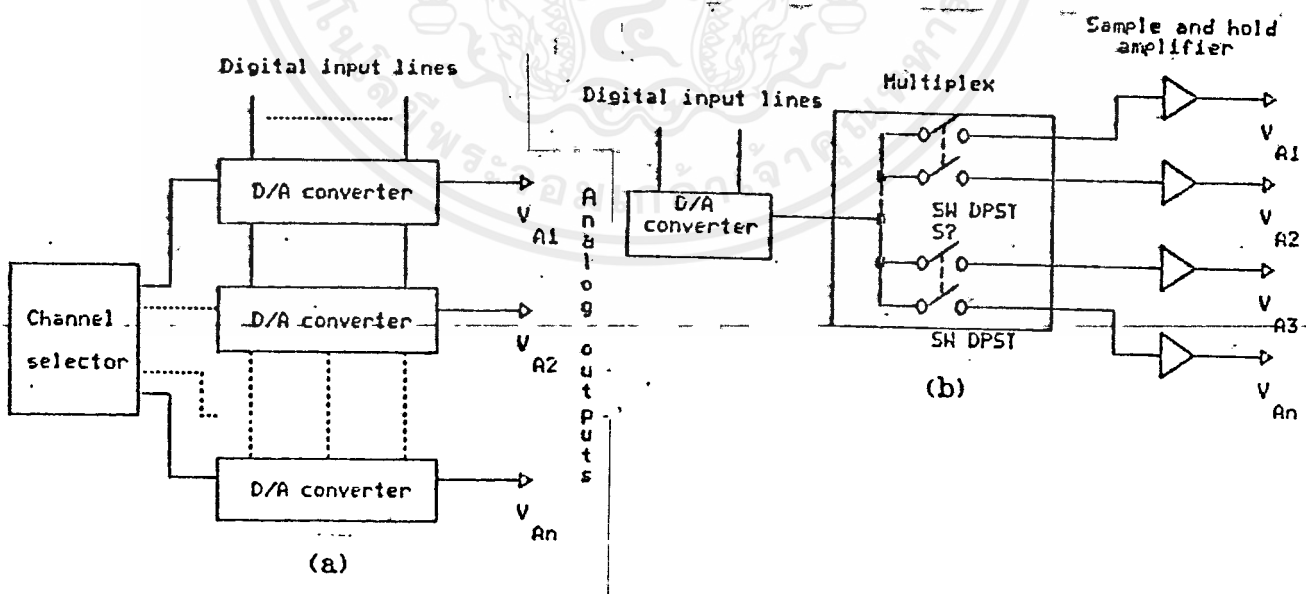
รูปที่ 3.8 (a) BLOCK DIAGRAM  
(b) 4-BIT D TO A CONVERTER

โดย Block Diagram เราสามารถเขียนวงจร D to A ที่สมบูรณ์ขนาด 4 บิตได้ดังรูปที่ 2.46 (b) จากรูปจะเห็น level Amplifier n แต่ละตัวจะมีอินพุต 2 อินพุตคือ 10 โวลต์ จาก Précision Voltage Source และจากเอาต์พุตของฟลิปฟลอป level Amplifier จะทำงานดังนี้คือ ถ้าเอาต์พุตจากฟลิปฟลอปเป็น High level Amplifier จะให้เอาต์พุตเป็น 1 แต่ถ้าเอาต์พุตจากฟลิปฟลอปเป็น low เอาต์พุตจะเป็น 0 ฟลิปฟลอปทั้ง 4 ที่ ใช้เป็น Register จะใช้สำหรับเก็บข้อมูลทางดิจิทัลฟลิปฟลอปที่อยู่ทางขวามือเป็น MSB และตัวซ้ายสุดเป็น LSB ฟลิปฟลอปแต่ละตัว จะเป็น RS-latch และต้องการระดับสัญญาณที่เป็นบวก (positive level) ที่อินพุต R หรือ S เพื่อที่จะไป

เช็ท หรือรีเช็ทเอาท์พุทของฟลิปฟลอป ส่วนของอินพุทเกต ใช้สำหรับข้อมูลเข้ามายัง Register เมื่อสาย Read-in เป็น High จะมีเกตเพียงตัวเดียวเท่านั้นที่มีเอาท์พุท เป็น High ส่งไปยังอินพุท R หรือ S ฟลิปฟลอปจึงถูกเช็ทโดยขึ้นอยู่กับค่าลอจิก ของ R หรือ S ข้อมูลจะถูกส่งเข้าไปยัง Register ในแต่ละครั้งที่มีพัลส์ (pulse) บ้อนเข้ามาที่สาย read-in บ่อยครั้งที่เดียวที่เราจำเป็นต้อง Decode สัญญาณอินพุทที่มีหลาย ๆ อินพุท เช่น แกน X แกน Y สำหรับ plotting board ในกรณีเช่นนี้จะมี 2 วิธีในการ Decode สัญญาณคือ

1. โดยใช้ D to A Converter สำหรับแต่ละสัญญาณอินพุทดังแสดงไว้ดังรูปที่ 3.9 (a) ข้อดีของวิธีนี้คือแต่ละสัญญาณที่จะ Decode จะถูกเก็บไว้ใน Register ของมันเอง และอนาล็อคเอาท์พุทจะถูก Hold ไว้ให้มีค่าคงที่ สาย ดิจิตอลอินพุทถูกต่อขนานเข้ากับแต่ละ Converter และ Converter ตัวที่เหมาะสมจะถูกเลือกสำหรับ Decode โดยสาย Select (select line )

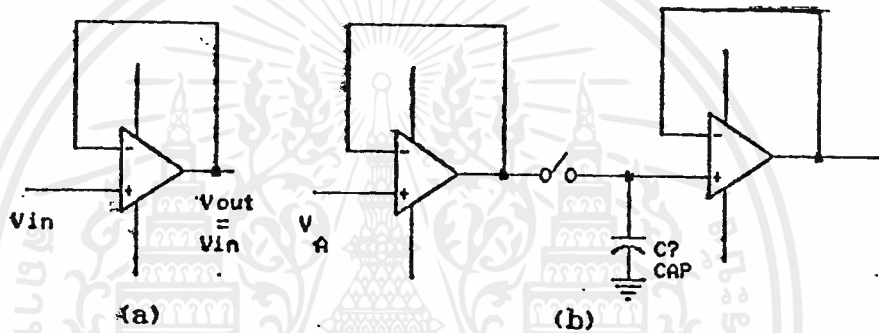
2. เป็นการ Multiplex แสดงดังรูปที่ 3.9 (b) ข้อเสียของวิธีนี้ คืออนาล็อคเอาท์พุทจะถูก Hold ในระหว่างของการ Sampling และเอาท์พุทจะ ต้องต่อกับ Sample-Hold Amplifier



รูปที่ 3.9 (a) CHANEL SELECT METHOD (b) MULTIPLEX METHOD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.10 (a) เป็นแบบ Unity Gain Noninverting Voltage Amplifier ซึ่งจะได้  $V_o = V_i$  และถ้านำเอาออปแอมป์แบบนี้มาต่อกันดังรูปที่ 3.10 (b) ก็จะได้เป็น Sample - Hold Amplifier เมื่อสวิตช์ปิดวงจร คาปาซิเตอร์จะชาร์จประจุจนาล็อคโวลต์เตจที่ได้จาก D to A ไว้ และเมื่อสวิตช์เปิด วงจรคาปาซิเตอร์ Hold ระดับโวลต์เตจไว้จนกระทั่งถึงเวลาของการ Sampling ใหม่และเพราะว่าออปแอมป์มีอินพุทอิมพีแดนซ์สูงมาก ดังนั้นจะเห็นได้ว่าคาปาซิเตอร์ จะได้ดีสชาร์จ (discharge) และในเวลาเดียวกันก็จะให้ Gain เพื่อขับวงจร ภายนอกด้วย



รูปที่ 3.10 (a) UNITY GAIN AMPLIFIER  
(b) SAMPLE-HOLD CIRCUIT

เมื่อ D/A ถูกต่อเข้ากับ Multiplexer เราจะต้องคำนึงถึงอัตราสูงสุดที่ Converter จะสามารถทำงานได้ด้วยในแต่ละครั้งที่ข้อมูลถูกส่งไปยัง Register จะเกิด Transient ขึ้นที่เอาต์พุทของตัว Converter ทั้งนี้เพราะว่าในความเป็นจริงแล้ว ฟลิปฟลอปแต่ละตัวมี Rise และ Fall Time ที่แตกต่างกันดังนั้นจะต้องมี Setting time ระหว่างเวลาที่ข้อมูลถูกส่งไปยัง Register กับเวลาที่อนาล็อคโวลต์เตจถูกอ่านออกมา Setting Time นี้เป็นตัวประกอบหลักในการกำหนดอัตรา สูงสุดของการ Multiplex กรณีเช่นนี้จะเกิดขึ้นเมื่อทุกบิตมีการเปลี่ยนแปลงเช่น จาก 1000 เป็น 0111 โดยปกติแล้วคาปาซิเตอร์ของวงจร sample-hold -79- Amplifier จะไม่มี ความสามารถในการ hold voltage ที่แน่นอน ดังนั้นอัตรา การ Sampling

(SAMPLING RATE) จะต้องเพียงพอเพื่อให้มั่นใจได้ว่าโวลต์ เตจไม่ถูกลดทอนหรือหายไป ในระหว่างกั้ว Sampling อัตราการ Sampling คือ ความถี่ที่คาปาซิเตอร์ชาร์จ (charge) ค่าของสัญญาณอนาล็อกที่ออกจากเอาต์พุทของ Converter มาถึงจุดนี้แล้วเราอาจจะอยากรู้ว่าสัญญาณจะต้องถูก Sampling เท่าไรจึงจะเพียงพอโดยอาศัยความรู้สึก (common sense) เราจะรู้ว่าจำนวนครั้งหรือ ความถี่ในการ Sampling จะต้องมากกว่าความถี่ของสัญญาณที่ถูก Sampling และ ความถี่ในการ Sampling ที่น้อย ความถี่ของสัญญาณที่ถูก Sampling จะทำให้ สัญญาณถูกลดทอนไปหรืออาจจะกล่าวได้ว่าถ้า ความถี่ของสัญญาณที่ถูก Sampling น้อย เกินไปสัญญาณจะลดลงมากเพราะเวลาของการ Discharge ของ Sampling Hold Capacitor มากเกินไปและอาจจะทำให้ข้อมูลของสัญญาณสูญหายไปเรามีวิธี การสองอย่างในการกำหนดอัตราการ Sampling คือ

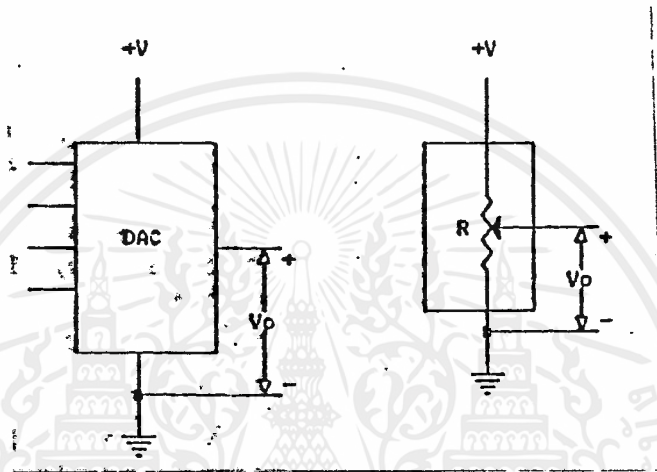
1. ถ้าสัญญาณของเราเป็นรูปไซน์ ( sinusoidal ) ต้องทำการ Sampling เป็นสองเท่าของความถี่ของสัญญาณที่เราจะทำการ Sampling เช่นถ้าสัญญาณเป็น Sinewave 5 KHz เราต้อง Sampling ด้วยอัตราที่มากกว่าหรือเท่ากับ 10 KHz หรือ ทุกๆ  $\frac{1}{1000} = 100 \text{ uS}$  อย่างไรก็ตามถ้าสัญญาณเป็นแบบ Sine เราจะทำอย่างไร สัญญาณ ใด ๆ ก็ตามที่เป็นสัญญาณรายคาบ (periodic) ที่สามารถแสดงได้โดยผลรวม ของ เทอมโคไซน์ (cosine) ในกรณีนี้เราจะต้อง Sampling ด้วยอัตราสองเท่า ของความถี่สูงสุดที่ปรากฏอยู่ในเทอมของโคไซน์

2. โดยวิธีการทดสอบซึ่งจะตรวจสอบการทำงานที่เหมาะสมของ D/A ได้ซึ่ง แบ่งออกเป็น Steady-State Accuracy test และ Monotonicity test

การทดสอบแบบ Steady-state เป็นการป้อนค่าดิจิตอลอินพุทเป็น อินพุท Register ของ D/A จากนั้นก็จะทำการวัดอนาล็อกเอาต์พุท ที่ได้แล้วเปรียบ เทียบค่าที่วัด ได้จากการคำนวณว่าตรงกันหรือไม่ การทดสอบแบบ Monotonicity หมายถึงการตรวจสอบค่าเอาต์พุท โวลต์ เตจ ( analog output voltage) ว่าเพิ่มขึ้นตามค่าดิจิตอลและ สังเกต อนาล็อกเอาต์พุทของออสซิลโลสโคป ( oscilloscope ) สำหรับ Monotonicity ที่เหมาะสมสัญญาณเอาต์พุทจะต้องมีรูปร่างดังรูปที่ 2.49 ขึ้นต่างๆของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณรูปขั้น บินไตจะต้องมีช่องว่างและแอมพลิจูด (amplitude เท่ากันขั้นที่ไม่ถูกต้อง เช่น ขั้นที่มีแอมพลิจูดต่างกันหรือขั้นที่ตกลงมาข้างล่าง จะแสดงถึง Malfunction การทดสอบแบบ Monotonicity นี้ไม่ได้ตรวจสอบความเที่ยงตรง (accuracy) แต่ถ้าผ่านการทดสอบแบบนี้แล้วก็เป็นการ ประกันได้ว่าค่าผิดพลาด (error) ในการแปลงสัญญาณ (convert) จะต่ำกว่า 1 LSH



รูปที่ 3.11 CORRECT OUTPUT VOLTAGE WAVEFORM FOR MONOTONICITY TEST

### 3.4 ความละเอียดและความเที่ยงตรงของ D TO A

ความเที่ยงตรง (accuracy) ของ D/A คอนเวอร์เตอร์ขึ้นอยู่กับเที่ยงตรงของ Precision Resistor ที่ใช้เป็นแลคเดอค์และความแม่นยำ (precision) ของแรงดันอ้างอิง (reference voltage supply) ที่ใช้ ความเที่ยงตรงเป็นการวัดค่าเอาต์พุต ที่ได้ในทางปฏิบัติว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าทฤษฎีเพียงใด เช่น สมมติว่าเอาต์พุตทางทฤษฎีมีค่าเท่ากับ 10 V ความเที่ยงตรง 10 % หมายถึงเอาต์พุตที่ได้ในทางปฏิบัติอยู่ระหว่าง 9.9 V และ 10.1 V ความละเอียด (resolution) หรือจะกล่าวอีกอย่างหนึ่งคือการหาโวลต์เตจเพิ่มขึ้นอย่างน้อยที่สุดที่ สังเกตได้ ความละเอียดจะขึ้นอยู่กับจำนวนบิตของดิจิตอลอินพุตนั้นคือเอาต์พุต โวลต์เตจเพิ่มขึ้นอย่างน้อยที่สุดถูกกำหนดโดย LSB สมมติว่าในระบบ 4 บิต ที่ใช้แลคเดอค์ที่ LSB มี Weight เป็น 1/16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของอินพุทโวลต์ที่แจจและถ้าสมมุติว่าอินพุทโวลต์ที่แจจของ เรามีค่าเป็น 16 ดังนั้นในการเปลี่ยนแปลงของ LSB จะทำให้เอาท์พุทโวลต์ที่แจจ เปลี่ยนแปลงเป็น  $16/16 = 1$  V. ดังนั้นเอาท์พุทโวลต์ที่แจจจะเปลี่ยนแปลงเป็นขั้น ๆ หรือเพิ่มขึ้นทีละ 1 V ซึ่งจะได้เอาท์พุทโวลต์ที่แจจจะเปลี่ยนแปลงเป็นรูปขั้นบันไดดังรูป ที่ 2.50 และจะเปลี่ยนแปลงจาก 0-15 V โดยเพิ่มขึ้นทีละ 1 V คอนเวอร์เตอร์ อย่างไรก็ตามมันไม่สามารถใช้กับโวลต์ที่แจจที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่า 1 โวลต์ เช่นถ้าเราต้องการเอาท์พุทโวลต์ที่แจจเท่ากับ 4.2 V โดยใช้เอาท์พุทเท่ากับ 7.8 V เราจะได้ เอาท์พุทเป็น 8 V ทั้งนี้เพราะว่าคอนเวอร์เตอร์ของเราเพิ่มค่าขั้นทีละ 1 V เท่านั้น กล่าวได้ว่า คอนเวอร์เตอร์ของเรามีค่าความละเอียดแค่ 1 โวลต์ เท่านั้น

ถ้าเราต้องการเอาท์พุท ที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าที่กล่าวมาแล้ว เราต้องใช้คอนเวอร์เตอร์ที่มีอินพุทมากกว่า เช่นคอนเวอร์เตอร์ขนาด 10 บิต จะมี LSB Weight เท่ากับ  $1/2^{10} = 1/1024$  ดังนั้นค่าที่เปลี่ยนแปลงที่น้อยที่สุด ประมาณ 1/1000 และถ้าคอนเวอร์เตอร์มีค่าเต็มสเกลเท่ากับ 10 V เราจะได้ การเปลี่ยนแปลงของเอาท์พุททีละ  $10/1000 = 10$  มิลลิโวลต์

### 3.5 ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล (A TO D CONVERTER)

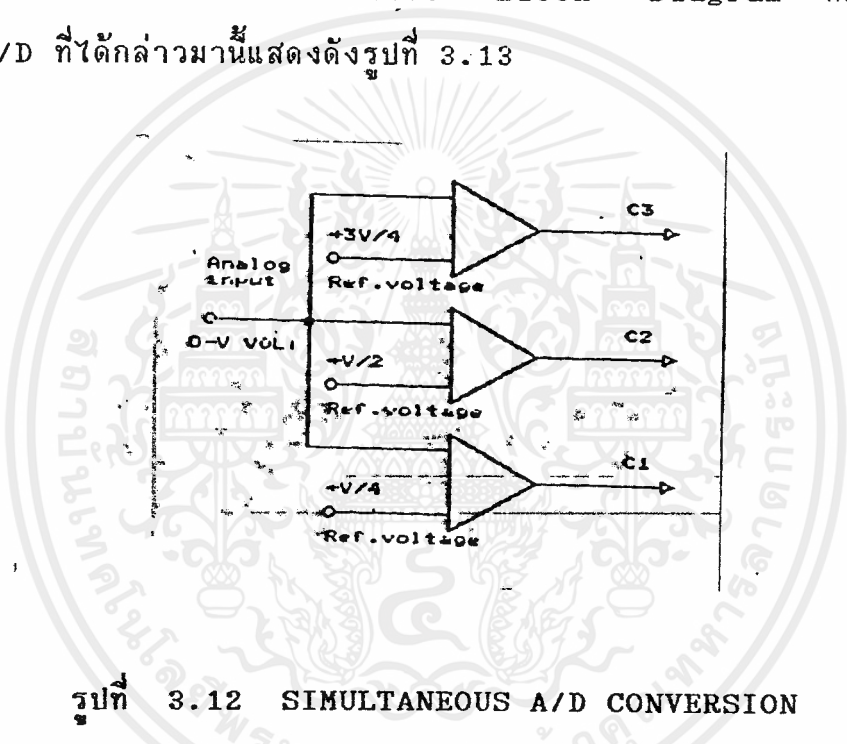
ขบวนการในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลเราเรียกว่า Analog to Digital Conversion (ADC) ซึ่งจะมีบางสิ่งบางอย่างที่ซับซ้อนกว่าการแปลงสัญญาณดิจิตอลไปเป็นอนาล็อก ซึ่งจะมีวิธีการต่างๆอยู่หลายวิธี วิธีที่ง่ายที่สุดคือ

1. วิธีการของ Simultaneous จะได้วงจรเปรียบเทียบ (comparator circuit) เช่นดังรูปที่ 3.12 จะใช้คอมพาราเตอร์ 3 ตัว อนาล็อกอินพุทที่เราต้องการแปลงเป็นดิจิตอล จะถูกป้อนเข้าที่อินพุทของคอมพาราเตอร์แต่ละตัวและขาอินพุทของคอมพาราเตอร์แต่ละตัวที่เหลือถูกต่อเข้ากับแรงดันอ้างอิงมาตรฐาน (standard reference voltage) แรงดันอ้างอิงที่เหลือที่ใช้จะเป็น  $V/4$ ,  $V/2$  และ  $3V/4$  ระบบนี้จะใช้สำหรับอนาล็อกอินพุทระหว่าง 0-V โวลต์ ถ้าอนาล็อกอินพุทมีค่าเกินแรงดันอ้างอิงของคอมพาราเตอร์ตัวใด ๆ ก็ตามจะทำให้คอมพาราเตอร์ตัวนั้นทำงาน (TURN ON) ในการทำงานคอมพาราเตอร์สมมุติให้ เอาท์พุทเป็น High ถ้าคอมพาราเตอร์ทุกตัวไม่ทำงานแสดงว่าอนาล็อกอินพุทมีค่า อยู่ระหว่าง 0  $V/4$  ถ้า  $C_1$  เป็น High (comparator  $C_1$  on) และ  $C_2$  กับ  $C_3$  เป็น low อินพุทจะมีค่าอยู่ระหว่าง  $V/2$

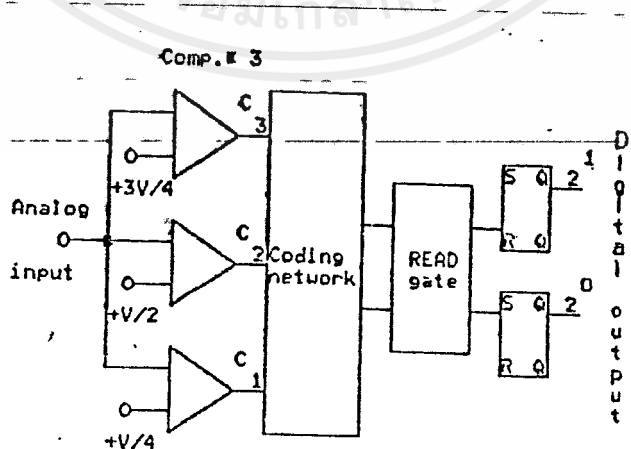
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับ  $3V/4$  และสุดท้ายถ้าเอาท์พุทของ คอมพาราเตอร์เป็น High หมด สัญญาณอินพุทอยู่ระหว่าง  $3V/4$  กับ  $V$  สำหรับค่า อินพุทของคอมพาราเตอร์ในย่านต่างๆของอินพุทจะเป็นไปตามรูปที่ 3.12

ตัวอย่างที่แสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.13 นั้นจะมีอยู่ด้วยกัน 4 อย่าง ที่ คอนเวอร์เตอร์ตัวนี้สามารถตรวจจับ (detect) ได้ ซึ่งทั้ง 4 ย่านนี้สามารถแทน ได้ด้วยไบนารี 2 บิต คอมพาราเตอร์ทั้งสามตัว จะต้องส่งเอาท์พุทไปยัง Coding Network เพื่อ กำหนด 2 บิตที่สัมพันธ์กับอนาล็อกอินพุทโวลท์ที่ เจก บิตต่าง ๆ ของ Coding Network จะถูกส่งไปยังฟลิปฟลอปรีจิสเตอร์เพื่อเก็บค่าไว้ Block Diagram ที่สัมพันธ์สำหรับตัวอย่างของ A/D ที่ได้กล่าวมานี้แสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.12 SIMULTANEOUS A/D CONVERSION



## บทที่ 4

### LCD (Liquid Crystal Display)

อุปกรณ์ในปัจจุบันนี้ในส่วนแสดงผลนั้นมักใช้ LCD (Liquid Crystal Display) เสียเป็นส่วนใหญ่ไม่ว่าจะเป็นเครื่องเล่นวีดีโอ เครื่องคิดเลข คอมพิวเตอร์ เกมคอมพิวเตอร์ ฯลฯ เราพอจะแบ่ง LCD โมดูล ชนิดตอตเมตริกขึ้นออกได้เป็นพวกๆ คือ

- ชุด LCD โมดูลแสดงผลแบบอักขระ (character LCD module)
- ชุด LCD โมดูลแสดงผลแบบกราฟิก (graphic LCD module)
- ชุด LCD โมดูลแสดงผลแบบเซกเมนต์ (segment display type LCD module)

#### 4.1 ส่วนประกอบภายในของ LCD

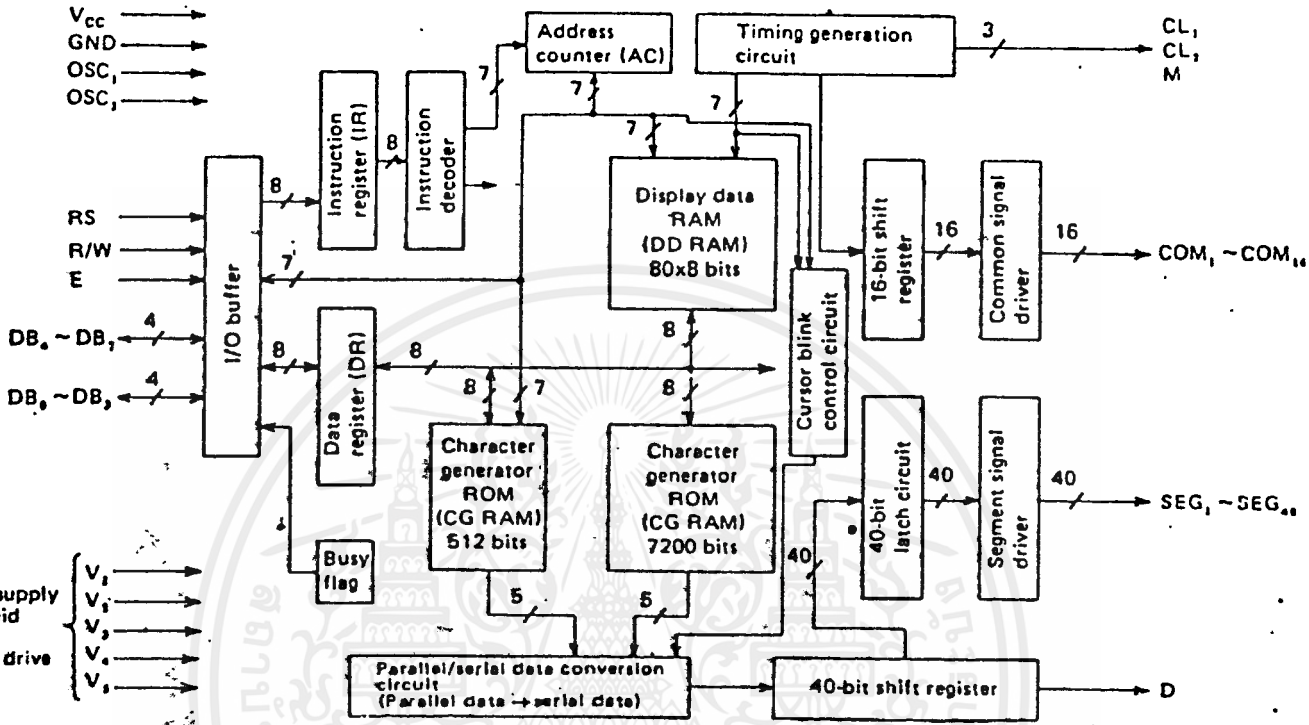
โดยในแต่ละแบบจะมีส่วนประกอบใหญ่ ๆ แบ่งได้เป็น

4.1.1 DOT MATRIX LCD เป็นตัวแสดงผลให้เรามองเห็นในลักษณะการเปิดและปิดตัวเองกับแสงก็คือ ส่วนที่เป็นกระจกบรรจุผลึก

4.1.2 DRIVER เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมมาขับผลึก LCD

4.1.3 CONTROLLER เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมา และจัดการควบคุม LCD MODULE ให้ทำงานแสดงผลต่างๆ เช่น การลบจอภาพ การเกิดตัวอักษร

การทำงานภายในของ LCD สามารถเข้าใจได้โดยพิจารณาจาก BLOCK DIAGRAM ในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 BLOCK DIAGRAM OF HD44780

### 4.2 หน้าที่ของขาต่างๆ

RST เป็นขาที่ใช้รีเซ็ตการทำงานของ LCD

E เป็นขาอินพุต การรับส่งข้อมูลจะทำงานที่ลอจิก "1" ที่ ขอบขาลง

R/W เป็นขาที่ใช้กำหนดการอ่าน และเขียนข้อมูล

Data-Bus เป็นขาใช้ส่งข้อมูลหรือรหัสควบคุม

GND กราวด์

V<sub>cc</sub> แรงดันไฟเลี้ยงวงจรลอจิก

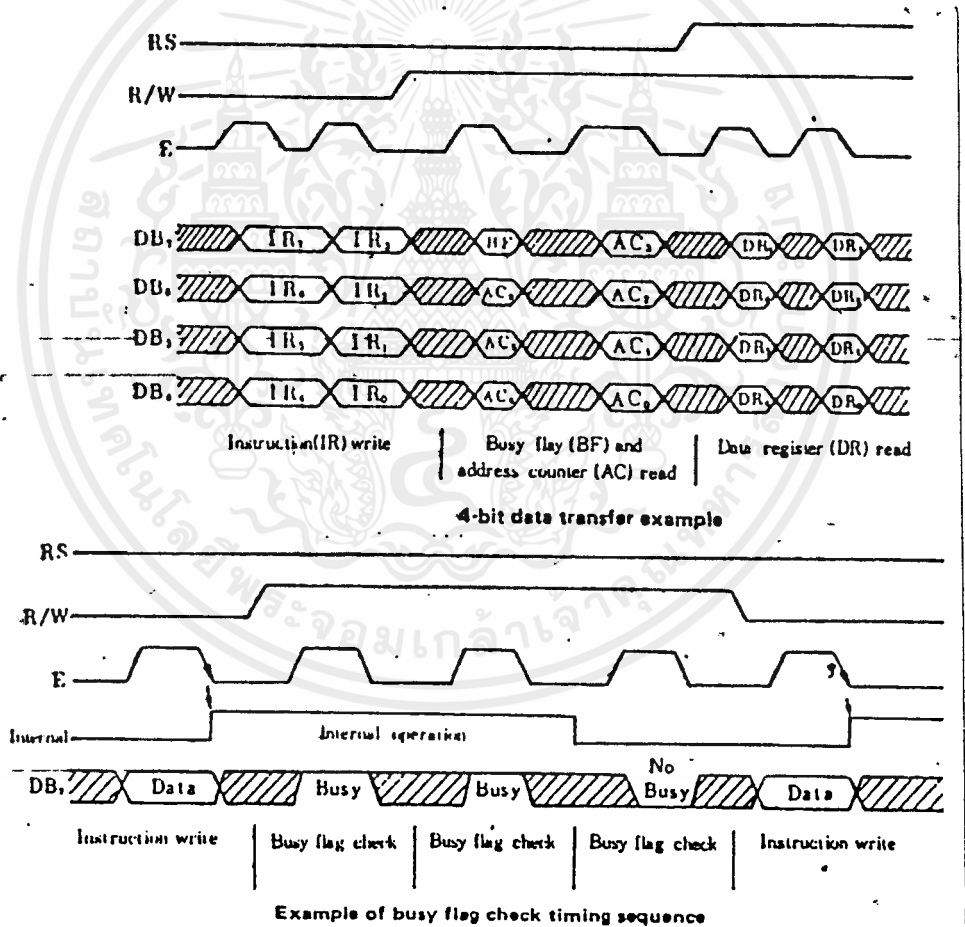
V<sub>o</sub> แรงดันไฟเลี้ยง LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การต่อใช้งานกับ 8051

ในการต่อใช้งานร่วมกับ 8051 จะคำนึงถึงการควบคุมขาต่าง ๆ ของ LCD กับ CPU ด้วย

- ขา E เป็นขาควบคุมการทำงานของ LCD ซึ่งใช้ในการติดต่อกับภายนอกโดยขา E จะใช้สถานะ "1" ในการบอกให้รับทราบการติดต่อ และจะใช้ขอบขีาลงของสัญญาณ ในการติดต่อกับการควบคุมการทำงาน โดยจะกำหนดให้มีการทำงานดังนี้



รูปที่ 4.2 ไตอะแกรมแสดงค่าเวลาในการทำงาน

เมื่อมีการอ้างอิงพอร์ตของ LCD จะให้ขา E เป็น "1" (ต้องมีการอ่าน หรือเขียนข้อมูลแล้ว) ตามการทริกของสัญญาณนาฬิกา (ขา CK จะทริกสถานะจากขา D ไปขา Q) และเมื่อไม่มีการอ้างอิงพอร์ตของ LCD จะให้ขา E มีสถานะ "0"

- ขา DATA BUS สามารถติดต่อกับ DATA BUS ของ 8051 ได้โดยตรง
- ขา RS ต่อ เข้ากับ A<sub>1</sub> ของ 8051 ได้โดยตรง
- ขา R/W ต่อ เข้ากับ A<sub>0</sub> ของ 8051 ได้โดยตรง

#### 4.4 คำสั่งควบคุมของ LCD

Display ON/OFF

RS R/W DB7 . . . . . DBO

Code

0	0	0	0	0	0	1	D	C	B
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

< HIGH-ORDER-BIT                      LOWER-ORDER-BIT >

BIT D: เป็นคำสั่งควบคุมการแสดงผลโดยการแสดงผล เมื่อค่า D เป็น "1" LCD จะทำการแสดงผล และเมื่อค่า D เป็น "0" LCD จะไม่ทำการแสดง

BIT C: จะให้แสดง CURSOR ให้ BIT C = 1 และถ้าไม่ต้องการแสดง CURSER BIT C = 0

BIT B: เป็น BIT SETCURSER โดย B = 1 จะมีการกระพริบ B = 0 ไม่มีการกระพริบ

ผลข้อมูลภายใน LCD จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากคำสั่งนี้

Display start line

R/W D/I DB7 . . . . . DBO

Code	0	0	1	1	A	A	A	A	A	A
------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

< HIGH-ORDER-BIT                      LOWER-ORDER-BIT >

ค่า A จะเป็นค่าหมายเลขบรรทัดที่จะให้ LCD แสดงผลเป็นบรรทัดแรกของจอภาพตัวอย่างช่องการเลือกค่า Line จาก 0-3 ซึ่งจะทำให้การแสดงผลแตกต่างกันออกไป

Set PAGE(X-Zddress)

R/W D/I DB7 . . . . . DBO

Code	0	0	1	0	1	1	1	A	A	A
------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

< HIGH-ORDER-BIT                      LOWER-ORDER-BIT >

ค่า AAA ของคำสั่งจะเป็นการตั้งค่า X-Address ซึ่งหลังจากทำคำสั่งนี้แล้ว ข้อมูลจาก DB0-DB7 จะเป็นการติดต่อกับ RAM ที่เพจนี้ตลอด จนกว่าจะมีการตั้งค่าใหม่ให้กับ LCD

Set Y-Address

R/W D/I DB7 . . . . . DBO

Code	0	0	0	1	A	A	A	A	A	A
------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

< HIGH-ORDER-BIT                      LOWER-ORDER-BIT >

ค่า A จะเป็นการตั้งค่าของ Y-Address (ค่า Y จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-63) และ ค่า Y จะเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 เมื่อมีการอ่านหรือเขียนข้อมูลจาก CPU

### Status Read

R/W D/I DB7 . . . . . DB0

Code	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0
------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

< HIGH-ORDER-BIT                      LOWER-ORDER-BIT >

เป็นการอ่านค่าสถานะของ LCD โดยถ้าค่า Busy เป็น 1 LCD จะทำงานในส่วนภายใน ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถทำการควบคุม LCD ในขณะนี้ได้ เพราะฉะนั้นเพื่อให้แน่ใจในการควบคุมครั้งต่อไปจะต้องตรวจค่า Busy ให้ได้ค่าเป็น 0 เสียก่อน

### Write Display Data

R/W D/I DB7 . . . . . DB0

Code	0	1	D	D	D	D	D	D	D	D
------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

< HIGH-ORDER-BIT                      LOWER-ORDER-BIT >

การเขียนข้อมูลเข้าไปใน LCD ซึ่งข้อมูล DDDDDDDD จะถูกเก็บใน LCD-RAM และ ค่า Y จะถูกเพิ่มขึ้น 1

### Read Display Data

R/W D/I DB7 . . . . . DB0

Code	1	1	D	D	D	D	D	D	D	D
------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

< HIGH-ORDER-BIT                      LOWER-ORDER-BIT >

เป็นการอ่านข้อมูลที่แสดงผล โดย LCD จะให้ค่าของข้อมูลออกมาที่บัสข้อมูลค่า Y จะถูกเพิ่มค่าขึ้น 1 เช่นเดียวกับการเขียนข้อมูล

#### 4.5 โปรแกรมของการอินเตอร์เฟส

ในการเขียนโปรแกรมใช้งาน วงจรอินเตอร์เฟสที่ 1-1 หมายเลข พอร์ต  
ที่ใช้อ้างอิง LCD ก็คือ 40H-43H และขั้นตอนการทำงานสามารถดูได้จากไฟล์เวิร์ด  
โดยโปรแกรมนี้อจะเป็นการนำเอาข้อมูลบัพเฟอร์ Addr.3B00H-3EFFH มาแสดงผลที่  
LCD (ใช้งานในกราฟิกโหมด)

ส่วนประกอบของโปรแกรมในโปรแกรมห่วงอย่างจะประกอบไปด้วย ส่วนของ  
โปรแกรมย่อย โดยจะมีการทำงานในแต่ละโปรแกรม



## บทที่ 5

### MCS 51 ไมโครคอนโทรลเลอร์

#### 5.1 โครงสร้างสถาปัตยกรรม MCS-51

##### 5.1.1 ลักษณะหลักทั่ว ๆ ไปของ MCS-51 จะประกอบด้วย

1. สร้างโดยใช้ HMOS และ CHMOS เทคโนโลยีและทำงานด้วยแหล่งจ่ายไฟขนาด 5 V. เพียงแหล่งเดียว
2. ซีพียูมีขนาด 8 บิต
3. มีวงจรรอสซิลเลเตอร์ และวงจรมานานิชิป
4. ชุดแบงก์ (BANK) รีจิสเตอร์มี 4 ชุดแต่ละชุดมีรีจิสเตอร์ 8 ตัวทำงานเช่นเดียวกับ MCS-48
5. มีตัวจับเวลา/ตัวนับ ขนาด 16 บิต 2 ชุด และสำหรับเบอร์ 8032, 8052 มี 3 ชุด
6. มีพอร์ตไอโอแบบขนาด 2 ทิศทางจำนวน 4 พอร์ต พอร์ตละ 8 บิต รวมทั้งหมดเป็น 32 เส้น , แต่ละเหลือเพียง 16 เส้นสำหรับเบอร์ 8031 อีก 16 เส้นใช้ในการเข้าถึงทางแอดเดรสและข้อมูล
7. พอร์ตแบบอนุกรมสวมวรถที่ จะโปรแกรมการรับส่งแบบ Full Duplex ที่ความเร็วสูง
8. หนึ่งวัฏจักรคำสั่งจะใช้เวลา 1 ไมโครวินาที ด้วยการใช้คริสตัล 12 เม็กกะเฮิรตซ์
9. แอดเดรสข้อมูลภายนอกได้ 64 กิโลไบต์
10. แอดเดรสโปรแกรมภายนอกได้ 64 กิโลไบต์
11. สามารถกำหนดเลขที่อยู่ข้อมูลขนาดไบต์หรือบิตได้โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. มีซอฟต์แวร์แฟลคสำหรับผู้ใช้ที่จะกำหนดเองได้ถึง 128 ตำแหน่งบิต
13. โครงสร้างอินเตอร์รัพต์ทำได้ 5 แห่ง และ 6 แห่ง สำหรับ 8032/8052 พร้อมด้วยการจัดไพริอิตี (Priority) ได้ 2 ระดับ
14. ตัวโปรเซสเซอร์สามารถใช้งานแบบบูลีน (Boolean) ได้สำหรับการใช้งานควบคุม
15. มีคำสั่งคูณและหารทางฮาร์ดแวร์ทำได้ภายใน 4 ไมโครวินาที
16. ตัวเลขทางคณิตศาสตร์ ใช้ได้ทั้งแบบไบนารี และเดซิมีล
17. การใช้พื้นที่สแต็คสำหรับโปรแกรมย่อยต่าง ๆ ทำได้กว้างขึ้น
18. ชุดคำสั่งของ MCS-51 จะมีมากกว่าชุดคำสั่งของ MCS-48 ตระกูล MCS-51 จะมีทั้งแบบ ROM ในตัว หรือไม่มี ROM หรือมี EPROM บนชิปเดียวกันและจะมีตำแหน่งขาที่เหมือนกัน ตารางที่ 5.1 แสดงถึงตารางรายละเอียดของ เบอร์ต่าง ๆ ในตระกูล MCS-51 ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

Device	ROMless Version	EPROM Version	ROM Bytes	RAM Bytes	8-Bit I/O Ports	16-Bit Timer/Counters	Programmable Counter Array (PCA)	UART	Serial Expansion Port (SEP)	Global Serial Channel (GSC)	DMA Channels	A/D Channels	Interrupt Sources/Vectors	Power Down and Idle Modes
8051	8031	—	4K	128	4	2		✓					6/5	
8051AH	8031AH	8751H 8751BH	4K	128	4	2		✓					6/5	
8052AH	8032AH	8752BH	8K	256	4	3		✓					8/6	
80C51BH	80C31BH	87C51	4K	128	4	2		✓					6/5	✓
83C51FA	80C51FA	87C51FA	8K	256	4	3	✓	✓					14/7	✓
83C51FB	80C51FA	87C51FB	16K	256	4	3	✓	✓					14/7	✓
83C51GA	80C51GA	87C51GA	4K	128	4	2		✓	✓			8	8/7	✓
83C152JA	80C152JA	—	8K	256	5	2		✓		✓	2		19/11	✓
—	80C152JB	—	—	256	7	2		✓		✓	2		19/11	✓
83C152JC	80C152JC	—	8K	256	5	2		✓		✓	2		19/11	✓
—	80C152JD	—	—	256	7	2		✓		✓	2		19/11	✓
83C451	80C451	—	4K	128	7	2		✓		✓			8/5	✓
83C452	80C452	87C452P	8K	256	5	2		✓					9/8	✓

ตารางที่ 5.1 ตารางรายละเอียดของตระกูล MCS-51

8751H อยู่ในกลุ่มรุ่นเดียวกับ 8051AH ที่เราสามารถโปรแกรมได้ด้วยระบบไฟ สามารถลบโปรแกรมออกได้ด้วยแสงอุลตราไวโอเล็ต นอกเหนือจากไอซีที่แสดงใน ตารางข้างบนที่ใช้เทคโนโลยี HMOS แล้วยังมีตระกูลอื่นที่ใช้ในเทคโนโลยี CHMOS ที่ประหยัดพลังงานได้มากกว่า 4 เท่าของ HMOS ที่มีจำหน่ายขณะนี้คือเบอร์ 80C51, 80C31 และ 87C51

### 5.1.2 การจัดขาลักษณะภายนอกของ MCS-51

รูปที่ 5.2 แสดงการจัดขาลักษณะภายนอกของชิป MCS-51 ซึ่งรายละเอียดดังนี้ คือ

- ขา Vss (ขา 20) เป็นขาสำหรับต่อลงดิน
- ขา Vcc (ขา 40) เป็นขาที่ต่อแรงดันไฟกระแสตรงขนาด 5 V. และใช้สำหรับการโปรแกรม
- ขา PORT 0 (PO.0 - PO.7/AD0 -AD7) (ขา 32-39) เป็นพอร์ตไอโอ 8 บิต แบบ Open Drain Bidirectional สามารถที่จะรับโหลดที่ที่แอลได้ 8 ตัว การเขียนค่า "1" ไปที่พอร์ตนี้จะเป็นการปล่อยลอย (Float)ขา ของพอร์ตนี้ ทำให้มันทำงานเป็นอินพุท มีสถานะอิมพีแดนซ์สูง ในการให้พอร์ตนี้ให้บริการแบบไอโอพอร์ต 0 จะทำงานเป็นมัลติเพลกซ์ด้วยสัญญาณแอดเดรสไบต์ต่ำกับบัส ข้อมูล สำหรับการใช้งานด้านหน่วยความจำภายนอก ในการใช้งานแบบนี้จะใช้ลักษณะภายในเป็นตัวพูลอัพ, พอร์ต 0 ยังใช้งานเป็นตัวส่งข้อมูลออกทางพอร์ตนี้ เมื่อให้บริการทางด้านการตรวจสอบโปรแกรม ROM ภายในและการโปรแกรมตัว EPROM ภายในถ้าใช้งานในลักษณะนี้การพูลอัพจากภายนอกจะต้องต่อด้วยค่า 10 กิโลโอมห์
- ขา PORT 1 (P1.0 - P1.7) (ขา 1-8) เป็นพอร์ตไอโอ 8 บิต แบบ Open Drain Bidirectional พร้อมด้วย

การพูลอ์ฟภายใน ถ้าเป็นพอร์ต เอาต์พุท บัฟเฟอร์ สามารถรับโพลดที่ทีแอล ตระกูลแอลเอสไอ ได้ 4 ตัว , พอร์ต 1 เมื่อถูกเขียนค่า "1" ด้วยโปรแกรมมันจะมีสถานะสูงด้วยการพูลอ์ฟภายใน การ ให้สถานะเช่นนี้จะเป็นการ Initial ใช้งานพอร์ตนี้ให้เป็นอินพุท ขณะที่พอร์ต 1 เป็นอินพุทการให้สัญญาณลงต่ำจะเป็นการจ่ายกระแสออก เนื่องจากการพูลอ์ฟภายใน

