

เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสสาร ชนิดดิฟเฟอเรนเชียล
เทอร์มอลอนาไลซิสควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์
COMPUTERIZED DIFFERENTIAL
THERMAL ANALYSIS INSTRUMENT



นายโสพล บุตรงาม
MR.SOPON BUDNGAM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาฟิสิกส์ประยุกต์
บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ 2541

ISBN 974-622-119-1

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 31145
วัน, เดือน, ปี 21 ก.ย. 2541

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**COMPUTERIZED DIFFERENTIAL THERMAL ANALYSIS
INSTRUMENT**

MR.SOPON BUDNGAM

**A THESIS SUBMITTED IN PATIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE
MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS
SCHOOL OF GRANDUATE STUDIES
KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADGRABANG**

ISBN 974-622-119-1

1998

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสสาร ชนิดคิฟเฟอเรนเชียลเทอร์มอลอานาไลซิสควบคุมด้วย คอมพิวเตอร์
นักศึกษา	นายโสพล บุตรงาม
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. อารีย์ วิเชียรฉาย
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ. วิจิต ศิริโชค
ระดับการศึกษา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ ทหารลาดกระบัง
พ.ศ	2541

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นการออกแบบและสร้าง เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของ สสาร ชนิดคิฟเฟอเรนเชียลเทอร์มอลอานาไลซิสควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ (เพื่อใช้วัดสมบัติทางความร้อนของสสาร) โดยการให้พลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้น และวัดความแตกต่างอุณหภูมิ ระหว่างสารที่ใช้อ้างอิงกับสารที่ใช้ทดสอบเทียบกับอุณหภูมิของสารตัวอย่าง โดยสารอ้างอิงและ สารที่ใช้ทดสอบ อยู่ในสภาพแวดล้อม และได้รับพลังงานความร้อนแบบเดียวกัน การประมวลผล ข้อมูล จะแสดงผลในโหมดของเวลาจริง และเวลาหลังจากเตาความร้อนไฟฟ้าเลิกทำงาน และจะ แสดงผลในรูปของกราฟและตัวเลข โดยแกนนอน จะแทนอุณหภูมิของสารตัวอย่าง แกนตั้งจะแทน ความแตกต่างอุณหภูมิของสารทั้งสอง ในการวัดได้ออกแบบสร้างส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่ เตา ความร้อนไฟฟ้าที่ใช้แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ และให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิคงที่สูงสุด 6 องศาเซลเซียสต่อนาที และให้อุณหภูมิสูงสุดถึง 600 องศาเซลเซียส โดยใช้เทคนิคการควบคุม อุณหภูมิแบบ พีไอดี ซึ่งได้จากการโปรแกรมจากคอมพิวเตอร์ เครื่องขยายสัญญาณจากหัววัด อุณหภูมิความแม่นยำสูง หัววัดอุณหภูมิ เทอร์โมคัปเปิลชนิด เค ระบบจัดเก็บข้อมูล เมื่อนำเครื่องที่ สร้างขึ้นไปทำการวัดจุดหลอมเหลวของสาร กรดเบนโซอิก จะได้ความแม่นยำในการอ่านเป็น 1.46 เปอร์เซ็นต์ โปแตสเซียมไนเตรด จะได้ความแม่นยำในการอ่านเป็น 5.3 เปอร์เซ็นต์ ดีบุก จะได้ ความแม่นยำในการอ่านเป็น 0.43 เปอร์เซ็นต์ ซิลเวอร์ซัลเฟต จะได้ความแม่นยำในการอ่านเป็น 0.99 เปอร์เซ็นต์

Thesis Title	Computerized Differential Thermal Analysis Instrument
Student	Mr. Sopon Budngam
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Aree Wichainchai
Thesis Co.Advisor	Asst.Prof.Wichit sirichot
Level of Study	Master of Science in Applied Physics
Department	Applied Physics, King Mongkut's Institute of Technology Ladgrabang
Year	1998

ABSTRACT

This Thesis presents the design and development of Computerized Differential Thermal Analysis Instrument. The principle of instrument is used for measuring temperature difference between a sample and a reference versus sample temperature. A sample and a reference are place in a same environment and same heating rate. As for data processing on in the Realtime mode and Post run mode , Digital and Graphic representation , the horizontal axis is a sample temperature and vertical axis is a differential temperature. The system consists of an electric furnace, crucibles, precision temperature and differential temperature amplifier, the temperature sensor used type K thermocouple, data acquisition system,digital to analog converter, PID controlled program,and Phase control ac regulator. For ac electric furnace provide maximum constant heating rate 6 celsius per min and maximum temperature 600 celsius . Preliminary test of the instrument was done by determination of reading accuracy Extrapolated onset of melting temperature point of Benzoic acid, Potassium nitrate,Tin, Silversulfate are 1.46, 5.3, 0.43, and 0.99 percentage respectively.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถลุล่วงลงได้ด้วยดี เพราะได้รับความเมตตาจาก รองศาสตราจารย์ ดร. อารีย์ วิเชียรฉาย และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิชิต ศิริโชติ ที่ได้ให้ความกรุณา แนะนำแก่ผู้วิจัยตลอดมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ คุณ ทรงวิทย์ เจริญรวยวัฒนา ที่ช่วยพัฒนาโปรแกรม และให้คำปรึกษาในการพัฒนาโปรแกรม จนสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้น

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ที่เอื้อเพื่ออุปกรณ์และ เครื่องมือทั้งหมด ตลอดจนสถานที่ รวมทั้งการอำนวยความสะดวกจนสามารถทำวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้เสร็จสิ้น

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ภาควิชาฟิสิกส์ทุกคนที่เป็นกำลังใจตลอดมา

และที่ลืมเสียมิได้ คือ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ เคารพรั้งยิ่ง และเป็นกำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์นี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณกลุ่มบริ ษัทพีเอ็มเอ ที่กรุณาเอื้อเพื่อ อุปกรณ์และเครื่องมือทั้งหมด ตลอดจนสถานที่ รวมทั้งการอำนวยความสะดวกจนสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้น

นายโสพล บุตรงาม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	IX
คำย่อและสัญลักษณ์.....	XIV
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของการทำวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์และความมุ่งหมายของการทำวิทยานิพนธ์	2
1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 ขอบเขตของการทำวิทยานิพนธ์	3
1.5 วิธีการดำเนินการ การทำวิทยานิพนธ์	3
2 หลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องของเครื่องมือ DTA.....	5
2.1 ประวัติความเป็นมาของ DTA.....	5
2.2 หลักการและทฤษฎี	6
2.3 การวิเคราะห์สมบัติของสสารจากการประยุกต์ใช้งานของ DTA .	9
2.4 การเปลี่ยนแปลงสถานะของสสาร.....	12
2.5 การเกิดปฏิกิริยาเคมี	13
2.6 เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติความแตกต่างทางความร้อนของสสาร ชนิดคิฟเฟอร์เนเซียลเทอร์มอลอนาไลซิสควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ .	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3 การวิจัยและดำเนินการสร้าง.....	91
3.1 การออกแบบ	91
3.1.1 เตาความร้อนไฟฟ้า	91
3.1.2 เครื่องขยายสัญญาณความแตกต่างอุณหภูมิและ อุณหภูมิ ของสารตัวอย่างและสารอ้างอิง	94
3.1.3 ระบบจัดเก็บข้อมูล	104
3.1.4 การประมวลผลสัญญาณ	118
3.1.5 การโปรแกรมอุณหภูมิ	125
3.1.6 เฟสคอนโทรลเอซีเรกิวเลเตอร์	127
4 การทดลอง	132
5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	147
บรรณานุกรม.....	151
ภาคผนวก.....	152
ภาคผนวก ก. เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสาร ชนิดคิฟเฟอร์นเซียลเทอร์มอลอนาไลซิสควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์.....	153
ภาคผนวก ข. การใช้งาน	156
ภาคผนวก ค Data Sheet	164
ประวัติผู้เขียน	182

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงตำแหน่งของขาสัญญาณขั้วต่อแบบ D 25 ขา	29
2.2 การจัดตำแหน่งของสัญญาณบนขั้วต่อแบบ D 9 ขา	30
2.3 แสดงตัวอย่างการตั้งรหัสเพื่อเตรียมสถานะของพอร์ตอนุกรมโดย ใช้รีจิสเตอร์ AL ผ่านคาร์รหัส	34
2.4 แสดงรหัสสำหรับการเตรียมสถานะเริ่มต้นของพอร์ต	35
2.5 แสดงหมายเลขการขัดจังหวะสำหรับพอร์ตอนุกรม	36
2.6 แสดงสถานะของพอร์ตอนุกรมในรีจิสเตอร์ AH และ AL	37
2.7 แสดงหมายเลขพอร์ตและลักษณะการใช้งานรีจิสเตอร์ของ 8250	39
2.8 แสดงตัวหาร 1.8432 MHz เพื่อให้ได้ความถี่ 16 เท่าของ อัตราการรับส่งข้อมูล (Baud rate)	40
2.9 แสดงการจัดสรรแอดเดรสที่ใช้ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกบน IBM PC .	68
3.1 แสดงค่าแรงดันขาออกต่ออุณหภูมิ สำหรับ AD 595	94
3.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์โพลีโนเมียลสำหรับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K	100
3.3 แสดงการกำหนดจำนวนช่องสัญญาณโดยกำหนดที่ขา P 2.4 ถึง P 2.7 ของ 8751	113
3.4 แสดงหมายเลขบอร์ด (Board) ที่ ขา P 3.4 ถึง P 3.7 ของ 8751 ในที่นี้เลือก หมายเลข 0	114
3.5 แสดงการรับส่งข้อมูลกำหนดที่ขา P2.0 ของ 8751 ในที่นี้เลือก 9600 บิตต่อวินาที	114
3.6 แสดงการเลือกลักษณะของสัญญาณที่ส่งออกไป (เลือก 0)	114
4.1 แสดงค่า จุด T_m ($^{\circ}\text{C}$) ที่ได้จากเครื่อง DTA VERSION 1.0 และ เครื่อง NETZCH STA 409C	138
4.2 แสดงค่า จุด T_m ($^{\circ}\text{C}$) ที่ได้จากเครื่อง DTA VERSION 1.0 และ เครื่อง NETZCH STA 409C	140
4.3 แสดงค่า จุด T_m ($^{\circ}\text{C}$) ที่ได้จากเครื่อง DTA VERSION 1.0 และ เครื่อง NETZCH STA 409C	142

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
4.4 แสดงค่า จุด T_m ($^{\circ}\text{C}$) ที่ได้จากเครื่อง DTA VERSION 1.0 และ เครื่อง NETZCH STA 409C	144
4.5 แสดงค่า จุด ยอดสัญญาณ T_p ($^{\circ}\text{C}$) ที่ได้จากเครื่อง DTA VERSION 1.0 และ เครื่อง NETZCH STA 409C	146

สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1. แสดงแผนภาพของเครื่องมือ DTA เบื้องต้น	6
2.2. แสดงตัวอย่างสัญญาณที่ได้จากเครื่อง DTA	7
2.3. แสดงลักษณะการไหลของความร้อนไปยังสารตัวอย่าง	7
2.4. แสดงตัวอย่างการหาค่าต่างๆบนเส้นสัญญาณของ DTA	10
2.5. แสดงเส้นกราฟจากเครื่อง DTA ที่ได้จากสารตัวอย่างประเภทโพลีเมอร์ .	12
2.6. แสดง paranitrophenylhydrazone ที่ สมบูรณ์นั้น จะต้องไม่เกิดการสลายตัว ในช่วงอุณหภูมิที่ทำการวิเคราะห์ และยอดของสัญญาณที่เกิดจะต้องไม่ต่ำกว่า จุดเดือดของ อะซีโตน	14
2.7. แสดงแผนผังของเครื่องมือวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสสารชนิด ดิฟเฟอเรนเชียลเทอร์มอลอนาไลซิสควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์	16
2.8. แสดงเตาความร้อนไฟฟ้าแบบ Boersma	17
2.9. แสดงหลักการพื้นฐานของเทอร์โมคัปเปิล	18
2.10. แสดงรอยต่อเทอร์โมคัปเปิลที่เกิดขึ้นระหว่างสายวัดกับเทอร์โมคัปเปิล .	20
2.11. แสดงการรักษาอุณหภูมิที่รอยต่ออ้างอิงให้คงที่โดยแช่ในน้ำแข็ง	20
2.12. แสดงการขยายสัญญาณจากหัววัดอุณหภูมิชนิด K	21
2.13. แสดงวงจรขยายศักย์ความแตกต่างของอุณหภูมิ	22
2.14. แสดงแผนผังของระบบจัดเก็บข้อมูล	23
2.15. แสดง DUAL-SLOPE INTEGRATING A/D CONVERTER	24
2.16. แสดงรูปแบบการส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัส	26
2.17. แสดงลักษณะสัญญาณของ RS 232 C	28
2.18. แสดงการเชื่อมต่อสัญญาณ ได้ตอบเพื่อป้องกันข้อผิดพลาด ในการรับส่งข้อมูล	31
2.19. แสดงความผิดพลาดของกรอบข้อมูล	32
2.20. แสดงความเพี้ยนของสัญญาณอันเนื่องมาจากความจุของสายนำสัญญาณ .	33
2.21. แสดงหน้าที่ของบิตต่างๆของรีจิสเตอร์ IER	41

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
2.22 แสดงหน้าที่ของบิตต่างๆของรีจิสเตอร์ IIR	42
2.23 แสดงหน้าที่ของบิตต่างๆของรีจิสเตอร์ LCR	43
2.24 แสดงหน้าที่ของบิตต่างๆของรีจิสเตอร์ MCR	44
2.25 แสดงหน้าที่ของบิตต่างๆของรีจิสเตอร์ LSR	44
2.26 แสดงหน้าที่ของบิตต่างๆของรีจิสเตอร์ MSR	45
2.27 แสดงลักษณะทั่วไปของระบบการควบคุมอัตโนมัติ	47
2.28 แสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณขาออกและสัญญาณขาเข้าของ On-Off Controller	49
2.29 แสดงตัวอย่างการควบคุมแบบ On-Off Controlled	49
2.30 แสดงลักษณะสัญญาณขาออกและสัญญาณขาเข้าของ P-only Controller	51
2.31 แสดงกราฟ transfer curves ของ proportional band	51
2.32 แสดงผลของการควบคุมแบบ P-only	52
2.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ V_{error} และ สัญญาณขาออก V_{out} ของ Integral controller	53
2.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ V_{error} และ สัญญาณขาออก V_{out}	55
2.35 แสดง ระบบ I/O slot บน IBM PC	56
2.36 แสดงขาสัญญาณต่างๆบน I/O slot ของ IBM PC	57
2.37 แสดงการ์ดที่ใช้เสียบใน I/O slot (PC - card)	69
2.38 แสดงรายละเอียดวงจรอินทิเนต	70
2.39 แสดงรายละเอียดวงจรเอาต์พุตแลตซ์	71
2.40 แสดงรายละเอียดวงจรอินพุตบัฟเฟอร์	72
2.41 แสดงไดอะแกรมการเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก เพื่อจะเข้ากันได้กับอุปกรณ์ภายนอกแบบอนาลอก	73
2.42 แสดงการเปลี่ยนค่าแต่ละบิต D0-D9 จาก 0 ถึง 1024	74
2.43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดิจิทัลกับแรงดันเอาต์พุตของ DAC 10 บิต	75

สารบัญญภาพ (ต่อ)

หน้า

2.44	แสดงการเปลี่ยนช่วงแคตซ์ จของสั ญา ฅ นา ลอก เอาต์พุท เมื่อเปลี่ยน จำนวนบิตของสัญญาณดิจิทัลอินพุตเป็น 12, 10, 6 บิตตามลำดับ	76
2.45	แสดงไดอะแกรมการเชื่อมต่อวงจร DAC เข้ากับ IBM PC	76
2.46	แสดงรายละเอียดของวงจร DAC แบบ R-2R ladder ขนาด 8 บิต	77
2.47	แสดงรายละเอียดวงจรแลตซ์ข้อมูล	78
2.48	แสดงรายละเอียดวงจรดีโค้ดแอดเดรสพอร์ต์ หมายเลข 2B0H-2B7H	79
2.49	แสดงรายละเอียดการเชื่อมต่อ IC DAC ขนาด 8 บิต เบอร์ AD 558 เข้ากับ I/O slot บน IBM PC โดยที่สัญญาณอนาลอกเอาต์พุตอยู่ใน ช่วง 0 ถึง 10.24 โวลต์	80
2.50	แสดงวิธีการแยกส่วนวงจรทางไฟฟ้า	82
2.51	แสดงไดอะแกรมการใส่ ZVS	83
2.52	แสดงตัวอย่างการใช้งานโซลิตสเตรียร์	84
2.53	แสดงการควบคุมแรงดันกระแสสลับ	86
2.54	แสดงรูปคลื่นตกคร่อมโหลดด้วยวิธีควบคุมแบบเปิด-ปิด	87
2.55	แสดงรูปคลื่นการควบคุมด้วยเฟสของ ไตรแอก	88
2.56	แสดงวงจรควบคุมแรงดันเฟสเดียวเต็มรอบที่โหลดมีความเหนี่ยวนำ	89
2.57	แสดงวงจรจุดชนวนอย่างง่าย	90
3.1	แสดงลักษณะและขนาดของเตาความร้อน	92
3.2	แสดงภาชนะใส่สาร	92
3.3	แสดงลักษณะภายนอกของเตาจริงที่สร้างขึ้นเสร็จ	93
3.4	แสดงลักษณะจริงของภาชนะใส่สารตัวอย่างและสารอ้างอิง	93
3.5	แสดงกราฟค่าแรงดันขาออกต่ออุณหภูมิสำหรับเทอร์โมคัปเปิลและ AD 595	98
3.6	แสดงลักษณะภายในของ AD 595 ที่มีวงจรขยายสัญญาณเทอร์โมคัปเปิลที่มี จุดอ้างอิงศูนย์องศา	100

สารบัญญภาพ (ต่อ)

หน้า

3.7	แสดงลักษณะการต่อใช้งาน AD 595 ที่ใช้เป็นวงจรถยายสัญญาณอุณหภูมิ ที่ใช้เป็นวงจรถยายสัญญาณอุณหภูมิของสารตัวอย่าง	102
3.8	แสดงลักษณะการต่อใช้งาน AD 595 ที่ใช้เป็นวงจรถยายสัญญาณอุณหภูมิ ของสารอ้างอิง	102
3.9	แสดงส่วนขยายสัญญาณความแตกต่างอุณหภูมิในแกน Y	103
3.10	แสดงรูปร่างและลักษณะที่สำคัญที่นำมาใช้งานของ ไอซี เบอร์ ICL7109	105
3.11	แสดงลักษณะการต่อใช้งานแรงดันอ้างอิง	107
3.12	แสดงลักษณะส่วนดิจิทัลของ ICL7109	108
3.13	แสดงลักษณะการเชื่อมโยง ICTL 7109 เข้ากับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ 87C51.....	110
3.14	แสดงวงจรมัลติเพลกซ์ขนาด 16 ช่องสัญญาณของระบบจัดเก็บข้อมูล ..	111
3.15	แสดงไดอะแกรมวงจรตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล ของระบบจัดเก็บข้อมูล	112
3.16	แสดงการเชื่อมต่อระบบจัดเก็บข้อมูลเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์	115
3.17	แสดงวงจรถยายอุณหภูมิส่วนต่างๆที่ใช้เชื่อมต่อระบบจัดเก็บข้อมูล.....	118
3.18	แสดงการคำนวณโดยใช้ Moving average แบบ เฉลี่ย 5 จุด.....	121
3.19	แสดงขั้นตอนการคำนวณโดยวิธี Moving average แบบ เฉลี่ย 5 จุด	122
3.20	แสดงพืดสัญญาณที่ต้องการหาค่าพื้นที่ใต้พืด	123
3.21	แสดงลักษณะของโซลิดสเตตรีเลย์ที่นำมาใช้งาน	128
3.22	แสดงวงจรเปลี่ยนสัญญาณแรงดันเป็นกระแส และแหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับ มอเตอร์ขับเคลื่อนภาชนะใส่สาร	129
3.23	แสดงลักษณะภายในของกล่อง InBox	130
3.24	แสดงวงจรถยายอุณหภูมิส่วนต่างๆ	130
3.25	แสดงวงจรถยายอุณหภูมิส่วนต่างๆและแหล่งจ่ายไฟตรง สำหรับมอเตอร์ขับเคลื่อนภาชนะใส่สารที่ทำซ้ำขึ้นใหม่	131
3.26	แสดงระบบจัดเก็บข้อมูล	131
4.1	แสดงกราฟอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 1.53 °C/min	134

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
4.2 แสดงกราฟอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 2.82 ° C/min	134
4.3 แสดงกราฟอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 4.29 ° C/min	135
4.4 แสดงกราฟอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 6.00 ° C/min	135
4.5 แสดงกราฟกรดเบนโซอิกจาก Excel 5	137
4.6 แสดงกราฟโปแตสเซียมไนเตรดจาก Excel 5	139
4.7 แสดงกราฟของดีบุกจาก Excel 5	141
4.8 แสดงกราฟซิลเวอร์ซัลเฟตจาก Excel 5	143
4.9 แสดงกราฟคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต จาก Excel 5	145

คำย่อและสัญลักษณ์

- DTA (Differential Thermal Analysis) หมายถึง เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสารชนิดดิฟเฟอเรนเชียลแคลอริมิเตอร์
- T (Temperature) หมายถึง อุณหภูมิ หน่วย เป็น องศาเซลเซียส(°C)
- ΔT (Temperature difference) หมายถึง ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างสารตัวอย่างและสารอ้างอิง หน่วย เป็น องศาเซลเซียส(°C)
- t (Time) หมายถึง เวลา หน่วย เป็น วินาที (s)
- Q (Heat) หมายถึง ปริมาณความร้อน หน่วย เป็น จูล (Joule)
- C_s (Sample Specific Heat Capacity) หมายถึง ความจุความร้อนรวมของสารตัวอย่างและภาชนะใส่สาร
- C_r (Reference Specific Heat Capacity) หมายถึง ความจุความร้อนรวมของสารอ้างอิงและภาชนะใส่สาร
- T_B หมายถึง อุณหภูมิของเตา
- T_s หมายถึง อุณหภูมิของสารตัวอย่าง
- T_r หมายถึง อุณหภูมิของสารอ้างอิง
- R (Thermal resistant) หมายถึง ความต้านทานความร้อนระหว่างเตาและสาร
- K (Thermal conductivity) หมายถึง ค่าความนำความร้อนของเตา
- H (Enthalpy) หมายถึง เอนทาลปี หรือพลังงาน
- q หมายถึง อัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเตา
- m หมายถึง มวลของสาร
- ADC, A/D (Analog to Digital Converter) หมายถึง วงจรตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล
- D/A, DAC (Digital to Analog Converter) หมายถึง วงจรตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก
- SSR (Solid-state relay) หมายถึง โซลิดสเตตรีเลย์
- EMI (Electromagnetic interference) หมายถึง การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า
- ZVS (Zero voltage switch) หมายถึง สวิตช์ปิดวงจรตอนแรงดันเป็น ศูนย์

