

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปริญญาบัตร

เครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล

DIGITAL TEMPERATURE INDICATOR



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**66732**.....
วัน,เดือน,ปี - 8 พ.ย. 2549

b. 11660422
i.

ปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ ปีการศึกษา 2548 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อ เครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล
Digital Temperature Indicator

ชื่อนักศึกษา 1. นายวีระเวทย์ สุวรรณรัตน์ รหัสประจำตัว 47035368
2. นายอนุวัฒน์ ศรีสุวรรณ รหัสประจำตัว 47035376

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา อ.อมรชัย ชัยชนะ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
1. รศ.วิสุทธิ์ สุนทรภณพงศ์	วิสุทธิ์ สุนทรภณพงศ์
2. อ.อมรชัย ชัยชนะ	อมรชัย ชัยชนะ
3. อ.พรพิมล ฉายรัตน์	พรพิมล ฉายรัตน์
4. อ.ปิยะ จิตธรรมมาภิรมย์	ปิยะ จิตธรรมมาภิรมย์
5. อ.สุระชัย พิมพ์สาลี	สุระชัย พิมพ์สาลี

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันศุกร์ที่ 28 เดือนเมษายน พ.ศ. 2549 เวลา 9.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.310 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผศ.สุรสิทธิ์ รัตวี)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. 2549



<BT481152>

เครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัล
Digital Temperature Indicator

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัล
2. เพื่อออกแบบวงจรเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัล
3. เพื่อสร้างเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัล
4. เพื่อทดสอบการใช้เครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัล
5. เพื่อนำเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัลไปใช้งานได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้เกี่ยวกับการทำงานของเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัล
2. ได้แบบวงจรของเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัล
3. ได้เครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัล
4. ได้ผลการทำงานของการใช้เครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัล
5. ได้เครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัลที่นำไปใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	เครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล	
นักศึกษา	นายวีระเวทย์	สุวรรณรัตน์
	นายอนุวัฒน์	ศรีสุวรรณนท์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์อมรชัย	ชัยชนะ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์สุพงษ์	สิริพงศ์ดี
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต	
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2548	

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล ซึ่งหลักการทำงานจะประกอบด้วย ส่วนการวัดจะใช้เทอร์โมคัปเปิลเป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิแล้วส่งสัญญาณไปที่วงจรขยายสัญญาณการวัด เพื่อขยายสัญญาณการวัดให้เป็นสัญญาณมาตรฐาน แล้วส่งไปยังวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล ส่งไปยังภาคประมวลผลโดยใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ MCS-51 ในการประมวลผล แล้วส่งต่อไปยังส่วนแสดงผลทางหน้าจอแอลซีดี

วัตถุประสงค์ของการจัดทำโครงการนี้ สำหรับใช้เป็นอุปกรณ์การสอนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนการสอน โดยเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอลนี้ สามารถวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล 3 แบบ คือแบบ T ที่อุณหภูมิ 0 - 400 องศาเซลเซียส แบบ J ที่อุณหภูมิ 0 - 700 องศาเซลเซียส และแบบ K ที่อุณหภูมิ 0 - 1,300 องศาเซลเซียส มีค่าความเที่ยงตรง $\pm 2\%$ ที่ Full Scale และสามารถตั้งค่า Alarm ได้

จากการทดสอบใช้เครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล ปรากฏว่าสามารถวัดแล้วแสดงผลได้ โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลได้ทั้ง 3 แบบ คือแบบ T, J, K แต่มีช่วงอุณหภูมิต่างๆ ที่ค่าอุณหภูมิความผิดพลาดมากกว่า $\pm 2\%$ และสามารถตั้งค่า Alarm ได้ สามารถนำเครื่องนี้ไปใช้เป็นอุปกรณ์การเรียนการสอนในชั้นเรียนได้

II

Thesis Title	Digital Temperature Indicator
Students	Mr.Veeravat Suvanrat Mr.Anuwat Sretuwanon
Advisor	Mr.Amornchai Chaichana
Co-Advisor	Mr.Surapong Siripongdee
Education Level	Bachelor of Science in Industrial Education
Program in	Industrial Instrument Technology
Academic Year	2005

ABSTRACT

The thesis acquaints with a digital temperature Indicator. The principle begins with a temperature measurement by the Thermocouple unit which immediately signs the temperature to the amplified unit in order to convert into a standard signal. Shortly afterward, the standard signal is transformed from the analog signal to the digital one. All digital signals are later processed by the MCS-51 Micro Controller. The output will be indicated on a LCD monitor.

The purpose of the thesis is to effectively facilitate both current and prospective students as an academic support. The digital temperature meter can accept three levels of the temperature range by using of the Thermocouple. Firstly, T-type can measure temperature from 0-400° Celsius. Secondly, J-type can gauge the range of the temperature from the freezing point to 700 centigrade degree. Finally, as for the temperature range of 0-1,300° Celsius, K-type is functionally in work. The digital temperature meter has precision with not more or less than two percentages at the full scale. Also, the meter can usefully be an alarm depending upon operation use.

The research finds that the digital temperature Indicator smoothly functions on all three types of the temperature range i.e. T-type, J-type and K-type. Nevertheless, the meter has an error more than two percentages when used in the low temperature. An alarm feature can practically operate. In short, the digital temperature meter responses to the purpose of this thesis. It can be allowed to go for an academic tool.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ก็เพราะได้รับความอนุเคราะห์ จากอาจารย์อมรชัย ชัยชนะ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์และอาจารย์สุพงษ์ สิริพงศ์ดี อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ร่วม รวมทั้งอาจารย์ในภาควิชาครุศาสตร์ศึกษาศาสตร์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ทุกท่าน ที่ได้ให้คำปรึกษาและร่วมทั้งการแนะนำแนวทางการแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ จนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ไขให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงานนี้ ขอขอบคุณห้องสมุด คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สำนักหอสมุดกลางและสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ที่ได้อำนวยความสะดวกในการค้นคว้าข้อมูลต่างๆ ขอขอบคุณ บริษัท วิลโล โกลบอล จำกัด ที่ได้แนะนำสิ่งต่างๆ และเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการทดลอง สุดท้ายที่ควรระลึกถึงอย่างยิ่ง ขอขอบพระคุณบิดาและมารดาผู้ที่ยิ่งใหญ่ที่สุดในชีวิตที่คอยเป็นกำลังใจและให้ความสนับสนุนด้านการศึกษามาตลอดชีวิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 จุดมุ่งหมายของโครงการ	1
1.3 สมมุติฐานของการจัดทำโครงการ	1
1.4 ขีดความสามารถของโครงการ	1
1.5 ขั้นตอนของการทำโครงการ	2
1.6 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	4
2.2.1 โครงสร้างของ MCS-51	4
2.2.2 การจัดขาต่างๆ ของ MCS-51	5
2.2.3 โครงสร้างของพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (I/O Port Structure)	7
2.2.4 โครงสร้างหน่วยความจำ	8
2.2.5 หน่วยความจำใช้งานทั่วไป	8
2.2.6 รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (Special Function Register)	10
2.2.7 หน่วยความจำภายนอก (External Memory)	12
2.2.8 Reset Operation	14
2.3 ไมโครแอลซีดี	14
2.3.1 ส่วนประกอบของไมโครแอลซีดี	14
2.3.2 โครงสร้างภายในของตัวควบคุมไมโครแอลซีดี	15
2.4 วงจรขยายสัญญาณการวัด	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.5 การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	19
2.6 เทอร์โมคัปเปิล	21
2.6.1 เทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน	21
2.6.2 เทอร์โมคัปเปิลแบบ Nonstandard	27
บทที่ 3 การสร้างและการทำงาน	28
3.1 กล่าวนำ	28
3.2 ฮาร์ดแวร์	28
3.2.1 การออกแบบวงจรขยายสัญญาณการวัด	29
3.2.2 การออกแบบวงจรการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	29
3.2.3 การออกแบบวงจรประมวลผลกลาง	32
3.2.4 การออกแบบวงจรคีย์สวิตช์	33
3.2.5 การออกแบบวงจรแสดงผล	34
3.2.6 การออกแบบวงจรแหล่งจ่าย	35
3.3 ซอฟต์แวร์	36
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	37
4.1 กล่าวนำ	37
4.2 การทดลองการทำงานวงจรขยายสัญญาณการวัด	37
4.2.1 ขั้นตอนการทดลอง	37
4.2.2 ผลการทดลอง	38
4.3 การทดลองการทำงานวงจรการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	38
4.3.1 ขั้นตอนการทดลอง	38
4.3.2 ผลการทดลอง	38
4.4 การทดลองการทำงานเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัล	39
4.4.1 ขั้นตอนการทดลอง	39
4.4.2 ผลการทดลอง	41
บทที่ 5 บทสรุป	42
5.1 สรุป	42
5.2 ปัญหาและวิธีการแก้ไข	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
5.3 แนวทางการพัฒนา	43
บรรณานุกรม	44
ภาคผนวก ก แสดงภาพเครื่องต้นแบบ การติดตั้งและการใช้งาน	45
ภาคผนวก ข ประกอบด้วยวงจรและแผ่นวงจรพิมพ์	50
ภาคผนวก ค แสดงรายการอุปกรณ์ที่ใช้ในงานในแต่ละวงจร	55
ภาคผนวก ง แสดงรายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์	59
ภาคผนวก จ แสดงผังงานของโปรแกรม	79
ภาคผนวก ฉ แสดงรหัสต้นฉบับของโปรแกรม	81
ภาคผนวก ช เป็นคู่มือการใช้เครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัล	98
ภาคผนวก ซ รายงานผลการทดสอบ	105
ประวัติผู้แต่ง	108

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน	25
2.2 สภาวะแวดล้อมในการใช้งานเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานโดยไม่ต้องใช้ Protecting Tube	26
2.3 ช่วงอุณหภูมิของการสอบเทียบค่าเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานและค่าผิดพลาดที่อยู่ในพิสัย	26
3.1 การควบคุมบิตของไมโครคอมพิวเตอร์	31
4.1 การทดลองวงจรขยายสัญญาณการวัด	37
4.2 การทดลองวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	38
4.3 ผลการทดลองเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัล แบบ T	39
4.4 ผลการทดลองเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัล แบบ J	40
4.5 ผลการทดลองเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัล แบบ K	40
ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรประมวลผลกลาง	56
ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	57
ค.3 รายการอุปกรณ์ของวงจรขยายสัญญาณการวัด	57
ค.4 รายการอุปกรณ์ของวงจรแสดงผล	58
ค.5 รายการอุปกรณ์ของวงจรแหล่งจ่าย	58
ค.6 รายการอุปกรณ์ของวงจรคีย์สวิตช์	58
ช.1 การแก้ปัญหาเบื้องต้น	104
ช.2 ข้อมูลจำเพาะ	104

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์	5
2.2 ตำแหน่งขาต่างๆ ของ MCS-51	6
2.3 พอร์ตอินพุตและเอาต์พุต	7
2.4 บัสอินพุต MCS-51	7
2.5 โครงสร้างหน่วยความจำ	9
2.6 แผนผังกลุ่มสัญญาณที่ใช้อ่านข้อมูล	13
2.7 แผนผังเวลาการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก	14
2.8 โครงสร้างของชิปควบคุมไมโครแอลซีดีเบอร์ HDD44780	15
2.9 วงจรขยายสัญญาณการวัด	19
2.10 การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล	20
2.11 ความผิดพลาดของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล	21
2.12 โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล	22
3.1 ผังการทำงานของเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล	28
3.2 วงจรขยายสัญญาณการวัด	29
3.3 โครงสร้างการทำงานของ ADS7841	30
3.4 การทำงานของวงจรสลับสัญญาณอินพุตของ ADS7841	31
3.5 วงจรการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล	32
3.6 วงจรประมวลผลกลาง	33
3.7 วงจรคีย์สวิตช์	34
3.8 การต่อใช้งานของไมโครแอลซีดี	34
3.9 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	35
3.10 แผนผังการทำงานของเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล	36
ก.1 ด้านหน้าของเครื่อง	46
ก.2 ด้านหลังของเครื่อง	46
ก.3 ด้านในของเครื่อง	47
ก.4 บอร์ดประมวลผล	47
ก.5 จอแสดงผลแบบ LCD ขนาด 20×2	48
ก.6 วงจรแหล่งจ่ายไฟ	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.7 การต่อใช้งาน	49
ข.1 วงจรประมวลผลกลางและวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	51
ข.2 แผงวงจรพิมพ์วงจรประมวลผลกลางและวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	52
ข.3 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผงวงจรพิมพ์วงจรประมวลผลกลางและวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	52
ข.4 วงจรขยายสัญญาณการวัด	53
ข.5 แผงวงจรพิมพ์วงจรขยายสัญญาณการวัด	53
ข.6 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผงวงจรพิมพ์วงจรขยายสัญญาณการวัด	54
จ.1 ฟังก์ชันของโปรแกรมเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัล	80
ช.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัล (ด้านหน้า)	100
ช.2 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัล (ด้านหลัง)	101
ช.3 การตั้งค่า Low Alarm (Event 2)	102
ช.4 หน้าจอแสดงผลปกติ	102
ช.5 การเลือกการใช้งานกับไม่ใช้งาน Low Alarm	102
ช.6 การตั้งค่า High Alarm (Event 1)	103
ช.7 การเลือกการใช้งานกับไม่ใช้งาน High Alarm	103

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ เครื่องมือการวัดระบบควบคุมทางอุตสาหกรรมกำลังมีบทบาทและมีความสำคัญอย่างมากในโรงงานอุตสาหกรรม เพราะเครื่องมือวัดเป็นเครื่องมือที่ทำงานในส่วนการควบคุมคุณภาพ ผลิตภัณฑ์ปริมาณหรือในส่วนกระบวนการต่างๆ เป็นส่วนที่ต้องการความแม่นยำและความถูกต้องสูงทำให้มีราคาสูงตามคุณภาพและบางครั้งต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งถ้านำเข้าจากต่างประเทศถ้าอุปกรณ์มีปัญหาที่ต้องเสียเวลาส่งซ่อมถึงต่างประเทศด้วยทำให้เป็นการเสียเวลาและเสียค่าใช้จ่ายมากขึ้นด้วย และในด้านการศึกษาก็จะไม่มีตัวเครื่องจริงให้ทดสอบเพราะราคาสูง ศึกษาแต่ทฤษฎีจึงทำให้ขาดทักษะ ในการปฏิบัติงานจริง

1.2 จุดมุ่งหมายของโครงการ

คณะผู้จัดทำได้แนวคิดประดิษฐ์อุปกรณ์ เครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอลขึ้นมา โดยเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอลนี้ ประกอบด้วยในส่วนของการวัดคือใช้เทอร์โมคัปเปิล Type T Type J และ Type K ในส่วนของวงจรมีวงจรขยายสัญญาณการวัด วงจรเปลี่ยนสัญญาณจากแอนะล็อกเป็นดิจิตอล ตัวประมวลผลกลางใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์และแสดงผลออกตัว LCD ทั้งหมดรวมกันเป็น เครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล โครงการนี้จะประโยชน์กับผู้สนใจในระบบการวัดคุมทางอุตสาหกรรมและการเรียนการสอนในวิชาเครื่องมือวัดและควบคุมทางอุตสาหกรรมต่างๆ ในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงและระดับปริญญาตรีด้วย

1.3 สมมุติฐานของการจัดทำโครงการ

เมื่อได้ผ่านการศึกษาทดสอบใช้งานเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอลแล้ว จะทำให้เกิดทักษะมีความชำนาญประสบการณ์ในการใช้งานปฏิบัติกับเครื่องจริงๆ มีความรู้เกี่ยวกับการทำงานของเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล การวัดอุณหภูมิและการนำตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ไปประยุกต์ใช้งาน

1.4 ขีดความสามารถของโครงการ

โครงการนี้มีขีดความสามารถดังนี้

1. สามารถตั้งค่า Alarm ได้
2. ค่าความเที่ยงตรง (Accuracy) $\pm 2\%$ ที่ Full Scale

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สามารถวัดแล้วแสดงผลบนจอแอลซีดี โดยแสดงผลค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมคัปเปิล ดังนี้

3.1 Type T ที่อุณหภูมิ 0 - 400 °C

3.2 Type J ที่อุณหภูมิ 0 - 700 °C

3.3 Type K ที่อุณหภูมิ 0 - 1,300 °C

1.5 ขั้นตอนของการทำโครงการ

โครงการนี้ประกอบด้วยฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ซึ่งการทำงานในระยะแรกจะเริ่มต้นจากการศึกษาข้อมูลและทำในส่วนของฮาร์ดแวร์หลังจากนั้นเมื่อสร้างฮาร์ดแวร์ได้ระดับหนึ่งแล้วก็จะเริ่มเขียนโปรแกรมทดสอบพร้อมกับการทำฮาร์ดแวร์เพิ่มเติม และเมื่อทำโครงการเสร็จเรียบร้อยแล้วจะให้ผู้ทรงคุณวุฒิทำการประเมินเพื่อหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอลต่อไป

1.6 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ แบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อความสะดวกต่อการศึกษาและทำความเข้าใจ ในแต่ละบทจะประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปฏิญานิพนธ์ จุดมุ่งหมายของโครงการ สมมติฐานของการจัดทำโครงการ ชี้ความสามารถของโครงการ ขั้นตอนของการทำโครงการ และเนื้อหาในบทต่างๆ โดยสังเขป

บทที่ 2 ประกอบด้วย ทฤษฎีต่างๆ เกี่ยวกับโครงสร้างของเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล องค์ประกอบของเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล หลักการทำงานของ เครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล ไมโครคอนโทรลเลอร์ เทอร์โมคัปเปิล โมดูลแอลซีดี วงจรขยายสัญญาณการวัด และวงจรเปลี่ยนสัญญาณ

บทที่ 3 กล่าวถึงเนื้อหาเกี่ยวกับ การออกแบบและการสร้าง ขั้นตอนการออกแบบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ รวมทั้งวงจรการทำงาน เช่น วงจรขยายสัญญาณการวัดและวงจรเปลี่ยนสัญญาณ พร้อมทั้งการทำงานของส่วนประกอบต่างๆ

บทที่ 4 ประกอบด้วย การทดลองและผลการทดลอง เป็นส่วนที่ทำการทดสอบการทำงานของเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล

บทที่ 5 เป็นการสรุปผลการจัดทำโครงการ ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางในการแก้ไข รวมทั้งแนวทางการพัฒนา

ภาคผนวก ก แสดงภาพเครื่องต้นแบบ การติดตั้งและการใช้งาน

ภาคผนวก ข ประกอบด้วยวงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค แสดงรายการอุปกรณ์ที่ใช้ในงานในแต่ละวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง แสดงรายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในโครงการ

ภาคผนวก จ แสดงผังงานของโปรแกรม

ภาคผนวก ฉ แสดงรหัสต้นฉบับของโปรแกรม

ภาคผนวก ช เป็นคู่มือการใช้เครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล

ภาคผนวก ซ รายงานผลการทดสอบเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กล่าวนำ

ปฏิญานพนธ์ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการสำคัญที่ใช้ในโครงงานโดยจะประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เพื่อที่จะเป็นตัวประมวลผลกลางของเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัล ตัววัดคือตัวเทอร์โมคัปเปิลและวงจรที่ประกอบของเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัล

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ผลิตโดยบริษัทอินเทล มีการนำมาใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลายในปี ค.ศ. 1980 ต่อมาบริษัทฟิลลิปส์และซีเมนส์ ได้รับลิขสิทธิ์ในการผลิตจำหน่ายและได้มีการเพิ่มประสิทธิภาพมากขึ้น

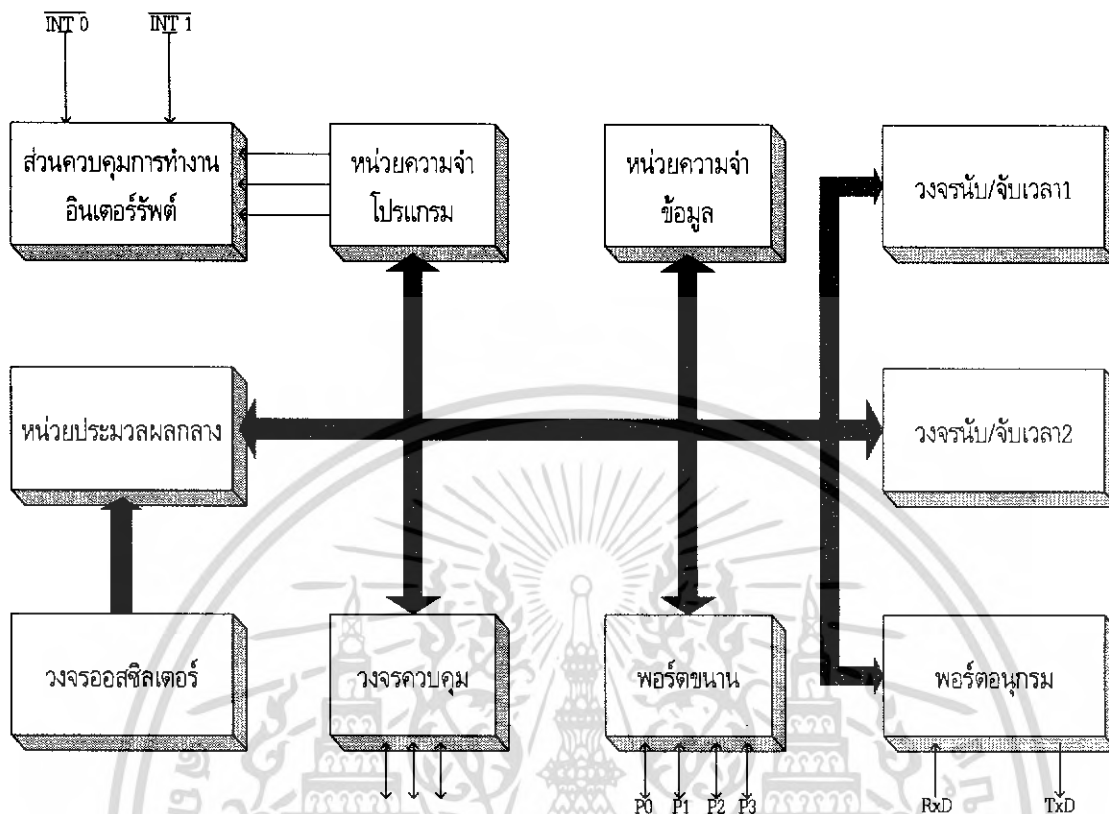
MCS-51 ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์หลายรุ่นซึ่งจะมีสถาปัตยกรรมพื้นฐานที่เหมือนกัน เพียงแต่มีขนาดของหน่วยความจำภายในและหน่วยทำงานภายในที่แตกต่างกัน

2.2.1 โครงสร้างของ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีด้วยกันหลายเบอร์ขึ้นกลับโครงสร้างภายในของมันบางเบอร์จะมีหน่วยความจำภายในแบบ ROM บางเบอร์เป็นแบบ EPROM บางเบอร์มี RAM ภายใน 128 ไบต์ บางเบอร์มี 256 ไบต์ เป็นต้น คุณสมบัติที่สำคัญของ MCS-51 มีดังนี้

1. มีหน่วยความจำ ROM 4K bytes
2. มีหน่วยความจำ RAM 128 bytes
3. มีพอร์ต I/O ขนาด 8 บิต 4 พอร์ต
4. มี Timer 16 บิต 2 ตัว
5. สามารถอินเทอร์รัพต์ได้ 5 แหล่ง
6. มีวงจรออสซิลเลเตอร์และวงจรมหาพีคาบนิช
7. มีพอร์ตอนุกรมที่สามารถรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex ความเร็วสูง
8. อ้างหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 64K
9. อ้างหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ 64K
10. สามารถประมวลผลที่ละบิตได้
11. สามารถอ้างหน่วยความจำแบบบิตได้ 210 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
12. ห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
13. ห้ามมิให้เผยแพร่หรือแจกจ่ายโดยไม่ได้รับอนุญาต
14. ห้ามมิให้ใช้เอกสารนี้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นที่ไม่ใช่การศึกษาค้นคว้า
15. ห้ามมิให้ใช้เอกสารนี้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นที่ไม่ใช่การศึกษาค้นคว้า
16. ห้ามมิให้ใช้เอกสารนี้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นที่ไม่ใช่การศึกษาค้นคว้า
17. ห้ามมิให้ใช้เอกสารนี้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นที่ไม่ใช่การศึกษาค้นคว้า
18. ห้ามมิให้ใช้เอกสารนี้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นที่ไม่ใช่การศึกษาค้นคว้า
19. ห้ามมิให้ใช้เอกสารนี้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นที่ไม่ใช่การศึกษาค้นคว้า
20. ห้ามมิให้ใช้เอกสารนี้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นที่ไม่ใช่การศึกษาค้นคว้า



รูปที่ 2.1 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

2.2.2 การจัดขาต่างๆ ของ MCS-51

ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 โครงสร้าง IC เป็นแบบ DIP มีขาทั้งหมด 40 ขาโดยขาต่างๆ จะใช้เป็นขาพอร์ตอินพุตและเอาต์พุต ขาสัญญาณควบคุม ขาตำแหน่งหน่วยความจำ และขาข้อมูล

1. ความหมายของขาต่างๆ มีดังนี้

พอร์ต 0 (Port 0) พอร์ต 0 ได้แก่ขาที่ 32-39 ของ MCS-51 สามารถใช้เป็นอินพุต เอาต์พุต ได้นอกจากนี้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกยังใช้เป็นขา Address Bus อีกด้วย

1.1 พอร์ต 1 (Port 1) พอร์ต 1 ได้แก่ขาที่ 1-8 เป็นพอร์ต 8 บิต สามารถอ้างที่ละบิตได้ คือ P1.0, P1.1, P1.7

1.2 พอร์ต 2 (Port 2) พอร์ต 2 ได้แก่ขาที่ 21-28 ใช้งาน 2 หน้าที คือใช้เป็นพอร์ต 8 บิต กับใช้หาแอดเดรส 8 บิต ในการอ้างหน่วยความจำภายนอก

1.3 พอร์ต 3 (Port 3) พอร์ต 3 ได้แก่ขาที่ 10-17 จะใช้งานสองหน้าที่ก็คือ เป็นอินพุตและ เอาต์พุต และใช้เป็นขาควบคุมต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. PSEN (Program Store Enable)

ขา ESPN เป็นขาที่ส่งสัญญาณออกคือขาที่ 29 ขานี้จะแอกทีฟเมื่อ MCS-51 ต้องการอ่าน Code โปรแกรมภายนอก โดยปกติถ้าหน่วยความจำภายนอกเป็น EPROM ขา PSEN จะต่อกับขา Output Enable (OE) ของ EPROM

3. ALE (Address Latch Enable)

เนื่องจากพอร์ต 0 สามารถใช้เป็นขาอ้างตำแหน่ง และขาข้อมูล จะมีขา ALE ได้แก่ขา 30 ขา นี้จะใช้ Multiplex สัญญาณ Address Bus ของ Port 0 ในการใช้งานระบบ MCS-51 นั้น จะต้องมียุโรปการมาต่อ

4. EA (External Access)

ขา EA ได้แก่ขาที่ 31 ถ้าขานี้เป็นลอจิก "1" จะใช้กับเบอร์ 8051/8052 เพื่อบอกว่าให้อ่านโปรแกรมจากหน่วยความจำโปรแกรมภายใน แต่ถ้าเป็นลอจิก "0" จะบอกให้ว่า MCS-51 ทำโปรแกรม โดยอ่านจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (ถ้าขา EA เป็น "0" ขา PSEN จะแอกทีฟ) ถ้าหากเป็นเบอร์ 8051/8052 ซึ่งมีหน่วยความจำโปรแกรมภายในและให้ขา EA เป็น "0" ซึ่งจะ Disabled ROM ภายในและจะอ่านโปรแกรมจาก EPROM ภายนอกแทน

5. RST (RESET)

ขา RST ได้แก่ขา 9 จะใช้ในการรีเซ็ต MCS-51 โดยจะให้ขานี้เป็นลอจิก "1" อย่างน้อย 2 Machine Cycles จึงจะรีเซ็ตระบบได้

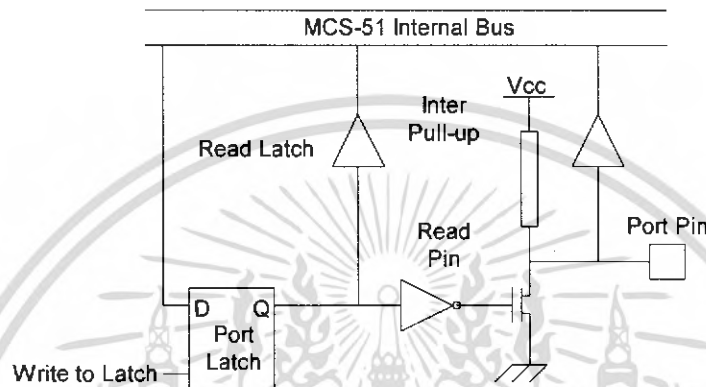
1	P1.0	VCC	40
2	P1.1	P0.0	39
3	P1.2	P0.1	38
4	P1.3	P0.2	37
5	P1.4	P0.3	36
6	P1.5	P0.4	35
7	P1.6	P0.5	34
8	P1.7	P0.6	33
9	RST	P0.7	32
10	P3.0	EA	31
11	P3.1	ALE	30
12	P3.2	PSEN	29
13	P3.3	P2.7	28
14	P3.4	P2.6	27
15	P3.5	P2.5	26
16	P3.6	P2.4	25
17	P3.7	P2.3	24
18	XTAL2	P2.2	23
19	XTAL1	P2.1	22
20	GND	P2.0	21

รูปที่ 2.2 ตำแหน่งขาต่างๆ ของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

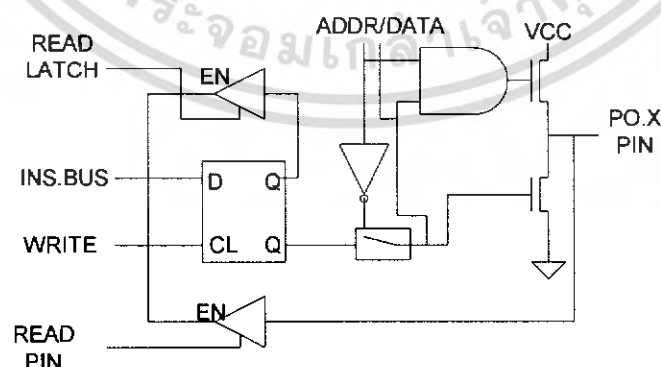
2.2.3 โครงสร้างของพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (I/O Port Structure)

ขาของพอร์ตแสดงโครงสร้างภายในได้ ดังรูปที่ 2.3 โดยจะมีโครงสร้างเป็น Field-effect Transistor ต่ออยู่กับขาภายนอกและมีความต้านทานต่อ Pull-up อยู่สำหรับพอร์ต 1, 2, 3 แต่ถ้าพอร์ต 0 และจะไม่มีความต้านทาน Pull-up ภายใน เพราะจะต้องใช้เป็นขา Address Bus และ Data Bus



รูปที่ 2.3 พอร์ตอินพุตและเอาต์พุต

พอร์ตนี้สามารถให้เป็นสัญญาณอินพุตกับอุปกรณ์ภายนอกได้ในการอ่านข้อมูลจากพอร์ตจะอ่านได้สองแบบ คือ Read Latch และ Read Pin โดย Read Latch หมายถึงการอ่านข้อมูลที่ถูก Latch เอาไว้เข้าสู่ภายในของ MCS-51 เช่นการทำคำสั่ง CPL P1.5 แต่ถ้าเป็นการ Read Pin จะเป็นการใช้พอร์ตเป็นอินพุต โดยจะอ่านจากขาไอซีเข้าสู่สกายน์โดยการอ่านแบบ Read Latch และ Read Pin จะมีสัญญาณมาควบคุมที่บัฟเฟอร์ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 บัฟเฟอร์อินพุต MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 โครงสร้างหน่วยความจำ

หน่วยความจำสำหรับ MCS-51 จะมี 2 ชนิด คือ ใช้หน่วยความจำที่ใช้โปรแกรม (ROM) กับใช้หน่วยความจำที่เก็บข้อมูลในการประมวลผล ใน 8051 จะมีหน่วยความจำภายในตั้งแต่ตำแหน่ง 00H ถึง FFH และสามารถอ้างหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 64K ตำแหน่ง สำหรับหน่วยความจำข้อมูลภายในนั้นจะแบ่งออกได้ดังนี้

1. ชุดรีจิสเตอร์ 4 ชุด แต่ละชุดเรียกว่ารีจิสเตอร์แบงก์ ที่ตำแหน่ง 00H ถึง 1FH โดยแต่ละชุดประกอบด้วยรีจิสเตอร์ R0 ถึง R7
2. หน่วยความจำที่สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ ตำแหน่ง 20H ถึง 2 FH
3. หน่วยความจำใช้งานทั่วไปตำแหน่ง 20H ถึง FFH
4. รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ ตำแหน่ง 80H ถึง FFH