ในเบอร์ 8052 ขา P1.0 และ P1.7 จะใช้งานเป็น T2 และ T2EX โดยขา T2 จะทำหน้าที่รับสัญญาณจากภายนอกให้ตั้งเวลา 2 ท่างาน และ ขา T2EX จะเป็นอินพุทผ่านเข้าตัวตั้งเวลา 2 ถูกกระตุ้นให้ทำงานแบบปกติ ตามโปรแกรมที่ตั้ง ไว้หรือ เค็ปเจอร์ (Capture)

- ขา PORT 2 (P2.0 - P2.7) (ขา 21 -28) เป็นพอร์ต ไอโอ 8 บิตแบบ Open Drain Bidirectional ด้วยการพูลอ์ฟภายใน, พอร์ต 2 ที่ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์เอาต์พุทสามารถจ่ายโพลดที่ทีแอลตระกูลแอลเอสไอได้ 4 ตัว พอร์ตจะถูกใช้งานเป็นตัวส่งแอดเดรสไบต์สูงด้วย เมื่อใช้งานร่วมกับหน่วยความจำภายนอกเพื่อให้แอดเดรสได้ถึง 16 บิต ด้วยการใช้งานแบบนี้ มันจะมีพูลอ์ฟภายในที่ช่วยให้การส่งค่า "1" ได้ระดับที่แน่นอน นอกจากการใช้งานสำหรับแอดเดรสอันดับสูง ยังใช้เป็นขาควบคุมในการใช้งานตรวจสอบ และ เขียนโปรแกรมเบอร์ 8751 และ ตรวจสอบโปรแกรมภายใน 8051

- ขา PORT 3 (P3.0 - P3.7) (ขา 10 - 17) เป็นพอร์ต ไอโอ 8 บิตแบบพูลอ์ฟภายใน นอกจากทำเป็นพอร์ตไอโอที่สามารถรับโพลด ที่มีแอลพวตระกูล แอลเอสไอได้ 4 ตัวแล้วยังใช้งานเป็นพิเศษสำหรับตระกูล MCS-51 ตามรายการข้างล่างนี้ด้วย การที่จะให้ทำงานตามฟังก์ชันข้างบน จะต้องเริ่มโปรแกรมด้วยการส่ง ค่า "1" ไปแลทซ์ไว้ก่อนที่ให้

ทำงานตามฟังก์ชันข้างบน

- ขา RST (ขา 9) ต้องคงสถานะค่าสูงเป็นเวลาประมาณอย่างน้อย สองวัฏจักร ระหว่างเวลาที่ออสซิลเลเตอร์ทำงานขณะที่ต้องการรีเซ็ตทั้งระบบงาน โดยจะต่อรีจิสเตอร์มูลตาวัน (8.2 กิโลโอมห์) จากขา RST ไปลงดินและเพื่อให้ตัวชิปรีเซ็ตได้โดยอัตโนมัติขณะเปิดไฟจะใช้คาปาซิเตอร์ ( 10 ไมโครฟารัด ) ต่อค่อม ระหว่างขา RST กับ ขา Vcc
- ขา ALE/PROG ( ขา 30 ) เป็นขาแอดเดรสแลทซ์อื่นาเป็ลด้วย การส่งพัลส์ออกไปใช้สำหรับแลทซ์ค่าแอดเดรสไบต์ต่ำจากพอร์ต 0 ในระหว่างการเข้า ถึงข้อมูลจากหน่วยความจำภายใน, ALE จะถูกส่งสัญญาณนาฬิกาออกมาในอัตราความเร็วคงที่ ที่ 1/8 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ตลอดเวลา แม้ว่าจะไม่มีการเข้าถึงข้อมูล จากภายใน, ดังนั้นจึงสามารถที่จะใช้สัญญาณจากขานี้เป็นตัวตั้งเวลาภายนอก หรือเป็นความถี่สัญญาณนาฬิกา แต่อย่างไรก็ตามความถี่สัญญาณนี้จะลดความถี่ช้าลงไปที่หนึ่ง

ระหว่างการทำงาน แบบการเข้าถึงของหน่วยความจำข้อมูลภายนอก, ขานี้ยังใช้เป็น สัญญาณพัลส์เข้า สำหรับการควบคุมการโปรแกรม EPROM ภายในชิป

- ขา PSEN (ขา 29) [ Program Storage Enzable ] เป็นสโตรบ อ่านข้อมูลจากโปรแกรมหน่วยความจำภายนอก เมื่อชิปทำงานด้วยโปรแกรม ภายนอก ขา PSEN จะสร้างสโตรบต่ำสองครั้งภายในแต่ละวัฏจักรแมชชีน สัญญาณจะมีสถานะสูงหรือพัลส์ต่ำ ทั้งสองลูกจะหายไปเมื่อทำงานในช่วงการอ่านหรือเขียนข้อมูล จากหน่วยความจำข้อมูลภายนอก และ PSEN จะไม่มีพัลส์ส่งออกไปถ้าชิปทำงานด้วย โปรแกรมหน่วยความจำภายใน
- ขา EA/Vpp (ขา 31) มีสถานะสูงตัวที่ฝังอยู่ในชิปจะทำงานตามโปรแกรมที่อยู่ในหน่วยความจำภายใน (โดยที่โปรแกรม

จะต้องไม่ยาวกว่า 4 กิโลไบต์ สำหรับเบอร์ 8051 AH และ 8 กิโลไบต์ สำหรับเบอร์ 8052 AH) การทำให้ EA มีสถานะต่ำจะเป็นการควบคุม ให้ซีพียูทำงานตามโปรแกรม หน่วยความจำภายนอก ซึ่งขยายโปรแกรมได้ยาวถึง 64 กิโลไบต์ ในตัว 8031 AH และ 8032 AH ซา EA จะต้องต่อลงดินเช่นกัน แม้ว่าจะไม่มี ROM อยู่ภายในก็ตาม ในตัว 8751 H จะใช้ขาที่ 21 จ่ายแรงดัน 21 V ขณะทำการเขียนโปรแกรมเข้า EPROM ของชิป 8751 H ดังนี้

- ขา XTAL1 ขา 19 ใช้เป็นตัวอินพุต เข้าสู่ออสซิลเลเตอร์ ขยายแบบ Invert
- ขา XTAL2 ขา 18 ใช้เป็นตัวเอาต์พุต จากตัวออสซิลเลเตอร์ขยาย แบบ Invert

ตามตารางที่ 5.1 MCS-51 ทั้ง 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่มี ROM ไม่มี ROM และพวก EPROM จะมีขาใช้งานเหมือนกันหมด ยกเว้นขา 1 จะใช้งานเป็น T2 และขา 2 จะเป็น T2EX ในเบอร์ 8032/8052 ตลอดถึงจังหวะเวลา (Timing Diagram) และคุณสมบัติไฟฟ้าทั้งสามจะแตกต่างกันเฉพาะการโปรแกรมในชิป MCS-51 เท่านั้น ซึ่งแต่ละแบบจัดไปตามความต้องการของผู้ใช้เช่น 8751 จะมี 4 กิโลไบต์

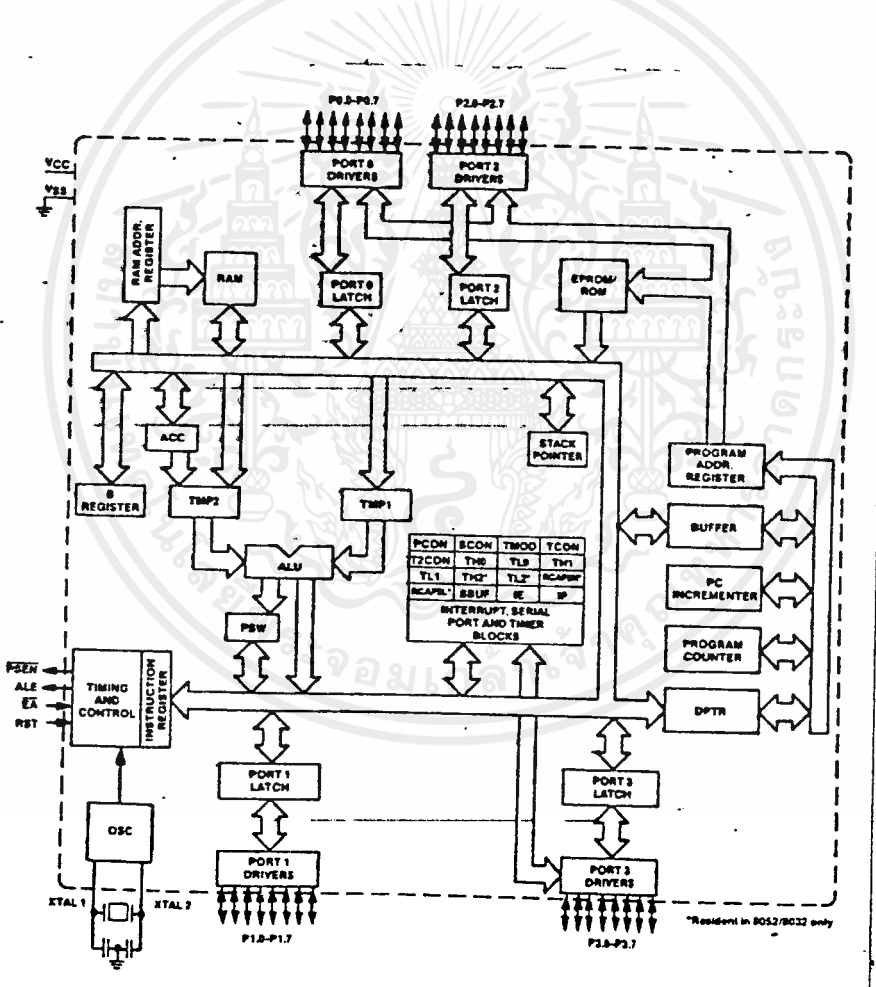
ของ Ultraviolet - Erasable Programmable Read Only Memory (EPROM) เหมาะสำหรับการพัฒนาเครื่องต้นแบบ และการผลิตอุปกรณ์ที่มีจำนวนจำกัด เมื่อต้องการจะเขียนโปรแกรมเข้า EPROM จะมีตัวเขียนโปรแกรมพิเศษสำหรับเขียนโปรแกรมที่ผู้ออกแบบเขียนขึ้นมาได้ ถ้าโปรแกรมมีส่วนผิดพลาดที่ต้องการจะแก้ไขก็สามารถแก้ไขได้โดยการนำตัว 8751 ไปล้างโปรแกรมเดิมออกด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต และอัดข้อมูลโปรแกรมที่ได้แก้ไขแล้วเข้าไปใหม่ ทำเช่นนี้จนกระทั่งได้โปรแกรมสมบูรณ์ และเมื่อต้องการผลิตจำนวนมาก ก็สามารถที่จะใช้ MCS-51 เบอร์ 8051 ที่มี 4 กิโลไบต์ของ ROM ซึ่งจะถูกอัดข้อมูลโปรแกรมตามความต้องการของผู้ออกแบบโดยลงนามผู้ผลิตชิปเบอร์นี้ การผลิตลักษณะนี้จะถูกกว่าการใช้เบอร์ 8751 แต่โปรแกรมภายในจะไม่สามารถลบได้และโปรแกรมใหม่ได้หลังจากการผลิตไปแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเบอร์ 8031 จะไม่มีหน่วยความจำของโปรแกรมบนชิป แต่อาจต่อ หน่วยความจำโปรแกรมจากหน่วยความจำภายนอกด้วย ROM EPROM หรือ PROM ได้ ถึง 64 กิโลไบต์ ดังนั้น 8031 จึงเหมาะสำหรับการใช้งานที่โปรแกรมมีขนาดใหญ่กว่า 4 กิโลไบต์ และสำหรับผู้ออกแบบที่ต้องการแยกส่วนของโปรแกรมออกจากชิป

### 5.2 การจัดการทางสถาปัตยกรรม

รูปที่ 5.2 เป็นบล็อกไดอะแกรมที่แบ่งตามลักษณะงานทางสถาปัตยกรรมภายในของ MCS-51 โดยซึ่งเกิลชิปแต่ละตัวของตระกูลนี้จะประกอบด้วยหน่วยศูนย์กลาง



รูปที่ 5.2 สถาปัตยกรรม MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมวลผล หน่วยความจำสองชนิด คือ แบบ RAM กับ ROM หรือ EPROM พอร์ตเอาต์พุต อินพุต ไทม์ตรีจิสเตอร์ สถานะและข้อมูล ส่วนวงจรตรรกในการ RANDOM ที่จำเป็นสำหรับ ตัวแปรของฟังก์ชันการต่อพ่วงส่วนต่าง ๆ ที่กล่าวนี้จะติดต่อกันด้วยบิตข้อมูลขนาด 8 บิต และจะมีบิตเฟลอร์สำหรับการติดต่อข้อมูลกับภายนอกผ่านพอร์ตไอโอ เมื่อต้องการขยายหน่วย ความจำหรือพอร์ตไอโอ

### 5.3 หน่วยศูนย์กลางประมวลผลหรือซีพียู

ซีพียูเป็นมันสมองของระบบไมโครคอมพิวเตอร์ การอ่านโปรแกรม และทำ ตามคำสั่งโปรแกรมจะทำหน้าที่ส่วนนี้ โดยการใช้ส่วนคณิตศาสตร์ และตรรกศาสตร์ทำ งานร่วมกับเรจิสเตอร์ A, B, PSW (Program Status Word), SP (Stack Pointer) ตัวนับโปรแกรม (PC: Program Counter) ขนาด 16 บิต และตัวชี้ ตำแหน่งข้อมูล (DPTR: Data Pointer) ส่วนคณิตศาสตร์และตรรกศาสตร์ (ALU: Arithmetic Logic Unit) ALU นี้ทำงานในฟังก์ชันคณิตศาสตร์ และตรรกศาสตร์ ด้วยตัวแปรต่าง ๆ ขนาด 8 บิต ที่มีลักษณะการทำงานทางคณิตศาสตร์เป็น บวก ลบ คูณ หาร รวมทั้งทางตรรกศาสตร์ เช่น AND OR XOR รวมทั้งการเลื่อนและวนรอบบิต การ เคลียนค่า และกลับค่า (Complement) เป็นต้น ALU ยังสามารถที่จะตัดสินใจในการให้ ภาระไปทำคำสั่งของโปรแกรมในส่วนอื่น ๆ ตามเงื่อนไขที่ตั้งขึ้น และยังแบ่งเรจิสเตอร์ ชั่วครู่ ใช้สำหรับเป็นทางผ่านชั่วคราวของข้อมูลในการถ่ายเทภายในระบบ คำสั่งอื่นที่มี การใช้ ALU ยังมีความสามารถที่จะเพิ่มค่าในเรจิสเตอร์ ในลักษณะการบวกด้วยหนึ่ง (Increment) หรือค่านวนเลขที่อยู่ของข้อมูลที่จะนำไปเก็บ หรือการลดค่าลงครึ่งละหนึ่ง ในลักษณะการลบด้วยค่าหนึ่ง (Decrement) โดยอัตโนมัติ หรือใช้ในการเปรียบเทียบค่า ของตัวแปรทั้งสองค่าสำหรับในการทำงานทางสถาปัตยกรรมของ MCS-51 คือ ความสา มารถในการทำงานสำหรับข้อมูลขนาด 8 บิต และ 1 บิต การใช้งานระดับบิตในการเซต เคลียร์ หรือกลับค่า การเคลื่อนย้าย การทดสอบ และใช้ในการคำนวณทางตรรกขนาด 1 บิต ความสามารถเช่นนี้ เหมาะสำหรับใช้ในงานควบคุมของสัญญาณเข้า และออกแบบ ทางตรรกด้วยพีชคณิต Boolean ซึ่งโดยปกติทำได้ลำบาก สำหรับไมโครโพรเซสเซอร์ ที่ว่า ๆ ไป งานในลักษณะนี้จึงได้ชื่ออีกอย่างหนึ่งว่า ตัวประกอบผลบูลีน (Boolean

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Processor

### 5.3.1 แอคคิวมิวเลเตอร์ (Accumulator=ACC)

MCS-51ก็เช่นเดียวกับ MCS-48 ที่ใช้ ACC ที่มีขนาด 8 บิต เป็น แอคคิวมิวเลเตอร์หลักค่าส่งส่วนใหญ่จะอ้างถึงตัวเรจิสเตอร์นี้ โดยถือค่าภายในเป็นค่าตัวตั้ง และรับ ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากคำสั่งทางคณิตศาสตร์ เช่น บวก ลบ คูณ หาร เข้ามาเก็บไว้ , ตัว ACC ยังสามารถใช้เป็นตัวแหล่งกระทำ หรือถูกกระทำในการทำงานทางตรรก และ ใช้เป็นตัวกลาง ในการถ่ายเทข้อมูล ในการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกไอโอ และหน่วย ความจำภายนอก รวมถึงการตรวจสอบตารางข้อมูล

### 5.3.2 รีเจสเตอร์ B

เป็นรีเจสเตอร์พิเศษที่ใช้ทำงานสำหรับคำสั่งของการคูณและหาร โดยใช้เป็นที่ เก็บตัวคูณหรือตัวหาร และเป็นที่ยกผลลัพธ์ตัวที่สอง ของ การคูณและเศษหลังการหาร

สัญลักษณ์	ตำแหน่ง	ข้อกำหนดการทำงาน
CY	PSW7	แฟลกตัวทดจะเซต/เคลียร์ด้วยฮาร์ดแวร์ หรือซอฟต์แวร์ ระหว่างผลลัพธ์หลังการใช้คำสั่งทางคณิตศาสตร์ หรือ ตรรกศาสตร์ที่แน่นอน
AC	PSW6	แฟลกตัวทดของ Auxiliary จะเซต/เคลียร์ด้วยฮาร์ดแวร์ระหว่างการบวกและลบที่แสดงผลการทดหรือยืมจาก บิตที่ 3 ของ ACC
FO	PSW5	แฟลก 0 จะ เซต/เคลียร์ ด้วยซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้กำหนด สถานะแฟลกนี้เอง
RS1	PSW4	เรจิสเตอร์ตัวควบคุมการเลือกแรงแงค์ด้วยค่า RS1 และ RS0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RS0

PSW3

จะเซต/เคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์ เพื่อเลือกกลุ่มเรจิสเตอร์ทำงานในแต่ละแบนด์โดยปรับค่าใน RS1 และ RS0 ในอานาเบิ้ลคลุมลักษณะการเลือกแบนด์ต่อไปนี้

RS1	RS0	เลือกแบนด์	ค่าแอดเดรส
0	0	แบนด์ 0	00H - 07H
0	1	แบนด์ 1	08H - 0FH
1	0	แบนด์ 2	10H - 17H
1	1	แบนด์ 3	18H - 1FH

OV

PSW2

แฟลก Overflow จะเซต/เคลียร์ด้วยฮาร์ดแวร์ระหว่างการใช้คำสั่งที่แสดงผลถึงการเกิดลักษณะ Overflow - ทางคณิตศาสตร์

-

SW1

บิตสำรอง จะไม่สามารถเซต/เคลียร์ด้วยผู้ใช้เพราะสำรองไว้สำหรับโรงงานผู้สร้าง

P

PSW0

แฟลกพาริตีจะเซต/เคลียร์ด้วยฮาร์ดแวร์แต่ละวัฏจักรคำสั่ง แสดงถึงตัวเลขค่า "1" ในแต่ละบิตของแอกคิวเรเตอร์ เช่น "1" มี 6 บิต จะเป็นพาริตีคู่ P บิต จะเท่ากับ 0

หมายเหตุ ความหมายของฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ในตารางต่าง ๆ ในแต่ละบิตของตัวเรจิสเตอร์ การที่บิตจะเซตหรือเคลียร์นั้น ถ้าเกิดขึ้นจากฮาร์ดแวร์จะหมายถึง ค่าบิตในเรจิสเตอร์จะเกิดเซตตัวเอง เนื่องจากผลของความหมายของการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานตามคำสั่งของบิตนั้น เช่น T1 จะเซตตัวเองด้วยฮาร์ดแวร์ เมื่อการส่งข้อมูลได้สิ้นสุดถึง STOP บิตแล้ว ช่วยให้เราสามารถตรวจสอบได้ว่าการส่งข้อมูลครั้งละไบต์นั้นสิ้นสุดหรือยัง ถ้ายังจะได้รอต่อไปก่อน หรือมีการคำนวณแล้วผลลัพธ์เกิด overflow ใน PSW ก็เซตตัวเองที่บิต OV ส่วนทางซอฟต์แวร์ หมายถึง ว่าเราสามารถที่จะเซต หรือเคลียร์ได้ด้วยการใช้คำสั่งต่าง ๆ ในกฎเซต หรือเคลียร์ในบิตแต่ละบิตของเรจิสเตอร์ เป็นลักษณะทางซอฟต์แวร์

### 5.3.3 เรจิสเตอร์ค่าแสดงสถานะโปรแกรม (Program Status Word: PSW)

เรจิสเตอร์ PSW เป็นเรจิสเตอร์ที่แสดงผลที่ได้หลังจากการใช้คำสั่งต่าง ๆ และใช้เป็นตัวเลือกรวมการทำงานของเรจิสเตอร์กลุ่มต่าง ๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังรูป 7.5

### 5.3.4 ตัวชี้สแต็ก (Stack Pointer: SP)

MCS-51 จะรวมใช้สแต็กทางฮาร์ดแวร์ที่ใช้ RAM ภายในสำหรับบริการเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรมหลัก และสแต็กการผ่านพารามิเตอร์ระหว่างงานในแต่ละส่วนโปรแกรม และสแต็กเก็บตัวแปรข้อมูลชั่วคราว หรือสแต็กการเก็บสถานะระหว่างการบริการงานอินเตอร์รัพต์ไว้ภายในชิป โดยที่ SP จะมีขนาด 8 บิต จะเพิ่มค่าขึ้นโดยอัตโนมัติ ก่อนที่ข้อมูลจะนำมาเก็บในหน่วยความจำระหว่างการใช้คำสั่ง POP หรือ RETURN โดยทฤษฎีทางสถาปัตยกรรม MCS-51 สามารถใช้สแต็กให้มีเนื้อที่ถึง 128 ไบต์ แต่ในทางปฏิบัติสำหรับโปรแกรมทั่วไปจะใช้น้อยกว่านี้ SP จะเริ่มที่ตำแหน่ง 07H ดังนั้นสแต็กจะเริ่มบรรจุข้อมูลที่ตำแหน่ง 08H MCS-51 สามารถเปลี่ยนแปลงค่าใน SP ได้ ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนตำแหน่งสแต็กไปยังที่ใด ๆ ของ RAM ภายในชิป

### 5.3.5 ตัวชี้ข้อมูล (Data Pointer: DPTR)

DPTR เรจิสเตอร์ขนาด 16 บิตที่ประกอบด้วยไบต์สูง (DPH) และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไบต์ต่ำ (DPL) ที่เราสามารถเลือกแบ่งออกเป็น เรจิสเตอร์ 8 บิต สองตัวที่ใช้อย่างอิสระ หรือจะใช้รวมกันทั้งสิ้น 16 บิต ก็ได้ ในการ Increment หรือ Decrement เพื่อประโยชน์ในการใช้เป็นฐานของเลขที่อยู่ในเรจิสเตอร์ ในการกระโดดโดยทางอ้อมในการใช้คำสั่งเกี่ยวกับตารางข้อมูล และตำแหน่งของหน่วยความจำภายนอก

### 5.3.6 พอร์ต 0 ถึง 3

เรจิสเตอร์ P0, P1, P2 และ P3 ของกลุ่มเรจิสเตอร์ ฟังก์ชันพิเศษ (Special Function Register: SFR) เป็นจะตัวเรจิสเตอร์ที่เลขที่ค่าของพอร์ต 0, 1, 2, และ 3 ตามลำดับ ในขณะที่ใช้งาน

### 5.3.7 บัฟเฟอร์ข้อมูลอนุกรม (Serial Data Buffer : SBUF)

บัฟเฟอร์ข้อมูลอนุกรมแบ่งออกเป็นเรจิสเตอร์สองตัว ตัวหนึ่งเป็นบัฟเฟอร์การส่งและอีกตัวเป็นบัฟเฟอร์การรับ เมื่อข้อมูลถ่ายเทเข้า SBUF มันจะถ่ายเทไปยังบัฟเฟอร์ส่งซึ่งเป็นตัวจัดการส่งข้อมูลอนุกรม วิธีการเคลื่อนย้ายเข้า SBUF ขึ้นอยู่กับค่าเริ่มต้น (Initial) การส่งเมื่อข้อมูลเข้าออกจาก SBUF จะเป็นการรับข้อมูลจากบัฟเฟอร์ตัวรับ

### 5.3.8 เรจิสเตอร์ Capture

ไอซีเบอร์ 8032/8052 จะมีคู่เรจิสเตอร์ (RCAP2H, RCAP2L) เพิ่มเติมเป็นเรจิสเตอร์เคปเจอร์สำหรับตัวตั้งเวลาหมายเลข 2 ในโหมดการใช้งานของเรจิสเตอร์ตัวนี้จะรับการเปลี่ยนแปลงที่เข้ามาที่ขา T2EX, ตัว TH2 และ TL2 จะลอกข้อมูลเข้าไปในเรจิสเตอร์คู่ RCAP2H และ RCAP2L ด้วยการใช้ตัวตั้งเวลา จะมีโหมดการบรรจุอัตโนมัติขนาด 16 บิต สำหรับการไว้ตัวตั้งเวลา/ตัวนับ 2 ซึ่งมีรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

### 5.3.9 เรจิสเตอร์ควบคุม (Control Register)

กลุ่ม SFR ที่เป็น IP, IE, TMOD, TCON, T2CON, SCON และ PCON จะประกอบด้วยบิตที่ใช้ในการควบคุม และแสดงสถานะของการทำงานในระบบ อินเทอร์เน็ตตัวตั้งเวลา/ตัวนับ และพอร์ตอนุกรมซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

### 5.4 การจัดการหน่วยความจำ

MCS-51 จะจัดแบ่งตำแหน่งสำหรับ SFR ให้ทำงานเป็นเรจิสเตอร์ต่าง ๆ

ดังนี้

NAME	FUNCTION	ตำแหน่ง
* ACC	Accumulator	0E0H
* B	B เรจิสเตอร์	0F0H
* PSW	Program Status Word	0E0H
* SP	Stack Pointer	081H
DPTR	ตัวชี้ข้อมูล ประกอบด้วย DPH และ DPL	083H 082H
* P0	พอร์ต 0	080H
* P1	พอร์ต 1	090H
* P3	พอร์ต 3	0B0H
* IP	ตัวควบคุมการอินเทอร์เน็ตตามลำดับ	0B8H
* IE	ตัวควบคุมการอินเทอร์เน็ตอื่นาเบิ้ล	0A8H
TMOD	ตัวควบคุมการเลือกโหมดตัวตั้งเวลา / ตัวนับ	089H
* T2CON	ตัวควบคุมตัวตั้งเวลา/ตัวนับ2	088H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TCON	ตัวควบคุมตัวตั้งเวลา/ตัวนับ	0C8H
THO	เรจิสเตอร์ตัวตั้งเวลา/ตัวนับ0 (ไบต์สูง)	08CH
TLO	เรจิสเตอร์ตัวตั้งเวลา/ตัวนับ0 (ไบต์ต่ำ)	08AH
TH1	เรจิสเตอร์ตัวตั้งเวลา/ตัวนับ1 (ไบต์สูง)	08DH
TL1	เรจิสเตอร์ตัวตั้งเวลา/ตัวนับ1 (ไบต์ต่ำ)	08BH
+ TH2	เรจิสเตอร์ตัวตั้งเวลา/ตัวนับ2 (ไบต์สูง)	0CDH
+ TL2	เรจิสเตอร์ตัวตั้งเวลา/ตัวนับ2 (ไบต์ต่ำ)	0CCH
+ RLDH	เรจิสเตอร์ตัวตั้งเวลา/ตัวนับ2 ประจุใหม่ อัตรานมิตี (ไบต์สูง)	0CBH
+ RLDL	เรจิสเตอร์ตัวตั้งเวลา/ตัวนับ2 ประจุใหม่ อัตรานมิตี (ไบต์ต่ำ)	0CAH
SCON	ควบคุมการจัดส่งข้อมูลอนุกรม	098H
SBUF	บัฟเฟอร์ข้อมูลการส่งอนุกรม	099H
PCON	ควบคุมการใช้พลังงาน(Power)	097H

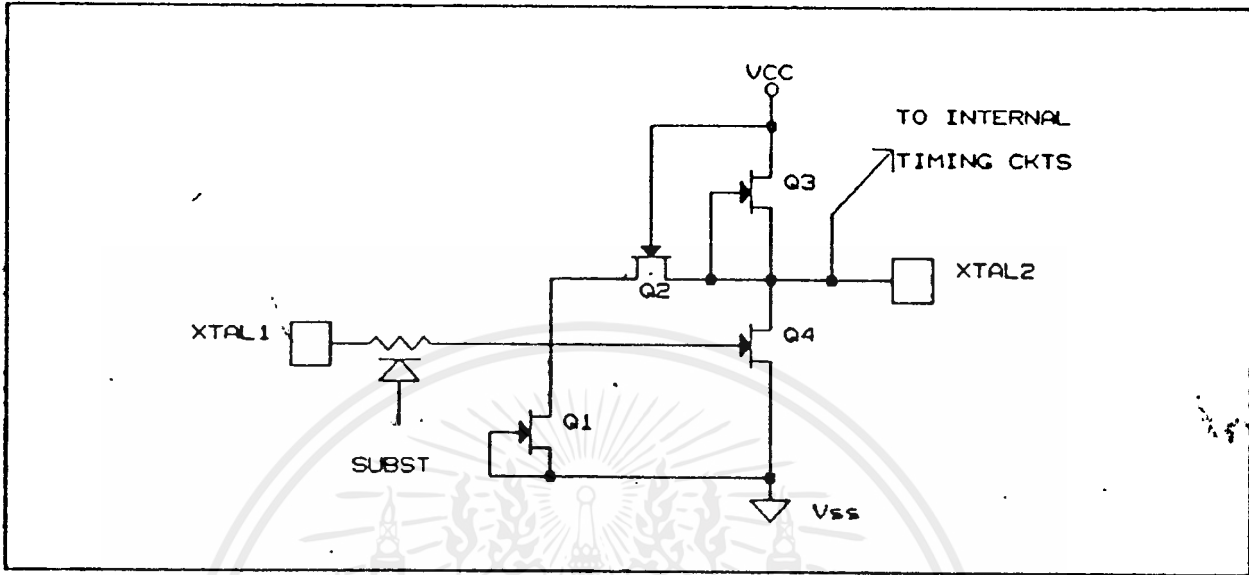
เครื่องหมาย \* หน้าตัวเรจิสเตอร์แสดงว่าเรจิสเตอร์นั้น สามารถที่จะ แอดเดรสข้อมูลได้ทั้งข้อมูลขนาดไบต์และบิต และ เครื่องหมาย + นั้นแสดงว่าจะมีใน 8032/8052 เท่านั้น

ตัว MCS-51 จะแยกแอดเดรสสำหรับหน่วยความจำของโปรแกรม และหน่วย ความจำของข้อมูลออกจากกัน หน่วยความจำของโปรแกรมขยายได้ถึง 64 กิโลไบต์ และ จำนวนไบต์ต่ำ 4 กิโลไบต์ จะอยู่ใน 8051 หน่วยความจำของข้อมูลมี 128 ไบต์ (256 ไบต์สำหรับ 8032/8052) บนชิป และอีก 128 ไบต์ ใช้สำหรับเรจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ และหน่วยความจำข้อมูลภายนอกอีก 64 กิโลไบต์

### 5.5 ออสซิลเลเตอร์ และวงจรมานีทา

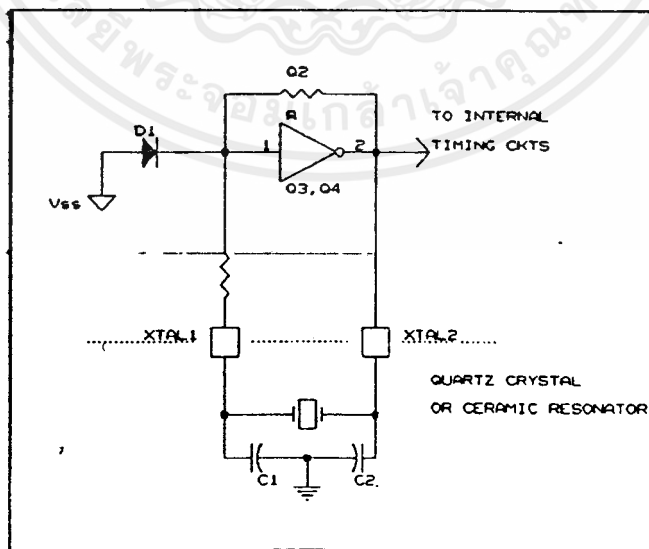
วงจรออสซิลเลเตอร์ที่อยู่ในชิปแบบ HMOS ของตระกูล MCS-51 จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน MCS-51 แบบ HMO5

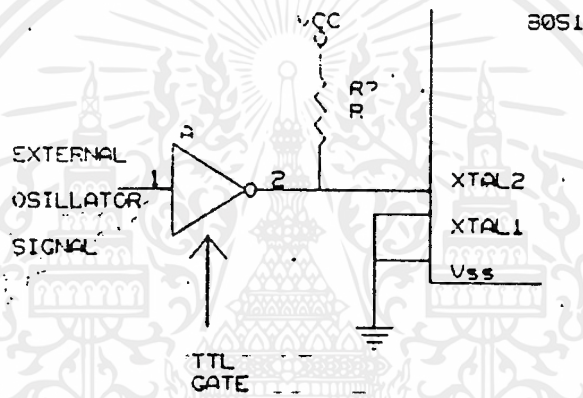
เป็น Single Linear Invertor ดังแสดงในรูปที่ 4 เพื่อใช้คริสตัลควบคุมเป็น ออสซิลเลเตอร์แบบอื่นอีกที่พบวางดังรูปที่ 5.3 ในการใช้งานคริสตัลนี้จะทำงานที่โหมด



รูปที่ 5.4 การใช้วงจรรออสซิลเลเตอร์บน HMO5 ชิป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

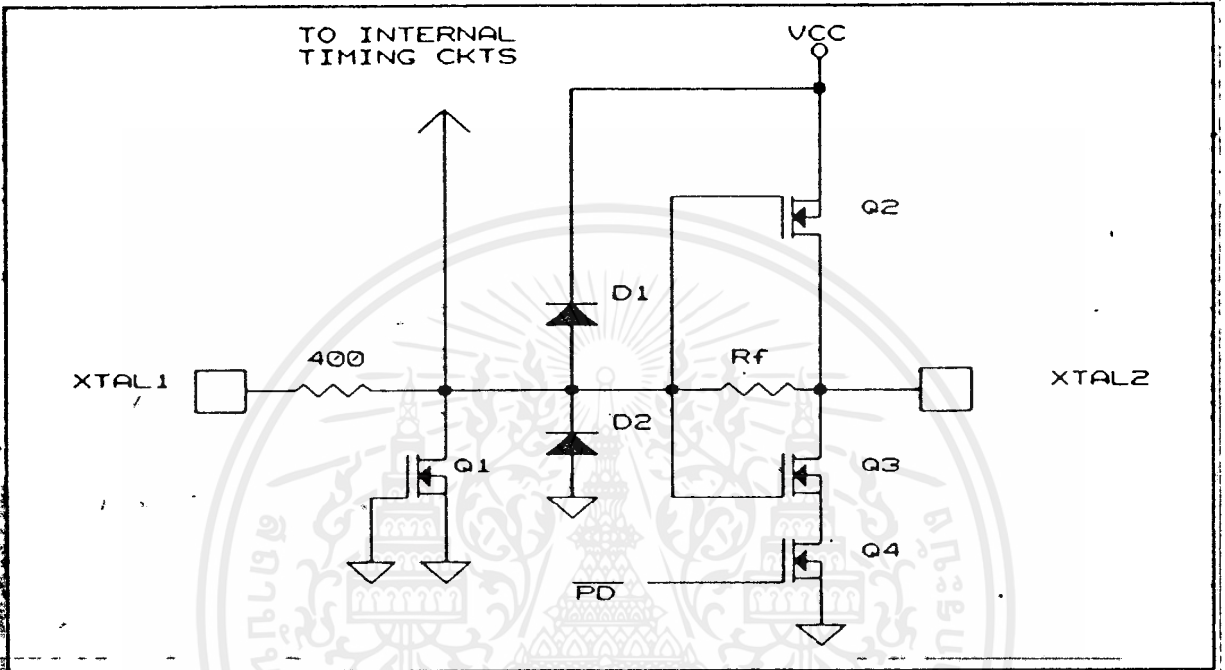
Fundamental เสมือนเป็น Inductance โดยต่อขนานอยู่กับตัวคาปาซิเตอร์ภายนอกที่ต่อกับคริสตัล การกำหนดตัวคริสตัล และค่าคาปาซิเตอร์ C1 และ C2 ในรูปที่ 5.4 ไม่ค่อยวิกฤตนัก อาจจะมีค่าประมาณ 30 PF สำหรับทุกความถี่ของตัวคริสตัลชนิดนี้ ส่วนการใช้ Ceramic Resonator ค่าคาปาซิเตอร์ที่มาต่อจะมีค่าสูงกว่า โดยมีค่าประมาณ 47 PF การใช้ค่าคาปาซิเตอร์อาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับตัว Ceramic Resonator นั้น ๆ การขับตัว HMOH ด้วยสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกก็ทำได้เช่นกันโดยต่อเข้าที่ขา XTAL2 และต่อลงดินที่ขา XTAL1 ดังรูปที่ 5.5 ควรจะใช้ตัวต้านทานพลัฟเพราะที่ XTAL2 ต้องการสัญญาณในระดับทีทีแอล



รูปที่ 5.5 การจ่ายสัญญาณนาฬิกาภายนอกในการขับ HMOH MCS-51

ส่วนแบบ CHMOS วงจรออสซิลเลเตอร์ที่อยู่ในชิปของ 80C51 มีดังรูปที่ 7.8 ซึ่งประกอบด้วย Single Stage Linear Invertor สำหรับการใส่คริสตัลควบคุมให้เป็นออสซิลเลเตอร์ Reactance นวก เช่นเดียวกับกับ HMOH แต่ก็มีข้อแตกต่างบางประการที่สำคัญก็คือ 80C51 สามารถที่จะหยุดการทำงานของตัวออสซิลเลเตอร์ภายใต้การควบคุมด้วยซอฟต์แวร์ด้วยการเขียน "1" เข้า PD บิตของเรจิสเตอร์ PCON ที่แตกต่างอีกข้อก็คือ วงจรสัญญาณนาฬิกาภายนอกของ CHMOS จะถูกขับด้วยสัญญาณที่ขา XTAL1 ตรงกันข้ามกับ HMOH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

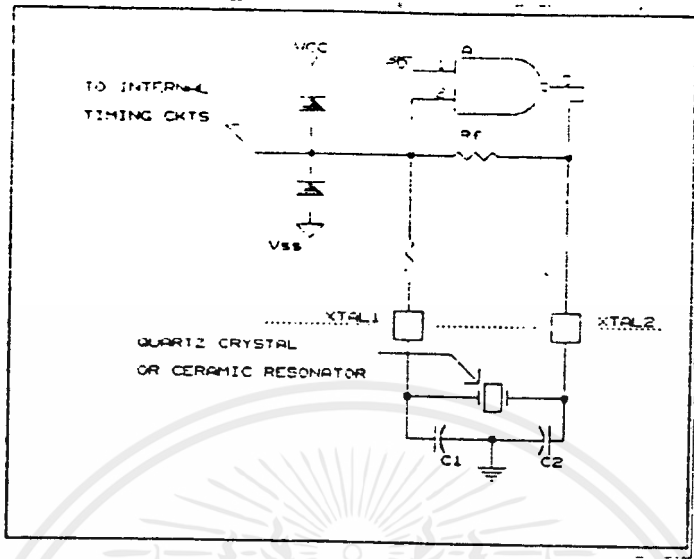


รูปที่ 5.6 วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน MCS-51 แบบ CHMOS

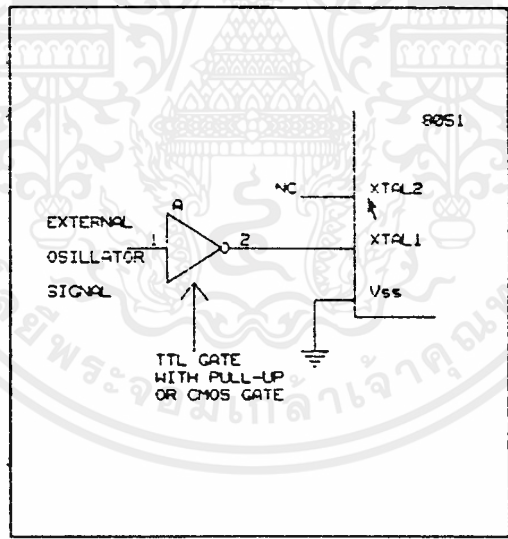
ตัวเรจิสเตอร์ฟีดแบคส์  $R_f$  ในรูปที่ 5.7 ประกอบด้วย N และ P Channel FETS ที่ถูกควบคุมด้วยบิต PD ดังนั้น  $R_f$  จะเปิดวงจรเมื่อ  $PD = 1$  ตัวไดโอด  $D_1, D_2$  ทำหน้าที่ CLAMP กัน  $V_{cc}$  และ  $V_{ss}$  ที่จะเข้า  $R_f$  FETS

ออสซิลเลเตอร์สามารถใช้ชนิดเดียวกันกับที่ใช้กับแบบ HMOS ตามรูปที่ 5.7 ใช้  $C_1 = C_2 = 30$  PF เมื่อฟีดแบคส์เป็นตัวคริสตัลควอทซ์ และ  $C_1 = C_2 = 47$  PF เมื่อใช้ตัว Ceramic Resonator การขับ CMOS ด้วยสัญญาณนาฬิกาภายนอกจะต่อเข้ากับขา XTAL1 และปล่อย XTAL2 ไว้ดังแสดงในรูปที่ 5.8 ไม่มีข้อกำหนดแน่นอนสำหรับขนาดของ Duty Cycle ของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ภายนอก เพียงแต่สัญญาณเข้าจะถูกหารสองให้เป็นสัญญาณนาฬิกาเมื่อต้องการใช้ช่วงเวลาสัญญาณนาฬิกาควบคุมงานในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 การใช้วงจรออสซิลเลเตอร์บน CHMOS 51



รูปที่ 5.8 การจ่ายสัญญาณนาฬิกาภายนอกในการขับ CHMOS MCS-51

สัญญาณนาฬิกาที่ได้จะได้รับการเอา 2 ไปหาสัญญาณของออสซิลเลเตอร์ และแบ่งจ่ายเข้าชิปเป็นสองเฟส เฟสที่หนึ่ง สัญญาณจะแฉีกที่ระหว่างครึ่งแรกของแต่ละคาบสัญญาณนาฬิกา และเฟสที่สอง สัญญาณจะแฉีกที่ระหว่างครึ่งที่สองของแต่ละคาบสัญญาณนาฬิกา โดยให้ XTAL2 เป็นขาอินพุตเข้าของตัวกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.6 ช่วงจังหวะเวลาของซีพียู

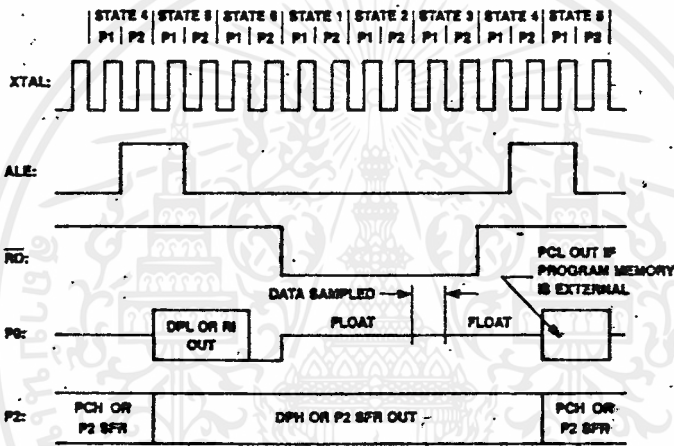
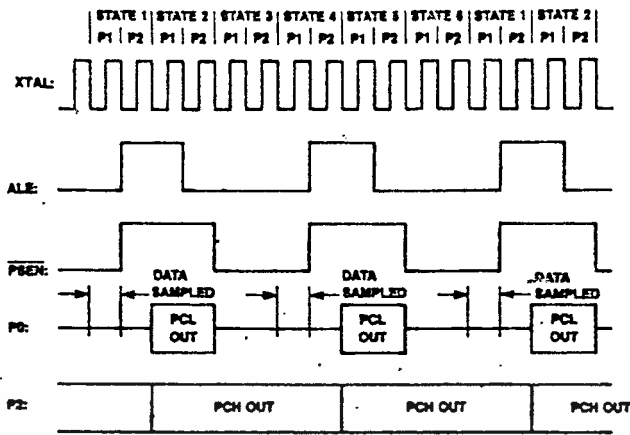
วิจักรแมชีน ประกอบด้วย 6 สถานะ หรือเท่ากับ 12 คาบของออสซิลเลเตอร์แต่ละสถานะจะแบ่งเป็นเฟส 1 (P1) ครึ่งหนึ่งเป็นช่วงเฟส 1 แอ็กทีฟและเฟส 2 (P2) เป็นเฟส 2 แอ็กทีฟ ดังนั้นในแต่ละวิจักรแมชีนจะประกอบด้วย 12 คาบของออสซิลเลเตอร์เป็นจำนวน S1P1 คือ สถานะที่ 1 เฟสที่ 1 ถึง S6P2 คือ สถานะที่ 6 เฟสที่ 2 โดยปกติจะทำงานแบบคณิตศาสตร์และตรรกศาสตร์ จะทำงานในช่วงเฟส 1 และการถ่ายเทข้อมูลภายในระหว่างเรจิสเตอร์จะทำในช่วงเฟส 2

ตามแผนภูมิในรูป 5.9 แสดงถึงช่วงเวลาการเฟิร์ทซ์ และการทำงานที่อ้างอิงลักษณะภายในและเฟส เนื้อหาจากสัญญาณนาฬิกาภายในผู้ไม่สามารถที่จะควบคุมการเข้าถึงภายในได้โดยปกติ ALE จะแอ็กทีฟ 2 ครั้งในแต่ละวิจักรแมชีน และจะเกิดขึ้นระหว่าง S1P2 ถึง S2P1 ครั้งหนึ่งและระหว่าง S4P2 ถึง S5P1 อีกครั้งหนึ่ง