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการทำวิทยานิพนธ์

ปัจจุบันได้มีการนำเอาเทคโนโลยีการควบคุมเครื่องมือด้วยคอมพิวเตอร์ มาใช้งานเป็นจำนวนมาก เมื่อต้องการใช้งานเบื้องต้น จำเป็นที่ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ แต่เราสามารถลดการนำเข้าจากต่างประเทศได้โดยการพัฒนาเทคโนโลยีการสร้างเครื่องมือประเภทนี้ขึ้นมาภายในประเทศทำให้ราคาของเครื่องมือประเภทนี้ถูกลง เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสารชนิดดิฟเฟอเรนเชียลเทอร์มอลอานาไลซิส (Differential Thermal Analysis:DTA) ในที่นี้จะเรียกว่า เครื่องมือ DTA เป็นเครื่องมือที่ใช้แพร่หลายในการวิจัยเกี่ยวกับสมบัติทางความร้อนของสารประเภท โลหะ ออกไซด์ เกลือ ซีเมนต์ พลาสติก เซรามิกส์ แก้ว เป็นต้น ซึ่งจะใช้กันมากในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ อุตสาหกรรมปิโตรเคมี และการวิเคราะห์คุณภาพของดิน เป็นต้น

สำหรับงานวิจัยนี้ เป็นการนำเอาเครื่องมือ DTA ที่ได้สร้างขึ้น มาใช้ตรวจวัดสมบัติทางความร้อนของ กรดเบนโซอิก (Benzoic acid), โพแตสเซียมไนเตรด(Potassium nitrate), ดีบุก (Tin), ซิลเวอร์ซัลเฟต(Silver sulfate), และคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต (Copper sulfate pentahydrate) ในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาเครื่องมือนี้ขึ้นมา โดยจะได้ออกแบบและสร้าง ส่วนควบคุมอัตราการเพิ่มอุณหภูมิคงที่ระบบดิจิทัล ส่วนการขยายสัญญาณจากหัววัดอุณหภูมิ การเชื่อมโยงสัญญาณจากส่วนขยายสัญญาณอุณหภูมิเข้าสู่ไมโครคอมพิวเตอร์ การเก็บบันทึกข้อมูล การวิเคราะห์และการแสดงผลจะใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือในการจัดการ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการทำวิทยานิพนธ์

การสร้างเครื่องมือ DTA นี้ มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้คือ

- 1.2.1 เพื่อสร้างเครื่องมือ DTA
- 1.2.2 เพื่อศึกษาเทคนิคการวัดสมบัติของปฏิกิริยาเคมี การเปลี่ยนแปลงทางสถานะพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสสาร
- 1.2.3 เพื่อศึกษาสมบัติความแตกต่างทางความร้อนของสารกรดเบนโซอิก, โปแตสเซียมไนเตรต, ดีบุก, ซิลเวอร์ซัลเฟต, คอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต
- 1.2.4 เป็นการฝึกฝนทักษะในการออกแบบและพัฒนาเทคโนโลยีในการสร้างเครื่องมือ

1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์สมบัติความแตกต่างทางความร้อนของสสารอาศัย หลักการวัดความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างสารตัวอย่าง(sample)กับสารอ้างอิง(reference)ที่อยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกันและได้รับพลังงานความร้อนเดียวกัน ภาชนะใส่สารตัวอย่างและสารอ้างอิงจะอยู่ในเตาความร้อนไฟฟ้า โดยที่ภาชนะใส่สารทั้งสองวางอยู่ในตำแหน่งที่สมมาตรกัน เพื่อให้สารตัวอย่างและสารอ้างอิงได้รับปริมาณความร้อนเท่ากัน การแสดงผลจะแสดงให้เห็นในรูปของกราฟระหว่างอุณหภูมิแตกต่าง(ΔT)ของสารตัวอย่างกับสารอ้างอิง และ อุณหภูมิ(T) ของสารตัวอย่างหรือเวลา(t) ดังนั้น สารชนิดเดียวกันจะปรากฏลักษณะสัญญาณของสมบัติทางความร้อนที่ตำแหน่ง อุณหภูมิ หรือ เวลาเดียวกันเสมอ จึงสามารถวิเคราะห์สสารได้จากการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานที่ทราบชนิดได้ และการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสสารจะทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือโครคอมพิวเตอร์

1.4 ขอบเขตของการทำวิทยานิพนธ์

เนื่องจากการวิจัยนี้ เป็นการวิจัยในระดับเบื้องต้น โดยได้มีการพัฒนาฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ดันแบบขึ้นมา เพื่อใช้ในการเชื่อมโยงสัญญาณอนาลอกจากเตาไฟฟ้าเข้าสู่ไมโครคอมพิวเตอร์ และใช้สัญญาณที่ได้ นำไปควบคุมอัตราการเพิ่มอุณหภูมิคงที่ของเตาไฟฟ้า และอีกส่วนหนึ่งใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสารที่ใช้ทดสอบ ดังนั้นสำหรับเครื่องมือ DTA ที่ศึกษานี้จำเป็นจะต้องนำไปพัฒนาเพิ่มเติมต่อไป

1.5 วิธีการดำเนินการ การทำวิทยานิพนธ์

แผนการดำเนินงานสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆได้ดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 ศึกษาข้อมูลต่างๆที่ใช้ในการออกแบบเครื่องมือและวิเคราะห์ผลของสารจากเครื่อง DTA โดยจะเป็นการศึกษาถึงทฤษฎี ที่เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสาร ชนิดคิฟเฟอเรนเชียลเทอร์มอลอนาไลซิส หลักการการสร้าและการทำงานของเครื่องมือ และลักษณะของวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนประกอบของเครื่องมือทั้งหมด

ขั้นที่ 2 ทำการปรับปรุงและแก้ไขวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือส่วนที่เรียกว่า ฮาร์ดแวร์ของเครื่องมือ ให้ดีขึ้น ในขั้นตอนนี้จะนำเอาไมโครคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยควบคุมเครื่องมือ ทำให้สามารถลดฮาร์ดแวร์ ส่วนที่ไม่จำเป็นออกไปได้ และทำให้เครื่องมือมีขนาดเล็กลง

ขั้นที่ 3 สร้างเครื่องรับส่งข้อมูลระหว่างหัวตรวจวัดอุณหภูมิกับไมโครคอมพิวเตอร์ สำหรับขั้นตอนนี้จะเป็นการสร้างเครื่องมือที่จะรับสัญญาณอนาลอกจากหัวตรวจวัดมาเปลี่ยนเป็นข้อมูลดิจิตอล ซึ่งข้อมูลดิจิตอลที่ได้จะถูกเก็บและส่งผ่านให้กับไมโครคอมพิวเตอร์ต่อไป

ขั้นที่ 4 เขียนซอฟต์แวร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยเมื่อเลือกภาษาคอมพิวเตอร์ที่จะใช้ในการเขียนโปรแกรมแล้ว จะต้องเตรียมข้อมูลที่จะต้องใช้ รูปแบบและวิธีการวิเคราะห์ และลักษณะการรายงานผลการวิเคราะห์ เพื่อที่จะใช้ในการกำหนดโครงสร้างและการออกแบบโปรแกรม

ขั้นที่ 5 ติดตั้งระบบ และทดสอบการใช้งาน ในขั้นตอนนี้จะเป็นการติดตั้งระบบเพื่อทดสอบการใช้งาน ว่ามีข้อบกพร่องที่จะต้องปรับปรุงแก้ไขหรือไม่ อย่างไร

ขั้นที่ 6 ปรับปรุงและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆที่พบ

ขั้นที่ 7 สรุปผลการทำวิทยานิพนธ์ และแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

บทที่ 2

หลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องของเครื่องมือ DTA

การวิเคราะห์สมบัติความทางความร้อนของสสารชนิดคิฟเฟอเรนเชียลเทอร์มอลอนาไลซิสหรือที่นิยมเรียกสั้นๆว่า DTA ก็เป็นเทคนิคหรือวิธีการหนึ่งที่ใช้ ในการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน(Thermal property) ของสสาร

การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนมักจะเกี่ยวข้องกับปริมาณทางความร้อนของสสาร อย่างเช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสสารตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นต้น

2.1 ประวัติความเป็นมาของ DTA

เทคนิคหรือวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน ของสสาร จะมีอยู่หลายเทคนิคด้วยกัน DTA เป็นเทคนิคที่เกิดจากการนำเอา เทคนิค Thermometry และ เทคนิค Calorimetry มาใช้ร่วมกัน โดยที่

Thermometry เป็นเทคนิคที่ง่ายที่สุดในการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสสาร โดยจะอาศัยหลักการ การวัดอุณหภูมิของสสารที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ซึ่งเทคนิคนี้บางทีอาจจะเรียกว่า Heating Curves หรือ Cooling Curves โดยที่เทอร์โมมิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิ และ นาฬิกาเป็นเครื่องมือวัดเวลา

Calorimetry เป็นเทคนิคพื้นฐานที่สุดในการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสสาร ซึ่งเป็นการวัด ปริมาณความร้อน(Heat)ของสสารโดยใช้ เครื่องมือที่เรียกว่า Calorimeter

การเริ่มต้น การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสสารด้วยเทคนิค DTA ได้เริ่มต้นขึ้น ในกลางศตวรรษที่ 19 ในปี 1887 Le Chatelier เป็นบุคคลแรกที่บันทึกอุณหภูมิของสสารตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป หรือ ที่เรียกว่า Heating curves โดย ใช้ เทอร์โมคัปเปิล และ mirror galvanometer เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิของสสารที่เปลี่ยนไป การบันทึกอุณหภูมิจะอาศัยค่าแสงจาก mirror galvanometer ไป กำหนดจุดตามตำแหน่งมุมของกระจกที่เบี่ยงเบนไปตามอุณหภูมิบน Photographic plate การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DTA ที่สมบูรณ์นั้น เกิดขึ้นครั้งแรกในปี 1899 โดย Roberts-Austen ได้มีการบันทึก ความแตกต่างอุณหภูมิ อุณหภูมิของสสารและ

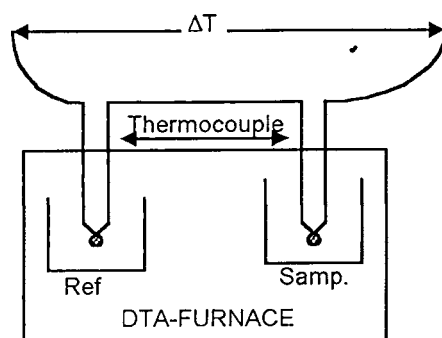
เวลา ในปี 1904 Kurnakov และ Saladin ได้สร้างเครื่องมือ DTA พื้นฐานที่สมบูรณ์ขึ้นมา เป็นครั้งแรก หลังจากนั้นจึงได้มีการพัฒนาเครื่องมือ DTA ต่อมาจนถึงปัจจุบัน

2.2 หลักการและทฤษฎี

หลักการพื้นฐานของการวิเคราะห์สมบัติความแตกต่างทางความร้อนของสาร

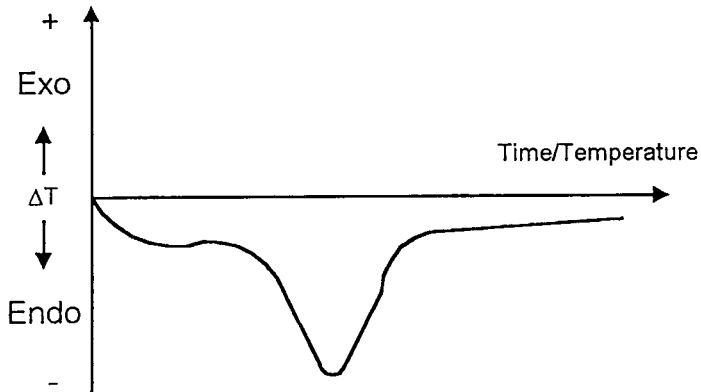
การวิเคราะห์สมบัติความแตกต่างทางความร้อนของสารอาศัย หลักการวัด

ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างสารตัวอย่างกับสารอ้างอิงที่อยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกันและได้รับพลังงานความร้อนเดียวกัน ภาชนะใส่สารตัวอย่างและสารอ้างอิงจะอยู่ในเตาไฟฟ้า โดยที่ภาชนะใส่สารทั้งสองวางอยู่ในตำแหน่งที่สมมาตรกันเพื่อให้สารตัวอย่างและสารอ้างอิงได้รับปริมาณความร้อนเท่ากัน การแสดงผลจะแสดงให้เห็นในรูปของกราฟระหว่างอุณหภูมิแตกต่างของสารตัวอย่างกับสารอ้างอิง และอุณหภูมิ ของสารตัวอย่าง หรือเวลา จากหลักการพื้นฐานดังกล่าวมาข้างต้น แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.1

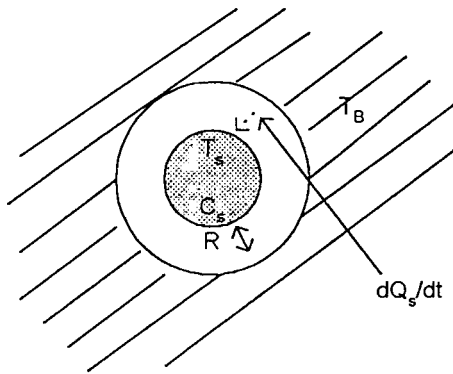


รูปที่ 2.1 แสดงหลักการพื้นฐานของเครื่องมือ DTA

ตัวอย่างของสัญญาณที่ได้จากเครื่อง DTA แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างสัญญาณที่ได้จากเครื่อง DTA



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะการไหลของความร้อนไปยังสารตัวอย่าง

จากรูปที่ 2.1 และ รูปที่ 2.3 สารตัวอย่างและภาชนะที่บรรจุ จะได้รับความร้อนจากเตา ความร้อนไฟฟ้าด้วยอัตราคงที่ (dQ/dt : Q = ความร้อน, t = เวลา) และจะมีความจุความร้อนรวม

เป็น C_s ในขณะที่เตาความร้อนไฟฟ้ามีอุณหภูมิเป็น T_B ซึ่งอุณหภูมิของเตานี้จะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราการที่ dT_B/dt ด้วยการโปรแกรมเครื่องควบคุมอุณหภูมิ และ ความต้านทานทางความร้อนระหว่างเตาและสารตัวอย่าง(ใช้สัญลักษณ์เป็น s) จะมีค่าเป็น R ทำนองเดียวกันนี้สำหรับสารอ้างอิง(ใช้สัญลักษณ์เป็น r) จะมีค่าความต้านทานระหว่างเตากับสารอ้างอิงเท่ากัน ดังนั้น อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิสารตัวอย่าง จะได้ว่า

$$C_s dT_s / dt = dQ_s / dt \quad (2.1)$$

ในทำนองเดียวกัน สำหรับสารอ้างอิง จะได้

$$C_r dT_r / dt = dQ_r / dt \quad (2.2)$$

สำหรับอัตราการเพิ่มอุณหภูมินั้น จะได้ว่า

$$dT_B / dt = dT_s / dt = dT_r / dt \quad (2.3)$$

จากกฎของการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's law of cooling(and Heating) ที่กล่าวว่า ความสัมพันธ์ ระหว่าง อุณหภูมิกับเวลาของสารตัวอย่าง จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเทียบกับเวลา (dT/dt) หรือ ความชันของกราฟความสัมพันธ์ ระหว่าง อุณหภูมิกับเวลา จะมีค่าเท่ากับค่าคงที่ K คูณกับความแตกต่างของอุณหภูมิมระหว่างอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม T_B กับ อุณหภูมิของสารตัวอย่าง T_s ดังนั้นจะได้ว่า

$$dQ_s / dt = (T_B - T_s) / R \quad (2.4)$$

$$dQ_r / dt = (T_B - T_r) / R \quad (2.5)$$

ดังนั้นสมการ (2.1) เท่ากับ สมการ (2. 4) และสมการ (2.2) เท่ากับ สมการ (2.5) จะได้ว่า

$$C_s dT_s / dt = (T_B - T_s) / R \quad (2.6)$$

$$C_r dT_r / dt = (T_B - T_r) / R \quad (2.7)$$

สมการ (2.7) ลบ สมการ (2.6) และย้ายข้าง จะได้

$$\Delta T = T_s - T_r = R(C_r - C_s)dT_B / dt \quad (2.8)$$

$$\frac{\Delta T dt}{R dT_B} = (C_r - C_s) \quad (2.9)$$

จากนิยามของ ความจุความร้อน ทางอุณหพลศาสตร์ $C_p = dQ/dT = (\partial H / \partial T)_{P,n}$ เมื่อ H คือ เอนทาลปี หรือ พลังงาน n คือ จำนวนโมล ของสาร P คือความดัน $K=1/R$ คือ ค่าความนำความร้อนของเตา (Thermal conductivity) และ $T = T_B$ สมการ (2.9) จะกลายเป็น

$$\frac{K \Delta T dt}{dT} = \left(\frac{\partial (H_r - H_s)}{\partial T} \right)_{P,n} \quad (2.10)$$

เมื่อ $\Delta H = H_r - H_s$

ดังนั้นจะได้ว่า
$$\Delta H = \int_{t_1}^{t_2} K \Delta T dt \quad (2.11)$$

t_1 คือเวลาเริ่มต้นการเกิดปฏิกิริยา t_2 คือ เวลาสุดท้ายของการเกิดปฏิกิริยา

ถ้าให้ $q = dT_p/dt =$ อัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเขา

ดังนั้นจะได้ว่า
$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} k' \Delta T dT \quad (2.12)$$

โดย T_1 คืออุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดปฏิกิริยา

T_2 คืออุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดปฏิกิริยา

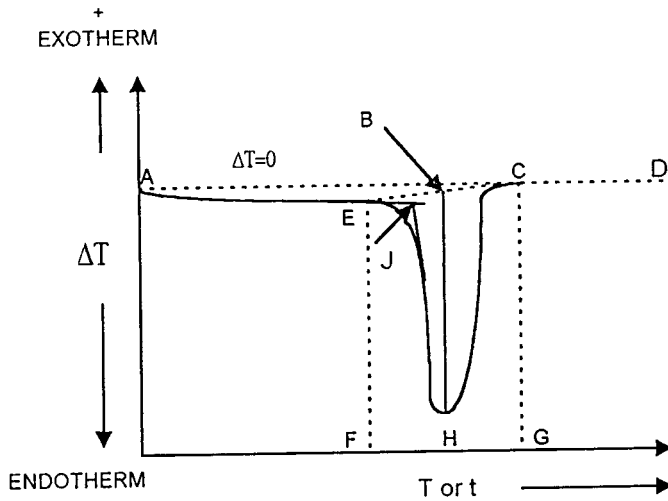
$$k' = K/q$$

หรือ
$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} mc_p dT \quad (2.13)$$

เมื่อ m คือ มวลของสารตัวอย่าง c_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ

2.3 การวิเคราะห์สมบัติของสารจากการประยุกต์ใช้งานของ DTA

สัญญาณที่ได้จากเครื่อง DTA จะนำมาแสดงผลเป็นรูปกราฟ โดยที่สัญญาณอุณหภูมิของสารตัวอย่างหรือเวลา จะแสดงให้เห็นในแกน X และสัญญาณความแตกต่างอุณหภูมิของสารอ้างอิงและสารตัวอย่างทั้งสองแสดงให้เห็นในแกน y ดังแสดงให้เห็นตามรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างการหาค่าต่างๆบนเส้นสัญญาณของ DTA

จากรูปเส้นไขปลา AD เรียกว่าเส้นฐาน (base line) หมายถึงเส้นที่แสดงค่า $\Delta T = 0$ ซึ่งหมายถึงอุณหภูมิของสารทดสอบไม่แตกต่างกับอุณหภูมิของสารอ้างอิง เส้น AE, CD หมายถึง ในช่วงอุณหภูมินั้นสารตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบยังไม่เกิดปฏิกิริยาใดๆอย่างชัดเจน อาจจะเป็นเพียงการไล่ความชื้นออกจากสารตัวอย่าง จึงเห็นค่า ΔT ประมาณศูนย์ กราฟที่ได้จะประมาณได้ว่าเป็นเส้นฐาน ในขณะที่สารตัวอย่าง เกิดปฏิกิริยาคูดหรือคายความร้อน จะทำให้เส้นกราฟแยกออกจากเส้นฐาน และเมื่อปฏิกิริยาลิ้นสุดลง เส้นกราฟจะกลับคืนสู่เส้นฐานอีกครั้ง การพิจารณาปฏิกิริยาคูดกลืนความร้อน (Endotherm) หรือ ปฏิกิริยาคายความร้อน (Exotherm) ให้พิจารณาความแตกต่างระหว่าง $T_s - T_r = \Delta T$ ถ้า $\Delta T > 0$ จะเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน และ ถ้า $\Delta T < 0$ จะเป็น ปฏิกิริยาคูดกลืนความร้อน เมื่อสารตัวอย่างเกิดปฏิกิริยาคูดความร้อนอุณหภูมิของสารตัวอย่างจะต่ำกว่าอุณหภูมิของสารอ้างอิง ซึ่งทำให้ค่า ΔT มีค่าเป็นลบ และเมื่อสารตัวอย่างเกิดปฏิกิริยาคายความร้อน อุณหภูมิตัวอย่างจะสูงกว่าอุณหภูมิของสารอ้างอิง ทำให้ ΔT มีค่าเป็นบวก

เส้นไขปลา EC หมายถึงความกว้างของรูปสัญญาณ(peak)ซึ่งจะกำหนดในรูปของเวลาหรืออุณหภูมิจากจุดที่กราฟแยกออกจากเส้นฐานจนถึงจุดที่กราฟกลับคืนสู่เส้นฐานอีกครั้ง

จุด E คือ จุดเริ่มต้นของการเกิดการหลอมเหลว(Beginning of melting : T_b)

จุด J คือ จุด extrapolated onset of melting : T_m

จุด C คือ จุด end of melting : T_c

จุด H คือ จุด ยอดของสัญญาณอุณหภูมิแตกต่างของสารตัวอย่าง T_p

ระยะ BH เป็นตัวบอกอุณหภูมิแตกต่างของสารตัวอย่าง กับสารอ้างอิง โดยบอกในรูปขององศาเซลเซียส หรือ องศาเคลวิน

พื้นที่ปิด EHCE จะเป็นสัดส่วนกับพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา สามารถใช้ในการประมาณจำนวนสารที่ใช้ในการทดสอบได้

ในการหาการเปลี่ยนแปลงพลังงานหรือการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี(ΔH)ของสารเมื่อเกิดปฏิกิริยา จากกราฟ DTA นั้น ต้องทราบค่าคงที่ของเครื่องมือหรือค่าความนำความร้อนต่ออัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเครื่องมือที่ใช้วัดก่อน ซึ่งก็คือ

$$k' = \frac{\text{ปริมาณความร้อนที่ให้ขณะเกิดปฏิกิริยา}}{\text{พื้นที่ใต้กราฟ}}$$

จากนั้นจะสามารถหาการเปลี่ยนแปลงพลังงานได้จากสมการ (2.11) หรือ สมการ (2.12)

เมื่อให้ความร้อนแก่สารแล้วสารเกิดการเปลี่ยนแปลงแบบดูดกลืนความร้อน(Endothermic process)

มีสาเหตุมาจาก

น้ำที่เป็นส่วนประกอบภายในสารแตกตัวแยกออกไป

โครงสร้างของสารเกิดการแตกสลาย

เกิดการหลอมเหลว หรือ กลายเป็นไอ

สารเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน

สภาพแม่เหล็กของสารเกิดการเปลี่ยนแปลง มักเกิดในพวกสารเฟอร์โรแมกเนติก

แต่ถ้าสารนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงแบบคายความร้อน(Exothermic Process)จะมีสาเหตุมาจาก