2.2.5 หน่วยความจำใช้งานทั่วไป

จะเห็นได้ว่า 8051 จะมีหน่วยความจำ RAM สำหรับใช้งานทั่วจำนวน 80 ไบต์ ตั้งแต่ตำแหน่ง 30H ถึง 7FH ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการอ่านข้อมูลที่อยู่ในตำแหน่ง 5FH มาเก็บในรีจิสเตอร์ A ซึ่งสามารถเขียนคำสั่งได้เป็น

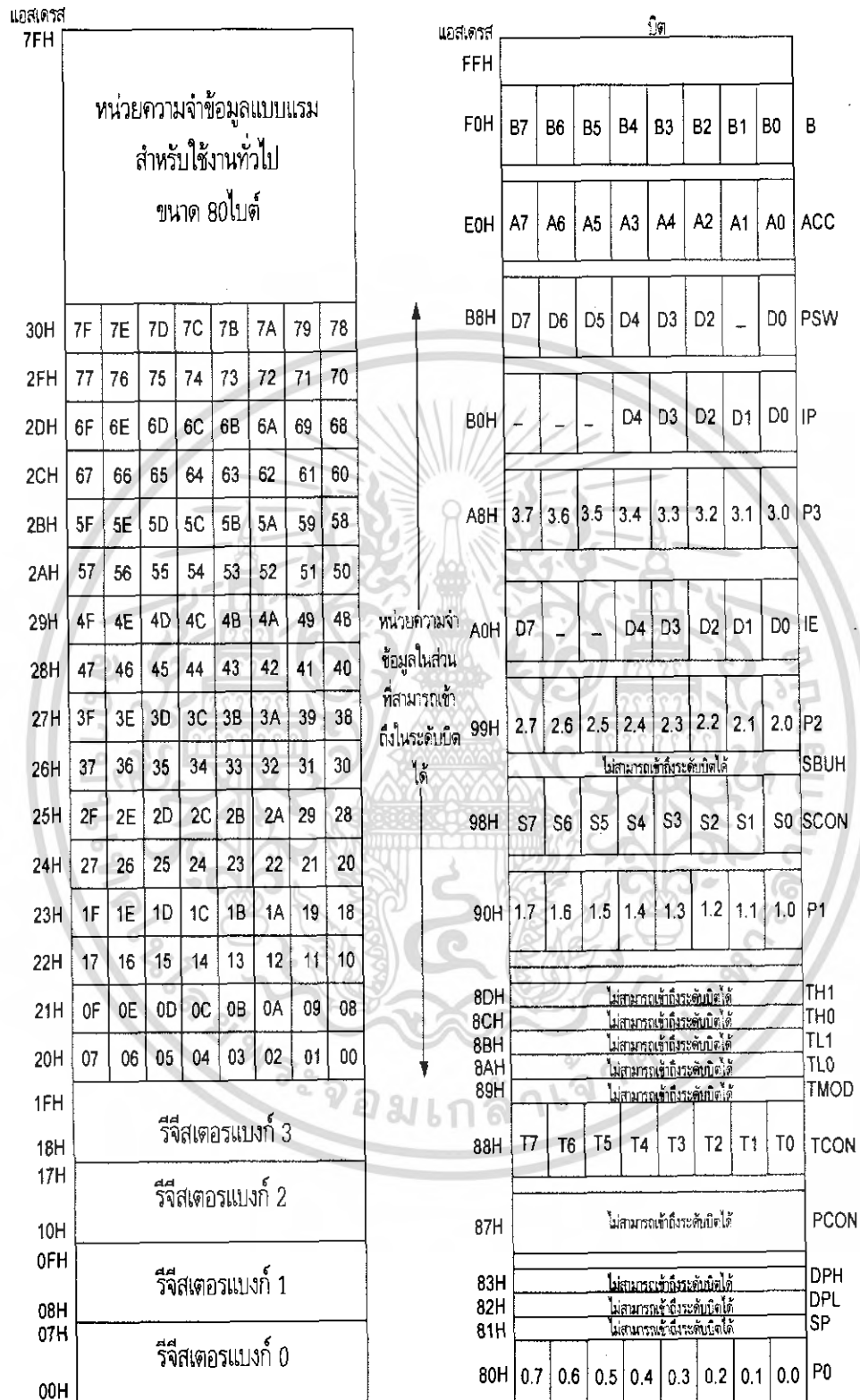
```
MOV A,5FH
```

การย้ายข้อมูลนี้เป็นการย้ายข้อมูลจากตำแหน่งที่เก็บโดยตรง (ตำแหน่ง 5FH) เรียกว่าการอ้างตำแหน่งแบบ Direct Addressing Mode นอกจากนี้ยังสามารถอ่านข้อมูลโดยใช้รีจิสเตอร์ R0 หรือ R1 การชี้ตำแหน่งได้เรียกว่าการอ้างตำแหน่งแบบ Indirect Addressing Mode ตัวอย่างเช่น

```
MOV R0,#5FH
```

```
MOV A,@R0
```

การเขียนโปรแกรมด้านบน หมายความว่า เก็บค่า 5FH ไว้ใน R0 จากนั้นอ่านค่าที่ R0 ซึ่งอยู่คือตำแหน่ง 5FH มาเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ A ถ้าในตำแหน่ง 5FH มี 80 อยู่ ค่า 80 จะถูกเก็บใน A



รูปที่ 2.5 โครงสร้างหน่วยความจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Bit-addressable RAM

ในหน่วยความจำที่สามารถอ้างข้อมูลได้ในระดับบิตนั้น ได้ตั้งแต่ตำแหน่ง 20H ถึง 2FH รวม 16 ไบต์ โดยสามารถ SET, CLEAR, AND, OR ทางลอจิกได้และจำนวนบิตที่ใช้งานได้ทั้งหมดมีจำนวน 128 บิต (8 บิต $\times$ 16 ไบต์) ถ้าต้องการเซตบิตตำแหน่งที่ 67H สามารถเขียนคำสั่งได้ดังนี้

SETB 67H

2. Register Banks

หน่วยความจำข้อมูลภายในเป็นชุดของรีจิสเตอร์ ซึ่งมีทั้งหมด 32 ตำแหน่งโดยจะมี 4 ชุด แต่ละชุดมีรีจิสเตอร์ 8 ตัว คือ R0 ถึง R7 โดยชุดแรกจะอยู่ในตำแหน่ง 00H-07H ถ้าหากอ่านค่าจากตำแหน่ง 05H มาเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ A จะเขียนโปรแกรมได้ดังนี้

MOV A, R5

2.2.6 รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (Special Function Register)

ใน MCS-51 รีจิสเตอร์จะให้หน่วยความจำ RAM ภายในชิพ โดยส่วนหนึ่งเป็นรีจิสเตอร์พิเศษ (Special-Function Register : SFR) ซึ่งมีทั้งหมด 21 ตัว โดยเฉพาะตัวรีจิสเตอร์พิเศษต่างๆจะเริ่มที่จากหน่วยความจำตั้งแต่ 80H ถึง FFH ซึ่งทั้งหมด 128 ตำแหน่ง ซึ่งแต่ละตัวจะเป็นรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษเพียง 21 ตำแหน่ง แต่ถ้าเป็น 8032/8051 จะใช้ 26 ตำแหน่งหรือมี SFR 26 ตัว

1. Program Status Word

รีจิสเตอร์ตัวนี้เรียกว่า PSW จะอยู่ในตำแหน่ง D0H ซึ่งสามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้โดยรีจิสเตอร์นี้จะเป็นตัวบอกสถานะต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ความหมายของแต่ละบิต

1.1 แฟล็กตัวทด Carry Flag (CF) บิตนี้เป็นบิตที่ 7 ของ PSW บิตนี้จะมีค่าสำคัญหากมีการกระทำทางวิทยาศาสตร์โดยบิตนี้จะ Set เมื่อเกิดการทดของบิตที่ 7 ขณะทำการบวกเลข หรือ Set เมื่อเกิดการยืมของบิตที่ 7 เมื่อเกิดการลบเลข

1.2 แฟล็กตัวช่วยทด Auxiliary Carry Flag เมื่อถูกการบวกแบบ Binary-Code-Decimal (BCD) บิต Auxiliary Carry Flag หรือบิตตัวช่วยทดจะถูก Set เมื่อมีการทดจากบิตที่ 3 ไปบิตที่ 4 หรือถ้าใน Lower Nibble มีค่าระหว่าง 0AH-0FH เนื่องจากรหัส BCD นี้มีค่าได้มากที่สุดแค่ 9 ถ้าหากมีการหารบวกเลขในแบบของ BCD ซึ่งจะต้องตามด้วยคำสั่ง DAA (Decimal Adjust Accumulator) เพื่อทำการปรับค่าที่มีค่าเกิน 9 โดยบวกเลข 6 เข้าไป จะทำให้เป็นรหัส BCD ที่แทนเลขฐานสิบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 1.3 แฟล็กศูนย์ Flag 0 เป็น Flag ที่ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ทั่วไป เอกสารนี้เป็นเอกสารนำเข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 บิตเลือกรีจิสเตอร์แบงก์ (Register Bank Select Bits) ที่ทราบมาแล้วว่าใน MCS-51 จะมีชุดรีจิสเตอร์อยู่ 4 ชุด ถ้าเลือกให้ชุดใดแอดที่พจะกำหนดได้ในบิต RS1 และ RS2 ของ PSW และจะ Clear ตัวเองเมื่อระบบถูกรีเซต ถ้าหากต้องการติดต่อกับรีจิสเตอร์ Bank3 โดยย้ายข้อมูลจาก R7 (ตำแหน่ง 1FH) มาเก็บใน Accumulator

1.5 แฟล็กโอเวอร์โฟลว์ Overflow Flag แฟล็ก OV จะถูก Set หลังจากการกระทำทางคณิตศาสตร์แล้วเกิด Overflow คือจำนวนที่เกิดจากการบวกหรือการลบ มีค่าเกินกว่าที่จำนวนไบต์จะเป็นไปได้คือ มากกว่า +128 หรือน้อยกว่า -128

1.6 บิตพาริตี (Parity Bit) พาริตีบิต (P) ซึ่งเป็นบิตที่บอกถึงค่าพาริตีบิตของรีจิสเตอร์ Accumulator ซึ่งอาจเป็นตัวตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลได้ โดยจะเซตหรือเคลียร์ ขึ้นอยู่กับผลที่เกิดขึ้นกับ Accumulator

2. รีจิสเตอร์ B (B Register)

รีจิสเตอร์ B จะอยู่ตำแหน่ง F0H ของหน่วยความจำข้อมูลภายใน เป็นรีจิสเตอร์ที่สามารถใช้ งานทั่วไปได้ โดยทั่วไปรีจิสเตอร์นี้จะใช้คูณหรือหารกับรีจิสเตอร์ Accumulator

3. ตัวชี้สแตค (Stack Pointer)

Stack Pointer (SP) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต อยู่ในตำแหน่ง 81H การเขียนค่าเข้าไปในตำแหน่งที่ SP ชี้อยู่ตำแหน่ง เรียกว่า "Pushing" สำหรับการอ่านค่า SP จะเพิ่มขึ้นหนึ่งก่อนที่จะเขียนข้อมูลลงไป และจะลดลงหนึ่งเมื่ออ่านข้อมูลมาแล้ว

4. รีจิสเตอร์ Data Pointer (DPTR)

รีจิสเตอร์ ใช้สำหรับชี้ตำแหน่งรหัสโปรแกรมหรือข้อมูลในหน่วยความจำต่างๆ โดยเป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต ซึ่งประกอบด้วยรีจิสเตอร์ 2 ตัว คือ DPL ตำแหน่งที่ 82H โดยจะเก็บเป็น 8 บิตต่ำ และ DPH ตำแหน่งที่ 83H โดยจะเก็บค่า 8 บิตสูง รีจิสเตอร์ทั้งสองตัวนี้จะรวมกันกลายเป็นรีจิสเตอร์ 16 บิต ถ้าหากต้องการ เก็บค่า 55H ไปยังตำแหน่งของหน่วยความจำข้อมูลภายนอกตำแหน่งที่ 1000H

5. รีจิสเตอร์พอร์ต (Port Register)

ใน MCS-51 ค่าของพอร์ตจะหมายถึงค่าของความจำด้วย หากต้องการส่งข้อมูล 1 ออกไปที่พอร์ต ก็เพียงแต่เขียนข้อมูลไปที่หน่วยความจำตำแหน่งที่พอร์ตนั้นอยู่ และถ้าหากต้องการจะอ่านข้อมูลจากพอร์ต ก็เพียงอ่านค่าจากตำแหน่งที่หน่วยความจำที่พอร์ตนั้นอยู่ใน MCS-51 พอร์ต 0 จะอยู่ที่ตำแหน่ง 80H พอร์ต 1 จะอยู่ที่ตำแหน่ง 90H พอร์ต 2 จะอยู่ที่ตำแหน่ง A0H และพอร์ต 3 จะอยู่ที่ตำแหน่ง B0H พอร์ต 0 2 และ 3 โดยทั่วไปแล้วจะไม่ใช่ถ้าหากมีการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกหรือใช้เป็นพอร์ตพิเศษ โดยปกติแล้วจะใช้พอร์ต 1 ในการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก พอร์ตทุกพอร์ตสามารถอ้างข้อมูลระดับบิตได้

6. รีจิสเตอร์เวลา (Timer Register)

ใน MCS-51 เบอร์ 8051 จะมีรีจิสเตอร์ที่ใช้นับและจับเวลาขนาด 16 บิต 2 ตัว คือ Timer 0 อยู่ที่ตำแหน่ง 8AH และ 8CH โดยตำแหน่ง TL0 ซึ่งจะเป็น 8 ไบต์ต่ำ และ 8CH หมายถึง 8 ไบต์สูง TH0 รีจิสเตอร์อีกตัวคือ Timer 1 โดยแบ่งเป็น TL1 อยู่ที่ตำแหน่ง 8BH เป็นไบต์ และ TH1 อยู่ที่ตำแหน่ง 8DH จะเป็นไบต์สูง และการใช้ Timer จะต้องกำหนดการทำงานในค่ารีจิสเตอร์ TMOD (Timer/Counter Mode Control Register) ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง 88H เสียก่อน

7. รีจิสเตอร์อนุกรม (Serial Port Register)

MCS-51 จะมีพอร์ตสื่อสารอนุกรม (Serial Register) อยู่ภายในชิพ ซึ่งสามารถจะรับหรือส่งข้อมูลได้โดยติดต่อผ่านรีจิสเตอร์ SBUF (Serial Data Buffer) ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง 99H โดยถ้าต้องการส่งข้อมูลแบบอนุกรมให้เขียนรีจิสเตอร์นี้ ตัว Serial Port สามารถโปรแกรมให้ทำงานได้ 4 โหมด โดยโปรแกรมผ่าน รีจิสเตอร์ SCON (Serial Port Control Register) ตำแหน่ง 98H

8. รีจิสเตอร์อินเตอร์รัพต์ (Interrupt Port Register)

MCS-51 สามารถ Interrupt ได้ 5 ตำแหน่งโดยมี 2-Priority ตัว Interrupt นี้จะถูก Disable หลังจากที่เราเปิดรีจิสเตอร์ และจะ Enabled หลังจากที่เราเขียนข้อมูลไปที่รีจิสเตอร์ IE หรือตำแหน่ง A8H ลำดับความสำคัญสามารถเซตได้ที่รีจิสเตอร์ IP หรือตำแหน่ง B8H

9. Power Control Register (PCON)

รีจิสเตอร์ PCON อยู่ที่ตำแหน่ง 87H ใช้หยุดการทำงานของ MCS-51 โดยจะหยุดจ่ายสัญญาณนาฬิกาให้ระบบ ทำให้ข้อมูลต่างๆ ภายใน MCS-51 ไม่มีการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ยังลดพลังงานไฟฟ้า ที่จ่ายให้ ใน MCS-51 ลงด้วย

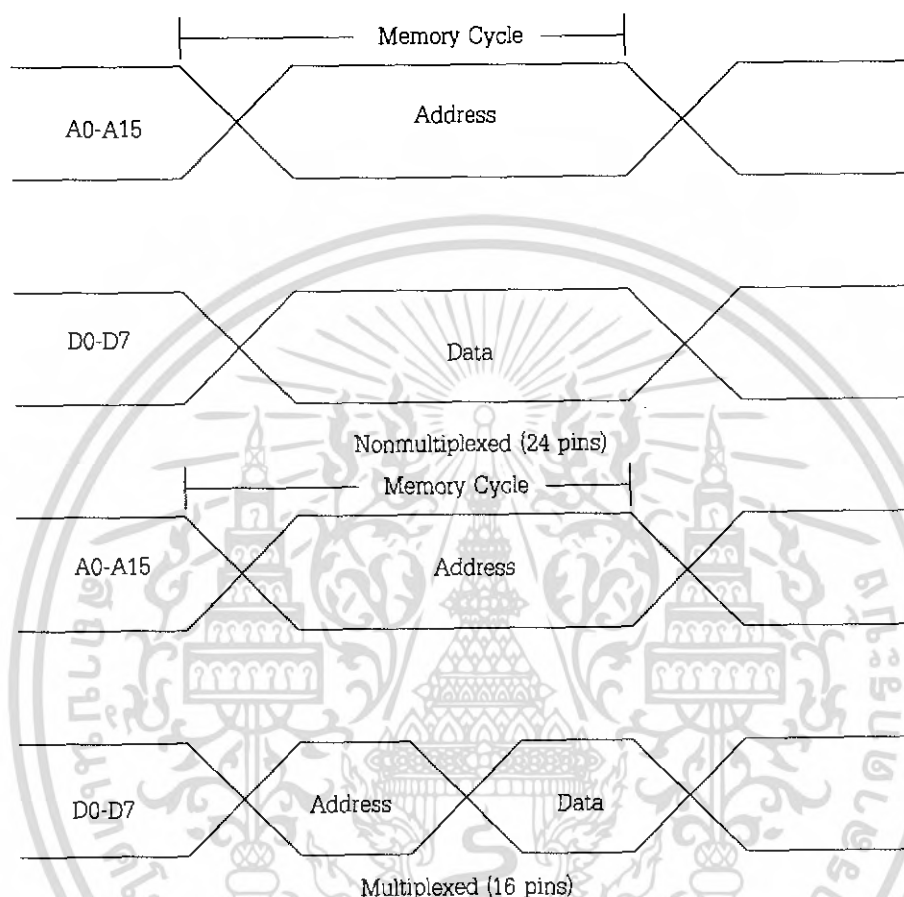
2.2.7 หน่วยความจำภายนอก (External Memory)

MCS-51 ซึ่งสามารถอ้างหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ 64K และยังสามารถอ้างถึงหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 64K MCS-51 จะใช้พอร์ต 0 ในการอ้างตำแหน่งหน่วยความจำ 8 บิตล่าง และใช้พอร์ต 0 เป็นพอร์ตข้อมูล (DATA) ด้วยโดยใช้ขา ALE มาเป็น Latch ข้อมูลพอร์ต 0 และใช้พอร์ต 2 เป็นขาอ้างตำแหน่ง 8 บิต (รวมขาอ้างตำแหน่ง 16 เส้น ซึ่งอ้างได้ 64K)

เนื่องจากพอร์ต 0 จะใช้งาน 2 หน้าที่ในการติดต่อกับหน่วยความจำ จะใช้วิธี Multiplex ระหว่าง Address กับ Data พิจารณาจากรูป ถ้าต้องการติดต่อกับหน่วยความจำที่เก็บข้อมูล 8 บิต และเก็บได้ 64K จะต้องใช้สายสัญญาณ 24 เส้น คือ เป็นขา Address 16 เส้น และขาข้อมูล 8 เส้น แต่ถ้าใช้วิธี Multiplex คือใช้ขา A0-A7 เป็นขาข้อมูลด้วย คือ D0-D7 จะใช้สายสัญญาณเพียง 16 เส้นเท่านั้น จากรูปจะเห็นว่าเมื่อต้องการติดต่อกับหน่วยความจำจะส่งสัญญาณ Address A0-A15 ออกมาก่อน 16 เส้น และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

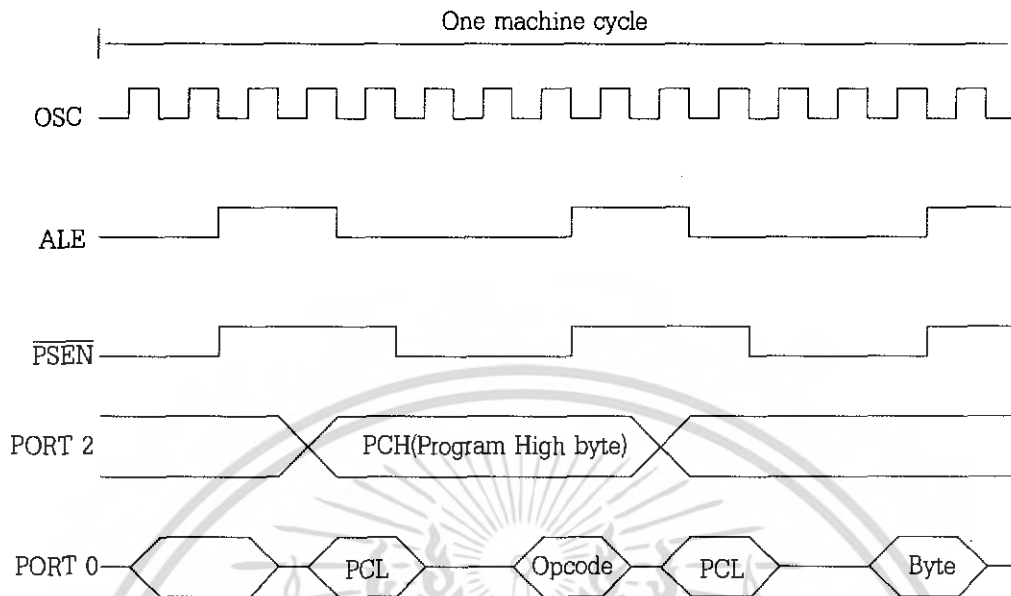
เวลาต่อมา A0-A7 จะถูกเปลี่ยนเห็น D0-D7 ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกของ MCS-51 จะใช้วิธีนี้



รูปที่ 2.6 แผนผังกลุ่มสัญญาณที่ใช้อ่านข้อมูล

2.2.7.1 การติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

ในการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก MCS-51 จะส่งค่าตำแหน่งของหน่วยความจำออกไปก่อน ซึ่งค่าตำแหน่งจะเก็บอยู่ใน PC โดยส่งออกไปทางพอร์ต 0 และพอร์ต 2 จากนั้นเวลาต่อมาจะส่ง ALE ให้เป็นลอจิก "0" เพื่อ Latch ขา Address ของ 8 บิตต่ำ คือ พอร์ต 0 จากนั้นจะส่งสัญญาณทาง PSEN ให้เป็นลอจิก "0" เพื่ออ่านข้อมูลซึ่งจะได้ Opcode เข้าไปทางขา Data Bus คือ พอร์ต 0 แผนผังเวลาอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอกแสดงดังรูป 2.7



รูปที่ 2.7 แผนผังเวลาการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

2.2.7.2 การติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก

หน่วยความจำข้อมูลภายนอก MCS-51 จะสามารถอ่านและเขียนได้ และในการติดต่อกับหน่วยความจำ ข้อมูลภายนอก MCS-51 จะส่ง Address ออกไปทางพอร์ต 0 และ พอร์ต 2 จากนั้นจะส่งค่า ALE เพื่อไป Latch Address 8 บิตต่ำ โดยการอ่านเขียนข้อมูลนั้นจะใช้ขา RD หรือ P3.7 และขา WR หรือ P3.6 ตามลำดับโดยจะแถมเวลาการอ่านและเขียนข้อมูลกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก

2.2.8 Reset Operation

การรีเซ็ตหรือเริ่มต้นทำงานใหม่ของ MCS-51 จะต้องให้ลอจิก "1" ที่ขา RST เป็นเวลา 2 Machine Cycles (1 Machine Cycles เท่ากับ 12 Clock) จากนั้นให้กลับเป็นลอจิก "0" การรีเซ็ตอาจทำได้โดยใช้ สวิตช์กด หรือใช้วิธี Power-up โดยที่ใช้ตัว R-C มาต่อเป็นวงจรเมื่อ MCS-51 ถูกรีเซ็ตค่ารีจิสเตอร์ต่างๆ จะถูกกำหนดค่าตาราง โดย PC จะชี้ไปอยู่ตำแหน่งเริ่มต้น คือ 0000H เมื่อขา RST กลับเป็น "0" MCS-51 จะเริ่มทำโปรแกรมที่ตำแหน่งแรก

2.3 โมดูลแอลซีดี

2.3.1 ส่วนประกอบของโมดูลแอลซีดี

2.3.1.1 ตัวแสดงผล (Display)

ภายในเป็นผลึกเหลวที่สามารถแสดงผลให้เห็นโดยอาศัยแสงจากภายนอก ดังนั้น จึงต้องมีมุมในการมองข้อมูลที่แสดงผลบนจอแอลซีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บัฟเฟอร์อินพุตเอาต์พุต เป็นส่วนที่ใช้ในการติดต่อรับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอก เพื่อที่จะถ่ายทอด ข้อมูลเข้าออกภายในตัวควบคุม
2. รีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register : IR) เป็นรีจิสเตอร์ที่รับข้อมูลคำสั่งจากอุปกรณ์ภายนอก เพื่อนำไปควบคุมการแสดงผล
3. รีจิสเตอร์ข้อมูล (Data Register : DR) เป็นรีจิสเตอร์ที่รับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอก เพื่อถ่ายทอดต่อไปยังหน่วยความจำที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลแสดงผล หรือนำข้อมูลไปสร้างตัวอักษร เพื่อเติมในแรมเก็บตัวอักษร
4. แรมเก็บข้อมูลแสดงผล (Display Data RAM : DDRAM) เป็นหน่วยความจำแรมทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่มาจากรีจิสเตอร์ DR ตัวควบคุมจะนำข้อมูลใน DDRAM นี้ไปเปิดตาราง (Look up-table) ของตัวอักษรที่เก็บไว้ในหน่วยความจำรวมและแรมเก็บตัวอักษร เพื่อนำไปแสดงที่ตัวแสดงผล
5. รอมเก็บตัวอักษร (Character Generator ROM : CGROM) เป็นหน่วยความจำรวมที่ใช้เก็บข้อมูลตัวอักษรหรือสัญลักษณ์ที่สามารถอ่านออกไปแสดงที่ตัวแสดงผลได้ ที่ขนาด 7,200 บิต โดยจะถูกอ่านด้วยค่าของข้อมูลใน DDRAM
6. แรมเก็บตัวอักษร (Character Generator RAM : CGRAM) เป็นหน่วยความจำแรมที่ใช้เก็บตัวอักษรที่มีการสร้างเพิ่มเติมขึ้นใหม่ ในกรณีที่ตัวอักษรใน CGROM ไม่เพียงพอ มีขนาด 512 บิต การเขียนและอ่านค่าไปให้มันทำได้เช่นเดียวกับ CGROM คือ เขียนข้อมูลลงใน DDRAM แล้วตัวควบคุมจะมาอ่านค่าจาก CGROM เอง
7. เฟล็ก BUSY เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แจ้งสถานะการทำงานของตัวควบคุมให้อุปกรณ์ภายนอกทราบว่าตัวควบคุมพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือคำสั่งหรือไม่ ดังนั้นก่อนการส่งข้อมูลหรือคำสั่งมายังตัวควบคุมต้องตรวจสอบสถานะของเฟล็ก BUSY นี้เสียก่อน

2.4 วงจรขยายสัญญาณการวัด (Instrument Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณการวัดเป็นวงจรขยายสัญญาณแบบหนึ่งที่ใช้วัดสัญญาณจากทรานสดิวเซอร์แบบต่างๆ โดยที่สัญญาณที่รับมาขยายนั้นจะต้องสูงมีความเพี้ยนต่ำ

ดังนั้นวงจรขยายสัญญาณการวัด จึงจะต้องมีคุณสมบัติเป็นวงจรขยายในอุดมคติเมื่อพิจารณา ระบบควบคุมแล้วพบว่าใช้ในความถี่ต่ำ คือ ตั้งแต่ 0 Hz ถึง 500 KHz ดังนั้นการนำเอาออปแอมป์มาใช้จึงเป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่เหมาะสม ดังนั้นการพัฒนา วงจรขยายสัญญาณการวัดให้ใช้งานได้จริงจะต้องมีคุณสมบัติคือ

1. อิมพีแดนซ์ที่ขาเข้าเป็นอนันต์
2. กระแสออฟเซตทางเข้า และแรงดันออฟเซตขาเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อัตราการขยายเป็นอนันต์ พิจารณาวงจรขยายสัญญาณการวัดประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 เป็นส่วนอินพุตอิมพีแดนซ์ที่มีค่าสูง และสามารถกำหนดกำหนดอัตราขยายของวงจรได้ โดยใช้การปรับ VR เพียงตัวเดียว จะได้เอาต์พุตระหว่างออปแอมป์ทั้งสองสูตร

$$V_o = (V_{ia} - V_{ib})[2R/R_4 + 1]R_f/R_i \quad (2.1)$$

ในวงจรที่ออกแบบนั้นจะได้

$$\begin{aligned} R_f &= R_i * R_{in} = (V_{in} - V_{ib})R_4 = V_R \\ V_o &= V_{in}[2R/R_4 + 1] \end{aligned} \quad (2.2)$$

การกำหนดอัตราขยายของวงจรนี้จะเป็นการกำหนดช่วงของความดันที่ต้องการควบคุม (กำหนด Span)

ส่วนที่ 2 ของวงจรขยายสัญญาณการวัดเป็นวงจรขยายความแตกต่างที่มี อัตราการขยายเท่ากับหนึ่ง มีป้อนแบบลบ มีการกำหนดจุดการกำหนดจุดอ้างอิงโดยการปรับระดับไฟตรงที่ป้อนทางด้านขา Non-Inverting ของออปแอมป์เพื่อกำหนดจุด Zero ของวงจร ดังรูปที่ 2.9 เรากำหนดสัญญาณ Common Mode โดยใช้ V_{com} เป็น V_{ia} และ V_{ib} ที่ ออปแอมป์ A จะทำให้ $V_{2a} = V_{com}$ ที่ ออปแอมป์ B จะทำให้ $V_{2b} = V_{com}$ เพราะฉะนั้น จะไม่มีค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R_4 หมายความว่า จะไม่มีกระแสไหลผ่าน R_3 และจะทำให้ $V_a = V_{2a}$ ดังนั้นจะได้

$$\frac{V_a - V_b}{R_3 + R_4 + R_5} = \frac{V_{2a} - V_{2b}}{R_4} \quad (2.3)$$

จากคุณสมบัติของ ออปแอมป์เราจะได้ว่า $V_2 = V_3$

$$\frac{V_a - V_b}{R_3 + R_4 + R_5} = \frac{V_{ia} - V_{ib}}{R_4} \quad (2.4)$$

หรือ

$$V_a - V_b = \frac{(V_{ia} - V_{ib})R_3 + R_4 + R_5}{R_4} \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้

$$\begin{aligned}
 I1 &= If \\
 \frac{Va - Vb}{R1} &= \frac{V2 - Vo}{R1} \\
 VaRfV2Rf &= V2R1 - VoR1 \\
 VoR1 &= V2R1 - VaRf + V2Rf \\
 VoR1 &= V2(R1 + Rf) - VaRf
 \end{aligned} \tag{2.6}$$

หา V3

$$V3 = Vb(R2 / R1 + R2) \tag{2.7}$$

กำหนดให้

$$V2 = V3$$

$$VoRi = \frac{VaR2}{R1 + R2} (Ri + Rf) - VaRf \tag{2.8}$$

ให้

$$R1 = Ri$$

$$R2 = Rf$$

ได้สมการ

$$VoRi = VbRfVaRf \tag{2.9}$$

ได้สมการ

$$Vo = (Vb - Va) \frac{Rf}{Ri} \tag{2.10}$$

จากนั้นกำหนดให้ Va กับ Vb ต่อสลับกัน จะได้สมการใหม่

$$Vo = (Va - Vb) \frac{Rf}{Ri} \tag{2.11}$$

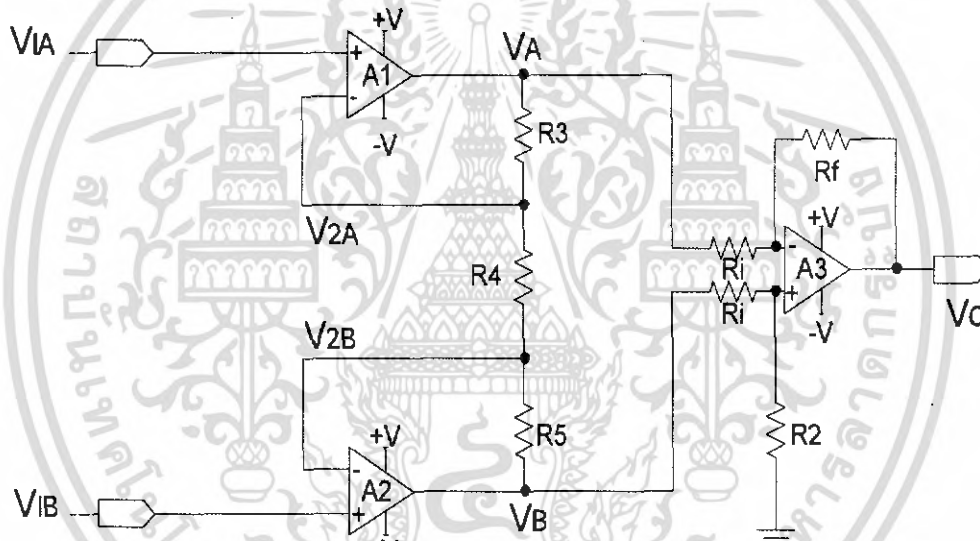
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ว่า

$$V_o = (V_{ia} - V_{ib}) \frac{(R_3 + R_4 + R_5)}{R_4} * \frac{R_f}{R_{in}} \quad (2.12)$$