การทำงานของแต่ละวิจักรคำสั่งจะเริ่มที่ S1P2 เมื่ออ็อปโค้ดเก็บเข้าในตัวเรจิสเตอร์คำสั่งหรืออ่านอ็อปโค้ดเข้ามา ถ้าคำสั่งมี 2 ไบต์ ไบต์ที่สองจะถูกอ่านในช่วง S4 ภายใต้วิจักรแมชีนเดียวกัน แต่ถ้าเป็น 1 ไบต์คำสั่ง จะยังคงเฟิร์ทซ์ที่ S4 แต่ไบต์ที่ถูกอ่าน (ซึ่งควรจะเป็นไบต์ที่สองของคำสั่งเดียวกัน) จะไม่มีผล และตัวนับโปรแกรม (PC) จะยังไม่เพิ่มค่า ไม่ว่างกรณีใดการทำงานจะสมบูรณ์ที่ปลายของ S6P2 ตามรูปที่ 5.9(A) กับ 5.9(B) เป็นกรแสดงแผนภูมิเวลาสำหรับ 1 ไบต์ใน 1 รอบคำสั่ง กับ 2 ไบต์ใน 1 รอบคำสั่ง

คำสั่ง MCS-51 ส่วนใหญ่จะทำงานในช่วงหนึ่งวิจักรยกเว้นคำสั่ง MUL (คูณ) DIV (หาร) ที่ใช้มากกว่าสองวิจักร ในการที่จะทำงานให้สมบูรณ์ได้จะใช้ถึงสี่วิจักร ปกติรหัสสองไบต์จะถูกเฟิร์ทซ์วิจักรหน่วยความจำโปรแกรมช่วงทุกวิจักรแมชีน ยกเว้นคำสั่งพิเศษคือ MOVS ซึ่งมี 1 ไบต์คำสั่ง แต่จะใช้เวลาสองวิจักร ในการเข้าถึงหน่วยความจำข้อมูลภายนอกระหว่างการทำคำสั่ง MOVX การเฟิร์ทซ์จะถูกสตีปหรือหายไป ขณะที่หน่วยความจำ ข้อมูลภายนอกจะถูกแอดเดรสและสโตรบหรือกระตุ้นรับ เข้าไปในซีพียู รูป 5.9 (C) และ 5.9 (D) เป็นการแสดงแผนภูมิเวลาปกติของคำสั่งประเภท 1 ไบต์ แต่ใช้ 2 แมชีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 แสดงถึงช่วงจังหวะการเฟิร์ทซ์ และการทำงานตามลำดับที่อ้างถึง ลักษณะภายในและเฟส

### 5.7 โครงสร้างพอร์ตและการทำงาน

ใน MCS-51 มีพอร์ต 4 พอร์ต และทั้งสี่พอร์ตเป็นแบบสองทิศทาง แต่ละพอร์ตจะประกอบด้วยแลตซ์เป็น P0 ถึง P3 ของ SFR จะมีตัวขับเอาต์พุตและบัฟเฟอร์อินพุต ตัวขับเอาต์พุตของพอร์ต 0 และ 2 และบัฟเฟอร์อินพุตของพอร์ต 0 จะใช้งานสำหรับการเข้าถึงหน่วยความจำภายนอก ในการใช้งานลักษณะนี้เอาต์พุตพอร์ต 0 จะทำหน้าที่เป็นตัวหนดไบต์ต่ำของแอดเดรสหน่วยความจำภายนอก โดยที่ค่าแอดเดรส และค่าข้อมูลจะถูกมัลติเพล็กซ์ด้วยช่วงจังหวะการเฟิร์ทซ์ และการอ่านหรือเขียนข้อมูล ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาต์พุทพอร์ต 2 จะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดไบต์สูงของแอดเดรสในการเข้าถึงหน่วยความจำภายนอก

บางขาของตัวชิปเอาต์พุทและบัฟเฟอร์อินพุทของขา P1.0 , P1.1 และพอร์ต 3 ทั้งหมดสามารถนำไปใช้งานเป็นแบบหลายฟังก์ชัน (Multifunction) ได้ดังนี้

ขาพอร์ต	การใช้งานตามฟังก์ชัน
* P1.0	T2 (timer/count 2 สัญญาณอินพุทจากภายนอก )
* P1.1	T2RST(timer/count 2 สัญญาณอินพุทการรีเซ็ตจากภายนอก )
P3.0	RXD ( พอร์ตรับข้อมูลอนุกรม )
P3.1	TXD ( พอร์ตส่งข้อมูลอนุกรม )
P3.2	INT0 (การใช้อินเตอร์รัพต์ภายนอกตัวที่ 1)
P3.3	INT1 (การใช้อินเตอร์รัพต์ภายนอกตัวที่ 2)
P3.4	T0 (timer/count 0 สัญญาณอินพุทภายนอก)
p3.5	T1 (timer/count 1 สัญญาณอินพุทภายนอก)
p3.6	WR (สโตรบการเขียนหน่วยความจำภายนอก)
P3.7	RD (สโตรบการอ่านหน่วยความจำภายนอก)

ตัวชิปเอาต์พุทแลทซ์ในการที่จะให้ทำงานตามตารางบน จะต้องเริ่มโปรแกรมด้วยการเซตค่า 1 เก็บในแลทซ์ เครื่องหมาย \* แสดงถึงการใช้ตัว Timer/Counter 2 ซึ่งมีเฉพาะเบอร์ 8032/8052 เท่านั้น ทั้งโหมดตัวจับเวลาหรือตัวนับการโหมดใหม่แบบอัตโนมัติของ Timer/Counter 2 ที่รีจิสเตอร์ RLDH และ RLDD จะเกิดขึ้น

## บทที่ 6

### การทำงานของวงจร

สำหรับเครื่อง 16 Channels scan temperature นี้ใช้ micro controller เบอร์ 8051 เพื่อควบคุมการทำงานทั้งหมดเริ่มจากรับค่าเทอร์โมคอปเปิลจนถึงการแสดงผลที่ LCD และ Printer รวมถึงการติดต่อกับ PC โดย PORT RS 232 C เพื่อเพิ่มความสามารถในการควบคุมและแสดงผล,

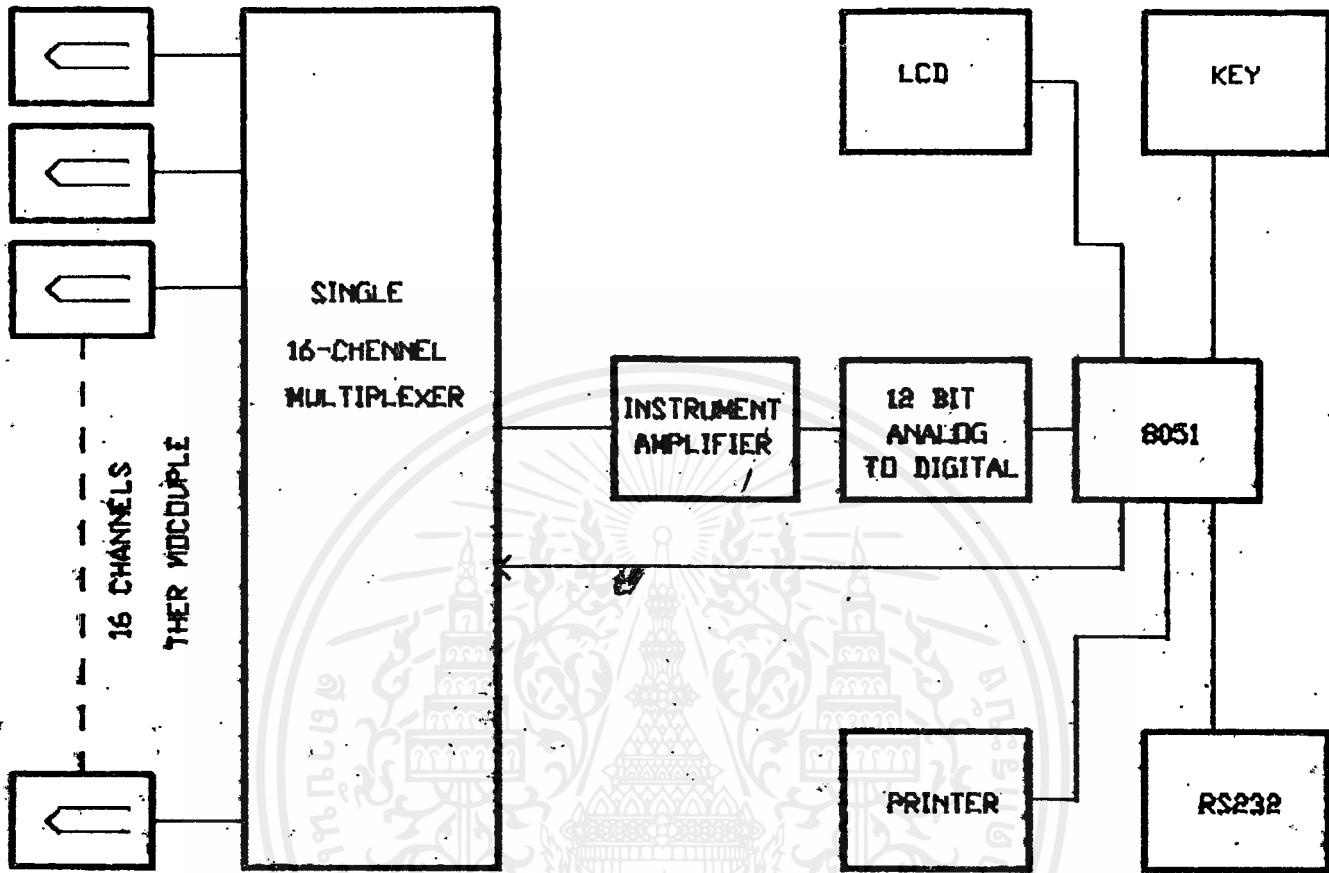
### การทำงาน

ในส่วนของอิเล็กทรอนิกส์สามารถอธิบายการทำงานได้ ดังแสดงใน BLOCK DIAGRAM ซึ่งอยู่ในรูปที่ 6.1

จาก BLOCK DIAGRAM ในส่วนต้น ๆ จะเห็นได้ว่าการทำงานในส่วนของ THERMOCOUPLE ทั้ง 16 CHANNELS และ INSTRUMENT AMP เป็นส่วนที่ทำงานร่วมกัน ในรูป 6.2 เป็นวงจร INSTRUMENT AMP ซึ่งจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ในภาค INPUT จะมี LM 335 เพื่อให้ชดเชย SEEBACK VOLTAGE ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากจุดต่อระหว่าง THERMOCOUPLE กับ เทอร์มินอล ในแต่ละ CHANNEL เพื่อให้ได้ค่าแรงดัน INPUT ที่ถูกต้องจาก THERMOCOUPLE OUTPUT ของวงจร INSTRUMENT AMP จะมีค่าไม่เกิน 10 v. โดยมี GAIN 200 เพื่อขยาย INPUT จากเทอร์โมคอปเปิลให้ได้สัญญาณที่มีขนาดใหญ่พอที่จะใช้ A TO D ในการอ่านค่าได้อย่างละเอียด โดยที่ INPUT จาก THERMOCOUPLE ใน TYPE J จะให้ OUTPUT 42.922 mV ที่ 760 c เมื่อผ่าน Gain ก็จะไม่เกิน 10 v. และใน TYPE K ที่ 1233 c ก็จะมี output 50 mV ซึ่งเป็น

อุณหภูมิที่สูงมาก การปรับแต่งเพิ่มลด SEEBACK VOLTAGE จากขั้ว THERMINAL จะต้องคำนวณหาค่า VOLTAGE ที่ขั้ว ของ input และปรับ VR1 ให้ได้ตามที่คำนวณจากรูป 6.3 จะเป็นกราฟแสดงค่า VT ที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ เมื่อทราบค่าอุณหภูมิห้องที่ปรับแต่ง และคำนวณ VT ให้ก็จะหาค่า V ที่ขา ของขั้ว INPUT INSTRUMENT AMP ได้

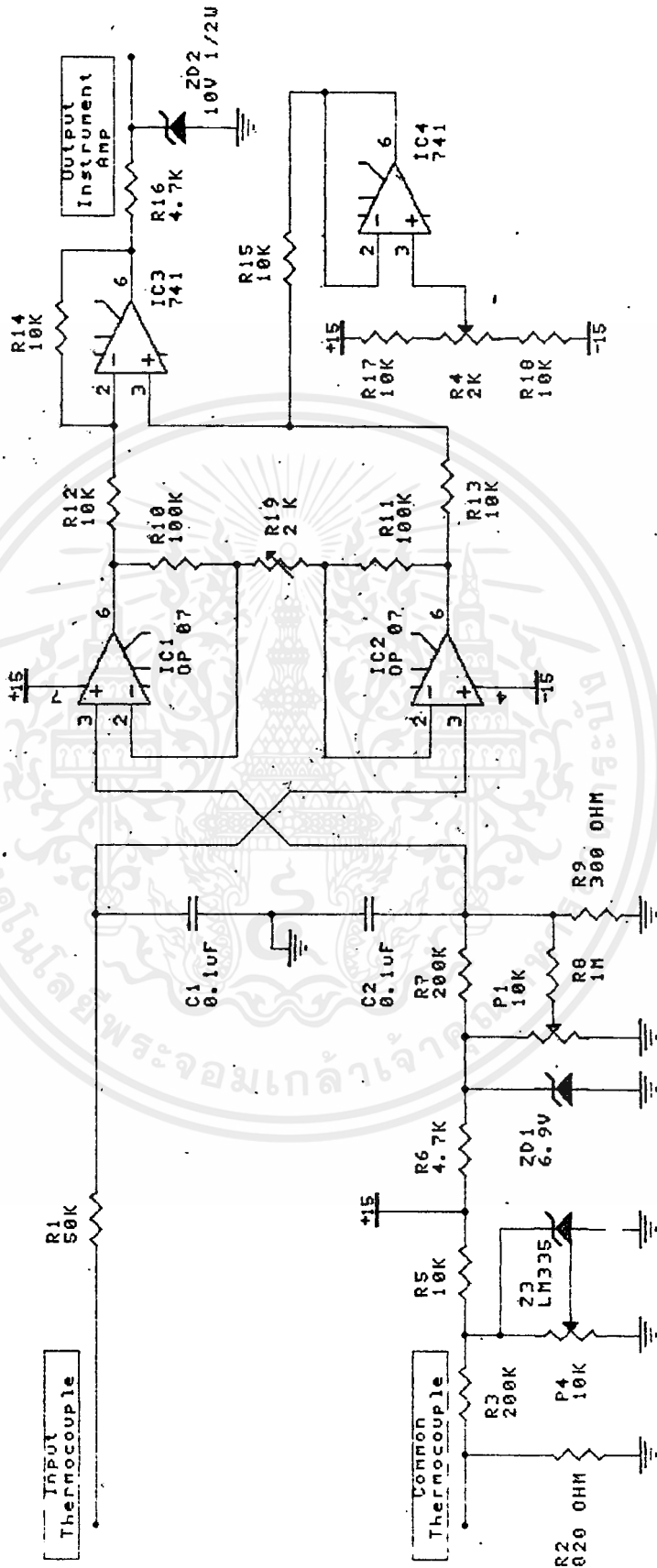
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 6.1 แสดง BLOCK DIAGRAM ของการทำงาน

ส่วนด้านแรงดันอ้างอิงที่เข้าที่  $IC_2$  <OP - 07> จะได้จากค่าแรงดันที่ได้จากการปรับ SEEBACK VOLTAGE แรงดัน THERMOCOUPLE ซึ่งจะทำให้ความแตกต่างที่เกิดขึ้นที่  $IC_2$  เป็นค่าแรงดันของ THERMOCOUPLE อย่างเดียว ในการปรับ ZERO จะทำโดยการต่อขา 3 ของ  $IC_1$  และ  $IC_2$  เข้าด้วยกัน และปรับ VR3 ให้ได้ OUTPUT เท่ากับ 0 V และจึงตัดขา 3 ของทั้ง 2 ออกมาวัดแรงดันระหว่างขา IC ทั้งสอง และคูณด้วย 200 โดยปรับ VR4 ให้ OUTPUT ได้ค่าตามที่คำนวณ

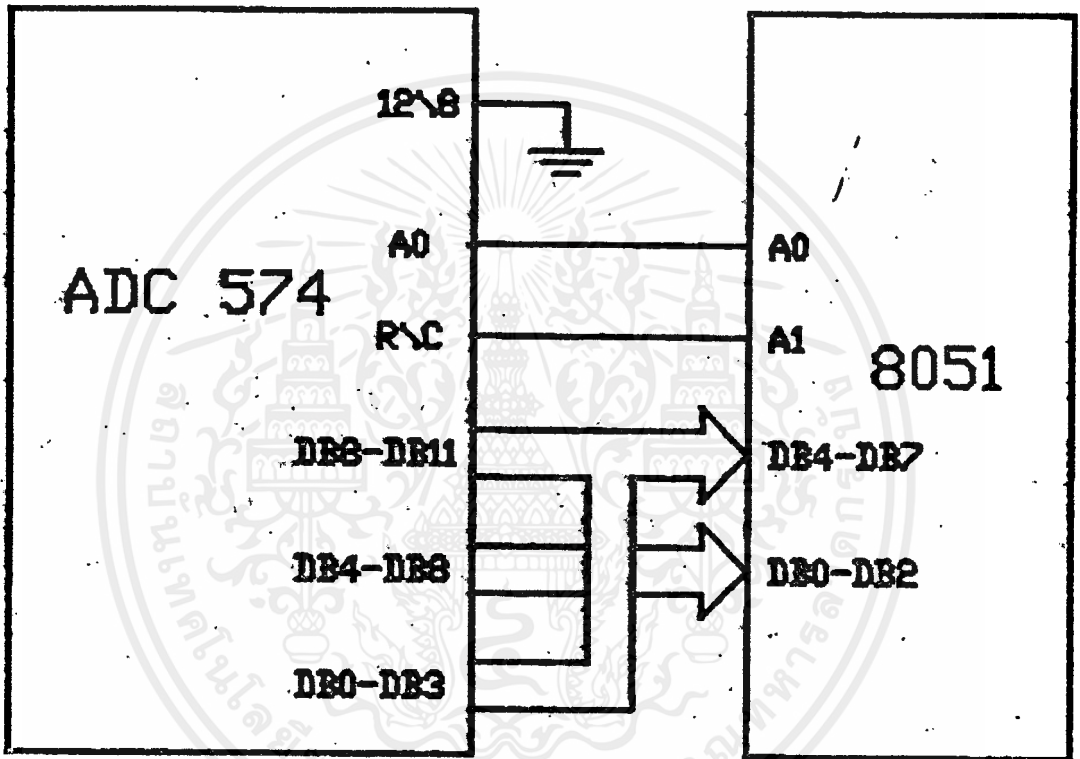
ในส่วนของ ANALOG TO DIGITAL ได้ใช้ IC ADC 574 ซึ่งเป็น IC A TO D 12 BIT เพื่อแปลงให้ได้สัญญาณ DIGITAL ที่ละเอียดเพียงพอต่อการวัดอุณหภูมิ เนื่องจากย่านวัดมีความกว้างมากซึ่งใน TYPE K จะมีความกว้างถึง 1233 c ที่ 50 mv เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 วงจร INSTRUMENT AMP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าในรูปแบบใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเฉลี่ย ในแต่ละองศาจะเปลี่ยนค่าแรงดันเพียง  $uv$  ซึ่งเมื่อขยายด้วย GAIN 200 จะ  
ได้เป็นองศาละ 8 mv. สำหรับ A TO D 12 BIT ที่ 10 v. จะได้ VOLT/STEP เท่า  
กับ  $10/4096 = 2.44$  mv. ซึ่งมีความละเอียดเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการวัดค่าอุณหภูมิได้  
สำหรับนำ A TO D มาใช้ร่วมกับ 8051 นั้นในตัว A TO D เบอร์  
ADC 574 สามารถให้ OUTPUT ออก 12 BIT โดยแบ่งเป็น 2 Byte และจะส่งออกทีละ

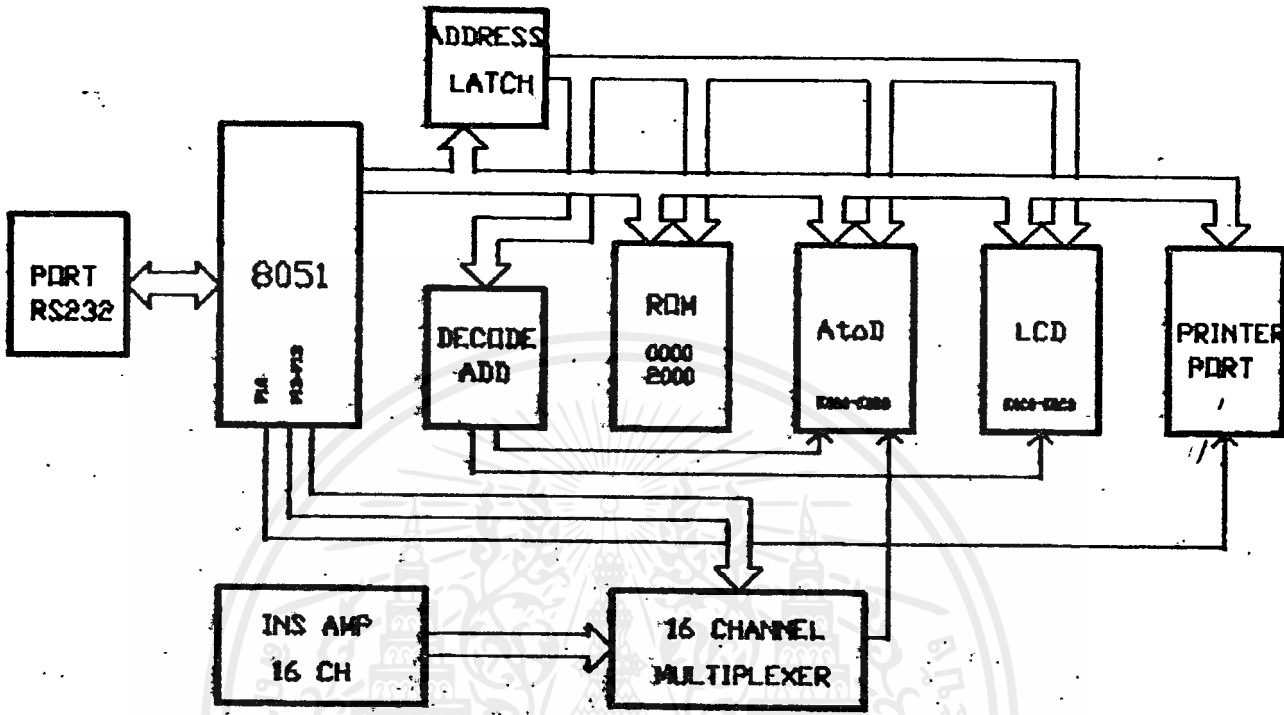


รูป 6.3 แสดงการเชื่อมต่อ A TO D กับ 8051

Byte โดยกำหนดช่องได้ที่ขา A0 ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดว่า BYTE ที่อ่านเป็น LSB หรือ  
MSB จึงง่ายต่อการใช้งานมาซึ่งในการติดต่อ 8051 จึงสามารถต่อเข้าได้โดยตรง  
ดังรูป 6.3

ในส่วนของ 8051 ซึ่งใช้ในการควบคุมการทำงานของ A TO D, LCD,  
PRINTER และ RS 232 ได้จัด BUS ต่าง ๆ ตาม BLOCK DIAGRAM รูปที่ 6.4 ซึ่งทั้ง  
หมดจะอยู่ในสรุปของ PROGRAM ซึ่งจะใช้เพื่อควบคุมการทำงานทั้งหมด

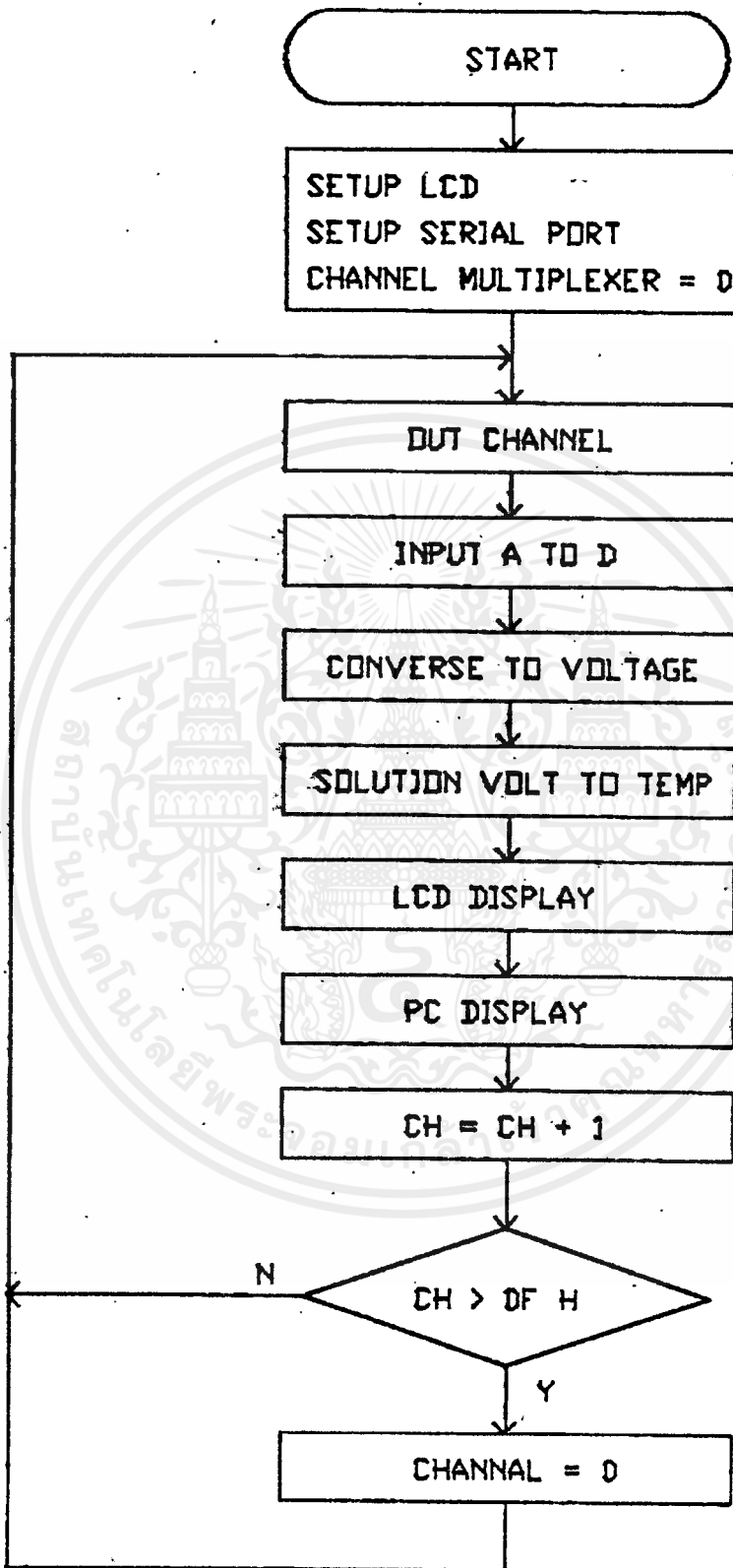
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 6.4 BLOCK DIAGRAM

ส่วนของ PROGRAM

ในส่วนของ PROGRAM ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญส่วนหนึ่ง ในรูป 6.5 เป็นแผนภูมิ เพื่ออธิบายการทำงานของ PROGRAM โดยรวม



รูปที่ 6.5 แผนภูมิอธิบายการทำงานของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรืออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0000 CPU "C:\debuger\CROSS32\TBL\8051.TBL"

0000 HOF "INT8"

```
; *****  
; *THIS PROGRAM IS PROGRAM PROCESS *  
; * BY CPU 8051 *  
; *****
```

2200 ORG 2200H

2200 INCL "Register.ASM"

0040 = MainAddr0: EQU 40H

004C = MainAddr1: EQU 4CH

0058 = SUBADDR0: EQU 58H

0061 = SUBADDR0.9: EQU 61H

0064 = SUBADDR1: EQU 64H

0070 = SUBADDR2: EQU 70H

007C = SUBR0: EQU 7CH

007E = MSR: EQU 7EH

007F = LCON: EQU 7FH

0082 = DPL: EQU 82H

0083 = DPH: EQU 83H

0090 = P1: EQU 90H

0098 = RI: EQU 98H

0099 = TI: EQU 99H

0099 = SBUF: EQU 99H

00AC = ES: EQU 0ACH

```
00D0 = PSW.0: EQU 0D0H
00D4 = PSW.4: EQU 0D4H
00E0 = ACC.0: EQU 0E0H
00E3 = ACC.3: EQU 0E3H
00E5 = ACC.5: EQU 0E5H
00E6 = ACC.6: EQU 0E6H
00E7 = ACC.7: EQU 0E7H
00F0 = B: EQU 0F0H
2C00 = INPUTTABLE: EQU 2C00H
EOC0 = LCD.Control: EQU 0E0C0H
; LCD READ WRITE REGISTER
EOC1 = LCD.Busy.Flag: EQU 0E0C1H
; LCD READ BF<BUSY FLAG>AND ADDRESS
EOC2 = LCD.Write: EQU 0E0C2H
; LCD WRITE CHARACTER
EOC3 = LCD.Read: EQU 0E0C3H
; LCD READ DATA FROM DD RAM
EOD0 = AtoD.Conv: EQU 0E0D0H
; A TO D INTIATE 12 BIT CONVERSION
EOD2 = AtoD.Read.MSB: EQU 0E0D2H
; A TO D ENABLE 8 MSBs ONLY
EOD3 = AtoD.Read.LSB: EQU 0E0D3H
; A TO D ENABLE 4 LSBs + 4 TRAILING ZEROS
```

```
2200 9024FD MOV DPTR, #Display
2203 1224E3 LCALL ShowScreen
2206 7590FF MOV P1, #0FFH
```

```
2209 7840      Start:      MOV      R0, #MainAddr0
220B 7A3C      MOV      R2, #3CH
220D E4        CLR      A
220E F6        ClearMemory:  MOV      @R0, A
220F 08        INC      R0
2210 DAFC      DJNZ     R2, ClearMemory
2212 E590      MOV      A, P1
2214 04        INC      A
2215 540F      ANL      A, #0FH
2217 F590      MOV      P1, A
2219 7B64      MOV      R3, #64H
221B 90E0D0    Input:      MOV      DPTR, #AtoD.Conv
221E E0        MOVX     A, @DPTR
221F 7A20      MOV      R2, #20H
2221 DAFE      ConverTime: DJNZ     R2, ConverTime
2223 90E0D3    MOV      DPTR, #ATOD.Read.LSB
2226 E0        MOVX     A, @DPTR
2227 54D0      ANL      A, #0D0H
2229 F8        MOV      R0, A
222A 90E0D2    MOV      DPTR, #ATOD.Read.MSB
222D E0        MOVX     A, @DPTR
222E 54D9      ANL      A, #0D9H
2230 7A04      MOV      R2, #04H
2232 C3        Shift.4.BIT: CLR      C
2233 13        RRC      A
2234 C8        XCH      A, R0
2235 13        RRC      A
2236 C8        XCH      A, R0
```

2237 DAF9		DJNZ	R2, Shift.4.BIT
2239 7958		MOV	R1, #SUBADDR0
223B 09		INC	R1
223C 09		INC	R1
223D C8		XCH	A, R0
223E F7		MOV	@R1, A
223F 09		INC	R1
2240 C8		XCH	A, R0
2241 F7		MOV	@R1,A
2242 C3		CLR	C
2243 7A0A		MOV	R2, #0AH
2245 7858		MOV	R0, #SUBADDR0
2247 7940		MOV	R1, #MainAddr0
2249 08		INC	R0
224A 09		INC	R1
224B 08	Bank:	INC	R0
224C 09		INC	R1
224D E7		MOV	A, @R1
224E 36		ADDC	A, @R0
224F F7		MOV	@R1, A
2250 DAF9		DJNZ	R2, BANK
2252 7858		MOV	R0, #SUBAddr0
2254 7A0C		MOV	R2, #0CH
2256 7600	ClearBuff:	MOV	@R0, #00H
2258 08		INC	R0
2259 DAFB		DJNZ	R2, ClearBuff
225B DBBE		DJNZ	R3, INPUT
225D 122321		LCALL	Divide

2260 122321	LCALL	Divide
2263 7840	MOV	R0, #MainAddr0
2265 08	INC	R0
2266 7600	MOV	@R0, #00H
2268 7858	MOV	R0, #SUBADDR0
226A 08	INC	R0
226B 76F9	MOV	@R0, #0F9H
226D 08	INC	R0
226E 767A	MOV	@R0, #07ah ;D7H
2270 08	INC	R0
2271 7600	MOV	@R0, #00H
2273 7864	MOV	R0, #SUBADDR1
2275 757E40	MOV	MSR, #MainAddr0
2278 1223BA	LCALL	Multiply
227B 7840	MOV	R0, #MainAddr0
227D 7964	MOV	R1, #SUBADDR1
227F 12240B	LCALL	XChange
2282 122321	LCALL	Divide
2285 7840	MOV	R0, #MainAddr0
2287 7964	MOV	R1, #SUBADDR1
2289 12240B	LCALL	XChange
228C 7870	MOV	R0, #SUBADDR2
228E 08	INC	R0
228F 76FF	MOV	@R0, #OFFH
2291 08	INC	R0
2292 760A	MOV	@R0, #0AH
2294 9027EB	MOV	DPTR, #TABLE_j
2297 E0	MOVX	A, @DPTR

2298	FB		MOV	R3, A
2299	A3		INC	DPTR
229A	7840		MOV	R0, #MainAddr0
229C	7A0C		MOV	R2, #0CH
229E	7600	ClearBuff3:	MOV	@R0, #00H
22A0	08		INC	R0
22A1	DAFB		DJNZ	R2, ClearBuff3
22A3	7858	Operation:	MOV	R0, #SUBADDR0
22A5	7A08		MOV	R2, #08H
22A7	E0	ReadTable:	MOVX	A, @DPTR
22A8	F6		MOV	@R0, A
22A9	08		INC	R0
22AA	A3		INC	DPTR
22AB	DAFA		DJNZ	R2, ReadTable
22AD	122357		LCALL	Addition
22B0	1B		DEC	R3
22B1	EB		MOV	A, R3
22B2	6015		JZ	EE
22B4	757E64		MOV	MSR, #SUBADDR1
22B7	7840		MOV	R0, #MainAddr0
22B9	1223BA		LCALL	MULTIPLY
22BC	7940	Fix:	MOV	R1, #MainAddr0
22BE	09		INC	R1
22BF	B7F900		CJNE	@R1, #0F9H, Fix2
22C2	50DF	Fix2:	JNC	Operation
22C4	122321		LCALL	Divide
22C7	80F3		SJMP	Fix

```

22C9 7840      EE:      MOV      R0, #MainAddr0
22CB 7958      MOV      R1, #SubAddr0
22CD 12240B    LCALL    XChange
22D0 122321    LCALL    Divide
22D3 7840      MOV      R0, #MainAddr0
22D5 7958      MOV      R1, #SubAddr0
22D7 12240B    LCALL    XChange

22DA          INCL     "HexToDec.ASM"
22DA 754001    Hex.To.Dec:  MOV      MainAddr0, #01H
22DD 7A17      MOV      R2, #17H
22DF 7940      MOV      R1, #MainAddr0
22E1 09        ClearBuff2: INC      R1
22E2 7700      MOV      @R1, #00H
22E4 DAFB       DJNZ     R2, ClearBuff2
22E6 7B0A      MOV      R3, #0AH
22E8 757E58    MOV      MSR, #SubAddr0
22EB 057E      INC      MSR
22ED 057E      WordChange: INC      MSR
22EF 7A08      MOV      R2, #08H
22F1 A97E      PowerLoop: MOV      R1, MSR
22F3 E7         MOV      A, @R1
22F4 C3         CLR      C
22F5 13        RRC      A
22F6 F7         MOV      @R1, A
22F7 5007      JNC     Make.2n
22F9 7840      MOV      R0, #MainAddr0
22FB 794C      MOV      R1, #MainAddr1

```

```
22FD 122311          LCALL    Add.BCD
2300 7840           Make.2n:  MOV      R0, #MainAddr0
2302 7940           MOV      R1, #MainAddr0
2304 122311        LCALL    Add.BCD
2307 DAE8           DJNZ     R2, PowerLoop
2309 DBE2           DJNZ     R3, WordChange
230B 122415        LCALL    CHACK
230E 022209        LJMP     START
```

```
2311 8AF0           Add.BCD:  MOV      B, R2
2313 7A0C           MOV      R2, #0CH
2315 C3             CLR      C
2316 E6           Adding.BCD: MOV     A, @R0
2317 37             ADDC    A, @R1
2318 D4             DAA
2319 F7             MOV     @R1, A
231A 08             INC     R0
231B 09             INC     R1
231C DAF8           DJNZ     R2, Adding.BCD
231E AAFO           MOV     R2, B
2320 22             RET
```

```
2321                INCL     "Divide.ASM"
```

```
; *****
; *          PROGRAM DIVIDE          *
; *****
```

2321	784C	DIVIDE:	MOV	R0, #MainAddr1
2323	7958		MOV	R1, #SUBADDR0
2325	18		DEC	R0
2326	19		DEC	R1
2327	7700		MOV	@R1, #00H
2329	7A14		MOV	R2, #14H
232B	E6		MOV	A, @R0
232C	75F00A	DIV1:	MOV	B, #0AH
232F	84		DIV	AB
2330	C7		XCH	A, @R1
2331	C4		SWAP	A
2332	D7		XCHD	A, @R1
2333	F7		MOV	@R1, A
2334	EA		MOV	A, R2
2335	30E004		JNB	ACC.0, DIV2
2338	18		DEC	R0
2339	19		DEC	R1
233A	7700		MOV	@R1, #00H
233C	E6	DIV2:	MOV	A, @R0
233D	C4		SWAP	A
233E	F6		MOV	@R0, A
233F	540F		ANL	A, #0FH
2341	C4		SWAP	A
2342	45F0		ORL	A, B
2344	C4		SWAP	A
2345	DAE5		DJNZ	R2, DIV1
2347	E6		MOV	A, @R0
2348	C4		SWAP	A

```
2349 04          INC          A
234A F7          MOV          @R1, A
234B 18          DEC          R0
234C 19          DEC          R1
234D E6          MOV          A, @R0
234E F7          MOV          @R1, A
234F 7840        MOV          R0, #MainAddr0
2351 794C        MOV          R1, #MainAddr1
2353 12240B      LCALL       XChange
2356 22          ENDDIV:     RET

2357          INCL          "Add.ASM"
;          *****
;          *          PROGRAM ADD          *
;          *****
;          SubAddr0 + MainAddr0 = SubAddr0

2357. 7858      Addition:  MOV          R0, #SubAddr0
2359 7940      MOV          R1, #MainAddr0
235B 08          INC          R0
235C 09          INC          R1
235D 867C      MOV          Subr0, @R0
235F E7          MOV          A, @R1
2360 B57C16     CJNE       A, Subr0, NOBALANCE
2363 7858      MOV          R0, #SubAddr0
```

2365	E6		MOV	A, @R0
2366	7940		MOV	R1, #MainAddr0
2368	67		XRL	A, @R1
2369	7028		JNZ	SUB
236B	7A0A		MOV	R2, #0AH
236D	C3		CLR	C
236E	08		INC	R0
236F	09		INC	R1
2370	08	Addition1:	INC	R0
2371	09		INC	R1
2372	E6		MOV	A, @R0
2373	37		ADDC	A, @R1
2374	F6		MOV	@R0, A
2375	DAF9		DJNZ	R2, Addition1
2377	8040		SJMP	EndAdd
2379	4007	NOBALANCE:	JC	BALANCE
237B	7940		MOV	R1, #MainAddr0
237D	7858		MOV	R0, #SubAddr0
237F	12240B		LCALL	XCHANGE
2382	784C	BALANCE:	MOV	R0, #MainAddr1
2384	757E70		MOV	MSR, #SUBADDR2
2387	1223BA		LCALL	Multiply
238A	794C		MOV	R1, #MainAddr1
238C	7858		MOV	R0, #SubAddr0
238E	12240B		LCALL	XCHANGE
2391	80C4		SJMP	Addition
2393	7864	SUB:	MOV	R0, #SUBADDR1
2395	794C		MOV	R1, #MainAddr1

```
2397 18          CHKSUB1:      DEC          R0
2398 19          DEC          R1
2399 E7          MOV          A, @R1
239A 867C        MOV          Subr0, @R0
239C B57C02     CJNE         A, Subr0, SUB0
239F DAF6        DJNZ         R2, CHKSUB1
23A1 4007        SUB0:        JC           SUB1
23A3 7940        MOV          R1, #MainAddr0
23A5 7858        MOV          R0, #SubAddr0
23A7 12240B     LCALL       XCHANGE
23AA 7858        SUB1:        MOV          R0, #SubAddr0
23AC 7940        MOV          R1, #MainAddr0
23AE 7A0A        MOV          R2, #0AH
23B0 08          INC          R0
23B1 09          INC          R1
23B2 08          SUB2:        INC          R0
23B3 09          INC          R1
23B4 E6          MOV          A, @R0
23B5 97          SUBB         A, @R1
23B6 F6          MOV          @R0, A
23B7 DAF9        DJNZ         R2, SUB2
23B9 22          EndAdd:     RET
```

```
23BA          INCL         "Multiply.ASM"
```

```
; *****
; *          PROGRAM MULTIPLY          *
; *****
```

23BA A97E	MULTIPLY:	MOV	R1, MSR
23BC E7		MOV	A, @R1
23BD 7958		MOV	R1, #SUBADDRO
23BF 27		ADD	A, @R1
23C0 B41001		CJNE	A, #10H, Add.10E
23C3 E4		CLR	A
23C4 F6	Add.10E:	MOV	@RO, A
23C5 08		INC	RO
23C6 057E		INC	MSR
23C8 09		INC	R1
23C9 E7		MOV	A, @R1
23CA A97E		MOV	R1, MSR
23CC 27		ADD	A, @R1
23CD 7A0B		MOV	R2, #0BH
23CF F6	ClearBuffer:	MOV	@RO, A
23D0 08		INC	RO
23D1 E4		CLR	A
23D2 DAFB		DJNZ	R2, ClearBuffer
23D4 C3		clr	c
23D5 E8		MOV	A, RO
23D6 940A		SUBB	A, #0AH
23D8 F8		MOV	RO, A
23D9 7A40		MOV	R2, #40H
23DB 057E	MULTI1:	INC	MSR
23DD A97E		MOV	R1, MSR
23DF 877C		MOV	SUBRO, @R1
23E1 7958		MOV	R1, #SUBADDRO
23E3 09		INC	R1

23E4	09		INC	R1
23E5	EA		MOV	A, R2
23E6	9406		SUBB	A, #06H
23E8	FA		MOV	R2, A
23E9	E7	MULTI2:	MOV	A, @R1
23EA	857CF0		MOV	B, SUBRO
23ED	A4		MUL	AB
23EE	26		ADD	A, @R0
23EF	F6		MOV	@R0, A
23F0	08		INC	RO
23F1	09		INC	R1
23F2	E5F0		MOV	A, B
23F4	36		ADDC	A, @R0
23F5	F6		MOV	@R0, A
23F6	EA		MOV	A, R2
23F7	30E601		JNB	ACC.6, NOCARRY1
23FA	06		INC	@R0
23FB	92E6	NOCARRY1:	MOV	ACC.6, C
23FD	14		DEC	A
23FE	FA		MOV	R2, A
23FF	540F		ANL	A, #0FH
2401	70E6		JNZ	MULTI2
2403	E8		MOV	A, R0
2404	9409		SUBB	A, #09H
2406	F8		MOV	RO, A
2407	EA		MOV	A, R2
2408	70D1		JNZ	MULTI1
240A	22		RET	

```
240B          INCL      "Xchange.ASM"
240B 7A0C      XCHANGE:  MOV      R2, #0CH
240D E6        XCHANGE1: MOV      A, @R0
240E C7        XCH       A, @R1
240F C6        XCH       A, @R0
2410 08        INC       R0
2411 09        INC       R1
2412 DAF9      DJNZ     R2, XCHANGE1
2414 22        RET
2415          INCL      "WritePC.ASM" /
2415 7952      Chack:   MOV      R1, #SubAddr0 + #-6
2417 7E0F      MOV      R6, #0FH
2419 7D03      MOV      R5, #03H
241B 19        Display2: DEC     R1
241C E7        MOV      A, @R1
241D 122459    LCALL    WritePC
2420 BD0205    CJNE     R5, #02H, Isnot
2423 742E      MOV      A, #2EH
2425 122471    LCALL    SENT
2428 DDF1      Isnot:   DJNZ     R5, Display2
242A E590      MOV      A, P1
242C B40708    CJNE     A, #07, IsCHO
242F 902734    MOV      DPTR, #Go.CH8
2432 1224E3    LCALL    ShowScreen
2435 8009      SJMP     LineFeed
2437 B40F06    IsCHO:   CJNE     A, #0FH, LineFeed
243A 90275B    MOV      DPTR, #Go.CHO
243D 1224E3    LCALL    ShowScreen
```

```
2440 740A      LineFeed:      MOV      A, #0AH
2442 122471    .              LCALL    SENT
2445 7A07      .              MOV      R2, #07H
2447 741B      Return:        MOV      A, #1BH
2449 122471    .              LCALL    SENT
244C 745B      .              MOV      A, #5BH
244E 122471    .              LCALL    SENT
2451 7444      .              MOV      A, #44H
2453 122471    .              LCALL    SENT
2456 DAEF      .              DJNZ     R2, Return
2458 22        .              RET
```

```
; *****
; * SUB PROGRAM WRITE ASCII TO PC *
; *****
```

```
2459 7F02      WritePC:       MOV      R7, #2
245B C4        ConvChar:      SWAP     A
245C F5F0      .              MOV      B, A,
245E 540F      .              ANL     A, #0FH
2460 2430      .              ADD     A, #30H
2462 D4        .              DAA
2463 30E601     .              JNB     ACC.6, WritePC1
2466 04        .              INC     A
2467 122471     WritePC1:      LCALL    SENT
246A E5F0      .              MOV      A, B
246C DFED      .              DJNZ     R7, ConvChar
```

```
246E E5F0      EndWrite:      MOV      A, B
2470 22
2471 C2AC      SENT:         CLR      ES
2473 C299      CLR          TI
2475 F599      MOV          SBUF, A
2477 3099FD    Wait1:       JNB      TI, Wait1
247A C299      CLR          TI
247C D2AC      SETB       ES
247E 22      RET
247F      INCL       "SetUpLCD.ASM"
247F 90E0C0    SetUpLCD:    MOV      DPTR, #LCD.Control
2482 7438      MOV        A, #38H
2484 F0      MOVX       @DPTR, A
2485 1224D3    LCALL     WAITBF
2488 740F      MOV        A, #0FH
248A F0      MOVX       @DPTR, A
248B 1224D3    LCALL     WAITBF
248E 7406      MOV        A, #06H
2490 F0      MOVX       @DPTR, A
2491 1224D3    LCALL     WAITBF
2494 7401      MOV        A, #01H
2496 F0      MOVX       @DPTR, A
2497 1224D3    LCALL     WAITBF
249A 22      RET
```