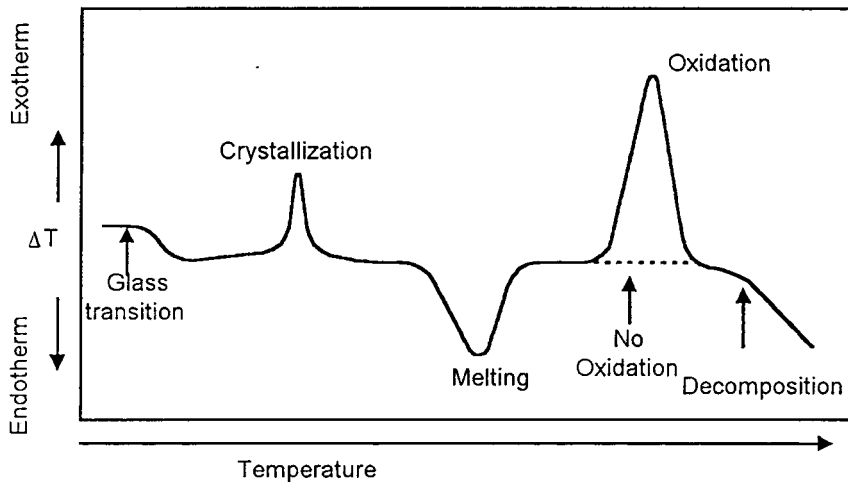
เกิดผลึกขึ้นมาใหม่ภายในสาร

เกิดการเผาไหม้

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้วิเคราะห์การเกิดปฏิกิริยาในสารตัวอย่างได้

2.4 การเปลี่ยนแปลงสถานะของสสาร (Phase Transitions)

ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสถานะของสสารนั้น ก็เพื่อที่วิเคราะห์สารตัวอย่างที่ไม่ทราบค่าหรือต้องการที่จะศึกษาสมบัติการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารตัวอย่าง โดยดูได้จากลักษณะของการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารตัวอย่างจากเครื่อง DTA แล้วเทียบสมบัติต่างๆจากตารางสมบัติของสารมาตรฐาน ตัวอย่างเช่น สารตัวอย่างประเภทโพลีเมอร์ชนิดหนึ่ง มีลักษณะของสัญญาณ ที่ได้จากเครื่อง DTA แสดงดังรูปที่ 2.5

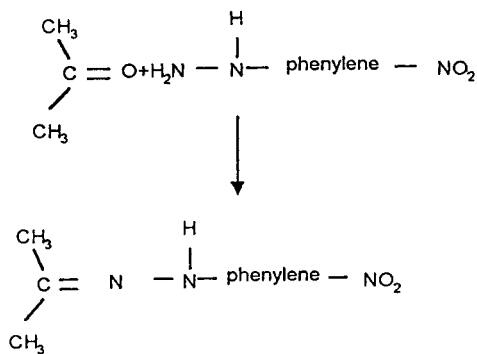
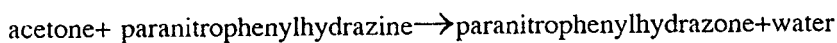


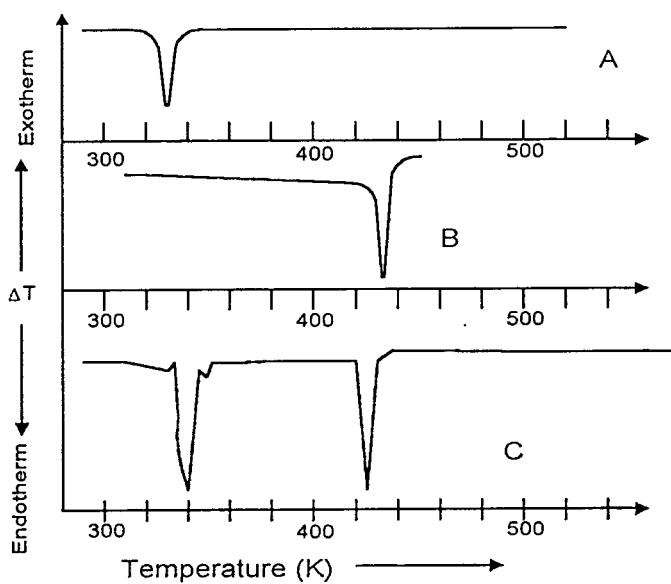
รูปที่ 2.5 แสดงกราฟจากเครื่องมือ DTA ที่ได้จากสารตัวอย่างประเภทโพลีเมอร์

จากรูปที่ 2. 5 จะสังเกตเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงจากสถานะ glass จะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าความจุความร้อน โดยที่ การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี ΔH เท่ากับ ศูนย์ ดังนั้นจึงเกิดลักษณะสัญญาณเป็นขั้นๆแทนที่จะเกิดเป็นยอดสัญญาณ

2.5 การเกิดปฏิกิริยาเคมี (Chemical Reaction)

สัญญาณที่ได้จากเครื่อง DTA นั้นสามารถที่จะทำการแยกสารที่ทำปฏิกิริยากัน หรือสามารถศึกษาการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารได้ เช่น รูปที่ 2.6 เส้นกราฟ A จะแสดงสัญญาณอะซีโตนบริสุทธิ์ (pure acetone) มีจุดเดือดที่ 329 K เส้นกราฟ B จะแสดงสัญญาณจาก พาราไนโตรเพนนิลไฮดราซีนบริสุทธิ์ (pure paranitrophenylhydrazine) ที่มีจุดหลอมเหลวที่ 429 K และต่อจากนั้นจะเกิดปฏิกิริยา การคายพลังงานแล้วเกิดการสลายตัวไป เส้นกราฟ C จะแสดงสัญญาณที่ได้จาก การผสมกันของสารทั้ง 2 ที่อุณหภูมิ 273 K ก่อนการวัด และปฏิกิริยาเคมี ระหว่างอะซีโตนบริสุทธิ์ (pure acetone) และ พาราไนโตรเพนนิลไฮดราซีนบริสุทธิ์ (pure paranitrophenylhydrazine) จะเป็น



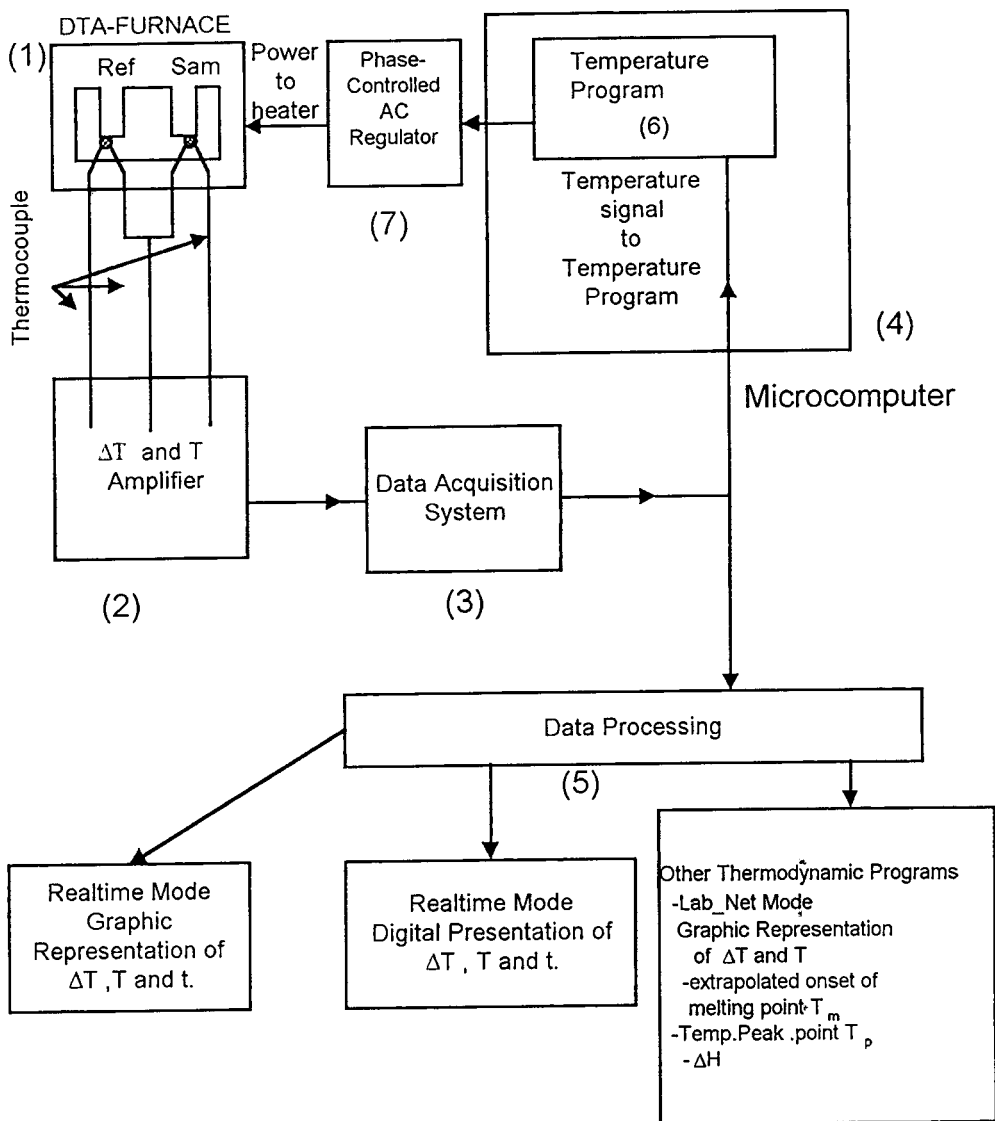


รูปที่ 2.6 แสดง paranitrophenylhydrazone ที่สมบูรณ์ และไม่เกิดการสลายตัว ในช่วงอุณหภูมิที่ทำการวิเคราะห์ และยอดของสัญญาณที่เกิดขึ้นจะต้องไม่ต่ำกว่า จุดเดือดของ อะซีโตน

2. 6 เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติความแตกต่างทางความร้อนของสสาร

ชนิดดิฟเฟอเรนเชียลเทอร์มอลอนาไลซิสควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติความแตกต่างทางความร้อนของสสาร โดยใช้หลักการของดิฟเฟอเรนเชียลเทอร์มอลอนาไลซิส วิธีดังกล่าวนี้สามารถวัดและวิเคราะห์สมบัติต่างๆทางความร้อนของสสารได้เป็นอย่างดีและสามารถสร้างเครื่องมือขึ้นมาเองได้ไม่ยากนักแผนผังของเครื่องมือวิเคราะห์คุณสมบัติความแตกต่างทางความร้อนของสสารชนิดดิฟเฟอเรนเชียลเทอร์มอลอนาไลซิสควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงองค์ประกอบของเครื่องมือให้เห็นดังรูปที่ 2.7

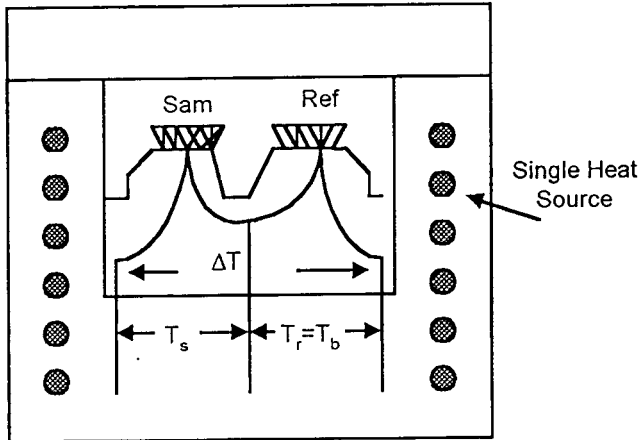


รูปที่ 2.7 แสดงแผนผังของเครื่องมือวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสารชนิดคิฟเฟอเรนเชียลเทอร์มอลอานาไลซิสควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

จากรูปที่ 2.7 แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องมือที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ มีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

1. เตาความร้อนไฟฟ้า (Furnace) จะเป็นเตาไฟฟ้าที่ให้ ความร้อน แก่สารตัวอย่าง และสารอ้างอิงภายในเตาโดยสามารถควบคุมอัตราการเพิ่มอุณหภูมิได้จากเครื่องไมโคร

คอมพิวเตอรฺ์และลักษณะของเตาไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องมือนี้จะเป็น แบบ Boersma โดยสารตัวอย่าง และสารอ้างอิงจะได้รับความร้อน จากแหล่งกำเนิดความร้อนเดียวกัน และ จะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2. 8 แสดงเตาความร้อนไฟฟ้า แบบ Boersma

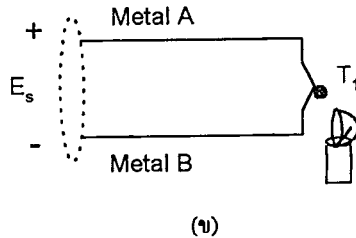
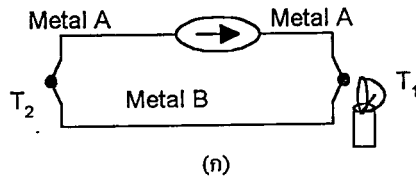
2. เครื่องขยายสัญญาณจากความแตกต่างอุณหภูมิและอุณหภูมิของสารตัวอย่างและสารอ้างอิง

สัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้ในเครื่อง DTA นั้น คือ สัญญาณอุณหภูมิของสารตัวอย่างจะแสดงอยู่ในแนวแกน X และสัญญาณความแตกต่างอุณหภูมิ จะแสดงในแนวแกน Y ส่วนสัญญาณอุณหภูมิของสารอ้างอิงจะนำมาเฉลี่ยกับสัญญาณอุณหภูมิสารตัวอย่างเพื่อใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของเตาความร้อนไฟฟ้า และแสดงค่าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมด้วย สำหรับสัญญาณทั้ง 3 ส่วนนี้ จะวัดได้จากหัววัดอุณหภูมิ

2.1 หัววัดอุณหภูมิ (Temperature Transducer)

ในเครื่อง DTA นั้นอุณหภูมิที่ใช้ค่อนข้างสูงคือประมาณ 600°C และมีสัญญาณรบกวนมาก หัววัดอุณหภูมิที่ใช้จึงต้องให้ค่าเอาพุทที่สูง โดยทั่วไปแล้วจะนิยมใช้เทอร์โมคัปเปิล ซึ่งสามารถทนอุณหภูมิได้สูง (มากกว่า 600°C)

ลักษณะของเทอร์โมคัปเปิล คือ เมื่อเรานำโลหะ 2 ชนิดมาเชื่อมที่ปลายทั้ง สองข้างและปลายข้างหนึ่งให้ความร้อนสูงกว่าอีกข้างหนึ่ง จะเกิดกระแสไหลขึ้น ในวงจรดังรูปที่ 2.9 (ก)



รูปที่ 2.9 แสดงหลักการพื้นฐานของเทอร์โมคัปเปิล

จาก รูปที่ 2.9 (ก) เมื่ออุณหภูมิ $T_1 > T_2$ ทำให้เกิดกระแสไหลจากปลายเชื่อมที่มี อุณหภูมิ T_2 ไปยังปลายเชื่อมที่มีอุณหภูมิ T_1 รูปที่ 2.9 (ข) เมื่อตัดวงจรออกครึ่งหนึ่ง แล้วเปิดวงจร จะมีแรงดันเกิดขึ้นค่าหนึ่งซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามความแตกต่างอุณหภูมิของรอยต่อกับที่ปลายหัว.

ถ้าเราตัดวงจรออกครึ่งหนึ่ง แล้วเปิดวงจรนั้นไว้ดังรูปที่ 2.9 (ข) จะมีแรงดัน เกิดขึ้นค่าหนึ่งซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามความแตกต่างอุณหภูมิของรอยต่อกับปลายหัว ปรากฏการณ์นี้ถูกค้นพบโดย โทมัส ซีเบค (Thomas Seebeck) ในปี 1821 เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck Effect) และแรงดันที่เกิดเรียกว่าแรงดันซีเบค(Seebeck Voltage) ซึ่งขนาดของแรงดันนี้ขึ้นกับชนิดของโลหะทั้งสองที่ใช้ทำเทอร์โมคัปเปิลและหาได้จาก

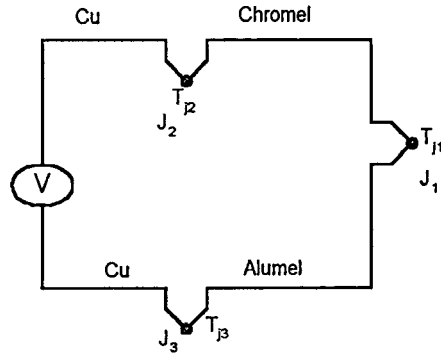
$$E_s = \alpha_{AB} (T_1 - T_2) \quad (2.14)$$

เมื่อ α_{AB} คือสัมประสิทธิ์การแปรผัน เรียกว่า สัมประสิทธิ์ของซีเบค(Seebeck Coefficient)

เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้มีด้วยกันหลายชนิด เช่น ชนิด T, ชนิด K, ชนิด E, ชนิด R, ชนิด S, ชนิด B เป็นต้น สำหรับที่นำมาใช้กับเครื่อง DTA มักนิยมใช้ชนิด K ซึ่งสามารถใช้งานในช่วงอุณหภูมิระหว่าง -200 ถึง 1260 °C โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของซีเบคที่อุณหภูมิ 25 °C เท่ากับ 40.5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ และมีค่าค่อนข้างเป็นเชิงเส้นกับอุณหภูมิในช่วง 27-800 °C ลักษณะที่สำคัญของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ขั้วบวกประกอบด้วย นิกเกิล (Nickel) 90% โครเมียม(Chromium) 10% มักเรียกขั้วนี้ว่าโครเมล(Chromel) ขั้วลบประกอบด้วย แมงกานีส(Manganese) 2% ซิลิกอน (Silicon) 1% นิกเกิล(Nickel) 95% และ อลูมิเนียม(Aluminum) 2% และเรียกขั้วนี้ว่าอลูเมล (Alumel) ข้อสังเกตโดยง่ายว่าเป็นขั้วใด มักจะใช้แม่เหล็กถาวร ดูดขั้วทั้งสอง ถ้าแม่เหล็กดูดขั้วใด แสดงว่าขั้วนั้นเป็น ขั้ว โครเมล ส่วนอีกขั้วหนึ่งแม่เหล็กจะดูดไม่ติด

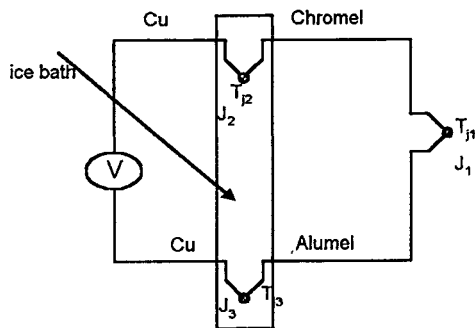
2.2 ส่วนขยายสัญญาณอุณหภูมิในแกน x

ในส่วนขยายสัญญาณอุณหภูมิในแกน x หรือส่วนขยายอุณหภูมิ สารตัวอย่าง นี้สัญญาณที่ได้จะส่งให้ไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลในแกน x เพื่อแสดงถึงอุณหภูมิของสารตัวอย่าง การวัดสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิลโดยตรงนั้นไม่สามารถทำได้เพราะ เมื่อ เราต่อเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับโวลต์มิเตอร์ สายวัดของโวลต์มิเตอร์กับเทอร์โมคัปเปิลก็จะ เกิดเป็นเทอร์โมคัปเปิลอีกอันหนึ่งดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงรอยต่อเทอร์โมคัปเปิลที่เกิดขึ้นระหว่างสายวัดกับเทอร์โมคัปเปิล

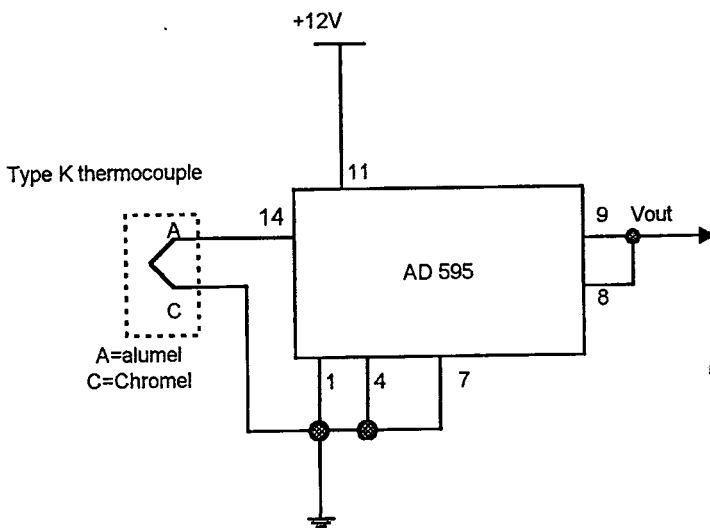
ถ้าให้สายวัดของโวลต์มิเตอร์เป็นทองแดง จะเห็นว่าเกิดรอยต่อเทอร์โมคัปเปิลขึ้นใหม่ 2 อัน โดยที่ไม่ได้ตั้งใจคือตรงรอยระหว่างทองแดงกับโครเมิลและทองแดงกับอลูเมล ดังนั้น อุณหภูมิที่วัดได้จริงคือผลต่างของอุณหภูมิที่รอยต่อทั้งสาม วิธีการที่จะวัดอุณหภูมิเพื่อให้ได้ อุณหภูมิเฉพาะที่รอยต่อ J_1 อย่างเดียวสามารถทำได้โดยการทำให้อุณหภูมิของรอยต่อที่เหลือมีค่า คงที่ ที่ค่าใดค่าหนึ่ง ซึ่งปกติมักจะทำให้เป็น ศูนย์ องศาโดยแช่ลงในอ่างน้ำแข็งเพื่อรักษาอุณหภูมิกง ที่ที่ศูนย์องศาเซลเซียสดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงการรักษาอุณหภูมิที่รอยต่ออ้างอิงให้คงที่โดยแช่ในน้ำแข็ง

จากรูปที่ 2.11 ปลายของแท่งโครเมลและอลูเมลมีอุณหภูมิเท่ากันคือ T_2 เท่ากับ T_3 เท่ากับศูนย์ ดังนั้น อุณหภูมิที่วัดได้คืออุณหภูมิของรอยต่อ J_1 เทียบกับศูนย์ เรียกรอยต่อที่ถูกทำให้คงที่เป็นศูนย์องศาว่า รอยต่ออ้างอิง (reference junction)