กำหนดให้ $R_3 = R_4 = R_5$ จะได้ว่า

$$V_o = (V_{in} - V_{ib}) \frac{[2R + 1]}{R_4} * \frac{R_f}{R_{in}} \quad (2.13)$$



รูปที่ 2.9 วงจรขยายสัญญาณการวัด

2.5 การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital Converter : A/D) คือการเปลี่ยนสัญญาณที่เป็นสัญญาณแอนะล็อก (คือ สัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง เช่น ระดับของแรงดันไฟฟ้า หรือปริมาณของกระแสไฟฟ้า เป็นต้น) ให้กลายเป็นสัญญาณดิจิทัลที่อยู่ในรูปของเลขฐานสอง คือ "0" กับ "1" ซึ่งเป็นสัญญาณที่ไม่ขึ้นอยู่กับฟังก์ชันของเวลา

สิ่งที่ต้องพิจารณาในการแปลงสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลนั้น มีดังนี้

ความละเอียดของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ขึ้นอยู่กับจำนวนบิตของเอาต์พุต ยิ่งมีจำนวนบิตของเอาต์พุตมากเท่าไร ความละเอียดของการแปลงสัญญาณของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

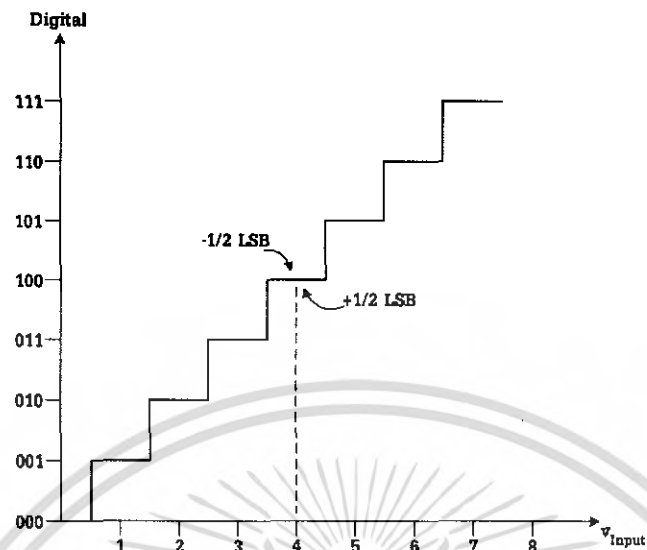
สัญญาณดิจิทัลก็จะมีมากขึ้นทั้งนี้เพราะว่าแรงดันอินพุตที่ป้อนเข้ามาถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง $+1/2\text{LSB}$ ถึง $-1/2\text{LSB}$ จะไม่มีผลกระทบต่อเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ตัวอย่างเช่น การแปลงแรงดันไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 3 บิต เอาต์พุตจะประกอบด้วย D0, D1 และ D2 โดยที่ D0 เป็นบิตที่มีความสำคัญต่ำสุด (Least Significant Bit (LSB)) และบิต D2 เป็นบิตที่มีความสำคัญสูงสุด (Most Significant Bit (MSB)) ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

คุณลักษณะในทางอุดมคติของการแปลงสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล 3 บิต จะให้ 1 LSB เทียบเท่ากับแรงดัน 1 โวลต์ ดังนั้นเมื่อป้อนอินพุตแรงดันเข้ามาเป็น 0, 1 และ 2 โวลต์ เอาต์พุตที่ได้จะเป็น 000, 001 และ 010 ตามลำดับ ถ้าหากแรงดันอินพุตที่ป้อนเข้ามามีค่าเป็นเศษส่วน เช่น มีแรงดันอินพุตเท่ากับ 1.25 โวลต์ เอาต์พุตที่ได้ก็ยังคงเป็น 001 อยู่ ที่เป็นอย่างนี้ก็เพราะว่าแรงดันอินพุตที่ป้อนเข้ามามีค่าอยู่ในช่วง $+1/2\text{LSB}$ ถึง $-1/2\text{LSB}$ จะไม่มีผลต่อเอาต์พุต

ดังนั้น จะเห็นได้ว่าแรงดันที่ป้อนเข้ามาอยู่ในช่วง 0.5-1.5 โวลต์ เอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ก็ยังคงมีค่าเป็น 001 อยู่ตลอด แต่ถ้าหากแรงดันอินพุตมีค่าเท่ากับ 1.6 โวลต์ เอาต์พุตที่ได้จะเป็น 010 ซึ่งความผิดพลาดของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลนี้เราจะต้องคำนึงถึงในการที่จะออกแบบวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลเสมอ



รูปที่ 2.11 ความผิดพลาดของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

จากรูปที่ 2.11 แสดงให้เห็นว่าวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ ถ้าแรงดันอินพุตมีความแตกต่างของแรงดันน้อยกว่า 1 LSB แต่เพื่อที่จะทำให้วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแยกความแตกต่างของแรงดันอินพุตได้ดีขึ้น จะต้องทำให้ มีช่วงแรงดันที่น้อยที่สุด โดยการเพิ่มจำนวนบิตของเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลให้มากขึ้น

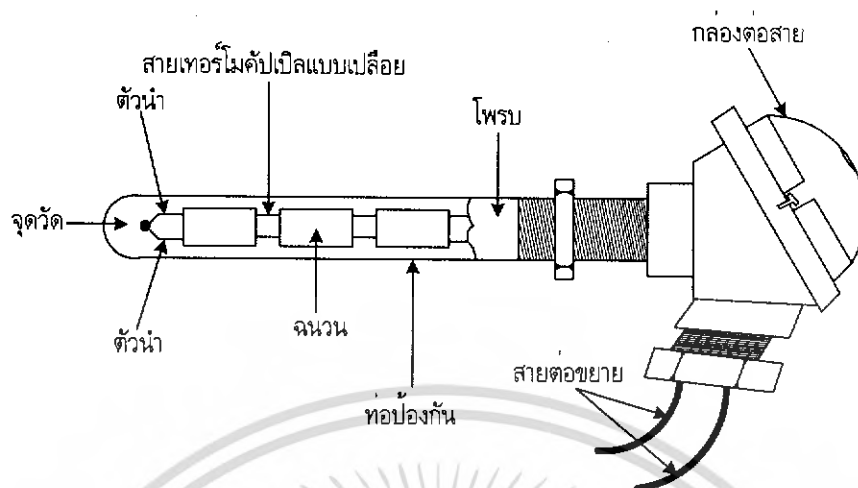
2.6 เทอร์โมคัปเปิล

2.6.1 เทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน

นับตั้งแต่ซีเบ็คได้ค้นพบหลักการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลในปี ค.ศ.1821 เป็นต้นมา รายละเอียดในหลักการ ได้ถูกพัฒนาให้ก้าวหน้าเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมมาโดยตลอด และได้เกิดเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานขึ้นหลายชนิด เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในลักษณะต่างๆ

2.6.1.1 คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน

- 1.ความไว (Sensitivity) แรงเคลื่อนจากเทอร์โมคัปเปิลจะมีค่าน้อยกว่า 100 mV แต่ความไวที่แท้จริงในการใช้งานจะขึ้นอยู่กับการใช้งานวงจรปรับสภาพสัญญาณและตัวเทอร์โมคัปเปิลเอง



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล

2. โครงสร้าง (Construction) โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิลมีลักษณะดังรูปที่ 2.12 โดยต้องมีลักษณะดังนี้คือ มีความต้านทานต่ำ ให้สัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูง ต้านทานต่อการเกิดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงๆ ทนต่อสภาวะแวดล้อมที่นำไปใช้วัดค่า และเป็นเชิงเส้นสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ตัวผกหรือท่อป้องกันส่วนมากจะทำจากสแตนเลส ความไวของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับความหนาของท่อป้องกันทั้งเยอรมันเนียมและซิลิคอน จะทำให้คุณสมบัติการเกิดเทอร์โมอี-เล็คทริก จึงใช้กันมากในอุปกรณ์ทำความเย็น (peltier element) มากกว่าที่จะใช้เป็นเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิ ขนาดของสายเทอร์โมคัปเปิล กำหนดได้จากการใช้งานแต่ละอย่าง และมีขนาดจาก #10 ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่คงที่ จนถึงขนาด # 30 หรือแม้กระทั่ง 0.02 mm ซึ่งเป็นสายแบบไมโครไวร์ (microwire) ที่ใช้กับการวัดอุณหภูมิการกลั่นในงานทางชีววิทยา
3. ย่านการใช้งาน (Range) ย่านอุณหภูมิการใช้งานและความไวในการวัดของเทอร์โมคัปเปิล แต่ละตัว จะแตกต่างกันตามแต่ละสมาคมจะกำหนด ในส่วนที่สำคัญคือค่าแรงเคลื่อนที่ออกมาจากแต่ละอุณหภูมิ จะต้องอ้างอิงกับตารางค่ามาตรฐานของแต่ละสมาคมที่ใช้ให้ถูกต้องเป็นเอกภาพเดียวกันหมดทั้งระบบ
4. เวลาตอบสนอง (Time Response) เวลาตอบสนองของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับขนาดของสายและวัสดุที่นำมาทำท่อป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิล
5. การปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning) ปกติแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลจะมีขนาดเล็กน้อยมากจึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณโดยใช้โอปแอมป์ขยายความแตกต่างที่มีอัตราขยายสูงๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1.2 ลักษณะของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน

1. เทอร์โมคัปเปิลแบบ S (Type S Platinum 10% Rhodium V.S. Platinum)

ในปี ค.ศ. 1886 Le Chatelier ได้ประดิษฐ์เทอร์โมคัปเปิล โดยสายลอบทำจากแพลทินัมและสายบวกทำจากโลหะผสม 90% ของแพลทินัม + 10% ของโรเดียม สามารถวัดอุณหภูมิได้สูงถึง 1400 °C ซึ่งต่อมาเทอร์โมคัปเปิลแบบนี้ได้กลายเป็นแบบ S มาตรฐานสากลตาม IPIS 68 ระบุว่าสามารถใช้ในการสอบเทียบค่า และเปรียบเทียบเป็นค่ามาตรฐาน (Calibration and Comparision) ตั้งแต่จุดแข็งตัวของ แอนติโมนี (630.74 °C) จนถึงจุดแข็งตัวของทอง (1064.43 °C) เทอร์โมคัปเปิลแบบ S นี้ สามารถใช้งานในสภาวะที่เป็น Oxidizing และ Inert ได้ดีโดยสามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 1400 °C หรือกับการใช้งานในระยะเวลานานๆ สามารถทนได้ถึง 1482 °C แต่ไม่เหมาะสมสำหรับสภาวะงานที่เป็นแบบ Reducing, Vacuum หรือสภาพงานที่มีไอของโลหะ เช่น ตะกั่ว สังกะสี และไอของโลหะ เช่น อาเซนิก ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส ซึ่งจะก่อให้เกิดอายุการใช้งานสั้นลง จำเป็นต้องใช้จะต้องป้องกันด้วย Protecting Tube ที่เป็นแบบโลหะ เช่น อะลูมินาบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิสูงๆ เม็ดเกรนของแพลทินัมจะพองตัวและแพลทินัมก็จะเกิดสกรก (Contamination) ได้ง่าย ทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้ามีค่าต่ำจากการวิเคราะห์ส่วนผสม (Composition) ภายหลังการใช้งาน 20 ปี ส่วนผสมของโรเดียมจะเปลี่ยนสภาพเป็นพาลาเดียม ทำให้มีคุณสมบัติผิดไป การเปลี่ยนสภาพเช่นนี้จะเกิดกับเทอร์โมคัปเปิลทุกแบบที่มีส่วนผสมของโรเดียม

2. เทอร์โมคัปเปิลแบบ R (Type R Platinum 13% Rhodium V.S. Platinum)

เทอร์โมคัปเปิลแบบ R สายบวกทำจาก พลาตินัม สายลอบทำจาก พลาตินัม 87% + โรเดียม 13% ผลที่จะทำให้แบบ R ให้เอาท์พุทสูงกว่าแบบ S ทนอุณหภูมิสูงสุดได้ 1400 °C

3. เทอร์โมคัปเปิลแบบ B (Type B Platinum 30% Rhodium / Platinum 6% Rhodium)

ผลิตขึ้นครั้งแรกเมื่อปี 1954 ในประเทศเยอรมัน สายบวกทำจากพลาตินัม 70% + โรเดียม 30% สายลอบทำจากพลาตินัม 94% + โรเดียม 6% เทอร์โมคัปเปิลแบบ B ทำให้แรงเคลื่อนต่ำกว่าแบบ S และแบบ R แต่คุณสมบัติที่เด่นกว่าคือแข็งแรงและทนทานกว่า สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงสุดได้ถึง 1700 °C (3100 °F) ในสภาวะที่เป็น Oxidizing หรือ Inert แต่ไม่เหมาะกับการใช้งานในสภาวะ Reducing หรือ Vacuum และในงานที่มีไอของโลหะและโลหะเช่นเดียวกับแบบ R และแบบ S

4. เทอร์โมคัปเปิลแบบ J (Type J Iron V.S. Constantan) เนื่องจากพลาตินัมเป็นธาตุที่มีราคาแพง เพื่อที่จะทำให้เทอร์โมคัปเปิลมีราคาถูกลงได้มีการค้นคว้าหาวัสดุที่มีราคาถูกกว่าเพื่อใช้แทนพลาตินัม วัสดุที่เริ่มทดลองใช้ เช่น เหล็ก, นิเกิล, นิเกิลบริสุทธิ์ ปรมาณูในสภาพงานที่เป็น Oxidizing การทดลองต่อมาพบว่าในโลหะผสมระหว่าง 60% ของทองแดง + 40%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของนิเกิล ที่ต่อมาเรียกว่า Constantan สามารถแก้ปัญหานี้ได้ เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้สายบวกรทำด้วยเหล็ก และสายลบทำด้วย Constantan จึงถือกำเนิดขึ้น และต่อมากลายเป็นแบบมาตรฐาน แบบ J

คุณสมบัติเทอร์โมคัปเปิลแบบ J เหมาะสำหรับสภาพงานที่เป็น Vacuum Oxidizing Reducing หรือ Inert ที่อุณหภูมิไม่เกิน 760 °C ไม่เหมาะสำหรับงานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 °C และที่อุณหภูมิสูงกว่า 538 °C (1000 °F) สายที่เป็นเหล็กจะเกิด Oxidization ด้วยอัตราสูงกว่าปกติมาก สำหรับอุณหภูมิที่สูงกว่า 538 °C จะต้องใช้สายเทอร์โมคัปเปิลขนาดใหญ่จะช่วยให้อายุการใช้งานยืนยาวขึ้น จากการทดลองใช้งานภายใน 20 ปี พบว่าส่วนผสมของโลหะเทอร์โมคัปเปิลจะเปลี่ยนไป 0.5% (แมงกานีสเพิ่มขึ้นในเนื้อเหล็ก)

5. เทอร์โมคัปเปิลแบบ K (Type K Chromel V.S. Alumel)

เพื่อที่จะทำให้เทอร์โมคัปเปิลสามารถวัดอุณหภูมิได้สูงกว่าแบบ J และมีราคาถูกกว่าจึงได้มีการประดิษฐ์เทอร์โมคัปเปิลแบบใหม่ที่มีสายบวกทำจากโลหะผสมระหว่าง นิเกิล 10% + โคโรเมียม 90% และสายลบทำจากโลหะผสมระหว่าง นิเกิล 95% + 5% ของส่วนผสมระหว่าง อลูมิเนียม แมงกานีสและซิลิกอน ซึ่งต่อมาได้กลายเป็นแบบมาตรฐานแบบ K เป็นที่นิยมนกันอย่างแพร่หลายมากที่สุด สามารถใช้กับสภาวะงานที่เป็น Oxidizing หรือ Inert ได้ดีกว่าแบบอื่น สามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 1260 °C (2300 °F) และที่อุณหภูมิต่ำถึง -250 °C (-420 °F) ในสภาพงานที่ต้องรับการแผ่รังสีโดยตรงจากแหล่งกำเนิดความร้อน แบบ K ก็สามารถใช้งานได้เช่นกัน

ข้อควรระวัง ไม่ควรใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบ K สัมผัสโดยตรงกับ

1.1 ในสภาวะที่เป็น Reducing หรือเป็นการใช้งานสลับกันระหว่าง Oxidizing และ Reducing

1.2 สภาวะงานที่มีไอของซัลเฟอร์ เพราะซัลเฟอร์จะทำลายโลหะทั้งคู่ของเทอร์โมคัปเปิล โดยเฉพาะสายลบจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

1.3 สภาวะงานที่เป็น Vacuum ยกเว้นในช่วงระยะเวลาสั้นๆ

ถ้าจำเป็นต้องใช้งานเทอร์โมคัปเปิลกับสภาพดังกล่าวนี้จะต้องใช้ Protecting Tube ป้องกันเสียก่อนอายุการใช้งานของเทอร์โมคัปเปิลแบบ K นี้ประมาณ 20 ปี เพราะหลังจากนั้นส่วนผสมเปลี่ยนไปโดยจะมีเหล็กเพิ่มขึ้นประมาณ 2% และส่วนผสมบางอย่างเช่น แมงกานีส จะลดปริมาณลง

6. เทอร์โมคัปเปิลแบบ T (Type T Copper V.S. Constantan)

เป็นเทอร์โมคัปเปิลแบบที่เหมาะสมสำหรับการวัดอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ สายบวกของเทอร์โมคัปเปิลแบบ T ทำจากทองแดง และสายลบทำจาก Constantan ในสภาพการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานปกติสามารถวัดอุณหภูมิได้ต่ำถึง -184°C อัตราการเกิด Oxide ของโลหะเทอร์โมคัปเปิลจะเพิ่มมากขึ้น สภาวะที่เป็น Vacuum Oxidizing Reducing หรือ Inert ได้ดีการใช้งานที่ต้องสัมผัสกับการแผ่รังสีโดยตรงจะทำให้ส่วนผสมของเทอร์โมคัปเปิลเปลี่ยนไปได้จึงไม่เหมาะกับการใช้งานในลักษณะนี้ จากการทดลองใช้งานใน 20 ปี ส่วนผสมของนิเกิล และสังกะสีจะเพิ่มขึ้นประมาณ 10%

7. เทอร์โมคัปเปิลแบบ E (Type E Chromel V.S. Constantan)

สายบวกทำจากส่วนผสมระหว่าง 10% ของโครเมียม + 90% ของนิเกิล และสายลบทำจาก Constantan อุณหภูมิใช้งานปกติอยู่ระหว่าง -250°C ถึง 871°C เหมาะกับสภาพงานที่เป็น Oxidizing คุณสมบัติด้านอื่นๆ คล้ายกับเทอร์โมคัปเปิลแบบ K

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน

แบบ	ส่วนผสม	ย่านอุณหภูมิที่ใช้งาน		แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้ mV
		$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{F}$	
B	แพลทินัม - 30% โรเดียม แพลทินัม - 6% โรเดียม	0 ถึง 1820	32 ถึง 3310	0 ถึง 13.814
R	แพลทินัม - 13% โรเดียม แพลทินัม	-50 ถึง 1768	-60 ถึง 3210	-0.26 ถึง 21.108
S	แพลทินัม - 10% โรเดียม แพลทินัม	-50 ถึง 1768	-60 ถึง 3210	-0.236 ถึง 18.698
J	เหล็ก/คอนสแตนแตน	-210 ถึง 760	-350 ถึง 1400	-8.096 ถึง 42.922
K	โครเมิล/อะลูเมิล	-270 ถึง 1372	-450 ถึง 2500	-6.458 ถึง 54.875
T	ทองแดง/คอนสแตนแตน	-270 ถึง 400	-450 ถึง 750	-6.258 ถึง 20.869
E	โครเมิล/คอนสแตนแตน	-270 ถึง 1000	-450 ถึง 1830	-9.835 ถึง 76.358
- แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดกับจุดเยือกแข็งของน้ำ				

ตารางที่ 2.2 สภาวะแวดล้อมในการใช้งานเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานโดยไม่ต้องใช้ Protecting Tube

ความเหมาะสมในการใช้งาน							
Tc แบบ	บรรยากาศ Oxidizing	บรรยากาศ Reducing	บรรยากาศ Inert	Vacuum	บรรยากาศ Sulferous	อุณหภูมิ < °C	มีไอของ โลหะ
B	ได้	ไม่ได้	ได้	ได้ช่วง สั้นๆ	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
R	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
S	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
J	ได้	ได้	ได้	ได้	ไม่ได้ถ้า > 500 °C	ไม่ได้	ได้
K	ได้*	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ได้	ได้
T	ได้	ได้	ได้	ได้	ไม่ได้	ได้	ได้
E	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ได้**	ได้
* ใช้งานได้ดีกว่าแบบ E, J และ T เมื่ออุณหภูมิ > 550 °C							
** โดยเฉพาะกับอุณหภูมิ < 0 °C							

ตารางที่ 2.3 ช่วงอุณหภูมิการสอบเทียบค่าของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานและค่าผิดพลาดที่อยู่ในพิกัด

เทอร์โมคัปเปิล แบบ	ย่านวัด อุณหภูมิ	ค่าความผิดพลาดในพิกัด		ขนาดสายที่เล็ก ที่สุด (AWG)
		แบบมาตรฐาน (เอาค่าที่มากกว่า)	แบบพิเศษ (เอาค่าที่มากกว่า)	
B	870 ถึง 1,700	±0.5%		24
R&S	0 ถึง 1,450	±0.5°C หรือ ±0.25%	±0.6°C หรือ ±0.1%	24
J	0 ถึง 750	±2.2°C หรือ ±0.75%	±1.1°C หรือ ±0.4%	8
K	0 ถึง 1,250	±2.2°C หรือ ±0.75%	±1.1°C หรือ ±0.4%	8
T	0 ถึง 350	±1°C หรือ ±0.5%	±0.5°C หรือ ±0.4%	14
E	0 ถึง 900	±1.7°C หรือ ±0.75%	±1°C หรือ ±0.4%	8
K	-200 ถึง 0	±2.2°C หรือ ±0.2%		
T	-200 ถึง 0	±1°C หรือ ±1.5%		
E	200 ถึง 0	±1.7°C หรือ ±1%		

2.6.2 เทอร์โมคัปเปิลแบบ Nonstandard

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบของเทอร์โมคัปเปิลที่กล่าวมาแล้วนั้นเป็นแบบมาตรฐาน แต่ในปัจจุบันได้มีการทดลองนำโลหะอีกหลายชนิด เช่น ทังสเทน รีเนียม (Rhynium) เออริเดียม (Iridium) มาประดิษฐ์เทอร์โมคัปเปิลแบบใหม่ เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ต่างไปจากแบบมาตรฐานที่มีอยู่ ซึ่งจะได้รับการจัดเข้าเป็นแบบมาตรฐานในอนาคตต่อไป

1. นิโครซิล - นิซิล (นิเกิล โคโรเมียม ซิลิกอน-นิเกิล ซิลิกอน) คุณสมบัติ ช่วงอุณหภูมิใช้งาน จาก -240°C ถึง 1230°C คุณสมบัติโดยทั่วไปเหมือนแบบ K แต่ให้อายุการใช้งานนานและมีเสถียรภาพดีกว่าแบบ K
2. พลาตินัม 20%, โรเดียม 80% - พลาตินัม 5%, โรเดียม 95% พัฒนามาจากแบบ
3. พลาตินัม 40%, โรเดียม 60% - พลาตินัม 20%, โรเดียม 80% R S และ B
4. พลาตินัม 13%, โรเดียม 87% - พลาตินัม 1%, โรเดียม 99%
5. พลาตินัม 15%, เออริเดียม 85% - พลาตินัม ให้แรงเคลื่อนเอาต์พุตสูงกว่าแบบที่มีส่วนผสมพลาตินัมชนิดอื่นๆ
6. พลาตินัม 5%, โมลิบดีนัม 95% - โมลิบดีนัม 99.9%, พลาตินัม 0.1% ทำให้คุณสมบัติการรับรังสีโดยตรงจากแหล่งกำเนิดความร้อนได้ดีกว่าแบบที่มีส่วนผสมพลาตินัมชนิดอื่น
7. เออริเดียม 40%, โรเดียม 60% - โรเดียม สามารถวัดอุณหภูมิได้สูงถึง 1830°C
8. ทังสเทน - ทังสเทน 74%, รีเนียม 26%
9. ทังสเทน 97%, รีเนียม 3% - ทังสเทน 75%, รีเนียม 25% สามารถวัดอุณหภูมิได้สูงถึง 2760°C
10. ทังสเทน 95%, รีเนียม 5% - ทังสเทน 74%, รีเนียม 26%
11. ทองแดง - ทอง 97.89%, โคบอลต์ 2.11% สำหรับวัดอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำถึงจุด 0° สัมบูรณ์ แต่ไม่เหมาะสำหรับการวัดอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศปกติ
12. โคโรเมล - ทอง 99.03%, เหล็ก 0.07% สำหรับการวัดอุณหภูมิที่มีค่าเป็นลบมากๆ ให้แรงเคลื่อนเอาต์พุตสูง และมีเสถียรภาพดี

บทที่ 3

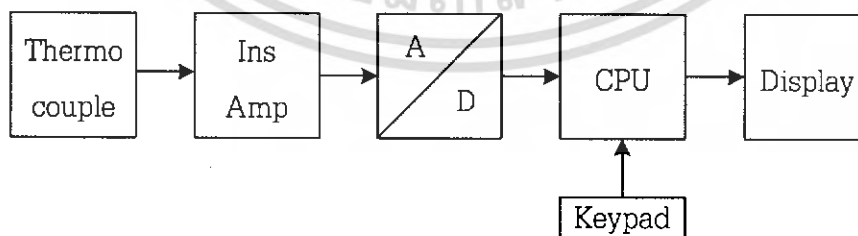
การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

3.1 กล่าวนำ

ในส่วนของการออกแบบการสร้างเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัล (Digital Temperature Indicator) นี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ซึ่งในส่วนของฮาร์ดแวร์จะประกอบไปด้วยวงจรขยายสัญญาณการวัด วงจรการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล วงจรประมวลผลกลาง และวงจรโมดูลแอลซีดีเพื่อแสดงผล ในส่วนของซอฟต์แวร์จะเป็นส่วนที่ทำให้เครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัลทำงานได้

3.2 ฮาร์ดแวร์

ในส่วนของฮาร์ดแวร์มีการทำงานตามผังแสดงการทำงานดังรูปที่ 3.1 ซึ่งมีลักษณะการทำงานดังนี้ วงจรขยายสัญญาณการวัด จะรับสัญญาณการวัดมาจากตัวเซ็นเซอร์คือตัวเทอร์โมคัปเปิลมาทำการขยายสัญญาณของการวัดโดยส่งเป็นแรงดันไฟฟ้าคือ 0-5 โวลต์ แล้วส่งต่อไปยังภาคการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยภาคการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลนี้จะใช้ ขนาด 12 บิต โดยไอซีเบอร์ ADS7841 เป็นตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลส่งต่อไปยังตัว CPU ประมวลผลตามที่โปรแกรมไว้ โดยสามารถตั้งค่า Alarm ได้โดยการใช้ Keypad ขนาด 4 บิต ตั้งค่าที่ต่อเข้ากับตัว CPU ประมวลผลโดยตัว CPU ใช้ของ Atmel AT89S8252 ขนาด 8 KByte หลังจากทำการประมวลผลแล้วก็ส่งออกไปยังภาคแสดงผล Display แสดงค่าจากการวัดโดยแสดงบนตัว LCD ขนาด 2×20 โดยต่อแบบขนาน 8 บิต



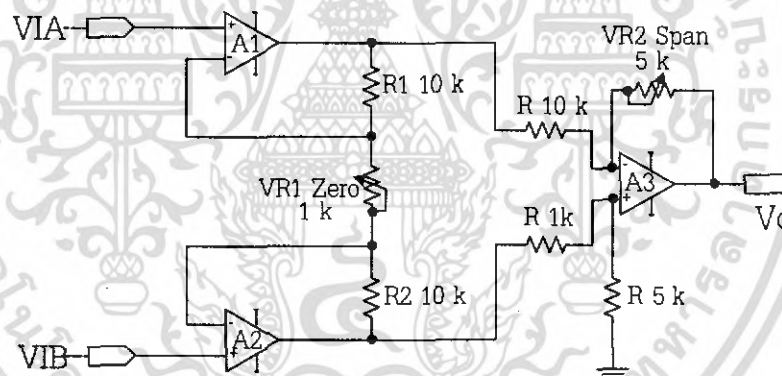
รูปที่ 3.1 ผังการทำงานของเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัล

3.2.1 การออกแบบวงจรขยายสัญญาณการวัด

วงจรขยายสัญญาณการวัดเป็นวงจรขยายสัญญาณแบบหนึ่งที่ใช้วัดสัญญาณจากทรานสดิวเซอร์แบบต่างๆ โดยที่สัญญาณที่รับมาขยายนั้นจะต้องสูงมีความเพี้ยนต่ำ ดังนั้นวงจร วงจรขยายสัญญาณการวัด จึงจะต้องมีคุณสมบัติเป็นวงจรขยายในอุดมคติเมื่อพิจารณาในระบบควบคุมแล้วพบว่าใช้ในความถี่ต่ำ คือ ตั้งแต่ 0 Hz ถึง 500 KHz การนำเอาออปแอมป์ (Op-Amp) มาใช้จึงเป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่เหมาะสม ออปแอมป์ที่มาใช้คือเบอร์ OP07 คุณสมบัติที่สำคัญของออปแอมป์มีลักษณะดังนี้

1. อัตราการขยายแรงดันรูปเปิด (Open-Loop Voltage) มีค่าอนันต์ (Infinite)
2. ค่าอิมพีแดนซ์อินพุตที่ขาอินพุต (Input Impedance) ทั้งสองข้างมีค่าเป็นอนันต์ ทำให้กระแสที่ไหลเข้าขาอินพุตของออปแอมป์ถือว่าน้อยมาก มีค่าประมาณศูนย์
3. แรงดันอินพุตออฟเซต (Input Offset Voltage) มีค่าเป็นศูนย์
4. ค่าอิมพีแดนซ์เอาต์พุต (Output Impedance) ที่ขาเอาต์พุตมีค่าเท่ากับศูนย์

วงจรขยายสัญญาณการวัดที่ใช้ดังนี้



รูปที่ 3.2 วงจรขยายสัญญาณการวัด

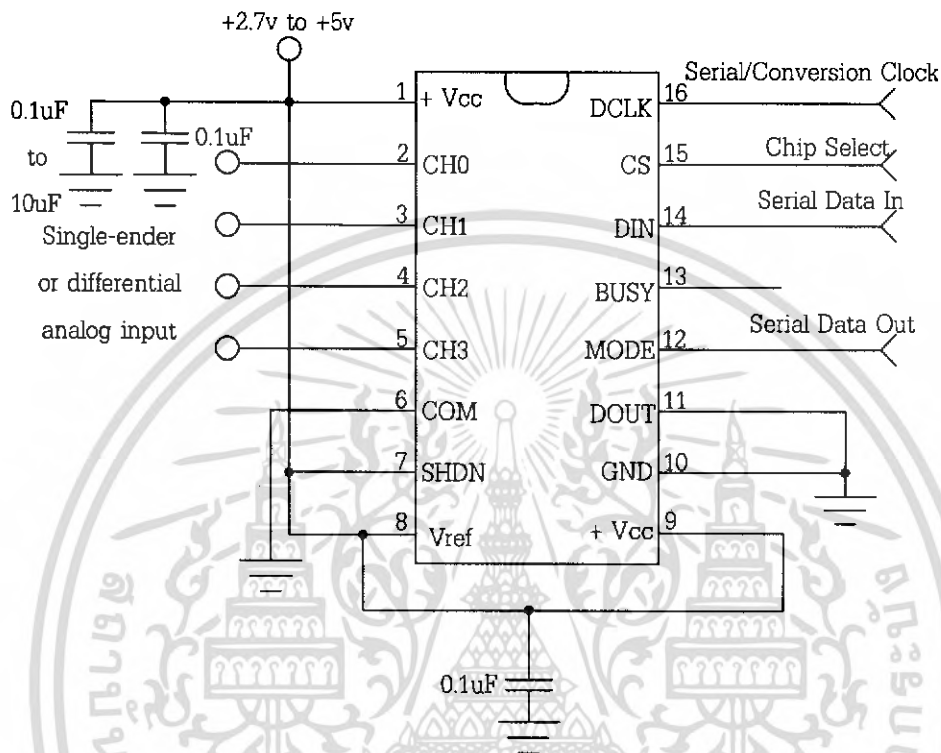
3.2.2 การออกแบบวงจรการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

วงจรการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ใช้ไอซีเบอร์ ADS7841 ขนาด 12 บิต เป็นตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยวิธีการ Successive Approximation Resistor (SAR) โดยโครงสร้างอยู่บนพื้นฐานของ Capacitive Redistribution ซึ่งได้รวม วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ (Sampling/Hold) ไว้ภายใน

การต่อใช้งานแสดงดังรูปที่ 3.3 โดย ADS7841 ต้องการแรงดันอ้างอิงและสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก สามารถทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟเพียงแหล่งเดียวในช่วย 2.7V - 5.25V โดยแรงดันอ้างอิงที่จะต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

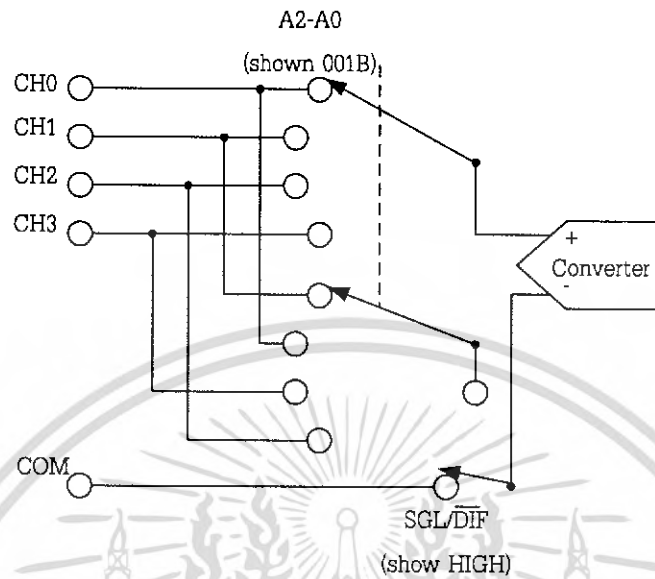
ภายนอกจะอยู่ในช่วง 100 mV ถึง +Vcc โดยค่าของแรงดันอ้างอิงจะเป็นตัวกำหนดช่วงของแรงดันอินพุตของ ADS7841 โดยตรง ค่ากระแสเฉลี่ยของแรงดันอ้างอิงขึ้นอยู่กับอัตราการแปลงสัญญาณของ ADS7841



รูปที่ 3.3 การต่อใช้งานของ ADS7841

1. แรงดันอ้างอิง (Reference Input) ของ ADS7841

แรงดันอ้างอิงที่ป้อนให้กับ ADS7841 จะเป็นตัวกำหนดระดับแรงดันอินพุตสูงสุดทั้ง 4 ช่องสัญญาณ โดยระดับแรงดันอินพุตสามารถกำหนดได้อยู่ในช่วง 100mV ถึง +Vcc สัญญาณอินพุตคือระดับความแตกต่างของแรงดันที่ขา + IN และ - IN ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และขาสัญญาณ COM ของ ADC ถูกต่อลงกราวด์ ดังนั้นสัญญาณอินพุต (CH0-CH3) จะสามารถถูกแปลงเป็นดิจิตอลได้เฉพาะแรงดันในช่วง 0V ถึง 1.25V แต่ถ้าสัญญาณ COM ถูกป้อนด้วยแรงดัน 0.5V จะทำให้แรงดันอินพุตของแต่ละช่องสัญญาณอยู่ในช่วง 0.5V ถึง 1.75V



รูปที่ 3.4 การทำงานของวงจรสลับสัญญาณอินพุตของ ADS7841

2. การเชื่อมต่อสัญญาณดิจิทัล (Digital Interface)

การเชื่อมต่อสัญญาณ ดิจิตอลของ ASD7481 สมมุติให้ ASD เชื่อมต่อกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือ DSP โดยเชื่อมต่อแบบอนุกรม แต่การสื่อสารระหว่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์กับ ADC จะต้องให้สัญญาณนาฬิกา 8 คาบ โดยที่การแปลงสัญญาณ 1 ครั้งจะต้องใช้ 3 การสื่อสาร ดังนั้นหมายความว่าต้องใช้สัญญาณนาฬิกา 24 คาบ ให้กับ ขาสัญญาณ DCLK

3. ไบต์ควบคุม (Control Byte)

ตารางด้านล่าง แสดงการควบคุมบิต โดยบิตแรกคือบิต 'S' จะเป็นลอจิก1 เพื่อแสดงถึง จุดเริ่มต้นของไบต์ควบคุม ซึ่ง ASD7481 จะไม่สนใจสัญญาณที่ขา DIN จนกระทั่งสามารถ ตรวจสอบบิตเริ่มต้นได้ และสามบิตต่อมา (A2, A1, A0) เป็นบิตที่ใช้เลือกช่องสัญญาณ

ตารางที่ 3.1 การควบคุมบิตของไบต์ควบคุม

Bit 7 (MSB)	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0 (LSB)
S	A2	A1	A0	MODE	SGL/DIF	PD1	PD0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. 16-Clock per Conversion

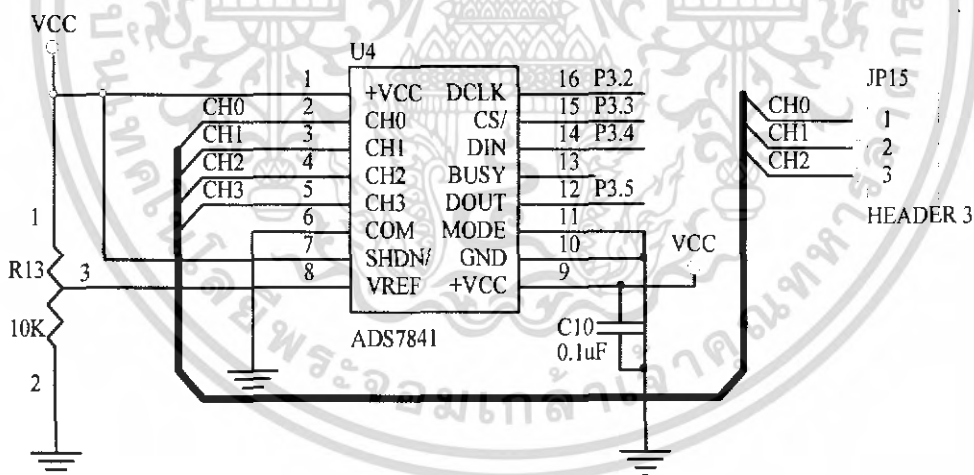
บิตควบคุมของการแปลงครั้งที่ $n+1$ จะซ้อนทับการแปลงครั้งที่ n เพื่อให้เกิดการแปลงสัญญาณทุกๆ 16 คาบ ความเป็นไปได้ของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมระหว่างตัว CPU ประมวลผลกับ ADC ซึ่งวิธีการนี้สามารถแปลงสัญญาณได้ภายใน 1.6 ms

5. 15-Clocks per Conversion

เป็นวิธีการที่เร็วที่สุดในการกำหนดสัญญาณนาฬิกาให้กับ ADS7841 ซึ่งวิธีการนี้ไม่สามารถทำงานได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์หรือตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล ซึ่งโดยทั่วไปไม่สามารถสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมด้วย 15-Clock ได้ อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ถูกออกแบบไว้ให้ใช้งานกับ Gate Array (FPGA) หรือวงจรรวมที่ถูกสร้างขึ้นมาเฉพาะงาน (ASICs) ซึ่งวิธีการนี้จะเพิ่มอัตราการแปลงสัญญาณได้สูงสุด

6. แบบข้อมูล (Data Format)

สัญญาณเอาต์พุตของ ADS7841 แบบ Binary ค่าของเอาต์พุตที่ได้เมื่อค่าแรงดันที่ระดับต่างๆ โดยไม่รวมถึงผลที่เกิดจาก offset และ ความผิดพลาดจากอัตราขยาย การต่อใช้งานวงจรการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล



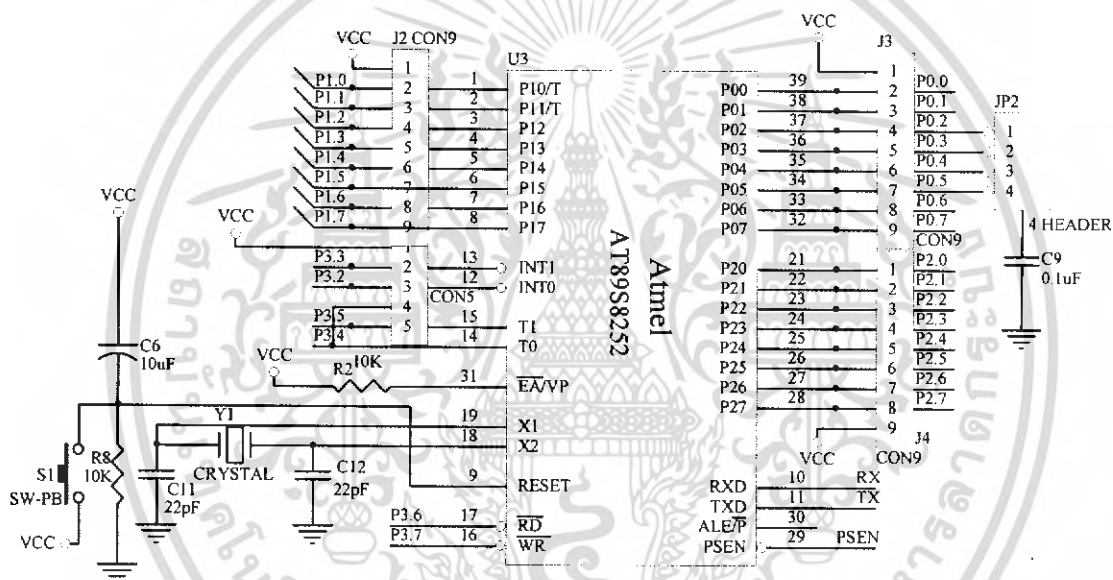
รูปที่ 3.5 วงจรการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A to D)

3.2.3 การออกแบบวงจรประมวลผลกลาง (Central Processing Unit)

ภาคประมวลผลกลางหรือ CPU ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ของ Atmel เบอร์ AT89S8252 ประมวลผลตามที่โปรแกรมไว้ โดยสามารถตั้งค่า Alarm ได้ คุณสมบัติที่สำคัญของ AT89S8252 มีดังนี้

1. มี Flash Memory 8 KBytes เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. มี RAM ภายใน 256 Bytes 8 Bit
3. มีพอร์ต I/O ขนาด 8 บิต 4 พอร์ต
4. มี Timer/Counters 16 บิต 3 ตัว
5. สามารถอินเทอร์รัพต์ได้ 9 แหล่ง
6. ทำงานที่ความถี่ 0 Hz ถึง 24 MHz
7. สามารถประมวลผลที่ลบิตได้
8. ไฟเลี้ยง 4.0V- 5.0 V
9. สามารถเขียนโปรแกรมและลบโปรแกรมได้ 1,000 ครั้ง



รูปที่ 3.6 วงจรประมวลผลกลาง (CPU)

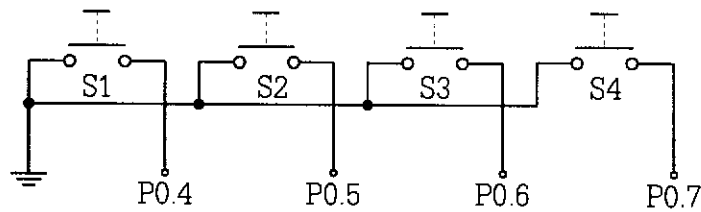
3.2.4 การออกแบบวงจรคีย์สวิตช์ (Key Switch)

Key Switch หรือ Key Pad เป็นการต่อแบบขนาน มีขนาด 4 บิต ส่งข้อมูลที่ทำให้การตั้งค่าไปยังตัวประมวลผลกลางหรือ CPU ให้ทำการแจ้งเตือน (Alarm) โดยมี Alarm สองค่าคือ Alarm High และ Alarm Low โดยการแจ้งเตือนหรือแสดง Alarm โดย หลอด LED จะกระพริบแจ้งให้ผู้ทำการวัดทราบ Key Switch ต่อผ่านพอร์ต P0.4-P0.7 ของพอร์ต CPU แสดงดังรูปที่ 3.7

สภาวะการทำงานของ Key Switch ดังนี้

1. สภาวะเป็น 0 ถึงจะทำงาน
2. กด Key Switch สภาวะเป็น 0 จะทำงาน
3. ไม่กด Key Switch สภาวะเป็น 1 จะ Open ไม่ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



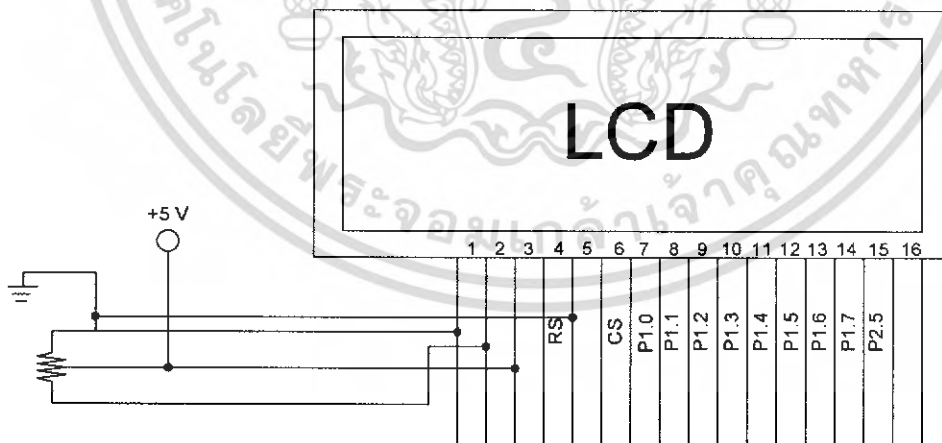
รูปที่ 3.7 วงจรรคีย์สวิตช์

3.2.5 การออกแบบวงจรแสดงผล (Display)

วงจรแสดงผลจะใช้ LCD ในการแสดงผลมีขนาดแสดงได้แถวละ 20 ตัวอักษร 2 แถว โดยต่อผ่านพอร์ต P1.0-P1.7 และ P2.5 ของพอร์ต CPU ใช้การเขียนโปรแกรมในการสร้างสัญญาณให้แสดงผลออกหน้าจอแสดงผล

การควบคุมเป็นการรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมาควบคุมการทำงานของโมดูล LCD เช่น ลบจอภาพ แสดงตัวอักษร หรือเลื่อนเคอร์เซอร์ เป็นต้น ตัวควบคุมนี้ใช้ชิปควบคุมโดยเฉพาะชิปที่ใช้คือ เบอร์ HD44780 และ HD61830 โดย HD44780 จะใช้ควบคุมแอลซีดี แบบอักษร ส่วน HD61830 ใช้ควบคุมแอลซีดี แบบกราฟิก

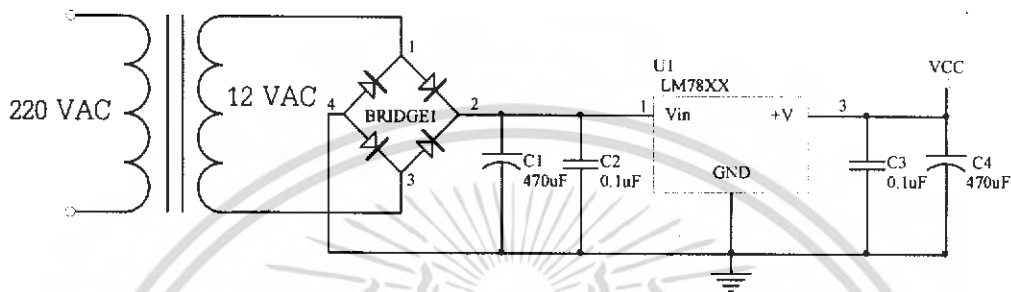
การรับสัญญาณจากตัวควบคุมมาขับให้ตัวแสดงผลแสดงข้อมูลตามที่กำหนด ชิปที่ทำหน้าที่เป็นตัวขับนี้ได้แก่ เบอร์ HD44100H และ MSM5259 เป็นต้น



รูปที่ 3.8 การต่อใช้งานของโมดูลแอลซีดี

3.2.6 การออกแบบวงจรแหล่งจ่าย (Power Supply)

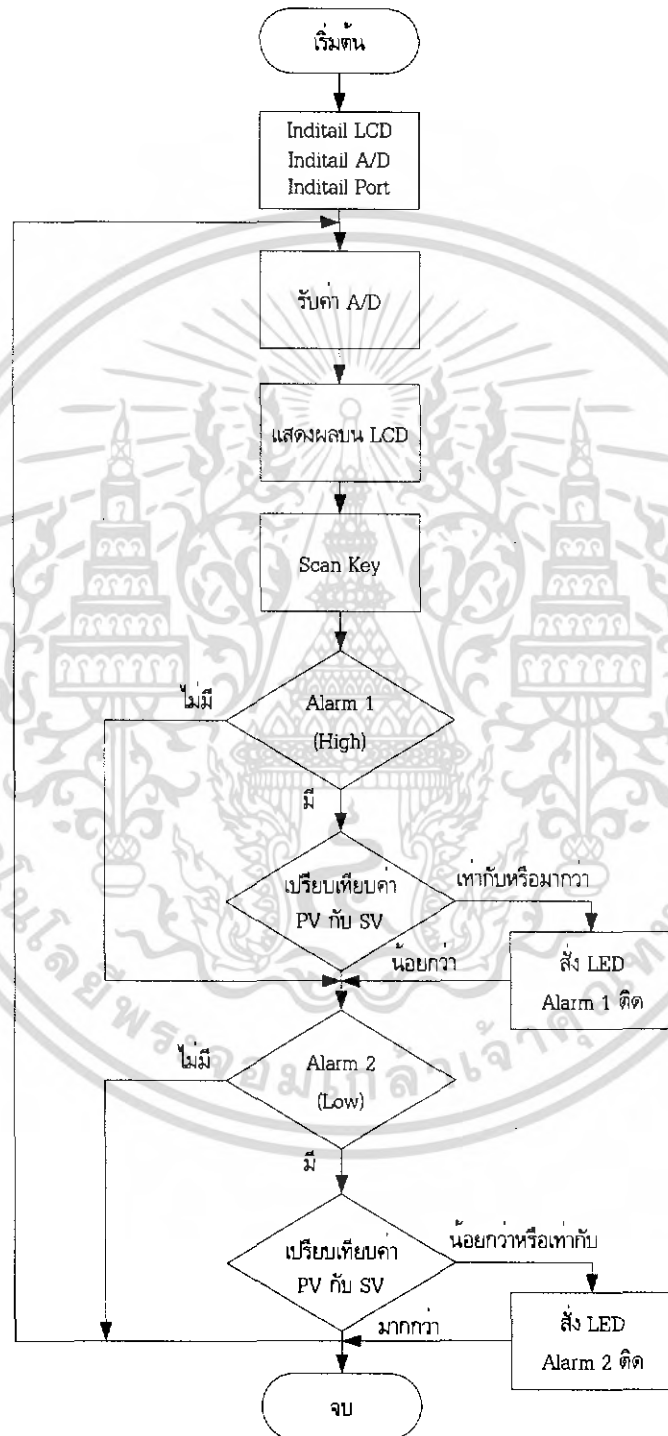
วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงในโครงงานนี้ใช้ IC ตระกูล 78XX และ 79XX ซึ่งทำหน้าที่รักษาระดับแรงดัน โดยใช้ เบอร์ 7805 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5V จ่ายให้ วงจรส่วนต่างๆ ยกเว้นวงจรขยายสัญญาณการวัด ที่ใช้ 7808 และ 7908 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +8V และ -8V ให้กับวงจร



รูปที่ 3.9 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

3.3 ซอฟต์แวร์

ในส่วนของซอฟต์แวร์แสดงถึงการทำงานของเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอลดังนี้



รูปที่ 3.10 แผนผังการทำงานของเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

ในส่วนของบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองส่วนต่างๆ ของเครื่องแสดงผลอนุภูมิแบบดิจิทัลได้แก่วงจรขยายสัญญาณการวัด วงจรการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และผลการทดลองของเครื่องแสดงผลอนุภูมิแบบดิจิทัล

4.2 การทดลองการทำงานของวงจรขยายสัญญาณการวัด

วงจขยายสัญญาณการวัด เป็นวงจขยายสัญญาณแบบหนึ่งที่ใช้วัดสัญญาณจากทรานสดิวเซอร์ แบบต่างๆ โดยที่สัญญาณที่รับมาขยายนั้นจะถูกต้องสูงมีความเพี้ยนต่ำ ดังนั้นวงจขยายสัญญาณการวัด จึงจะต้องมีคุณสมบัติเป็นวงจขยายในอุดมคติเมื่อพิจารณากระบวนการควบคุมแล้วพบว่าใช้ในความถี่ต่ำ คือ ตั้งแต่ 0 Hz ถึง 500 KHz การนำเอาออปแอมป์ (Op-Amp) มาใช้จึงเป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่เหมาะสม

4.2.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. ประกอบวงจขยายสัญญาณการวัดตามรูปที่ 3.2
2. ตรวจสอบความเรียบร้อยทั้งหมดของวงจร
3. ทำการจ่ายอินพุตให้กับวงจรที่ 100% แล้วทำการปรับค่า R Span ให้ได้แรงดันเอาต์พุต 5 โวลต์
4. ทำการจ่ายอินพุตให้กับวงจรที่ 0% แล้วทำการปรับค่า R Zero ให้ได้แรงดันเอาต์พุต 0 โวลต์
5. ทำการปรับตามขั้นตอนที่ 2 และ 3 จนทำให้ได้ค่าใกล้เคียงที่สุด

ตารางที่ 4.1 การทดลองวงจขยายสัญญาณการวัด

อินพุต (%)	ค่าจากการคำนวณ (V)	ค่าที่ได้จากการวัด (V)
100	5	5
75	3.75	3.74
50	2.5	2.49
25	1.25	1.23
0	0	0.01

4.2.2 ผลการทดลอง

จากค่าที่ได้จากการทดลองเมื่อป้อนอินพุตตามตาราง ผลปรากฏว่าค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการคำนวณนั้นมีค่าความผิดพลาด $\pm 0.02\%$ แต่เป็นค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้จึงสรุปได้ว่าการทำงานของวงจรขยายสัญญาณนั้นมีค่าความถูกต้องและค่าความแม่นยำสูง ได้สัญญาณตามมาตรฐานที่ต้องการ

4.3 การทดลองการทำงานวงจรการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

วงจรการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลเป็นวงจรขนาด 12 บิต จากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ดังรูปที่ 3.5 เป็นการต่อวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยใช้ไอซีเบอร์ ADS 7841 ที่ให้เอาต์พุตเป็นเลขฐานสิบหก ในการทดลองจะใส่รหัสความแตกต่างแรงดันไฟฟ้าระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่เป็นบวกและแรงดันไฟฟ้าที่เป็นลบเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง

4.3.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. ประกอบวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลตามรูปที่ 3.5
2. ตรวจสอบความเรียบร้อยทั้งหมดของวงจร
3. ทำการจ่ายอินพุตให้กับวงจรโดยการปรับค่าแรงดันอินพุตดังตาราง

ตารางที่ 4.2 การทดลองวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

อินพุต (v)	เอาต์พุต
0	0000H
1	0333H
2	0666H
3	0999H
4	0CCCH
5	0FFFH

4.3.2 ผลการทดลอง

จากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ผลการทดลองปรากฏว่าค่าเอาต์พุตจะแปรผันตามค่าอินพุตที่ป้อนให้กับวงจร โดยค่าที่ได้จะเป็นอัตราส่วนที่สม่ำเสมอและเมื่อนำค่าจากผลการทดลองนั้นไปเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณแล้วปรากฏว่า ข้อมูลนั้นสัมพันธ์กันจึงสรุปได้ว่าค่าที่ได้จากการทดลองนั้นถูกต้อง

4.4 การทดลองการทำงานเครื่องแสดงผลอนุหมุมิแบบดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองการทำงานของเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอลคือใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบ T, J, K วัดแล้วส่งสัญญาณให้วงจรขยายสัญญาณการวัดจะรับสัญญาณการวัดมาจากเทอร์โมคัปเปิล มาทำการขยายสัญญาณเป็นแรงดันไฟฟ้าคือ 0-5 โวลต์ แล้วส่งต่อไปยังภาคการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล ส่งต่อไปยังตัว CPU ประมวลผลตามที่โปรแกรมไว้ โดยสามารถตั้งค่า Alarm ได้โดยการกด Keypad หลังจากทำการประมวลผลแล้วก็ส่งไปยังภาคแสดงผล Display แสดงค่าจากการวัดโดยแสดงบนจอ LCD

4.4.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. ประกอบภาคต่างๆ ของเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอลเข้าด้วยกัน โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิครั้งละแบบ ตามรูปที่ 3.1
2. ตรวจสอบความเรียบร้อยทั้งหมดของวงจร
3. ทำการป้อนอุณหภูมิอินพุตโดยใช้กล่องสร้างอุณหภูมิ (Dry Block) ให้กับเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอลแล้วอ่านค่าที่จอแสดงผล
4. ทำการคำนวณหาค่า Error ที่ค่า $\pm 2\%$ ที่ Full Scale

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล แบบ T

อินพุต (°C)	เอาต์พุต (°C)	Error (%)
0	2	-
50	49	2
100	98	2
150	148	1
200	198	1
250	247	1.2
300	304	1.3
350	354	1.1
400	406	1.5

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล แบบ J

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินพุต (°c)	เอาต์พุต (°c)	Error (%)
0	2	-
50	49	2
100	98	2
150	148	1
200	197	1.5
250	248	0.8
300	304	1.3
350	354	1.1
400	406	1.5
450	456	1.3
500	506	1.2
550	558	1.5
600	609	1.5
700	711	1.6

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล แบบ K

อินพุต (°c)	เอาต์พุต (°c)	Error (%)
0	2	-
50	49	2
100	98	2
150	148	1.3
200	198	1
250	248	0.8
300	304	1.3
350	354	1.1
400	406	1.6
450	456	1.3
500	506	1.2
550	557	1.3
600	608	1.3

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) ผลการทดลองเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล แบบ K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินพุต (°C)	เอาต์พุต (°C)	Error (%)
650	658	1.2
700	709	1.3
750	759	1.2
800	809	1.1
850	859	1.1
900	910	1.1
950	960	1.1
1000	1010	1
1050	1061	1
1100	1113	1.2
1150	1164	1.2
1200	1216	1.3
1250	1268	1.4
1300	1319	1.5

4.4.2 ผลการทดลอง

จากการทดลองใช้เครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอลโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล แบบ T, J, K ทำการวัดอุณหภูมิตามตารางแล้วปรากฏว่าเครื่องสามารถใช้วัดอุณหภูมิแล้วแสดงผลได้ มีบางช่วงอุณหภูมิที่เกิดค่ามีความผิดพลาดมากกว่า $\pm 2\%$ แต่เป็นค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุป

การจัดทำเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัลเป็นการนำความรู้หลายๆ ด้านที่ได้เรียนมา และจากการศึกษาเพิ่มเติมนำมาประยุกต์ให้เกิดความสัมพันธ์กันในทุกๆ ด้าน โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนของฮาร์ดแวร์และส่วนของซอฟต์แวร์ ในส่วนของฮาร์ดแวร์จะประกอบไปด้วยวงจรขยายสัญญาณการวัด วงจรการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล วงจรประมวลผลกลาง และวงจรโมดูลแอลซีดี เพื่อแสดงผลและตัวเซ็นเซอร์ใช้เทอร์โมคัปเปิล ในส่วนของซอฟต์แวร์จะเป็นส่วนที่ทำให้เครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัลทำงานได้ โดยการเขียนโปรแกรมจะใช้ภาษา Assembly สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จึงได้เครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัลขึ้นมา

5.2 ปัญหาและวิธีการแก้ไข

จากการดำเนินการสร้างและทดสอบโครงงานปรากฏว่ามีปัญหาเกิดขึ้นหลายประการ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ในการแสดงผลตัวเลขจะไม่นิ่งทำให้เกิดค่าผิดพลาด (Error) ในการแสดงผล เกิดจากสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในวงจร

วิธีการแก้ไข สร้างวงจรกรองสัญญาณรบกวนให้มีสัญญาณรบกวนเกิดน้อยที่สุด

2. ในการทดลอง Dry Box ไม่สามารถสร้างอุณหภูมิได้ถึงอุณหภูมิที่เครื่องสามารถวัดได้คือ 1,300 C° สร้างได้สูงสุด 600 C°

วิธีการแก้ไข ใช้การเปิดตารางป้อนแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิลในอุณหภูมิที่ Dry Box ไม่สามารถทำได้ถึง

3. ในการทดลองวัดอุณหภูมิเกิดค่าผิดพลาด (Error) จากการที่แท่งของตัวเทอร์โมคัปเปิลมีขนาดเล็กกว่าช่องของตัว Dry Box ทำให้จุดรับอุณหภูมิรับอุณหภูมิได้ไม่เต็มที่ทำให้เกิดค่าผิดพลาดของการวัด

วิธีการแก้ไข จัดซื้อเทอร์โมคัปเปิลที่มีขนาดวัดพอดีกับช่องของตัว Dry Box

4. การเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Assembly ต้องใช้เวลาในการศึกษาโปรแกรมอย่างมากและโปรแกรมที่เขียนก็ยังมีจุดผิดพลาดที่ต้องแก้ไข

วิธีการแก้ไข แบ่งเวลาให้มากขึ้นศึกษาอย่างจริงจังและปรึกษาผู้ที่สามารถเขียนได้ช่วยชี้แนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 แนวทางการพัฒนา

1. สามารถเพิ่มการปรับเปลี่ยนหน่วยของอุณหภูมิ และบันทึกวัน เดือน ปี ครั้งสุดท้ายที่มีการปรับเปลี่ยนค่าได้
2. สามารถนำค่าอุณหภูมิที่วัดได้ไปแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ได้
3. สามารถลดค่าความผิดพลาด (Error) ให้น้อยที่สุด เพราะงานการวัดนั้นมีความจำเป็นและสำคัญมาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ดุชนี ม่วงแก้ว, ชีรธัช ขวัญบุล, รัฐศักดิ์ โกบประยูร และสมบุญ จิตธรรม. 2543. "เครื่องวัดอุณหภูมิแบบปรับเทียบด้วยคอมพิวเตอร์." ปริญญาพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล และวรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล. 2540. **เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51**. กรุงเทพฯ : บริษัท อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด.

ธีรวัฒน์ ประกายผล. 2544. **การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์. 2548. **เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

สมศักดิ์ กীরติวุฒิเศรษฐ์. 2546. **เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม พิมพ์ครั้งที่ 18**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).