249B	C082	WriteLCD:	PUSH	DPL
249D	C083		PUSH	DPH
249F	AE7F		MOV	R6, LCON
24A1	CE		XCH	A, R6
24A2	20E60D		JB	ACC.6, CHKCURSER
24A5	CE	CHGCHAR:	XCH	A, R6
24A6	C4		SWAP	A
24A7	FF		MOV	R7, A
24A8	540F		ANL	A, #0FH
24AA	2430		ADD	A, #30H
24AC	D4		DAA	
24AD	30E601		JNB	ACC.6, ENDCHANGE
24B0	04		INC	A
24B1	CE	ENDCHANGE:	XCH	A, R6
24B2	540F	CHKCURSER:	ANL	A, #0FH
24B4	CE		XCH	A, R6
24B5	90E0C2		MOV	DPTR, #LCD.Write
24B8	F0		MOVX	@DPTR, A
24B9	1224D3		LCALL	WAITBF
24BC	EF		MOV	A, R7
24BD	C57F		XCH	A, LCON
24BF	B2E7		CPL	ACC.7
24C1	FE		MOV	R6, A
24C2	C57F		XCH	A, LCON
24C4	CE		XCH	A, R6
24C5	20E7DD		JB	ACC.7, CHGCHAR
24C8	30E602		JNB	ACC.6, NOTHEX
24CB	D2E7		SETB	ACC.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24CD D083	NOTHEX:	POP	DPH
24CF D082		POP	DPL
24D1 EF		MOV	A, R7
24D2 22		RET	
24D3 C082	WaitBF:	PUSH	DPL
24D5 C083		PUSH	DPH
24D7 90E0C1		MOV	DPTR, #LCD.Busy.Flag
24DA E0	ReadBusy:	MOVX	A, @DPTR
24DB 20E7FC		JB	ACC.7, ReadBusy
24DE D083		POP	DPH
24E0 D082		POP	DPL
24E2 22		RET	
24E3		INCL	"ShowPC.ASM"
24E3 A3	ShowScreen:	INC	DPTR
24E4 E0		MOVX	A, @DPTR
24E5 B48000		CJNE	A, #80H, Next
24E8 7801	Next:	MOV	R0, #1
24EA 4004		JC	CheckEnd
24EC F8		MOV	R0, A
24ED A3		INC	DPTR
24EE E0		MOVX	A, @DPTR
24EF C8		XCH	A, R0
24F0 B40302	CheckEnd:	CJNE	A, #03H, SentData
24F3 8007		SJMP	EndShow
24F5 122471	SentData:	LCALL	SENT
24F8 D8FB		DJNZ	R0, SentData

24FA 80E7 SJMP ShowScreen

24FC 22 EndShow: RET

24FD INCL "TypeTbl.ASM"

Display: DFB 00H, 0CH, 0DH, 0AH,

0DH, 0AH, 0DH, 0AH

DFB 09H, 0C9H, 01H, 0CDH,

3FH, 0BBH, 01H, 0DH, 0AH

DFB 09H, 0BAH, 01H, 0FFH,

3FH, 0BAH, 01H, 0DH, 0AH

DFB 09H, 0BAH, 01H, 0FFH,

0EH, "16 CHANNELS SCAN TEMPERATURE"

DFB 0FFH, 12H, 0BAH, 01H, 0DH, 0AH

DFB 09H, 0BAH, 01H, 0FFH,

3FH, 0BAH, 01H, 0DH, 0AH

DFB 09H, 0CCH, 01H, 0CDH,

1FH, 0CBH, 01H, 0CDH

DFB 1FH, 0B9H, 01H, 0DH,

0AH, 09H, 0BAH, 01H, 0FFH

DFB 1FH, 0BAH, 01H, 0FFH,

1FH, 0BAH, 01H, 0DH, 0AH

DFB 09H, 0BAH, 01H,

" Channel 0" 0FFH, 0EH, 0F8H, 01H

DFB "C "0BAH, 01H,

" Channel 8" 0FFH, 0EH, 0F8H, 01H

DFB "C "0BAH, 01H, 0DH, 0AH

DFB 09H, 0BAH, 01H,

" Channel 1" OFFH, 0EH, 0F8H, 01H  
DFB "C "0BAH, 01H,  
" Channel 9" OFFH, 0EH, 0F8H, 01H  
DFB "C "0BAH, 01H, 0DH, 0AH  
DFB 09H, 0BAH, 01H,  
" Channel 2" OFFH, 0EH, 0F8H, 01H  
DFB "C "0BAH, 01H,  
" Channel 10" OFFH, 0EH, 0F8H, 01H  
DFB "C "0BAH, 01H, 0DH, 0AH  
DFB 09H, 0BAH, 01H,  
" Channel 3" OFFH, 0EH, 0F8H, 01H  
DFB "C "0BAH, 01H,  
" Channel 11" OFFH, 0EH, 0F8H, 01H  
DFB "C "0BAH, 01H, 0DH, 0AH  
DFB 09H, 0BAH, 01H,  
" Channel 4" OFFH, 0EH, 0F8H, 01H  
DFB "C "0BAH, 01H,  
" Channel 12" OFFH, 0EH, 0F8H, 01H  
DFB "C "0BAH, 01H, 0DH, 0AH  
DFB 09H, 0BAH, 01H,  
" Channel 5" OFFH, 0EH, 0F8H, 01H  
DFB "C "0BAH, 01H,  
" Channel 13" OFFH, 0EH, 0F8H, 01H  
DFB "C "0BAH, 01H, 0DH, 0AH  
DFB 09H, 0BAH, 01H,  
" Channel 6" OFFH, 0EH, 0F8H, 01H  
DFB "C "0BAH, 01H,  
" Channel 14" OFFH, 0EH, 0F8H, 01H

DFB "C "OBAH, 01H, 0DH, 0AH  
DFB 09H, 0BAH, 01H,  
" Channel 7" OFFH, 0EH, 0F8H, 01H  
DFB "C "OBAH, 01H,  
" Channel 15" OFFH, 0EH, 0F8H, 01H  
DFB "C "OBAH, 01H, 0DH, 0AH  
DFB 09H, 0BAH, 01H, OFFH, 1FH,  
OBAH, 01H, OFFH, 1FH  
DFB OBAH, 01H, 0DH, 0AH, 09H,  
0C8H, 01H, 0CDH, 1FH /  
DFB OCAH, 01H, 0CDH, 1FH, 0BCH,  
01H, 0DH, 0AH  
DFB 1BH, 5BH, 41H, 1BH, 5BH,  
41H, 1BH, 5BH, 41H  
DFB 1BH, 5BH, 41H, 1BH, 5BH,  
41H, 1BH, 5BH, 41H  
DFB 1BH, 5BH, 41H, 1BH, 5BH,  
41H, 1BH, 5BH, 41H  
DFB 1BH, 5BH, 41H, 09H, 09H,  
09H, 1BH, 5BH, 43H  
DFB 1BH, 5BH, 43H, 1BH, 5BH,  
43H, 1BH, 5BH, 43H  
DFB 03H  
Go.CH8: DFB 00H  
DFB 1BH, 5BH, 41H, 1BH, 5BH,  
41H, 1BH, 5BH, 41H  
DFB 1BH, 5BH, 41H, 1BH, 5BH,  
41H, 1BH, 5BH, 41H

DFB 1BH, 5BH, 41H, 1BH, 5BH, 41H  
 DFB 09H, 09H, 09H, 09H  
 DFB 1BH, 5BH, 43H, 1BH, 5BH,  
 43H, 1BH, 5BH, 43H  
 DFB 03H

Go.CH0:

DFB 00H

DFB 1BH, 5BH, 41H, 1BH, 5BH, 41H,  
 1BH, 5BH, 41H  
 DFB 1BH, 5BH, 41H, 1BH, 5BH, 41H,  
 1BH, 5BH, 41H  
 DFB 1BH, 5BH, 41H, 1BH, 5BH, 41H  
 DFB 0DH, 09H, 09H, 09H, 1BH, 5BH,  
 43H, 1BH, 5BH, 43H  
 DFB 1BH, 5BH, 43H, 1BH, 5BH, 43H,  
 1BH, 5BH, 43H  
 DFB 1BH, 5BH, 43H, 1BH, 5BH, 43H,  
 1BH, 5BH, 43H  
 DFB 1BH, 5BH, 43H, 1BH, 5BH, 43H,  
 1BH, 5BH, 43H  
 DFB 03H

TABLE\_E:

DFB 0AH

DFB 00H, 0DH, 34H, 25H, 03H, 00H, 00H, 00H  
 DFB 0FH, 0CH, 4EH, 4BH, 00H, 00H, 00H, 00H  
 DFB 00H, 0CH, 42H, 09FH, 02H, 00H, 00H, 00H  
 DFB 0FH, 0BH, 0A7H, 0B2H, 02H, 00H, 00H, 00H  
 DFB 00H, 0AH, 12H, 0B1H, 01H, 00H, 00H, 00H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DFB	0FH, OFFH, 3EH, 0A8H, 72H, 0BH, 01H, 00H
DFB	00H, OFFH, 0A7H, 29H, 091H, 07H, 00H, 00H
DFB	0FH, 0FCH, 42H, 4DH, 77H, 0A8H, 00H, 00H
DFB	00H, 0FBH, 02H, 06H, 75H, 66H, 00H, 00H
DFB	00H, 0F7H, 50H, 0ACH, 41H, 06H, 00H, 00H

TABLE\_J: DFB 06H

DFB	00H, 00H, 62H, 0F8H, 4EH, 78H, 00H, 00H
DFB	0FH, OFFH, 12H, 35H, 0E7H, 09DH, 00H, 00H
DFB	00H, 0FEH, 0AAH, 32H, 0F5H, 44H, 00H, 00H
DFB	0FH, 0FCH, 49H, 0EEH, 4DH, 082H, 00H, 00H
DFB	00H, 0FBH, 47H, 03H, 74H, 76H, 00H, 00H
DFB	0FH, 0F7H, 09CH, 0ABH, 0E9H, 02H, 00H, 00H

TABLE\_T: DFB 08H

DFB	00H, 0EH, 5EH, 03H, 06H, 00H, 00H, 00H
DFB	0FH, 0DH, 0DOH, 0FH, 04H, 00H, 00H, 00H
DFB	00H, 0BH, 58H, 0A5H, 0AH, 00H, 00H, 00H
DFB	0FH, 00H, 7DH, 72H, 31H, 27H, 02H, 00H
DFB	00H, 0FEH, 5DH, 09CH, 11H, 0D1H, 01H, 00H
DFB	0FH, 0FCH, 77H, 0AEH, 5FH, 0C9H, 01H, 00H
DFB	00H, 0FBH, 01H, 0BAH, 59H, 099H, 00H, 00H
DFB	00H, 0F7H, 0EEH, 03H, 03H, 06H, 00H, 00H

TABLE\_K: DFB 09H

DFB	0FH, 08H, 6CH, 0ABH, 09H, 00H, 00H, 00H
DFB	00H, 08H, 0C2H, 1DH, 02H, 00H, 00H, 00H
DFB	0FH, 07H, 0B4H, 0CEH, 01H, 00H, 00H, 00H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DFB	00H, 05H, 0B2H, 60H, 07H, 00H, 00H, 00H
DFB	0FH, 0FFH, 0EDH, 0AAH, 2CH, 01H, 02H, 00H
DFB	00H, 0FDH, 4AH, 1FH, 0BFH, 083H, 00H, 00H
DFB	00H, 0FCH, 0A8H, 01H, 13H, 28H, 00H, 00H
DFB	00H, 0FBH, 094H, 31H, 0F5H, 08FH, 00H, 00H
DFB	00H, 0F7H, 1AH, 68H, 081H, 0DH, 00H, 00H

TABLE\_R: DFB 09H

DFB	0FH, 13H, 20H, 41H, 0CH, 00H, 00H, 00H
DFB	00H, 12H, 28H, 0ABH, 05H, 00H, 00H, 00H
DFB	0FH, 10H, 09AH, 0FCH, 0AH, 00H, 00H, 00H
DFB	00H, 0EH, 0EBH, 0A0H, 0BH, 00H, 00H, 00H
DFB	0FH, 0CH, 090H, 5DH, 07H, 00H, 00H, 00H
DFB	00H, 0AH, 32H, 0E6H, 02H, 00H, 00H, 00H
DFB	0FH, 0FEH, 59H, 72H, 1CH, 23H, 01H, 00H
DFB	00H, 0FDH, 0A3H, 79H, 0ACH, 0AH, 00H, 00H
DFB	00H, 0F7H, 15H, 0B8H, 0B6H, 0FH, 00H, 00H

TABLE\_S: DFB 0AH

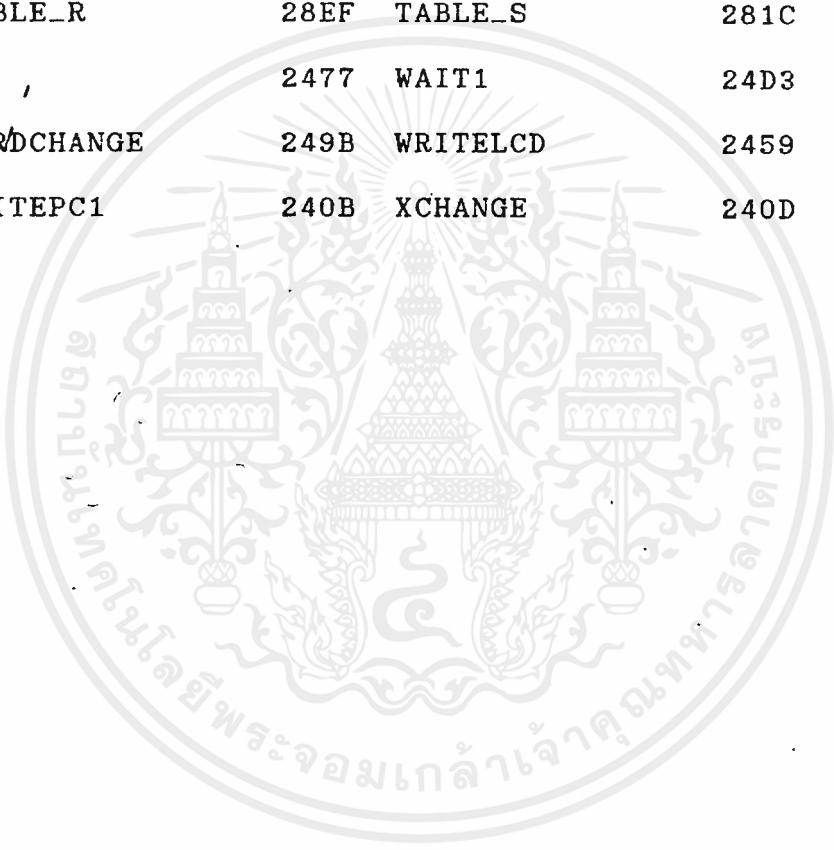
DFB	00H, 14H, 3FH, 096H, 02H, 00H, 00H, 00H
DFB	0FH, 13H, 0C9H, 61H, 02H, 00H, 00H, 00H
DFB	00H, 11H, 1DH, 6CH, 09H, 00H, 00H, 00H
DFB	0FH, 10H, 19H, 18H, 02H, 00H, 00H, 00H
DFB	00H, 0EH, 7BH, 0DEH, 02H, 00H, 00H, 00H
DFB	0FH, 0CH, 0EDH, 7EH, 02H, 00H, 00H, 00H
DFB	00H, 00H, 0A7H, 0A9H, 0E3H, 17H, 02H, 00H
DFB	0FH, 0FEH, 2AH, 080H, 29H, 0BCH, 00H, 00H
DFB	00H, 0FCH, 7EH, 0B1H, 0BH, 65H, 00H, 00H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DFB	00H, 0F7H, 0DFH, 08AH,	4CH,	47H, 00H, 00H
0000			
00E0 ACC.0	00E3 ACC.3	00E5 ACC.5	
00E6 ACC.6	00E7 ACC.7	23C4 ADD.10E	
2311 ADD.BCD	2316 ADDING.BCD	2357 ADDITION	
2370 ADDITION1	E0D0 ATOD.CONV	E0D3 ATOD.READ.LSB	
E0D2 ATOD.READ.MSB	00F0 B	2382 BALANCE	
224B BANK	2415 CHACK	24F0 CHECKEND	
24A5 CHGCHAR	24B2 CHKCURSER	2397 CHKSUB1	
2256 CLEARBUFF	22E1 CLEARBUFF2	229E CLEARBUFF3	
23CF CLEARBUFFER	220E CLEARMEMORY	245B CONVCHAR	
2221 CONVERTIME	24FD DISPLAY	241B DISPLAY2	
232C DIV1	233C DIV2	2321 DIVIDE	
0083 DPH	0082 DPL	22C9 EE	
23B9 ENDADD	24B1 ENDCHANGE	2356 ENDDIV	
24FC ENDSHOW	246E ENDWRITE	00AC ES	
22BC FIX	22C2 FIX2	275B GO.CHO	
2734 GO.CH8	22DA HEX.TO.DEC	221B INPUT	
2C00 INPUTTABLE	2437 ISCHO	2428 ISNOT	
E0C1 LCD.BUSY.FLAG	E0C0 LCD.CONTROL	E0C3 LCD.READ	
E0C2 LCD.WRITE	007F LCON	2440 LINEFEED	
0040 MAINADDRO	004C MAINADDR1	2300 MAKE.2N	
007E MSR	23DB MULTI1	23E9 MULTI2	
23BA MULTIPLY	24E8 NEXT	2379 NOBALANCE	
23FB NOCARRY1	24CD NOTHEX	22A3 OPERATION	
0090 P1	22F1 POWERLOOP	00D0 PSW.0	
00D4 PSW.4	24DA READBUSY	22A7 READTABLE	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าการ... ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2447	RETURN	0098	RI	0099	SBUF
2471	SENT	24F5	SENTDATA	247F	SETUPLCD
2232	SHIFT.4.BIT	24E3	SHOWSCREEN	2209	START
2393	SUB	23A1	SUB0	23AA	SUB1
23B2	SUB2	0058	SUBADDR0	0061	SUBADDR0.9
0064	SUBADDR1	0070	SUBADDR2	007C	SUBR0
279A	TABLE_E	27EB	TABLE_J	285D	TABLE_K
28A6	TABLE_R	28EF	TABLE_S	281C	TABLE_T
0099	TI	2477	WAIT1	24D3	WAITBF
22ED	WORDCHANGE	249B	WRITELCD	2459	WRITEPC
2467	WRITEPC1	240B	XCHANGE	240D	XCHANGE1



## บทที่ 7

### การทดลอง

#### การทดลองในส่วนของวงจร INSTRUMENT AMP

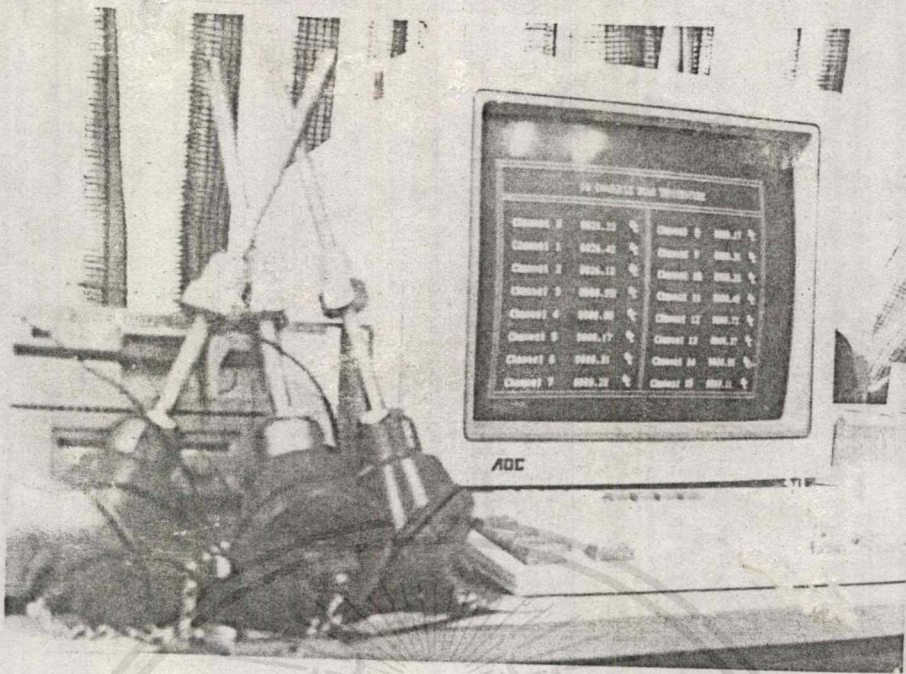
ในส่วนของวงจร INSTRUMENT AMP จำเป็นต้อง ปรับค่า OUTPUT ให้ได้ 0 V เมื่อขั้วขา INPUT ของ OP-AMP ทั้งสองเข้าด้วยกันโดยปรับที่ VR 3 แล้วจึงปรับ GAIN ให้ได้ 200 โดยปรับที่ VR 4 เมื่อต่อ THERMOCOUPLE เข้าที่ INPUT ปรับค่า SEEBACK VOLTAGE ที่ R1 โดยปรับที่ VR1 ให้ได้แรงดัน 12.2 mv. ที่อุณหภูมิห้อง 28 C และปรับค่าแรงดันที่ขา 3 ของ IC1 ให้ได้ 11.1 mv.

การปรับแต่ง A TO D ขั้ว INPUT ของ A TO D และปรับให้อ่านค่าให้ได้ 0000H และป้อน 10V ที่ INPUT และปรับให้ได้ 0FFFH

การควบคุมการทำงานต่างๆ ส่วนใหญ่ ถูกควบคุมด้วย SOFTWARE จึงต้องใช้ SOFTWARE ควบคุมที่ละส่วนและนำมาเชื่อมต่อกัน

ในการวัดของเครื่องจะเห็นว่าที่ 0V จะไม่ได้ 0 องศาตามตารางเนื่องจากการคำนวณของเครื่องใช้วิธีแก้สมการซึ่งจะได้ค่าที่ละเอียดกว่า

ในขณะที่เครื่องทำงานหากไม่มีการต่อ THERMOCOUPLE จะทำให้ OUTPUT ที่ 0V เสมอแต่ การวัดจะเกิดปัญหาจาก GROUND ที่ยาว และเกิดความต้านทานตามสาย ดึงเห็นในรูป



16 CHANNELS SCAN TEMPERATURE					
Channel 0	8026.23	°C	Channel 8	8000.17	°C
Channel 1	8026.42	°C	Channel 9	8000.31	°C
Channel 2	8026.18	°C	Channel 10	8000.23	°C
Channel 3	8000.95	°C	Channel 11	8000.45	°C
Channel 4	8000.00	°C	Channel 12	8000.72	°C
Channel 5	8000.17	°C	Channel 13	8000.37	°C
Channel 6	8000.31	°C	Channel 14	8000.55	°C
Channel 7	8000.28	°C	Channel 15	8000.11	°C

จากรูปเป็นการใช้ THERMOCOUPLE วัด TEMPERATURE หลายๆ CHANNELS เพื่อ  
 ใช้แสดงผลการวัด และแสดงออกที่จอ COMPUTER 16 CHANNELS พร้อมๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 8

### บทสรุป

#### สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลอง การทำงานของ INSTRUMENT AMP เนื่องจากจำเป็นต้องปรับ GAIN ที่สูง และ INPUT มีสัญญาณที่ต่ำมาก จึงมีสัญญาณที่เข้ามารบกวนได้ง่าย ปัญหาที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ เกิดจากการออกแบบแผ่นลายวงจรซึ่ง ออกแบบลายเส้นต่าง ๆ เล็ก และบางเกินไป ทำให้เกิดความต้านทานเกิดขึ้นตามสายต่าง ๆ ซึ่งจะมีผลมากในส่วนของ INPUT และเมื่อผ่านวงจรขยายจะทำให้ OUTPUT เกิดค่าความผิดพลาดที่สูง และเกิดการเบี่ยงเบนของ OUTPUT ค่าที่วัดจะไม่นิ่งแต่จะเพิ่มลดตามสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น

การเชื่อมต่อระหว่าง INSTRUMENT AMP , MULTIPLEXER และ A TO D สามารถเชื่อมต่อระหว่างกันได้อย่างดี เพียงแต่การออกแบบแผ่นลายวงจรที่มีเส้นบางมากทำให้เกิดสัญญาณรบกวน ได้ในแต่ละช่วงการเชื่อมต่อสัญญาณ

ในการใช้งาน A TO D ซึ่งสามารถวัด INPUT ANALOG ได้ 10 -20 v. นั้นจึงจะเป็นต้องมีแหล่งจ่ายทั้ง +15 v. และ -15 v. แม้ว่า INPUT ที่วัดจะเป็นค่าที่ช่วงบวกเท่านั้นก็ตาม

การออกแบบและการทดลองในส่วนของ HARD WARE ทั้งหมดควรระวังเนื่องจากระดับของไฟเลี้ยงวงจรมีหลายระดับ หากเกิดความผิดพลาดอาจทำให้ส่วนต่าง ๆ ของวงจรเสียหายได้

ข้อเสนอแนะ

ในการออกแบบลายวงจรควรรออกแบบให้มีเส้นที่กว้างเพื่อลดค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นจากบาววงจรที่เป็นตัวนำที่มีคุณภาพต่ำ

สายสัญญาณต่าง ๆ ควรรออกแบบให้มีระยะสั้นไม่ควรออกแบบให้ลายวงจรโดยเฉพาะ สายกราวด์มีความยาวมาก จะเกิดจากสัญญาณรบกวนในส่วนต่างๆ ของวงจร

ในส่วน MULTIPLEXER ซึ่ง สัญญาณที่ต้องการเลือกในช่องต่าง ๆ จะเป็นสัญญาณที่มีแรงดัน 10 v. ดังนั้นจึงแรงดันไฟเลี้ยงจึงต้องต้องเป็นแรงดัน +15v. แต่ในส่วนที่ให้ความควบคุมการเลือกช่องของ MULTIPLEXER สัญญาณเป็นปแรงดัน 5 v. จึงต้องใช้ BUFFER ที่มี OUTPUT เป็นแบบ OPEN COLLETER หรือใช้ทรานซิสเตอร์ในการแยกวงจรทั้งสองส่วนออกจากกัน

บรรณานุกรม

กฤษดา วิศวธีรานนท์, ไอซีดีจีตอล, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532

เซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์, "กราฟิก LCD" ฉบับที่ 118, กรกฎาคม, 2535

บุญยงค์ ภู่นันทพงษ์, "การวัดและการควบคุมทางอุตสาหกรรม" คณะวิทยาศาสตร์

ประยูกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ กรุงเทพฯ, 2531

สมศักดิ์ กรวีตวิมลเศรษฐ์ "หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม" สมาคม ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น)

Liner Applications Handbook ; National semiconductor corporation, 1986

Liner Circuits Data book Volume 1,2,3 Texas Instruments Corporation, 1986

MCS-51 Microcontrollers ETT co.,LTD

Omega, " The thermerature measurement handbook encyclopia," 1990 - 1991

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกาใช้

## กิตติกรรมประกาศ

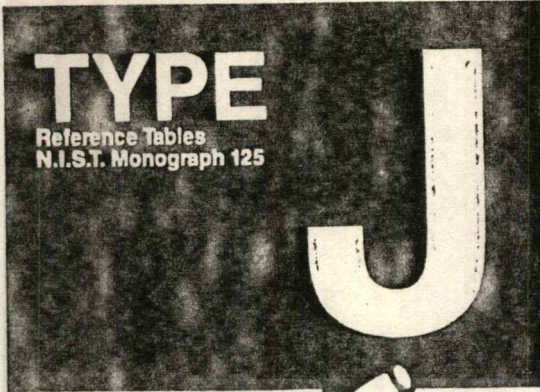
ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากท่าน อาจารย์วิทยาทิพย์สุวรรณพร เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาเป็น อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำแก้ไขเกี่ยวกับปัญหาเรื่องต่าง ๆ และขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคอยเป็นกำลังใจในการทำโครงการและปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี



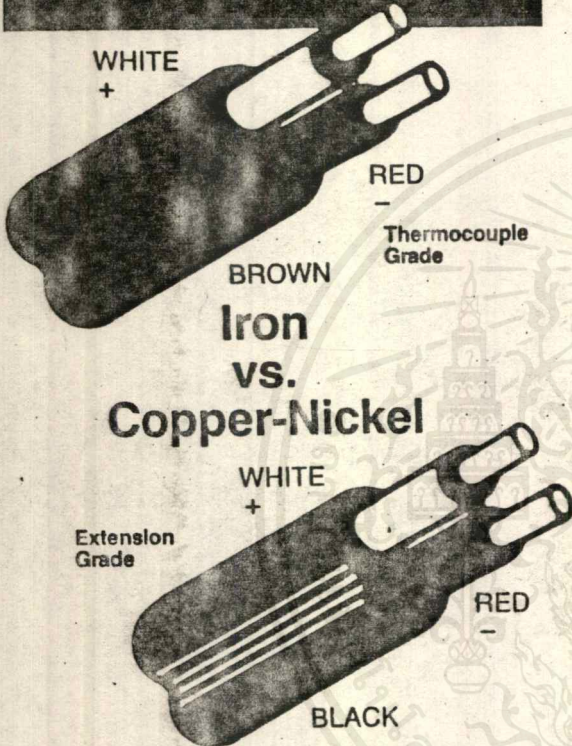
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Thermocouple Reference Tables

A



**TYPE J**  
Reference Tables  
N.I.S.T. Monograph 125



DEG C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS											
-210	-8.096										
-200	-7.690	-7.912	-7.934	-7.955	-7.976	-7.996	-8.017	-8.037	-8.057	-8.076	-8.096
-190	-7.659	-7.683	-7.707	-7.731	-7.755	-7.778	-7.801	-7.824	-7.846	-7.868	-7.890
-180	-7.402	-7.429	-7.455	-7.482	-7.508	-7.533	-7.559	-7.584	-7.609	-7.634	-7.659
-170	-7.122	-7.151	-7.180	-7.209	-7.237	-7.265	-7.293	-7.321	-7.349	-7.377	-7.404
-160	-6.821	-6.852	-6.883	-6.914	-6.944	-6.974	-7.004	-7.034	-7.064	-7.093	-7.122
-150	-6.499	-6.532	-6.565	-6.598	-6.630	-6.663	-6.695	-6.727	-6.758	-6.790	-6.822
-140	-6.159	-6.194	-6.228	-6.263	-6.297	-6.331	-6.365	-6.399	-6.433	-6.466	-6.499
-130	-5.801	-5.837	-5.872	-5.910	-5.946	-5.982	-6.018	-6.053	-6.089	-6.124	-6.159
-120	-5.426	-5.464	-5.502	-5.540	-5.578	-5.615	-5.653	-5.690	-5.727	-5.764	-5.801
-110	-5.036	-5.076	-5.115	-5.155	-5.194	-5.233	-5.272	-5.311	-5.349	-5.388	-5.426
-100	-4.632	-4.673	-4.714	-4.755	-4.795	-4.836	-4.876	-4.916	-4.956	-4.996	-5.036
-90	-4.215	-4.257	-4.299	-4.341	-4.383	-4.425	-4.467	-4.508	-4.550	-4.591	-4.633
-80	-3.785	-3.829	-3.872	-3.915	-3.957	-4.000	-4.042	-4.084	-4.126	-4.167	-4.209
-70	-3.348	-3.393	-3.437	-3.478	-3.522	-3.566	-3.610	-3.654	-3.698	-3.742	-3.785
-60	-2.892	-2.938	-2.984	-3.029	-3.074	-3.120	-3.165	-3.210	-3.255	-3.299	-3.344
-50	-2.431	-2.478	-2.524	-2.570	-2.617	-2.663	-2.709	-2.755	-2.801	-2.847	-2.892
-40	-1.960	-2.008	-2.055	-2.102	-2.150	-2.197	-2.244	-2.291	-2.338	-2.384	-2.431
-30	-1.481	-1.530	-1.578	-1.626	-1.674	-1.722	-1.770	-1.818	-1.865	-1.913	-1.960
-20	-0.995	-1.044	-1.093	-1.141	-1.190	-1.239	-1.288	-1.336	-1.385	-1.433	-1.481
-10	-0.501	-0.550	-0.600	-0.650	-0.699	-0.748	-0.798	-0.847	-0.896	-0.945	-0.995
0	0.000	-0.050	-0.101	-0.151	-0.201	-0.251	-0.301	-0.351	-0.401	-0.451	-0.500
DEG C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.000	0.050	0.101	0.151	0.202	0.253	0.303	0.354	0.405	0.456	0.507
10	0.307	0.358	0.409	0.460	0.511	0.562	0.613	0.664	0.715	0.766	0.817
20	0.619	0.670	0.721	0.772	0.823	0.874	0.925	0.976	1.027	1.078	1.129
30	0.936	0.987	1.038	1.089	1.140	1.191	1.242	1.293	1.344	1.395	1.446
40	1.258	1.309	1.360	1.411	1.462	1.513	1.564	1.615	1.666	1.717	1.768
50	1.585	1.636	1.687	1.738	1.789	1.840	1.891	1.942	1.993	2.044	2.095
60	1.918	1.969	2.020	2.071	2.122	2.173	2.224	2.275	2.326	2.377	2.428
70	2.257	2.308	2.359	2.410	2.461	2.512	2.563	2.614	2.665	2.716	2.767
80	2.602	2.653	2.704	2.755	2.806	2.857	2.908	2.959	3.010	3.061	3.112
90	2.953	3.004	3.055	3.106	3.157	3.208	3.259	3.310	3.361	3.412	3.463
100	3.268	3.319	3.370	3.421	3.472	3.523	3.574	3.625	3.676	3.727	3.778
110	3.582	3.633	3.684	3.735	3.786	3.837	3.888	3.939	3.990	4.041	4.092
120	3.896	3.947	3.998	4.049	4.100	4.151	4.202	4.253	4.304	4.355	4.406
130	4.210	4.261	4.312	4.363	4.414	4.465	4.516	4.567	4.618	4.669	4.720
140	4.524	4.575	4.626	4.677	4.728	4.779	4.830	4.881	4.932	4.983	5.034
150	4.838	4.889	4.940	4.991	5.042	5.093	5.144	5.195	5.246	5.297	5.348
160	4.752	4.803	4.854	4.905	4.956	5.007	5.058	5.109	5.160	5.211	5.262
170	4.666	4.717	4.768	4.819	4.870	4.921	4.972	5.023	5.074	5.125	5.176
180	4.580	4.631	4.682	4.733	4.784	4.835	4.886	4.937	4.988	5.039	5.090
190	4.494	4.545	4.596	4.647	4.698	4.749	4.800	4.851	4.902	4.953	5.004
200	4.408	4.459	4.510	4.561	4.612	4.663	4.714	4.765	4.816	4.867	4.918
210	4.322	4.373	4.424	4.475	4.526	4.577	4.628	4.679	4.730	4.781	4.832
220	4.236	4.287	4.338	4.389	4.440	4.491	4.542	4.593	4.644	4.695	4.746
230	4.150	4.201	4.252	4.303	4.354	4.405	4.456	4.507	4.558	4.609	4.660
240	4.064	4.115	4.166	4.217	4.268	4.319	4.370	4.421	4.472	4.523	4.574
250	3.978	4.029	4.080	4.131	4.182	4.233	4.284	4.335	4.386	4.437	4.488
260	3.892	3.943	3.994	4.045	4.096	4.147	4.198	4.249	4.300	4.351	4.402
270	3.806	3.857	3.908	3.959	4.010	4.061	4.112	4.163	4.214	4.265	4.316
280	3.720	3.771	3.822	3.873	3.924	3.975	4.026	4.077	4.128	4.179	4.230
290	3.634	3.685	3.736	3.787	3.838	3.889	3.940	3.991	4.042	4.093	4.144
300	3.548	3.599	3.650	3.701	3.752	3.803	3.854	3.905	3.956	4.007	4.058
310	3.462	3.513	3.564	3.615	3.666	3.717	3.768	3.819	3.870	3.921	3.972
320	3.376	3.427	3.478	3.529	3.580	3.631	3.682	3.733	3.784	3.835	3.886
330	3.290	3.341	3.392	3.443	3.494	3.545	3.596	3.647	3.698	3.749	3.800
340	3.204	3.255	3.306	3.357	3.408	3.459	3.510	3.561	3.612	3.663	3.714
350	3.118	3.169	3.220	3.271	3.322	3.373	3.424	3.475	3.526	3.577	3.628
360	3.032	3.083	3.134	3.185	3.236	3.287	3.338	3.389	3.440	3.491	3.542
370	2.946	2.997	3.048	3.099	3.150	3.201	3.252	3.303	3.354	3.405	3.456
380	2.860	2.911	2.962	3.013	3.064	3.115	3.166	3.217	3.268	3.319	3.370
390	2.774	2.825	2.876	2.927	2.978	3.029	3.080	3.131	3.182	3.233	3.284
400	2.688	2.739	2.790	2.841	2.892	2.943	2.994	3.045	3.096	3.147	3.198
410	2.602	2.653	2.704	2.755	2.806	2.857	2.908	2.959	3.010	3.061	3.112
420	2.516	2.567	2.618	2.669	2.720	2.771	2.822	2.873	2.924	2.975	3.026
430	2.430	2.481	2.532	2.583	2.634	2.685	2.736	2.787	2.838	2.889	2.940
440	2.344	2.395	2.446	2.497	2.548	2.599	2.650	2.701	2.752	2.803	2.854
450	2.258	2.309	2.360	2.411	2.462	2.513	2.564	2.615	2.666	2.717	2.768
460	2.172	2.223	2.274	2.325	2.376	2.427	2.478	2.529	2.580	2.631	2.682
470	2.086	2.137	2.188	2.239	2.290	2.341	2.392	2.443	2.494	2.545	2.596
480	2.000	2.051	2.102	2.153	2.204	2.255	2.306	2.357	2.408	2.459	2.510
490	1.914	1.965	2.016	2.067	2.118	2.169	2.220	2.271	2.322	2.373	2.424
500	1.828	1.879	1.930	1.981	2.032	2.083	2.134	2.185	2.236	2.287	2.338
510	1.742	1.793	1.844	1.895	1.946	1.997	2.048	2.099	2.150	2.201	2.252
520	1.656	1.707	1.758	1.809	1.860	1.911	1.962	2.013	2.064	2.115	2.166
530	1.570	1.621	1.672	1.723	1.774	1.825	1.876	1.927	1.978	2.029	2.080
540	1.484	1.535	1.586	1.637	1.688	1.739	1.790	1.841	1.892	1.943	1.994
550	1.398	1.449	1.500	1.551	1.602	1.653	1.704	1.755	1.806	1.857	1.908
560	1.312	1.363	1.414	1.465	1.516	1.567	1.618	1.669	1.720	1.771	1.822
570	1.226	1.277	1.328	1.379	1.430	1.481	1.532	1.583	1.634	1.685	1.736
580	1.140	1.191	1.242	1.293	1.344	1.395	1.446	1.497	1.548	1.599	1.650
590	1.054	1.105	1.156	1.207	1.258	1.309	1.360	1.411	1.462	1.513	1.564
600	0.968	1.019	1.070	1.121	1.172	1.223	1.274	1.325	1.376	1.427	1.478
610	0.882	0.933	0.984	1.035	1.086	1.137	1.188	1.239	1.290	1.341	1.392
620	0.796	0.847	0.898	0.949	1.000	1.051	1.102	1.153	1.204	1.255	1.306
630	0.710	0.761	0.812	0.863	0.914	0.965	1.016	1.067	1.118	1.169	1.220
640	0.624	0.675	0.726	0.777	0.828	0.879	0.930	0.981	1.032	1.083	1.13

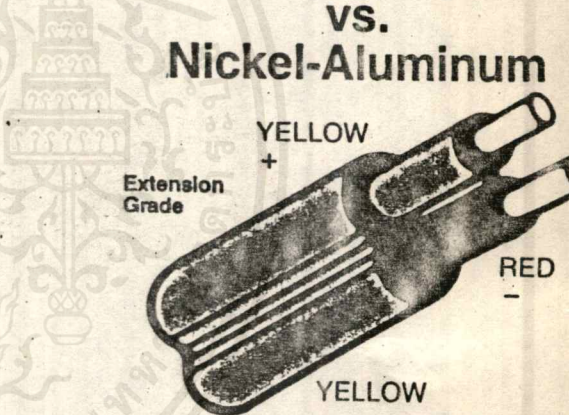
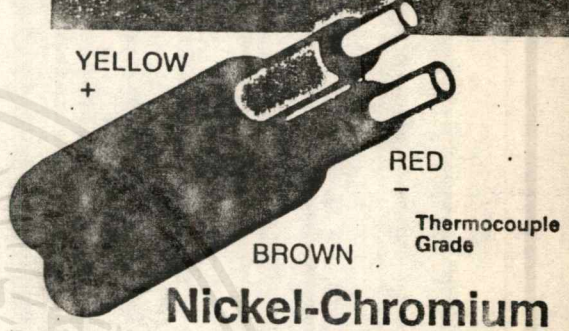
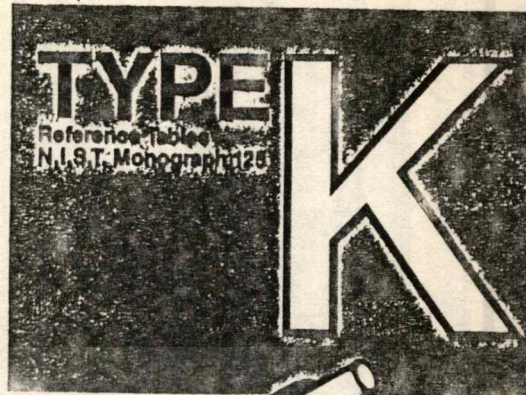
# Thermocouple Reference Tables

DEG C ° 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 DEG C  
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS

Table of thermoelectric voltage in absolute millivolts for temperatures from -270 to 0 degrees Celsius. Columns represent temperature in degrees Celsius (0 to 10), and rows represent temperature in degrees Celsius (-270 to 0).

Table of thermoelectric voltage in absolute millivolts for temperatures from 0 to 600 degrees Celsius. Columns represent temperature in degrees Celsius (0 to 10), and rows represent temperature in degrees Celsius (0 to 600).

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



## Nickel-Chromium vs. Nickel-Aluminum

**MAXIMUM TEMPERATURE RANGE**  
Thermocouple Grade  
- 328 to 2282°F  
- 200 to 1250°C  
Extension Grade  
32 to 392°F  
0 to 200°C

**LIMITS OF ERROR**  
(whichever is Greater)  
Standard: 2.2°C or 0.75% Above 0°C  
2.2°C or 2.0% Below 0°C  
Special: 1.1°C or 0.4%

**COMMENTS, BARE WIRE ENVIRONMENT:**  
Clean Oxidizing and Inert; Limited Use in Vacuum or Reducing; Wide Temperature Range; Most Popular Calibration

Note: NIST (formerly NBS) is planning on revising the Thermocouple Reference Tables, and OMEGA will publish these new tables as soon as they are released.