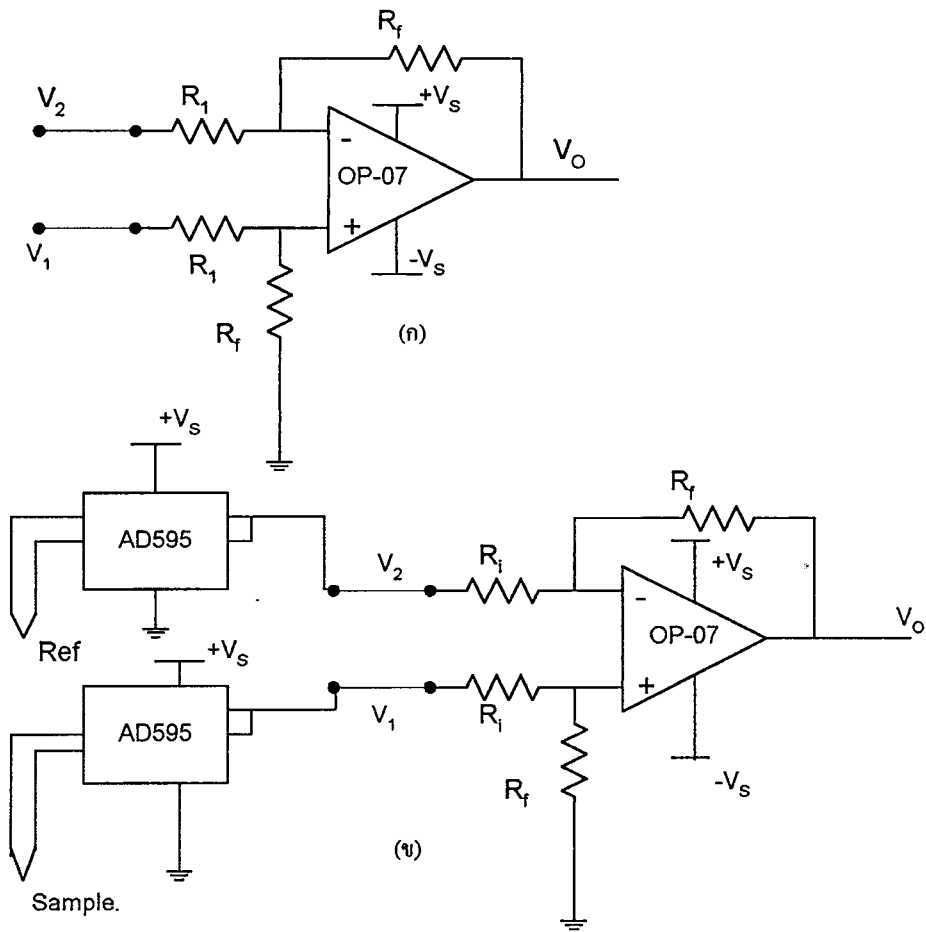
ในการใช้งานจริง ๆ นั้น การทำรอยต่ออ้างอิงโดยการนำไปแช่น้ำแข็งมีความยุ่งยากมาก จึงใช้วิธีทางอิเล็กทรอนิกส์เข้าช่วย ซึ่งใช้หลักการของการวัดอุณหภูมิของรอยต่ออ้างอิง แล้วนำอุณหภูมินี้ไปบวกกับอุณหภูมิที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์ ซึ่งวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เป็นอุณหภูมิอ้างอิงนี้จะเรียกว่า วงจรชดเชยศูนย์องศา (cold junction compensation) และในปัจจุบัน ด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัย จึงมี อุปกรณ์ไอซี เบอร์ AD 595 เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการชดเชยอุณหภูมิศูนย์องศาภายในตัวมันเอง และสามารถขยายสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K ได้ ในอัตรา $10 \text{ mV}/^\circ \text{C}$



รูปที่ 2.12 แสดงการขยายสัญญาณจากหัววัดอุณหภูมิ ชนิด K สำหรับวงจรขยายสัญญาณอุณหภูมิสารอ้างอิงจะมีลักษณะเดียวกัน

2.3) ส่วนขยายสัญญาณความแตกต่างอุณหภูมิในแกน y (Differential Temperature Amplifier)

ส่วนนี้จะนำสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิลที่วัดอุณหภูมิสารตัวอย่างและสารอ้างอิงมาลบกันซึ่ง การนำสัญญาณมาลบกันนี้จะใช้วงจรขยายศักย์ความแตกต่าง (Differential Amplifier) ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงวงจรขยายศักย์ความแตกต่างอุณหภูมิ

สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะมีค่าเป็น

$$V_o = -\frac{R_f}{R_i}(V_1 - V_2) \tag{2.15}$$

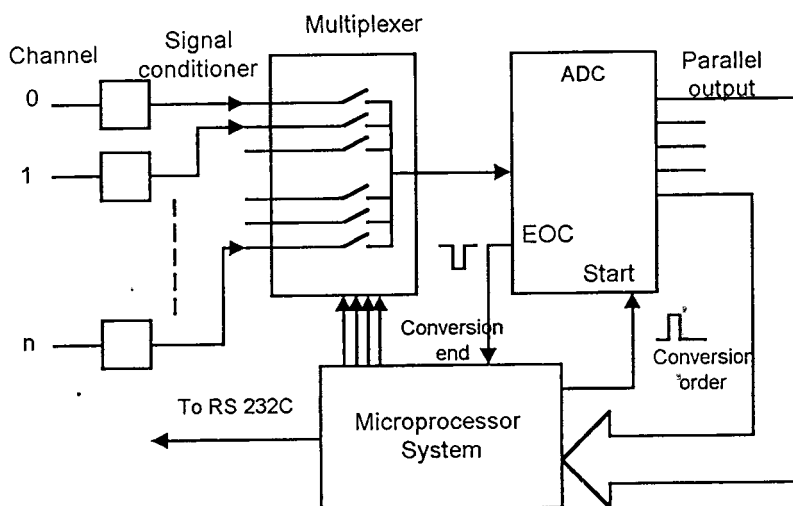
จากรูปที่ 2.13 (ข) แสดงการต่อเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับวงจรขยาย ซึ่งสัญญาณที่ได้คือ

$$V_o = -\frac{R_f}{R_i}(V_{Sample} - V_{Ref}) \tag{2.16}$$

และ V_o จะนำไปแสดงผลทางด้านแกน Y

3 ระบบจัดเก็บข้อมูล (DATA ACQUISITION SYSTEM)

ระบบจัดเก็บข้อมูลจะใช้สำหรับเชื่อมโยงสัญญาณอนาลอกจากวงจรวัดคุณสมบัติของสารตัวอย่างสารอ้างอิง และ วงจรขยายสัญญาณความแตกต่างอุณหภูมิ เข้าสู่เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ประมวลผลต่อไป ซึ่งแผนผังของระบบจัดเก็บข้อมูล แสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงแผนผังของ ระบบจัดเก็บข้อมูล

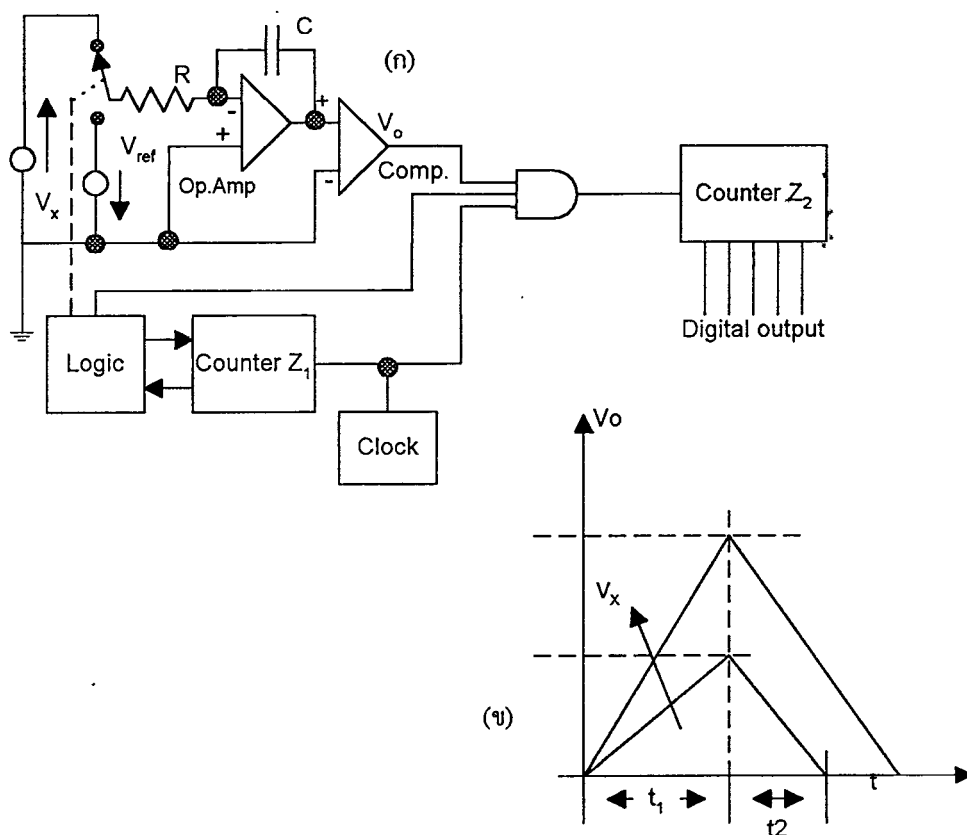
จากรูปที่ 2.14 สัญญาณอนาลอก จากเครื่องขยายสัญญาณอุณหภูมิ และจากเครื่องขยายสัญญาณความแตกต่างอุณหภูมิจะถูกเชื่อมโยงเข้าสู่ไมโครคอมพิวเตอร์ IBM PC โดยใช้วงจรเลคทรอนิกส์ที่เรียกว่า วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital Converter) หรือ ADC หรือ A/D ซึ่งเป็นการแปลงสัญญาณแรงดันอนาลอกในช่วงใดๆให้เป็นข้อมูลดิจิทัล เพื่อที่จะนำเข้าสู่ IBM PC สมมติถ้าช่วงแรงดันนั้นมีค่าจาก 0 V ถึง 4 V เปลี่ยนเป็นดิจิทัลขนาด 12 บิต ที่มีค่าจาก 0 ถึง 4095 (หาได้จาก 2^{12}) ถ้าแรงดันอินพุท มีค่าต่ำสุดเป็น 0 V ค่าดิจิทัล 12 บิตจะเท่ากับ 0 แต่ถ้าค่าแรงดันอินพุทมีค่ามากที่สุด 4 V ค่าดิจิทัลสูงสุด จะเท่ากับ 4095 ตามลำดับ ความละเอียดของตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นข้อมูลดิจิทัล R สามารถหาได้จาก $R = V_{FS} / 2^n$ เมื่อ V_{FS} คือ แรงดันอินพุทเต็มสเกล n คือจำนวนบิตของ A/D ในที่นี้ n มีค่าเท่ากับ 12 บิต และ V_{FS} มีค่าเท่ากับ 4 V ดังนั้น

$$R = 4 / 4096 = 0.97 \text{ mV}$$

นั่นคือ ค่าแรงดันอินพุทขนาด 0.97 mV จะทำให้ค่าดิจิตอลเปลี่ยนไปเป็น 1 วงจร A/D นั้นมีหลายรูปแบบ ในเครื่องมือนี้ จะใช้ A/D ที่เรียกว่า DUAL-SLOPE INTEGRATING A/D CONVERTER ข้อดีของ A/D ประเภทนี้คือมีความแม่นยำในการแปลงค่าอนาลอก เป็น ดิจิตอลสูง มีสัญญาณรบกวนต่ำถึงแม้ว่าจะมีข้อจำกัดในด้านความเร็วแต่เพียงพอที่จะใช้ร่วมกับทรานสดิวเซอร์ ประเภท เทอร์โมคัปเปิล

DUAL-SLOPE INTEGRATING A/D CONVERTER

การทำงานของวงจร



รูปที่ 2.15 แสดง DUAL-SLOPE INTEGRATING A/D CONVERTER

ก) บล็อกไดอะแกรม ข) รูปคลื่นแรงดัน

จากวงจรรูปที่ 2.15 ค่าแรงดัน $V_o(t)$ เป็นสัญญาณขาออกของออปแอมป์ ในระหว่างช่วงเวลา t_1 ที่คงที่ ซึ่งช่วงเวลานี้จะไม่ขึ้นอยู่กับ แรงดันอินพุต $V_x(t)$ และตัวเก็บประจุ C จะถูกอัดประจุด้วยอัตราคงที่จากแรงดันอินพุต $V_x(t)$ ผ่านตัวต้านทาน R ดังนั้น แรงดันเอาพุต จะมีค่าเป็น

$$V_o = Q_o/C = 1/RC \int_0^{t_1} V_x(t) dt \quad (2.17)$$

สำหรับค่า $V_x(t)$ มีค่าคงที่ จะได้ว่า $V_x(t) = V_x$

$$V_o = (V_x/RC)t_1$$

ที่เวลา t_1 วงจรส่วนที่เป็น logic จะไปบังคับให้สวิทช์ สับไปที่แรงดันอ้างอิง V_{ref} แทน V_x ในเวลาพร้อมกันนี้จะไปกระตุ้นให้วงจรรนับ(Counter) Z_2 ให้เริ่มนับ t_2 โดยผ่าน AND-gate ดังนั้นตัวเก็บประจุ C จะถูกคายประจุ ในช่วงเวลา t_2 จนกระทั่ง $V_o = 0$

$$Q_o = V_o C = V_{ref}/R \cdot t_2 \quad (2.18)$$

เมื่อ $V_o = 0$ วงจรรนับ(Counter) Z_2 จะหยุดนับ จากสมการที่ 2.17 และ สมการที่ 2.18 จะได้ว่า

$$t_2 = (V_o/V_{ref}) \cdot RC = (V_x/V_{ref})t_1$$

จะเห็นว่า t_2 จะไม่ขึ้นกับ ค่า R และ ค่า C ดังนั้น วงจรรนับ Z_2 จะอ่านได้เป็น

$$Z_2 = t_2 \cdot f_{clock} = (V_x/V_{ref})t_1 \cdot f_{clock}$$

แต่ $t_1 = Z_1/f_{clock}$ ดังนั้น

$$Z_2 = Z_1 \cdot (V_x/V_{ref})$$

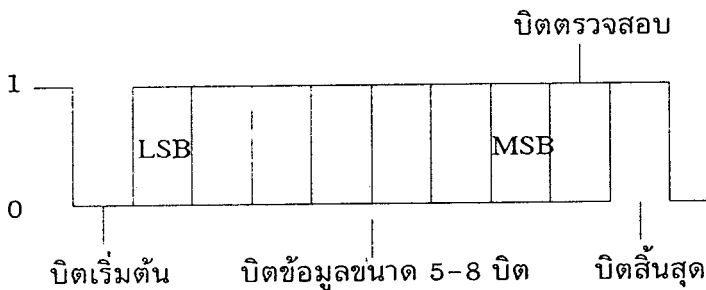
นั่นคือค่า ดิจิตอลที่ได้ จะได้มาจากจำนวนนับ จาก Z_2 นั้นเอง ค่าดิจิตอลที่ได้นี้ จะนำไปเชื่อมเข้ากับไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อทำการส่งข้อมูลให้กับ ไมโครคอมพิวเตอร์ต่อไป

4. ไมโครคอมพิวเตอร์ (Microcomputer)

อุปกรณ์ส่วนนี้ เป็นส่วนสำคัญ ที่จะรับสัญญาณที่ได้จากระบบจัดเก็บข้อมูล เข้ามาประมวลผล และควบคุมอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเตาความร้อนไฟฟ้า โดยสั่งควบคุมอุปกรณ์กำลังไฟฟ้า ด้วยวงจร เปลี่ยนสัญญาณจากดิจิตอลไปเป็นสัญญาณอนาลอก การรับสัญญาณ จะรับเข้ามาทางพอร์ตอนุกรม มาตรฐาน RS 232C

4.1 การติดต่อผ่านพอร์ตอนุกรม (Serial Port)

ก่อนที่จะได้อธิบายการทำงานของพอร์ตอนุกรมนั้น ควรจะได้ทำความเข้าใจกับวิธีการสื่อสารระยะไกลซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ แบบอซิงโครนัส (Asynchronous) และแบบซิงโครนัส (Synchronous) แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะวิธีการติดต่อแบบอซิงโครนัส การรับส่งข้อมูลด้วยวิธีนี้เป็นารรับส่งโดยกำหนดให้มี บิตเริ่มต้น (Start Bit) บิตสิ้นสุด (Stop Bit) เป็นตัวบอกจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของข้อมูล เมื่อใดที่มีการส่งข้อมูลออกไปจะส่งบิตเริ่มต้นออกไปก่อนแล้วจึงส่งข้อมูลตามไปติดๆ ซึ่งจำนวนบิตของข้อมูลเราสามารถกำหนดได้ว่าจะใช้เท่าไร (5-8 บิต) ในการส่งข้อมูลจะส่งบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุด (Least Significant Bit :LSB) ออกไปก่อนจนถึงบิตที่มีนัยสำคัญสูง (Most Significant Bit : MSB) หลังจากนั้นจึงทำการส่งบิตตรวจสอบ (Parity Bit) เพื่อทำการทดสอบความถูกต้องของข้อมูล (สามารถกำหนดให้มีหรือไม่ก็ได้ หรือจะกำหนดให้เป็นบิตตรวจสอบชนิดคู่หรือคี่ก็ได้) ซึ่งปกติจะไม่ค่อยกำหนดให้มีการใช้เพื่อประหยัดเวลาในการส่งข้อมูล และท้ายสุดจะเป็นการส่งบิตสิ้นสุดเพื่อบอกจุดสิ้นสุดของข้อมูลซึ่งสามารถกำหนดขนาดของบิตสิ้นสุดได้ การส่งข้อมูลแบบนี้จะเป็นดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แสดง รูปแบบการส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัส

จากรูปที่ 2.16 จะเห็นว่าบิตเริ่มต้นจะมีสถานะลอจิกต่ำ (0) ทั้งนี้เนื่องจากในสภาวะปกติสายส่งจะมีสัญญาณลอจิกสูง (1) ส่วนบิตข้อมูลและบิตตรวจสอบจะเป็นสถานะใดก็ได้ จากนั้นจะปิดท้ายด้วยบิตสิ้นสุดซึ่งมีสถานะลอจิกเป็นสูง (1)

บิตตรวจสอบ จะทำหน้าที่ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล บิตตรวจสอบมี 2 ชนิดคือ เป็น คู่ หรือ คี่ (Even or Odd) ถ้าเป็นคู่ หมายความว่า เมื่อรวมบิตตรวจสอบแล้วจำนวนของบิต

ข้อมูลที่มีค่าเป็น 1 จะเป็นจำนวนคู่ และถ้าเป็นคี่ หมายความว่า เมื่อรวมบิตตรวจสอบจำนวนของบิตข้อมูลที่เป็น 1 จะเป็นจำนวนคี่

อัตราการรับส่งข้อมูล (Baud rate) มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (Baud) ค่าต่ำสุดที่มีการใช้กันคือ 110 บิตต่อวินาที, ซึ่งเราสามารถกำหนดอัตราการรับส่งข้อมูลเป็นค่าอื่นได้ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.4 ในงานวิจัยนี้จะใช้อัตราการรับส่งข้อมูลที่ 9600 บิตต่อวินาที โดยการเขียนโปรแกรมสำหรับใช้งานพอร์ตอนุกรม

4.1.1 มาตรฐาน RS-232C

มาตรฐาน RS 232C คือ มาตรฐานสำหรับเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ ซึ่งมาตรฐานนี้เป็นการส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัส กำหนดขึ้นโดยสถาบัน Electronics Industrials Association (EIA) มาตรฐานนี้เป็นที่ยอมรับและนิยมใช้กันแพร่หลายในปัจจุบันนี้

ลักษณะของสัญญาณ RS 232C

สัญญาณของ RS 232C จะตรงข้ามกับความเป็นจริงคือ

สถานะลอจิกสูงมีระดับแรงดัน -3 V ถึง -15 V แต่ส่วนใหญ่จะใช้ -12 V สถานะลอจิกต่ำมีระดับแรงดันตั้งแต่ +3 V ถึง +15 V (ดูรูปที่ 2.17 ประกอบ) มีความเร็วในการส่งสูงสุด 20000 บิตต่อวินาทีและมีระยะส่ง ไม่เกิน 50 ฟุต

หมายเหตุ มาตรฐานการเชื่อมต่อสัญญาณแบบอนุกรม มีการกำหนดขึ้นหลายมาตรฐาน ซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป สำหรับในที่นี้จะกล่าวเฉพาะการเชื่อมต่อสัญญาณตามมาตรฐาน RS 232C เท่านั้น

ขั้วต่อแบบ D 9 ขา	
ขาที่	สัญญาณ
1	Chassis Ground
2	Tx (Transmit Data)
3	Rx (Receive Data)
4	RTS (Request to Send)
5	CTS (Clear to Send)
6	DSR (Data set Ready)
7	GND (Signal Ground)
8	DCD(Data Carrier Detect)
9	NC (NO CONNECT)

ตารางที่ 2.2 การจัดตำแหน่งของสัญญาณบนขั้วต่อแบบ D 9 ขา

ความหมายของสัญญาณ

Tx (Transmit Data)

เป็นขาที่ส่งสัญญาณข้อมูลออกไปยังจุดอื่นๆ

Rx (Receive Data)

เป็นขาที่รับสัญญาณข้อมูลจากจุดอื่นๆ

RTS (Request to Send)

เป็นขาที่บอกต่อเครื่องอื่นๆ ว่าตัวเองพร้อมที่จะส่งข้อมูลแล้ว

CTS (Clear to Send)

เป็นขาที่บอกกับเครื่องอื่นๆ ว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลแล้ว

DSR (Data set Ready)

เป็นขาที่บอกไมโครคอมพิวเตอร์ว่า โมเด็มต่อเข้ากับสายโทรศัพท์เรียบร้อยแล้วพร้อมที่จะส่งได้

Signal Ground

เป็นขากราวน (Ground) ของสัญญาณ

DTR (Data Terminal Ready)

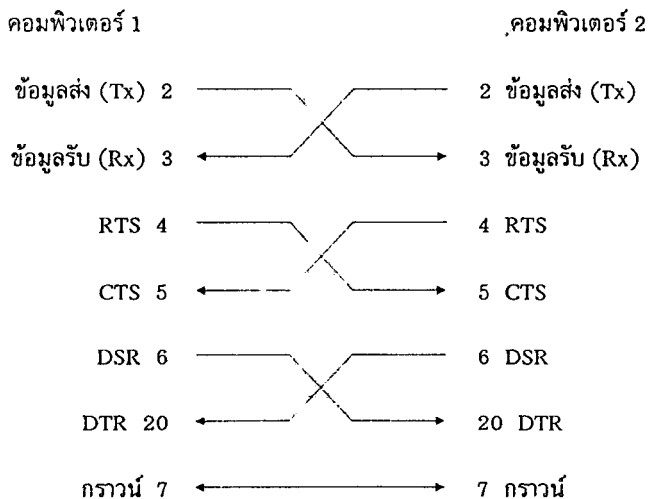
เป็นขาที่บอกโมเด็มว่าไมโครคอมพิวเตอร์พร้อมที่จะติดต่อด้วย

การเชื่อมต่อสัญญาณ

แต่เดิมนั้นพอร์ตอนุกรมถูกออกแบบมาเพื่อใช้งาน ร่วมกับโมเด็ม ดังนั้นเมื่อนำไปใช้กับอุปกรณ์อื่นบางสัญญาณจึงไม่จำเป็น เพราะสัญญาณเหล่านี้มีเพื่อใช้เป็นข้อตกลงระหว่างโมเด็มกับคอมพิวเตอร์ว่า คอมพิวเตอร์จะไม่ส่งหรือรับข้อมูลจนกว่าโมเด็มจะพร้อมเพื่อป้องกันความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูลซึ่งมีชื่อเรียกของสัญญาณว่า RTS และ CTS ถ้าเป็นกรณีติดต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์สองเครื่อง RTS ของเครื่องที่ 1 จะต่อกับ CTS ของเครื่องที่ 2 ดังได้จากรูปที่ 2.18 ลักษณะการตอบโต้แบบนี้เรียกว่า แฮนด์เชคกิ้ง (Handshaking)

เมื่อคอมพิวเตอร์ตัวรับพร้อมที่จะรับข้อมูลจะแจ้งสัญญาณไปที่ขา RTS (ซึ่งต่อกับ CTS คอมพิวเตอร์ตัวส่ง) จากนั้นคอมพิวเตอร์ตัวส่งจะตอบกลับที่ขา CTS (ซึ่งต่ออยู่กับขา RTS ของคอมพิวเตอร์ตัวรับ) วิธีการดังกล่าวมาพอสังเขปนี้เรียกว่า ฮาร์ดแวร์แฮนด์เชคกิ้ง (hardware handshaking) นอกจากนี้ยังมีวิธีแฮนด์เชคกิ้งโดยใช้ซอฟต์แวร์ เรียกว่า XON/XOF ซึ่งมีวิธีการคล้ายๆกัน