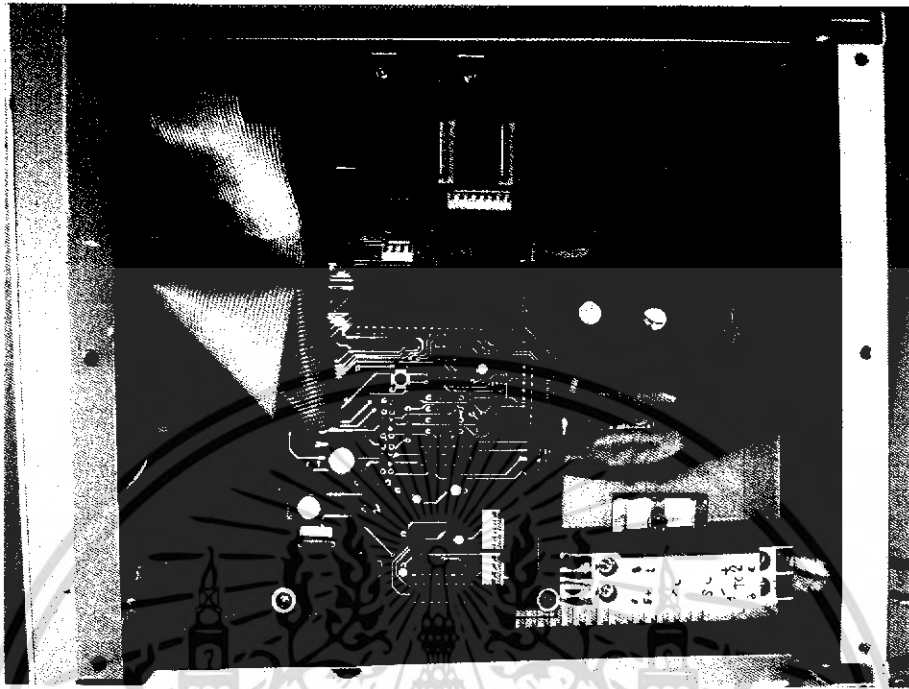
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



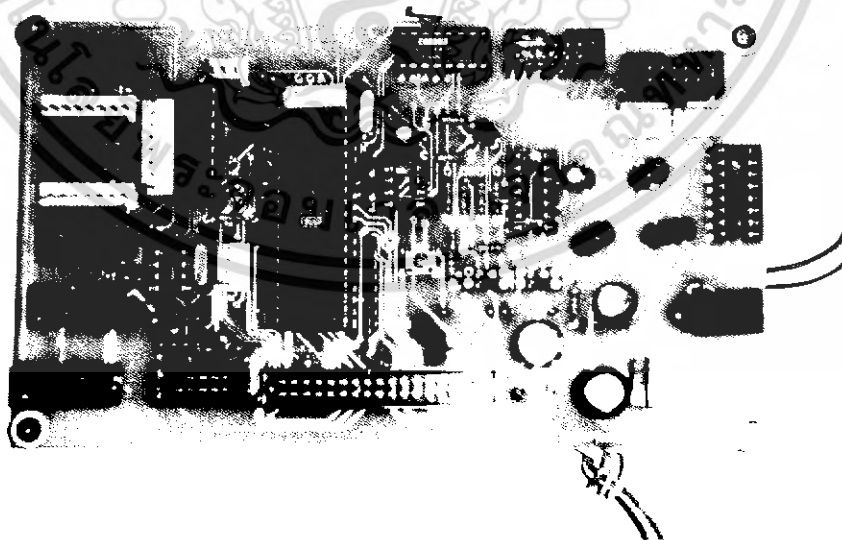
รูปที่ ก.1 ด้านหน้าของเครื่อง

รูปที่ ก.2 ด้านหลังของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 ด้านในของเครื่อง



รูปที่ ก.4 บอร์ดประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.6 วงจรแหล่งจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

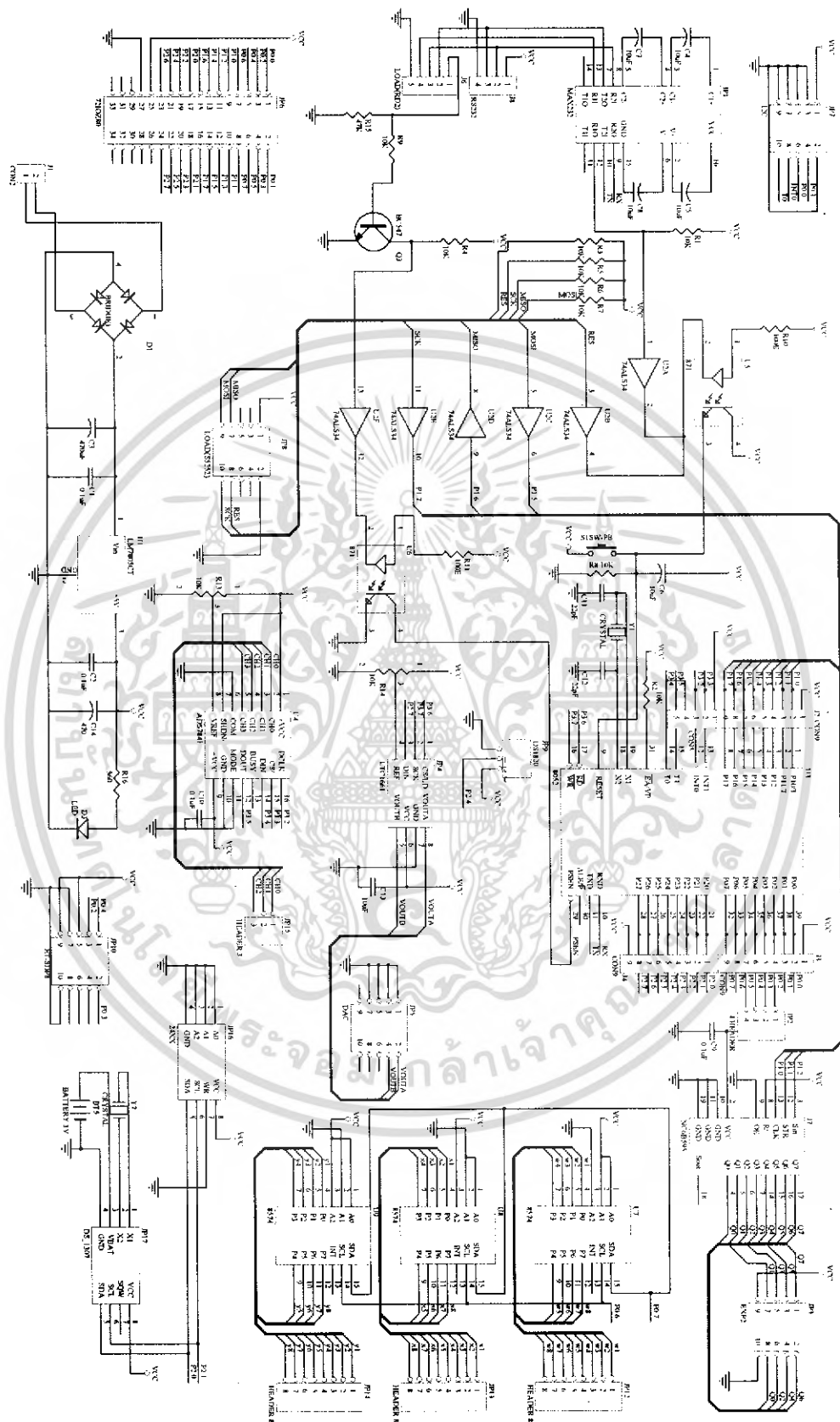


รูปที่ ก.7 การต่อใช้งาน

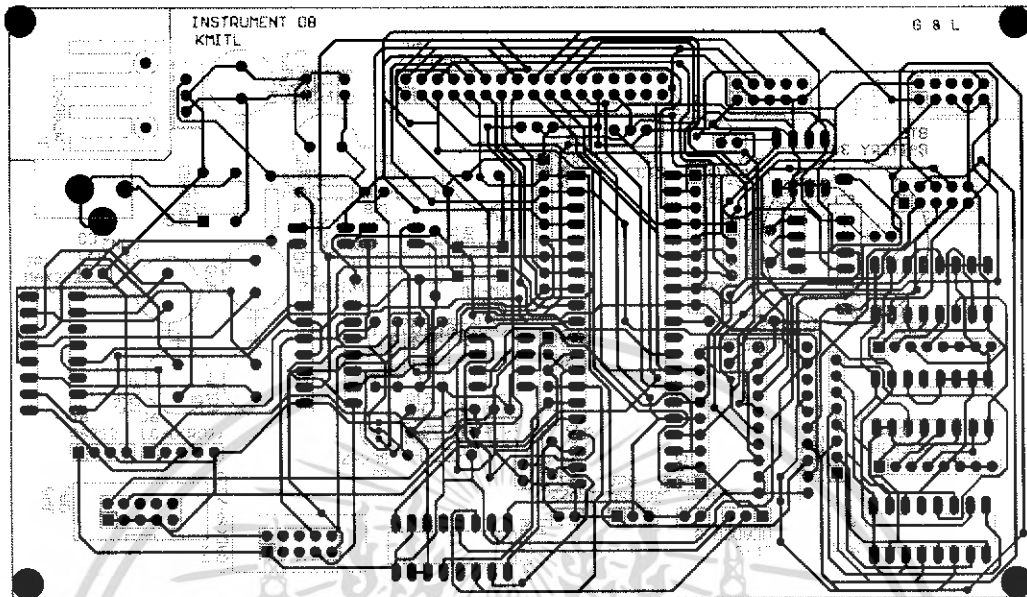
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



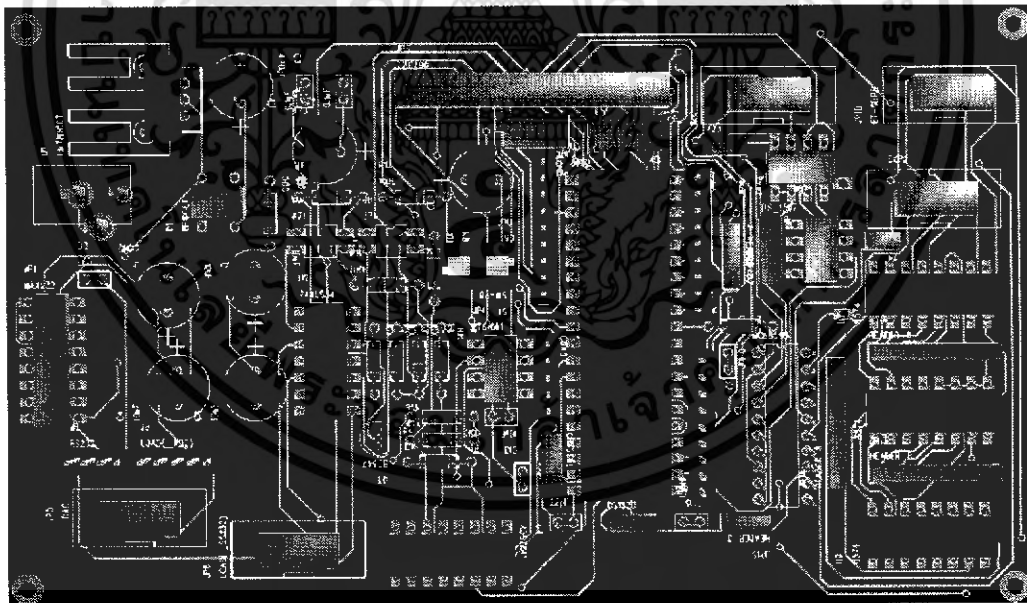
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ ๓.1 วงจรประมวลผลกลางและวงจร A to D นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

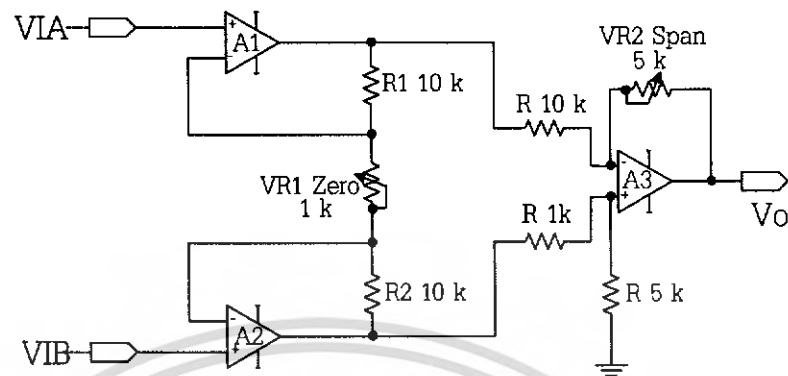


รูปที่ ข.2 แผงวงจรพิมพ์วงจรประมวลผลกลางและวงจร A to D

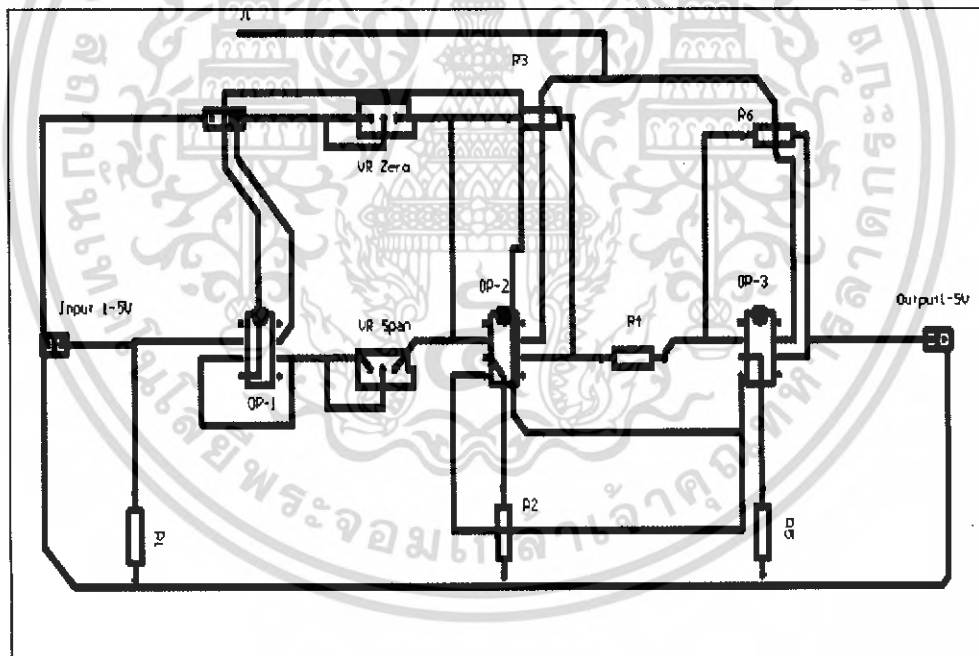


รูปที่ ข.3 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผงวงจรพิมพ์วงจรประมวลผลกลางและวงจร A to D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

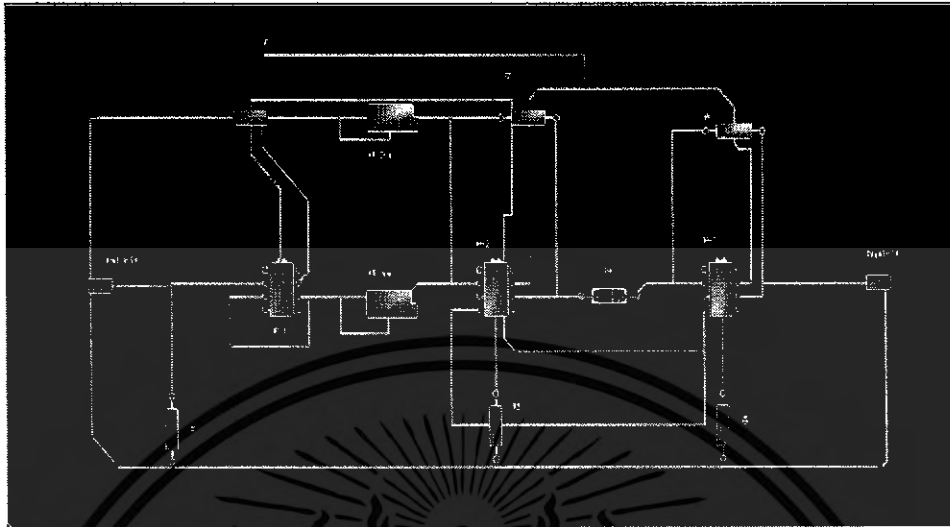


รูปที่ ข.4 วงจรขยายสัญญาณการวัด



รูปที่ ข.5 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรขยายสัญญาณการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.6 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์วงจรขยายสัญญาณการวัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรประมวลผลกลาง

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC1	AT89S8252	1 ตัว
IC2	MAX232	1 ตัว
IC3	NC6B595	1 ตัว
IC4	PC817	2 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
DB1	DBI04G 7432	1 ตัว
LED	สีเขียว	1 ตัว
TR1	7805	1 ตัว
TR2	BC547	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C1	10 μ F/50 โวลต์	5 ตัว
C2	0.1 μ F25 โวลต์	3 ตัว
C3	22 PF	2 ตัว
ตัวต้านทาน		
R1	1 k Ω	1 ตัว
R2	47 Ω	1 ตัว
R3	100 Ω	2 ตัว
R4	10 k Ω	2 ตัว
RP1	10 k Ω	4 ตัว
VR	10 k Ω	2 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
XTAL1	18.423 MHz	1 ตัว
Pin1	20 ขา	1 ตัว
Pin2	40 ขา	1 ตัว
Pin3	16 ขา	1 ตัว
Pin4	4 ขา	2 ตัว
Connect1	10 ขา	6 ตัว
Connect2	4 ขา	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม IC1	ADS7841	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ C1	0.1 μ F 25 โวลต์	1 ตัว
ตัวต้านทาน VR1	10 k Ω	1 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ Pin	10 ขา	1 ตัว

ตารางที่ ค.3 รายการอุปกรณ์ของวงจรขยายสัญญาณการวัด

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม IC1	OP07	3 ตัว
ตัวต้านทาน R1	10 k Ω	3 ตัว
R2	5 k Ω	2 ตัว
VR1	5 k Ω	1 ตัว
VR2	1 k Ω	1 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ Pin1	8 ขา	3 ตัว
Connect1	2 ขา	2 ตัว
Connect1	3 ขา	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 รายการอุปกรณ์ของวงจรแสดงผล

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม LCD	20×2	1 ตัว
ตัวต้านทาน R1	10 kΩ	1 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ PIN1	16 ขา	1 ตัว

ตารางที่ ค.5 รายการอุปกรณ์ของวงจรแหล่งจ่าย

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม IC1	7805	2 ตัว
IC2	7808	1 ตัว
IC2	7908	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ C1	470μF/50โวลต์	2 ตัว
C2	0.1μF/50โวลต์	2 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ LED	สีเขียว	1 ตัว
ตัวต้านทาน R1	330 Ω	3 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ DB1	DBI04G 7432	2 ตัว
Transformer	220/12 VAC	2 ตัว

ตารางที่ ค.6 รายการอุปกรณ์ของวงจรคีย์สวิตช์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม Switch	Pushbutton	4 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

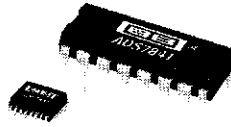


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Burr-Brown Products
from Texas Instruments

ADS7841



SBAS084B – JULY 2001

12-Bit, 4-Channel Serial Output Sampling ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER

FEATURES

- SINGLE SUPPLY: 2.7V to 5V
- 4-CHANNEL SINGLE-ENDED OR 2-CHANNEL DIFFERENTIAL INPUT
- UP TO 200kHz CONVERSION RATE
- ± 1 LSB MAX INL AND DNL
- NO MISSING CODES
- 72dB SINAD
- SERIAL INTERFACE
- DIP-16 OR SSOP-16 PACKAGE
- ALTERNATE SOURCE FOR MAX1247
- ADS7841ES: +125°C Version

APPLICATIONS

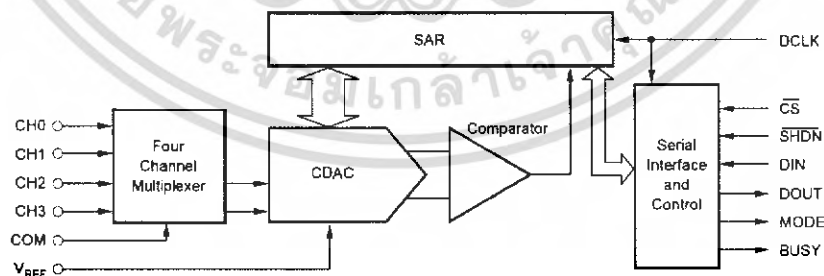
- DATA ACQUISITION
- TEST AND MEASUREMENT
- INDUSTRIAL PROCESS CONTROL
- PERSONAL DIGITAL ASSISTANTS
- BATTERY-POWERED SYSTEMS

DESCRIPTION

The ADS7841 is a 4-channel, 12-bit sampling Analog-to-Digital Converter (ADC) with a synchronous serial interface. The resolution is programmable to either 8 bits or 12 bits. Typical power dissipation is 2mW at a 200kHz throughput rate and a +5V supply. The reference voltage (V_{REF}) can be varied between 100mV and V_{CC} , providing a corresponding input voltage range of 0V to V_{REF} . The device includes a shutdown mode which reduces power dissipation to under 15 μ W. The ADS7841 is tested down to 2.7V operation.

Low power, high speed, and on-board multiplexer make the ADS7841 ideal for battery-operated systems such as personal digital assistants, portable multi-channel data loggers, and measurement equipment. The serial interface also provides low-cost isolation for remote data acquisition. The ADS7841 is available in a DIP-16 or a SSOP-16 package and is specified over the -40°C to $+125^{\circ}\text{C}^{(1)}$ temperature range.

NOTE: (1) ES grade only.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

TEXAS
INSTRUMENTS
www.ti.com

Copyright © 2000, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS⁽¹⁾

+V _{CC} to GND	-0.3V to +6V
Analog Inputs to GND	-0.3V to +V _{CC} + 0.3V
Digital Inputs to GND	-0.3V to +6V
Power Dissipation	250mW
Maximum Junction Temperature	+150°C
Operating Temperature Range	-40°C to +125°C ⁽²⁾
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C

NOTES: (1) Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. Exposure to absolute maximum conditions for extended periods may affect device reliability. (2) ADS7841ES only. All other grades are: -40°C to +85°C.

**ELECTROSTATIC DISCHARGE SENSITIVITY**

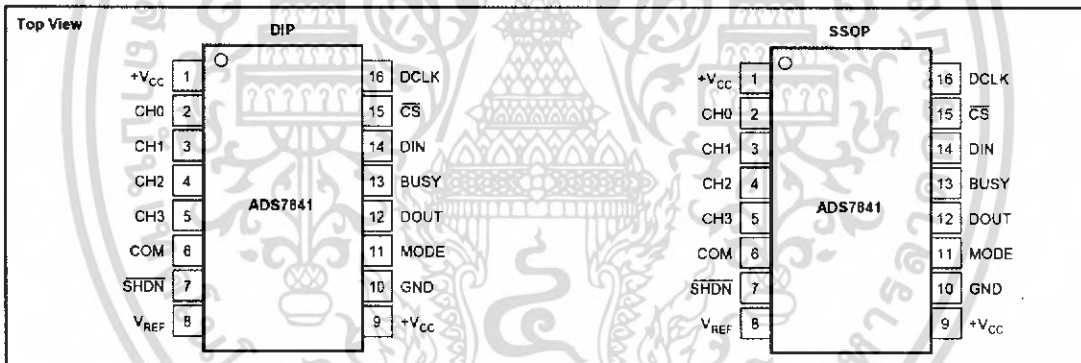
This integrated circuit can be damaged by ESD. Texas Instruments recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

PACKAGE/ORDERING INFORMATION

PRODUCT	MINIMUM RELATIVE ACCURACY (LSB)	MAXIMUM GAIN ERROR (LSB)	SPECIFICATION TEMPERATURE RANGE	PACKAGE	PACKAGE DESIGNATOR	PACKAGE DRAWING NUMBER	ORDERING NUMBER ⁽¹⁾	TRANSPORT MEDIA
ADS7841E	±2	±4	-40°C to +85°C	SSOP-16	DBQ	322	ADS7841E	Rails
ADS7841P	±2	-	-40°C to +85°C	DIP-16	N	180	ADS7841E/2K5	Tape and Reel
ADS7841EB	±1	±3	-40°C to +85°C	SSOP-16	DBQ	322	ADS7841P	Rails
ADS7841PB	±1	-	-40°C to +85°C	DIP-16	N	180	ADS7841EB	Rails
ADS7841ES	±2	±4	-40°C to +125°C	SSOP-16	DBQ	322	ADS7841E/2K5	Tape and Reel
							ADS7841PB	Rails
							ADS7841ES/2K5	Tape and Reel

NOTES: (1) Models with a slash (/) are available only in Tape and Reel in the quantities indicated (e.g., /2K5 indicates 2500 devices per reel). Ordering 2500 pieces of "ADS7841E/2K5" will get a single 2500-piece Tape and Reel.

PIN CONFIGURATIONS**PIN DESCRIPTIONS**

PIN	NAME	DESCRIPTION
1	+V _{CC}	Power Supply, 2.7V to 5V
2	CH0	Analog Input Channel 0
3	CH1	Analog Input Channel 1
4	CH2	Analog Input Channel 2
5	CH3	Analog Input Channel 3
6	COM	Ground Reference for Analog Inputs. Sets zero code voltage in single-ended mode. Connect this pin to ground or ground reference point.
7	SHDN	Shutdown. When LOW, the device enters a very low power shutdown mode.
8	V _{REF}	Voltage Reference Input
9	+V _{CC}	Power Supply, 2.7V to 5V
10	GND	Ground
11	MODE	Conversion Mode. When LOW, the device always performs a 12-bit conversion. When HIGH, the resolution is set by the MODE bit in the CONTROL byte.
12	DOUT	Serial Data Output. Data is shifted on the falling edge of DCLK. This output is high impedance when CS is HIGH.
13	BUSY	Busy Output. This output is high impedance when CS is HIGH.
14	DIN	Serial Data Input. If CS is LOW, data is latched on rising edge of DCLK.
15	CS	Chip Select Input. Controls conversion timing and enables the serial input/output register.
16	DCLK	External Clock Input. This clock runs the SAR conversion process and synchronizes serial data I/O.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS: +5V

At $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} , $+V_{CC} = +5V$, $V_{REF} = +5V$, $f_{SAMPLE} = 200kHz$, and $f_{CLK} = 16 \cdot f_{SAMPLE} = 3.2MHz$, unless otherwise noted.

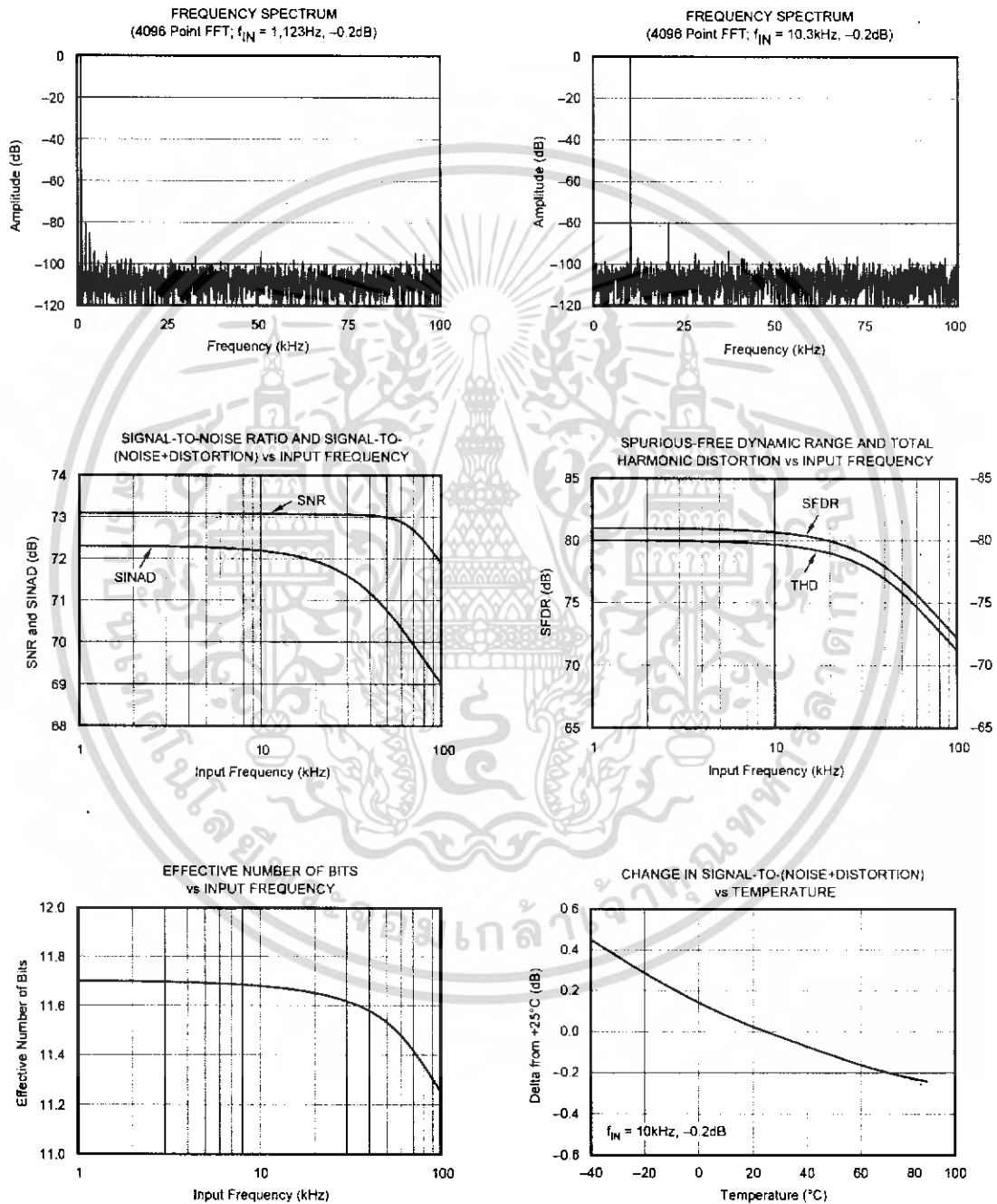
PARAMETER	CONDITIONS	ADS7841E, P			ADS7841EB, PB			ADS7841ES			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
ANALOG INPUT											
Full-Scale Input Span	Positive Input - Negative Input	0		V_{REF}	*		*	*		*	V
Absolute Input Range	Positive Input	-0.2		$+V_{CC} + 0.2$	*		*	*		*	V
	Negative Input	-0.2		+1.25	*		*	*		*	V
Capacitance			25			*			*		pF
Leakage Current				200			200			200	nA
SYSTEM PERFORMANCE											
Resolution		12	12		12	*		11	*		Bits
No Missing Codes											Bits
Integral Linearity Error				±2			±1			2	LSB ⁽¹⁾
Differential Linearity Error			±0.8			±0.5	±1		±0.8		LSB
Offset Error				±3			*		*	*	LSB
Offset Error Match			0.15	1.0		*	*		*	*	LSB
Gain Error				±4			±3			±4	LSB
Gain Error Match			0.1	1.0		*	*		*	*	LSB
Noise			30			*	*		*	*	μVrms
Power-Supply Rejection			70			*	*		*	*	dB
SAMPLING DYNAMICS											
Conversion Time				12			*			*	Clk Cycles
Acquisition Time		3			*			*		*	Clk Cycles
Throughput Rate				200			*			*	kHz
Multiplexer Settling Time			500			*			*		ns
Aperture Delay			30			*			*		ns
Aperture Jitter			100			*			*		ps
DYNAMIC CHARACTERISTICS											
Total Harmonic Distortion ⁽²⁾	$V_{IN} = 5Vp-p$ at 10kHz		-78	-72		-80	-76		-78	-72	dB
Signal-to-(Noise + Distortion)	$V_{IN} = 5Vp-p$ at 10kHz	68	71		70	72		68	71		dB
Spurious-Free Dynamic Range	$V_{IN} = 5Vp-p$ at 10kHz	72	79		76	81		72	79		dB
Channel-to-Channel Isolation	$V_{IN} = 5Vp-p$ at 50kHz		120			*			120		dB
REFERENCE INPUT											
Range		0.1		$+V_{CC}$	*		*	*		*	V
Resistance	DCLK Static		5			*	*	*	*	*	Ω
Input Current			40	100		*	*		*	*	μA
	$f_{SAMPLE} = 12.5kHz$		2.5			*	*		*	*	μA
	DCLK Static		0.001	3		*	*		*	*	μA
DIGITAL INPUT/OUTPUT											
Logic Family			CMOS			*			*		
Logic Levels											
V_{IH}	$ I_{IH} \leq +5\mu A$	3.0		5.5	*		*	*		*	V
V_{IL}	$ I_{IL} \leq +5\mu A$	-0.3		+0.8	*		*	*		*	V
V_{OH}	$I_{OH} = -250\mu A$	3.5			*		*	*		*	V
V_{OL}	$I_{OL} = 250\mu A$			0.4			*		*	*	V
Data Format			Straight Binary				*		*		
PWR SUPPLY REQUIREMENTS											
$+V_{CC}$	Specified Performance	4.75		5.25	*		*	*		*	V
Quiescent Current			550	900			*		*	*	μA
	$f_{SAMPLE} = 12.5kHz$ Power-Down Mode ⁽³⁾ , $CS = +V_{CC}$		300			*			*	*	μA
Power Dissipation				3			*		*	*	mW
TEMPERATURE RANGE											
Specified Performance		-40		+85	*		*	*		+125	°C

* Same specifications as ADS7841E, P.

NOTE: (1) LSB means Least Significant Bit. With V_{REF} equal to +5.0V, one LSB is 1.22mV. (2) First five harmonics of the test frequency. (3) Auto power-down mode (PD1 = PD0 = 0) active or $\overline{SHDN} = GND$.

TYPICAL CHARACTERISTICS: +5V

At $T_A = +25^\circ\text{C}$, $+V_{CC} = +5\text{V}$, $V_{REF} = +5\text{V}$, $f_{\text{SAMPLE}} = 200\text{kHz}$, and $f_{\text{CLK}} = 16 \cdot f_{\text{SAMPLE}} = 3.2\text{MHz}$, unless otherwise noted.