TEMPERATURE IN DEGREES °C  
REFERENCE JUNCTION AT 0°C

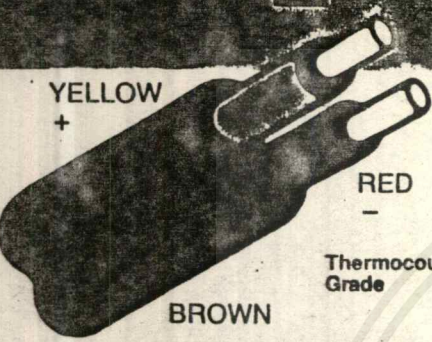
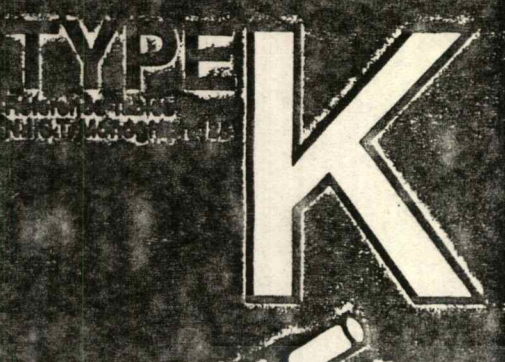
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้... แปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

# Thermocouple Reference Tables

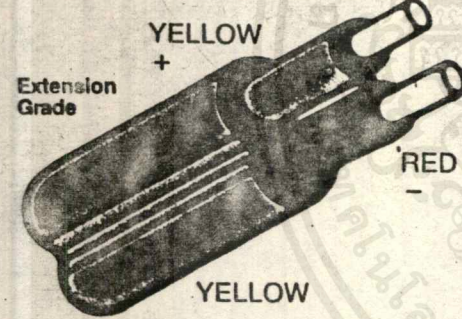
DEC °C 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 DEC °C

THEMOCOUPLER VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS

600	24.902	24.944	24.987	25.029	25.072	25.114	25.157	25.199	25.242	25.284	25.327	600
610	25.327	25.369	25.412	25.454	25.497	25.539	25.582	25.624	25.666	25.709	25.751	610
620	25.751	25.794	25.836	25.879	25.921	25.964	26.006	26.048	26.091	26.133	26.176	620
630	26.176	26.218	26.260	26.303	26.345	26.387	26.430	26.472	26.515	26.557	26.599	630
640	26.599	26.642	26.684	26.726	26.769	26.811	26.853	26.896	26.938	26.980	27.022	640
650	27.022	27.065	27.107	27.149	27.192	27.234	27.276	27.318	27.361	27.403	27.445	650
660	27.445	27.487	27.529	27.572	27.614	27.656	27.698	27.740	27.783	27.825	27.867	660
670	27.867	27.909	27.951	27.993	28.035	28.078	28.120	28.162	28.204	28.246	28.288	670
680	28.288	28.330	28.372	28.414	28.456	28.498	28.540	28.582	28.624	28.666	28.709	680
690	28.709	28.751	28.793	28.835	28.877	28.919	28.961	29.002	29.044	29.086	29.128	690
700	29.128	29.170	29.212	29.254	29.296	29.338	29.380	29.422	29.464	29.505	29.547	700
710	29.547	29.589	29.631	29.673	29.715	29.756	29.798	29.840	29.882	29.924	29.965	710
720	29.965	30.007	30.049	30.091	30.132	30.174	30.216	30.257	30.299	30.341	30.383	720
730	30.383	30.424	30.466	30.508	30.549	30.591	30.632	30.674	30.716	30.757	30.799	730
740	30.799	30.840	30.882	30.924	30.965	31.007	31.048	31.090	31.131	31.173	31.214	740
750	31.214	31.256	31.297	31.339	31.380	31.422	31.463	31.504	31.546	31.587	31.629	750
760	31.629	31.670	31.712	31.753	31.794	31.836	31.877	31.918	31.960	32.001	32.042	760
770	32.042	32.084	32.125	32.166	32.207	32.249	32.290	32.331	32.372	32.414	32.455	770
780	32.455	32.496	32.537	32.578	32.619	32.661	32.702	32.743	32.784	32.825	32.866	780
790	32.866	32.907	32.948	32.989	33.031	33.072	33.113	33.154	33.195	33.236	33.277	790
800	33.277	33.318	33.359	33.400	33.441	33.482	33.523	33.564	33.604	33.645	33.686	800
810	33.686	33.727	33.768	33.809	33.850	33.891	33.931	33.972	34.013	34.054	34.095	810
820	34.095	34.136	34.176	34.217	34.258	34.299	34.339	34.380	34.421	34.461	34.502	820
830	34.502	34.543	34.583	34.624	34.665	34.705	34.746	34.787	34.827	34.868	34.909	830
840	34.909	34.949	34.990	35.030	35.071	35.111	35.152	35.192	35.233	35.273	35.314	840
850	35.314	35.354	35.395	35.435	35.476	35.516	35.557	35.597	35.637	35.678	35.718	850
860	35.718	35.758	35.799	35.839	35.880	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	36.483	36.524	870
880	36.524	36.564	36.604	36.644	36.684	36.724	36.764	36.804	36.844	36.885	36.925	880
890	36.925	36.965	37.005	37.045	37.085	37.125	37.165	37.205	37.245	37.285	37.325	890
900	37.325	37.365	37.405	37.445	37.484	37.524	37.564	37.604	37.644	37.684	37.724	900
910	37.724	37.764	37.803	37.843	37.883	37.923	37.963	38.002	38.042	38.082	38.122	910
920	38.122	38.162	38.201	38.241	38.281	38.320	38.360	38.400	38.439	38.479	38.519	920
930	38.519	38.558	38.598	38.638	38.677	38.717	38.756	38.796	38.836	38.875	38.915	930
940	38.915	38.954	38.994	39.033	39.073	39.112	39.152	39.191	39.231	39.270	39.310	940
950	39.310	39.349	39.388	39.428	39.467	39.506	39.545	39.585	39.624	39.663	39.703	950
960	39.703	39.743	39.782	39.821	39.861	39.900	39.939	39.979	40.018	40.057	40.096	960
970	40.096	40.136	40.175	40.214	40.253	40.292	40.332	40.371	40.410	40.449	40.488	970
980	40.488	40.527	40.566	40.605	40.644	40.684	40.723	40.762	40.801	40.840	40.879	980
990	40.879	40.918	40.957	40.996	41.035	41.074	41.113	41.152	41.191	41.230	41.269	990
1.000	41.269	41.308	41.347	41.385	41.424	41.463	41.502	41.541	41.580	41.619	41.657	1.000
1.010	41.657	41.696	41.735	41.774	41.813	41.851	41.890	41.929	41.968	42.006	42.045	1.010
1.020	42.045	42.084	42.123	42.161	42.200	42.239	42.277	42.316	42.354	42.393	42.432	1.020
1.030	42.432	42.470	42.509	42.548	42.586	42.625	42.663	42.702	42.740	42.779	42.817	1.030
1.040	42.817	42.856	42.894	42.933	42.971	43.010	43.048	43.087	43.125	43.164	43.202	1.040
1.050	43.202	43.240	43.279	43.317	43.356	43.394	43.432	43.471	43.509	43.547	43.585	1.050
1.060	43.585	43.624	43.662	43.700	43.739	43.777	43.815	43.853	43.891	43.929	43.967	1.060
1.070	43.967	44.006	44.044	44.082	44.121	44.159	44.197	44.235	44.273	44.311	44.349	1.070
1.080	44.349	44.387	44.425	44.463	44.501	44.539	44.577	44.615	44.653	44.691	44.729	1.080
1.090	44.729	44.767	44.805	44.843	44.881	44.919	44.957	44.995	45.033	45.070	45.108	1.090
1.100	45.108	45.146	45.184	45.222	45.260	45.297	45.335	45.373	45.411	45.448	45.486	1.100
1.110	45.486	45.524	45.561	45.599	45.637	45.675	45.712	45.750	45.788	45.825	45.863	1.110
1.120	45.863	45.900	45.938	45.975	46.013	46.051	46.088	46.126	46.163	46.201	46.238	1.120
1.130	46.238	46.275	46.313	46.350	46.388	46.425	46.463	46.500	46.537	46.575	46.612	1.130
1.140	46.612	46.649	46.687	46.724	46.761	46.799	46.836	46.873	46.910	46.948	46.985	1.140
1.150	46.985	47.022	47.059	47.096	47.134	47.171	47.208	47.245	47.282	47.319	47.356	1.150
1.160	47.356	47.393	47.430	47.468	47.505	47.542	47.579	47.616	47.653	47.690	47.727	1.160
1.170	47.727	47.763	47.800	47.837	47.874	47.911	47.948	47.985	48.022	48.059	48.095	1.170
1.180	48.095	48.132	48.169	48.205	48.242	48.279	48.316	48.352	48.389	48.426	48.462	1.180
1.190	48.462	48.499	48.536	48.572	48.609	48.645	48.682	48.718	48.755	48.792	48.828	1.190
1.200	48.828	48.865	48.901	48.937	48.974	49.010	49.047	49.083	49.120	49.156	49.192	1.200
1.210	49.192	49.229	49.265	49.301	49.338	49.374	49.410	49.446	49.483	49.519	49.555	1.210
1.220	49.555	49.591	49.627	49.663	49.700	49.736	49.772	49.808	49.844	49.880	49.916	1.220
1.230	49.916	49.952	49.988	50.024	50.060	50.096	50.132	50.168	50.204	50.240	50.276	1.230
1.240	50.276	50.311	50.347	50.383	50.419	50.455	50.491	50.526	50.562	50.598	50.633	1.240
1.250	50.633	50.669	50.705	50.741	50.776	50.812	50.847	50.883	50.919	50.954	50.990	1.250
1.260	50.990	51.025	51.061	51.096	51.132	51.167	51.203	51.238	51.274	51.309	51.344	1.260
1.270	51.344	51.380	51.415	51.450	51.486	51.521	51.556	51.592	51.627	51.662	51.697	1.270
1.280	51.697	51.733	51.768	51.803	51.838	51.873	51.908	51.943	51.978	52.014	52.049	1.280
1.290	52.049	52.084	52.119	52.154	52.189	52.224	52.259	52.294	52.329	52.364	52.399	1.290
1.300	52.399	52.433	52.468	52.503	52.538	52.573	52.608	52.642	52.677	52.712	52.747	1.300
1.310	52.747	52.781	52.816	52.851	52.886	52.920	52.955	52.989	53.024	53.059	53.093	1.310
1.320	53.093	53.128	53.162	53.197	53.232	53.266	53.301	53.335	53.370	53.404	53.439	1.320
1.330	53.439	53.473	53.507	53.542	53.576	53.611	53.645	53.679	53.714	53.748	53.782	1.330
1.340	53.782	53.817	53.851	53.885	53.920	53.954	53.988	54.022	54.057	54.091	54.125	1.340
1.350	54.125	54.159	54.193	54.228	54.262	54.296	54.330	54.364	54.398	54.432	54.466	1.350
1.360	54.466	54.501	54.535	54.569	54.603	54.637	54.671	54.705	54.739	54.773	54.807	1.360
1.370	54.807	54.841	54.875									1.370



**Nickel-Chromium vs. Nickel-Aluminum**



**MAXIMUM TEMPERATURE RANGE**  
 Thermocouple Grade  
 -328 to 2282°F  
 -200 to 1250°C  
 Extension Grade  
 32 to 392°F  
 0 to 200°C

**LIMITS OF ERROR**  
 (whichever is Greater)  
 Standard: 2.2°C or 0.75% Above 0°C  
 2.2°C or 2.0% Below 0°C  
 Special: 1.1°C or 0.4%

**COMMENTS, BARE WIRE ENVIRONMENT:**  
 Clean Oxidizing and Inert; Limited Use in Vacuum or Reducing; Wide Temperature Range; Most Popular Calibration

TEMPERATURE IN DEGREES °C  
 REFERENCE JUNCTION AT 0°C

Note: NIST (formerly NBS) is planning on revising the Thermocouple Reference Tables, and OMEGA will publish these new tables as soon as they are released.

ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D

DEG C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DEG C
270	-9.895											-270
240	-9.797	-9.802	-9.808	-9.813	-9.817	-9.821	-9.825	-9.828	-9.831	-9.833	-9.835	-240
250	-9.719	-9.728	-9.737	-9.746	-9.754	-9.762	-9.770	-9.777	-9.784	-9.791	-9.797	-250
240	-9.604	-9.617	-9.630	-9.642	-9.654	-9.666	-9.677	-9.688	-9.699	-9.709	-9.719	-240
230	-9.455	-9.472	-9.488	-9.503	-9.519	-9.534	-9.549	-9.563	-9.577	-9.591	-9.604	-230
220	-9.274	-9.293	-9.313	-9.332	-9.351	-9.369	-9.388	-9.404	-9.421	-9.438	-9.455	-220
210	-9.065	-9.085	-9.107	-9.129	-9.151	-9.172	-9.193	-9.214	-9.234	-9.254	-9.274	-210
200	-8.824	-8.850	-8.874	-8.899	-8.923	-8.947	-8.971	-8.994	-9.017	-9.040	-9.063	-200
190	-8.561	-8.588	-8.615	-8.642	-8.669	-8.696	-8.722	-8.748	-8.774	-8.799	-8.824	-190
180	-8.273	-8.303	-8.333	-8.362	-8.391	-8.420	-8.449	-8.477	-8.505	-8.533	-8.561	-180
170	-7.963	-7.995	-8.027	-8.058	-8.090	-8.121	-8.152	-8.183	-8.213	-8.243	-8.273	-170
160	-7.631	-7.665	-7.699	-7.733	-7.767	-7.800	-7.833	-7.866	-7.898	-7.931	-7.963	-160
150	-7.279	-7.315	-7.351	-7.387	-7.422	-7.458	-7.493	-7.528	-7.562	-7.597	-7.631	-150
140	-6.907	-6.945	-6.983	-7.020	-7.058	-7.095	-7.132	-7.169	-7.206	-7.243	-7.279	-140
130	-6.516	-6.556	-6.596	-6.635	-6.673	-6.714	-6.752	-6.792	-6.830	-6.869	-6.907	-130
120	-6.107	-6.149	-6.190	-6.231	-6.273	-6.314	-6.354	-6.395	-6.436	-6.476	-6.516	-120
110	-5.680	-5.724	-5.767	-5.810	-5.853	-5.896	-5.938	-5.981	-6.023	-6.065	-6.107	-110
100	-5.237	-5.282	-5.327	-5.371	-5.416	-5.460	-5.505	-5.549	-5.593	-5.637	-5.680	-100
90	-4.777	-4.824	-4.870	-4.916	-4.963	-5.009	-5.055	-5.100	-5.146	-5.191	-5.237	-90
80	-4.301	-4.350	-4.398	-4.446	-4.493	-4.541	-4.588	-4.636	-4.683	-4.730	-4.777	-80
70	-3.811	-3.860	-3.910	-3.959	-4.009	-4.058	-4.107	-4.156	-4.204	-4.253	-4.301	-70
60	-3.306	-3.357	-3.408	-3.459	-3.509	-3.560	-3.610	-3.661	-3.711	-3.761	-3.811	-60
50	-2.787	-2.839	-2.892	-2.944	-2.996	-3.048	-3.100	-3.152	-3.203	-3.254	-3.306	-50
40	-2.254	-2.308	-2.362	-2.416	-2.469	-2.522	-2.575	-2.628	-2.681	-2.734	-2.787	-40
30	-1.709	-1.764	-1.819	-1.874	-1.929	-1.983	-2.038	-2.092	-2.146	-2.200	-2.254	-30
20	-1.151	-1.207	-1.264	-1.320	-1.376	-1.432	-1.487	-1.543	-1.599	-1.654	-1.709	-20
10	-0.581	-0.638	-0.696	-0.754	-0.811	-0.868	-0.925	-0.982	-1.038	-1.095	-1.151	-10
0	0.000	-0.059	-0.117	-0.176	-0.234	-0.292	-0.350	-0.408	-0.466	-0.524	-0.581	0

DEG C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DEG C
0	0.000	0.059	0.118	0.176	0.235	0.295	0.354	0.413	0.472	0.532	0.591	0
10	0.591	0.651	0.711	0.770	0.830	0.890	0.950	1.011	1.071	1.131	1.192	10
20	1.192	1.252	1.313	1.373	1.434	1.495	1.556	1.617	1.678	1.739	1.801	20
30	1.801	1.862	1.924	1.985	2.047	2.109	2.171	2.233	2.295	2.357	2.419	30
40	2.419	2.482	2.544	2.607	2.669	2.732	2.795	2.858	2.921	2.984	3.047	40
50	3.047	3.110	3.173	3.237	3.300	3.364	3.428	3.491	3.555	3.619	3.683	50
60	3.683	3.748	3.812	3.876	3.941	4.005	4.070	4.134	4.199	4.264	4.329	60
70	4.329	4.394	4.459	4.524	4.589	4.655	4.720	4.786	4.852	4.917	4.983	70
80	4.983	5.049	5.115	5.181	5.247	5.314	5.380	5.446	5.513	5.579	5.646	80
90	5.646	5.713	5.780	5.846	5.913	5.981	6.048	6.115	6.182	6.250	6.317	90
100	6.317	6.385	6.452	6.520	6.588	6.656	6.724	6.792	6.860	6.928	6.996	100
110	6.996	7.064	7.133	7.201	7.270	7.339	7.407	7.476	7.545	7.614	7.683	110
120	7.683	7.752	7.821	7.890	7.960	8.029	8.099	8.168	8.238	8.307	8.377	120
130	8.377	8.447	8.517	8.587	8.657	8.727	8.797	8.867	8.938	9.008	9.078	130
140	9.078	9.149	9.220	9.290	9.361	9.432	9.503	9.573	9.644	9.715	9.787	140
150	9.787	9.858	9.929	10.000	10.072	10.143	10.215	10.286	10.358	10.429	10.501	150
160	10.501	10.573	10.645	10.717	10.789	10.861	10.933	11.005	11.077	11.150	11.222	160
170	11.222	11.294	11.367	11.439	11.512	11.585	11.657	11.730	11.803	11.876	11.949	170
180	11.949	12.022	12.095	12.168	12.241	12.314	12.387	12.461	12.534	12.608	12.681	180
190	12.681	12.755	12.828	12.902	12.975	13.049	13.123	13.197	13.271	13.345	13.419	190
200	13.419	13.493	13.567	13.641	13.715	13.789	13.864	13.938	14.012	14.087	14.161	200
210	14.161	14.236	14.310	14.385	14.460	14.535	14.609	14.684	14.759	14.834	14.909	210
220	14.909	14.984	15.059	15.134	15.209	15.284	15.359	15.434	15.509	15.584	15.659	220
230	15.659	15.734	15.809	15.884	15.959	16.034	16.109	16.184	16.259	16.334	16.409	230
240	16.409	16.484	16.559	16.634	16.709	16.784	16.859	16.934	17.009	17.084	17.159	240
250	17.159	17.234	17.309	17.384	17.459	17.534	17.609	17.684	17.759	17.834	17.909	250
260	17.909	18.018	18.095	18.172	18.249	18.326	18.403	18.480	18.557	18.634	18.711	260
270	18.711	18.788	18.865	18.942	19.019	19.096	19.173	19.250	19.327	19.404	19.481	270
280	19.481	19.558	19.635	19.712	19.789	19.866	19.943	20.020	20.097	20.174	20.251	280
290	20.251	20.328	20.405	20.482	20.559	20.636	20.713	20.790	20.867	20.944	21.021	290
300	21.021	21.111	21.199	21.287	21.375	21.463	21.551	21.639	21.727	21.815	21.903	300
310	21.903	22.002	22.099	22.197	22.295	22.393	22.491	22.589	22.687	22.785	22.883	310
320	22.883	22.981	23.079	23.177	23.275	23.373	23.471	23.569	23.667	23.765	23.863	320
330	23.863	23.961	24.059	24.157	24.255	24.353	24.451	24.549	24.647	24.745	24.843	330
340	24.843	24.941	25.039	25.137	25.235	25.333	25.431	25.529	25.627	25.725	25.823	340
350	25.823	25.921	26.019	26.117	26.215	26.313	26.411	26.509	26.607	26.705	26.803	350
360	26.803	26.901	27.000	27.098	27.196	27.294	27.392	27.490	27.588	27.686	27.784	360
370	27.784	27.882	27.980	28.078	28.176	28.274	28.372	28.470	28.568	28.666	28.764	370
380	28.764	28.862	28.960	29.058	29.156	29.254	29.352	29.450	29.548	29.646	29.744	380
390	29.744	29.842	29.940	30.038	30.136	30.234	30.332	30.430	30.528	30.626	30.724	390
400	30.724	30.822	30.920	31.018	31.116	31.214	31.312	31.410	31.508	31.606	31.704	400
410	31.704	31.802	31.900	32.000	32.098	32.196	32.294	32.392	32.490	32.588	32.686	410
420	32.686	32.784	32.882	32.980	33.078	33.176	33.274	33.372	33.470	33.568	33.666	420
430	33.666	33.764	33.862	33.960	34.058	34.156	34.254	34.352	34.450	34.548	34.646	430
440	34.646	34.744	34.842	34.940	35.038	35.136	35.234	35.332	35.430	35.528	35.626	440
450	35.626	35.724	35.822	35.920	36.018	36.116	36.214	36.312	36.410	36.508	36.606	450
460	36.606	36.704	36.802	36.900	37.000	37.098	37.196	37.294	37.392	37.490	37.588	460
470	37.588	37.686	37.784	37.882	37.980	38.078	38.176	38.274	38.372	38.470	38.568	470
480	38.568	38.666	38.764	38.862	38.960	39.058	39.156	39.254	39.352	39.450	39.548	480
490	39.548	39.646	39.744	39.842	39.940	40.038	40.136	40.234	40.332	40.430	40.528	490
500	40.528	40.626	40.724	40.822	40.920	41.018	41.116	41.214	41.312	41.410	41.508	500
510	41.508	41.606	41.704	41.802	41.900	42.000	42.098	42.196	42.294	42.392	42.490	510
520	42.490	42.588	42.686	42.784	42.882	42.980	43.078	43.176	43.274	43.372	43.470	520
530	43.470	43.568	43.666	43.764	43.862	43.960	44.058	44.156	44.254	44.352	44.450	530
540	44.450	44.548	44.646	44.744	44.842	44.940	45.038	45.136	45.234	45.332	45.430	540
550	45.430	45.528	45.626	45.724	45.822	45.920	46.018	46.116	46.214	46.312	46.410	550
560	46.410	46.508	46.606	46.704	46.802	46.900	47.000	47.098	47.196	47.294	47.392	560
570	47.392	47.490	47.588	47.686	47.784	47.882	47.980	48.078	48.176	48.274	48.372	570
580	48.372	48.470	48.568	48.666	48.764	48.862	48.960	49.058	49.156	49.254	49.352	580
590	49.352	49.450	49.548	49.646	49.744	49.842	49.940	50.038	50.136	50.234	50.332	590
600	50.332	50.430	50.528	50.626	50.724	50.822	50.920	51.018	51.116	51.214	51.312	600
610</												

# Thermocouple Reference Tables

## TYPE E

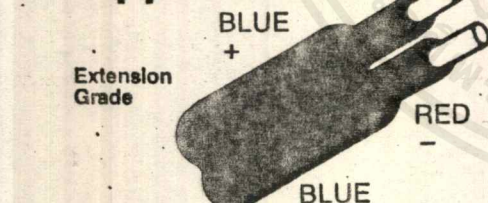
Reference Tables  
N.I.S.T. Monograph 125

## TYPE T

Reference Tables  
N.I.S.T. Monograph 125



BLUE + RED  
BROWN  
Copper vs. Copper-Nickel



BLUE + RED  
Extension Grade  
MAXIMUM TEMPERATURE RANGE  
Thermocouple Grade  
- 328 to 662°F  
- 200 to 350°C  
Extension Grade  
- 76 to 212°F  
- 60 to 100°C

LIMITS OF ERROR  
(whichever is Greater)  
Standard: 1.0°C or 0.75% Above 0°C  
1.0°C or 1.5% Below 0°C  
Special: 0.5°C or 0.4%

COMMENTS, BARE WIRE ENVIRONMENT:  
Mild Oxidizing, Reducing Vacuum or Inert;  
Good Where Moisture is Present; Low  
Temperature and Cryogenic Applications

TEMPERATURE IN DEGREES °C  
REFERENCE JUNCTION AT 0°C

E

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

THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS

800	61.022	61.101	61.179	61.258	61.336	61.414	61.493	61.571	61.649	61.728	61.806	800
810	61.806	61.884	61.962	62.041	62.119	62.197	62.275	62.353	62.432	62.510	62.588	810
820	62.588	62.666	62.744	62.822	62.900	62.978	63.056	63.134	63.212	63.290	63.368	820
830	63.368	63.446	63.524	63.602	63.680	63.758	63.836	63.914	63.992	64.070	64.148	830
840	64.147	64.225	64.303	64.381	64.459	64.537	64.615	64.693	64.771	64.849	64.927	840
850	64.924	65.002	65.080	65.157	65.235	65.313	65.391	65.469	65.547	65.625	65.703	850
860	65.700	65.777	65.855	65.932	66.009	66.087	66.164	66.242	66.320	66.398	66.476	860
870	66.473	66.551	66.628	66.705	66.783	66.860	66.938	67.015	67.093	67.171	67.249	870
880	67.245	67.322	67.399	67.476	67.553	67.630	67.707	67.784	67.861	67.938	68.015	880
890	68.015	68.092	68.169	68.246	68.323	68.399	68.476	68.553	68.630	68.707	68.784	890
900	68.783	68.860	68.937	69.014	69.091	69.168	69.244	69.321	69.398	69.475	69.552	900
910	69.549	69.626	69.702	69.779	69.855	69.931	70.008	70.084	70.161	70.237	70.314	910
920	70.313	70.390	70.466	70.542	70.618	70.694	70.770	70.846	70.922	70.998	71.074	920
930	71.075	71.151	71.227	71.303	71.379	71.455	71.531	71.607	71.683	71.759	71.835	930
940	71.835	71.911	71.987	72.063	72.139	72.215	72.290	72.366	72.442	72.518	72.594	940
950	72.593	72.669	72.745	72.820	72.896	72.972	73.047	73.123	73.199	73.274	73.350	950
960	73.350	73.425	73.501	73.576	73.652	73.727	73.802	73.878	73.953	74.029	74.104	960
970	74.104	74.179	74.254	74.329	74.404	74.479	74.554	74.629	74.704	74.779	74.854	970
980	74.854	74.929	75.004	75.079	75.154	75.229	75.304	75.379	75.454	75.529	75.604	980
990	75.604	75.679	75.754	75.829	75.904	75.979	76.054	76.129	76.204	76.279	76.354	990
1,000	76.354											1,000

T

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

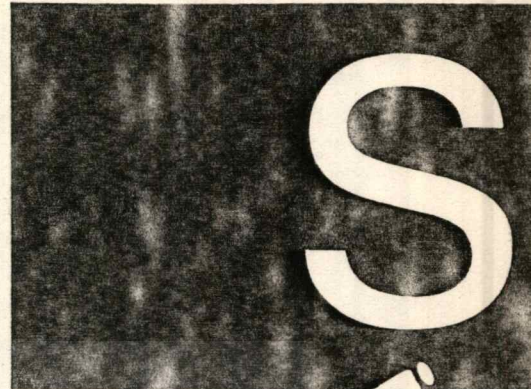
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS

-270	-6.258											-270
-260	-6.232	-6.236	-6.239	-6.242	-6.245	-6.248	-6.251	-6.253	-6.255	-6.256	-6.258	-260
-250	-6.181	-6.187	-6.193	-6.198	-6.204	-6.209	-6.214	-6.219	-6.224	-6.228	-6.232	-250
-240	-6.105	-6.114	-6.122	-6.130	-6.138	-6.146	-6.153	-6.160	-6.167	-6.174	-6.181	-240
-230	-6.007	-6.018	-6.028	-6.037	-6.046	-6.054	-6.062	-6.069	-6.076	-6.083	-6.090	-230
-220	-5.889	-5.901	-5.914	-5.926	-5.938	-5.950	-5.962	-5.973	-5.984	-5.995	-6.006	-220
-210	-5.753	-5.767	-5.782	-5.795	-5.809	-5.823	-5.836	-5.850	-5.863	-5.876	-5.889	-210
-200	-5.603	-5.619	-5.634	-5.649	-5.663	-5.678	-5.692	-5.706	-5.720	-5.734	-5.748	-200
-190	-5.439	-5.456	-5.473	-5.489	-5.506	-5.522	-5.539	-5.555	-5.571	-5.587	-5.603	-190
-180	-5.261	-5.279	-5.297	-5.315	-5.333	-5.351	-5.369	-5.387	-5.404	-5.421	-5.439	-180
-170	-5.069	-5.089	-5.109	-5.128	-5.147	-5.167	-5.186	-5.205	-5.223	-5.242	-5.261	-170
-160	-4.865	-4.886	-4.907	-4.928	-4.948	-4.969	-4.989	-5.010	-5.030	-5.050	-5.069	-160
-150	-4.648	-4.670	-4.693	-4.715	-4.737	-4.758	-4.780	-4.801	-4.823	-4.844	-4.865	-150
-140	-4.419	-4.442	-4.466	-4.489	-4.512	-4.535	-4.558	-4.581	-4.603	-4.626	-4.648	-140
-130	-4.177	-4.202	-4.226	-4.249	-4.272	-4.295	-4.318	-4.341	-4.363	-4.386	-4.408	-130
-120	-3.923	-3.949	-3.974	-4.000	-4.026	-4.051	-4.077	-4.102	-4.127	-4.152	-4.177	-120
-110	-3.656	-3.684	-3.711	-3.737	-3.764	-3.791	-3.818	-3.844	-3.870	-3.897	-3.923	-110
-100	-3.378	-3.407	-3.435	-3.463	-3.491	-3.519	-3.547	-3.574	-3.602	-3.629	-3.656	-100
-90	-3.089	-3.118	-3.147	-3.177	-3.206	-3.235	-3.264	-3.293	-3.321	-3.350	-3.378	-90
-80	-2.788	-2.818	-2.847	-2.877	-2.907	-2.936	-2.965	-2.994	-3.023	-3.052	-3.081	-80
-70	-2.475	-2.507	-2.539	-2.570	-2.602	-2.633	-2.664	-2.695	-2.726	-2.757	-2.788	-70
-60	-2.152	-2.185	-2.218	-2.250	-2.283	-2.315	-2.348	-2.380	-2.412	-2.444	-2.475	-60
-50	-1.819	-1.853	-1.886	-1.920	-1.953	-1.987	-2.020	-2.053	-2.087	-2.120	-2.152	-50
-40	-1.475	-1.510	-1.544	-1.579	-1.614	-1.648	-1.682	-1.717	-1.751	-1.785	-1.819	-40
-30	-1.121	-1.157	-1.192	-1.228	-1.263	-1.299	-1.334	-1.370	-1.405	-1.440	-1.475	-30
-20	-0.757	-0.794	-0.830	-0.867	-0.903	-0.940	-0.976	-1.013	-1.049	-1.085	-1.121	-20
-10	-0.383	-0.421	-0.458	-0.496	-0.534	-0.571	-0.608	-0.646	-0.683	-0.720	-0.757	-10
0	0.000	0.039	0.077	0.116	0.154	0.193	0.231	0.269	0.307	0.345	0.383	0

DEG C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DEG C
0	0.000	0.039	0.078	0.117	0.156	0.195	0.234	0.273	0.312	0.351	0.391	0
10	0.391	0.430	0.470	0.510	0.549	0.589	0.629	0.669	0.709	0.749	0.789	10
20	0.789	0.830	0.870	0.911	0.951	0.992	1.032	1.073	1.114	1.155	1.196	20
30	1.196	1.237	1.279	1.320	1.361	1.403	1.444	1.486	1.528	1.570	1.611	30
40	1.611	1.653	1.695	1.738	1.780	1.822	1.865	1.907	1.950	1.992	2.035	40
50	2.035	2.078	2.121	2.164	2.207	2.250	2.294	2.337	2.380	2.424	2.467	50
60	2.467	2.511	2.555	2.599	2.643	2.687	2.731	2.775	2.819	2.864	2.908	60
70	2.908	2.953	2.997	3.042	3.087	3.131	3.176	3.221	3.266	3.311	3.356	70
80	3.357	3.402	3.447	3.492	3.537	3.582	3.627	3.672	3.717	3.762	3.807	80
90	3.813	3.859	3.906	3.952	3.998	4.044	4.091	4.137	4.184	4.231	4.277	90
100	4.277	4.324	4.371	4.418	4.465	4.512	4.559	4.607	4.654	4.701	4.749	100
110	4.749	4.796	4.844	4.891	4.939	4.987	5.035	5.083	5.131	5.179	5.227	110
120	5.227	5.275	5.324	5.372	5.420	5.469	5.517	5.566	5.615	5.663	5.712	120
130	5.712	5.761	5.810	5.859	5.908	5.957	6.007	6.056	6.105	6.155	6.204	130
140	6.204	6.254	6.303	6.353	6.403	6.452	6.502	6.552	6.602	6.652	6.702	140
150	6.702	6.753	6.803	6.853	6.903	6.954	7.004	7.055	7.106	7.156	7.207	150
160	7.207	7.258	7.309	7.360	7.411	7.462	7.513	7.564	7.615	7.666	7.718	160
170	7.718	7.769	7.821	7.872	7.924	7.975	8.027	8.079	8.131	8.183	8.235	170
180	8.235	8.287	8.339	8.391	8.443	8.495	8.548	8.600	8.652	8.705	8.757	180
190	8.757	8.810	8.863	8.915	8.968	9.021	9.074	9.127	9.180	9.233	9.286	190
200	9.286	9.339	9.392	9.446	9.499	9.553	9.606	9.659	9.713	9.767	9.820	200
210	9.820	9.874	9.928	9.982	10.036	10.090	10.144	10.198	10.252	10.306	10.360	210
220	10.360	10.414	10.469	10.523	10.578	10.632	10.687	10.741	10.796	10.851	10.905	220
230	10.905	10.960	11.015	11.070	11.125	11.180	11.235	11.290	11.345	11.400	11.455	230
240	11.455	11.511	11.566	11.622	11.677	11.733	11.788	11.844	11.900	11.956	12.011	240
250	12.011	12.067	12.123	12.179	12.235	12.291	12.347	12.403	12.459	12.515	12.572	250
260	12.572	12.628	12.684	12.741	12.797	12.854	12.910	12.967	13.024	13.080	13.137	260
270	13.137	13.194	13.251	13.307	13.364	13.421	13.478	13.535	13.592	13.650	13.707	270
280	13.707	13.764	13.821	13.879	13.936	13.993	14.051	14.108	14.166	14.223	14.281	280
290	14.281	14.339	14.396	14.454	14.512	14.570	14.628	14.686	14.744	14.802	14.860	290
300	14.860	14.918	14.976	15.034	15.092	15.151	15.209	15.267	15.326	15.384	15.443	300
310	15.443	15.501	15.560	15.619	15.677	15.736	15.795	15.853	15.912	15.971	16.030	310
320	16.030	16.089	16.148	16.207	16.266	16.325	16.384	16.443	16.502	16.561	16.621	320
330	16.621	16.681	16.740	16.800	16.859	16.918	16.978	17.037	17.096	17.156	17.215	330
340	17.215	17.275	17.334	17.394	17.453	17.512	17.571	17.631	17.690	17.750	17.810	340
350	17.810	17.870										

# Thermocouple Reference Tables

DEG C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DEG C
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS												
0	0.000	0.005	0.011	0.016	0.022	0.027	0.033	0.038	0.044	0.050	0.055	0
10	0.055	0.061	0.067	0.072	0.078	0.084	0.090	0.095	0.101	0.107	0.113	10
20	0.113	0.119	0.125	0.131	0.137	0.142	0.148	0.154	0.161	0.167	0.173	20
30	0.173	0.179	0.185	0.191	0.197	0.203	0.210	0.216	0.222	0.228	0.235	30
40	0.235	0.241	0.247	0.254	0.260	0.266	0.273	0.279	0.286	0.292	0.299	40
50	0.299	0.305	0.312	0.318	0.325	0.331	0.338	0.345	0.351	0.358	0.365	50
60	0.365	0.371	0.378	0.385	0.391	0.398	0.405	0.412	0.419	0.425	0.432	60
70	0.432	0.439	0.446	0.453	0.460	0.467	0.474	0.481	0.488	0.495	0.502	70
80	0.502	0.509	0.516	0.523	0.530	0.537	0.544	0.551	0.558	0.566	0.573	80
90	0.573	0.580	0.587	0.594	0.602	0.609	0.616	0.623	0.631	0.638	0.645	90
100	0.645	0.653	0.660	0.667	0.675	0.682	0.690	0.697	0.704	0.712	0.719	100
110	0.719	0.727	0.734	0.742	0.749	0.757	0.764	0.772	0.780	0.787	0.795	110
120	0.795	0.802	0.810	0.818	0.825	0.833	0.841	0.848	0.856	0.864	0.872	120
130	0.872	0.879	0.887	0.895	0.903	0.910	0.918	0.926	0.934	0.942	0.950	130
140	0.950	0.957	0.965	0.973	0.981	0.989	0.997	1.005	1.013	1.021	1.029	140
150	1.029	1.037	1.045	1.053	1.061	1.069	1.077	1.085	1.093	1.101	1.109	150
160	1.109	1.117	1.125	1.133	1.141	1.149	1.158	1.166	1.174	1.182	1.190	160
170	1.190	1.198	1.207	1.215	1.223	1.231	1.240	1.248	1.256	1.264	1.273	170
180	1.273	1.281	1.289	1.297	1.306	1.314	1.322	1.331	1.339	1.347	1.356	180
190	1.356	1.364	1.373	1.381	1.389	1.398	1.406	1.415	1.423	1.432	1.440	190
200	1.440	1.448	1.457	1.465	1.474	1.482	1.491	1.499	1.508	1.516	1.525	200
210	1.525	1.534	1.542	1.551	1.559	1.568	1.576	1.585	1.594	1.602	1.611	210
220	1.611	1.620	1.628	1.637	1.645	1.654	1.663	1.671	1.680	1.689	1.698	220
230	1.698	1.706	1.715	1.724	1.732	1.741	1.750	1.759	1.767	1.776	1.785	230
240	1.785	1.794	1.802	1.811	1.820	1.829	1.838	1.846	1.855	1.864	1.873	240
250	1.873	1.882	1.891	1.899	1.908	1.917	1.926	1.935	1.944	1.953	1.962	250
260	1.962	1.971	1.979	1.988	1.997	2.006	2.015	2.024	2.033	2.042	2.051	260
270	2.051	2.060	2.069	2.078	2.087	2.096	2.105	2.114	2.123	2.132	2.141	270
280	2.141	2.150	2.159	2.168	2.177	2.186	2.195	2.204	2.213	2.222	2.232	280
290	2.232	2.241	2.250	2.259	2.268	2.277	2.286	2.295	2.304	2.314	2.323	290
300	2.323	2.332	2.341	2.350	2.359	2.368	2.377	2.387	2.396	2.405	2.414	300
310	2.414	2.424	2.433	2.442	2.451	2.460	2.470	2.479	2.488	2.497	2.506	310
320	2.506	2.516	2.525	2.534	2.543	2.553	2.562	2.571	2.581	2.590	2.599	320
330	2.599	2.608	2.618	2.627	2.636	2.646	2.655	2.664	2.674	2.683	2.692	330
340	2.692	2.702	2.711	2.720	2.730	2.739	2.748	2.758	2.767	2.776	2.786	340
350	2.786	2.795	2.805	2.814	2.823	2.833	2.842	2.852	2.861	2.870	2.880	350
360	2.880	2.889	2.899	2.908	2.917	2.927	2.936	2.946	2.955	2.965	2.974	360
370	2.974	2.984	2.993	3.003	3.012	3.022	3.031	3.041	3.050	3.059	3.069	370
380	3.069	3.078	3.088	3.097	3.107	3.117	3.126	3.136	3.145	3.155	3.164	380
390	3.164	3.174	3.183	3.193	3.202	3.212	3.221	3.231	3.241	3.250	3.260	390
400	3.260	3.269	3.279	3.288	3.298	3.308	3.317	3.327	3.336	3.346	3.356	400
410	3.356	3.365	3.375	3.384	3.394	3.404	3.413	3.423	3.433	3.442	3.452	410
420	3.452	3.462	3.471	3.481	3.491	3.500	3.510	3.520	3.529	3.539	3.549	420
430	3.549	3.558	3.568	3.578	3.587	3.597	3.607	3.616	3.626	3.636	3.645	430
440	3.645	3.655	3.665	3.675	3.684	3.694	3.704	3.714	3.723	3.733	3.743	440
450	3.743	3.752	3.762	3.772	3.782	3.791	3.801	3.811	3.821	3.831	3.840	450
460	3.840	3.850	3.860	3.870	3.879	3.889	3.899	3.909	3.919	3.928	3.938	460
470	3.938	3.948	3.958	3.968	3.977	3.987	3.997	4.007	4.017	4.027	4.036	470
480	4.036	4.046	4.056	4.066	4.076	4.086	4.095	4.105	4.115	4.125	4.135	480
490	4.135	4.145	4.155	4.164	4.174	4.184	4.194	4.204	4.214	4.224	4.234	490
500	4.234	4.243	4.253	4.263	4.273	4.283	4.293	4.303	4.313	4.323	4.333	500
510	4.333	4.343	4.352	4.362	4.372	4.382	4.392	4.402	4.412	4.422	4.432	510
520	4.432	4.442	4.452	4.462	4.472	4.482	4.492	4.502	4.512	4.522	4.532	520
530	4.532	4.542	4.552	4.562	4.572	4.582	4.592	4.602	4.612	4.622	4.632	530
540	4.632	4.642	4.652	4.662	4.672	4.682	4.692	4.702	4.712	4.722	4.732	540
550	4.732	4.742	4.752	4.762	4.772	4.782	4.792	4.802	4.812	4.822	4.832	550
560	4.832	4.842	4.852	4.862	4.872	4.882	4.892	4.902	4.912	4.922	4.932	560
570	4.932	4.943	4.953	4.963	4.973	4.984	4.994	5.004	5.014	5.024	5.034	570
580	5.034	5.044	5.054	5.065	5.075	5.085	5.095	5.105	5.115	5.125	5.136	580
590	5.136	5.146	5.156	5.166	5.176	5.186	5.197	5.207	5.217	5.227	5.237	590
600	5.237	5.247	5.258	5.268	5.278	5.288	5.298	5.309	5.319	5.329	5.339	600
610	5.339	5.350	5.360	5.370	5.380	5.391	5.401	5.411	5.421	5.431	5.442	610
620	5.442	5.452	5.462	5.473	5.483	5.493	5.503	5.514	5.524	5.534	5.544	620
630	5.544	5.555	5.565	5.575	5.586	5.596	5.606	5.617	5.627	5.637	5.648	630
640	5.648	5.658	5.668	5.679	5.689	5.700	5.710	5.720	5.731	5.741	5.751	640
650	5.751	5.762	5.772	5.782	5.793	5.803	5.814	5.824	5.834	5.845	5.855	650
660	5.855	5.866	5.876	5.887	5.897	5.907	5.918	5.928	5.939	5.949	5.960	660
670	5.960	5.970	5.980	5.991	6.001	6.012	6.022	6.033	6.043	6.054	6.064	670
680	6.064	6.075	6.085	6.096	6.106	6.117	6.127	6.138	6.148	6.159	6.169	680
690	6.169	6.180	6.190	6.201	6.211	6.222	6.232	6.243	6.253	6.264	6.274	690
700	6.274	6.285	6.295	6.306	6.316	6.327	6.338	6.348	6.359	6.369	6.380	700
710	6.380	6.390	6.401	6.412	6.422	6.433	6.443	6.454	6.465	6.475	6.486	710
720	6.486	6.496	6.507	6.518	6.528	6.539	6.549	6.560	6.571	6.581	6.592	720
730	6.592	6.603	6.613	6.624	6.635	6.645	6.656	6.667	6.677	6.688	6.699	730
740	6.699	6.709	6.720	6.731	6.741	6.752	6.763	6.773	6.784	6.795	6.805	740
750	6.805	6.816	6.827	6.838	6.848	6.859	6.870	6.881	6.891	6.902	6.913	750
760	6.913	6.923	6.934	6.945	6.956	6.966	6.977	6.988	6.999	7.009	7.020	760
770	7.020	7.031	7.042	7.053	7.063	7.074	7.085	7.096	7.107	7.117	7.128	770
780	7.128	7.139	7.150	7.161	7.171	7.182	7.193	7.204	7.215	7.225	7.236	780
790	7.236	7.247	7.258	7.269	7.280	7.291	7.301	7.312	7.323	7.334	7.345	790
800	7.345	7.356	7.367	7.377	7.388	7.399	7.410	7.421	7.432	7.443	7.454	800
810	7.454	7.465	7.476	7.486	7.497	7.508	7.519	7.530	7.541	7.552	7.563	810
820	7.563	7.574	7.585	7.596	7.607	7.618	7.629	7.640	7.651	7.661	7.672	820
830	7.672	7.683	7.694	7.705	7.716	7.727	7.738	7.749	7.760	7.771	7.782	830
840	7.782	7.793	7.804	7.815	7.826	7.837	7.848	7.859	7.870	7.881	7.892	840
850	7.892	7.904	7.915	7.926	7.937	7.948	7.959	7.970	7.981	7.992	8.003	850
860	8.003	8.014	8.025	8.036	8.047	8.058	8.069	8.081	8.092	8.103	8.114	860
870	8.114	8.125	8.136	8.147	8.158	8.169	8.180	8.192	8.203	8.214	8.225	870
880	8.225	8.236	8.247	8.258	8.270	8.281	8.292	8.303	8.314	8.325	8.336	880
890	8.336	8.348	8.359	8.370	8.381	8.392	8.404	8.415	8.426	8.437	8.448	890