วิธีการเชื่อมต่อสัญญาณที่ได้อธิบายข้างต้นเป็นวิธีการต่อที่มีฮาร์ดแวร์แฮนด์เชคกิ้ง ซึ่งมักจะใช้กับอุปกรณ์พวกโมเด็ม

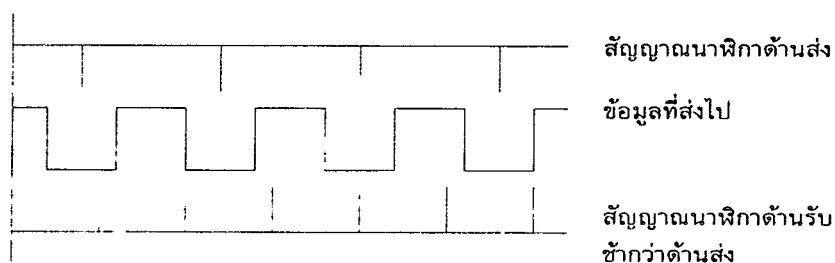


รูปที่ 2.18 แสดงการเชื่อมต่อสัญญาณได้ตอบเพื่อป้องกันข้อผิดพลาดในการรับส่งข้อมูล

ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการรับส่งข้อมูล

ความผิดพลาดของกรอบข้อมูล (Framming Error)

ความผิดพลาดของกรอบข้อมูล คือ ความผิดพลาดของการส่งข้อมูลที่เกิดสัญญาณนาฬิกาที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ทั้ง 2 ด้านมีค่าไม่เท่ากัน เพราะว่าจากการทำงานของพอร์ตอนุกรมเมื่อพอร์ต อนุกรมได้รับบิตเริ่มต้นก็จะสุ่มอ่านค่าจากส่วนรับข้อมูล 1 ครั้งต่อ 1 รอบ เพื่ออ่านบิตต่อไป ซึ่งระยะเวลาในการสุ่มอ่านแต่ละรอบนาฬิกาไม่ตรงกัน คอมพิวเตอร์ด้านรับก็อ่านข้อมูลจากส่วนรับข้อมูลของตน ซ้ำเกินไปหรือเร็วเกินไปก่อนที่ข้อมูลจะถูกส่งมาจากคอมพิวเตอร์ด้านส่งจึงทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้น (พิจารณารูปที่ 2.19)



รูปที่ 2.19 แสดงความผิดพลาดของกรอบข้อมูล

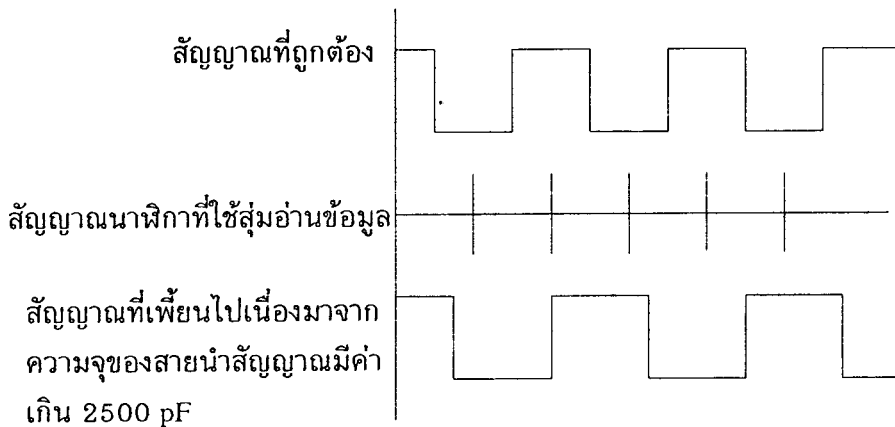
ความผิดพลาดจากการที่ข้อมูลถูกเขียนทับ (Overrun Error)

ความผิดพลาดชนิดนี้เกิดจากที่คอมพิวเตอร์ด้านส่ง ทำการส่งข้อมูลมาที่คอมพิวเตอร์ด้านรับในขณะที่ด้านรับยังไม่พร้อมที่จะรับข้อมูล เนื่องจากยังไม่ได้อ่านข้อมูลเดิมเข้าไปเก็บมีผลทำให้ข้อมูลที่เข้ามาใหม่ทับลงไปข้อมูลที่เดิม ข้อมูลเดิมก็จะหายไปซึ่งความผิดพลาดนี้สามารถป้องกันได้ด้วยวิธีการแฮนด์เชคกึ่ง

ข้อดีของการเชื่อมต่อตามมาตรฐาน RS-232C

1. ใช้ไฟเลี้ยง ± 15 V นอกเหนือจากไฟเลี้ยงของสัญญาณทีทีแอล (TTL) ทำให้ยุ่งยากต่อการใช้งานเพราะต้องหาแหล่งจ่ายแรงดันเพิ่ม

2. ค่าความจุของสายนำสัญญาณ (Stray capacitance) จะต้องไม่เกิน 2500 pF สายที่นำมาใช้ส่งสัญญาณมักจะมีค่าความจุประมาณ 50 pF/ฟุต ดังนั้นจึงเดินสายได้ไม่เกิน 50 ฟุต เนื่องจากถ้าสายมีความจุเกิน 2500 pF จะทำให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูลเกินกว่าที่จะยอมรับได้ (4 เปอร์เซ็นต์)



รูปที่ 2.20 แสดงความเพี้ยนของสัญญาณอันเนื่องมาจากความจุของสายนำสัญญาณ

ถ้ากราวด์ของด้านรับไม่ตรงกับกราวด์ของด้านส่ง จะทำให้การอ่านสถานะของสัญญาณผิดพลาด

4.2 การติดต่อกับพอร์ตอนุกรมผ่านไบออส (BIOS, Basic Input Output System)

อุปกรณ์แวดล้อมต่างๆ ที่เชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์จะมีโปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานเรียกว่า ไบออส ซึ่งจะประกอบด้วยโปรแกรมควบคุมฮาร์ดแวร์ต่างๆ ได้ 256 แบบ ซึ่งเรา

สามารถเรียกมาใช้ในการติดต่อกับอุปกรณ์ได้ ซึ่งคล้ายกับการเรียกโปรแกรมย่อยมาใช้งาน แต่การเรียกใช้ผ่านไบออสจะเรียกตามหมายเลขอินเทอร์พท์ *

การเตรียมสถานะเริ่มต้นของพอร์ต

ในการเตรียมสถานะของพอร์ตอนุกรมสามารถทำได้โดย ผ่านการอินเทอร์พท์หมายเลข 14 ฟังก์ชันหมายเลข 0 โดยมีรีจิสเตอร์ AH เป็นตัวผ่านค่าหมายเลขของฟังก์ชัน (ในที่นี้คือเลข 0) รีจิสเตอร์ AL ผ่านค่ารหัสที่ตั้งสถานะของพอร์ตอนุกรม โดยมีความหมายของแต่ละบิตดังตารางที่ 2.4

ตัวอย่างการใช้รหัสเพื่อเตรียมสถานะของพอร์ตอนุกรม เช่น ต้องการตั้งให้พอร์ตมีอัตราการรับส่งข้อมูล 9600 บิตต่อวินาที มีบิตตรวจสอบคู่ (Even Parity) บิตสิ้นสุด 1 บิต และใช้บิตข้อมูล 8 บิต จะได้รหัสดังตารางที่ 2.3 (ดูตารางที่ 2.4 ประกอบด้วย)

บิตที่	7	6	5	4	3	2	1	0
รหัส	1	1	1	1	1	0	1	1

ตารางที่ 2.3 แสดงตัวอย่างการตั้งรหัสเพื่อเตรียมสถานะของพอร์ตอนุกรมโดยใช้รีจิสเตอร์ AL ผ่านค่ารหัส

*หมายเหตุ คำว่าอินเทอร์พท์ (Interupt) แปลเป็นภาษาไทยได้ว่า การขัดจังหวะ แต่ในที่นี้จะทับศัพท์ ในกรณีนี้หมายถึง โปรแกรมบริการที่เรียกใช้ผ่านไบออสซึ่งจะเรียกตามหมายเลขของอินเทอร์พท์ที่ต้องการจะใช้ (ในเครื่องไอบีเอ็ม พีซี (IBM PC) จะมีหมายเลขอินเทอร์พท์ได้ 256 หมายเลข)

หมายเลขประจำบิต	ความหมาย
7, 6, 5	อัตราการรับส่งข้อมูล 000 = 110 บิตต่อวินาที 001 = 150 บิตต่อวินาที 010 = 300 บิตต่อวินาที 011 = 600 บิตต่อวินาที 100 = 1200 บิตต่อวินาที 101 = 2400 บิตต่อวินาที 110 = 4800 บิตต่อวินาที 111 = 9600 บิตต่อวินาที
4, 3	บิตตรวจสอบ 00 = ไม่มีบิตตรวจสอบ 10 = ไม่มีบิตตรวจสอบ 01 = บิตตรวจสอบชนิดคู่ 11 = บิตตรวจสอบชนิดคู่
2	จำนวนของบิตสิ้นสุด 0 = บิตสิ้นสุด 1 = บิตสิ้นสุด
1, 0	จำนวนบิตข้อมูล 10 = 7 บิต 11 = 8 บิต

ตารางที่ 2.4 แสดงรหัสสำหรับการเตรียมสถานะเริ่มต้นของพอร์ต

เครื่องคอมพิวเตอร์โดยทั่วไปจะมีพอร์ตอนุกรมได้มากถึง 7 พอร์ต (แต่จะมีพอร์ตมาตรฐานมาให้ 2 พอร์ต คือ COM 1 และ COM 2 ซึ่งต่อไปจะเขียนเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษเพื่อให้เห็น

เด่นชัด) การกำหนดพอร์ตในกรณีเรียกผ่านไบออสจะให้ค่าหมายเลขพอร์ตผ่านรีจิสเตอร์ DX พอร์ตแรกมีหมายเลข 0 พอร์ตต่อไปคือ หมายเลข 1 เช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆ

พอร์ต	แอดเดรส(Address)	หมายเลขการขัดจังหวะIRQ
COM1	3F8h	IRQ 4
COM2	2F8h	IRQ 3
COM3	3E8h	IRQ 4
COM4	2E8h	IRQ 3

ตารางที่ 2.5 แสดงหมายเลขการขัดจังหวะสำหรับพอร์ตอนุกรม

จากตารางที่ 2.5 จะเห็นว่า COM1 และ COM3 กับ COM2 และ COM4 มีหมายเลขการขัดจังหวะที่ซ้ำกัน ดังนั้นหากติดตั้งอุปกรณ์บน COM1 และ COM3 พร้อมๆ กัน (หรือ COM2 และ COM4) จะใช้งานไม่ได้

4.3 การส่งข้อมูลขนาด 1 ไบต์ผ่านพอร์ตอนุกรม

จะใช้ฟังก์ชันที่ 1 ของอินเทอร์พท์หมายเลข 14 ของไบออสทำหน้าที่ส่งข้อมูลขนาด 1 ไบต์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม โดยกำหนดหมายเลขพอร์ตผ่านรีจิสเตอร์ DX และข้อมูลที่จะส่งจะอยู่ในรีจิสเตอร์ AL เมื่อทำการส่งเรียบร้อยแล้ว สถานะของการส่งข้อมูลจะมาปรากฏที่รีจิสเตอร์ AH เพื่อใช้ตรวจสอบว่าการส่งข้อมูลถูกต้องหรือไม่ ถ้าบิตที่ 7 ของ AH เป็น 1 หลังจากเสร็จสิ้นการส่งข้อมูล แสดงว่าเกิดข้อผิดพลาดขึ้น จะต้องตรวจสอบสถานะของพอร์ตดูว่าเกิดข้อผิดพลาดอะไร ดังหัวข้อต่อไป

การตรวจสอบสถานะของพอร์ตอนุกรม

ฟังก์ชันหมายเลข 3 ของอินเทอร์พท์ที่ 14 ของไบออส ใช้ตรวจสอบสถานะของพอร์ตอนุกรม โดยผ่านหมายเลขพอร์ตทางรีจิสเตอร์ DX สถานะของรหัสจะผ่านมาทางรีจิสเตอร์ AH และ AL ดังตารางที่ 2.6 จะเห็นว่าสัญญาณสถานะต่างๆ ส่วนใหญ่จะใช้งานกับโมเด็ม

ดังนั้นเมื่อนำมาใช้กับอุปกรณ์อื่น (เช่นที่ใช้ในงานวิจัยนี้) สัญญาณเหล่านี้จึงลดความสำคัญลง แต่ยังมีสัญญาณอีกสัญญาณหนึ่งที่มีความสำคัญคือสัญญาณพร้อมรับข้อมูล (Data Ready) ซึ่งเป็นตัวบอกว่าเมื่อไรที่ข้อมูลถูกรับเข้ามาและพร้อมที่จะอ่านเข้าไปเก็บ

สถานะของสายส่ง AH	
ความหมายของแต่ละบิตเมื่อมีค่าเป็น 1	บิตที่
Data Ready	0
Overrun Error	1
Parity Error	2
Framing Error	3
Break-Detect Error	4
Transfer hold-register empty	5
Transfer shift-register empty	6
Time-out Error	7
สถานะของโมเด็ม AL	
ความหมายของแต่ละบิตเมื่อมีค่าเป็น 1	บิตที่
Change in clear-to-send	0
Change in data-set-ready	1
Trailing-edge ring detector	2
Change in line signal	3
Clear-to-send	4
Data-set-ready	5
Ring indicator	6
Line signal detector	7

ตารางที่ 2.6 สถานะของพอร์ตอนุกรมในรีจิสเตอร์ AH และ AL

4.4 การรับข้อมูล 1 ไบท์ผ่านพอร์ตอนุกรม

การรับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรมสามารถทำได้ โดยใช้ฟังก์ชันที่ 2 ของอินเทอร์พท์ที่ 14 รีจิสเตอร์ DX ใช้สำหรับกำหนดหมายเลขพอร์ต ข้อมูลที่อ่านได้จะเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ AL เมื่ออ่านข้อมูลแล้วสามารถตรวจสอบได้ที่ บิต 7 รีจิสเตอร์ AH

การเรียกใช้พอร์ตอนุกรมโดยการควบคุมพอร์ตโดยตรง

วิธีการนี้ไม่สะดวกเท่ากับวิธีติดต่อพอร์ตอนุกรมผ่านไบออส แต่จากการทดลองเปรียบเทียบการทำงานของวิธีทั้งสองวิธีนี้จะทำงานเร็วกว่า ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีนี้ในการเรียกใช้พอร์ตอนุกรม

รีจิสเตอร์ของ 8250

ไอซี (IC) 8250 ทำหน้าที่ควบคุมการติดต่อสื่อสารผ่านทางโมเด็ม (รวมทั้งการติดต่อผ่านทาง RS-232 ด้วย) ไอซี 8250 มีรีจิสเตอร์ที่เอื้ออำนวยต่อการกำหนดค่าต่างๆ สำหรับการรับส่งข้อมูล การแสดงข้อผิดพลาด เป็นที่พักของข้อมูลก่อนและหลังการรับส่ง และเป็นตัวทำให้เกิดสัญญาณการขัดจังหวะเมื่อเกิดเหตุการณ์อย่างใดอย่างหนึ่ง รายละเอียดจะขอรวบรวมไว้ดังตารางที่ 2.7

หมายเลขพอร์ต		ลักษณะการใช้งาน	ชื่อรีจิสเตอร์
COM1	COM2		
3F8	2F8	Tx Buffer	RBR, DLL
3F8	2F8	Rx Buffer	RBR, DLL
3F8	2F8	Division Latch LSB	RBR, DLL
3F9	2F9	Division Latch MSB	DLM, IER
3F9	2F9	Interrupt Enable Register	DLM, IER
3FA	2FA	Interrupt Identification Register	IIR
3FB	2FB	Line Control Register	LCR
3FC	2FC	Modem Control Register	MCR
3FD	2FD	Line Status Register	LSR
3FE	2FE	Modem Status Register	MSR

ตารางที่ 2.7 แสดงหมายเลขพอร์ตและลักษณะการใช้งานรีจิสเตอร์ของ 8250

หน้าที่การทำงานของรีจิสเตอร์

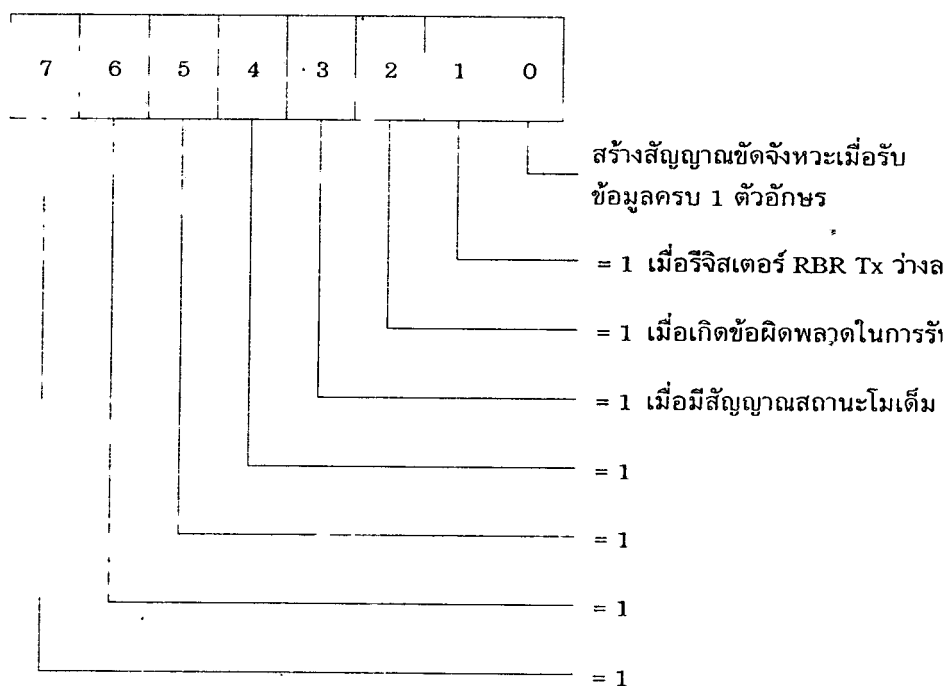
รีจิสเตอร์ RBR(DLL) มีหน้าที่ 3 อย่างคือ เป็นที่พักของข้อมูลก่อนที่จะถูกส่งออกไปเป็นตัวรับข้อมูลที่ได้รับเข้ามาจากอนุกรมสื่อสาร และเป็นตัวกำหนดอัตราการรับส่งข้อมูล (Baud rate) โดยเป็นตัวหารนัยสำคัญต่ำ ใช้งานร่วมกับรีจิสเตอร์ DLM ซึ่งเป็นตัวหารนัยสำคัญสูง ค่าของตัวหารนี้จะนำไปหารออกจากความถี่ 1.8432 MHz ซึ่งเป็นความถี่ของวงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) ในอแดปเตอร์ (Adaptor) สำหรับสื่อสาร ค่าที่ได้เป็น 16 เท่าของอัตราการรับส่งข้อมูลค่าของตัวหารของความเร็วแสดงในตารางที่ 8 หรือจะหาจากสมการ

$$\text{ตัวหาร} = \frac{1843200}{16} = 115200/\text{อัตราการรับส่ง}$$

อัตราการรับส่งข้อมูล	ตัวหาร (ฐาน 16)
300	180
600	0C0
1200	060
2400	030
4800	018
9600	00C

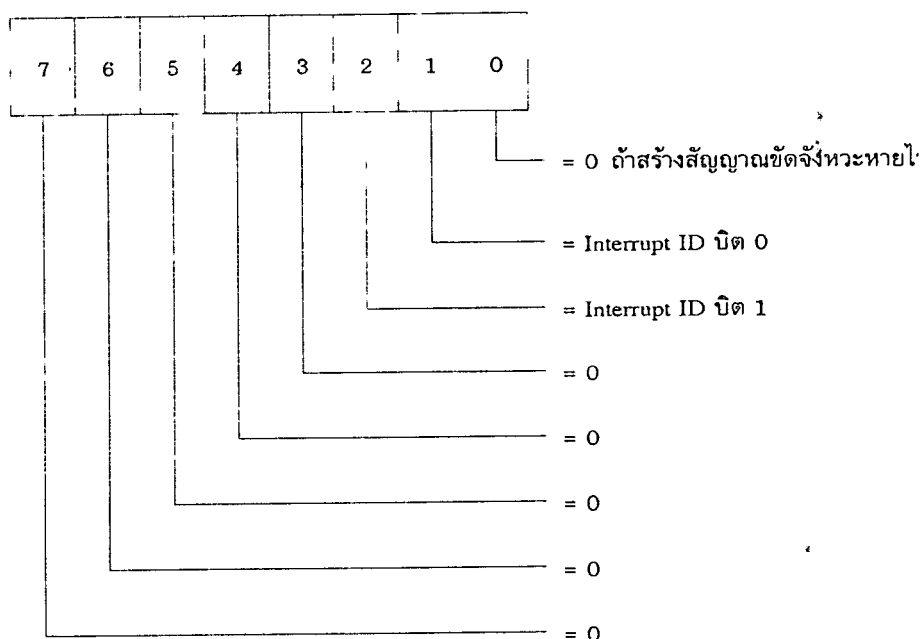
ตารางที่ 2.8 แสดง ตัวหาร 1.8432 MHz เพื่อให้ได้ความถี่ 16 เท่าของอัตราการรับส่งข้อมูล

รีจิสเตอร์ DLM (IER) เป็นตัวหารนัยสำคัญสูงซึ่งใช้ร่วมกับรีจิสเตอร์ DLL ดังที่กล่าวมาแล้ว เช่น ถ้าต้องการตั้งอัตราการรับส่งเป็น 2400 บิตต่อวินาที จะต้องใช้ตัวหาร 0030H ต้องตั้งค่าใน DLL เป็น 03H และ DLM เป็น 00H เป็นต้น หน้าที่อีกอย่างของรีจิสเตอร์ตัวนี้คือเป็นตัวควบคุมการเกิดการขัดจังหวะดังรูปที่ 2.21 ตัวอย่างเช่น ต้องการสร้างสัญญาณการขัดจังหวะเมื่อได้รับข้อมูลครบ 1 อักขระ โดยการเซต (Set) บิต 0 ของรีจิสเตอร์ IER (Interrupt Enable Register) ให้เป็น '1' เป็นต้น