ADS7841
SBAS084B

TEXAS
INSTRUMENTS

5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THEORY OF OPERATION

The ADS7841 is a classic Successive Approximation Register (SAR) ADC. The architecture is based on capacitive redistribution that inherently includes a sample-and-hold function. The converter is fabricated on a $0.6\mu\text{s}$ CMOS process.

The basic operation of the ADS7841 is shown in Figure 1. The device requires an external reference and an external clock. It operates from a single supply of 2.7V to 5.25V. The external reference can be any voltage between 100mV and $+V_{CC}$. The value of the reference voltage directly sets the input range of the converter. The average reference input current depends on the conversion rate of the ADS7841.

The analog input to the converter is differential and is provided via a four-channel multiplexer. The input can be provided in reference to a voltage on the COM pin (which is generally ground) or differentially by using two of the four input channels (CH0 - CH3). The particular configuration is selectable via the digital interface.

ANALOG INPUT

Figure 2 shows a block diagram of the input multiplexer on the ADS7841. The differential input of the converter is derived from one of the four inputs in reference to the COM pin or two of the four inputs. Table I and Table II show the relationship between the A2, A1, A0, and SGL/DIF control bits and the configuration of the analog multiplexer. The control bits are provided serially via the DIN pin, see the Digital Interface section of this data sheet for more details.

When the converter enters the hold mode, the voltage difference between the +IN and -IN inputs (as shown in Figure 2) is captured on the internal capacitor array. The voltage on the -IN input is limited between -0.2V and 1.25V , allowing the input to reject small signals that are common to both the +IN and -IN input. The +IN input has a range of -0.2V to $+V_{CC} + 0.2\text{V}$.

The input current on the analog inputs depends on the conversion rate of the device. During the sample period, the source must charge the internal sampling capacitor (typically 25pF). After the capacitor has been fully charged, there is no further input current. The rate of charge transfer from the analog source to the converter is a function of conversion rate.

A2	A1	A0	CH0	CH1	CH2	CH3	COM
0	0	1	+IN				-IN
1	0	1		+IN			-IN
0	1	0			+IN		-IN
1	1	0				+IN	-IN

TABLE I. Single-Ended Channel Selection (SGL/DIF HIGH).

A2	A1	A0	CH0	CH1	CH2	CH3	COM
0	0	1	+IN	-IN			
1	0	1	-IN	+IN			
0	1	0			+IN	-IN	
1	1	0			-IN	+IN	

TABLE II. Differential Channel Control (SGL/DIF LOW).

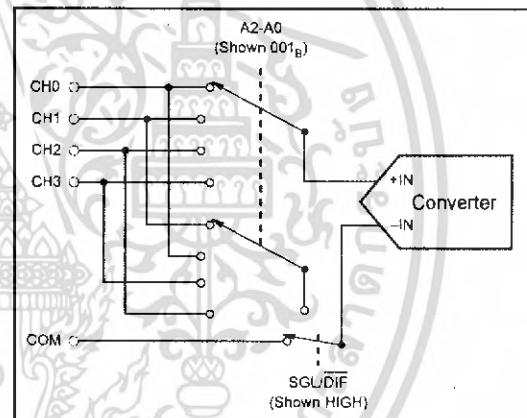


FIGURE 2. Simplified Diagram of the Analog Input.

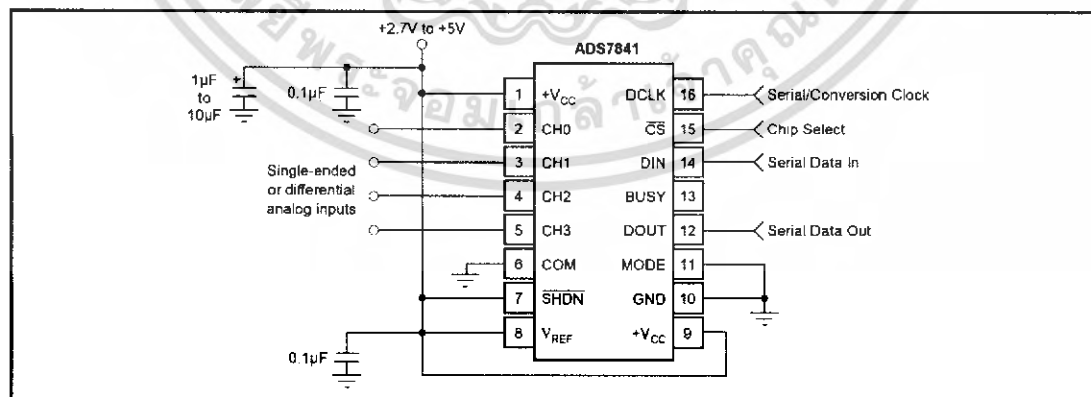


FIGURE 1. Basic Operation of the ADS7841.

ADS7841
SBAS084B

TEXAS
INSTRUMENTS

REFERENCE INPUT

The external reference sets the analog input range. The ADS7841 will operate with a reference in the range of 100mV to +V_{CC}. Keep in mind that the analog input is the difference between the +IN input and the -IN input, see Figure 2. For example, in the single-ended mode, a 1.25V reference, and with the COM pin grounded, the selected input channel (CH0 - CH3) will properly digitize a signal in the range of 0V to 1.25V. If the COM pin is connected to 0.5V, the input range on the selected channel is 0.5V to 1.75V.

There are several critical items concerning the reference input and its wide voltage range. As the reference voltage is reduced, the analog voltage weight of each digital output code is also reduced. This is often referred to as the LSB (least significant bit) size and is equal to the reference voltage divided by 4096. Any offset or gain error inherent in the ADC will appear to increase, in terms of LSB size, as the reference voltage is reduced. For example, if the offset of a given converter is 2LSBs with a 2.5V reference, then it will typically be 10LSBs with a 0.5V reference. In each case, the actual offset of the device is the same, 1.22mV.

Likewise, the noise or uncertainty of the digitized output will increase with lower LSB size. With a reference voltage of 100mV, the LSB size is 24μV. This level is below the internal noise of the device. As a result, the digital output code will not be stable and vary around a mean value by a number of LSBs. The distribution of output codes will be gaussian and the noise can be reduced by simply averaging consecutive conversion results or applying a digital filter.

With a lower reference voltage, care should be taken to provide a clean layout including adequate bypassing, a clean (low-noise, low-ripple) power supply, a low-noise reference, and a low-noise input signal. Because the LSB size is lower, the converter will also be more sensitive to nearby digital signals and electromagnetic interference.

The voltage into the V_{REF} input is not buffered and directly drives the Capacitor Digital-to-Analog Converter (CDAC) portion of the ADS7841. Typically, the input current is 13μA with a 2.5V reference. This value will vary by microamps depending on the result of the conversion. The reference current diminishes directly with both conversion rate and reference voltage. As the current from the reference is drawn on each bit decision, clocking the converter more quickly during a given conversion period will not reduce overall current drain from the reference.

DIGITAL INTERFACE

Figure 3 shows the typical operation of the ADS7841's digital interface. This diagram assumes that the source of the digital signals is a microcontroller or digital signal processor with a basic serial interface (note that the digital inputs are over-voltage tolerant up to 5.5V, regardless of +V_{CC}). Each communication between the processor and the converter consists of eight clock cycles. One complete conversion can be accomplished with three serial communications, for a total of 24 clock cycles on the DCLK input.

The first eight clock cycles are used to provide the control byte via the DIN pin. When the converter has enough information about the following conversion to set the input multiplexer appropriately, it enters the acquisition (sample) mode. After three more clock cycles, the control byte is complete and the converter enters the conversion mode. At this point, the input sample-and-hold goes into the hold mode. The next twelve clock cycles accomplish the actual Analog-to-Digital conversion. A thirteenth clock cycle is needed for the last bit of the conversion result. Three more clock cycles are needed to complete the last byte (DOUT will be LOW). These will be ignored by the converter.

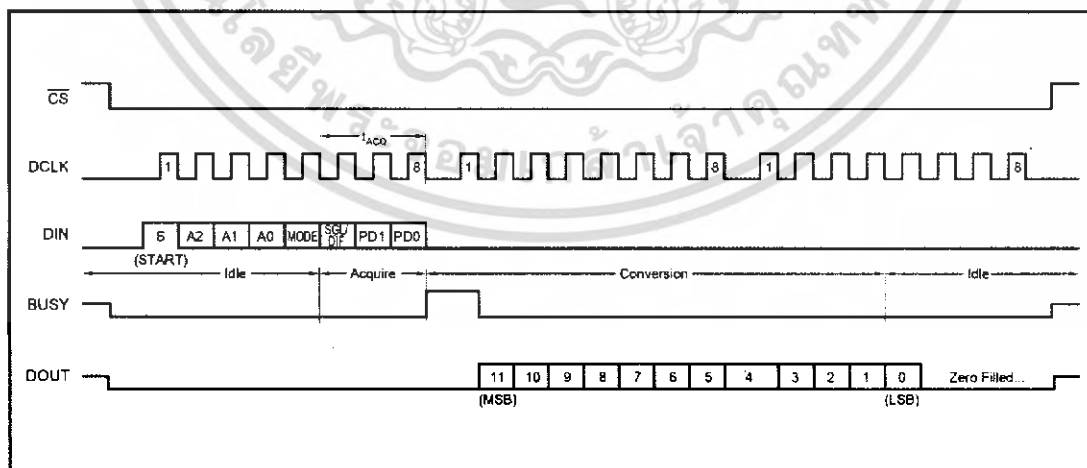


FIGURE 3. Conversion Timing, 24-Clocks per Conversion, 8-Bit Bus Interface. No DCLK delay required with dedicated serial port.

Control Byte

Also shown in Figure 3 is the placement and order of the control bits within the control byte. Tables III and IV give detailed information about these bits. The first bit, the 'S' bit, must always be HIGH and indicates the start of the control byte. The ADS7841 will ignore inputs on the DIN pin until the start bit is detected. The next three bits (A2 - A0) select the active input channel or channels of the input multiplexer (see Tables I and II and Figure 2).

Bit 7 (MSB)	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0 (LSB)
S	A2	A1	A0	MODE	SGL/DIF	PD1	PD0

TABLE III. Order of the Control Bits in the Control Byte.

BIT	NAME	DESCRIPTION
7	S	Start Bit. Control byte starts with first HIGH bit on DIN. A new control byte can start every 15th clock cycle in 12-bit conversion mode or every 11th clock cycle in 8-bit conversion mode.
6 - 4	A2 - A0	Channel Select Bits. Along with the SGL/DIF bit, these bits control the setting of the multiplexer input, see Tables I and II.
3	MODE	12-Bit/8-Bit Conversion Select Bit. If the MODE pin is HIGH, this bit controls the number of bits for the next conversion: 12-bits (LOW) or 8-bits (HIGH). If the MODE pin is LOW, this bit has no function and the conversion is always 12 bits.
2	SGL/DIF	Single-Ended/Differential Select Bit. Along with bits A2 - A0, this bit controls the setting of the multiplexer input, see Tables I and II.
1 - 0	PD1 - PD0	Power-Down Mode Select Bits. See Table V for details.

TABLE IV. Descriptions of the Control Bits within the Control Byte.

The MODE bit and the MODE pin work together to determine the number of bits for a given conversion. If the MODE pin is LOW, the converter always performs a 12-bit conversion regardless of the state of the MODE bit. If the

MODE pin is HIGH, then the MODE bit determines the number of bits for each conversion, either 12 bits (LOW) or 8 bits (HIGH).

The SGL/DIF bit controls the multiplexer input mode: either single-ended (HIGH) or differential (LOW). In single-ended mode, the selected input channel is referenced to the COM pin. In differential mode, the two selected inputs provide a differential input. See Tables I and II and Figure 2 for more information. The last two bits (PD1 - PD0) select the power-down mode, as shown in Table V. If both inputs are HIGH, the device is always powered up. If both inputs are LOW, the device enters a power-down mode between conversions. When a new conversion is initiated, the device will resume normal operation instantly—no delay is needed to allow the device to power up and the very first conversion will be valid.

16-Clocks per Conversion

The control bits for conversion n+1 can be overlapped with conversion 'n' to allow for a conversion every 16 clock cycles, as shown in Figure 4. This figure also shows possible serial communication occurring with other serial peripherals between each byte transfer between the processor and the converter. This is possible provided that each conversion completes within 1.6ms of starting. Otherwise, the signal that has been captured on the input sample-and-hold may droop enough to affect the conversion result. In addition, the ADS7841 is fully powered while other serial communications are taking place.

PD1	PD0	Description
0	0	Power-down between conversions. When each conversion is finished, the converter enters a low power mode. At the start of the next conversion, the device instantly powers up to full power. There is no need for additional delays to assure full operation and the very first conversion is valid.
0	1	Reserved for Future Use
1	0	Reserved for Future Use
1	1	No power-down between conversions, device always powered.

TABLE V. Power-Down Selection.

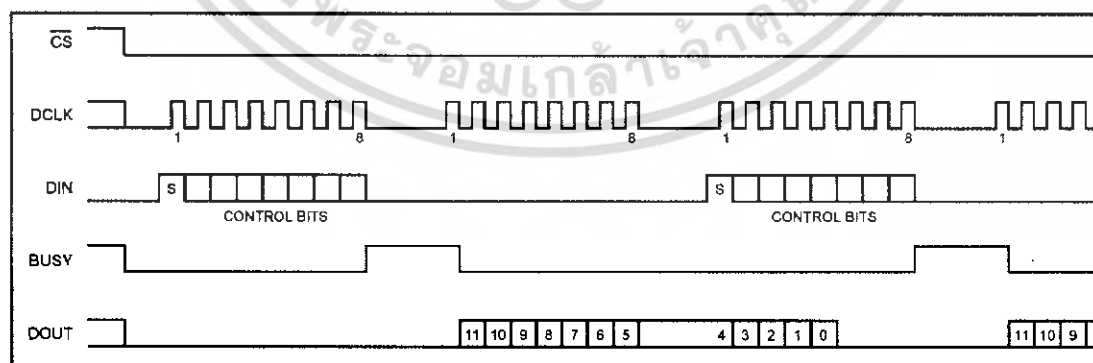


FIGURE 4. Conversion Timing, 16-Clocks per Conversion, 8-bit Bus Interface. No DCLK delay required with dedicated serial port.

ADS7841
SBAS084B

TEXAS
INSTRUMENTS

Digital Timing

Figure 5 and Tables VI and VII provide detailed timing for the digital interface of the ADS7841.

15-Clocks per Conversion

Figure 6 provides the fastest way to clock the ADS7841. This method will not work with the serial interface of most

microcontrollers and digital signal processors as they are generally not capable of providing 15 clock cycles per serial transfer. However, this method could be used with Field Programmable Gate Arrays (FPGAs) or Application Specific Integrated Circuits (ASICs). Note that this effectively increases the maximum conversion rate of the converter beyond the values given in the specification tables, which assume 16 clock cycles per conversion.

SYMBOL	DESCRIPTION	MIN	TYP	MAX	UNITS
t_{ACQ}	Acquisition Time	1.5			μ s
t_{DS}	DIN Valid Prior to DCLK Rising	100			ns
t_{DH}	DIN Hold After DCLK HIGH	10			ns
t_{DO}	DCLK Falling to DOUT Valid			200	ns
t_{DV}	$\overline{CS}$ Falling to DOUT Enabled			200	ns
t_{DR}	$\overline{CS}$ Rising to DOUT Disabled			200	ns
t_{CSS}	$\overline{CS}$ Falling to First DCLK Rising	100			ns
t_{CSH}	$\overline{CS}$ Rising to DCLK Ignored	0			ns
t_{CH}	DCLK HIGH	200			ns
t_{CL}	DCLK LOW	200			ns
t_{BD}	DCLK Falling to BUSY Rising			200	ns
t_{BOV}	$\overline{CS}$ Falling to BUSY Enabled			200	ns
t_{BTR}	$\overline{CS}$ Rising to BUSY Disabled			200	ns

TABLE VI. Timing Specifications ($+V_{CC} = +2.7V$ to $3.6V$, $T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$, $C_{LOAD} = 50pF$).

SYMBOL	DESCRIPTION	MIN	TYP	MAX	UNITS
t_{ACQ}	Acquisition Time	900			ns
t_{DS}	DIN Valid Prior to DCLK Rising	50			ns
t_{DH}	DIN Hold After DCLK HIGH	10			ns
t_{DO}	DCLK Falling to DOUT Valid			100	ns
t_{DV}	$\overline{CS}$ Falling to DOUT Enabled			70	ns
t_{DR}	$\overline{CS}$ Rising to DOUT Disabled			70	ns
t_{CSS}	$\overline{CS}$ Falling to First DCLK Rising	50			ns
t_{CSH}	$\overline{CS}$ Rising to DCLK Ignored	0			ns
t_{CH}	DCLK HIGH	150			ns
t_{CL}	DCLK LOW	150			ns
t_{BD}	DCLK Falling to BUSY Rising			100	ns
t_{BOV}	$\overline{CS}$ Falling to BUSY Enabled			70	ns
t_{BTR}	$\overline{CS}$ Rising to BUSY Disabled			70	ns

TABLE VII. Timing Specifications ($+V_{CC} = +4.75V$ to $+5.25V$, $T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$, $C_{LOAD} = 50pF$).

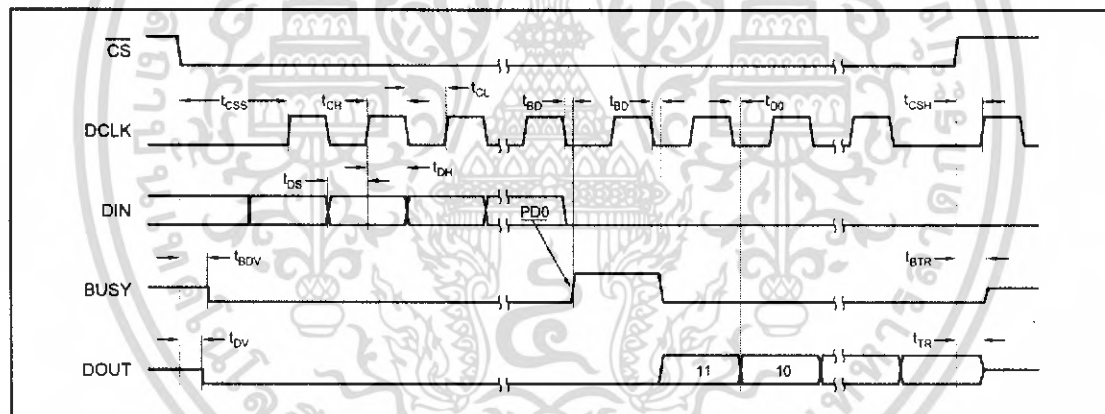


FIGURE 5. Detailed Timing Diagram.

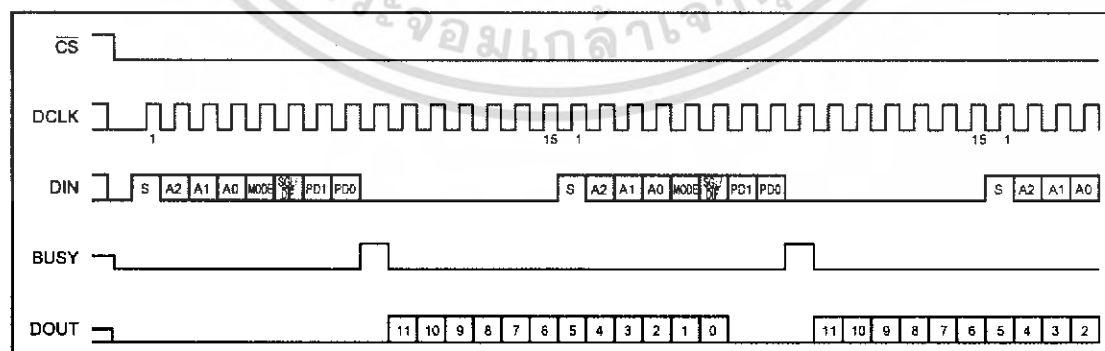


FIGURE 6. Maximum Conversion Rate, 15-Clocks per Conversion.

Data Format

The ADS7841 output data is in straight binary format, as shown in Figure 7. This figure shows the ideal output code for the given input voltage and does not include the effects of offset, gain, or noise.

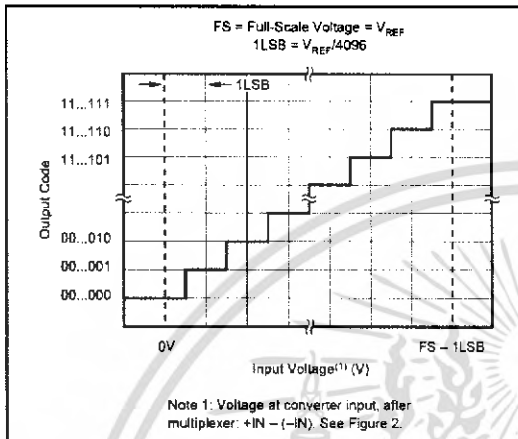


FIGURE 7. Ideal Input Voltages and Output Codes.

8-Bit Conversion

The ADS7841 provides an 8-bit conversion mode that can be used when faster throughput is needed and the digital result is not as critical. By switching to the 8-bit mode, a conversion is complete four clock cycles earlier. This could be used in conjunction with serial interfaces that provide a 12-bit transfer or two conversions could be accomplished with three 8-bit transfers. Not only does this shorten each conversion by four bits (25% faster throughput), but each conversion can actually occur at a faster clock rate. This is because the internal settling time of the ADS7841 is not as critical, settling to better than 8 bits is all that is needed. The clock rate can be as much as 50% faster. The faster clock rate and fewer clock cycles combine to provide a 2x increase in conversion rate.

POWER DISSIPATION

There are three power modes for the ADS7841: full power (PD1 - PD0 = 11B), auto power-down (PD1 - PD0 = 00B), and shutdown (SHDN LOW). The affects of these modes varies depending on how the ADS7841 is being operated. For example, at full conversion rate and 16 clocks per conversion, there is very little difference between full power mode and auto power-down. Likewise, if the device has entered auto power-down, a shutdown (SHDN LOW) will not lower power dissipation.

When operating at full-speed and 16-clocks per conversion (see Figure 4), the ADS7841 spends most of its time acquiring or converting. There is little time for auto power-down, assuming that this mode is active. Thus, the difference between full power mode and auto power-down is negli-

gible. If the conversion rate is decreased by simply slowing the frequency of the DCLK input, the two modes remain approximately equal. However, if the DCLK frequency is kept at the maximum rate during a conversion, but conversion are simply done less often, then the difference between the two modes is dramatic. Figure 8 shows the difference between reducing the DCLK frequency ("scaling" DCLK to match the conversion rate) or maintaining DCLK at the highest frequency and reducing the number of conversion per second. In the later case, the converter spends an increasing percentage of its time in power-down mode (assuming the auto power-down mode is active).

If DCLK is active and CS is LOW while the ADS7841 is in auto power-down mode, the device will continue to dissipate some power in the digital logic. The power can be reduced to a minimum by keeping CS HIGH. The differences in supply current for these two cases are shown in Figure 9.

Operating the ADS7841 in auto power-down mode will result in the lowest power dissipation, and there is no conversion time "penalty" on power-up. The very first conversion will be valid. SHDN can be used to force an immediate power-down.

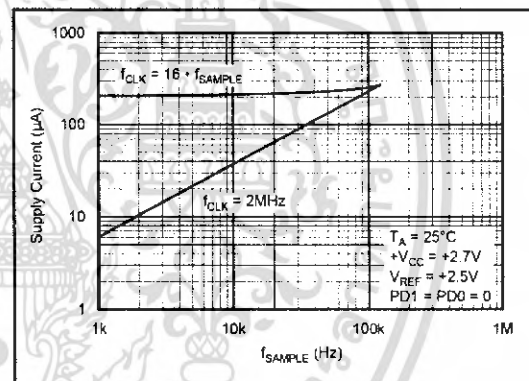


FIGURE 8. Supply Current vs Directly Scaling the Frequency of DCLK with Sample Rate or Keeping DCLK at the Maximum Possible Frequency.

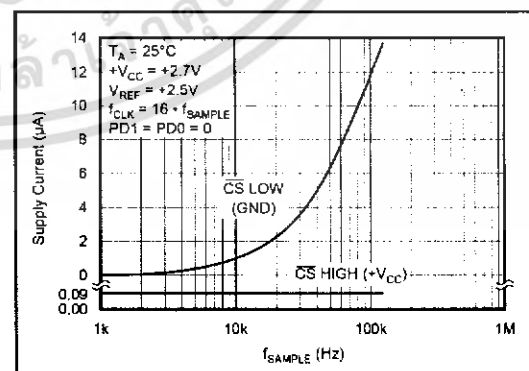


FIGURE 9. Supply Current vs State of CS.

LAYOUT

For optimum performance, care should be taken with the physical layout of the ADS7841 circuitry. This is particularly true if the reference voltage is low and/or the conversion rate is high.

The basic SAR architecture is sensitive to glitches or sudden changes on the power supply, reference, ground connections, and digital inputs that occur just prior to latching the output of the analog comparator. Thus, during any single conversion for an n-bit SAR converter, there are n "windows" in which large external transient voltages can easily affect the conversion result. Such glitches might originate from switching power supplies, nearby digital logic, and high power devices. The degree of error in the digital output depends on the reference voltage, layout, and the exact timing of the external event. The error can change if the external event changes in time with respect to the DCLK input.

With this in mind, power to the ADS7841 should be clean and well bypassed. A 0.1 μ F ceramic bypass capacitor should be placed as close to the device as possible. In addition, a 1 μ F to 10 μ F capacitor and a 5 Ω or 10 Ω series resistor may be used to low-pass filter a noisy supply.

The reference should be similarly bypassed with a 0.1 μ F capacitor. Again, a series resistor and large capacitor can be used to low-pass filter the reference voltage. If the reference voltage originates from an op amp, make sure that it can drive the bypass capacitor without oscillation (the series resistor can help in this case). The ADS7841 draws very little current from the reference on average, but it does place larger demands on the reference circuitry over short periods of time (on each rising edge of DCLK during a conversion).

The ADS7841 architecture offers no inherent rejection of noise or voltage variation in regards to the reference input. This is of particular concern when the reference input is tied to the power supply. Any noise and ripple from the supply will appear directly in the digital results. While high frequency noise can be filtered out as discussed in the previous paragraph, voltage variation due to line frequency (50Hz or 60Hz) can be difficult to remove.

The GND pin should be connected to a clean ground point. In many cases, this will be the "analog" ground. Avoid connections which are too near the grounding point of a microcontroller or digital signal processor. If needed, run a ground trace directly from the converter to the power supply entry point. The ideal layout will include an analog ground plane dedicated to the converter and associated analog circuitry.

Courtesy of Analog Devices, Inc. Used with permission.



Ultralow Offset Voltage Operational Amplifiers

OP07

FEATURES

Low V_{OS} : 75 μ V Max
 Low V_{OS} Drift: 1.3 μ V/ $^{\circ}$ C Max
 Ultra-Stable vs. Time: 1.5 μ V/Month Max
 Low Noise: 0.6 μ V p-p Max
 Wide Input Voltage Range: ± 14 V
 Wide Supply Voltage Range: 3 V to 18 V
 Fits 725, 108A/308A, 741, AD510 Sockets
 125 $^{\circ}$ C Temperature-Tested Dice

APPLICATIONS

Wireless Base Station Control Circuits
 Optical Network Control Circuits
 Instrumentation
 Sensors and Controls
 Thermocouples
 RTDs
 Strain Bridges
 Shunt Current Measurements
 Precision Filters

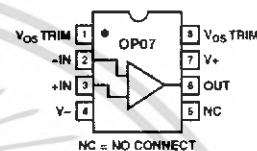
GENERAL DESCRIPTION

The OP07 has very low input offset voltage (75 μ V max for OP07E) which is obtained by trimming at the wafer stage. These low offset voltages generally eliminate any need for external nulling. The OP07 also features low input bias current (± 4 nA for OP07B) and high open-loop gain (200 V/mV for OP07E). The low offsets and high open-loop gain make the OP07 particularly useful for high-gain instrumentation applications.

The wide input voltage range of ± 13 V minimum combined with high CMRR of 106 dB (OP07E) and high input impedance provides high accuracy in the noninverting circuit configuration. Excellent linearity and gain accuracy can be maintained even at

PIN CONNECTIONS

Epoxy Mini-Dip (P-Suffix)
 8-Pin SO (S-Suffix)



high closed-loop gains. Stability of offsets and gain with time or variations in temperature is excellent. The accuracy and stability of the OP07, even at high gain, combined with the freedom from external nulling have made the OP07 an industry standard for instrumentation applications.

The OP07 is available in two standard performance grades. The OP07E is specified for operation over the 0° C to 70° C range, and OP07C over the -40° C to $+85^{\circ}$ C temperature range.

The OP07 is available in epoxy 8-lead Mini-DIP and 8-lead SOIC. It is a direct replacement for 725, 108A, and OP05 amplifiers; 741-types may be directly replaced by removing the 741's nulling potentiometer. For improved specifications, see the OP177 or OP1177. For ceramic DIP and TO-99 packages and standard micro circuit (SMD) versions, see the OP77.

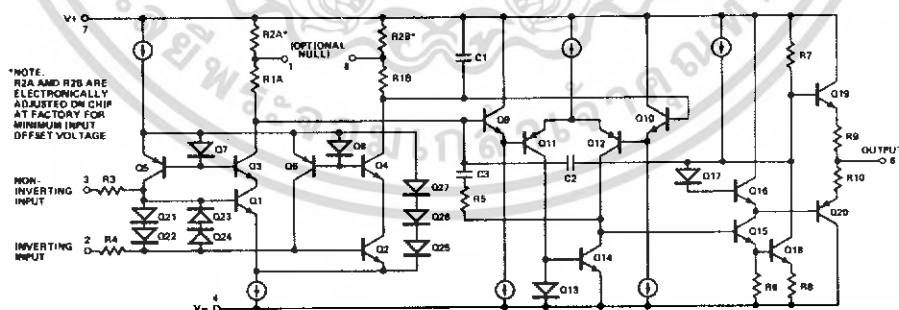


Figure 1. Simplified Schematic

REV. A

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

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
 Tel: 781/329-4700
 Fax: 781/326-8703
www.analog.com
 © Analog Devices, Inc., 2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OP07—SPECIFICATIONS

OP07E ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_S = \pm 15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit	
INPUT CHARACTERISTICS							
Input Offset Voltage ¹	V _{OS}			30	75	μV	
Long-Term V _{OS} Stability ²	V _{OS} /Time			0.3	1.5	μV/Mo	
Input Offset Current	I _{OS}			0.5	3.8	nA	
Input Bias Current	I _B			±1.2	±4.0	nA	
Input Noise Voltage	e _n p-p	0.1 Hz to 10 Hz ³		0.35	0.6	μV p-p	
Input Noise Voltage Density	e _n	f _O = 10 Hz		10.3	18.0	nV/√Hz	
		f _O = 100 Hz ¹		10.0	13.0	nV/√Hz	
		f _O = 1 kHz		9.6	11.0	nV/√Hz	
				14	30	pA p-p	
Input Noise Current	I _n p-p			0.32	0.80	pA/√Hz	
Input Noise Current Density	I _n	f _O = 10 Hz		0.14	0.23	pA/√Hz	
		f _O = 100 Hz ¹		0.12	0.17	pA/√Hz	
		f _O = 1 kHz					
Input Resistance—Differential Mode ⁴	R _{IN}		15	50		mΩ	
Input Resistance—Common-Mode	R _{INCM}			160		GΩ	
Input Voltage Range	IVR		±13	±14		V	
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	V _{CM} = ±13 V	106	123		dB	
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	V _S = ±3 V to ±18 V		5	20	μV/V	
Large-Signal Voltage Gain	A _{VO}	R _L ≥ 2 kΩ, V _O = ±10 V	200	500		V/mV	
		R _L ≥ 500 Ω, V _O = ±0.5 V,					
		V _S = ±3 V ⁴	150	400			V/mV
OUTPUT CHARACTERISTICS							
Output Voltage Swing	V _O	R _L ≥ 10 kΩ	±12.5	±13.0		V	
		R _L ≥ 2 kΩ	±12.0	±12.8		V	
		R _L ≥ 1 kΩ	±10.5	±12.0		V	
DYNAMIC PERFORMANCE							
Slew Rate	SR	R _L ≥ 2 kΩ ³	0.1	0.3		V/μs	
Closed-Loop Bandwidth	BW	A _{VOL} = 1 ⁵	0.4	0.6		MHz	
Closed-Loop Output Resistance	R _O	V _O = 0, I _O = 0		60		Ω	
Power Consumption	P _d	V _S = ±15 V, No Load		75	120	mW	
		V _S = ±13 V, No Load		4	6	mW	
Offset Adjustment Range		R _P = 20 kΩ		±4		mV	

NOTES

¹Input offset voltage measurements are performed by automated test equipment approximately 0.5 seconds after application of power.