Thermocouple Grade

NONE ESTABLISHED

Platinum-10% Rhodium vs. Platinum



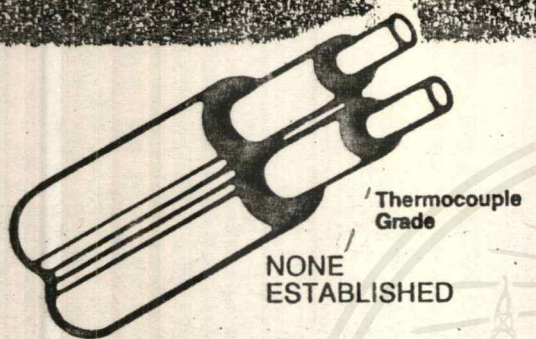
BLACK +

# Thermocouple Reference Tables

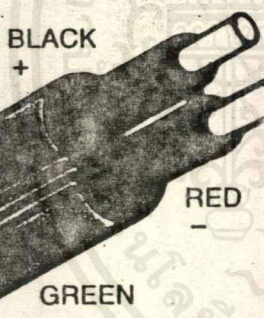
G

**TYPE S**  
Reference Tables  
N.I.S.T. Monograph 128

**S**



**Platinum-10% Rhodium vs. Platinum**



DEG C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DEG C
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS												
900	8.448	8.460	8.471	8.482	8.493	8.504	8.516	8.527	8.538	8.549	8.560	900
910	8.560	8.572	8.583	8.594	8.605	8.617	8.628	8.639	8.650	8.662	8.673	910
920	8.673	8.684	8.695	8.707	8.718	8.729	8.741	8.752	8.763	8.774	8.786	920
930	8.786	8.797	8.808	8.820	8.831	8.842	8.854	8.865	8.876	8.888	8.899	930
940	8.899	8.910	8.922	8.933	8.944	8.956	8.967	8.978	8.990	9.001	9.012	940
950	9.012	9.024	9.035	9.047	9.058	9.069	9.081	9.092	9.103	9.115	9.127	950
960	9.126	9.138	9.149	9.160	9.172	9.183	9.195	9.206	9.217	9.229	9.240	960
970	9.240	9.252	9.263	9.275	9.286	9.298	9.309	9.320	9.332	9.343	9.355	970
980	9.355	9.366	9.378	9.389	9.401	9.412	9.424	9.435	9.447	9.458	9.470	980
990	9.470	9.481	9.493	9.504	9.516	9.527	9.539	9.550	9.562	9.573	9.585	990
1,000	9.585	9.596	9.608	9.619	9.631	9.642	9.654	9.665	9.677	9.689	9.700	1,000
1,010	9.700	9.712	9.723	9.735	9.746	9.758	9.770	9.781	9.793	9.804	9.816	1,010
1,020	9.816	9.828	9.839	9.851	9.862	9.874	9.886	9.897	9.909	9.920	9.932	1,020
1,030	9.932	9.944	9.955	9.967	9.979	9.990	10.002	10.013	10.025	10.037	10.048	1,030
1,040	10.048	10.060	10.072	10.083	10.095	10.107	10.118	10.130	10.142	10.154	10.165	1,040
1,050	10.165	10.177	10.189	10.200	10.212	10.222	10.235	10.247	10.259	10.271	10.282	1,050
1,060	10.282	10.294	10.306	10.318	10.329	10.341	10.353	10.364	10.376	10.388	10.400	1,060
1,070	10.400	10.411	10.423	10.435	10.447	10.459	10.470	10.482	10.494	10.506	10.517	1,070
1,080	10.517	10.529	10.541	10.553	10.565	10.576	10.588	10.600	10.612	10.624	10.635	1,080
1,090	10.635	10.647	10.659	10.671	10.683	10.694	10.706	10.718	10.730	10.742	10.754	1,090
1,100	10.754	10.765	10.777	10.789	10.801	10.813	10.825	10.836	10.848	10.860	10.872	1,100
1,110	10.872	10.884	10.896	10.908	10.919	10.931	10.943	10.955	10.967	10.979	10.991	1,110
1,120	10.991	11.003	11.014	11.026	11.038	11.050	11.062	11.074	11.086	11.098	11.110	1,120
1,130	11.110	11.121	11.133	11.145	11.157	11.169	11.181	11.193	11.205	11.217	11.229	1,130
1,140	11.229	11.241	11.252	11.264	11.276	11.288	11.300	11.312	11.324	11.336	11.348	1,140
1,150	11.348	11.360	11.372	11.384	11.396	11.408	11.420	11.432	11.443	11.455	11.467	1,150
1,160	11.467	11.479	11.491	11.503	11.515	11.527	11.539	11.551	11.563	11.575	11.587	1,160
1,170	11.587	11.599	11.611	11.623	11.635	11.647	11.659	11.671	11.683	11.695	11.707	1,170
1,180	11.707	11.719	11.731	11.743	11.755	11.767	11.779	11.791	11.803	11.815	11.827	1,180
1,190	11.827	11.839	11.851	11.863	11.875	11.887	11.899	11.911	11.923	11.935	11.947	1,190
1,200	11.947	11.959	11.971	11.983	11.995	12.007	12.019	12.031	12.043	12.055	12.067	1,200
1,210	12.067	12.079	12.091	12.103	12.115	12.127	12.139	12.151	12.163	12.175	12.187	1,210
1,220	12.187	12.200	12.212	12.224	12.236	12.248	12.260	12.272	12.284	12.296	12.308	1,220
1,230	12.308	12.320	12.332	12.344	12.357	12.369	12.381	12.393	12.405	12.417	12.429	1,230
1,240	12.429	12.441	12.453	12.465	12.477	12.489	12.501	12.513	12.525	12.537	12.550	1,240
1,250	12.550	12.562	12.574	12.586	12.598	12.610	12.622	12.634	12.646	12.659	12.671	1,250
1,260	12.671	12.683	12.695	12.707	12.719	12.731	12.743	12.755	12.767	12.780	12.792	1,260
1,270	12.792	12.804	12.816	12.828	12.840	12.852	12.864	12.876	12.888	12.901	12.913	1,270
1,280	12.913	12.925	12.937	12.949	12.961	12.973	12.985	12.997	13.010	13.022	13.034	1,280
1,290	13.034	13.046	13.058	13.070	13.082	13.094	13.107	13.119	13.131	13.143	13.155	1,290
1,300	13.155	13.167	13.179	13.191	13.203	13.216	13.228	13.240	13.252	13.264	13.276	1,300
1,310	13.276	13.288	13.300	13.313	13.325	13.337	13.349	13.361	13.373	13.385	13.397	1,310
1,320	13.397	13.410	13.422	13.434	13.446	13.458	13.470	13.482	13.495	13.507	13.519	1,320
1,330	13.519	13.531	13.543	13.555	13.567	13.579	13.592	13.604	13.616	13.628	13.640	1,330
1,340	13.640	13.652	13.664	13.677	13.689	13.701	13.713	13.725	13.737	13.749	13.761	1,340
1,350	13.761	13.774	13.786	13.798	13.810	13.822	13.834	13.846	13.859	13.871	13.883	1,350
1,360	13.883	13.895	13.907	13.919	13.931	13.943	13.956	13.968	13.980	13.992	14.004	1,360
1,370	14.004	14.016	14.028	14.040	14.053	14.065	14.077	14.089	14.101	14.113	14.125	1,370
1,380	14.125	14.138	14.150	14.162	14.174	14.186	14.198	14.210	14.222	14.235	14.247	1,380
1,390	14.247	14.259	14.271	14.283	14.295	14.307	14.319	14.332	14.344	14.356	14.368	1,390
1,400	14.368	14.380	14.392	14.404	14.416	14.429	14.441	14.453	14.465	14.477	14.489	1,400
1,410	14.489	14.501	14.513	14.525	14.538	14.550	14.562	14.574	14.586	14.598	14.610	1,410
1,420	14.610	14.622	14.635	14.647	14.659	14.671	14.683	14.695	14.707	14.719	14.731	1,420
1,430	14.731	14.744	14.756	14.768	14.780	14.792	14.804	14.816	14.828	14.840	14.852	1,430
1,440	14.852	14.865	14.877	14.889	14.901	14.913	14.925	14.937	14.949	14.961	14.973	1,440
1,450	14.973	14.985	14.998	15.010	15.022	15.034	15.046	15.058	15.070	15.082	15.094	1,450
1,460	15.094	15.106	15.118	15.130	15.143	15.155	15.167	15.179	15.191	15.203	15.215	1,460
1,470	15.215	15.227	15.239	15.251	15.263	15.275	15.287	15.299	15.311	15.323	15.336	1,470
1,480	15.336	15.348	15.360	15.372	15.384	15.396	15.408	15.420	15.432	15.444	15.456	1,480
1,490	15.456	15.468	15.480	15.492	15.504	15.516	15.528	15.540	15.552	15.564	15.576	1,490
1,500	15.576	15.589	15.601	15.613	15.625	15.637	15.649	15.661	15.673	15.685	15.697	1,500
1,510	15.697	15.709	15.721	15.733	15.745	15.757	15.769	15.781	15.793	15.805	15.817	1,510
1,520	15.817	15.829	15.841	15.853	15.865	15.877	15.889	15.901	15.913	15.925	15.937	1,520
1,530	15.937	15.949	15.961	15.973	15.985	15.997	16.009	16.021	16.033	16.045	16.057	1,530
1,540	16.057	16.069	16.081	16.093	16.105	16.117	16.129	16.141	16.153	16.165	16.177	1,540
1,550	16.177	16.189	16.201	16.213	16.224	16.236	16.248	16.260	16.272	16.284	16.296	1,550
1,560	16.296	16.308	16.319	16.331	16.343	16.355	16.367	16.379	16.391	16.403	16.415	1,560
1,570	16.415	16.427	16.439	16.451	16.462	16.474	16.486	16.498	16.510	16.522	16.534	1,570
1,580	16.534	16.546	16.558	16.569	16.581	16.593	16.605	16.617	16.629	16.641	16.653	1,580
1,590	16.653	16.664	16.676	16.688	16.700	16.712	16.724	16.736	16.747	16.759	16.771	1,590
1,600	16.771	16.783	16.795	16.807	16.819	16.830	16.842	16.854	16.866	16.878	16.890	1,600
1,610	16.890	16.901	16.913	16.925	16.937	16.949	16.960	16.972	16.984	16.996	17.008	1,610
1,620	17.008	17.019	17.031	17.043	17.055	17.067	17.078	17.090	17.102	17.114	17.125	1,620
1,630	17.125	17.137	17.149	17.161	17.173	17.184	17.196	17.208	17.220	17.231	17.243	1,630
1,640	17.243	17.255	17.267	17.278	17.290	17.302	17.313	17.325				

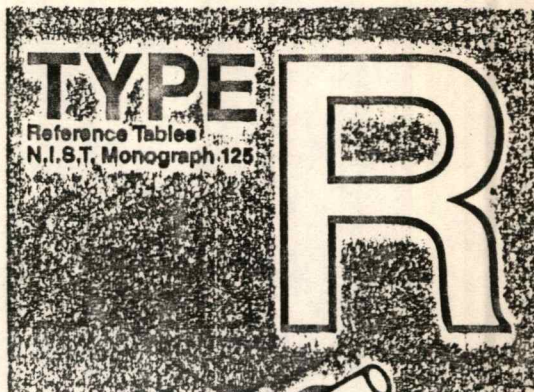
# Thermocouple Reference Tables

°C 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 °C

THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS

0	0.000	0.005	0.011	0.016	0.021	0.027	0.032	0.038	0.043	0.049	0.054	0
10	0.054	0.060	0.065	0.071	0.077	0.082	0.088	0.094	0.100	0.105	0.111	10
20	0.111	0.117	0.123	0.129	0.135	0.141	0.147	0.152	0.158	0.165	0.171	20
30	0.171	0.177	0.183	0.189	0.195	0.201	0.207	0.214	0.220	0.226	0.232	30
40	0.232	0.239	0.245	0.251	0.258	0.264	0.271	0.277	0.283	0.290	0.296	40
50	0.296	0.303	0.310	0.316	0.323	0.329	0.336	0.343	0.349	0.356	0.363	50
60	0.363	0.369	0.376	0.383	0.390	0.397	0.403	0.410	0.417	0.424	0.431	60
70	0.431	0.438	0.445	0.452	0.459	0.466	0.473	0.480	0.487	0.494	0.501	70
80	0.501	0.508	0.515	0.523	0.530	0.537	0.544	0.552	0.559	0.566	0.573	80
90	0.573	0.581	0.588	0.595	0.603	0.610	0.617	0.625	0.632	0.640	0.647	90
100	0.647	0.655	0.662	0.670	0.677	0.685	0.692	0.700	0.708	0.715	0.723	100
110	0.723	0.730	0.738	0.746	0.754	0.761	0.769	0.777	0.784	0.792	0.800	110
120	0.800	0.808	0.816	0.824	0.831	0.839	0.847	0.855	0.863	0.871	0.879	120
130	0.879	0.887	0.895	0.903	0.911	0.919	0.927	0.935	0.943	0.951	0.959	130
140	0.959	0.967	0.975	0.983	0.992	1.000	1.008	1.016	1.024	1.032	1.041	140
150	1.041	1.049	1.057	1.065	1.074	1.082	1.090	1.099	1.107	1.115	1.124	150
160	1.124	1.132	1.140	1.149	1.157	1.166	1.174	1.183	1.191	1.200	1.208	160
170	1.208	1.217	1.225	1.234	1.242	1.251	1.259	1.268	1.276	1.285	1.294	170
180	1.294	1.302	1.311	1.319	1.328	1.337	1.345	1.354	1.363	1.372	1.380	180
190	1.380	1.389	1.398	1.407	1.415	1.424	1.433	1.442	1.450	1.459	1.468	190
200	1.468	1.477	1.486	1.495	1.504	1.512	1.521	1.530	1.539	1.548	1.557	200
210	1.557	1.566	1.575	1.584	1.593	1.602	1.611	1.620	1.629	1.638	1.647	210
220	1.647	1.656	1.665	1.674	1.683	1.692	1.702	1.711	1.720	1.729	1.738	220
230	1.738	1.747	1.756	1.766	1.775	1.784	1.793	1.802	1.812	1.821	1.830	230
240	1.830	1.839	1.849	1.858	1.867	1.876	1.886	1.895	1.904	1.914	1.923	240
250	1.923	1.932	1.942	1.951	1.960	1.970	1.979	1.988	1.998	2.007	2.017	250
260	2.017	2.026	2.036	2.045	2.054	2.064	2.073	2.083	2.092	2.102	2.111	260
270	2.111	2.121	2.130	2.140	2.149	2.159	2.169	2.178	2.188	2.197	2.207	270
280	2.207	2.216	2.226	2.236	2.245	2.255	2.264	2.274	2.284	2.293	2.303	280
290	2.303	2.313	2.322	2.332	2.342	2.351	2.361	2.371	2.381	2.390	2.400	290
300	2.400	2.410	2.420	2.429	2.439	2.449	2.459	2.468	2.478	2.488	2.498	300
310	2.498	2.508	2.517	2.527	2.537	2.547	2.557	2.567	2.577	2.586	2.596	310
320	2.596	2.606	2.616	2.626	2.636	2.646	2.656	2.666	2.676	2.685	2.695	320
330	2.695	2.705	2.715	2.725	2.735	2.745	2.755	2.765	2.775	2.785	2.795	330
340	2.795	2.805	2.815	2.825	2.835	2.845	2.855	2.866	2.876	2.886	2.896	340
350	2.896	2.906	2.916	2.926	2.936	2.946	2.956	2.966	2.977	2.987	2.997	350
360	2.997	3.007	3.017	3.027	3.037	3.048	3.058	3.068	3.078	3.088	3.099	360
370	3.099	3.109	3.119	3.129	3.139	3.150	3.160	3.170	3.180	3.191	3.201	370
380	3.201	3.211	3.221	3.232	3.242	3.252	3.263	3.273	3.283	3.293	3.304	380
390	3.304	3.314	3.324	3.335	3.345	3.355	3.366	3.376	3.386	3.397	3.407	390
400	3.407	3.418	3.428	3.438	3.449	3.459	3.470	3.480	3.490	3.501	3.511	400
410	3.511	3.522	3.532	3.543	3.553	3.563	3.574	3.584	3.595	3.605	3.616	410
420	3.616	3.626	3.637	3.647	3.658	3.668	3.679	3.689	3.700	3.710	3.721	420
430	3.721	3.731	3.742	3.752	3.763	3.774	3.784	3.795	3.805	3.816	3.826	430
440	3.826	3.837	3.848	3.858	3.869	3.879	3.890	3.901	3.911	3.922	3.933	440
450	3.933	3.943	3.954	3.964	3.975	3.986	3.996	4.007	4.018	4.028	4.039	450
460	4.039	4.050	4.061	4.071	4.082	4.093	4.103	4.114	4.125	4.136	4.146	460
470	4.146	4.157	4.168	4.178	4.189	4.200	4.211	4.222	4.232	4.243	4.254	470
480	4.254	4.265	4.275	4.286	4.297	4.308	4.319	4.329	4.340	4.351	4.362	480
490	4.362	4.373	4.384	4.394	4.405	4.416	4.427	4.438	4.449	4.460	4.471	490
500	4.471	4.481	4.492	4.503	4.514	4.525	4.536	4.547	4.558	4.569	4.580	500
510	4.580	4.591	4.601	4.612	4.623	4.634	4.645	4.656	4.667	4.678	4.689	510
520	4.689	4.700	4.711	4.722	4.733	4.744	4.755	4.766	4.777	4.788	4.799	520
530	4.799	4.810	4.821	4.832	4.843	4.854	4.865	4.876	4.888	4.899	4.910	530
540	4.910	4.921	4.932	4.943	4.954	4.965	4.976	4.987	4.998	5.009	5.021	540
550	5.021	5.032	5.043	5.054	5.065	5.076	5.087	5.099	5.110	5.121	5.132	550
560	5.132	5.143	5.154	5.165	5.177	5.188	5.199	5.210	5.221	5.233	5.244	560
570	5.244	5.255	5.266	5.278	5.289	5.300	5.311	5.322	5.334	5.345	5.356	570
580	5.356	5.368	5.379	5.390	5.401	5.413	5.424	5.435	5.446	5.458	5.469	580
590	5.469	5.480	5.492	5.503	5.514	5.526	5.537	5.548	5.560	5.571	5.582	590
600	5.582	5.594	5.605	5.616	5.628	5.639	5.650	5.662	5.673	5.685	5.696	600
610	5.696	5.707	5.719	5.730	5.742	5.753	5.764	5.776	5.787	5.799	5.810	610
620	5.810	5.821	5.833	5.844	5.856	5.867	5.879	5.890	5.902	5.913	5.925	620
630	5.925	5.936	5.948	5.959	5.971	5.982	5.994	6.005	6.017	6.028	6.040	630
640	6.040	6.051	6.063	6.074	6.086	6.098	6.109	6.121	6.132	6.144	6.155	640
650	6.155	6.167	6.179	6.190	6.202	6.213	6.225	6.237	6.248	6.260	6.272	650
660	6.272	6.283	6.295	6.307	6.318	6.330	6.342	6.353	6.365	6.377	6.388	660
670	6.388	6.400	6.412	6.423	6.435	6.447	6.458	6.470	6.482	6.494	6.505	670
680	6.505	6.517	6.529	6.541	6.552	6.564	6.576	6.588	6.599	6.611	6.623	680
690	6.623	6.635	6.647	6.658	6.670	6.682	6.694	6.706	6.718	6.729	6.741	690
700	6.741	6.753	6.765	6.777	6.789	6.800	6.812	6.824	6.836	6.848	6.860	700
710	6.860	6.872	6.884	6.895	6.907	6.919	6.931	6.943	6.955	6.967	6.979	710
720	6.979	6.991	7.003	7.015	7.027	7.039	7.051	7.063	7.074	7.086	7.098	720
730	7.098	7.110	7.122	7.134	7.146	7.158	7.170	7.182	7.194	7.206	7.218	730
740	7.218	7.231	7.243	7.255	7.267	7.279	7.291	7.303	7.315	7.327	7.339	740
750	7.339	7.351	7.363	7.375	7.387	7.399	7.412	7.424	7.436	7.448	7.460	750
760	7.460	7.472	7.484	7.496	7.509	7.521	7.533	7.545	7.557	7.569	7.582	760
770	7.582	7.594	7.606	7.618	7.630	7.642	7.655	7.667	7.679	7.691	7.703	770
780	7.703	7.716	7.728	7.740	7.752	7.765	7.777	7.789	7.801	7.814	7.826	780
790	7.826	7.838	7.850	7.863	7.875	7.887	7.900	7.912	7.924	7.937	7.949	790
800	7.949	7.961	7.973	7.986	7.998	8.010	8.023	8.035	8.047	8.060	8.072	800
810	8.072	8.085	8.097	8.109	8.122	8.134	8.146	8.159	8.171	8.184	8.196	810
820	8.196	8.208	8.221	8.233	8.246	8.258	8.271	8.283	8.295	8.308	8.320	820
830	8.320	8.333	8.345	8.358	8.370	8.383	8.395	8.408	8.420	8.433	8.445	830
840	8.445	8.458	8.470	8.483	8.495	8.508	8.520	8.533	8.545	8.558	8.570	840
850	8.570	8.583	8.595	8.608	8.621	8.633	8.646	8.658	8.671	8.683	8.696	850
860	8.696	8.709	8.721	8.734	8.746	8.759	8.772	8.784	8.797	8.810	8.822	860
870	8.822	8.835	8.847	8.860	8.873	8.885	8.898	8.911	8.923	8.936	8.949	870
880	8.949	8.961	8.974	8.987	9.000	9.012	9.025	9.038	9.050	9.063	9.076	880
890	9.076	9.089	9.101	9.114	9.127	9.140	9.152	9.165	9.178	9.191	9.203	890

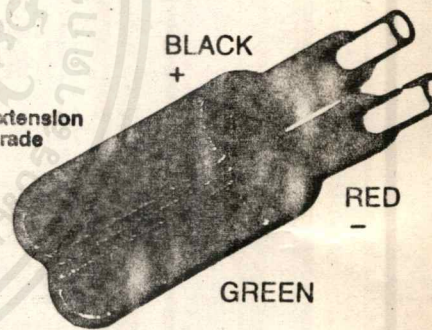
°C 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 °C



Thermocouple Grade

NONE ESTABLISHED

### Platinum-13% Rhodium VS. Platinum



BLACK +

# Thermocouple Reference Tables

**TYPE R**  
Reference Tables  
N.I.S.T. Monograph 125

**R**

DEG C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DEG C
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS												
900	9.203	9.216	9.229	9.242	9.254	9.267	9.280	9.293	9.306	9.319	9.331	901
910	9.331	9.344	9.357	9.370	9.383	9.395	9.408	9.421	9.434	9.447	9.460	911
920	9.460	9.473	9.485	9.498	9.511	9.524	9.537	9.550	9.563	9.576	9.589	921
930	9.589	9.602	9.614	9.627	9.640	9.653	9.666	9.679	9.692	9.705	9.718	931
940	9.718	9.731	9.744	9.757	9.770	9.783	9.796	9.809	9.822	9.835	9.848	941
950	9.848	9.861	9.874	9.887	9.900	9.913	9.926	9.939	9.952	9.965	9.978	951
960	9.978	9.991	10.004	10.017	10.030	10.043	10.056	10.069	10.082	10.095	10.109	961
970	10.109	10.122	10.135	10.148	10.161	10.174	10.187	10.200	10.213	10.227	10.240	971
980	10.240	10.253	10.266	10.279	10.292	10.305	10.319	10.332	10.345	10.358	10.371	981
990	10.371	10.384	10.398	10.411	10.424	10.437	10.450	10.464	10.477	10.490	10.503	991
1.000	10.503	10.516	10.530	10.543	10.556	10.569	10.583	10.596	10.609	10.622	10.636	1.001
1.010	10.636	10.649	10.662	10.675	10.689	10.702	10.715	10.729	10.742	10.755	10.768	1.011
1.020	10.768	10.782	10.795	10.808	10.822	10.835	10.848	10.862	10.875	10.888	10.902	1.021
1.030	10.902	10.915	10.928	10.942	10.955	10.968	10.982	10.995	11.009	11.022	11.035	1.031
1.040	11.035	11.049	11.062	11.076	11.089	11.102	11.116	11.129	11.143	11.156	11.170	1.041
1.050	11.170	11.183	11.196	11.210	11.223	11.237	11.250	11.264	11.277	11.291	11.304	1.051
1.060	11.304	11.318	11.331	11.345	11.358	11.372	11.385	11.399	11.412	11.426	11.439	1.061
1.070	11.439	11.453	11.466	11.480	11.493	11.507	11.520	11.534	11.547	11.561	11.574	1.071
1.080	11.574	11.588	11.602	11.615	11.629	11.642	11.656	11.669	11.683	11.697	11.710	1.081
1.090	11.710	11.724	11.737	11.751	11.765	11.778	11.792	11.805	11.819	11.833	11.846	1.091
1.100	11.846	11.860	11.874	11.887	11.901	11.914	11.928	11.942	11.955	11.969	11.983	1.101
1.110	11.983	11.996	12.010	12.024	12.037	12.051	12.065	12.078	12.092	12.106	12.119	1.111
1.120	12.119	12.133	12.147	12.161	12.174	12.188	12.202	12.215	12.229	12.243	12.257	1.121
1.130	12.257	12.270	12.284	12.298	12.311	12.325	12.339	12.353	12.366	12.380	12.394	1.131
1.140	12.394	12.408	12.421	12.435	12.449	12.463	12.476	12.490	12.504	12.518	12.532	1.141
1.150	12.532	12.545	12.559	12.573	12.587	12.600	12.614	12.628	12.642	12.656	12.669	1.151
1.160	12.669	12.683	12.697	12.711	12.725	12.739	12.752	12.766	12.780	12.794	12.808	1.161
1.170	12.808	12.822	12.835	12.849	12.863	12.877	12.891	12.905	12.918	12.932	12.946	1.171
1.180	12.946	12.960	12.974	12.988	13.002	13.016	13.029	13.043	13.057	13.071	13.085	1.181
1.190	13.085	13.099	13.113	13.127	13.140	13.154	13.168	13.182	13.196	13.210	13.224	1.191
1.200	13.224	13.238	13.252	13.266	13.280	13.293	13.307	13.321	13.335	13.349	13.363	1.201
1.210	13.363	13.377	13.391	13.405	13.419	13.433	13.447	13.461	13.475	13.489	13.502	1.211
1.220	13.502	13.516	13.530	13.544	13.558	13.572	13.586	13.600	13.614	13.628	13.642	1.221
1.230	13.642	13.656	13.670	13.684	13.698	13.712	13.726	13.740	13.754	13.768	13.782	1.231
1.240	13.782	13.796	13.810	13.824	13.838	13.852	13.866	13.880	13.894	13.908	13.922	1.241
1.250	13.922	13.936	13.950	13.964	13.978	13.992	14.006	14.020	14.034	14.048	14.062	1.251
1.260	14.062	14.076	14.090	14.104	14.118	14.132	14.146	14.160	14.174	14.188	14.202	1.261
1.270	14.202	14.216	14.230	14.244	14.258	14.272	14.286	14.301	14.315	14.329	14.343	1.271
1.280	14.343	14.357	14.371	14.385	14.399	14.413	14.427	14.441	14.455	14.469	14.483	1.281
1.290	14.483	14.497	14.511	14.525	14.539	14.554	14.568	14.582	14.596	14.610	14.624	1.291
1.300	14.624	14.638	14.652	14.666	14.680	14.694	14.708	14.722	14.737	14.751	14.765	1.301
1.310	14.765	14.779	14.793	14.807	14.821	14.835	14.849	14.863	14.877	14.891	14.906	1.311
1.320	14.906	14.920	14.934	14.948	14.962	14.976	14.990	15.004	15.018	15.032	15.047	1.321
1.330	15.047	15.061	15.075	15.089	15.103	15.117	15.131	15.145	15.159	15.173	15.188	1.331
1.340	15.188	15.202	15.216	15.230	15.244	15.258	15.272	15.286	15.300	15.315	15.329	1.341
1.350	15.329	15.343	15.357	15.371	15.385	15.399	15.413	15.427	15.442	15.456	15.470	1.351
1.360	15.470	15.484	15.498	15.512	15.526	15.540	15.555	15.569	15.583	15.597	15.611	1.361
1.370	15.611	15.625	15.639	15.653	15.667	15.682	15.696	15.710	15.724	15.738	15.752	1.371
1.380	15.752	15.766	15.780	15.795	15.809	15.823	15.837	15.851	15.865	15.879	15.893	1.381
1.390	15.893	15.908	15.922	15.936	15.950	15.964	15.978	15.992	16.006	16.021	16.035	1.391
1.400	16.035	16.049	16.063	16.077	16.091	16.105	16.119	16.134	16.148	16.162	16.176	1.401
1.410	16.176	16.190	16.204	16.218	16.232	16.247	16.261	16.275	16.289	16.303	16.317	1.411
1.420	16.317	16.331	16.345	16.360	16.374	16.388	16.402	16.416	16.430	16.444	16.458	1.421
1.430	16.458	16.472	16.487	16.501	16.515	16.529	16.543	16.557	16.571	16.585	16.599	1.431
1.440	16.599	16.614	16.628	16.642	16.656	16.670	16.684	16.698	16.712	16.726	16.741	1.441
1.450	16.741	16.755	16.769	16.783	16.797	16.811	16.825	16.839	16.853	16.867	16.882	1.451
1.460	16.882	16.896	16.910	16.924	16.938	16.952	16.966	16.980	16.994	17.008	17.022	1.461
1.470	17.022	17.037	17.051	17.065	17.079	17.093	17.107	17.121	17.135	17.149	17.163	1.471
1.480	17.163	17.177	17.192	17.206	17.220	17.234	17.248	17.262	17.276	17.290	17.304	1.481
1.490	17.304	17.318	17.332	17.346	17.360	17.374	17.388	17.403	17.417	17.431	17.445	1.491
1.500	17.445	17.459	17.473	17.487	17.501	17.515	17.529	17.543	17.557	17.571	17.585	1.501
1.510	17.585	17.599	17.613	17.627	17.641	17.655	17.669	17.683	17.697	17.711	17.726	1.511
1.520	17.726	17.740	17.754	17.768	17.782	17.796	17.810	17.824	17.838	17.852	17.866	1.521
1.530	17.866	17.880	17.894	17.908	17.922	17.936	17.950	17.964	17.978	17.992	18.006	1.531
1.540	18.006	18.020	18.034	18.048	18.062	18.076	18.090	18.104	18.118	18.132	18.146	1.541
1.550	18.146	18.160	18.174	18.188	18.202	18.216	18.230	18.244	18.258	18.272	18.286	1.551
1.560	18.286	18.299	18.313	18.327	18.341	18.355	18.369	18.383	18.397	18.411	18.425	1.561
1.570	18.425	18.439	18.453	18.467	18.481	18.495	18.509	18.523	18.537	18.550	18.564	1.571
1.580	18.564	18.578	18.592	18.606	18.620	18.634	18.648	18.662	18.676	18.690	18.703	1.581
1.590	18.703	18.717	18.731	18.745	18.759	18.773	18.787	18.801	18.815	18.829	18.842	1.591
1.600	18.842	18.856	18.870	18.884	18.898	18.912	18.926	18.939	18.953	18.967	18.981	1.601
1.610	18.981	18.995	19.009	19.023	19.036	19.050	19.064	19.078	19.092	19.106	19.119	1.611
1.620	19.119	19.133	19.147	19.161	19.175	19.188	19.202	19.216	19.230	19.244	19.257	1.621
1.630	19.257	19.271	19.285	19.299	19.313	19.326	19.340	19.354	19.368	19.382	19.395	1.631
1.640	19.395	19.409	19.423	19.437	19.450	19.464	19.478	19.492	19.505	19.519	19.533	1.641
1.650	19.533	19.547	19.560									

# Thermocouple Reference Tables

DEG C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DEG C
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN ABSOLUTE MILLIVOLTS												
0	0.000	-0.000	-0.000	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	0
10	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	10
20	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	20
30	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.000	30
40	-0.000	-0.000	-0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	40
50	0.002	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.006	0.006	50
60	0.006	0.007	0.007	0.008	0.008	0.009	0.009	0.010	0.010	0.011	0.011	60
70	0.011	0.012	0.012	0.013	0.014	0.014	0.015	0.015	0.016	0.017	0.017	70
80	0.017	0.018	0.019	0.020	0.020	0.021	0.022	0.022	0.023	0.024	0.025	80
90	0.025	0.026	0.026	0.027	0.028	0.029	0.030	0.031	0.031	0.032	0.033	90
100	0.033	0.034	0.035	0.036	0.037	0.038	0.039	0.040	0.041	0.042	0.043	100
110	0.043	0.044	0.045	0.046	0.047	0.048	0.049	0.050	0.051	0.052	0.053	110
120	0.053	0.055	0.056	0.057	0.058	0.059	0.060	0.062	0.063	0.064	0.065	120
130	0.065	0.066	0.068	0.069	0.070	0.071	0.073	0.074	0.075	0.077	0.078	130
140	0.078	0.079	0.081	0.082	0.083	0.085	0.086	0.088	0.089	0.091	0.092	140
150	0.092	0.093	0.095	0.096	0.098	0.099	0.101	0.102	0.104	0.106	0.107	150
160	0.107	0.109	0.110	0.112	0.113	0.115	0.117	0.118	0.120	0.122	0.123	160
170	0.123	0.125	0.127	0.128	0.130	0.132	0.133	0.135	0.137	0.139	0.140	170
180	0.140	0.142	0.144	0.146	0.148	0.149	0.151	0.153	0.155	0.157	0.159	180
190	0.159	0.161	0.163	0.164	0.166	0.168	0.170	0.172	0.174	0.176	0.178	190
200	0.178	0.180	0.182	0.184	0.186	0.188	0.190	0.192	0.194	0.197	0.199	200
210	0.199	0.201	0.203	0.205	0.207	0.209	0.211	0.214	0.216	0.218	0.220	210
220	0.220	0.222	0.225	0.227	0.229	0.231	0.234	0.236	0.238	0.240	0.243	220
230	0.243	0.245	0.247	0.250	0.252	0.254	0.257	0.259	0.262	0.264	0.266	230
240	0.266	0.269	0.271	0.274	0.276	0.279	0.281	0.284	0.286	0.289	0.291	240
250	0.291	0.294	0.296	0.299	0.301	0.304	0.307	0.309	0.312	0.314	0.317	250
260	0.317	0.320	0.322	0.325	0.328	0.330	0.333	0.336	0.338	0.341	0.344	260
270	0.344	0.347	0.349	0.352	0.355	0.358	0.361	0.364	0.366	0.369	0.372	270
280	0.372	0.375	0.377	0.380	0.383	0.386	0.389	0.392	0.395	0.398	0.401	280
290	0.401	0.404	0.406	0.409	0.412	0.415	0.418	0.421	0.424	0.427	0.431	290
300	0.431	0.434	0.437	0.440	0.443	0.446	0.449	0.452	0.455	0.458	0.462	300
310	0.462	0.465	0.468	0.471	0.474	0.477	0.481	0.484	0.487	0.490	0.494	310
320	0.494	0.497	0.500	0.503	0.507	0.510	0.513	0.517	0.520	0.523	0.527	320
330	0.527	0.530	0.533	0.537	0.540	0.544	0.547	0.550	0.554	0.557	0.561	330
340	0.561	0.564	0.568	0.571	0.575	0.578	0.582	0.585	0.589	0.592	0.596	340
350	0.596	0.599	0.603	0.606	0.610	0.614	0.617	0.621	0.625	0.628	0.632	350
360	0.632	0.636	0.639	0.643	0.647	0.650	0.654	0.658	0.662	0.665	0.669	360
370	0.669	0.673	0.677	0.680	0.684	0.688	0.692	0.696	0.699	0.703	0.707	370
380	0.707	0.711	0.715	0.719	0.723	0.727	0.730	0.734	0.738	0.742	0.746	380
390	0.746	0.750	0.754	0.758	0.762	0.766	0.770	0.774	0.778	0.782	0.786	390
400	0.786	0.790	0.794	0.799	0.803	0.807	0.811	0.815	0.819	0.823	0.827	400
410	0.827	0.832	0.836	0.840	0.844	0.848	0.853	0.857	0.861	0.865	0.870	410
420	0.870	0.874	0.878	0.882	0.887	0.891	0.895	0.900	0.904	0.908	0.913	420
430	0.913	0.917	0.921	0.926	0.930	0.935	0.939	0.943	0.948	0.952	0.957	430
440	0.957	0.961	0.966	0.970	0.975	0.979	0.984	0.988	0.993	0.997	1.002	440
450	1.002	1.006	1.011	1.015	1.020	1.025	1.029	1.034	1.039	1.043	1.048	450
460	1.048	1.052	1.057	1.062	1.066	1.071	1.076	1.081	1.085	1.090	1.095	460
470	1.095	1.100	1.104	1.109	1.114	1.119	1.123	1.128	1.133	1.138	1.143	470
480	1.143	1.148	1.152	1.157	1.162	1.167	1.172	1.177	1.182	1.187	1.192	480
490	1.192	1.197	1.202	1.206	1.211	1.216	1.221	1.226	1.231	1.236	1.241	490
500	1.241	1.246	1.252	1.257	1.262	1.267	1.272	1.277	1.282	1.287	1.292	500
510	1.292	1.297	1.303	1.308	1.313	1.318	1.323	1.328	1.334	1.339	1.344	510
520	1.344	1.349	1.354	1.360	1.365	1.370	1.375	1.381	1.386	1.391	1.397	520
530	1.397	1.402	1.407	1.413	1.418	1.423	1.429	1.434	1.439	1.445	1.450	530
540	1.450	1.456	1.461	1.467	1.472	1.477	1.483	1.488	1.494	1.499	1.505	540
550	1.505	1.510	1.516	1.521	1.527	1.532	1.538	1.544	1.549	1.555	1.560	550
560	1.560	1.566	1.571	1.577	1.583	1.588	1.594	1.600	1.605	1.611	1.617	560
570	1.617	1.622	1.628	1.634	1.639	1.645	1.651	1.657	1.662	1.668	1.674	570
580	1.674	1.680	1.685	1.691	1.697	1.703	1.709	1.715	1.720	1.726	1.732	580
590	1.732	1.738	1.744	1.750	1.756	1.762	1.767	1.773	1.779	1.785	1.791	590
600	1.791	1.797	1.803	1.809	1.815	1.821	1.827	1.833	1.839	1.845	1.851	600
610	1.851	1.857	1.863	1.869	1.875	1.882	1.888	1.894	1.900	1.906	1.912	610
620	1.912	1.918	1.924	1.931	1.937	1.943	1.949	1.955	1.961	1.968	1.974	620
630	1.974	1.980	1.986	1.993	1.999	2.005	2.011	2.018	2.024	2.030	2.036	630
640	2.036	2.043	2.049	2.055	2.062	2.068	2.074	2.081	2.087	2.094	2.100	640
650	2.100	2.106	2.113	2.119	2.126	2.132	2.139	2.145	2.151	2.158	2.164	650
660	2.164	2.171	2.177	2.184	2.190	2.197	2.203	2.210	2.216	2.223	2.230	660
670	2.230	2.236	2.243	2.249	2.256	2.263	2.269	2.276	2.282	2.289	2.296	670
680	2.296	2.302	2.309	2.316	2.322	2.329	2.336	2.343	2.349	2.356	2.363	680
690	2.363	2.369	2.376	2.383	2.390	2.396	2.403	2.410	2.417	2.424	2.430	690
700	2.430	2.437	2.444	2.451	2.458	2.465	2.472	2.478	2.485	2.492	2.499	700
710	2.499	2.506	2.513	2.520	2.527	2.534	2.541	2.548	2.555	2.562	2.569	710
720	2.569	2.576	2.583	2.590	2.597	2.604	2.611	2.618	2.625	2.632	2.639	720
730	2.639	2.646	2.653	2.660	2.667	2.674	2.682	2.689	2.696	2.703	2.710	730
740	2.710	2.717	2.724	2.732	2.739	2.746	2.753	2.760	2.768	2.775	2.782	740
750	2.782	2.789	2.797	2.804	2.811	2.818	2.826	2.833	2.840	2.848	2.855	750
760	2.855	2.862	2.869	2.877	2.884	2.892	2.899	2.906	2.914	2.921	2.928	760
770	2.928	2.936	2.943	2.951	2.958	2.966	2.973	2.980	2.988	2.995	3.003	770
780	3.003	3.010	3.018	3.025	3.033	3.040	3.048	3.055	3.063	3.070	3.078	780
790	3.078	3.086	3.093	3.101	3.108	3.116	3.124	3.131	3.139	3.146	3.154	790
800	3.154	3.162	3.169	3.177	3.185	3.192	3.200	3.208	3.215	3.223	3.231	800
810	3.231	3.239	3.246	3.254	3.262	3.269	3.277	3.285	3.293	3.301	3.308	810
820	3.308	3.316	3.324	3.332	3.340	3.347	3.355	3.363	3.371	3.379	3.387	820
830	3.387	3.395	3.402	3.410	3.418	3.426	3.434	3.442	3.450	3.458	3.466	830
840	3.466	3.474	3.482	3.490	3.498	3.506	3.514	3.522	3.530	3.538	3.546	840
850	3.546	3.554	3.562	3.570	3.578	3.586	3.594	3.602	3.610	3.618	3.626	850
860	3.626	3.634	3.643	3.651	3.659	3.667	3.675	3.683	3.691	3.700	3.708	860
870	3.708	3.716	3.724	3.732	3.741	3.749	3.757	3.765	3.773	3.782	3.790	870
880	3.790	3.798	3.806	3.815	3.823	3.831	3.840	3.848	3.856	3.865	3.873	880
890	3.873	3.881	3.890	3.898	3.906	3.915	3.923	3.931	3.940	3.948	3.957	890

# B



# Thermocouple Reference Tables

K

# B



Thermocouple Grade

NONE ESTABLISHED

Platinum-30% Rhodium vs. Platinum-6% Rhodium

GREY +



GREY

MAXIMUM TEMPERATURE RANGE

Thermocouple Grade

2 to 3092°F

to 1700°C

Extension Grade

2 to 212°F

to 100°C

LIMITS OF ERROR

(whichever is Greater)

Standard: 0.5°C over 800°C

Special: NOT ESTABLISHED

COMMENTS, BARE WIRE

ENVIRONMENT:

Oxidizing or Inert; Do Not Insert in

Metal Tubes; Beware of

Contamination; High Temperature;

Common Use in Glass Industry

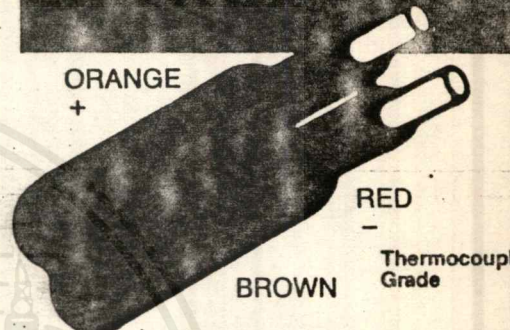
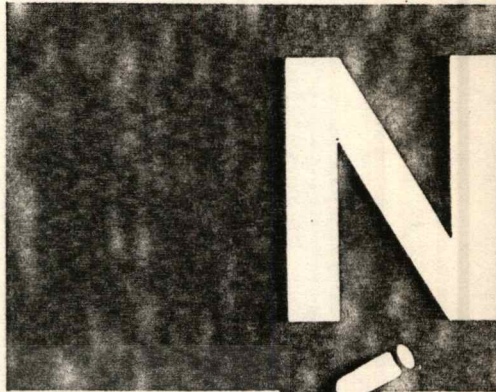
TEMPERATURE IN DEGREES °C

REFERENCE JUNCTION AT 0°C

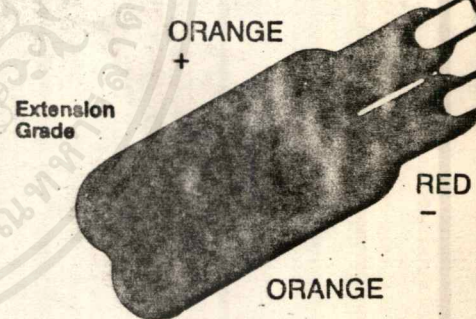
DEG C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
900	3.957	3.965	3.973	3.982	3.990	3.999	4.007	4.016	4.024	4.032	4.041
910	4.041	4.049	4.058	4.066	4.075	4.083	4.092	4.100	4.109	4.117	4.126
920	4.126	4.135	4.143	4.152	4.160	4.169	4.177	4.186	4.195	4.203	4.212
930	4.212	4.220	4.229	4.238	4.246	4.255	4.264	4.272	4.281	4.290	4.298
940	4.298	4.307	4.316	4.325	4.333	4.342	4.351	4.359	4.368	4.377	4.386
950	4.386	4.394	4.403	4.412	4.421	4.430	4.438	4.447	4.456	4.465	4.474
960	4.474	4.483	4.491	4.500	4.509	4.518	4.527	4.536	4.545	4.553	4.562
970	4.562	4.571	4.580	4.589	4.598	4.607	4.616	4.625	4.634	4.643	4.652
980	4.652	4.661	4.670	4.679	4.688	4.697	4.706	4.715	4.724	4.733	4.742
990	4.742	4.751	4.760	4.769	4.778	4.787	4.796	4.805	4.814	4.824	4.833
1.000	4.833	4.842	4.851	4.860	4.869	4.878	4.887	4.897	4.906	4.915	4.924
1.010	4.924	4.933	4.942	4.952	4.961	4.970	4.979	4.989	4.998	5.007	5.016
1.020	5.016	5.025	5.035	5.044	5.053	5.063	5.072	5.081	5.090	5.100	5.109
1.030	5.109	5.118	5.128	5.137	5.146	5.156	5.165	5.174	5.184	5.193	5.202
1.040	5.202	5.212	5.221	5.231	5.240	5.249	5.259	5.268	5.278	5.287	5.297
1.050	5.297	5.306	5.316	5.325	5.334	5.344	5.353	5.363	5.372	5.382	5.391
1.060	5.391	5.401	5.410	5.420	5.429	5.439	5.449	5.458	5.468	5.477	5.487
1.070	5.487	5.496	5.506	5.516	5.525	5.535	5.544	5.554	5.564	5.573	5.583
1.080	5.583	5.593	5.602	5.612	5.621	5.631	5.641	5.651	5.660	5.670	5.680
1.090	5.680	5.689	5.699	5.709	5.718	5.728	5.738	5.748	5.757	5.767	5.777
1.100	5.777	5.787	5.796	5.806	5.816	5.826	5.836	5.845	5.855	5.865	5.875
1.110	5.875	5.885	5.895	5.905	5.915	5.924	5.934	5.944	5.954	5.964	5.973
1.120	5.973	5.983	5.993	6.003	6.013	6.023	6.033	6.043	6.053	6.063	6.073
1.130	6.073	6.083	6.093	6.102	6.112	6.122	6.132	6.142	6.152	6.162	6.172
1.140	6.172	6.182	6.192	6.202	6.212	6.222	6.232	6.243	6.253	6.263	6.273
1.150	6.273	6.283	6.293	6.303	6.313	6.323	6.333	6.343	6.353	6.364	6.374
1.160	6.374	6.384	6.394	6.404	6.414	6.424	6.435	6.445	6.455	6.465	6.475
1.170	6.475	6.485	6.496	6.506	6.516	6.526	6.536	6.547	6.557	6.567	6.577
1.180	6.577	6.588	6.598	6.608	6.618	6.629	6.639	6.649	6.659	6.670	6.680
1.190	6.680	6.690	6.701	6.711	6.721	6.732	6.742	6.752	6.763	6.773	6.783
1.200	6.783	6.794	6.804	6.814	6.825	6.835	6.846	6.856	6.866	6.877	6.887
1.210	6.887	6.898	6.908	6.918	6.929	6.939	6.950	6.960	6.971	6.981	6.991
1.220	6.991	7.002	7.012	7.023	7.033	7.044	7.054	7.065	7.075	7.086	7.096
1.230	7.096	7.107	7.117	7.128	7.138	7.149	7.159	7.170	7.181	7.191	7.202
1.240	7.202	7.212	7.223	7.233	7.244	7.255	7.265	7.276	7.286	7.297	7.308
1.250	7.308	7.318	7.329	7.339	7.350	7.361	7.371	7.382	7.393	7.403	7.414
1.260	7.414	7.425	7.435	7.446	7.457	7.467	7.478	7.489	7.500	7.510	7.521
1.270	7.521	7.532	7.542	7.553	7.564	7.575	7.585	7.596	7.607	7.618	7.628
1.280	7.628	7.639	7.650	7.661	7.671	7.682	7.693	7.704	7.715	7.725	7.736
1.290	7.736	7.747	7.758	7.769	7.780	7.790	7.801	7.812	7.823	7.834	7.845
1.300	7.845	7.855	7.866	7.877	7.888	7.899	7.910	7.921	7.932	7.943	7.953
1.310	7.953	7.964	7.975	7.986	7.997	8.008	8.019	8.030	8.041	8.052	8.063
1.320	8.063	8.074	8.085	8.096	8.107	8.118	8.128	8.139	8.150	8.161	8.172
1.330	8.172	8.183	8.194	8.205	8.216	8.227	8.238	8.249	8.261	8.272	8.283
1.340	8.283	8.294	8.305	8.316	8.327	8.338	8.349	8.360	8.371	8.382	8.393
1.350	8.393	8.404	8.415	8.426	8.437	8.448	8.460	8.471	8.482	8.493	8.504
1.360	8.504	8.515	8.526	8.538	8.549	8.560	8.571	8.582	8.593	8.604	8.616
1.370	8.616	8.627	8.638	8.649	8.660	8.671	8.683	8.694	8.705	8.716	8.727
1.380	8.727	8.738	8.750	8.761	8.772	8.783	8.795	8.806	8.817	8.828	8.839
1.390	8.839	8.851	8.862	8.873	8.884	8.896	8.907	8.918	8.929	8.941	8.952
1.400	8.952	8.963	8.974	8.986	8.997	9.008	9.020	9.031	9.042	9.053	9.065
1.410	9.065	9.076	9.087	9.099	9.110	9.121	9.133	9.144	9.155	9.167	9.178
1.420	9.178	9.189	9.201	9.212	9.223	9.235	9.246	9.257	9.269	9.280	9.291
1.430	9.291	9.303	9.314	9.326	9.337	9.348	9.360	9.371	9.382	9.394	9.405
1.440	9.405	9.417	9.428	9.439	9.451	9.462	9.474	9.485	9.497	9.508	9.519
1.450	9.519	9.531	9.542	9.554	9.565	9.577	9.588	9.599	9.611	9.622	9.634
1.460	9.634	9.645	9.657	9.668	9.680	9.691	9.703	9.714	9.726	9.737	9.748
1.470	9.748	9.760	9.771	9.783	9.794	9.806	9.817	9.829	9.840	9.852	9.863
1.480	9.863	9.875	9.886	9.898	9.909	9.921	9.933	9.944	9.956	9.967	9.979
1.490	9.979	9.990	10.002	10.013	10.025	10.036	10.048	10.059	10.071	10.082	10.094
1.500	10.094	10.106	10.117	10.129	10.140	10.152	10.163	10.175	10.187	10.198	10.210
1.510	10.210	10.221	10.233	10.244	10.256	10.268	10.279	10.291	10.302	10.313	10.325
1.520	10.325	10.337	10.349	10.360	10.372	10.383	10.395	10.407	10.418	10.430	10.441
1.530	10.441	10.453	10.465	10.476	10.488	10.500	10.511	10.523	10.534	10.546	10.558
1.540	10.558	10.569	10.581	10.593	10.604	10.616	10.627	10.639	10.651	10.662	10.674
1.550	10.674	10.686	10.697	10.709	10.721	10.732	10.744	10.756	10.767	10.779	10.790
1.560	10.790	10.802	10.814	10.825	10.837	10.849	10.860	10.872	10.884	10.895	10.907
1.570	10.907	10.919	10.930	10.942	10.954	10.965	10.977	10.989	10.000	1.012	11.024
1.580	11.024	11.035	11.047	11.059	11.070	11.082	11.094	11.105	11.117	11.129	11.141
1.590	11.141	11.152	11.164	11.176	11.187	11.199	11.211	11.222	11.234	11.246	11.257
1.600	11.257	11.269	11.281	11.292	11.304	11.316	11.328	11.339	11.351	11.363	11.374
1.610	11.374	11.386	11.398	11.409	11.421	11.433	11.444	11.456	11.468	11.480	11.491
1.620	11.491	11.503	11.515	11.526	11.538	11.550	11.561	11.573	11.585	11.597	11.608
1.630	11.608	11.620	11.632	11.643	11.655	11.667	11.678	11.690	11.702	11.714	11.725
1.640	11.725	11.737	11.749	11.760	11.772	11.784	11.795	11.807	11.819	11.830	11.842
1.650	11.842	11.854	11.866	11.877	11.889	11.901	11.912	11.924	11.936	11.947	11.959
1.660	11.959	11.971	11.983	11.994	12.006	12.018	12.029	12.041	12.053	12.064	12.076
1.670	12.076	12.088	12.099	12.111	12.123	12.134	12.146	12.158	12.170	12.181	12.1