รูปที่ 2.21 แสดงหน้าที่ของบิตต่างๆ ของรีจิสเตอร์ IER

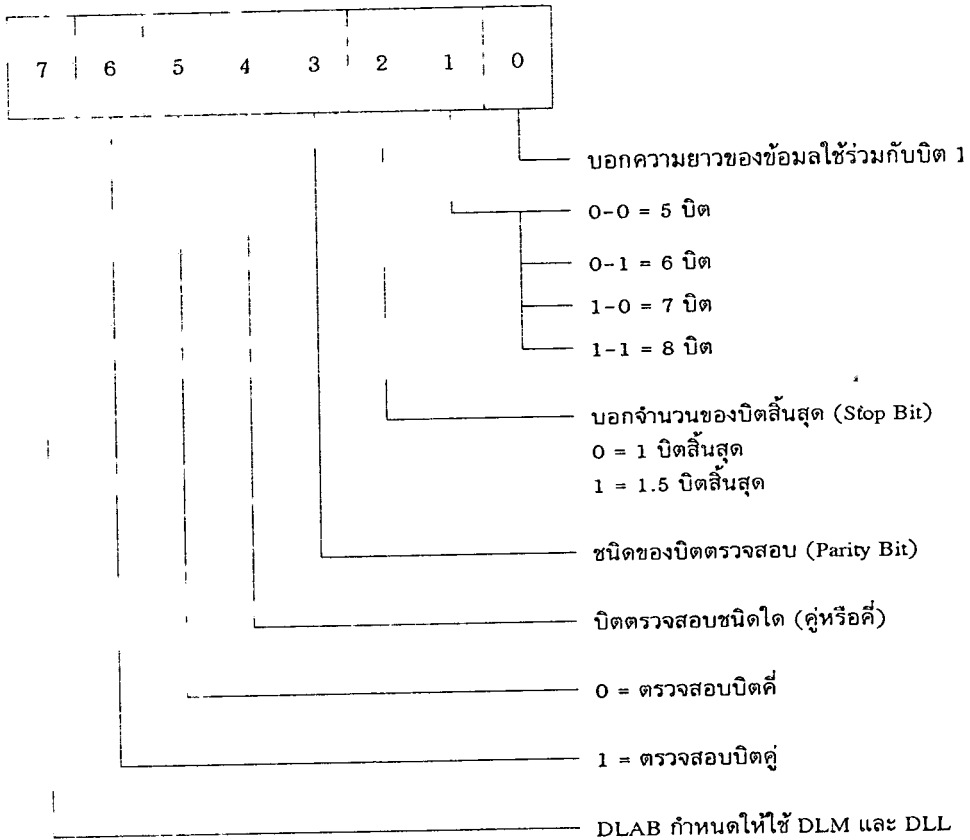
รีจิสเตอร์ IIR (Interrupt Identification Register) ใช้สำหรับบอกชนิดของการขัดจังหวะที่กำหนดโดยรีจิสเตอร์ IER ในโมดูลที่ทำหน้าที่จัดการเกี่ยวกับการขัดจังหวะควรตรวจสอบที่รีจิสเตอร์ตัวนี้ด้วย เพื่อจะได้รู้ว่าสาเหตุของการขัดจังหวะเพราะสาเหตุใด ดูจากรูปที่ 2.22 จะเห็นว่าที่บิต 0 ของรีจิสเตอร์ IIR เป็นตัวแสดงสถานะว่าสัญญาณขัดจังหวะยังอยู่หรือหายไปแล้ว และบิตที่ 1 และ 2 เป็นตัวบอกสถานะของการขัดจังหวะ



รูปที่ 2.22 แสดงหน้าที่ของบิตต่างๆ ของรีจิสเตอร์ IIR

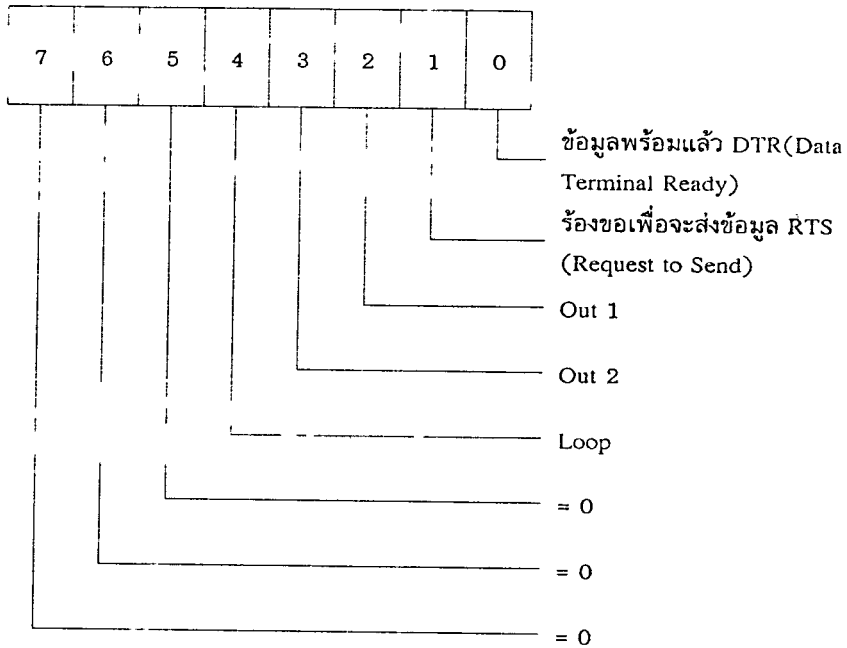
รีจิสเตอร์ LCR (Line Control Register) เป็นตัวกำหนดค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ต่างๆ ในการรับส่งข้อมูล จากภาพ 23 สมมุติว่าต้องการรับส่งข้อมูลที่ละ 8 บิต มีบิตสิ้นสุด 1 บิต ไม่มีบิตตรวจสอบ จะต้องให้ค่ากับรีจิสเตอร์ LCR คือ 00000011B บิตที่ 7 ของ LCR เป็นตัวบอกว่า ขณะนี้เป็นการกำหนดค่าพารามิเตอร์หรือบอกว่าเป็นการใช้งาน DLM และ DLL ถ้าเซตเป็น '0' ข้อมูลที่ส่งไปนั้นเป็นตัวกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ถ้าเซตให้เป็น '1' ค่าที่ให้กับ DLM และ DLL ก็จะเป็นตัวหารนัยสำคัญสูงและต่ำนั่นเอง (ที่ต้องทำเช่นนี้เพราะรีจิสเตอร์ DLM กับ DLL มีหลายหน้าที่)

รีจิสเตอร์ MCR (Modem Control Register) รีจิสเตอร์ตัวนี้ใช้สำหรับควบคุมการขัดจังหวะกับโมเด็ม รายละเอียดของแต่ละบิตแสดงดังรูปที่ 2.24 โดยมีบิตที่สำคัญคือ บิต 1, 2 และ 3 (บิตที่ 3 หรือ OUT 2 เป็นตัวอินาเบิล (enable) สำหรับการขัดจังหวะให้กับไอซี 8259 ซึ่งเป็นไอซี ที่ควบคุมการขัดจังหวะโดยเฉพาะซึ่งจะไม่กล่าวถึงรายละเอียดในที่นี้

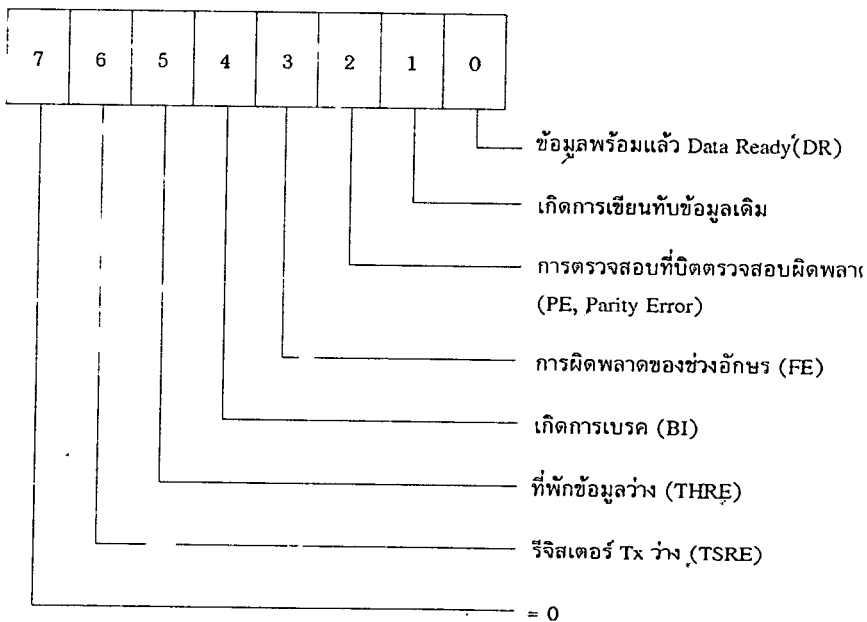


รูปที่ 2.23 แสดงหน้าที่ของบิตต่างๆ ของรีจิสเตอร์ LCR

รีจิสเตอร์ LSR (Line Status Register) เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้บอกสถานะของการรับส่งข้อมูล ถ้าต้องการรู้ว่าการรับส่งข้อมูลเป็นอย่างไรบ้าง มีข้อผิดพลาดอะไรเกิดขึ้น หรือตรวจสอบว่าที่פקข้อมูลในรีจิสเตอร์ RBR นั้นว่างหรือไม่ สามารถตรวจสอบได้ที่รีจิสเตอร์ตัวนี้ ดังรายละเอียดในรูปที่ 2.25

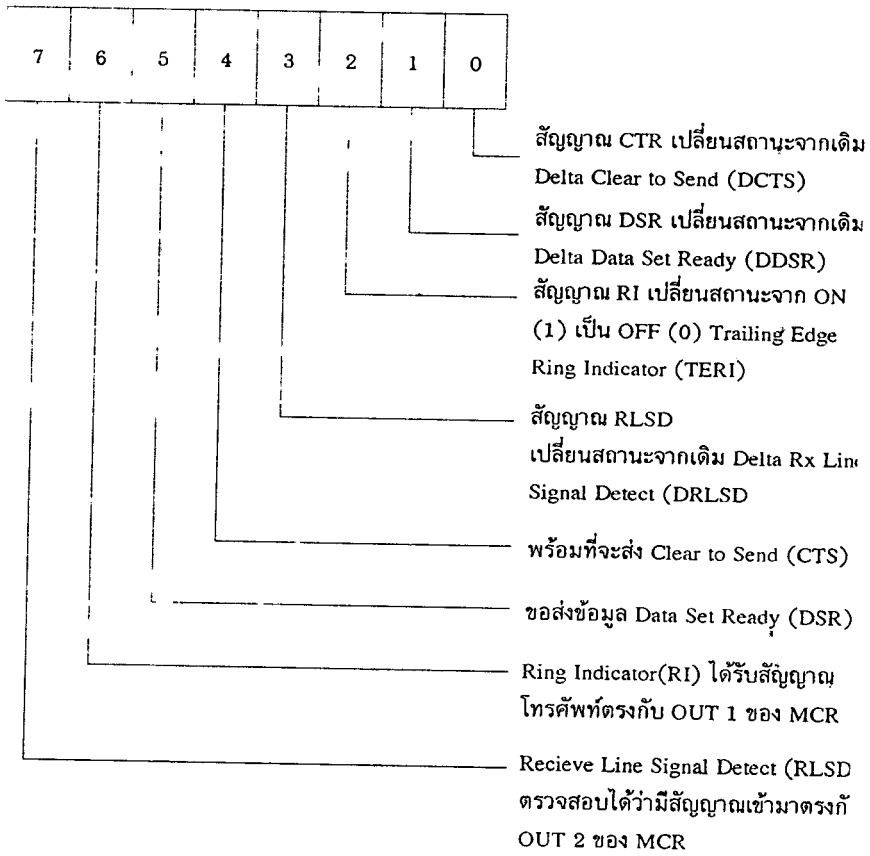


รูปที่ 2.24 แสดงหน้าของบิตต่างๆ ของรีจิสเตอร์ MCR



รูปที่ 2.25 แสดงหน้าที่ของบิตต่างๆ ของรีจิสเตอร์ LSR

รีจิสเตอร์ MSR (Modem Status Register) เป็นตัวบอกสถานะต่างๆของโมเด็ม เราสามารถตรวจสอบสถานะของโมเด็มได้ที่รีจิสเตอร์ตัวนี้ รายละเอียดดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 แสดงหน้าของบิตต่างๆ ของรีจิสเตอร์ MSR

5. การประมวลผลสัญญาณ (Data Processing)

การประมวลผลของสัญญาณจะประมวลผลบนไมโครคอมพิวเตอร์ โดยจะสามารถทำได้ 2 โหมด คือ โหมดเวลาจริง (Realtime Mode) และ โหมดการวิเคราะห์ข้อมูลภายหลัง (Lab_Net Mode)

5.1 โหมดเวลาจริง (Realtime Mode)

จะเป็นโหมดที่แสดงค่าอุณหภูมิของสารตัวอย่าง ค่าอุณหภูมิแตกต่างของสารตัวอย่างและสารอ้างอิง และเวลาในขณะที่เครื่องมือทำงาน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของเตามีลักษณะที่ช้ามาก ผลของข้อมูลที่อ่านได้จึงถือว่าเป็นเวลาจริง และข้อมูลที่อ่านได้จะทำการเก็บบันทึกเอาไว้ในแผ่นจานแม่เหล็กในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ และการแสดงผลของข้อมูลในโหมดนี้จะแสดงในรูปของ กราฟ และ รูปของตัวเลข

5.2 โหมดการวิเคราะห์ข้อมูลภายหลัง (Lab_Net Mode)

จะเป็นโหมดที่ใช้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลภายหลังจากเครื่องมือ(เตาให้ความร้อน) ทำงาน เสร็จสมบูรณ์แล้ว ข้อมูลที่จะวิเคราะห์ อันได้แก่ ค่า อุณหภูมิที่เป็น จุดเปลี่ยนสถานะของสารตัวอย่าง ค่า การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี เป็นต้น จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงผลในลักษณะ กราฟและตัวเลขเช่นกัน

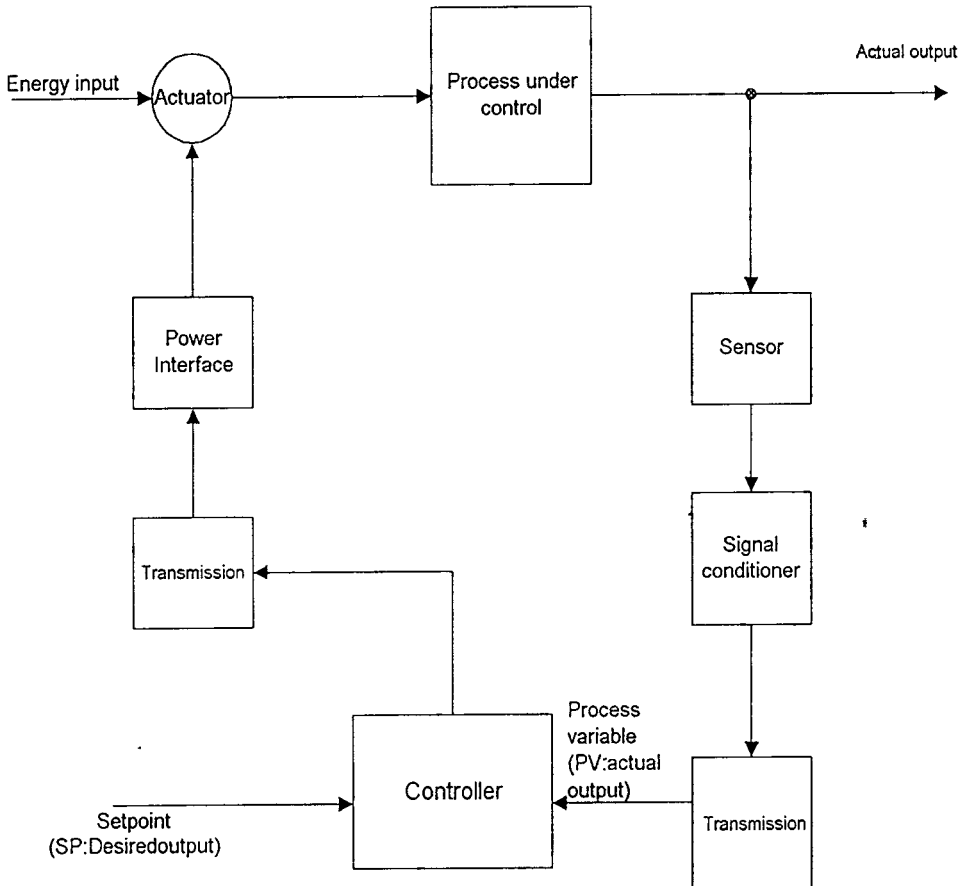
6. Temperature Program

อุณหภูมิของเตาจะหาได้จากอุณหภูมิของสารตัวอย่าง บวก กับอุณหภูมิของสารอ้างอิง แล้วหารด้วยสองหรือก็คือค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิสารตัวอย่างและสารอ้างอิงนั่นเอง การกำหนดให้อุณหภูมิของเตาเผาเพิ่มขึ้นอย่างคงที่นั้น จะต้องเขียน โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในลักษณะที่ให้ อุณหภูมิของเตาเผาเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นตามเวลาด้วยอัตราคงที่และค่าโปรแกรมอุณหภูมิของเตาจะนำไปเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของเตาที่วัดได้จากเทอร์โมคัปเปิล(ที่ได้จากค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิสารตัวอย่างและสารอ้างอิง) ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองนี้จะนำไปควบคุมการให้ความร้อนแก่เตาเผาโดยให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้นด้วยอัตราคงที่ โดยใช้เทคนิคการควบคุม

อุณหภูมิ ที่เรียกว่า PID Control และสัญญาณที่ได้จาก เทคนิค PID Control นี้จะส่งผ่านออกไปทางพอร์ตขนานของไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกเข้าไปควบคุมอัตราการให้ความร้อนแก่เตา

6.1 PID Controller

ในระบบควบคุมอัตโนมัติแบบปิดจะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 แสดงลักษณะทั่วไป ของระบบการควบคุมอัตโนมัติ

คอนโทรลเลอร์จะมีสัญญาณขาเข้าอยู่ 2 ค่า คือ ค่าความต้องการในการควบคุมหรือค่าเป้าหมาย(Setpoint:SP) และอีกค่าหนึ่งคือ ค่าจริงที่วัดได้จากการควบคุม (ซึ่งวัดได้จาก เซนเซอร์ Signal Conditionors Transmission และป้อนเข้าสู่ Controller) ซึ่งค่านี้จะเรียกว่า ตัวแปรโปรเซส (Process Variable:PV) วัตถุประสงค์ของคอนโทรลเลอร์คือการทำให้ ค่า SP และค่า PV มีค่าเท่ากัน การเปลี่ยนแปลงใดๆของค่า SP จะทำให้สัญญาณขาออกของคอนโทรลเลอร์เปลี่ยนไป ทำให้ค่า PV มีค่าเปลี่ยนแปลงตามค่า SP คอนโทรลเลอร์ทุกๆตัว เริ่มต้นการทำงานจะกำเนิด สัญญาณขาออกเป็นสัญญาณความแตกต่าง (E:Error Signal) คือ

$$E = SP - PV \quad (2.19)$$

เมื่อ E คือ สัญญาณความแตกต่างระหว่าง SP และค่า PV ถ้า PV มีค่าน้อยกว่าค่า SP สัญญาณ E จะมีค่าเป็นบวก และถ้า PV มีค่ามากกว่าค่า SP สัญญาณ E จะมีค่าเป็นลบ ค่าสัญญาณ E จะใช้เป็นตัวกำหนดสัญญาณขาออกของ คอนโทรลเลอร์ (MV:Manipulated Variable)

สำหรับรูปแบบการควบคุมแบบปิดจะมีอยู่หลายแบบด้วยกันแต่ที่สำคัญได้แก่ On-Off, P-only, PI, PD และ PID ตัวควบคุมที่ใช้จะเป็นแบบ On-Off Controller หรือ PID Controller กรณี PID Controller จะมีหลักการควบคุมพื้นฐานอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ Proportional (P) Integral (I) และ Derivative (D)

6.1.1 On-Off Controller

เป็นแบบการควบคุมที่ง่ายที่สุดของการควบคุมแบบปิด เหมาะสำหรับการควบคุมที่มีราคาถูก แต่ผลการควบคุมไม่ดีนัก มักจะพบการควบคุมแบบนี้ในเครื่องใช้ภายในบ้าน เช่น เตารีด ตู้เย็น ตู้อบ เป็นต้น

สัญญาณขาออกของตัวควบคุมมีเพียง 2 สถานะ คือ On กับ Off สัญญาณนี้จะทำให้ส่วน Power interface (ในเครื่อง DTA นี้ คือส่วน Phase -Controlled AC Regulator ในหัวข้อถัดไป) ทำงานเต็มที่หรือหยุดทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น

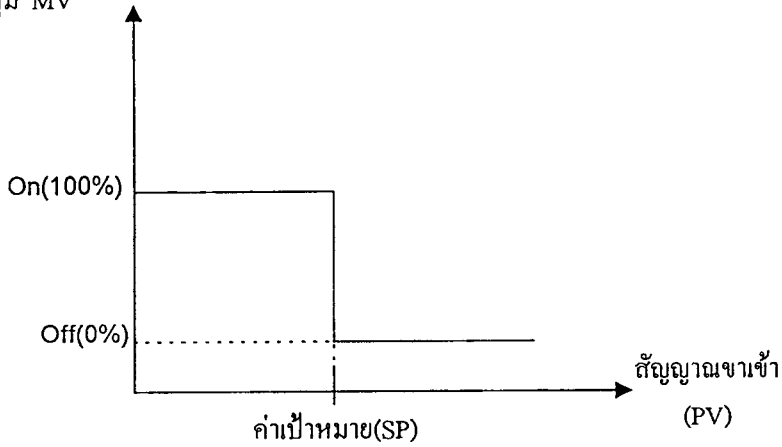
ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณขาออกหรือสัญญาณควบคุม MV กับสัญญาณขาเข้า PV ที่ค่าเป้าหมาย SP ค่าหนึ่งค่าใดแสดงให้เห็นดังนี้

$$\begin{aligned} MV &= \text{On} && \text{เมื่อ } PV < SP \\ MV &= \text{Off} && \text{เมื่อ } PV > SP \end{aligned}$$

และลักษณะของสัญญาณแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.28

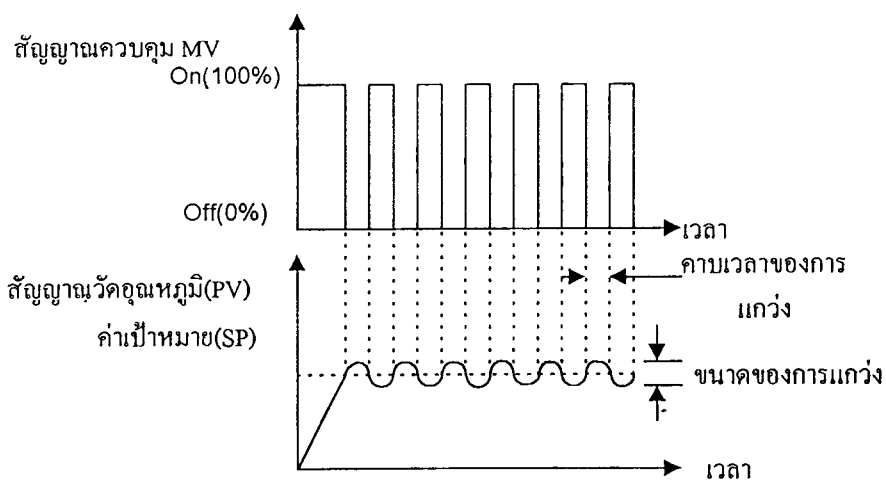
สัญญาณขาออกหรือสัญญาณ

ควบคุม MV



รูปที่ 2.28 แสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณขาออกและสัญญาณขาเข้าของ On-Off Controller (กรณี เป็นการควบคุมแบบเปิด)

ตัวอย่างการใช้งานในการควบคุมอุณหภูมิของเตาอบโดยใช้การควบคุมแบบ On-Off Control ซึ่งจะให้ผลของการควบคุมแบบ On-Off ดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 แสดงตัวอย่างการควบคุมแบบ On-Off Control

ในการนำ On-Off Control ไปใช้งานนั้น ความเที่ยงตรงจะไม่ดีนัก ค่า PV จะแกว่งรอบค่า SV โดยมีคาบเวลา (Period) ของการแกว่งขึ้นอยู่กับค่า Dead time ของค่า PV ยิ่ง Dead time มีค่ามาก คาบเวลาของการแกว่งยิ่งจะมีค่ามาก (Dead time คือ ช่วงเวลาที่นับจากสัญญาณควบคุม MV เปลี่ยนแปลงไปจนกระทั่งสัญญาณของ PV เปลี่ยนแปลง) ดังนั้น การควบคุมแบบนี้จึงเหมาะสำหรับระบบที่มีความเร็วต่ำหรือความเฉื่อยสูง ซึ่งเป็นระบบการควบคุมอย่างง่าย