²Long-term input offset voltage stability refers to the averaged trend time of V_{OS} vs. Time over extended periods after the first 30 days of operation. Excluding the initial hour of operation, changes in V_{OS} during the first 30 operating days are typically 2.5 μV refer to the typical performance curves. Parameter is sample tested.

³Sample tested.

⁴Guaranteed by design.

⁵Guaranteed but not tested.

Specifications subject to change without notice.

OP07C ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_S = \pm 15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
INPUT CHARACTERISTICS						
Input Offset Voltage ¹	V _{IOS}			60	150	μV
Long-Term V _{IOS} Stability ²	V _{IOS} /Time			0.4	2.0	μV/Mo
Input Offset Current	I _{OS}			0.8	6.0	nA
Input Bias Current	I _B			±1.8	±7.0	nA
Input Noise Voltage	e _n p-p	0.1 Hz to 10 Hz ³		0.38	0.65	μV p-p
Input Noise Voltage Density	e _n	f ₀ = 10 Hz		10.5	20.0	nV/√Hz
		f ₀ = 100 Hz ³		10.2	13.5	nV/√Hz
		f ₀ = 1 kHz		9.8	11.5	nV/√Hz
				15	35	pA p-p
Input Noise Current	I _n p-p	f ₀ = 10 Hz		0.35	0.90	pA/√Hz
Input Noise Current Density	I _n	f ₀ = 100 Hz ⁴		0.15	0.27	pA/√Hz
		f ₀ = 1 kHz		0.13	0.18	pA/√Hz
				8	33	mΩ
Input Resistance- Differential Mode ⁴	R _{IN}					
Input Resistance- Common-Mode	R _{INCM}			120		GΩ
Input Voltage Range	IVR		±13	±14		V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	V _{CM} = ±13 V	100	120		dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	V _S = ±3 V to ±18 V		7	32	μV/V
Large-Signal Voltage Gain	A _{VO}	R _L ≥ 2 kΩ, V _O = ±10 V	120	400		V/mV
		R _L ≥ 500 Ω, V _O = ±0.5 V, V _S = ±3 V ⁴	100	400		V/mV
OUTPUT CHARACTERISTICS						
Output Voltage Swing	V _O	R _L ≥ 10 kΩ	±12.0	±13.0		V
		R _L ≥ 2 kΩ	±11.5	±12.8		V
		R _L ≥ 1 kΩ		±12.0		V
DYNAMIC PERFORMANCE						
Slew Rate	SR	R _L ≥ 2 kΩ ⁵	0.1	0.3		V/μs
Closed-Loop Bandwidth	BW	A _{VOL} = 1 ⁵	0.4	0.6		MHz
Closed-Loop Output Resistance	R _O	V _O = 0, I _O = 0		60		Ω
Power Consumption	P _d	V _S = ±15 V, No Load		80	150	mW
		V _S = ±13 V, No Load		4	8	mW
Offset Adjustment Range		R _P = 20 kΩ		±4		mV

NOTES¹Input offset voltage measurements are performed by automated test equipment approximately 0.5 seconds after application of power.²Long-term input offset voltage stability refers to the averaged trend time of V_{OS} vs. Time over extended periods after the first 30 days of operation. Excluding the initial hour of operation, changes in V_{OS} during the first 30 operating days are typically $2.5\text{ }\mu\text{V}$ refer to the typical performance curves. Parameter is sample tested.³Sample tested.⁴Guaranteed by design.⁵Guaranteed but not tested.

Specifications subject to change without notice.

OP07—SPECIFICATIONS

OP07E ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_S = \pm 15\text{ V}$, $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
INPUT CHARACTERISTICS						
Input Offset Voltage ¹	V _{OS}	R _P = 20 kΩ		45	130	μV
Voltage Drift without External Trim ²	TCV _{OS}			0.3	1.3	μV/°C
Voltage Drift with External Trim ³	TCV _{OSN}			0.3	1.3	μV/°C
Input Offset Current	I _{OS}			0.9	5.3	nA
Input Offset Current Drift	TCI _{OS}	V _{CM} = ±13 V V _S = ±3 V to ±18 V R _L ≥ 2 kΩ, V _O = ±10 V		8	35	pA/°C
Input Bias Current	I _B			±1.5	±5.5	nA
Input Bias Current Drift	TCI _B			13	35	pA/°C
Input Voltage Range	IVR			±13	±13.5	V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	V _{CM} = ±13 V V _S = ±3 V to ±18 V R _L ≥ 2 kΩ, V _O = ±10 V	103	123		dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR			7	32	μV/V
Large-Signal Voltage Gain	A _{VO}			180	450	V/mV
OUTPUT CHARACTERISTICS						
Output Voltage Swing	V _O	R _L ≥ 10 kΩ	±12	±12.6		V

NOTES

¹Input offset voltage measurements are performed by automated test equipment approximately 0.5 seconds after application of power.

²Guaranteed by design.

³Sample tested.

Specifications subject to change without notice.

OP07C ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_S = \pm 15\text{ V}$, $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit	
INPUT CHARACTERISTICS							
Input Offset Voltage ¹	V _{OS}	R _P = 20 kΩ		85	250	μV	
Voltage Drift without External Trim ²	TCV _{OS}			0.5	1.8	μV/°C	
Voltage Drift with External Trim ³	TCV _{OSN}			0.4	1.8	μV/°C	
Input Offset Current	I _{OS}			1.6	8.0	nA	
Input Offset Current Drift	TCI _{OS}	V _{CM} = ±13 V V _S = ±3 V to ±18 V R _L ≥ 2 kΩ, V _O = ±10 V		12	50	pA/°C	
Input Bias Current	I _B			±2.2	±9.0	nA	
Input Bias Current Drift	TCI _B			18	50	pA/°C	
Input Voltage Range	IVR			±13	±13.5	V	
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	V _S = ±3 V to ±18 V R _L ≥ 2 kΩ, V _O = ±10 V	97	120		dB	
Power Supply Rejection Ratio	PSRR				10	51	μV/V
Large-Signal Voltage Gain	A _{VO}			100	400		V/mV
OUTPUT CHARACTERISTICS							
Output Voltage Swing	V _O	R _L ≥ 10 kΩ	±11	±12.6		V	

NOTES

¹Input offset voltage measurements are performed by automated test equipment approximately 0.5 seconds after application of power.

²Guaranteed by design.

³Sample tested.

Specifications subject to change without notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OP07**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS***

Supply Voltage (V_S)	± 22 V
Input Voltage*	± 22 V
Differential Input Voltage	± 30 V
Output Short-Circuit Duration	Indefinite
Storage Temperature Range	
S, P Packages	-65°C to $+125^\circ\text{C}$
Operating Temperature Range	
OP07E	0°C to 70°C
OP07C	-40°C to $+85^\circ\text{C}$
Junction Temperature Range	150°C
Lead Temperature Range (Soldering, 60 sec)	300°C

*For supply voltages less than ± 22 V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Package Type	θ_{JA}^*	θ_{JC}	Units
8-Lead Plastic DIP (P)	103	43	$^\circ\text{C/W}$
8-Lead SOIC (S)	158	43	$^\circ\text{C/W}$

* θ_{JA} is specified for worst case conditions, i.e., θ_{JA} is specified for device in socket for P-DIP package, θ_{JA} is specified for device soldered to printed circuit board for SO package.

ORDERING GUIDE

Model	Temperature Range	Package Description	Package Option	Branding Information
OP07EP	0°C to 70°C	8-Lead Epoxy DIP	P-8	
OP07CP	-40°C to 85°C	8-Lead Epoxy DIP	P-8	
OP07CS	-40°C to 85°C	8-Lead SOIC	S-8	

CAUTION

ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Electrostatic charges as high as 4000 V readily accumulate on the human body and test equipment and can discharge without detection. Although the OP07 features proprietary ESD protection circuitry, permanent damage may occur on devices subjected to high-energy electrostatic discharges. Therefore, proper ESD precautions are recommended to avoid performance degradation or loss of functionality.



OP07

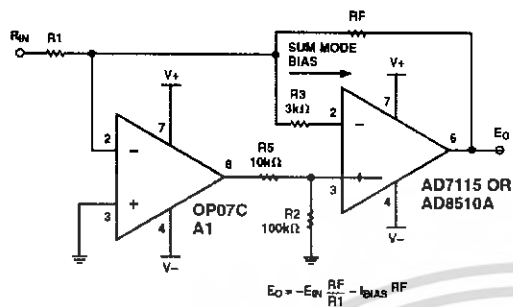


Figure 2. Typical Offset Voltage Test Circuit

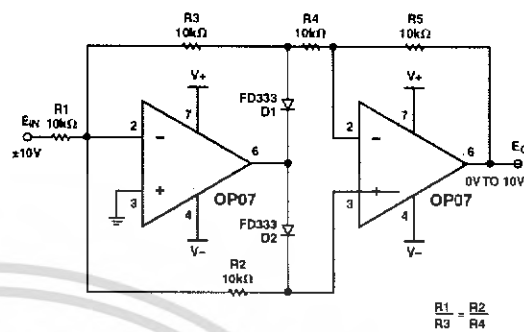


Figure 5. Burn-In circuit

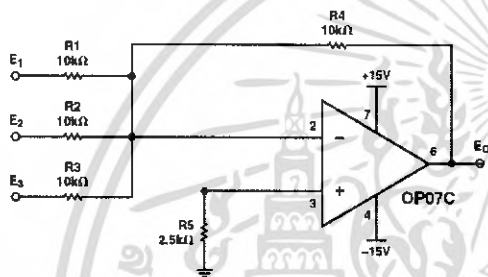


Figure 3. Typical Low-Frequency Noise Circuit

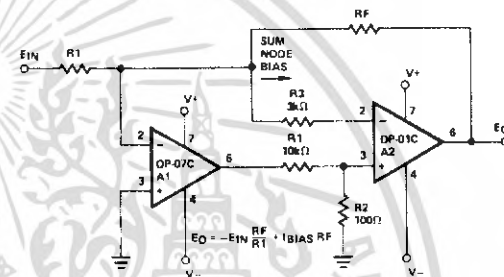


Figure 6. High-Speed, Low VOS Composite Amplifier

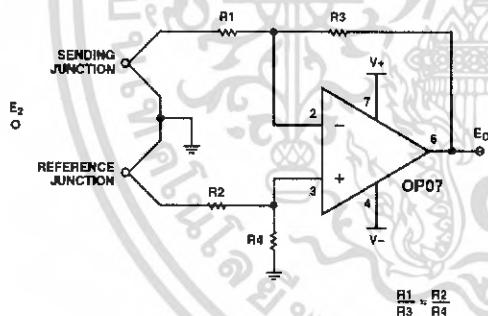


Figure 4. Optional Offset Nulling Circuit

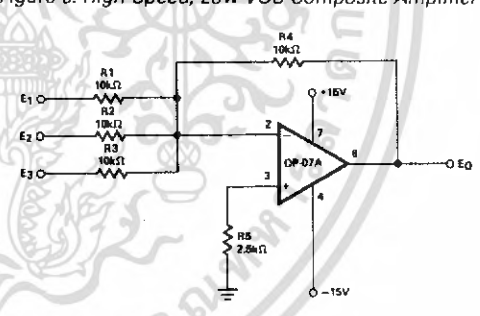
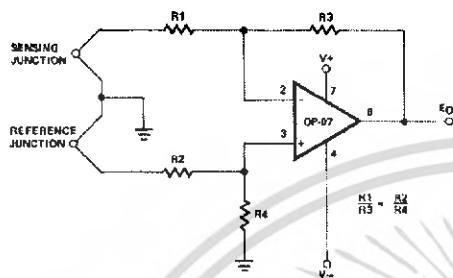


Figure 7. Adjustment-Free Precision Summing Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

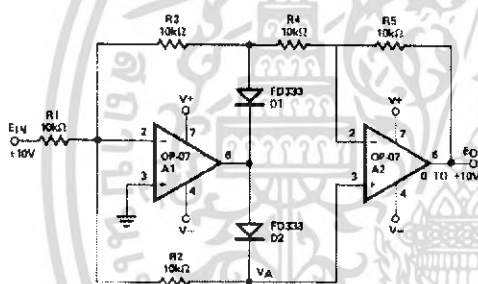
OP07

TYPICAL APPLICATIONS



PINOUTS SHOWN FOR J, P, AND Z PACKAGES

Figure 8. High-Stability Thermocouple Amplifier



PINOUTS SHOWN FOR J, P, AND Z PACKAGES

Figure 9. Precision Absolute-Value Circuit

APPLICATIONS INFORMATION

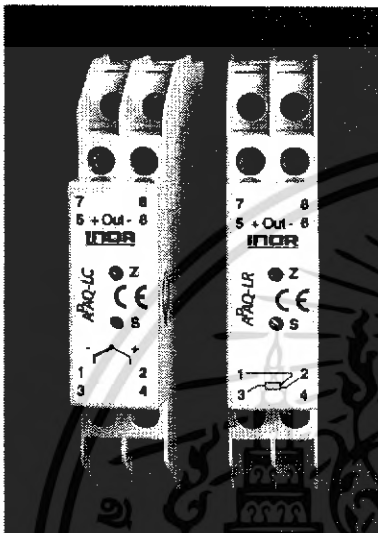
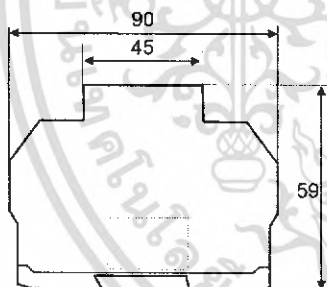
OP07 series units may be substituted directly into 725, 108A/308A* and OP05 sockets with or without removal of external compensation or nulling components. Additionally, the OP07 may be used in unnull 741 type sockets. However, if conventional 741 nulling circuitry is in use, it should be modified or removed to enable proper OP07 operation. OP07 offset voltage may be nulled to zero through use of a potentiometer (see offset nulling circuit diagram).

PRECISION ABSOLUTE-VALUE CIRCUIT

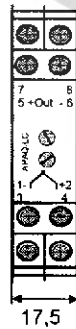
The OP07 provides stable operation with load capacitance of up to 500 pF and ± 10 V swings; larger capacitances should be decoupled with a 50 Ω decoupling resistor.

Stray thermoelectric voltages generated by dissimilar metals at the contacts to the input terminals can degrade drift performance. Therefore, best operation will be obtained when both input contacts are maintained at the same temperature, preferably close to the package temperature.

*TO-99 Package only


Abmessungen:

APAQ-LR
APAQ-LC


Massangaben in mm


Kurzbeschreibung:

APAQ-LR und APAQ-LC sind Mehrfachbereich Zweidraht-Temperaturtransmitter zur Montage auf DIN Schiene (Hutschiene).

APAQ-LR ist für Pt100 Eingang und APAQ-LC ist für fünf verschiedene Thermoelementtypen anwendbar.

Gebaut für höchste Zuverlässigkeit und durch kosteneffiziente Herstellung sind APAQ-LR und APAQ-LC zwei Schienen-Temperaturtransmitter, die attraktive Preisgestaltung mit hoher Qualität und ausgezeichnete industrieller Leistung verbinden.

Merkmale:
Mehrfachbereichskonstruktion

- APAQ-LR für Pt100 Eingang mit wählbaren Messbereichen
- APAQ-LC für T/C „J“, „L“, „T“, „K“ und „N“ Eingang mit stufenlos einstellbarem Messbereich

Genaue Messungen

- Temperaturlinearer 4...20 mA-Ausgang für Pt100 Eingang

Platzsparende einfache Montage

- Nur 17,5 mm Breite
- Schnelle Montage auf DIN Schiene (Hutschiene)

Sicherheit

- Präzise Fühlerbruchüberwachung mit wählbarer Funktion „Minimum“ oder „Maximum“
- Exzellente elektromagnetische Verträglichkeit

Hohe Lastkapazität

- Nur 6,5 Volt Spannungsabfall über dem Transmitter erlaubt hohe Ausgangslasten

5 Jahre Gewährleistung

- Innerhalb von 5 Jahren ab Lieferung auftretende Mängel werden bei freier Anlieferung im Werk kostenlos behoben

Low Cost Version
Beschreibung:

APAQ-LR und APAQ-LC sind analoge Zweidraht Schienentransmitter mit wählbarem Messbereich für Pt100 und wählbaren Typen und Bereichen für thermoelementeingang.

Das komplette Gehäuse wird auf eine 35 mm DIN Schiene aufgeschnappt und ist mit robusten Anschlussklemmen für leichten und sicheren Drahtanschluss ausgerüstet.

APAQ-LR ist justierbar für verschiedene Pt100-Bereiche und liefert ein temperaturlineares Ausgangssignal.

APAQ-LC deckt 5 verschiedene Thermoelementtypen ab, ist kontinuierlich einstellbar und liefert ein spannungslineares Ausgangssignal.

Die Grobeinstellung des Messbereiches, die Wahl des Thermoelementtyps und die Wahl der Fühlerbruchanzeige wird mit internen Löt-pads vorgenommen, während die Feineinstellung des Messbereichs durch Potentiometer auf der Frontseite erfolgt.

Einstellbereiche

APAQ-LR	APAQ-LC
Nullpunkteinstellung: (Pt100) -50...+50 °C	Nullpunkteinstellung: (Thermoelement) Justierbar ± 10 % der Messspanne
Messspannenwahl: (Pt100) 50 °C 100 °C 150 °C 200 °C 300 °C 400 °C 500 °C	Messspannenwahl: (Thermoelement) Millivolt 10...50 mV Typ „J“ 186...870 °C Typ „L“ 183...855 °C Typ „T“ 213...>400 °C Typ „K“ 246...1232 °C Typ „N“ 319...>1300 °C

Bestellnummer
Standard Transmitter für Pt100:

APAQ-LR 70APLR0001

Standardtransmitter für T/C:

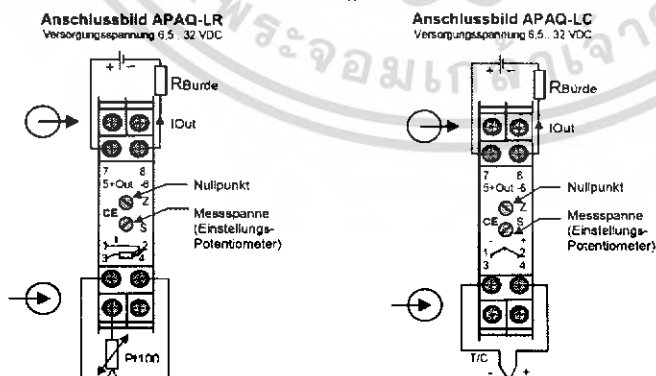
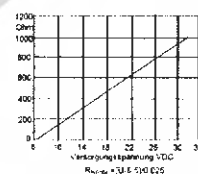
APAQ-LC 70APLC0001

Mehrfachbereich Zweidraht
Schienen-Temperaturtransmitter
APAQ-LR / APAQ-LC

Technische Daten:

Eingang	APAQ-LR	APAQ-LC
Pt100 ($\alpha = 0,00385$) 3-Leiteranschluß	An bestimmte Bereiche anpassbar innerhalb: -50...+550 °C	
Thermoelemente		Einstellbare Typen: „J“, „L“, „T“, „K“ und „N“ mit Messbereichen von -5...+55 mV
Sensormessstrom	ca. 1 mA	
Eingangsimpedanz		>5 M Ω
Max. Sensorleitungswiderstand	15 Ω / Leitung	500 Ω (gesamte Schleife)
Überwachung		
Fühlerbruchüberwachung, wählbar	Maximum ca. 25 mA, Minimum ca. 3 mA	Maximum ca. 25 mA, Minimum ca. 3 mA
Einstellungen		
Nullpunkt	-50...+50 °C	± 10 % der Messspanne
Messspanne, wählbar	50...500 °C	10...50 mV
Messspanne, Feineinstellung	± 10 %	± 10 %
Ausgang		
Strom	4...20 mA	4...20 mA
Linearität	Temperaturlinear	Spannungslinear
Strombegrenzung	ca. 25 mA	ca. 25 mA
Zulässige Belastung (siehe Bürdendiagramm)	700 Ω @ 24 VDC, 25 mA	700 Ω @ 24 VDC, 25 mA
Temperaturbereich		
Lagertemperatur	-20...+70 °C	-20...+70 °C
Betriebstemperatur	-20...+70 °C	-40...+70 °C
Allgemeine Daten		
Ansprechzeit 10...90 %	$\leq 0,2$ s	$\leq 0,2$ s
Rel. Feuchte, keine Betauung	0...95 %	0...95 %
Versorgungsspannung, verpolungsgeschützt		
Versorgungsspannung	6,5...32 VDC	6,5...32 VDC
Max. Welligkeit der Versorgungsspannung	4Vss @ 50/60 Hz	4Vss @ 50/60 Hz
Genauigkeit		
Linearität	$\pm 0,1$ % der Messspanne	$\pm 0,1$ % der Messspanne
Kalibrierung	$\pm 0,1$ % der Messspanne	$\pm 0,1$ % der Messspanne
Vergleichsstelle		± 1 °C
Temperatureinfluss	$\pm 0,6$ % der Messspanne/25 °C	$\pm 0,6$ % der Messspanne/25 °C
Temperatureinfluss Vergleichsstelle		$\pm 1,25$ °C/25 °C ²⁾
Sensorleitungseinfluss	$\pm 0,005$ °C/ Ω 1)	0,4 μ V/ Ω
RFI-Einfluß (0,15...1000 MHz, 10V oder V/m)	$\pm 0,2$ % der Messspanne (typisch)	$\pm 0,2$ % der Messspanne (typisch)
Versorgungsspannungseinfluss	$\pm 0,02$ % der Messspanne / V	$\pm 0,02$ % der Messspanne / V
Welligkeitseinfluss 50/60 Hz, 4Vss	$\pm 0,05$ % der Messspanne	$\pm 0,05$ % der Messspanne
Langzeitstabilität	$\pm 0,1$ % der Messspanne/Jahr	$\pm 0,1$ % der Messspanne/Jahr
Gehäuse		
Material / Entzündbarkeit (UL)	PC + Glasfaser / V0	PC + Glasfaser / V0
Montage	Schiene gemäß DIN EN 50022, 35 mm	Schiene gemäß DIN EN 50022, 35 mm
Anschluss (Draht oder Litze)	$\leq 1,5$ mm ² , AWG 16	$\leq 1,5$ mm ² , AWG 16
Gewicht	55 g	55 g
Schutzart, Gehäuse mit Abdeckung, Klemmen	IP 20 / IP 20	IP 20 / IP 20

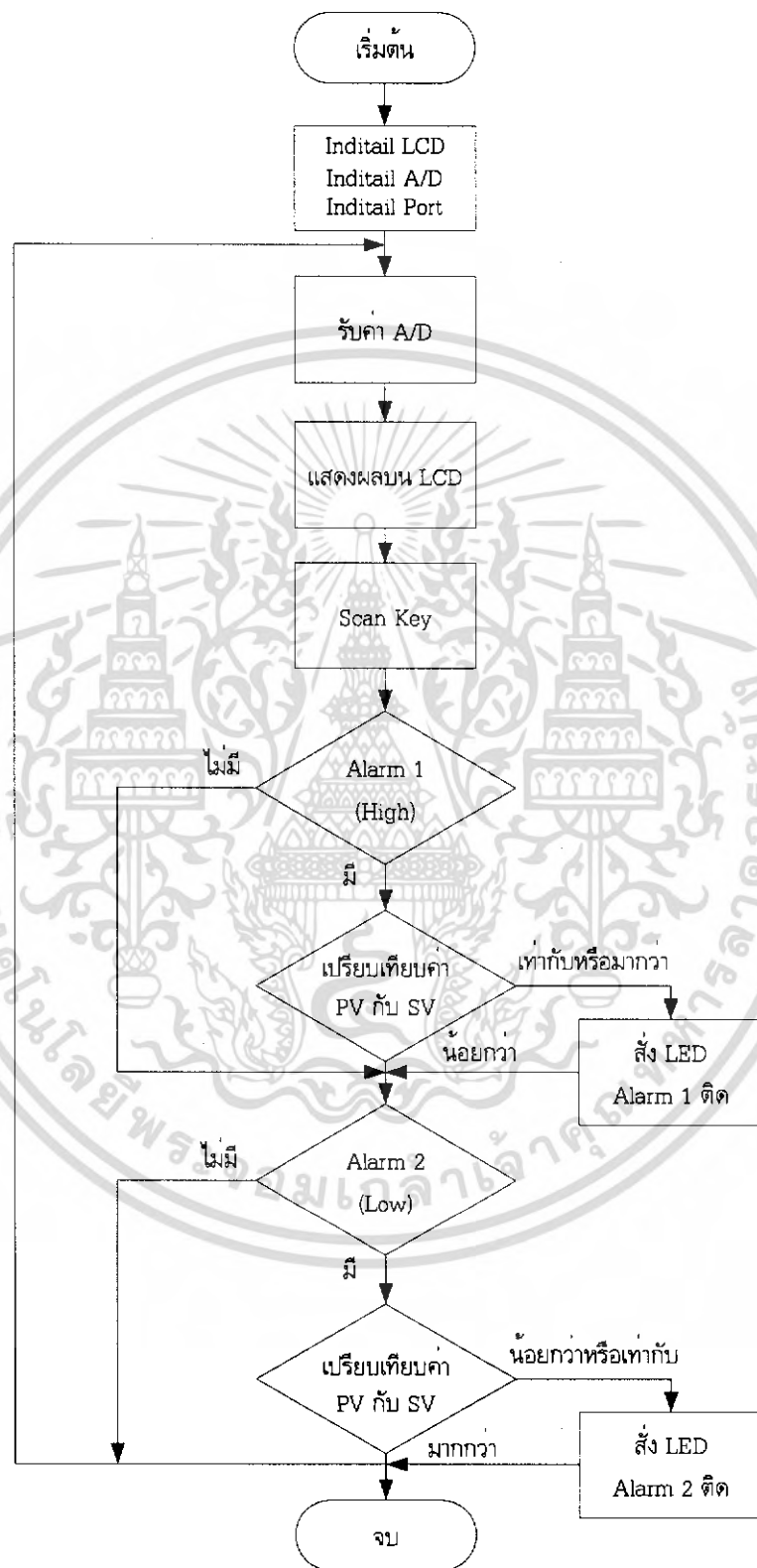
1) Pro Draht, bei gleichem Widerstand 2) $\pm 2,5$ °C / 25 °C für Typ „T“

**Bürdendiagramm**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.1 ผังงานของโปรแกรมเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ
รหัสต้นฉบับของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมการทำงานของเครื่อง

```

lcd_rs      equ      p2.2      ; Register Select
rw_lcd      equ      p0.1      ; Read/Write Lcd
lcd_en      equ      p2.3      ; Enable/Disable Lcd
evc1        equ      p0.0      ; even1 contact
evc2        equ      p0.1      ; even2 contact
evl1        equ      p0.2      ; even1 lcd
evl2        equ      p0.3      ; even2 lcd
s_1         equ      p0.4      ; Switch 1
s_2         equ      p0.5      ; Switch 2
s_3         equ      p0.6      ; Switch 3
s_4         equ      p0.7      ; Switch 4
allp        equ      p2.7      ; din d/a
al2p        equ      p3.7      ; clk d/a
csd         equ      p3.6      ; enable d/a
din         equ      p3.4      ; คอนโทรล A/D
cs          equ      p3.3      ; เลือก A/D
dclk        equ      p3.2      ; clock สำหรับ A/D
dout        equ      p3.5      ; อินพุต
ih          equ      20h
il          equ      21h
lcd_addr    equ      22h
lcd_data    equ      23h
dis_1       equ      24h
dis_2       equ      25h
dis_3       equ      26h
dis_4       equ      27h
dis_5       equ      28h
buff_dis_1  equ      29h
buff_dis_2  equ      2ah
buff_dis_3  equ      2bh
buff_dis_4  equ      2ch
buff_dis_5  equ      2dh
bias_v      equ      2eh
x0          equ      2fh      ; ตัวตั้งหาร 1
x1          equ      30h      ; ตัวตั้งหาร 2
x2          equ      31h      ; ตัวตั้งหาร 3
x3          equ      32h      ; ตัวตั้งหาร 4
y0          equ      33h      ; ตัวหาร 1
y1          equ      34h      ; ตัวหาร 2
y2          equ      35h      ; ตัวหาร 3
y3          equ      36h      ; ตัวหาร 4
pr0         equ      37h      ; เศษหาร 1
pr1         equ      38h      ; เศษหาร 2
pr2         equ      39h      ; เศษหาร 3
pr3         equ      3ah      ; เศษหาร 4
z0          equ      3bh      ; เก็บเศษ 1
z1          equ      3ch      ; เก็บเศษ 2
z2          equ      3dh      ; เก็บผลหาร 1
z3          equ      3eh      ; เก็บผลหาร 2
z4          equ      3fh      ; เก็บผลหาร 3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

z5          equ          40h          ; เก็บผลหาร 4
back_up     equ          41h
back_up2    equ          42h
damp        equ          43h
m0          equ          45h          ; ตัวตั้งคูณ
m1          equ          46h
v0          equ          47h          ; ตัวคูณ 1
v1          equ          48h          ; ตัวคูณ 2
re0         equ          49h          ; ผลคูณ 1
re1         equ          4ah          ; ผลคูณ 2
re2         equ          4bh          ; ผลคูณ 3
re3         equ          4ch          ; ผลคูณ 4
xh          equ          4dh
xl          equ          4eh
yh          equ          4fh
yl          equ          50h
zh          equ          51h
zl          equ          52h
il1         equ          53h
il2         equ          54h
il3         equ          55h
il4         equ          56h
il5         equ          57h
ih1         equ          58h
ih2         equ          59h
ih3         equ          5ah
ih4         equ          5bh
ih5         equ          5ch
subl        equ          5dh
subh        equ          5eh
subtl       equ          5fh
subth       equ          60h
resbl       equ          61h
resbh       equ          62h
hold_dis    equ          63h
lcd_buff_1  equ          64h
lcd_buff_2  equ          65h
lcd_buff_3  equ          66h
lcd_buff_4  equ          67h
lcd_buff_5  equ          68h
lcd_buff_6  equ          69h
lcd_buff_7  equ          6ah
lcd_buff_8  equ          6bh
par         equ          6ch
zov         equ          13h          ; Flag การทอ Over Flow
al11        equ          6dh
al12        equ          6eh
alle        equ          71h
al2e        equ          44h
al21        equ          73h
al22        equ          74h
cbyte:      ds           1           ; จอง 1byte เก็บค่าคอนโทรล A/D
;-----*
; Main Program
;-----*

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ 0000h การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

call delay_100ms
call delay_100ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งสำหรับการไปขอความเห็นชอบจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการดำเนินการต่อไป

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

mov      re2,#0
mov      re3,#0
call     mul16_16
mov      y0,#0ffh
mov      y1,#0ffh
mov      y2,#0
mov      y3,#0
mov      z0,#0
mov      z1,#0
mov      z2,#0
mov      z3,#0
mov      z4,#0
mov      z5,#0
mov      x0,re0
mov      x1,re1
mov      x2,re2
mov      x3,re3
call     divide32
mov      y0,#0e8h
mov      y1,#03h
mov      y2,#0
mov      y3,#0
mov      x0,z2
mov      x1,z3
mov      x2,#0
mov      x3,#0
mov      z0,#0
mov      z1,#0
mov      z2,#0
mov      z3,#0
mov      z4,#0
mov      z5,#0
call     divide32
mov      dis_1,z2
mov      y0,#100
mov      y1,#0h
mov      y2,#0
mov      y3,#0
mov      x0,z0
mov      x1,z1
mov      x2,#0
mov      x3,#0
mov      z0,#0
mov      z1,#0
mov      z2,#0
mov      z3,#0
mov      z4,#0
mov      z5,#0
call     divide32
mov      dis_2,z2
mov      y0,#10
mov      y1,#0h
mov      y2,#0
mov      y3,#0
mov      x0,z0
mov      x1,z1
mov      x2,#0
mov      x3,#0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov        z0,#0
mov        z1,#0
mov        z2,#0
mov        z3,#0
mov        z4,#0
mov        z5,#0
call       divide32
mov        dis_3,z2
mov        y0,#1
mov        y1,#0h
mov        y2,#0
mov        y3,#0
mov        x0,z0
mov        x1,z1
mov        x2,#0
mov        x3,#0
mov        z0,#0
mov        z1,#0
mov        z2,#0
mov        z3,#0
mov        z4,#0
mov        z5,#0
call       divide32
mov        dis_4,z2
call       partial
mov        a,dis_5
cjne       a,#10,to_findn_x
mov        dis_5,#0
inc        dis_4
to_findn_x: mov        a,dis_4
cjne       a,#10,to_findn_x_2
mov        dis_4,#0
inc        dis_3
to_findn_x_2: mov        a,dis_3
cjne       a,#10,to_findn
mov        dis_3,#0
inc        dis_2
to_findn_x_3: mov        a,dis_2
cjne       a,#10,to_findn
mov        dis_2,#0
inc        dis_1
to_findn:   mov        a,dis_1
cjne       a,#0,exit_check
mov        dis_1,#01fh
mov        a,dis_2
cjne       a,#0,exit_check
mov        dis_2,#01fh
exit_check: call       findn
call       hex_to_ascii
con_d:     mov        lcd_addr,#0h
mov        lcd_data,'T'
call       oper_dis
mov        lcd_data,'E'
call       oper_dis1
mov        lcd_data,'M'
call       oper_dis2
mov        lcd_data,'P'
call       oper_dis3