# Thermocouple Reference Tables

DEG C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DEG C
THERMOELECTRIC VOLTAGE IN MILLIVOLTS												
270	-4.345											-270
260	-4.336	-4.337	-4.339	-4.340	-4.341	-4.342	-4.343	-4.344	-4.344	-4.345	-4.345	-260
250	-4.313	-4.316	-4.319	-4.321	-4.324	-4.326	-4.328	-4.330	-4.332	-4.334	-4.336	-250
240	-4.277	-4.281	-4.285	-4.289	-4.293	-4.297	-4.300	-4.304	-4.307	-4.310	-4.313	-240
230	-4.227	-4.232	-4.238	-4.243	-4.248	-4.254	-4.259	-4.263	-4.268	-4.273	-4.277	-230
220	-4.162	-4.169	-4.176	-4.183	-4.189	-4.196	-4.202	-4.209	-4.215	-4.221	-4.227	-220
210	-4.083	-4.091	-4.100	-4.108	-4.116	-4.124	-4.132	-4.140	-4.147	-4.155	-4.162	-210
200	-3.990	-4.000	-4.010	-4.020	-4.029	-4.038	-4.048	-4.057	-4.066	-4.074	-4.083	-200
190	-3.884	-3.896	-3.907	-3.918	-3.928	-3.939	-3.950	-3.960	-3.970	-3.980	-3.990	-190
180	-3.766	-3.778	-3.790	-3.803	-3.815	-3.827	-3.838	-3.850	-3.862	-3.873	-3.884	-180
170	-3.634	-3.648	-3.661	-3.675	-3.688	-3.701	-3.715	-3.727	-3.740	-3.753	-3.766	-170
160	-3.491	-3.506	-3.521	-3.535	-3.550	-3.564	-3.578	-3.592	-3.607	-3.620	-3.634	-160
150	-3.336	-3.352	-3.368	-3.384	-3.399	-3.415	-3.430	-3.446	-3.461	-3.476	-3.491	-150
140	-3.170	-3.187	-3.204	-3.221	-3.238	-3.255	-3.271	-3.288	-3.304	-3.320	-3.336	-140
130	-2.994	-3.012	-3.030	-3.048	-3.066	-3.083	-3.101	-3.118	-3.136	-3.153	-3.170	-130
120	-2.807	-2.827	-2.846	-2.864	-2.883	-2.902	-2.921	-2.939	-2.957	-2.976	-2.994	-120
110	-2.612	-2.632	-2.651	-2.671	-2.691	-2.711	-2.730	-2.750	-2.769	-2.788	-2.807	-110
100	-2.407	-2.427	-2.448	-2.469	-2.490	-2.510	-2.531	-2.551	-2.571	-2.591	-2.612	-100
90	-2.193	-2.215	-2.237	-2.259	-2.280	-2.301	-2.322	-2.343	-2.365	-2.386	-2.407	-90
80	-1.972	-1.995	-2.017	-2.039	-2.061	-2.084	-2.106	-2.128	-2.150	-2.171	-2.193	-80
70	-1.744	-1.767	-1.790	-1.813	-1.836	-1.859	-1.882	-1.904	-1.927	-1.950	-1.972	-70
60	-1.509	-1.532	-1.556	-1.580	-1.604	-1.627	-1.651	-1.674	-1.697	-1.721	-1.744	-60
50	-1.268	-1.292	-1.317	-1.341	-1.365	-1.389	-1.413	-1.437	-1.461	-1.485	-1.509	-50
40	-1.023	-1.047	-1.072	-1.097	-1.121	-1.146	-1.171	-1.195	-1.220	-1.244	-1.268	-40
30	-0.772	-0.797	-0.823	-0.848	-0.873	-0.898	-0.923	-0.948	-0.973	-0.998	-1.023	-30
20	-0.518	-0.544	-0.569	-0.595	-0.620	-0.646	-0.671	-0.696	-0.722	-0.747	-0.772	-20
10	-0.260	-0.286	-0.312	-0.338	-0.364	-0.390	-0.415	-0.441	-0.467	-0.492	-0.518	-10
0	0.000	-0.026	-0.052	-0.078	-0.104	-0.130	-0.157	-0.183	-0.209	-0.234	-0.260	0
0	0.000	0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.182	0.208	0.234	0.261	0
10	0.261	0.287	0.313	0.340	0.366	0.392	0.418	0.445	0.472	0.498	0.525	10
20	0.525	0.551	0.578	0.605	0.632	0.658	0.685	0.712	0.739	0.766	0.793	20
30	0.793	0.820	0.847	0.874	0.901	0.928	0.955	0.982	1.010	1.037	1.064	30
40	1.064	1.092	1.119	1.146	1.174	1.201	1.229	1.256	1.284	1.312	1.339	40
50	1.339	1.367	1.395	1.423	1.451	1.479	1.506	1.534	1.562	1.591	1.618	50
60	1.618	1.647	1.675	1.703	1.731	1.760	1.788	1.816	1.845	1.873	1.902	60
70	1.902	1.930	1.959	1.987	2.016	2.045	2.073	2.102	2.131	2.160	2.188	70
80	2.188	2.217	2.246	2.275	2.304	2.333	2.362	2.392	2.421	2.450	2.479	80
90	2.479	2.508	2.538	2.567	2.596	2.626	2.655	2.685	2.714	2.744	2.774	90
100	2.774	2.803	2.833	2.863	2.892	2.922	2.952	2.982	3.013	3.043	3.073	100
110	3.073	3.102	3.132	3.162	3.192	3.222	3.252	3.283	3.313	3.343	3.374	110
120	3.374	3.404	3.434	3.465	3.495	3.526	3.557	3.587	3.618	3.648	3.679	120
130	3.679	3.710	3.741	3.772	3.802	3.833	3.864	3.895	3.926	3.957	3.988	130
140	3.988	4.019	4.050	4.082	4.113	4.144	4.175	4.207	4.238	4.269	4.301	140
150	4.301	4.332	4.364	4.395	4.427	4.458	4.490	4.521	4.553	4.585	4.617	150
160	4.617	4.648	4.680	4.712	4.744	4.776	4.808	4.840	4.872	4.904	4.936	160
170	4.936	4.968	5.000	5.032	5.064	5.097	5.129	5.161	5.193	5.226	5.258	170
180	5.258	5.290	5.323	5.355	5.388	5.420	5.453	5.486	5.518	5.551	5.584	180
190	5.584	5.616	5.649	5.682	5.715	5.747	5.780	5.813	5.846	5.879	5.912	190
200	5.912	5.945	5.978	6.011	6.044	6.077	6.110	6.144	6.177	6.210	6.243	200
210	6.243	6.277	6.310	6.343	6.377	6.410	6.443	6.477	6.510	6.544	6.577	210
220	6.577	6.611	6.645	6.678	6.712	6.745	6.779	6.813	6.847	6.880	6.914	220
230	6.914	6.948	6.982	7.015	7.050	7.084	7.118	7.152	7.186	7.220	7.254	230
240	7.254	7.288	7.322	7.356	7.390	7.424	7.458	7.493	7.527	7.561	7.596	240
250	7.596	7.630	7.664	7.699	7.733	7.767	7.802	7.836	7.871	7.905	7.940	250
260	7.940	7.975	8.009	8.044	8.078	8.113	8.148	8.182	8.217	8.252	8.287	260
270	8.287	8.321	8.356	8.391	8.426	8.461	8.496	8.531	8.566	8.601	8.636	270
280	8.636	8.671	8.706	8.741	8.776	8.811	8.846	8.881	8.916	8.952	8.987	280
290	8.987	9.022	9.057	9.093	9.128	9.163	9.198	9.234	9.269	9.305	9.340	290
300	9.340	9.375	9.411	9.446	9.482	9.517	9.553	9.589	9.624	9.660	9.695	300
310	9.695	9.731	9.767	9.802	9.838	9.874	9.909	9.945	9.981	10.017	10.053	310
320	10.053	10.088	10.124	10.160	10.196	10.232	10.268	10.304	10.340	10.376	10.412	320
330	10.412	10.448	10.484	10.520	10.556	10.592	10.628	10.664	10.700	10.736	10.772	330
340	10.772	10.809	10.845	10.881	10.917	10.954	10.990	11.026	11.062	11.099	11.135	340



**Nickel-14.2% Chromium-1.4% Silicon vs. Nickel-4.4% Silicon-0.1% Magnesium**



**MAXIMUM TEMPERATURE RANGE**  
 Thermocouple Grade  
 -450 to 2372°F  
 -270 to 1300°C  
 Extension Grade  
 32 to 392°F  
 0 to 200°C

**LIMITS OF ERROR**  
 (whichever is Greater)  
 Standard: 2.2°C or 0.75% Above 0°C  
 2.2°C or 2.0% Below 0°C  
 Special: 1.1°C or 0.4%

**COMMENTS, BARE WIRE ENVIRONMENT:**  
 Alternative to Type K; More Stable at High Temps

**TEMPERATURE IN DEGREES °C REFERENCE JUNCTION AT 0°C**

Note: NIST (formerly NBS) is planning on revising the Thermocouple Reference Tables, and OMEGA will publish these new tables soon as they are released.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ที่รัฐออกกฎหมายที่ขัดแย้งกับเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

# Thermocouple Reference Tables

M

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

THERMOELECTRIC VOLTAGE IN MILLIVOLTS

350	11.135	11.171	11.208	11.244	11.281	11.317	11.354	11.390	11.426	11.463	11.499	350
360	11.499	11.536	11.572	11.609	11.646	11.682	11.719	11.755	11.792	11.829	11.865	360
370	11.865	11.902	11.939	11.975	12.012	12.049	12.086	12.122	12.159	12.196	12.233	370
380	12.233	12.270	12.306	12.343	12.380	12.417	12.454	12.491	12.528	12.565	12.602	380
390	12.602	12.639	12.676	12.713	12.750	12.787	12.824	12.861	12.898	12.935	12.972	390
400	12.972	13.009	13.046	13.084	13.121	13.158	13.195	13.232	13.269	13.307	13.344	400
410	13.344	13.381	13.418	13.456	13.493	13.530	13.568	13.605	13.642	13.680	13.717	410
420	13.717	13.754	13.792	13.829	13.867	13.904	13.942	13.979	14.017	14.054	14.091	420
430	14.091	14.129	14.167	14.204	14.242	14.279	14.317	14.354	14.392	14.430	14.467	430
440	14.467	14.505	14.542	14.580	14.618	14.655	14.693	14.731	14.769	14.806	14.844	440
450	14.844	14.882	14.919	14.957	14.995	15.033	15.071	15.108	15.146	15.184	15.222	450
460	15.222	15.260	15.298	15.336	15.373	15.411	15.449	15.487	15.525	15.563	15.601	460
470	15.601	15.639	15.677	15.715	15.753	15.791	15.829	15.867	15.905	15.943	15.981	470
480	15.981	16.019	16.057	16.095	16.133	16.171	16.210	16.248	16.286	16.324	16.362	480
490	16.362	16.400	16.439	16.477	16.515	16.553	16.591	16.630	16.668	16.706	16.744	490
500	16.744	16.783	16.821	16.859	16.897	16.936	16.974	17.012	17.051	17.089	17.127	500
510	17.127	17.166	17.204	17.243	17.281	17.319	17.358	17.397	17.435	17.474	17.512	510
520	17.512	17.550	17.589	17.627	17.665	17.704	17.742	17.781	17.819	17.858	17.896	520
530	17.896	17.935	17.973	18.012	18.050	18.089	18.127	18.166	18.204	18.243	18.281	530
540	18.281	18.320	18.359	18.397	18.436	18.475	18.513	18.552	18.591	18.629	18.668	540
550	18.668	18.707	18.745	18.784	18.823	18.861	18.900	18.939	18.977	19.016	19.055	550
560	19.055	19.094	19.132	19.171	19.210	19.249	19.287	19.326	19.365	19.404	19.443	560
570	19.443	19.482	19.520	19.559	19.598	19.637	19.676	19.714	19.753	19.792	19.831	570
580	19.831	19.870	19.909	19.948	19.986	20.025	20.064	20.103	20.142	20.181	20.220	580
590	20.220	20.259	20.298	20.337	20.376	20.415	20.453	20.492	20.531	20.570	20.609	590
600	20.609	20.648	20.687	20.726	20.765	20.804	20.843	20.882	20.921	20.960	20.999	600
610	20.999	21.038	21.077	21.116	21.155	21.194	21.233	21.272	21.311	21.350	21.389	610
620	21.389	21.428	21.467	21.507	21.546	21.585	21.624	21.663	21.702	21.741	21.780	620
630	21.780	21.820	21.859	21.898	21.937	21.976	22.015	22.055	22.094	22.133	22.172	630
640	22.172	22.211	22.250	22.289	22.329	22.368	22.407	22.446	22.485	22.524	22.564	640
650	22.564	22.603	22.642	22.681	22.720	22.760	22.799	22.838	22.877	22.916	22.955	650
660	22.955	22.995	23.034	23.073	23.112	23.152	23.191	23.230	23.269	23.309	23.348	660
670	23.348	23.387	23.426	23.466	23.505	23.544	23.583	23.623	23.662	23.701	23.740	670
680	23.740	23.780	23.819	23.858	23.897	23.937	23.976	24.015	24.054	24.094	24.133	680
690	24.133	24.172	24.212	24.251	24.290	24.329	24.369	24.408	24.447	24.487	24.526	690
700	24.526	24.565	24.604	24.644	24.683	24.722	24.762	24.801	24.840	24.879	24.919	700
710	24.919	24.958	24.997	25.037	25.076	25.115	25.155	25.194	25.233	25.273	25.312	710
720	25.312	25.351	25.391	25.430	25.469	25.509	25.548	25.587	25.626	25.666	25.705	720
730	25.705	25.744	25.784	25.823	25.862	25.902	25.941	25.980	26.020	26.059	26.099	730
740	26.099	26.138	26.177	26.216	26.255	26.295	26.334	26.373	26.413	26.452	26.491	740
750	26.491	26.531	26.570	26.609	26.649	26.688	26.727	26.767	26.806	26.845	26.885	750
760	26.885	26.924	26.963	27.002	27.042	27.081	27.120	27.160	27.199	27.238	27.278	760
770	27.278	27.317	27.356	27.396	27.435	27.474	27.513	27.553	27.592	27.631	27.671	770
780	27.671	27.710	27.749	27.788	27.828	27.867	27.906	27.946	27.985	28.024	28.063	780
790	28.063	28.103	28.142	28.181	28.221	28.260	28.299	28.338	28.378	28.417	28.456	790
800	28.456	28.495	28.535	28.574	28.613	28.652	28.692	28.731	28.770	28.809	28.849	800
810	28.849	28.888	28.927	28.966	29.006	29.045	29.084	29.123	29.163	29.202	29.241	810
820	29.241	29.280	29.319	29.359	29.398	29.437	29.476	29.516	29.555	29.594	29.633	820
830	29.633	29.672	29.711	29.751	29.790	29.829	29.868	29.908	29.947	29.986	30.025	830
840	30.025	30.064	30.103	30.143	30.182	30.221	30.260	30.299	30.338	30.378	30.417	840
850	30.417	30.456	30.495	30.534	30.573	30.612	30.652	30.691	30.730	30.769	30.808	850
860	30.808	30.847	30.886	30.925	30.964	31.004	31.043	31.082	31.121	31.160	31.199	860
870	31.199	31.238	31.277	31.316	31.355	31.394	31.434	31.473	31.512	31.551	31.590	870
880	31.590	31.629	31.668	31.707	31.746	31.785	31.824	31.863	31.902	31.941	31.980	880
890	31.980	32.019	32.058	32.097	32.136	32.175	32.214	32.253	32.292	32.331	32.370	890
900	32.370	32.409	32.448	32.487	32.526	32.565	32.604	32.643	32.682	32.721	32.760	900
910	32.760	32.799	32.838	32.877	32.916	32.955	32.993	33.032	33.071	33.110	33.149	910
920	33.149	33.188	33.227	33.266	33.305	33.344	33.382	33.421	33.460	33.499	33.538	920
930	33.538	33.577	33.616	33.655	33.693	33.732	33.771	33.810	33.849	33.888	33.927	930
940	33.926	33.965	34.004	34.043	34.082	34.121	34.159	34.198	34.237	34.276	34.315	940
950	34.315	34.353	34.392	34.431	34.470	34.509	34.547	34.586	34.625	34.664	34.703	950
960	34.703	34.741	34.780	34.819	34.858	34.897	34.936	34.974	35.013	35.052	35.091	960
970	35.091	35.129	35.168	35.207	35.246	35.285	35.323	35.362	35.401	35.440	35.479	970
980	35.478	35.517	35.555	35.594	35.633	35.672	35.710	35.749	35.788	35.827	35.866	980
990	35.866	35.904	35.943	35.982	36.021	36.059	36.098	36.137	36.176	36.215	36.254	990
1000	36.254	36.293	36.332	36.371	36.410	36.448	36.487	36.526	36.565	36.604	36.643	1000
1010	36.643	36.682	36.721	36.760	36.799	36.838	36.876	36.915	36.954	36.993	37.032	1010
1020	37.032	37.071	37.110	37.149	37.188	37.227	37.266	37.305	37.344	37.383	37.422	1020
1030	37.422	37.461	37.499	37.538	37.577	37.616	37.655	37.694	37.733	37.772	37.811	1030
1040	37.811	37.850	37.889	37.928	37.967	38.006	38.045	38.084	38.123	38.162	38.201	1040
1050	38.201	38.240	38.279	38.318	38.357	38.396	38.435	38.474	38.513	38.552	38.591	1050
1060	38.591	38.630	38.669	38.708	38.747	38.786	38.825	38.864	38.903	38.942	38.981	1060
1070	38.981	39.020	39.059	39.098	39.137	39.176	39.215	39.254	39.293	39.332	39.371	1070
1080	39.371	39.410	39.449	39.488	39.527	39.566	39.605	39.644	39.683	39.722	39.761	1080
1090	39.761	39.800	39.839	39.878	39.917	39.956	39.995	40.034	40.073	40.112	40.151	1090
1100	40.151	40.190	40.229	40.268	40.307	40.346	40.385	40.424	40.463	40.502	40.541	1100
1110	40.541	40.580	40.619	40.658	40.697	40.736	40.775	40.814	40.853	40.892	40.931	1110
1120	40.931	40.970	41.009	41.048	41.087	41.126	41.165	41.204	41.243	41.282	41.321	1120
1130	41.321	41.360	41.399	41.438	41.477	41.516	41.555	41.594	41.633	41.672	41.711	1130
1140	41.711	41.750	41.789	41.828	41.867	41.906	41.945	41.984	42.023	42.062	42.101	1140
1150	42.101	42.140	42.179	42.218	42.257	42.296	42.335	42.374	42.413	42.452	42.491	1150
1160	42.491	42.530	42.569	42.608	42.647	42.686	42.725	42.764	42.803	42.842	42.881	1160
1170	42.881	42.920	42.959	42.998	43.037	43.076	43.115	43.154	43.193	43.232	43.271	1170
1180	43.271	43.310	43.349	43.388	43.427	43.466	43.505	43.544	43.583	43.622	43.661	1180
1190	43.661	43.700	43.739	43.778	43.817	43.856	43.895	43.934	43.973	44.012	44.051	1190
1200	44.051	44.090	44.129									

TYPE E	TYPE J	TYPE K	TYPE R	TYPE S	TYPE T
Nickel-10% Chromium(+) Versus Constantan(-)	Iron(+) Versus Constantan(-)	Nickel-10% Chromium(+) Versus Nickel-5%(-) (Aluminum Silicon)	Platinum-13% Rhodium(+) Versus Platinum(-)	Platinum-10% Rhodium(+) Versus Platinum(-)	Copper(+) Versus Constantan(-)
-100°C to 1000°C ± 0.5°C 9th order	0°C to 760°C ± 0.1°C 5th order	0°C to 1370°C ± 0.7°C 8th order	0°C to 1000°C ± 0.5°C 8th order	0°C to 1750°C ± 1°C 9th order	-160°C to 400°C ± 0.5°C 7th order
0.104967248	-0.048868252	0.226584602	0.263632917	0.927763167	0.100860910
17189.45282	19873.14503	24152.10900	179075.491	169526.5150	25727.94369
-282639.0850	-218614.5353	67233.4248	-48840341.37	-31568363.94	-767345.8295
12695339.5	11569199.78	2210340.682	1.90002E + 10	8990730663	78025595.81
-448703084.6	-264917531.4	-860963914.9	-4.82704E + 12	-1.63565E + 12	-9247486589
1.10866E + 10	2018441314	4.83506E + 10	7.62091E + 14	1.88027E + 14	6.97688E + 11
-1.76807E + 11		-1.18452E + 12	-7.20026E + 16	-1.37241E + 16	-2.66192E + 13
1.71842E + 12		1.38690E + 13	3.71496E + 18	6.17501E + 17	3.94078E + 14
-9.19278E + 12		-6.33708E + 13	-8.03104E + 19	-1.56105E + 19	*
2.06132E + 13				1.69535E + 20	

TEMPERATURE CONVERSION EQUATION:  $T = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n$

NESTED POLYNOMIAL FORM:  $T = a_0 + x(a_1 + x(a_2 + x(a_3 + x(a_4 + a_5 x))))$  (5th order)

NBS POLYNOMIAL COEFFICIENTS

Table 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ



PRELIMINARY

**8051AHP**  
**MCS®-51 FAMILY**  
**8-BIT CONTROL-ORIENTED MICROCONTROLLER**  
**WITH PROTECTED ROM**

- High Performance HMOS Process
- Internal Timers/Event Counters
- 2-Level Interrupt Priority Structure
- 32 I/O Lines (Four 8-Bit Ports)
- 4K Program Memory Space
- Protection Feature Protects ROM Parts Against Software Piracy
- Boolean Processor
- Bit-Addressable RAM
- Programmable Full Duplex Serial Channel
- 111 Instructions (64 Single-Cycle)
- 4K Data Memory Space\*  
\*Expandable to 64K
- Available in 40 Pin Plastic and CERDIP Packages  
(See Packaging Outlines and Dimensions Order #231369)

The MCS®-51 products are optimized for control applications. Byte-processing and numerical operations on small data structures are facilitated by a variety of fast addressing modes for accessing the internal RAM. The instruction set provides a convenient menu of 8-bit arithmetic instructions, including multiply and divide instructions. Extensive on-chip support is provided for one-bit variables as a separate data type, allowing direct bit manipulation and testing in control and logic systems that require Boolean processing.

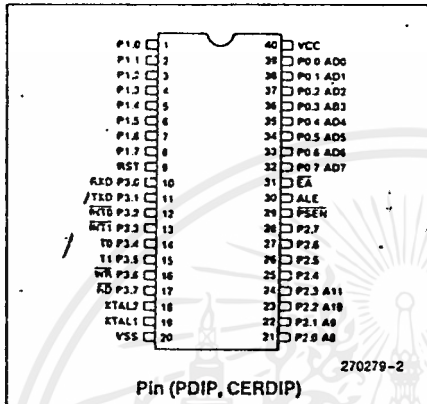
MCS-51 HMOS Family Device	Internal Memory		Timers/Event Counters	Interrupts
	Program	Data		
8051AH	4K x 8 ROM	128 x 8 RAM	2 x 16-Bit	5
8051AHP	4K x 8 ROM	128 x 8 RAM	2 x 16-Bit	5

The 8051AHP is identical to the 8051AH with the exception of the Protection Feature. To incorporate this Protection Feature, program verification has been disabled and external memory accesses have been limited to 4K.



**PACKAGES**

Part	Prefix	Package Type
8051AHP	P	40-Pin Plastic DIP
	D	40-Pin CERDIP


 Figure 2. MCS<sup>®</sup>-51 Connections

**PIN DESCRIPTIONS**
**V<sub>CC</sub>**

Supply voltage.

**V<sub>SS</sub>**

Circuit ground.

**Port 0**

Port 0 is an 8-bit open drain bidirectional I/O port. As an output port each pin can sink 8 LS TTL inputs.

Port 0 pins that have 1s written to them float, and in that state can be used as high-impedance inputs.

Port 0 is also the multiplexed low-order address and data bus during accesses to external Program and Data Memory. In this application it uses strong internal pullups when emitting 1s and can source and sink 8 LS TTL inputs.

**Port 1**

Port 1 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 1 output buffers can sink source 4

LS TTL inputs. Port 1 pins that have 1s written to them are pulled high by the internal pullups, and in that state can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$  on the data sheet) because of the internal pullups.

**Port 2**

Port 2 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 2 output buffers can sink/source 4 LS TTL inputs. Port 2 pins that have 1s written to them are pulled high by the internal pullups, and in that state can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$  on the data sheet) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external Program Memory and during accesses to external Data Memory that use 16-bit addresses (MOVX @DPTR). In this application it uses strong internal pullups when emitting 1s. Bits P2.4 through P2.7 are forced to 0, effectively limiting external Data and Code space to 4K each in the 8051AHP during external accesses\*. During accesses to external Data Memory that use 8-bit addresses (MOVX @Ri), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

**Port 3**

Port 3 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can sink/source 4 LS TTL inputs. Port 3 pins that have 1s written to them are pulled high by the internal pullups, and in that state can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$  on the data sheet) because of the pullups.

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

Port Pin	Alternative Function
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	INT0 (external interrupt 0)
P3.3	INT1 (external interrupt 1)
P3.4	T0 (Timer 0 external input)
P3.5	T1 (Timer 1 external input)
P3.6	WR (external data memory write strobe)
P3.7	RD (external data memory read strobe)

\*Protection feature

**RST**

Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

**ALE**

Address Latch Enable output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory.

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

**PSEN**

Program Store Enable is the read strobe to external Program Memory.

When the device is executing code from external Program Memory, PSEN is activated twice each machine cycle, except that two PSEN activations are skipped during each access to external Data Memory.

**EA**

External Access enable EA should be strapped to V<sub>CC</sub> for internal program executions. EA must be strapped to V<sub>SS</sub> in order to enable any MCS-51 device to fetch code from external Program memory locations starting at 0000H up to FFFFH.

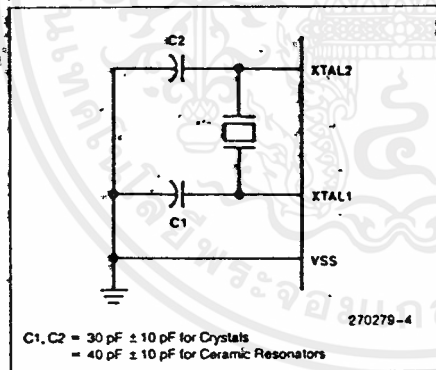


Figure 3. Oscillator Connections

**XTAL1**

Input to the inverting oscillator amplifier.

**XTAL2**

Output from the inverting oscillator amplifier.

**OSCILLATOR CHARACTERISTICS**

XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 3. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. More detailed information concerning the use of the on-chip oscillator is available in Application Note AP-155, "Oscillators for Microcontrollers."

To drive the device from an external clock source, XTAL1 should be grounded, while XTAL2 is driven, as shown in Figure 4. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum high and low times specified on the Data Sheet must be observed.

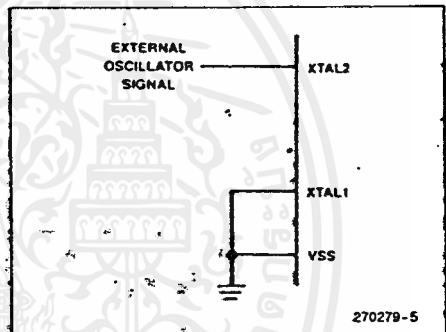


Figure 4. External Drive Configuration

**DESIGN CONSIDERATION**

The 8051AHP cannot access external Program or Data memory above 4K. This means that the following instructions that use the Data Pointer only read/write data at address locations below 0FFFH:

```
MOVX A, @DPTR
MOVX @DPTR, A
```

When the Data Pointer contains an address above the 4K limit, those locations will not be accessed.

To access Data Memory above 4K, the MOVX, @Ri, A or MOVX A, @Ri instructions must be used.

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS\***

Ambient Temperature Under Bias ..... 0°C to +70°C  
 Storage Temperature ..... -65°C to +150°C  
 Voltage on  $\overline{EA}/V_{PP}$  Pin to  $V_{SS}$  ... -0.5V to +21.5V  
 Voltage on Any Other Pin to  $V_{SS}$  ..... -0.5V to +7V  
 Power Dissipation ..... 1.5W

\*Notice: Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

**D.C. CHARACTERISTICS**  $T_A = 0^\circ\text{C to } +70^\circ\text{C}; V_{CC} = 5V \pm 10\%; V_{SS} = 0V$ 

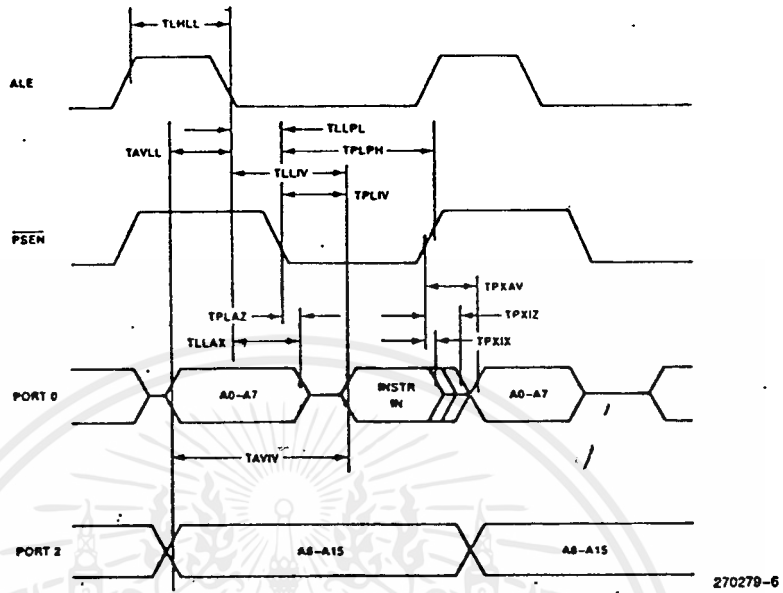
Symbol	Parameter	Min	Max	Units	Test Conditions
$V_{IL}$	Input Low Voltage	-0.5	0.8	V	
$V_{IH}$	Input High Voltage (Except XTAL2, RST)	2.0	$V_{CC} + 0.5$	V	
$V_{IH1}$	Input High Voltage to XTAL2, RST	2.5	$V_{CC} + 0.5$	V	$XTAL1 = V_{SS}$
$V_{OL}$	Output Low Voltage (Ports 1, 2, 3)*		0.45	V	$I_{OL} = 1.6 \text{ mA}$
$V_{OL1}$	Output Low Voltage (Port 0, ALE, $\overline{PSEN}$ )*		0.45	V	$I_{OL} = 3.2 \text{ mA}$
$V_{OH}$	Output High Voltage (Ports 1, 2, 3, ALE, $\overline{PSEN}$ )	2.4		V	$I_{OH} = -80 \mu\text{A}$
$V_{OH1}$	Output High Voltage (Port 0 in External Bus Mode)	2.4		V	$I_{OH} = -400 \mu\text{A}$
$I_{IL}$	Logical 0 Input Current		-500	$\mu\text{A}$	$V_{IN} = 0.45\text{V}$
$I_{IL2}$	Logical 0 Input Current (XTAL2)		-3.2	mA	$V_{IN} = 0.45\text{V}$
$I_{LI}$	Input Leakage Current (Port 0)		$\pm 10$	$\mu\text{A}$	$0.45 \leq V_{IN} \leq V_{CC}$
$I_{IH}$	Input Current to RST to Activate Reset		500	$\mu\text{A}$	$V_{IN} < (V_{CC} - 1.5\text{V})$
$I_{CC}$	Power Supply Current		125	mA	All Outputs Disconnected; $\overline{EA} = V_{CC}$
$C_{IO}$	Pin Capacitance		10	pF	Test freq = 1 MHz

**\*NOTE:**

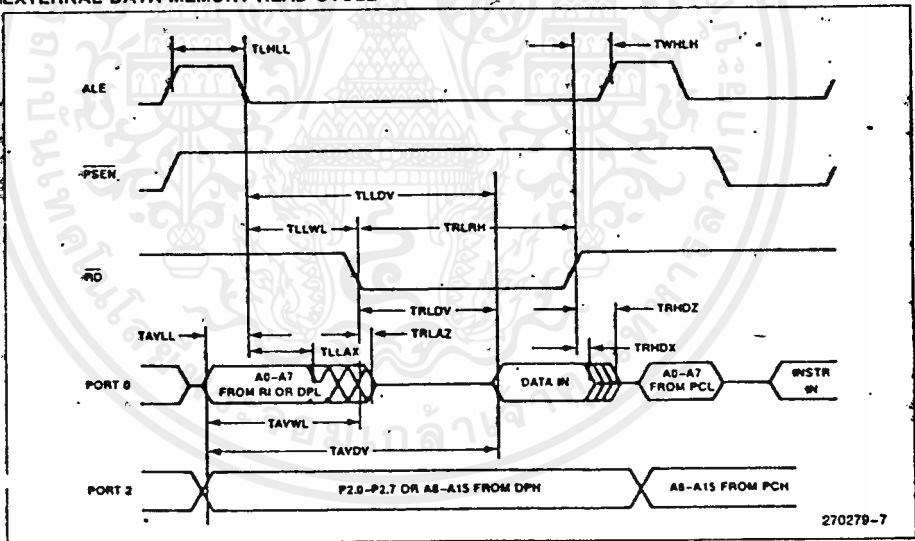
Capacitive loading on Ports 0 and 2 may cause spurious noise pulses to be superimposed on the  $V_{OL}$ s of ALE and Ports 1 and 3. The noise is due to external bus capacitance discharging into the Port 0 and Port 2 pins when these pins make 1-to-0 transitions during bus operations. In the worst cases (capacitive loading  $> 100 \text{ pF}$ ), the noise pulse on the ALE line may exceed 0.8V. In such cases it may be desirable to qualify ALE with a Schmitt Trigger, or use an address latch with a Schmitt Trigger. STROBE input.

**A.C. CHARACTERISTICS**  $T_A = 0^\circ\text{C to } +70^\circ\text{C}$ ;  $V_{CC} = 5V \pm 10\%$ ;  $V_{SS} = 0V$ ;  
 Load Capacitance for Port 0, ALE, and PSEN = 100 pF; -  
 Load Capacitance for All Other Outputs = 80 pF

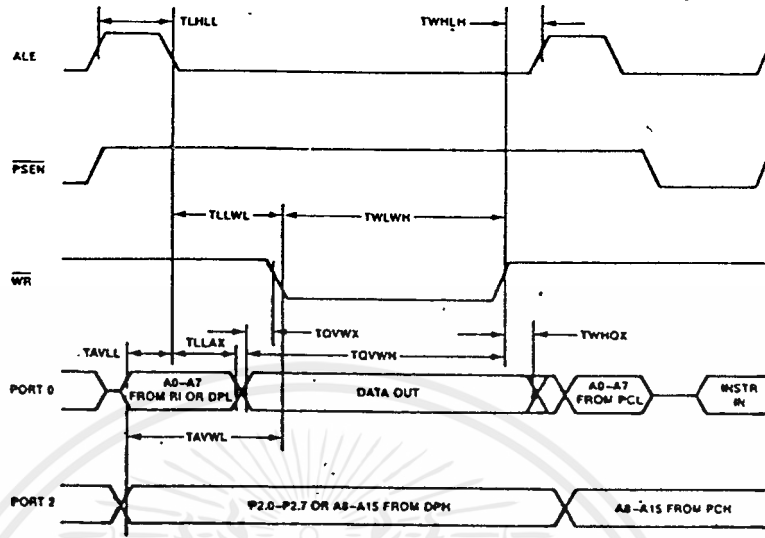
Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
1/TCLCL	Oscillator Frequency			3.5	12.0	MHz
TLHLL	ALE Pulse Width	127		2TCLCL - 40		ns
TAVLL	Address Valid to ALE Low	43		TCLCL - 40		ns
TLLAX	Address Hold after ALE Low	48		TCLCL - 35		ns
TLLIV	ALE Low to Valid Instr In		233		4TCLCL - 100	ns
TLLPL	ALE Low to PSEN Low	58		TCLCL - 25		ns
TPLPH	PSEN Pulse Width	215		3TCLCL - 35		ns
TPLIV	PSEN Low to Valid Instr In		125		3TCLCL - 125	ns
TPXIX	Input Instr Hold after PSEN	0		0		ns
TPXIZ	Input Instr Float after PSEN		63		TCLCL - 20	ns
TPXAV	PSEN to Address Valid	75		TCLCL - 8		ns
TAVIV	Address to Valid Instr In		302		5TCLCL - 115	ns
TPLAZ	PSEN Low to Address Float		20		20	ns
TRLRH	RD Pulse Width	400		6TCLCL - 100		ns
TWLWH	WR Pulse Width	400		6TCLCL - 100		ns
TRLDV	RD Low to Valid Data In		252		5TCLCL - 165	ns
TRHDX	Data Hold after RD	0		0		ns
TRHDZ	Data Float after RD		97		2TCLCL - 70	ns
TLLDV	ALE Low to Valid Data In		517		8TCLCL - 150	ns
TAVDV	Address to Valid Data In		585		9TCLCL - 165	ns
TLLWL	ALE Low to RD or WR Low	200	300	3TCLCL - 50	3TCLCL + 50	ns
TAVWL	Address to RD or WR Low	203		4TCLCL - 130		ns
TQVWX	Data Valid to WR Transition	23		TCLCL - 60		ns
TQVWH	Data Valid to WR High	433		7TCLCL - 150		ns
TWHQX	Data Hold after WR	33		TCLCL - 50		ns
TRLAZ	RD Low to Address Float		20		20	ns
TWHLH	RD or WR High to ALE High	43	123	TCLCL - 40	TCLCL + 40	ns



EXTERNAL DATA MEMORY READ CYCLE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



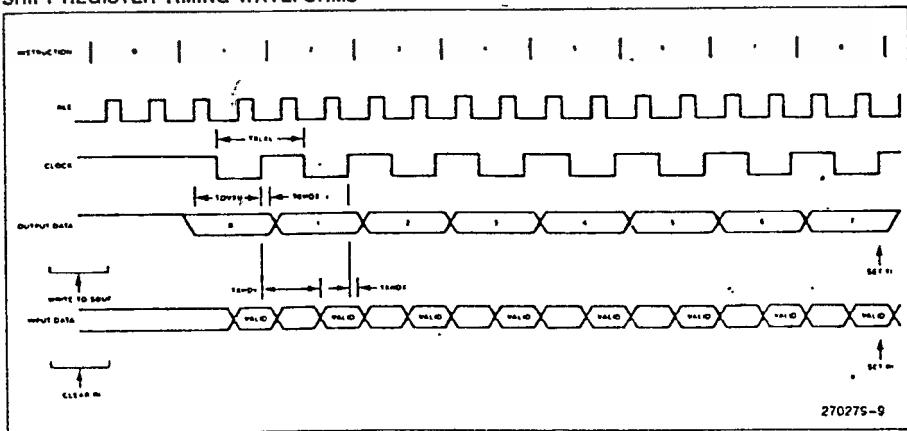
270279-B

**SERIAL PORT TIMING—SHIFT REGISTER MODE**

Test Conditions:  $T_A = 0^\circ\text{C}$  to  $+70^\circ\text{C}$ ;  $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$ ;  $V_{SS} = 0\text{V}$ ; Load Capacitance = 80 pF

Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		Variable Oscillator		Units
		Min.	Max	Min	Max	
TXLXL	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		12TCLCL		$\mu\text{s}$
TQVXH	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		10TCLCL - 133		ns
TXHQX	Output Data Hold after Clock Rising Edge	50		2TCLCL - 117		ns
TXHDX	Input Data Hold after Clock Rising Edge	0		0		ns
TXHDV	Clock Rising Edge to Input Data Valid		-700		10TCLCL - 133	ns

**SHIFT REGISTER TIMING WAVEFORMS**



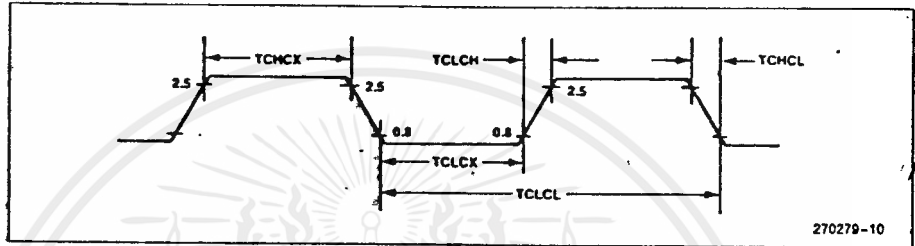
270275-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

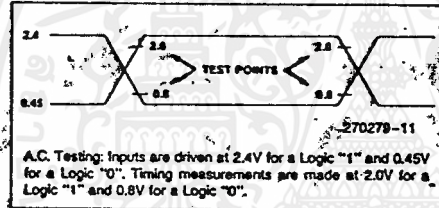
**EXTERNAL CLOCK DRIVE**

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
1/TCLCL	Oscillator Frequency	3.5	12	MHz
TCHCX	High Time	20		ns
TCLCX	Low Time	20		ns
TCLCH	Rise Time		20	ns
TCHCL	Fall Time		20	ns

**EXTERNAL CLOCK DRIVE WAVEFORM**



**A.C. TESTING INPUT, OUTPUT WAVEFORM**



**DATA SHEET REVISION SUMMARY**

The following are the key differences between this and the -002 version of 8051AHP data sheet:

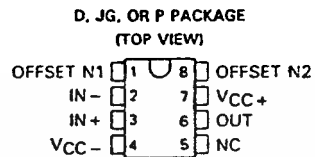
1. Package Table was added.
2. Added clearer explanation to DESIGN CONSIDERATION.
3. Data Sheet Revision Summary was added.