6.1.2 Proportional Control (P-only Control)

ข้อเสียของการควบคุมแบบ On-Off Control คือ มีการแกว่งของค่า PV รอบค่า SP เนื่องจากสัญญาณควบคุมมีแค่ 2 ค่า (On หรือ Off) ในขณะที่ค่า PV มีค่าเข้าใกล้ค่า SP สัญญาณ ควบคุมจะมีค่ามากหรือ น้อยเกินไป ไม่สมดุลย์ กับค่าสัญญาณ MV เพื่อที่จะกำจัดแกว่ง จึงจำเป็นที่จะกำหนดให้ สัญญาณควบคุมมีขนาดเป็นสัดส่วนเหมาะสมกับขนาดของสัญญาณ E (Proportional Action) ในขณะที่สัญญาณ PV มีค่าเข้าใกล้ ค่า SP การควบคุมที่ใช้หลักการนี้จะเรียกว่า Proportional Control หรือ P-only Control

ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณขาออก (MV) กับสัญญาณขาเข้า (PV) ของ P-only Controller ที่มีค่าเป้าหมาย (SP) .ใดๆ แสดง ได้ดังนี้

$$MV = \frac{100}{PB} \cdot (SP - PV) + b \quad (2.20)$$

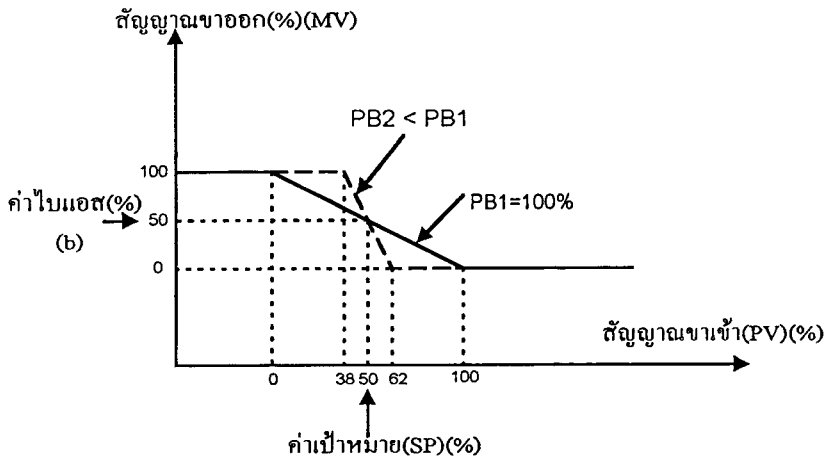
MV = สัญญาณขาออก

SP = ค่าเป้าหมาย

PV = สัญญาณขาเข้า

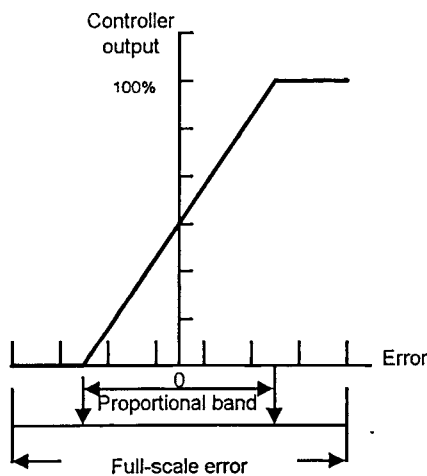
b = ค่าไบแอส(Bias) เป็นค่าสัญญาณควบคุมขณะที่ไม่มีความผิดพลาด, (SP=PV)

PB = Proportional Band มีหน่วยเป็น เปอร์เซนต์(%)



รูปที่ 2.30 แสดงลักษณะสัญญาณขาออก และสัญญาณขาเข้าของ P-only Controller

P-only Controller จะขึ้นอยู่กับค่า PB Proportional Band หมายถึง เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาเข้า(กรณีค่าเป้าหมายคงที่)หรือ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ E ที่ทำให้สัญญาณขาออกเปลี่ยนแปลงไป 100 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะของ Proportional Band แสดงให้เห็นดังรูปกราฟ transfer curves ในรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31แสดงกราฟ transfer curves ของ proportional band

ในทางปฏิบัติ นั้น สัญญาณควบคุมขาออกของ P-only Controller จะอยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้า โดยจะได้รับความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

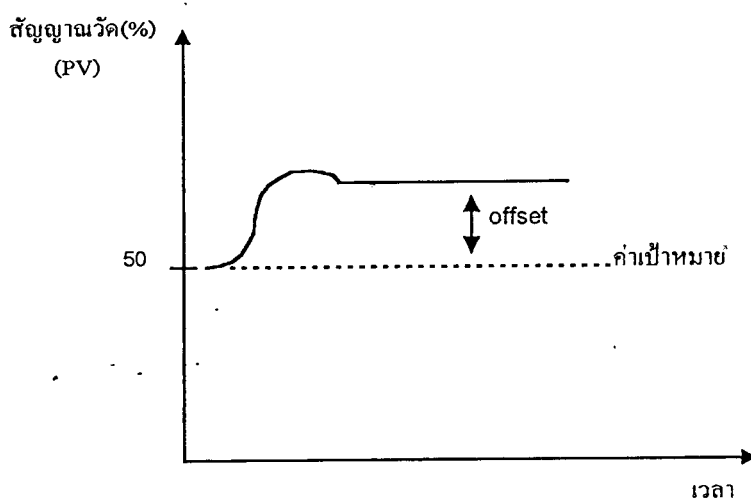
$$V_{out} = K_p \cdot V_{error} \quad (2.21)$$

เมื่อ V_{out} = แรงดันสัญญาณขาออกของคอนโทรลเลอร์

K_p = อัตราขยายของคอนโทรลเลอร์ (gain of controller) หรือ transfer function ของ P-only Controller

V_{error} = แรงดันสัญญาณแตกต่างระหว่างค่า SP และ ค่า PV

ผลของการควบคุมแบบ P-only จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 แสดงผลของการควบคุมแบบ P-only

ในการควบคุมแบบ P-only Control โดยทั่วไป สัญญาณ PV จะมีค่าเท่ากับค่าเป้าหมาย SP ที่สภาวะการทำงานและสภาพแวดล้อมค่าใดค่าหนึ่งเท่านั้น ถ้าสภาวะการทำงานและสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปจากค่านี้ สัญญาณ PV จะมีค่าต่างไปจากค่าเป้าหมาย SP ที่สภาวะสมดุลใหม่ ค่าความแตกต่างระหว่างสัญญาณ PV กับค่าเป้าหมาย SP ที่สภาวะสมดุลจะเรียกว่า “Offset”

6.1.3 Integral Controller

คอนโทรลเลอร์ที่อาศัยหลักการของอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาออกที่เป็นสัดส่วนต่อสัญญาณความแตกต่าง ซึ่งจะมีความสัมพันธ์เป็น

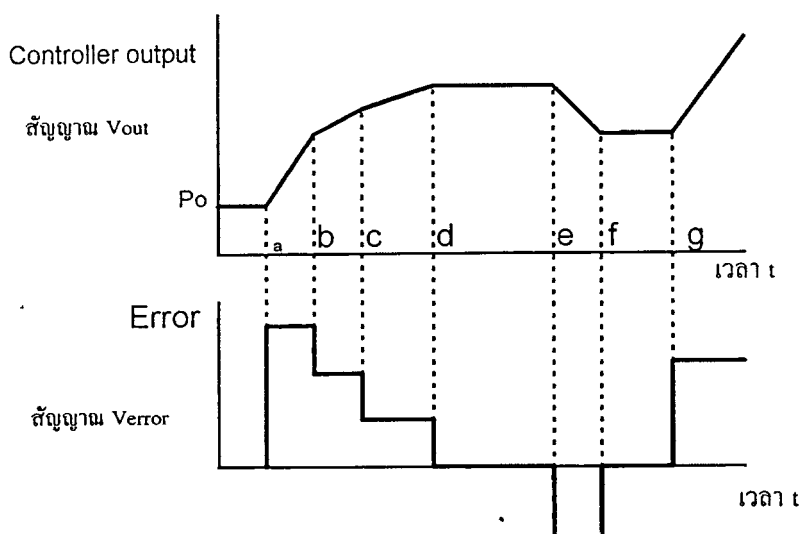
$$\frac{d v_{out}}{d t} = K_I v_{error} \quad (2.22)$$

เมื่อ v_{out} คือ สัญญาณขาออกของ คอนโทรลเลอร์

K_I คือ ค่าคงที่การอินทิเกรต(integration constant)

v_{error} คือ สัญญาณความแตกต่างระหว่างค่า SP กับ ค่า PV

เมื่อสัญญาณ v_{error} มีค่ามาก สัญญาณขาออก v_{out} จะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เพื่อปรับสัญญาณความแตกต่าง v_{error} ให้น้อยลง เมื่อ v_{error} มีค่าน้อยลง สัญญาณขาออก v_{out} จะเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ตราบเท่าที่สัญญาณ v_{error} ยังคงมีค่าอยู่สัญญาณขาออก v_{out} ยังคงเปลี่ยนแปลงไปอย่างต่อเนื่อง เมื่อไหร่ก็ตามที่ สัญญาณ v_{error} มีค่าเป็น ศูนย์ สัญญาณขาออก v_{out} จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงยังคงรักษาค่าที่ทำให้ สัญญาณ v_{error} มีค่าเป็น ศูนย์ คงที่ไว้ ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง สัญญาณขาออก v_{out} กับ สัญญาณ v_{error} แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ v_{error} และสัญญาณขาออก v_{out}
ของ Integral controller

จากรูปที่ 2.33 ในช่วงเวลาจาก a ถึง b สัญญาณ v_{error} จะมีขนาดใหญ่ทำให้สัญญาณขาออก v_{out} เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ สัญญาณ v_{error} ลดลง สัญญาณ v_{error} ที่ลดลง ในช่วงเวลา b ถึง d จะทำให้ สัญญาณขาออก v_{out} เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ (สัญญาณขาออก v_{out} ยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง) ณ เวลา d สัญญาณ v_{error} มีค่าเป็น ศูนย์ สัญญาณขาออก v_{out} จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงยังคงรักษาค่าที่ทำให้ สัญญาณ v_{error} มีค่าเป็น ศูนย์ คงที่ไว้ เมื่อ สัญญาณ v_{error} มีค่าเป็น ลบ ในช่วงเวลา e และ f จะทำให้สัญญาณขาออก v_{out} เปลี่ยนแปลงในอัตราลดลงในทิศทางเป็น ลบ ในการหาค่าสัญญาณขาออก v_{out} ของคอนโทรลเลอร์จะหาได้จากการอินทิเกรตสมการ (2.22) และจะได้ว่า

$$v_{out} = K_I \int v_{error} dt + v_0 \quad (2.23)$$

เมื่อ V_0 แรงดัน offset เริ่มต้นของคอนโทรลเลอร์

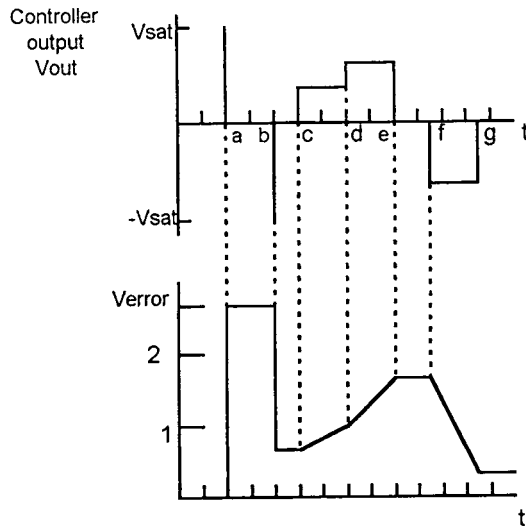
6.1.4 Derivative Controller

Derivative Controller หมายถึง คอนโทรลเลอร์ที่อาศัยหลักการ ที่สัญญาณขาออกของคอนโทรลเลอร์เป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณความแตกต่าง ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กันดังต่อไปนี้

$$v_{out} = K_D \frac{dv_{error}}{dt} \quad (2.24)$$

เมื่อ K_D คือ ค่าคงที่ การดิฟเฟอเรนเชียล(differentiation constant)

ลักษณะการทำงานของ Derivative Controller จะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างสัญญาณขาเข้า V_{error} กับสัญญาณขาออก V_{out}

จากรูปที่ 2.34 ณ เวลา a สัญญาณขาเข้า V_{error} เพิ่มขึ้นในลักษณะขั้นบันได โดยมีความชันเข้าใกล้อนันต์ เนื่องจากฟังก์ชัน dv_{error}/dt ทำให้ สัญญาณขาออก V_{out} อยู่ในสถานะอิ่มตัว ในช่วงเวลา a และ b, b และ c, e และ f สัญญาณขาเข้า V_{error} จะมีค่าคงที่ (แม้ว่าจะไม่มีค่าเป็น ศูนย์) ค่า dv_{error}/dt หรือความชันของสัญญาณขาเข้า V_{error} มีค่าเป็น ศูนย์ สัญญาณขาออก V_{out} ในช่วงเวลานี้จะมีค่าเป็น ศูนย์ เมื่อ สัญญาณขาเข้า V_{error} เพิ่มขึ้นอย่างคงที่ด้วยความชันคงที่ จะทำให้สัญญาณขาออก V_{out} มีค่าคงที่ (ช่วงเวลาจาก c ถึง d) เมื่อความชันของสัญญาณขาเข้า V_{error} เพิ่มขึ้น จะทำให้ขนาดของสัญญาณขาออก V_{out} เพิ่มขึ้น (ช่วงเวลาจาก d ถึง e) และ เมื่อ สัญญาณขาเข้า V_{error} ลดลงด้วยความชันเป็นลบ จะทำให้ สัญญาณขาออก V_{out} มีค่าเป็น ลบ (ช่วงเวลาจาก f ถึง g)

6.1.5 PID Controller

คอนโทรลเลอร์ประเภทนี้ได้จากการนำ Proportional(P) controllers, Integral(I) controller, Derivative(D) controller มารวมกัน โดยที่การควบคุมแบบ P จะทำหน้าที่ตอบสนองต่อสัญญาณความแตกต่างได้อย่างรวดเร็ว การควบคุมแบบ I จะกำจัดหรือลดค่า Offset ลง และการควบคุมแบบ D จะทำให้คอนโทรลเลอร์มีเสถียรภาพและทำให้ตอบสนองได้อย่างรวดเร็วต่อการเปลี่ยนแปลงสัญญาณความแตกต่าง และสัญญาณขาออกของคอนโทรลเลอร์จะมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$v_{out} = K_P v_{error} + K_I \int v_{error} dt + K_D \frac{dv_{error}}{dt} + V_o \quad (2.25)$$

เมื่อ K_p = proportional gain

K_I = integration constant

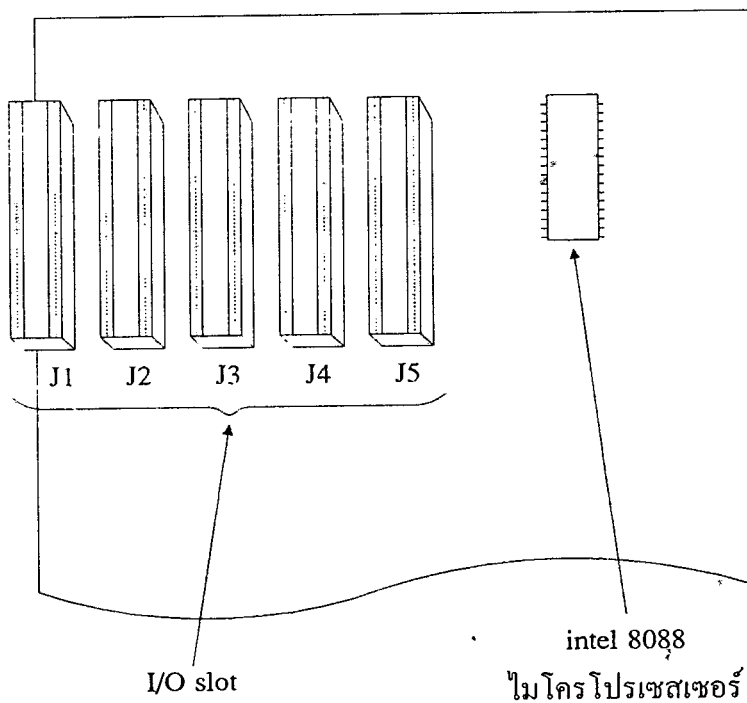
K_D = derivative constant

V_o = offset integrator initial charge

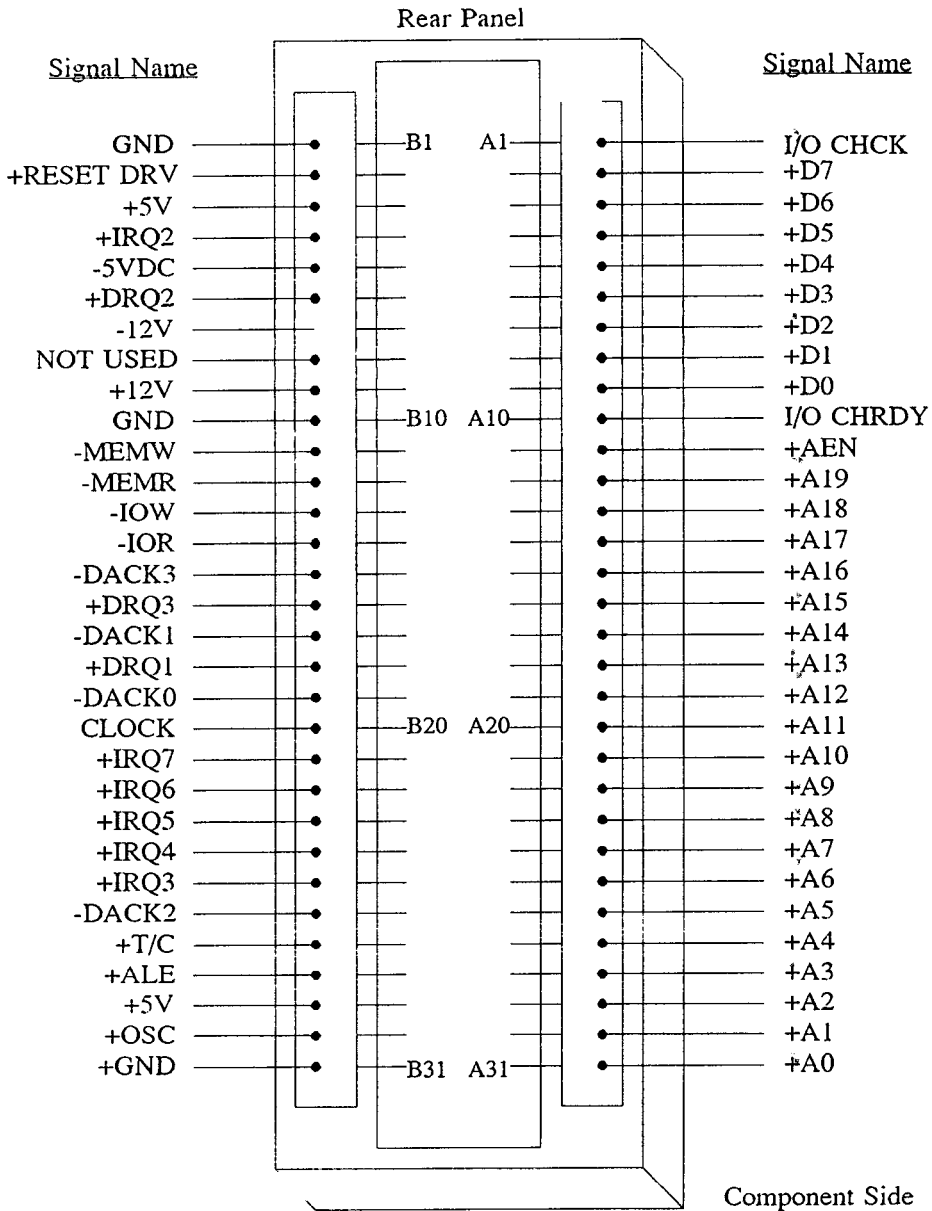
2.8 การติดต่อผ่านพอร์ตขนาน(Parallel port)

ฮาร์ดแวร์อินพุต/เอาต์พุต สำหรับ IBM PC

ในการส่งข้อมูลออก (output data) และนำข้อมูลเข้า (input data) สำหรับ IBM PC ที่จำเป็นต้องมีวงจรรีเลย์ทรอนิกส์เชื่อมต่อเข้ากับ IBM PC ดังนั้นก่อนอื่นจึงต้องมารู้จักกับ slot บน IBM PC ซึ่งมีระบบ I/O slot แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 2.35 และรูปที่ 2.36 ตามลำดับ



รูปที่ 2.35 แสดง ระบบ I/O slot บน IBM PC



รูปที่ 2.36 แสดงขาสัญญาณต่างๆ บน I/O slot ของ IBM PC

ภายใน IBM/PC ได้มีการออกแบบให้สามารถที่จะเพิ่มเติมวงจรมินิอินเทอร์เฟสเข้าไปในภายหลังได้ โดยผ่านทางสล๊อตที่อยู่บนเมนบอร์ด (Main Board) สำหรับสล๊อตบนเมนบอร์ดนี้จะมีจำนวน 5 สล๊อต (สำหรับ IBM PC /XT จะมี 8 สล๊อต) ซึ่งแต่ละสล๊อตจะมีจำนวนขาทั้งสิ้น 62 ขา แบ่งออกเป็น 2 ข้างๆ ละ 31 ขา ส่วนการเรียกตำแหน่งขาของสล๊อตเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับว่าขานั้นอยู่ข้างใด (ซ้ายหรือขวา) ของสล๊อต โดยขาที่อยู่ทางด้านซ้ายของสล๊อตจะเรียกโดยใช้อักษร "B" นำหน้าเลขตำแหน่งของขา เช่น ขา B16 ก็คือขาทางด้านซ้ายของสล๊อต ขาที่ 16 (นับจากทางด้าน

ท้ายของเครื่อง) ส่วนขาที่อยู่ทางด้านขวาของสล็อตจะเรียกโดยใช้อักษร "A" นำหน้าเลขตำแหน่งของขา เช่น ขา A24 ก็คือทางด้านขวาของสล็อตขาที่ 24 (นับจากทางด้านท้ายของเครื่อง) แต่ละขาของสล็อตเหล่านี้จะเชื่อมต่อกับเส้นสัญญาณต่างๆ บนเมนบอร์ด ทำให้การสร้างวงจรรินเทอร์เฟซกับ IBM/PC สามารถทำได้โดยสะดวก ซึ่งเส้นสัญญาณที่เชื่อมต่อกับขาของสล็อตเหล่านี้จะประกอบไปด้วย เส้นสัญญาณของบัสแอดเดรส (Address Bus), บัสข้อมูล (Data Bus), บัสควบคุมสำหรับการเขียน/อ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ หรือพอร์ต I/O , เส้นสัญญาณสำหรับการขออินเทอร์รัพท์ของวงจรรินเทอร์เฟซ, เส้นสัญญาณสำหรับการขอ DMA , สัญญาณฐานเวลา (Timing Signal) ต่างๆ ที่ใช้ในระบบ, เส้นสัญญาณแสดงการรีเฟรชหน่วยความจำและสัญญาณสำหรับการตรวจสอบความผิดพลาด (I/O CHCK) นอกจากเส้นสัญญาณเหล่านี้แล้ว สล็อตบนเมนบอร์ดยังเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟต่างๆที่ใช้ในระบบอีกด้วย คือ +5Vdc, -5Vdc, +12Vdc และ -12Vdc