```

```

mov     lcd_data, '#'
call    oper_dis4
mov     lcd_data, '#'
call    oper_dis5
mov     lcd_data, '#'
call    oper_dis6
mov     lcd_data, '#'
call    oper_dis7
mov     lcd_data, '#'
call    oper_dis8
mov     lcd_data, '#'
call    oper_dis9
mov     lcd_data, '#'
mov     lcd_data, buff_dis_1
call    oper_dis10
mov     lcd_data, buff_dis_2
call    oper_dis11
mov     lcd_data, buff_dis_3
call    oper_dis12
mov     lcd_data, buff_dis_4
call    oper_dis13
mov     lcd_data, '#'
call    oper_dis14
mov     lcd_data, buff_dis_5
call    oper_dis15
mov     lcd_data, #'D'
call    oper_dis16
mov     lcd_data, #'G'
call    oper_dis17
mov     lcd_data, '#'
call    oper_dis18
mov     lcd_data, #'C'
call    oper_dis19
mov     dptr, #lcd_show
call    show_lcd_2
call    scan_key
jmp     main
;-----*
; Normal Display
;-----*
oper_dis:  call    set_lcd_addr    ;0
           call    wrchar
           ret
oper_dis1: inc     lcd_addr        ;1
           call    set_lcd_addr
           call    wrchar
           ret
oper_dis2: inc     lcd_addr        ;2
           call    set_lcd_addr
           call    wrchar
           ret
oper_dis3: inc     lcd_addr        ;3
           call    set_lcd_addr
           call    wrchar
           ret
oper_dis4: inc     lcd_addr        ;4
           call    set_lcd_addr

```

```

        call    wrchar
        ret
oper_dis5: inc    lcd_addr    ;5
        call    set_lcd_addr
        call    wrchar
        ret
oper_dis6: inc    lcd_addr    ;6
        call    set_lcd_addr
        call    wrchar
        ret
oper_dis7: inc    lcd_addr    ;7
        call    set_lcd_addr
        call    wrchar
        ret
oper_dis8: inc    lcd_addr    ;8
        call    set_lcd_addr
        call    wrchar
        ret
oper_dis9: inc    lcd_addr    ;9
        call    set_lcd_addr
        call    wrchar
        ret
oper_dis10: inc    lcd_addr    ;10
        call    set_lcd_addr
        call    wrchar
        ret
oper_dis11: inc    lcd_addr    ;11
        call    set_lcd_addr
        call    wrchar
        ret
oper_dis12: inc    lcd_addr    ;12
        call    set_lcd_addr
        call    wrchar
        ret
oper_dis13: inc    lcd_addr    ;13
        call    set_lcd_addr
        call    wrchar
        ret
oper_dis14: inc    lcd_addr    ;14
        call    set_lcd_addr
        call    wrchar
        ret
oper_dis15: inc    lcd_addr    ;15
        call    set_lcd_addr
        call    wrchar
        ret
oper_dis16: inc    lcd_addr    ;11
        call    set_lcd_addr
        call    wrchar
        ret
oper_dis17: inc    lcd_addr    ;12
        call    set_lcd_addr
        call    wrchar
        ret
oper_dis18: inc    lcd_addr    ;13
        call    set_lcd_addr
        call    wrchar
        ret

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

oper_dis19: inc    lcd_addr    ;14
             call    set_lcd_addr
             call    wrchar
             ret

;-----*
get_input_a: push    4
             mov     r4,#0
             call    u_7841          ; เรียกโปรแกรมรับค่าจาก A/D
             mov     il1,il
             mov     ih1,ih
             call    delay_d
             call    u_7841          ; เรียกโปรแกรมรับค่าจาก A/D
             mov     il2,il
             mov     ih2,ih
             call    delay_d
             call    u_7841          ; เรียกโปรแกรมรับค่าจาก A/D
             mov     il3,il
             mov     ih3,ih
             call    delay_d
             call    u_7841          ; เรียกโปรแกรมรับค่าจาก A/D
             mov     il4,il
             mov     ih4,ih
             call    delay_d
             call    u_7841          ; เรียกโปรแกรมรับค่าจาก A/D
             mov     il5,il
             mov     ih5,ih
             clr     c
             mov     a,il1
             add     a,il2
             mov     il,a
             mov     a,#0
             addc    a,r4
             mov     r4,a
             mov     a,il
             add     a,il3
             mov     il,a
             mov     a,#0
             addc    a,r4
             mov     r4,a
             mov     a,il
             add     a,il4
             mov     il,a
             mov     a,#0
             addc    a,r4
             mov     r4,a
             mov     a,il
             add     a,il5
             mov     il,a
             mov     a,#0
             addc    a,r4
             mov     r4,a
             mov     a,ih1
             add     a,ih2
             add     a,ih3
             add     a,ih4
             add     a,ih5
             add     a,r4

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov    ih,a
mov    x0,il
mov    x1,ih
mov    x2,#0
mov    x3,#0
mov    z0,#0
mov    z1,#0
mov    z2,#0
mov    z4,#0
mov    z5,#0
mov    y0,#5
mov    y1,#0
call   divide32
mov    il,z2
mov    ih,z3
pop    4
clr    c
ret

;-----*
; Get input from A/D SubRoutine ( ใช้งาน A/D )
;-----*
u_7841:    MOV     CBYTE,#10010111B      ;CH0,SGL,POWER
          call    S7841
          ret

;-----*
S7841:                                ; พัง bit คอนโทรล A/D
          clr     c
          mov     r2,#8
          mov     a,cbyte
          clr     cs
          lcb:    rlc     a
          mov     din,c
          setb    dclk
          clr     dclk
          djnz    r2,lcb                ; ทวน 8 bit หรือยังถ้ายังกระโดดไป lcb
          setb    dclk                  ; Busy
          clr     dclk
          mov     r2,#8                ; รับ byte ชุง
          ldh:    setb    dclk
          mov     c,dout                ; รับ bit MSB ไว้ที่ Carry Flag
          clr     dclk
          rlc     a                    ; เก็บไว้ที่ acc
          djnz    r2,ldh                ; ทำจนครบ 8 bit
          mov     ih,a                  ; เก็บที่ dph
          mov     r2,#8                ; รับ byte ต่ำ
          ldl:    setb    dclk
          mov     c,dout
          clr     dclk
          rlc     a
          djnz    r2,ldl                ; ทำจนครบ 8 bit
          mov     il,a                  ; เก็บที่ dpl
          setb    cs                    ; เลิกใช้งาน A/D

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

; * LCD *
; *-----*
init_lcd:      call delay_100ms
               clr    lcd_rs
               mov    pl,#00111000b
               call   lcd_clk
               call   delay_10ms
               mov    pl,#00111000b
               call   lcd_clk
               call   lcd_off
               call   lcd_clr
               mov    pl,#00000110b
               call   lcd_clk
               call   lcd_home

; *-----*
; * lcd clear display *
; *-----*
lcd_clr:       clr    lcd_rs
               mov    pl,#00000001b
               call   lcd_clk
               ret

; *-----*
; * lcd return home *
; *-----*
lcd_home:      clr    lcd_rs
               mov    pl,#00000010b
               call   lcd_clk
               ret

; *-----*
; * lcd display off *
; *-----*
lcd_off:       clr    lcd_rs
               mov    pl,#00001000b
               call   lcd_clk
               ret

; *-----*
; * lcd display on *
; *-----*
lcd_on:        clr    lcd_rs
               mov    pl,#00001100b
               call   lcd_clk
               ret

; *-----*
; * lcd clock *
; *-----*
lcd_clk:       setb   lcd_en
               call   delay
               clr    lcd_en
               call   delay
               ret

; *-----*
; * lcd address *
; *-----*
set_lcd_addr:  clr    lcd_rs
               mov    a,lcd_addr
               setb   acc.7
               mov    pl,a
               call   lcd_clk

```

```

ret
;-----*
;*                               lcd write char                               *
;-----*
wrchar:    setb    lcd_rs
           mov     p1,lcd_data
           call    lcd_clk
           call    lcd_on
           ret

;-----*
;*                               show lcd display                             *
;-----*
show_lcd:  mov     lcd_addr,#0h
           call    set_lcd_addr
           call    wrline_lcd
           call    lcd_clk
           ret
show_lcd_2: mov    lcd_addr,#40h
           call    set_lcd_addr
           call    wrline_lcd
           call    lcd_clk
           ret

;-----*
;*                               lcd write line                               *
;-----*
wrline_lcd: mov     r0,#0
wrline_lcd_1: setb   lcd_rs
           clr      a
           movc     a,@a+dptr
           mov      p1,a
           call     lcd_clk
           inc      dptr
           inc      r0
           cjne     r0,#20,wrline_lcd_1
           call     lcd_on
           ret

;-----*
delay:     push     07H
           push     06H
del1:      mov      r6,#02h
del2:      mov      r7,#0ffh
           djnz     r7,$
           djnz     r6,del2
           pop      06h
           pop      07h
           ret

;-----*
delay_100ms: push    7
           push     6
           mov      r7,#100
delay_100ms_1: mov    r6,#0e6h
delay_100ms_2: nop
           nop
           djnz     r6,delay_100ms_2
           djnz     r7,delay_100ms_1
           pop      6
           pop      7
           ret

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;-----*
delay_10ms: push    7
            push    6
            mov     r7,#10
delay_10ms_1: mov     r6,#0e6h
delay_10ms_2: nop
            nop
            djnz    r6,delay_10ms_2
            djnz    r7,delay_10ms_1
            pop     6
            pop     7
            ret

;-----*
delay_beep: push    0 ; เก็บ R0 ใน Stack
            push    1 ; เก็บ R1 ใน Stack
            push    2 ; เก็บ R2 ใน Stack
delay_b1:  mov     r0,#02h ;
delay_b2:  mov     r1,#0fh ;
delay_b3:  djnz    r1,$ ; ลดค่า R1 ลง 1 ค่าและตรวจสอบว่าเป็น 0 หรือไม่ถ้าไม่ใช่
กระโดดไปที่ delay_1_2
            djnz    r0,delay_b2 ; ลดค่า R0 ลง 1 ค่าและตรวจสอบว่าเป็น 0 หรือไม่ถ้าไม่ใช่
กระโดดไปที่ delay_1_1
            pop     2 ; ดึงค่าจาก Stack ไปที่ R2
            pop     1 ; ดึงค่าจาก Stack ไปที่ R1
            pop     0 ; ดึงค่าจาก Stack ไปที่ R0
            ret

;-----*
delay_d:   push    07H
            push    06H
del_d1:    mov     r6,damp
del_d2:    mov     r7,#0c0h
            djnz    r7,$
            djnz    r6,del_d2
            pop     06h
            pop     07h
            ret

;-----*
hex_to_ascii: mov    a,dis_1
            call    comp_h_to_a
            mov     buff_dis_1,a
            mov     a,dis_2
            call    comp_h_to_a
            mov     buff_dis_2,a
            mov     a,dis_3
            call    comp_h_to_a
            mov     buff_dis_3,a
            mov     a,dis_4
            call    comp_h_to_a
            mov     buff_dis_4,a
            mov     a,dis_5
            call    comp_h_to_a
            mov     buff_dis_5,a
            ret

;-----*
comp_h_to_a: cjne    a,#03fh,next
            mov     a,#030h

```

```

next:      ret
          cjne      a,#06h,next_2
          mov       a,#031h
          ret
next_2:    cjne      a,#05bh,next_3
          mov       a,#032h
          ret
next_3:    cjne      a,#04fh,next_4
          mov       a,#033h
          ret
next_4:    cjne      a,#066h,next_5
          mov       a,#034h
          ret
next_5:    cjne      a,#06dh,next_6
          mov       a,#035h
          ret
next_6:    cjne      a,#07dh,next_7
          mov       a,#036h
          ret
next_7:    cjne      a,#07h,next_8
          mov       a,#037h
          ret
next_8:    cjne      a,#07fh,next_9
          mov       a,#038h
          ret
next_9:    cjne      a,#06fh,next_10
          mov       a,#039h
          ret
next_10:   cjne      a,#00h,exit_h_to_a
          mov       a,#020h
          ret
exit_h_to_a:mov     a,#30h
          ret
;*****
;*          Send 1-Byte to SERIAL
;*          Input   : ACC
;*          Output  : Serial port
;*          *****
tx_byte:   PUSH      IE
          CLR        TI
          MOV        SBUF,A
          JNB        TI,$
          CLR        TI
          POP        IE
          RET

;*****
;*          Receive Data From SERIAL
;*          Input   : Serial Port
;*          Output  : ACC
;*          *****
RX_BYTE:   PUSH      IE
LOOP1:    JNB        RI,LOOP1          ; Wait data
          CLR        RI
          MOV        A,SBUF
          POP        IE
          RET
;*****

```

```

findn:  mov     dptr,#table           ;
        mov     a,dis_1              ; นำค่าจาก Buffer 1 ที่ acc.
        movc    a,@a+dptr            ; นำค่าแสดงผลจาก table
        mov     dis_1,a              ; เก็บค่าแสดงผลที่ buffer เก็บค่าแสดงผลที่ 1
        mov     a,dis_2              ; นำค่าจาก Buffer 2 ที่ acc.
        movc    a,@a+dptr            ; นำค่าแสดงผลจาก table
        mov     dis_2,a              ; เก็บค่าแสดงผลที่ buffer เก็บค่าแสดงผลที่ 2
        mov     a,dis_3              ; นำค่าจาก Buffer 3 ที่ acc.
        movc    a,@a+dptr            ; นำค่าแสดงผลจาก table
        mov     dis_3,a              ; เก็บค่าแสดงผลที่ buffer เก็บค่าแสดงผลที่ 3
        mov     a,dis_4              ; นำค่าจาก Buffer 4 ที่ acc.
        movc    a,@a+dptr            ; นำค่าแสดงผลจาก table
        mov     dis_4,a              ; เก็บค่าแสดงผลที่ buffer เก็บค่าแสดงผลที่ 4
        ret

```

```

;-----*
LCD_TAB:  DB      'TEMP. INDICATOR ',00H
LCD_TAB2: db      'BY LADKRABANG '
LCD_SHOW: DB      'SETTING EVEN '
LCD_SHOW1: DB     'PLEASE WAIT.... '
LCD_SHOW2: DB     'EVEN1: '
LCD_SHOW3: DB     'EVEN2: '
LCD_SHOW4: DB     'CANCEL... '
LCD_SHOW5: DB     'EVEN1 ENA/DISB(HIGH) '
LCD_SHOW6: DB     'EVEN2 ENA/DISB (LOW) '
LCD_SHOW7: DB     'ENABLE'
LCD_SHOW8: DB     'DISABLE'
COMMAND_1: DB     'ESC ENTER UP DOWN'
COMMAND_2: DB     'ESC OK UP DOWN'
blank:    db      ' '
version_h: db      'HARDWARE VER.1.0 '
version_s: db      'SOFTWARE VER.1.0 '
table:    db      03fh ; 0
          db      06h ; 1
          db      05bh ; 2
          db      04fh ; 3
          db      066h ; 4
          db      06dh ; 5
          db      07dh ; 6
          db      07h ; 7
          db      7fh ; 8
          db      6fh ; 9
          db      77h ; A(0ah)
          db      7ch ; b(0bh)
          db      39h ; C(0ch)
          db      5eh ; d(0dh)
          db      79h ; E(0eh)
          db      71h ; F(0fh)
          db      6fh ; g(10h)
          db      76h ; H(11h)
          db      30h ; I(12h)
          db      0eh ; J(13h)
          db      38h ; L(14h)
          db      54h ; n(15h)
          db      5ch ; o(16h)
          db      73h ; P(17h)
          db      50h ; r(18h)

```

```

db      6dh      ; S(19h)
db      78h      ; t(1ah)
db      1ch      ; u(1bh)
db      3eh      ; V(1ch)
db      6eh      ; y(1dh)
db      40h      ; -(1eh)
db      00h      ; ' '(1fh)

end

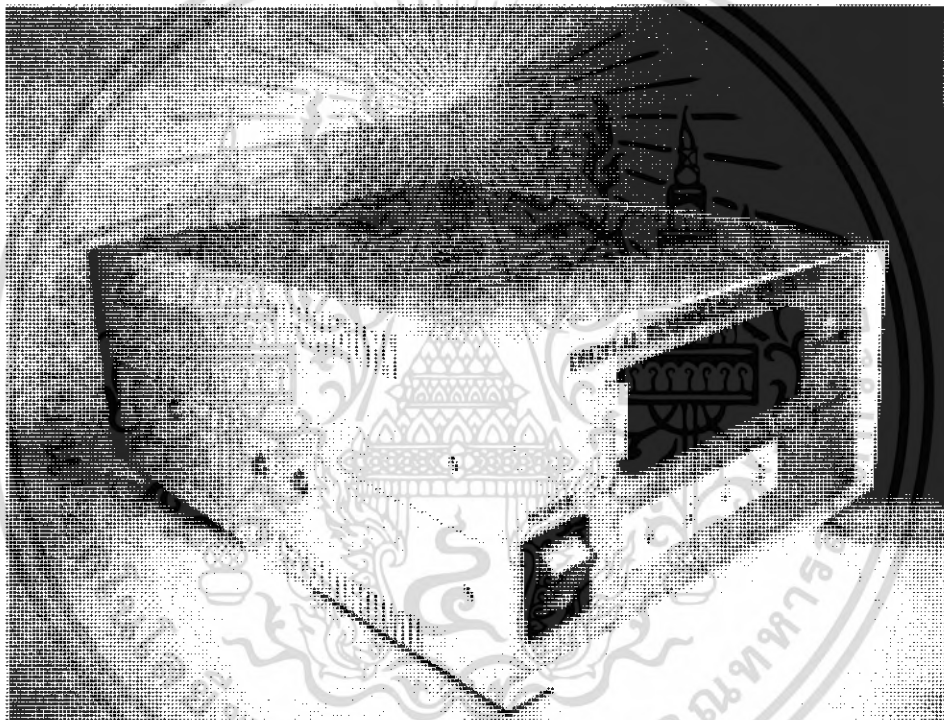
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



คู่มือการใช้งาน เครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล



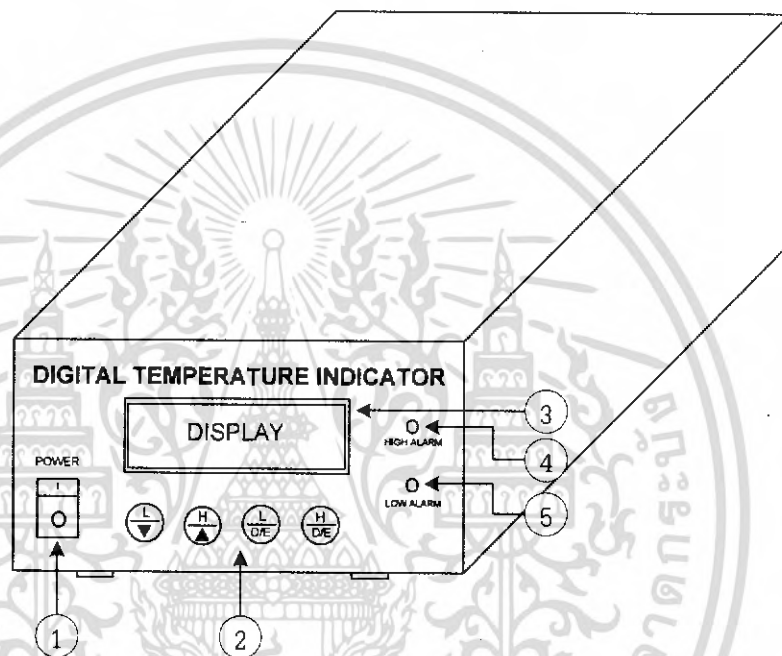
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน **ปีการศึกษา 2548** ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.คำแนะนำเบื้องต้น

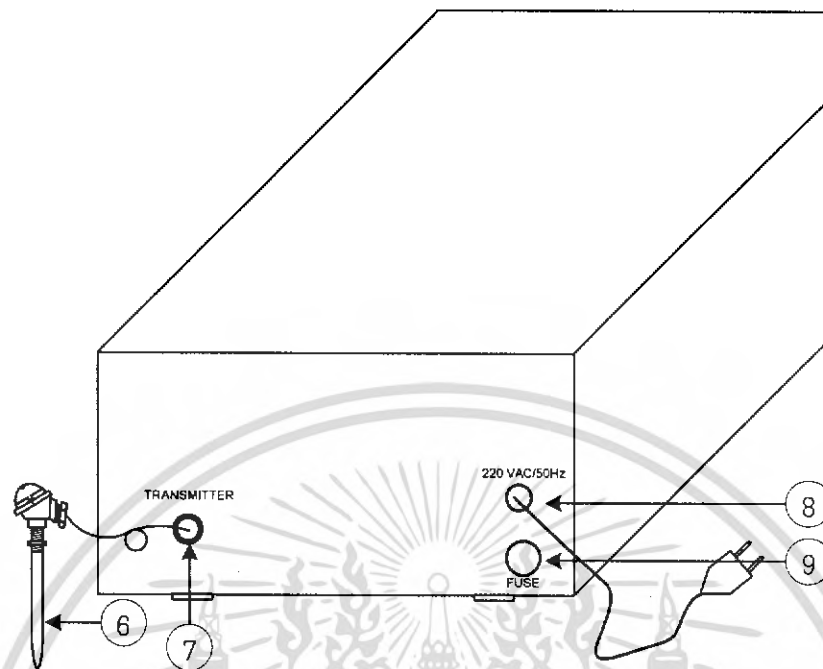
ก่อนที่จะใช้งานเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอลควรทำการศึกษาการใช้งานจากคู่มือให้เข้าใจ เพื่อผลการวัดที่ถูกต้อง และเป็นการป้องกันความเสียหายแก่เครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล

2.ส่วนประกอบและปุ่มควบคุม



รูปที่ ข.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล (ด้านหน้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.2 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล (ด้านหลัง)

จากรูปที่ ข.1 และ ข.2 มีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

- ① สวิตช์เปิด - ปิดการทำงานของเครื่อง
- ② ปุ่ม Key Pad สำหรับตั้ง Alarm
- ③ จอ LCD แสดงผล
- ④ LED แสดง High Alarm
- ⑤ LED แสดง Low Alarm
- ⑥ เทอร์โมคัปเปิล
- ⑦ สายต่อทรานสมิตเตอร์
- ⑧ ปลั๊กไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์
- ⑨ กระบอกฟิวส์

3. การติดตั้งและการใช้งาน

3.1 เสียบปลั๊กไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ (หมายเลข 8)

3.2 เปิดสวิตช์การทำงานของเครื่อง (หมายเลข 1)

3.3 นำแท่งเทอร์โมคัปเปิลไปวัดจุดที่ต้องการวัดซึ่งต่ออยู่ที่ช่องต่อเทอร์โมคัปเปิล (หมายเลข 7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ดูค่าอุณหภูมิจากจอ LCD แสดงผล (หมายเลข 3)

3.5 ในกรณีที่ต้องการตั้ง Alarm สามารถกดปุ่ม Key Pad ตั้ง Alarm ได้ (หมายเลข 2)

3.6 การตั้ง Low Alarm (Event2)

1. กดปุ่ม  หน้าจอจะขึ้น

EVENT2:

00 DG C

รูปที่ 3.3 การตั้งค่า Low Alarm (Event2)

2. ถ้าต้องการเพิ่มค่ากดปุ่ม  ลดค่ากดปุ่ม 

3. กดปุ่ม  เพื่อกลับสู่หน้าจอแสดงผลปกติ

TEMP. 500 DG C

SETTING EVENT

รูปที่ 3.4 หน้าจอแสดงผลปกติ

4. กดปุ่ม  หน้าจอจะขึ้น

EVENT2:ENA/DISB (LOW)

DISABLE

รูปที่ 3.5 การเลือกการใช้งานกับไม่ใช้งาน Low Alarm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. กดปุ่ม  จะเปลี่ยนระหว่างไม่ใช้งาน Disable กับ ใช้งาน Enable ในกรณีนี้จะใช้ Enable คือทำงาน

6. กดปุ่ม  อีกครั้งเพื่อกลับสู่หน้าจอแสดงผลปกติ

7. ถ้าค่าที่วัดได้ต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าที่ตั้งไว้หลอด LED ของ Low Alarm จะติดกระพริบ

3.7 การตั้ง High Alarm (Event1)

1. กดปุ่ม  หน้าจอจะขึ้น

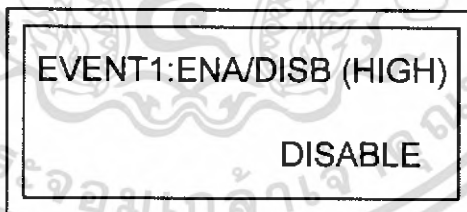


รูปที่ ๓.6 การตั้งค่า High Alarm (Event1)

2. ลดค่าโดยกดปุ่ม 1  เพิ่มค่าโดยกดปุ่ม 2 

3. กดปุ่ม 4 เพื่อกลับสู่หน้าจอแสดงผลปกติ

4. กดปุ่ม 4  อีกครั้งหน้าจอจะขึ้น



รูปที่ ๓.7 การเลือกการใช้งานกับไม่ใช้งาน High Alarm

5. กดปุ่ม 2  เลือก ระหว่างไม่ใช้งาน Disable กับ ใช้งาน Enable ในกรณีนี้จะใช้ Enable คือทำงาน

6. กดปุ่ม 4  อีกครั้งเพื่อกลับสู่หน้าจอแสดงผลปกติ

7. ถ้าค่าที่วัดได้สูงกว่าหรือเท่ากับค่าที่ตั้งไว้หลอด LED ของ High Alarm จะติดกระพริบ

4. การแก้ปัญหาเบื้องต้น

เมื่อท่านประสบปัญหาในการใช้งานเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล สามารถตรวจสอบแนวทางการแก้ไขปัญหาเบื้องต้นได้จากตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ ข.1 การแก้ปัญหาเบื้องต้น

อาการ	สาเหตุและ/หรือวิธีแก้ไข
จอแสดงผลไม่แสดงผล	ตรวจสอบพอร์ตที่ต่อกับบอร์ดประมวลผล
จอแสดงผลแสดงผลไม่ตรง	- ตรวจสอบขั้วต่อเทอร์โมคัปเปิล - ตรวจสอบเอาต์พุตวงจรขยายสัญญาณการวัด - ตรวจสอบเอาต์พุตวงจรการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล
หลอดแอลอีดี ของ Alarm ไม่ติด	ตรวจสอบจุดต่อหลอดแอลอีดี
ปุ่ม Key Pad ไม่ทำงาน	ตรวจสอบจุดต่อ Key Pad
เปิดเครื่องไม่ติด	ตรวจสอบฟิวส์ในเครื่อง

5. การดูแลรักษาและข้อควรระวัง

5.1 การดูแลรักษา

- ปิดสวิตช์และถอดปลั๊กทุกครั้งหลังใช้งานเสร็จ
- เช็ดทำความสะอาดตัวชุดทดลองด้วยผ้าแห้งสะอาด

5.2 ข้อควรระวัง

- ไม่ควรต่อไฟเครื่องตลอดเวลา ในกรณีที่ไม่ได้ใช้งาน
- ไม่ควรเก็บรักษาเครื่องไว้ใกล้กับที่ชื้นและร้อนเกินไป

6. ข้อมูลจำเพาะ

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลจำเพาะ

คุณสมบัติ	รายละเอียด
ตัวเซนเซอร์	เทอร์โมคัปเปิล Type J,K,T
Transmitter	ตัวรับสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล
อุณหภูมิห้อง	ใช้ในอุณหภูมิ 25 °C
Accuracy	± 2 % Full Scale
แหล่งจ่ายพลังงาน	220 VAC 50Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ที่ ศธ 0524.04(5)/ ๐๖๕

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง
แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กทม. 10520

9 กุมภาพันธ์ 2549

เรื่อง ขออนุญาตเผยแพร่รับรองผลการทดสอบ

เรียน คุณเกียรติศักดิ์ ทองสกุล

ด้วยนายวีระเวช สุวรรณรัตน์ และนายอนุวัฒน์ ศรีสุวรรณ นักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีความประสงค์ขออนุญาตเผยแพร่ให้ทาง WILLOW GLOBAL CO.LTD. รับรองผลการทดสอบ และออกหนังสือรับรองผลการทดสอบ เรื่อง “การวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลและแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล” เพื่อใช้ในการจัดทำในวิชาโครงการงานการสร้งอุปกรณ์เพื่อการสอน เรื่อง “เครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตอล”

จึงเรียนมาเพื่อขออนุญาตเผยแพร่ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความร่วมมือจากท่าน และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรสิทธิ์ ราชตรี)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

โทรศัพท์ 0-2326-4322

โทรสาร 0-2326-4322

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Willow Global Co., Ltd

33/354 Moo.11 Preecha Village, Sansaeb, Minburi Bangkok 10510 Tel. : 02-9563988-9, Fax : 02-956-3990

Calibration Report

Issued By : Calibration Section, Assurance Department

Report No. : 06/107

Calibration Date : 25/3/2549

Page 1 of 1

Client : VEERAVAT SUWANNARAT

Address :

Instrument Name	Temperature Indicator				Tag No	
Maker					Service	
Model	PRO100				Serial No.	PRO-001
Type	T/C TYPE K				Prod Date	
Input Range	0-1300	°C		Output		
Input Signal	0-1300	°C		Supply	220	VAC.
Control Setting	Mode	P	PI	PID	Other (Output)	
PB(%)	Action :					LED INDICATOR
I (Min)	Direct					1300 °C
D (Min)	☐ Reverse					1000 °C

Calibration Data (INPUT)

Reference Standard			Measurement Results (Unit Under Calibration, UUC.)							
%	Standard Setting	Desired Value	Before				After			
	°C	°C	Increase		Decrease		Increase		Decrease	
			Reading	Error	Reading	Error	Reading	Error	Reading	Error
-	50	0	2	2	2	2				
25	150	150	153	3	153	3				
50	300	300	304	4	305	5				
75	450	450	456	6	456	6				
100	600	600	608	8	608	8				

Calibration Data (-)

Reference Standard			Measurement Results (Unit Under Calibration, UUC.)							
%	Standard Setting	Desired Value	Before				After			
			Increase		Increase		Increase		Increase	
			Reading	Error	Reading	Error	Reading	Error	Reading	Error
0										
25										
50										
75										
100										

Reference Standard (Input)

Name	Manufacturer	Model	S/N
Dry Block Calibrator	JOFA	600S	90526

Reference Standard (Output)

Name	Manufacturer	Model	S/N

Tested By : Mr. Teeratach Kwanyubol

Client Inspector By :

Vendor Inspector :

Date

Authorised Signatory

WILLOW GLOBAL CO., LTD

WILLOW GLOBAL CO., LTD

<<<< End of Report >>>>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปฏิญานิพนธ์

นายวีระเวทย์ สุวรรณรัตน์

วันเดือนปีเกิด

9 ตุลาคม 2526

ภูมิลำเนา

193 ถ.แม่น้ำหลังสวน ตำบล แหลมทราย อำเภอ หลังสวน
จังหวัด ชุมพร 86110 โทรศัพท์ 0-9453-2680

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา

โรงเรียนวัดวาสุการาม

จังหวัด ชุมพร

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนสวนศรีวิทยา

จังหวัด ชุมพร

ประกาศนียบัตร

วิทยาลัยเทคนิคบันนบุรี

จังหวัด กรุงเทพฯ

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

วิทยาลัยเทคนิคปทุมธานี

จังหวัด ปทุมธานี

ปริญญาตรี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ความสนใจพิเศษ

ศึกษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์

คติพจน์

ทำวันนี้ให้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปฏิญานพนธ์

นายอนุวัฒน์ ศรีสุวรรณนท์

วันเดือนปีเกิด

30 มิถุนายน 2525

ภูมิลำเนา

118/95 หมู่ 7 ตำบล ปงเตา อำเภอกงาว
จังหวัด ลำปาง 52110 โทรศัพท์ 0-6551-5034

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา

โรงเรียนบ้านขุนแหง

จังหวัด ลำปาง

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนชุมชนวัดพิชิตปิตยาราม

จังหวัด ปทุมธานี

ประกาศนียบัตร

วิทยาลัยเทคนิคปทุมธานี

จังหวัด ปทุมธานี

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

วิทยาลัยเทคนิคปทุมธานี

จังหวัด ปทุมธานี

ปริญญาตรี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ความสนใจพิเศษ

ติดตามข่าวเกี่ยวกับเทคโนโลยีใหม่ๆ

คติพจน์

ทำวันนี้ให้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้