**Program Verification**

The program verification test mode has been eliminated on the 8051AHP. It is not possible to verify the ROM contents using this mode, the way EPROM programmers typically do. Also, the ROM contents cannot be verified by a program executing out of external program memory due to the restricted addressing on the 8051AHP.

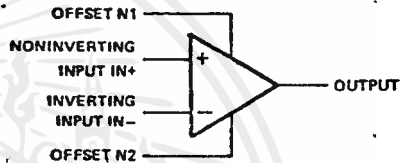
## OP-07C, OP-07D, OP-07E ULTRA-LOW-OFFSET VOLTAGE OPERATIONAL AMPLIFIERS

- Ultra-Low Offset Voltage . . . 30  $\mu\text{V}$  Typ (OP-07E)
- Ultra-Low Offset Voltage Temperature Coefficient . . . 0.3  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  Typ (OP-07E)
- Ultra-Low Noise
- No External Components Required
- Replaces Chopper Amplifiers at a Lower Cost
- Single-Chip Monolithic Fabrication
- Wide Input Voltage Range  
0 to  $\pm 14$  V Typ
- Wide Supply Voltage Range  
 $\pm 3$  V to  $\pm 18$  V
- Essentially Equivalent to Fairchild  $\mu\text{A}714$  Operational Amplifiers
- Direct Replacement for PMI OP-07C, OP-07D, OP-07E



NC—No internal connection

symbol



**description**

These devices represent a breakthrough in operational amplifier performance. Low offset and long-term stability are achieved by means of a low-noise, chopperless, bipolar-input-transistor amplifier circuit. For most applications, external components are required for offset nulling and frequency compensation. The true differential input, with a wide input voltage range and outstanding common-mode rejection, provides maximum flexibility and performance in high-noise environments and in noninverting applications. Low bias currents and extremely high input impedances are maintained over the entire temperature range. The OP-07 is unsurpassed for low-noise, high-accuracy amplification of very-low-level signals.

These devices are characterized for operation from  $0^\circ\text{C}$  to  $70^\circ\text{C}$ .

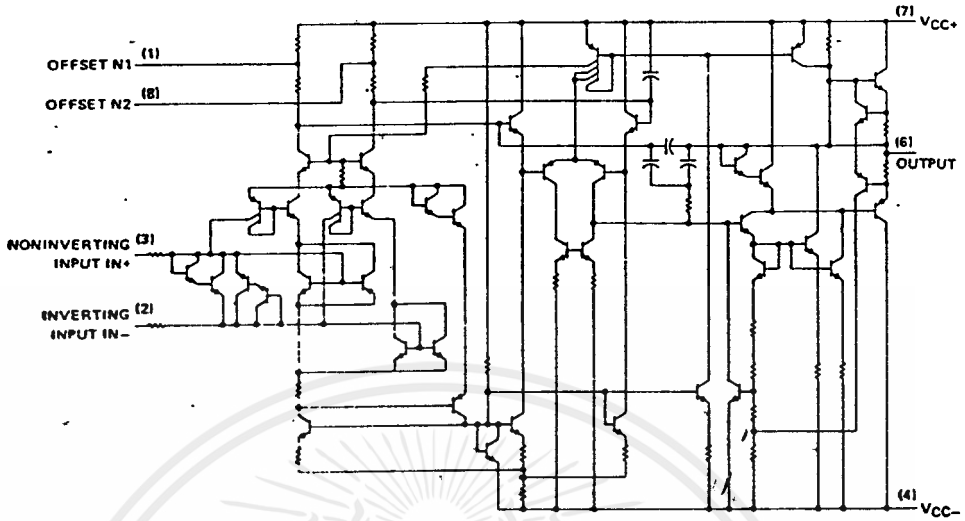
**AVAILABLE OPTIONS**

T <sub>A</sub>	V <sub>IO</sub> MAX at 25°C	PACKAGE		
		SMALL OUTLINE (D)	CERAMIC DIP (JG)	PLASTIC DIP (P)
0°C	150 $\mu\text{V}$	OP-07CD	OP-07CJG	OP-07CP
to		OP-07DD	OP-07DJG	OP-07DP
70°C	75 $\mu\text{V}$	OP-07ED	OP-07EJG	OP-07EP

The D package is available taped and reeled. Add the suffix R to the device type when ordering. (e.g., OP-07CDR)

Operational Amplifiers 2

schematic

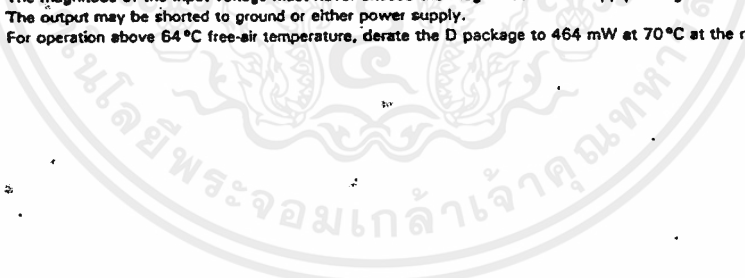


**2**  
Operational Amplifiers

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

Supply voltage VCC+ (see Note 1)	22 V
Supply voltage VCC-	-22 V
Differential input voltage (see Note 2)	±30 V
Input voltage (either input, see Note 3)	±22 V
Duration of output short circuit (see Note 4)	unlimited
Continuous total dissipation at (or below) 25°C free-air temperature (see Note 5)	500 mW
Operating free-air temperature range	0°C to 70°C
Storage temperature range	-65°C to 150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds: JG package	300°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds: D or P package	260°C

- NOTES: 1. All voltage values, unless otherwise noted, are with respect to the midpoint between VCC+ and VCC-.
2. Differential voltages are at the noninverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
3. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
4. The output may be shorted to ground or either power supply.
5. For operation above 64°C free-air temperature, derate the D package to 464 mW at 70°C at the rate of 5.8 mW/°C.



electrical characteristics at specified free-air temperature,  $V_{CC} \pm = \pm 15\text{ V}$  (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS <sup>1</sup>		OP-7C			OP-7D			OP-7E			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
$V_{IO}$ Input offset voltage	$V_O = 0$ , $R_S = 50\ \Omega$	25°C	60	150		60	150		30	75	$\mu\text{V}$	
		0°C to 70°C	85	250		85	250		45	130		
$\epsilon_{VIO}$ Temperature coefficient of input offset voltage	$V_O = 0$ , $R_S = 50\ \Omega$	0°C to 70°C	0.5	1.8		0.7	2.5		0.3	1.3	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	
Long-term drift of input offset voltage	See Note 6		0.4			0.5			0.3			$\mu\text{V}/\text{mo}$
Offset adjustment range	$R_S = 20\ \text{k}\Omega$ , See Figure 1	25°C	$\pm 4$			$\pm 4$			$\pm 4$			mV
$I_{IO}$ Input offset current		25°C	0.8	8		0.8	8		0.5	3.8	nA	
		0°C to 70°C	1.6	8		1.6	8		0.9	5.3		
$\epsilon_{IIO}$ Temperature coefficient of input offset current		0°C to 70°C	12	50		12	50		8	35	$\text{pA}/^\circ\text{C}$	
$I_{IB}$ Input bias current		25°C	$\pm 1.8$	$\pm 7$		$\pm 2$	$\pm 12$		$\pm 1.2$	$\pm 4$	nA	
		0°C to 70°C	$\pm 2.2$	$\pm 9$		$\pm 3$	$\pm 14$		$\pm 1.5$	$\pm 5.5$		
$\epsilon_{IIB}$ Temperature coefficient of input bias current		0°C to 70°C	18	50		18	50		13	35	$\text{pA}/^\circ\text{C}$	
$V_{ICR}$ Common-mode input voltage range		25°C	$\pm 13$	$\pm 14$		$\pm 13$	$\pm 14$		$\pm 13$	$\pm 14$	V	
		0°C to 70°C	$\pm 13$	$\pm 13.5$		$\pm 13$	$\pm 13.5$		$\pm 13$	$\pm 13.5$		
$V_{OM}$ Peak output voltage	$R_L \geq 10\ \text{k}\Omega$	25°C	$\pm 12$	$\pm 13$		$\pm 12$	$\pm 13$		$\pm 12.5$	$\pm 13$	V	
	$R_L \geq 2\ \text{k}\Omega$		$\pm 11.5$	$\pm 12.8$		$\pm 11.5$	$\pm 12.8$		$\pm 12$	$\pm 12.8$		
	$R_L \geq 1\ \text{k}\Omega$		$\pm 12$			$\pm 12$			$\pm 10.5$	$\pm 12$		
	$R_L \geq 2\ \text{k}\Omega$		$\pm 11$	$\pm 12.6$		$\pm 11$	$\pm 12.6$		$\pm 12$	$\pm 12.6$		
$A_{VD}$ Large-signal differential voltage amplification	$V_{CC} \pm = \pm 3\text{ V}$ , $V_O = \pm 0.5\text{ V}$ , $R_L \geq 500\ \text{k}\Omega$	25°C	100	400		400		150	400	V/mV		
	$V_O = \pm 10\text{ V}$ , $R_L = 2\ \text{k}\Omega$	25°C	120	400		120	400		200		500	
		0°C to 70°C	100	400		100	400		180		450	
$B_1$ Unity gain bandwidth		25°C	0.4	0.6		0.4	0.6		0.4	0.6	MHz	
$\eta$ Input resistance		25°C	8	33		7	31		15	50	M $\Omega$	
CMRR Common-mode rejection ratio	$V_{IC} = \pm 13\text{ V}$ , $R_S = 50\ \Omega$	25°C	100	120		94	110		106	123	dB	
		0°C to 70°C	97	120		94	106		103	123		
$K_{SVS}$ Supply voltage sensitivity ( $\Delta V_{IO}/\Delta V_{CC}$ )	$V_{CC} \pm = \pm 3\text{ V}$ to $\pm 18\text{ V}$ , $R_S = 50\ \Omega$	25°C	7	32		7	32		5	20	$\mu\text{V}/\text{V}$	
		0°C to 70°C	10	51		10	51		7	32		
$P_D$ Power dissipation	$V_O = 0$ , No load	25°C	80	150		80	150		75	120	mW	
	$V_{CC} \pm = \pm 3\text{ V}$ , $V_O = 0$ , No load		4	8		4	8		4	6		

<sup>1</sup>All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode input voltage unless otherwise noted.

NOTE 6: Since long-term drift cannot be measured on the individual devices prior to shipment, this specification is not intended to be a guarantee or warranty. It is an engineering estimate of the averaged trend line of drift versus time over extended periods after the first thirty days of operation.

Operational Amplifiers



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

operating characteristics at specified free-air temperature,  $V_{CC} \pm = \pm 15 \text{ V}$  (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS <sup>†</sup>		OP-7C			OP-7D			OP-7E			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
$V_n$ Equivalent input noise voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$	$f = 10 \text{ Hz}$		10.5		10.5		10.3			nV/√Hz	
		$f = 100 \text{ Hz}$		10.2		10.3		10.0				
		$f = 1 \text{ kHz}$		9.8		9.8		9.6				
$V_{NPP}$ Peak-to-peak equivalent input noise voltage		$f = 0.1 \text{ Hz to } 10 \text{ Hz}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$		0.38		0.38		0.35			$\mu\text{V}$	
$I_n$ Equivalent input noise current	$T_A = 25^\circ\text{C}$	$f = 10 \text{ Hz}$		0.35		0.35		0.32			pA/√Hz	
		$f = 100 \text{ Hz}$		0.15		0.15		0.14				
		$f = 1 \text{ kHz}$		0.13		0.13		0.12				
$I_{NPP}$ Peak-to-peak equivalent input noise current		$f = 0.1 \text{ Hz to } 10 \text{ Hz}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$		15		15		14			pA	
SR Slew rate		$R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$		0.3		0.3		0.3			V/ $\mu\text{s}$	

<sup>†</sup>All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode input voltage unless otherwise specified.

### TYPICAL APPLICATION DATA

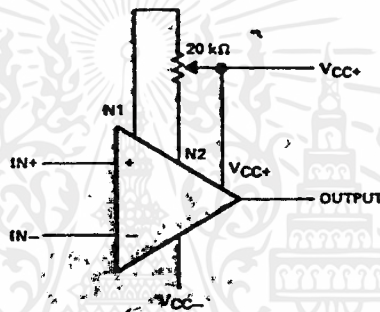


FIGURE 1. INPUT OFFSET VOLTAGE NULL CIRCUIT

BURR-BROWN®



ADC574A

## Microprocessor-Compatible ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER

### FEATURES

- COMPLETE 12-BIT A/D CONVERTER WITH REFERENCE, CLOCK, AND 8-, 12-, OR 16-BIT MICROPROCESSOR BUS INTERFACE
- IMPROVED PERFORMANCE SECOND SOURCE FOR 574A-TYPE A/D CONVERTERS
  - 25µs Maximum Conversion Time
  - 150ns Bus Access Time
  - A<sub>0</sub> Input-Bus Contention During Read Operation Eliminated
- FULLY SPECIFIED FOR OPERATION ON ±12V OR ±15V SUPPLIES
- NO MISSING CODES OVER TEMPERATURE
  - 0°C to +75°C: ADC574AJH, KH Grades
  - 55°C to +125°C: ADC574ASH, TH Grades

contained +10V reference, internal clock, digital interface for microprocessor control, and three-state outputs.

The reference circuit, containing a buried zener, is laser-trimmed for minimum temperature coefficient. The clock oscillator is current-controlled for excellent stability over temperature. Full-scale and offset errors may be externally-trimmed to zero. Internal scaling resistors are provided for the selection of analog input signal ranges of 0V to +10V, 0V to +20V, ±5V, and ±10V.

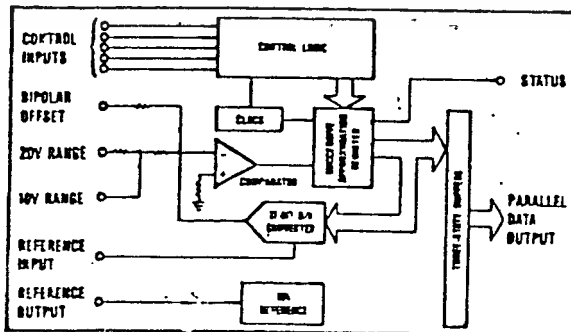
The converter may be externally programmed to provide 8- or 12-bit resolution. The conversion time for 12 bits is factory set for 20µs typical.

Output data are available in a parallel format from TTL-compatible three-state output buffers. Output data are coded in straight binary for unipolar input signals and bipolar offset binary for bipolar input signals.

The ADC574A, available in both industrial and military temperature ranges, requires supply voltages of +5V and ±12V or ±15V. It is packaged in a hermetic 28-pin side-braced ceramic DIP.

### DESCRIPTION

The ADC574A is a 12-bit successive approximation analog-to-digital converter, utilizing state-of-the-art CMOS and laser-trimmed bipolar die custom-designed for freedom from latch-up and for optimum AC performance. It is complete with a self-



International Airport Industrial Park • P.O. Box 11400 • Tucson, Arizona 85734 • Tel (602) 749-1111 • Telex 910-252-1111 • Cable BURBROFF • Telex 65-6491

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ELECTRICAL

T<sub>a</sub> = +25°C, V<sub>CC</sub> = +12V or +15V, V<sub>EE</sub> = -12V or -15V, V<sub>Logic</sub> = +5V unless otherwise specified.

MODEL	ADC574AJM, ADC574ABH			ADC574AKH, ADC574ATH			UNITS
	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
<b>RESOLUTION</b>			12				Bits
<b>INPUT</b>							
<b>ANALOG</b>			0 to +10, 0 to +20				V
Voltage Ranges: Unipolar			±5, ±10				V
Bipolar							kΩ
Impedance: 0 to +10V, ±5V	3.7	5	6.3				kΩ
±10V, 0V to +20V	7.5	10	12.5				kΩ
<b>DIGITAL (CE, CS, R/C, A<sub>n</sub>, 12/8)</b>							
Over Temperature Range							V
Voltages: Logic 1	+2.4 <sup>min</sup>		+5.5				V
Logic 0	-0.5		+0.8				V
Current, 0.0V ≤ V <sub>in</sub> ≤ 5.0V	-5	0.1	+5				μA
Capacitance		5					pF
<b>TRANSFER CHARACTERISTICS</b>							
<b>ACCURACY</b>							
At +25°C							
Linearity Error			±1			±1/2	LSB
Unipolar Offset Error (adjustable to zero)			±2			±1	LSB
Bipolar Offset Error (adjustable to zero)			±10			±4	LSB
Full-Scale Calibration Error <sup>min</sup> (adjustable to zero)			±0.3				% of FS <sup>min</sup>
No Missing Codes Resolution	11			12			Bits
Inherent Quantization Error		±1/2					LSB
T <sub>min</sub> to T <sub>max</sub>							LSB
Linearity Error: J, K Grades			±1			±1/2	% of FS
S, T Grades			±1				% of FS
Full-Scale Calibration Error							
Without Initial adjustment <sup>min</sup> : J, K Grades			±0.5			±0.4	% of FS
S, T Grades			±0.8			±0.6	% of FS
Adjusted to zero at +25°C: J, K Grades			±0.22			±0.12	% of FS
S, T Grades			±0.5			±0.25	% of FS
No Missing Codes Resolution	11			12			Bits
<b>POWER SUPPLY SENSITIVITY</b>							
Change in Full-Scale Calibration							
+13.5V < V <sub>CC</sub> < +16.5V or +11.4V < V <sub>CC</sub> < +12.6V			±2			±1	LSB
-16.5V < V <sub>EE</sub> < -13.5V or -12.6V < V <sub>EE</sub> < -11.4V			±2			±1	LSB
+4.5V < V <sub>Logic</sub> < +5.5V			±1/2				LSB
<b>CONVERSION TIME<sup>min</sup></b>							
8-Bit Cycle	10	13	17				μs
12-Bit Cycle	15	20	25				μs
<b>DRIFT</b>							
Unipolar Offset: J, K Grades			±10			±5	ppm/°C
S, T Grades			±5			±2.5	ppm/°C
Change over Temperature Range, All Grades			±2			±1	LSB
Bipolar Offset, All Grades			±10			±5	ppm/°C
Change over Temperature Range: J, K Grades			±2			±1	LSB
S, T Grades			±4			±2	LSB
Full-Scale Calibration: J, K Grades			±45			±25	ppm/°C
S, T Grades			±50			±25	ppm/°C
Change over Temperature Range: J, K Grades			±9			±5	LSB
S, T Grades			±20			±10	LSB
<b>OUTPUT</b>							
<b>DIGITAL (DB<sub>n</sub> - DB<sub>n</sub> STATUS)</b>							
Over Temperature Range							
Output Codes: Unipolar			Unipolar Straight Binary (USB)				
Bipolar			Bipolar Offset Binary (BOB)				
Logic Levels: Logic 0 (I <sub>max</sub> = 1.6mA)			+0.4				V
Logic 1 (I <sub>max</sub> = 500μA)	+2.4						V
Leakage, Data Bits Only, High-Z State	-5	-0.1	+5				μA
Capacitance		5					pF
<b>INTERNAL REFERENCE VOLTAGE</b>							
Voltage	+9.0	+10.0	+10.1				V
Source Current Available for External Loads <sup>min</sup>	2.0						mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

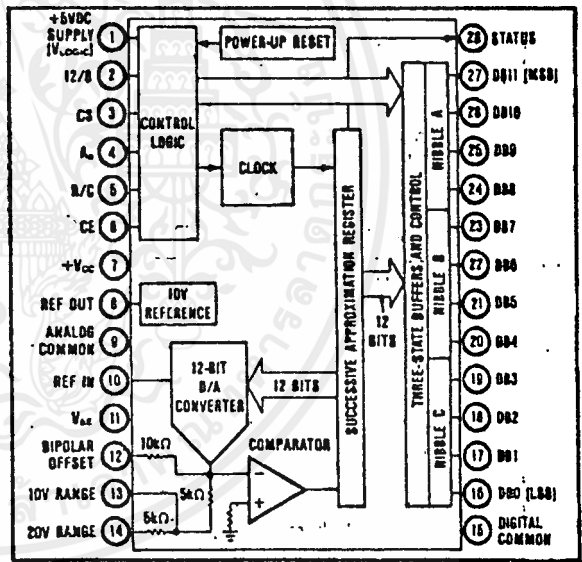
at 25°C, V<sub>CC</sub> = +12V or +15V, V<sub>EE</sub> = -12V or -15V, V<sub>LOOC</sub> = +5V unless otherwise specified

MODEL	ADC574AJH, ADC574ASH			ADC574AKH, ADC574ATH			UNITS
	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
<b>POWER SUPPLY REQUIREMENTS</b>							
Voltage: V <sub>CC</sub>	+11.4		+16.5				V
V <sub>EE</sub>	-11.4		-16.5				V
V <sub>LOOC</sub>	+4.5		+5.5				V
Current: I <sub>CC</sub>		11	15				mA
I <sub>EE</sub>		21	28				mA
I <sub>LOOC</sub>		7	15				mA
Power Dissipation (±15V Supplies)		515	720				mW
<b>TEMPERATURE RANGE (Ambient)</b>							
Specification: J, K Grades	0		+75				°C
S, T Grades	-55		+125				°C
Storage	-65		+150				°C

\*Same specification as grade to the immediate left.

NOTES (1) Although this guaranteed threshold is higher than the standard TTL guaranteed level (+2.0V), bus loading is much less. Typical input current is only 0.25% of a standard TTL load. (2) With fixed 50Ω resistor from REF OUT to REF IN. This parameter is also adjustable to zero at +25°C (see "Optional External Full Scale and Offset Adjustments" section). (3) FS in this specification table means Full-Scale Range. That is, for a ±10V input range, FS means 20V; for a 0 to +10V range, FS means 10V. Use of the term Full Scale for these specifications instead of Full-Scale Range is consistent with other vendors' 574 and 574A specification tables. (4) See "Controlling the ADC574A" section for detailed information concerning digital timing. (5) External loading must be constant during conversion. When supplying an external load and operating on ±12V supplies, a buffer amplifier must be provided for the reference output.

CONNECTION DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

V <sub>CC</sub> to Digital Common	0 to +16.5V
V <sub>EE</sub> to Digital Common	0 to -16.5V
V <sub>LOOC</sub> to Digital Common	0 to +7V
Analog Common to Digital Common	±1V
Control Inputs (CE, CS, A <sub>n</sub> , 12/B, R/C) to Digital Common	-0.5V to V <sub>LOOC</sub> +0.5V
Analog Inputs (REF IN, BIP OFF, 10V <sub>REF</sub> ) to Analog Common	±16.5V
20V <sub>REF</sub> to Analog Common	±24V
REF OUT to Analog Common	Indefinite Short to Common, Momentary Short to V <sub>CC</sub>
Chip Temperature: J, K, L Grades	+100°C
S, T, U Grades	+150°C
Power Dissipation	1000mW
Lead Temperature, Soldering	+300°C, 10sec
Thermal Resistance, θ <sub>JC</sub>	48°C/W

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge. Appropriate E.C. handling procedures should be followed.

MECHANICAL

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	1.366	1.414	36.20	38.92
C	.108	.168	2.74	4.22
D	.016	.021	0.36	0.63
F	.036	.080	0.89	1.62
Q	.100 BASIC		2.64 BASIC	
H	.036	.064	0.91	1.63
J	.008	.012	0.20	0.30
K	.120	.240	3.06	6.10
L	.600 BASIC		16.24 BASIC	
M	-	10°	-	10°
N	.026	.060	0.64	1.62

NOTE: Leads in true position within .010" (25mm) R at MMC at seating plane.

Pin numbers shown for reference only. Numbers may not be marked on package.

CASE: Ceramic, hermetic  
MATING CONNECTOR 2803MC  
WEIGHT: 4.8 grams (0.17oz.)

## DISCUSSION OF SPECIFICATIONS

### LINEARITY ERROR

Linearity error is defined as the deviation of actual code transition values from the ideal transition values. Ideal transition values lie on a line drawn through zero (or minus full scale for bipolar operation) and plus full scale. The zero value is located at an analog input value  $1/2\text{LSB}$  before the first code transition ( $000_H$  to  $001_H$ ). The full-scale value is located at an analog value  $3/2\text{LSB}$  beyond the last code transition ( $FFE_H$  to  $FFF_H$ ) (see Figure 1).

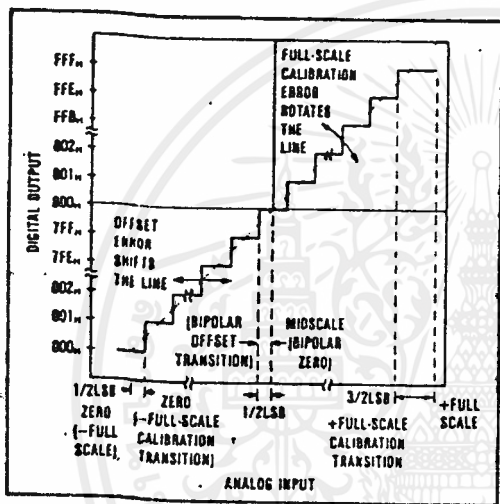


FIGURE 1. ADC574A Transfer Characteristic Terminology.

Thus, for a converter connected for bipolar operation and with a full-scale range (or span) of  $20V (\pm 10V)$ , the zero value of  $10V$  is  $2.44mV$  below the first code transition ( $000_H$  to  $001_H$  at  $-9.99756V$ ) and the plus full-scale value of  $+10V$  is  $7.32mV$  above the last code transition ( $FFE_H$  to  $FFF_H$  at  $+9.99268V$ ) (see Table 1).

### NO MISSING CODES (DIFFERENTIAL LINEARITY ERROR)

A specification which guarantees no missing codes requires that every code combination appear in a monotonically-increasing sequence as the analog input is

increased throughout the range. Thus, every input code width (quantum) must have a finite width. If an input quantum has a value of zero (a differential linearity error of  $-1\text{LSB}$ ), a missing code will occur.

ADC57A KH and TH grades are guaranteed to have no missing codes to 12-bit resolution over their respective specification temperature ranges.

### UNIPOLAR OFFSET ERROR

An ADC574A connected for unipolar operation has an analog input range of  $0V$  to plus full scale. The first output code transition should occur at an analog input value  $1/2\text{LSB}$  above  $0V$ . Unipolar offset error is defined as the deviation of the actual transition value from the ideal value. The unipolar offset temperature coefficient specifies the change of this transition value versus a change in ambient temperature.

### BIPOlar OFFSET ERROR

A/D converter specifications have historically defined bipolar offset as the first transition value above the minus full-scale value. The ADC574A specification, however, follows the terminology defined for the 574 converter several years ago. Thus, bipolar offset is located near the midscale value of  $0V$  (bipolar zero) at the output code transition  $7FF_H$  to  $800_H$ .

Bipolar offset error for the ADC574A is defined as the deviation of the actual transition value from the ideal transition value located  $1/2\text{LSB}$  below  $0V$ . The bipolar offset temperature coefficient specifies the maximum change of the code transition value versus a change in ambient temperature.

### FULL SCALE CALIBRATION ERROR

The last output code transition ( $FFE_H$  to  $FFF_H$ ) occurs for an analog input value  $3/2\text{LSB}$  below the nominal full-scale value. The full scale calibration error is the deviation of the actual analog value at the last transition point from the ideal value. The full-scale calibration temperature coefficient specifies the maximum change of the code transition value versus a change in ambient temperature.

### POWER SUPPLY SENSITIVITY

Electrical specifications for the ADC574A assume the application of the rated power supply voltages of  $+5V$  and  $\pm 12V$  or  $\pm 15V$ . The major effect of power supply

TABLE 1. Input Voltages, Transition Values, and LSB Values.

Binary (BIN) Output	Input Voltage Range and LSB Values				
	Defined As:	$\pm 10V$	$\pm 5V$	$0$ to $+10V$	$0$ to $+20V$
Analog Input Voltage Range					
One Least Significant Bit (LSB)	$\frac{FSR}{2^n}$ $n = 8$ $n = 12$	$\frac{20V}{2^8}$ $78.13mV$ $4.88mV$	$\frac{10V}{2^8}$ $39.06mV$ $2.44mV$	$\frac{10V}{2^8}$ $39.06mV$ $2.44mV$	$\frac{20V}{2^8}$ $78.13mV$ $4.88mV$
Output Transition values $FFE_H$ to $FFF_H$ $7FF_H$ to $800_H$ $000_H$ to $001_H$	+ Full-Scale Calibration Midscale Calibration (Bipolar Offset) Zero Calibration (-Full-Scale Calibration)	$+10V - 3/2\text{LSB}$ $0 - 1/2\text{LSB}$ $-10V + 1/2\text{LSB}$	$+5V - 3/2\text{LSB}$ $0 - 1/2\text{LSB}$ $-5V + 1/2\text{LSB}$	$+10V - 3/2\text{LSB}$ $+5V - 1/2\text{LSB}$ $0 + 1/2\text{LSB}$	$+20V - 3/2\text{LSB}$ $+10V - 1/2\text{LSB}$ $0 + 1/2\text{LSB}$

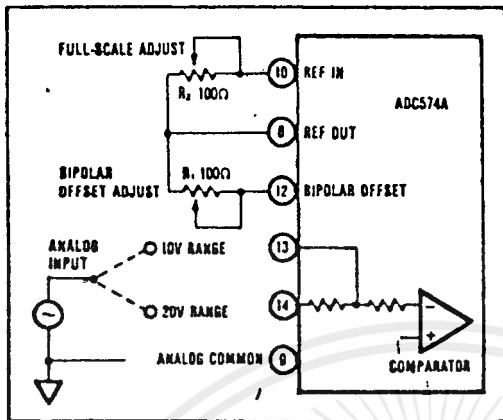


FIGURE 3. Bipolar Configuration.

## CALIBRATION

### OPTIONAL EXTERNAL FULL-SCALE AND OFFSET ADJUSTMENTS

Offset and full-scale errors may be trimmed to zero using external offset and full-scale trim potentiometers connected to the ADC574A as shown in Figures 2 and 3 for unipolar and bipolar operation.

### CALIBRATION PROCEDURE—UNIPOLAR RANGES

If adjustment of unipolar offset and full scale is not required, replace  $R_2$  with a  $50\Omega$ , 1% metal film resistor and connect pin 12 to pin 9, omitting the adjustment network.

If adjustment is required, connect the converter as shown in Figure 2. Sweep the input through the endpoint transition voltage ( $0V + 1/2LSB$ ;  $+1.22mV$  for the 10V range,  $+2.44mV$  for the 20V range) that causes the output code to be  $DB0$  ON (high). Adjust potentiometer  $R_1$  until  $DB0$  is alternately toggling ON and OFF with all other bits OFF. Then adjust full scale by applying an input voltage of nominal full-scale value minus  $3/2LSB$ , the value which should cause all bits to be ON. This

value is  $+9.9963V$  for the 10V range and  $+19.9927V$  for the 20V range. Adjust potentiometer  $R_2$  until bits  $DB1$ - $DB11$  are ON and  $DB0$  is toggling ON and OFF.

### CALIBRATION PROCEDURE—BIPOLAR RANGES

If external adjustments of full-scale and bipolar offset are not required, the potentiometers may be replaced by  $50\Omega$ , 1% metal film resistors.

If adjustments are required, connect the converter as shown in Figure 3. The calibration procedure is similar to that described above for unipolar operation, except that the offset adjustment is performed with an input voltage which is  $1/2LSB$  above the minus full-scale value ( $-4.9988V$  for the  $\pm 5V$  range,  $-9.9976V$  for the  $\pm 10V$  range). Adjust  $R_1$  for  $DB0$  to toggle ON and OFF with all other bits OFF. To adjust full-scale, apply a DC input signal which is  $3/2LSB$  below the nominal plus full-scale value ( $+4.9963V$  for  $\pm 5V$  range,  $+9.9927V$  for  $\pm 10V$  range) and adjust  $R_2$  for  $DB0$  to toggle ON and OFF with all other bits ON.

## CONTROLLING THE ADC574A

The Burr-Brown ADC574A can be easily interfaced to most microprocessor systems and other digital systems. The microprocessor may take full control of each conversion, or the converter may operate in a stand-alone mode, controlled only by the  $R/\bar{C}$  input. Full control consists of selecting an 8- or 12-bit conversion cycle, initiating the conversion, and reading the output data when ready—choosing either 12 bits all at once, or 8 bits followed by 4 bits in a left-justified format. The five control inputs ( $12/\bar{8}$ ,  $\bar{CS}$ ,  $A_0$ ,  $R/\bar{C}$ , and  $CE$ ) are all TTL/CMOS-compatible. The functions of the control inputs are described in Table II. The control function truth table is listed in Table III.

### STAND-ALONE OPERATION

For stand-alone operation, control of the converter is accomplished by a single control line connected to  $R/\bar{C}$ . In this mode  $\bar{CS}$  and  $A_0$  are connected to digital common and  $CE$  and  $12/\bar{8}$  are connected to  $V_{LOGIC}$  ( $+5V$ ). The output data are presented as 12-bit words. The

TABLE II. ADC574A Control Line Functions.

Pin Designation	Definition	Function
CE (Pin 6)	Chip Enable (active high)	Must be high ("1") to either initiate a conversion or read output data. 0-1 edge may be used to initiate a conversion.
$\bar{CS}$ (Pin 3)	Chip Select (active low)	Must be low ("0") to either initiate a conversion or read output data. 1-0 edge may be used to initiate a conversion.
$R/\bar{C}$ (Pin 5)	Read/Convert ("1" = read) ("0" = convert)	Must be low ("0") to initiate either 8 or 12-bit conversions. 1-0 edge may be used to initiate a conversion. Must be high ("1") to read output data. 0-1 edge may be used to initiate a read operation.
$A_0$ (Pin 4)	Byte Address Short Cycle	In the start-convert mode, $A_0$ selects 8-bit ( $A_0 = "1"$ ) or 12-bit ( $A_0 = "0"$ ) conversion mode. When reading output data in 2 8-bit bytes, $A_0 = "0"$ accesses 8 MSBs (high byte) and $A_0 = "1"$ accesses 4 LSBs and trailing "0s" (low byte).
$12/\bar{8}$ (Pin 2)	Data Mode Select ("1" = 12 bits) ("0" = 8 bits)	When reading output data, $12/\bar{8} = "1"$ enables all 12 output bits simultaneously. $12/\bar{8} = "0"$ will enable the MSB's or LSB's as determined by the $A_0$ line.

TABLE III. Control Input Truth Table.

CE	CS	R/C	12/8	A <sub>0</sub>	Operation
0	X	X	X	X	None
X	1	X	X	X	None
↑	0	0	X	0	Initiate 12-bit conversion
↑	0	0	X	1	Initiate 8-bit conversion
1	↓	0	X	0	Initiate 12-bit conversion
1	↓	0	X	1	Initiate 8-bit conversion
1	0	↓	X	0	Initiate 12-bit conversion
1	0	↓	X	1	Initiate 8-bit conversion
1	0	1	1	X	Enable 12-bit output
1	0	1	0	0	Enable 8 MSBs only
1	0	1	0	1	Enable 4 LSBs plus 4 trailing zeros

stand-alone mode is used in systems containing dedicated input ports which do not require full bus interface capability.

Conversion is initiated by a high-to-low transition of R/C. The three-state data output buffers are enabled when R/C is high and STATUS is low. Thus, there are two possible modes of operation; conversion can be initiated with either positive or negative pulses. In either case the R/C pulse must remain low for a minimum of 50nsec.

Figure 4 illustrates timing when conversion is initiated by an R/C pulse which goes low and returns to the high state during the conversion. In this case, the three-state outputs go to the high-impedance state in response to the falling edge of R/C and are enabled for external access of the data after completion of the conversion. Figure 5 illustrates the timing when conversion is initiated by a positive R/C pulse. In this mode the output data from the previous conversion is enabled during the positive portion of R/C. A new conversion is started on the falling edge of R/C, and the three-state outputs return to the high-impedance state until the next occurrence of a high R/C pulse. Table IV lists timing specifications for stand-alone operation.

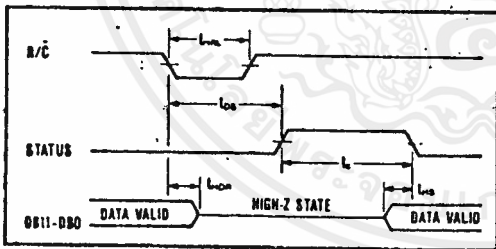


FIGURE 4. R/C Pulse Low — Outputs Enabled After Conversion.

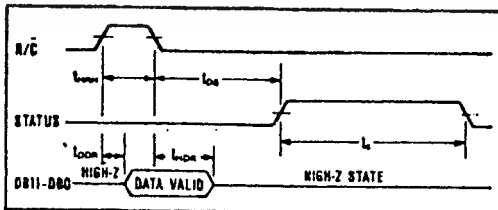


FIGURE 5. R/C Pulse High — Outputs Enabled Only

TABLE IV. Stand-Alone Mode Timing.

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Units
t <sub>low</sub>	Low R/C Pulse Width	50			ns
t <sub>os</sub>	STS Delay from R/C			260	ns
t <sub>on</sub>	Data Valid After R/C Low	25			ns
t <sub>is</sub>	STS Delay After Data Valid	300	500	1000	ns
t <sub>oh</sub>	High R/C Pulse Width	150			ns
t <sub>oac</sub>	Data Access Time			150	ns

FULLY CONTROLLED OPERATION

Conversion Length

Conversion length (8-bit or 12-bit) is determined by the state of the A<sub>0</sub> input, which is latched upon receipt of a conversion start transition (described below). If A<sub>0</sub> is latched high, the conversion continues for 8 bits. The full 12-bit conversion will occur if A<sub>0</sub> is low. If all 12 bits are read following an 8-bit conversion, the 3LSBs (DB0/DB2) will be low (logic 0) and DB3 will be high (logic 1). A<sub>0</sub> is latched because it is also involved in enabling the output buffers. No other control inputs are latched.

CONVERSION START

The converter is commanded to initiate conversion by a transition occurring on any of three logic inputs (CE, CS, and R/C) as shown in Table III. Conversion is initiated by the last of the three to reach the required state and thus all three may be dynamically controlled. If necessary, all three may change states simultaneously, and the nominal delay time is the same regardless of which input actually starts conversion. If it is desired that a particular input establish the actual start of conversion, the other two should be stable a minimum of 50nsec prior to the transition of that input. Timing relationships for start of conversion timing are illustrated in Figure 6. The specifications for timing are contained in Table V.

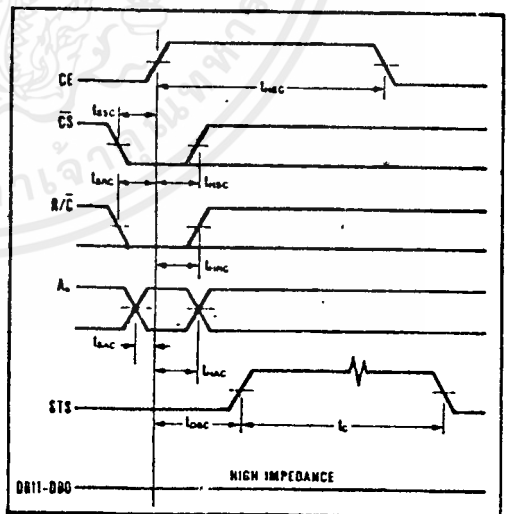


FIGURE 6. Conversion Cycle Timing.

TABLE V. Timing Specifications.

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Units
<b>Convert Mode</b>					
$t_{osc}$	STS delay from CE		100		ns
$t_{w,CE}$	CE Pulse width	50	30	200	ns
$t_{s,CS}$	$\overline{CS}$ to CE setup	50	20		ns
$t_{h,CS}$	$\overline{CS}$ low during CE high	50	20		ns
$t_{s,R/C}$	R/C to CE setup	50	0		ns
$t_{h,R/C}$	R/C low during CE high	50	20		ns
$t_{s,A_0}$	$A_0$ to CE setup	0	0		ns
$t_{h,A_0}$	$A_0$ valid during CE high	50	20		ns
$t_c$	Conversion time, 12 bit cycle	15	20	25	$\mu$ s
	8 bit cycle	10	13	17	$\mu$ s
<b>Read Mode</b>					
$t_{acc}$	Access time from CE		75	150	ns
$t_{vld}$	Data valid after CE low	25	35		ns
$t_{ofd}$	Output float delay		100		ns
$t_{s,CS}$	$\overline{CS}$ to CE setup	50	0	150	ns
$t_{s,R/C}$	R/C to CE setup	0	0		ns
$t_{s,A_0}$	$A_0$ to CE setup	50	25		ns
$t_{h,CS}$	$\overline{CS}$ valid after CE low	0	0		ns
$t_{h,R/C}$	R/C high after CE low	0	0		ns
$t_{h,A_0}$	$A_0$ valid after CE low	50	25		ns
$t_{s,STS}$	STS delay after data valid	300	500	1000	ns

NOTE: Specifications are at +25°C and measured at 50% level of transitions

The STATUS output indicates the current state of the converter by being in a high state only during conversion. During this time the three state output buffers remain in a high-impedance state, and therefore data cannot be read during conversion. During this period additional transitions of the three digital inputs which control conversion will be ignored, so that conversion cannot be prematurely terminated or restarted. However, if  $A_0$  changes state after the beginning of conversion, any additional start conversion transition will latch the new state of  $A_0$ , possibly resulting in an incorrect conversion length (8 bits vs 12 bits) for that conversion.

**READING OUTPUT DATA**

After conversion is initiated, the output data buffers remain in a high-impedance state until the following four logic conditions are simultaneously met: R/C high, STATUS low, CE high, and  $\overline{CS}$  low. Upon satisfaction of these conditions the data lines are enabled according to the state of inputs  $I2/8$  and  $A_0$ . See Figure 7 and Table V for timing relationships and specifications.

In most applications the  $I2/8$  input will be hard-wired in either the high or low condition, although it is fully TTL- and CMOS-compatible and may be actively driven if desired. When  $I2/8$  is high, all 12 output lines (DB0-DB11) are enabled simultaneously for full data word transfer to a 12-bit or 16-bit bus. In this situation the  $A_0$  state is ignored.

When  $I2/8$  is low, the data is presented in the form of two 8-bit bytes, with selection of the byte of interest

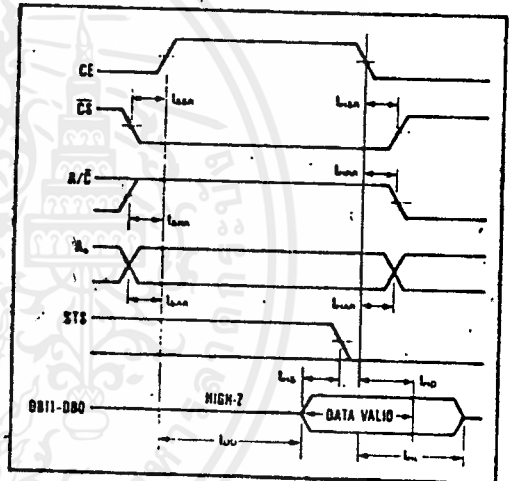


FIGURE 7. Read Cycle Timing.

accomplished by the state of  $A_0$  during the read cycle. Connection of the ADCS74A to an 8-bit bus for transfer of left-justified data is illustrated in Figure 8. The  $A_0$  input is usually driven by the least significant bit of the address bus, allowing storage of the output data word in two consecutive memory locations.

When  $A_0$  is low, the byte addressed contains the 8MSBs. When  $A_0$  is high, the byte addressed contains the 4LSBs from the conversion followed by four logic zeros which have been forced by the control logic. The left-justified

		Word 1								Word 2							
Processor		DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
Converter		DB11	DB10	DB9	DB8	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0	0	0	0	0

FIGURE 8. 12 Bit Data Format for 16-Bit Systems.

formats of the two 8-bit bytes are shown in Figure 8. The design of the ADC574A guarantees that the  $A_n$  input may be toggled at any time with no damage to the converter; the outputs which are tied together as illustrated in Figure 9 cannot be enabled at the same time.

In the majority of applications the read operation will be attempted only after the conversion is complete and the STATUS output has gone low. In those situations requiring the earliest possible access to the data, the read may be started as much as  $1.15\mu\text{sec}$  ( $t_{DD\max} + t_{HS\max}$ ) before STATUS goes low. Refer to Figure 7 for these timing relationships.

### ORDERING INFORMATION

Model	Temperature Range	Linearity Error, max ( $T_{min}$ to $T_{max}$ )	Resolution, No Missing Codes ( $T_{min}$ to $T_{max}$ )	Full-Scale TC, max (ppm/°C)
ADC574AJH	-0°C to +75°C	±1LSB	11 Bits	±45
ADC574AKH	0°C to +75°C	±1/2LSB	12 Bits	±25
ADC574ASH	-55°C to +125°C	±1LSB	11 Bits	±50
ADC574ATH	-55°C to +125°C	±1LSB	12 Bits	±25

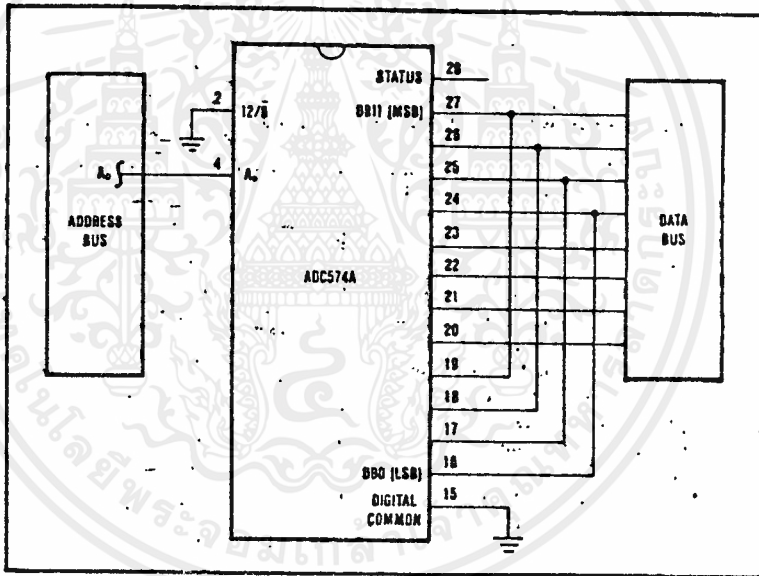


FIGURE 9. Connection to an 8-bit Bus.