รายละเอียดเกี่ยวกับสัญญาณต่างๆ

OSC (Oscillator ; ขา B30) :

ขานี้เป็นเอาต์พุตที่เชื่อมต่อกับสัญญาณคล็อกที่มีค่าความถี่สูงสุดบนเมนบอร์ด คือ 14.31818 MHz ซึ่งมีคาบเวลาประมาณ 70 ns. และมี Duty Cycle (ช่วงเวลาใน 1 คาบที่สัญญาณคล็อกที่ลอจิกเป็น "1" หารด้วยคาบเวลาทั้งหมด) ประมาณ 50% สัญญาณคล็อกอื่นๆ ของระบบ เช่น คล็อกที่ป้อนให้กับ 8088 หรือชิพซัพพอร์ทต่างๆ นั้นจะถูกสร้างขึ้นโดยการหารสัญญาณคล็อกนี้ อย่างไรก็ตามสิ่งหนึ่งที่จะต้องคำนึงถึงในการใช้งานสัญญาณ OSC ก็คือ สัญญาณนี้จะไม่ Synchronize กับสัญญาณอื่นๆ บนบัสของระบบ ดังนั้นจึงไม่ควรที่จะนำสัญญาณจากขา OSC นี้ไปใช้เป็นสัญญาณคล็อกสำหรับวงจรภายนอกอื่นๆ ที่ทำงานร่วมกับระบบ

CLK (CLOCK ; ขา B20) :

ขาสัญญาณนี้เป็นเอาต์พุต ซึ่งต่อกับสัญญาณคล็อกที่ถูกสร้างขึ้นโดยการหารสัญญาณ OSC ด้วย 3 ทำให้ได้ความถี่ประมาณ 4.77 MHz (14.31818 MHz/3) หรือ มีช่วงเวลาใน 1 คาบ (ช่วงเวลาของคล็อก 1 ลูก) เท่ากับ 210 ns. (1/4.77 MHz) สำหรับค่า Duty Cycle ของสัญญาณนี้จะมีค่าประมาณ 1/3 คือ ใน 1 คาบจะมีช่วงเวลาคือลอจิก "1" เท่ากับ 1/3 ของคาบเวลาทั้งหมด หรือ

ประมาณ 70 ns. และช่วงเวลาที่เป็นลอจิก “0” เท่ากับ 2/3 ของคาบเวลาทั้งหมด หรือประมาณ 140 ns. สัญญาณนี้เป็นสัญญาณที่ถูกใช้เป็นคล็อกของระบบ

RESET DRV (ขา B2) :

ขาสัญญาณนี้เป็นเอาต์พุต ซึ่งจะแอกทีฟ (ลอจิก “1”) ในช่วงที่เราเริ่มจ่ายไฟให้กับระบบ และจะยังคงแอกทีฟไปจนกว่าระบบต่างๆ ภายใน IBM/PC จะพร้อมที่จะทำงานได้จากที่นั่นสัญญาณนี้ก็จะเปลี่ยนกลับเป็นลอจิก “0” นอกจากนี้ในระหว่างการทำงานของ IBM/PC ถ้าระดับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟตกลง สัญญาณนี้ก็จะถูกทำให้แอกทีฟเช่นกัน โดยทั่วไปแล้วสัญญาณนี้จะถูกนำไปใช้ในกรณีรีเซ็ตทวงจรอินเทอร์เฟสหรืออุปกรณ์ I/O ต่างๆ ในช่วงที่เริ่มจ่ายไฟให้กับระบบ ซึ่งจะเป็นการทำให้วงจรหรืออุปกรณ์เหล่านั้นถูกปรับให้อยู่ในสถานะที่แน่นอน ก่อนที่จะเริ่มต้นการทำงานในระบบ (สถานะนี้เป็นสถานะที่เราทราบ และต้องการให้วงจรทำงานในขณะที่ระบบถูกรีเซ็ต)

Ao-A19 (Address Bus ; ขา A31-A12) :

ขาสัญญาณทั้ง 20 ขานี้เป็นเอาต์พุต ซึ่งใช้สำหรับกำหนดแอดเดรสของหน่วยความจำหรืออุปกรณ์ I/O ที่ 8088 ต้องการติดต่อด้วย โดยที่สัญญาณ A0 จะมีนัยสำคัญต่ำสุด (Least Significant Bit) และ A19 จะมีนัยสำคัญสูงสุด (Most Significant Bit) สำหรับค่าแอดเดรสบนบัสแอดเดรส A0-A19 นี้ จะถูกกำหนดโดย 8088 ในระหว่างขบวนการอ่าน/เขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำหรืออุปกรณ์ I/O แต่ในช่วงของขบวนการ DMA นั้น DMA-Controller จะเป็นผู้กำหนดค่าแอดเดรสบนบัสแอดเดรสเอง (ในระหว่างนี้ 8088 จะถูกตัดออกจากระบบ)

จะเห็นได้ว่าจำนวนเส้นแอดเดรสนี้มีอยู่ 20 เส้น ซึ่งสามารถที่จะอ้างแอดเดรสของหน่วยความจำได้ถึง 1 Mbyte แต่อย่างไรก็ตามจะมีแอดเดรสบางแอดเดรสที่ถูกใช้งานโดย IBM/PC อยู่ก่อนแล้ว คือ แอดเดรสของหน่วยความจำ RAM บนเมนบอร์ดที่ถูกใช้โดยระบบจำนวน 64 Kbyte (สำหรับ IBM PC /XT จะเป็นจำนวน 256 Kbyte) และแอดเดรสสำหรับหน่วยความจำ ROM อีก 48 Kbyte ซึ่งถูกจัดในช่วงของแอดเดรสบนสุดใน 1 Mbyte คือ 0FC00H จนถึง 0FFFFFFH (สำหรับ IBM PC /XT จะเป็น 64 Kbyte)

สำหรับการอ้างแอดเดรสของพอร์ต I/O นั้น จะใช้เส้นแอดเดรสเพียง 16 เส้น คือ A0-A15 ซึ่งจะทำการอ้างแอดเดรสของพอร์ตได้ 64K พอร์ต โดยผ่านทางชุดคำสั่ง IN และ OUT ส่วนเส้นแอดเดรสที่เหลือคือ A16-A19 นั้นจะไม่ถูกใช้งาน อย่างไรก็ตามภายใน IBM/PC จะใช้เส้นแอดเดรสในการอ้างแอดเดรสของพอร์ตเพียง 10 เส้น คือ จาก A0-A9 และค่าแอดเดรสที่ใช้งานจะต้องอยู่ในช่วง 0200H จนถึง 03FFH เท่านั้น

D0-D7 (Data Bus ; ขา A9-A2)

ขาสัญญาณนี้จะเป็นแบบ Bi-Directional ซึ่งต่อกับบัสข้อมูลของระบบ เพื่อทำหน้าที่ในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างพอร์ต I/O กับ IBM/PC โดยบิต D0 จะมีนัยสำคัญต่ำสุดและบิต D7 จะมีนัยสำคัญสูงสุด

สำหรับในบัสไซเคิลของการเขียนข้อมูลที่สร้างขึ้นโดย 8088 นั้น ข้อมูลจะถูกส่งออกมาบนบัสข้อมูล ก่อนที่สัญญาณ \overline{IOW} (ในกรณีที่ต้องการส่งข้อมูลให้กับพอร์ต) หรือ \overline{MEMW} (ในกรณีที่ต้องการส่งข้อมูลให้กับหน่วยความจำ) จะเปลี่ยนจากลอจิก "0" เป็นลอจิก "1" (ขอบขาขึ้น) ซึ่งโดยทั่วไปขอบขาขึ้นของสัญญาณ \overline{IOW} หรือ \overline{MEMW} นี้ จะถูกใช้เพื่อสั่งให้พอร์ต I/O หรือหน่วยความจำที่มีแอดเดรสตรงกับค่าแอดเดรสบนบัสแอดเดรสนั้นรับข้อมูลไปเก็บไว้

สำหรับในบัสไซเคิลของการอ่านข้อมูลที่สร้างขึ้นโดย 8088 นั้น พอร์ต I/O หรือหน่วยความจำที่ถูกอ้างถึงจะต้องส่งข้อมูลออกมาบนบัสข้อมูล ก่อนที่สัญญาณ \overline{IOR} (ในกรณีที่ต้องการอ่านข้อมูลจากพอร์ต) หรือ \overline{MEMR} (ในกรณีที่ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ) จะเปลี่ยนจากลอจิก "0" เป็นลอจิก "1" (ขอบขาขึ้น)

ALE (Address Latch Enable ; ขา B28) :

ขาสัญญาณนี้เป็นสัญญาณเอาท์พุทที่ 8288 Bus Controller สร้างขึ้นเพื่อใช้สำหรับแสดงการเริ่มต้นของบัสไซเคิล และแสดงให้อุปกรณ์ภายนอกทราบว่าแอดเดรสที่ 8088 ต้องการจะติดต่อด้วยนั้นถูกส่งออกมาบนบัสแอดเดรสแล้ว โดยที่สัญญาณ ALE นี้จะเปลี่ยนจากลอจิก "1" เป็น "0" เมื่อค่าแอดเดรสที่ต้องการส่งออกมาบนบัสข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นขอบขาลงของสัญญาณ ALE นี้จะถูกใช้ในการแลทช์ค่าแอดเดรสจากบัสแอดเดรส/ข้อมูล (Address/Data Bus ; AD0-AD7) ของ 8088 ทำให้สามารถแยกค่าแอดเดรส (A0-A19) และข้อมูล (A0-A7) ออกจาก

กันได้ อย่างไรก็ตามสัญญาณ ALE จะแอกทีฟเฉพาะในบัสไซเคิลที่สร้างขึ้นโดย 8088 เท่านั้น โดยจะไม่แอกทีฟในระหว่างขบวนการ DMA

I/OCHCK (I/O Channel Check ; ขา A1) :

ขาสัญญาณนี้เป็นอินพุตที่ใช้ในการแสดงความคิดพลาดเกี่ยวกับพาริตี ที่เกิดขึ้นในการทำงานของ วงจรอินเทอร์เฟซหรืออุปกรณ์ I/O เมื่อขาสัญญาณนี้ได้รับลอจิก “0” จะทำให้ 8088 ถูกอิน เทอร์รัพท์แบบ Non-Maskable (NMI) อย่างไรก็ตามเราสามารถที่จะกำหนดให้วงจรภายในของ IBM/PC ทำการขออินเทอร์รัพท์ (เมื่อได้รับสัญญาณ I/OCHCK) หรือไม่ก็ได้ โดยการกำหนด ลอจิกของบิตข้อมูลของพอร์ทที่ควบคุมการขออินเทอร์รัพท์แบบ NMI คือ บิต D7 ของพอร์ท 00A0H ในกรณีที่บิต D7 ของพอร์ท 00A0H ถูกเซตเป็น “1” ก็จะทำให้วงจรภายนอกขออิน เทอร์รัพท์แบบ NMI ได้ (Enable) แต่ถ้าบิต D7 ของพอร์ท 00A0H ถูกเซตเป็น “0” ก็จะเป็นการ ดิสเอเบิล (Disable) การขออินเทอร์รัพท์แบบ NMI

Enable : ใช้คำสั่ง OUT ส่งข้อมูล 80H ไปยังพอร์ท 00A0H

Disable : ใช้คำสั่ง OUT ส่งข้อมูล 00H ไปยังพอร์ท 00A0H

และเนื่องจากยังมีอุปกรณ์อื่นที่สามารถขออินเทอร์รัพท์แบบ NMI ได้อีก ดังนั้นซอฟต์แวร์ที่ใช ้ งานจะต้องสามารถตรวจสอบว่าการขออินเทอร์รัพท์นั้นเกิดขึ้นจากแหล่งใดได้ด้วย

I/O CHRDY (I/O Channel Ready ; ขา A10) :

ขาสัญญาณนี้เป็นอินพุตที่ใช้เพิ่มช่วงเวลาในบัสไซเคิลในกรณีที่อุปกรณ์ I/O หรือหน่วยความจำที่ เกี่ยวข้องกับขบวนการในบัสไซเคิลที่เกิดขึ้นนั้น ไม่สามารถทำงานทันตามช่วงเวลาปกติของบัส ไซเคิลนั้นๆ ได้ (ช่วงเวลาของบัสไซเคิลที่เกี่ยวกับหน่วยความจำใช้ช่วงเวลาเท่ากับช่วงเวลาของ คล็อก 4 ลูก หรือ 840 ns. ในขณะที่บัสไซเคิลที่เกี่ยวกับ I/O จะใช้ช่วงเวลาเท่ากับช่วงเวลาของ คล็อก 5 ลูก หรือ 1.05 μ s.)

เมื่ออุปกรณ์ I/O หรือหน่วยความจำต้องการที่จะเพิ่มช่วงเวลาในบัสไซเคิลให้นานขึ้นอีก นั้น จะสามารถทำได้โดยการป้อนลอจิก “0” ให้กับขา I/O CHRDY ในช่วงเวลา I/O หรือหน่วย ความจำที่ถูกกำหนดนั้น ได้รับสัญญาณจากการดีโค้ดแอดเดรสและสัญญาณ MEMR, MEMW IOR หรือ IOW แอกทีฟ

IRQ2-IRQ7 (Interrupt Request 2-7 ; ขา B4 และ B25-B21) :

ขาสัญญาณทั้ง 6 นี้เป็นขาอินพุทที่ใช้สำหรับการขออินเทอร์รัพท์จาก 8088 โดยสัญญาณเหล่านี้จะต่อเข้ากับ 8259A บนเมนบอร์ดโดยตรง โปรแกรมในส่วนของ BIOS ของ IBM/PC จะทำการโปรแกรม 8259A ให้ IRQ2 มีลำดับความสำคัญสูงสุด (Highest Priority) และ IRQ7 มีลำดับความสำคัญที่ต่ำสุด ในกรณีที่มีการขออินเทอร์รัพท์เกิดขึ้น คือ ระดับลอจิกที่ขา IRQ ขาใดขาหนึ่งถูกเปลี่ยนจากลอจิก “0” เป็นลอจิก “1” (ขอบขาขึ้น) 8259A ก็จะทำการส่งสัญญาณ INT ให้กับ 8088 เพื่อทำการขออินเทอร์รัพท์

สิ่งสำคัญในการขออินเทอร์รัพท์โดยผ่านทาง IRQ2-IRQ7 นี้ ก็คืออุปกรณ์ที่ทำการขออินเทอร์รัพท์โดยผ่านทาง IRQ ขาใดก็จะต้องรักษาระดับสัญญาณที่ขา IRQ นั้น ให้แอกทีฟ (ลอจิก “1”) อยู่จนกว่าจะได้รับสัญญาณ INTA (Interrupt Acknowledge) จาก 8088 เสียก่อน ถ้าไม่เช่นนั้นการขออินเทอร์รัพท์จะถูกยกเลิก และอินเทอร์รัพท์ Level 7 (IRQ7) ก็จะถูกสร้างขึ้นโดยอัตโนมัติ ไม่ว่าการขออินเทอร์รัพท์ที่ถูกยกเลิกนั้นจะเป็นการขออินเทอร์รัพท์ใน Level หรือ ขาใด ๆ

แต่อย่างไรก็ตามสัญญาณ INTA นี้จะไม่ถูกต่อออกมาที่ขาของสล็อตด้วย ดังนั้นโปรแกรมที่ทำการตอบสนองต่อการขออินเทอร์รัพท์ (Interrupt Service Routine) จะต้องทำการรีเซ็ตสัญญาณ IRQ เอง โดยใช้คำสั่ง OUT ไปยังพอร์ท I/O ที่เกี่ยวข้อง

$\overline{\text{IOR}}$ (I/O Read ; ขา B14) :

ขาสัญญาณนี้เป็นเอาต์พุทแอกทีฟที่ลอจิก “0” ที่สร้างขึ้นโดย 8288 Bus Controller เพื่อใช้ในการแสดงว่าบัสไซเคิลที่เกิดขึ้นนี้ เป็นบัสไซเคิลของการอ่านข้อมูลจากพอร์ท I/O เพื่อให้พอร์ท I/O ที่มีแอกเดรสตรงกับแอกเดรสบนบัสแอกเดรสนั้นส่งข้อมูลออกมาบนบัสข้อมูล โดยข้อมูลจะต้องถูกส่งออกมาบนบัสข้อมูลก่อนขอบขาขึ้นของสัญญาณ $\overline{\text{IOR}}$ ประมาณ 30 ns. เพื่อให้มั่นใจได้ว่า 8088 สามารถรับข้อมูลได้ถูกต้อง สำหรับในขบวนการ DMA 8237A-5 DMA Controller จะทำการสร้างสัญญาณ $\overline{\text{IOR}}$ เอง โดยที่ค่าแอกเดรสที่อยู่บนบัสแอกเดรสจะเป็นค่าแอกเดรสของหน่วยความจำ (แทนที่จะเป็นแอกเดรสของพอร์ท I/O) ที่พอร์ท I/O ที่ขอ DMA ต้องการจะนำข้อมูลไปเก็บ การที่พอร์ทใดจะส่งข้อมูลออกมาบนบัสข้อมูลนั้น จะอาศัยสัญญาณ DACK จาก DMA Controller เป็นตัวกำหนด เช่น กรณีที่สัญญาณ DACK1 แอกทีฟก็จะแสดงว่า

พอร์ท I/O ที่จะต้องข้อมูลออกมาบนบัสข้อมูลก็คือพอร์ท I/O ที่ขอ DMA ผ่านทางแชนแนลที่ 1 (DRQ1) เป็นต้น

\overline{IOW} (I/O Write ; ขา B13) :

ขาสัญญาณนี้เป็นเอาท์พุทแอกทีฟที่ลอจิก “0” ซึ่งถูกสร้างขึ้นโดย 8288 Bus Controller เพื่อใช้แสดงว่าบัสไซเคิลที่เกิดขึ้นนี้เป็นบัสไซเคิลของการเขียนข้อมูลลงบนพอร์ท I/O เพื่อให้พอร์ท I/O ที่มีแอดเดรสตรงกับแอดเดรสบนบัสแอดเดรสนั้น รับข้อมูลที่อยู่บนบัสข้อมูลไปเก็บไว้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากในช่วงเวลาที่สัญญาณ \overline{IOW} นี้แอกทีฟ (ลอจิก “0”) นั้นข้อมูลบนบัสอาจจะยังไม่สมบูรณ์ ดังนั้นในการออกแบบจึงควรใช้ขอบขาขึ้นของสัญญาณ \overline{IOW} แทนขอบขาลงในการทำให้พอร์ท I/O ที่เกี่ยวข้องรับข้อมูลไปเก็บไว้ เพื่อให้ข้อมูลบนบัสข้อมูลสมบูรณ์เสียก่อน สำหรับในขบวนการ DMA นั้น DMA-Controller จะทำการสร้างสัญญาณ \overline{IOW} เอง โดยที่ค่าแอดเดรสที่อยู่บนบัสแอดเดรสจะเป็นค่าแอดเดรสของหน่วยความจำที่พอร์ท I/O ที่ขอ DMA ต้องการจะอ่านข้อมูล

\overline{MEMW} (Memory Write ; ขา B11) :

ขานี้เป็นเอาท์พุทแอกทีฟที่ลอจิก “0” ซึ่ง 8288 Bus Controller สร้างขึ้นในระหว่าง บัสไซเคิลในการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำของ 8088 สัญญาณ \overline{MEMW} นี้จะถูกส่งออกมาเพื่อให้หน่วยความจำที่แอดเดรสตรงกับค่าแอดเดรสบนบัสแอดเดรสนั้น ทำการรับข้อมูลที่อยู่บนบัสข้อมูลไปเก็บไว้ โดยทั่วไปหน่วยความจำจะรับข้อมูลในช่วงขอบขาขึ้นของสัญญาณ \overline{MEMW}

สำหรับในระหว่างขบวนการ DMA นั้น 8237A-5 DMA-Controller จะทำการควบคุมบัสต่างๆ ของระบบแทน 8088 และสัญญาณ \overline{MEMW} จะถูกใช้ในบัสไซเคิลของการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำ (ข้อมูลถูกส่งจากอุปกรณ์ I/O ไปให้กับหน่วยความจำ)

\overline{MEMR} (Memory Read ; ขา B12) :

ขานี้เป็นเอาท์พุทจาก 8288 ซึ่งสัญญาณนี้จะแอกทีฟ (ลอจิก “0”) ในระหว่างบัสไซเคิลของการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ 8088 เพื่อให้หน่วยความจำที่มีแอดเดรสตรงกับค่าแอดเดรสบนบัสแอดเดรสนั้น ทำการส่งข้อมูลออกมาบนบัสข้อมูล โดยหน่วยความจำนั้นจะต้องส่ง

ข้อมูลออกมาในช่วง 30 ns. ก่อนที่สัญญาณ $\overline{\text{MEMW}}$ จะกลับเป็นลอจิก “1” ทั้งนี้เพื่อให้ 8088 ได้รับข้อมูลที่ถูกต้อง

สำหรับในระหว่างขบวนการ DMA นั้น DMA-Controller จะควบคุมบัสต่างๆ ของระบบ แทน 8088 และสัญญาณ $\overline{\text{MEMR}}$ จะถูกใช้ในบัสไฟเซลของการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ (ข้อมูลถูกส่งจากหน่วยความจำไปให้กับอุปกรณ์ I/O)

DRQ1-DRQ3 (DMA Request 1-3 ; ขา B18 , B6 และขา B16) :

ขาสัญญาณทั้งสามนี้เป็นสัญญาณอินพุทแอกทีฟที่ลอจิก “1” ซึ่งอุปกรณ์ภายนอกสามารถใช้ในการขอ DMA จากระบบ โดยการป้อนระดับสัญญาณลอจิก “1” ให้กับขา DRQ ขาใดขาหนึ่ง (ขา DRQ ทั้งสามนี้จะต่อเข้ากับ DRQ1-DRQ3 ของ 8237A-5)

เมื่อ 8237A-5 ได้รับสัญญาณนี้แล้วก็จะตรวจสอบว่ามีการขอ DMA ในแชนแนลที่มีลำดับความสำคัญ (Priority) สูงกว่าหรือไม่ ถ้าไม่มีก็จะทำการขอ DMA จาก 8088 และตอบรับการขอ DMA จากอุปกรณ์ภายนอก (สัญญาณ $\overline{\text{DACK}}$ ของแชนแนลที่ขอ DMA จะแอกทีฟ) แต่ถ้ามี 8237A-5 ก็จะทำการขอ DMA ให้กับแชนแนลที่มีลำดับความสำคัญสูงกว่าก่อนแล้วจึงทำการขอ DMA ให้กับแชนแนลที่มีลำดับความสำคัญต่ำกว่า ภายใน ROM BIOS ของ IBM/PC จะโปรแกรม 8237A-5 ให้ DRQ1 มีลำดับความสำคัญสูงสุดและ DRQ3 มีลำดับความสำคัญต่ำสุด ดังนั้นถ้ามีการขอ DMA ของอุปกรณ์ภายนอกผ่านทางแชนแนลที่ 1 (DRQ1) และแชนแนลที่ 2 (DRQ2) 8237A-5 ก็จะทำการขอ DMA ให้กับแชนแนลที่ 1 ก่อน จากนั้นเมื่อเสร็จจากขบวนการ DMA ของแชนแนลที่ 1 แล้ว จึงจะทำการขอ DMA ให้กับแชนแนลที่ 2

อย่างไรก็ตาม 8237A-5 ยังมีแชนแนลสำหรับการขอ DMA อยู่อีก 1 แชนแนล คือ แชนแนลที่ 0 (DRQ0) ซึ่งในความเป็นจริงแล้วแชนแนลนี้จะมีลำดับความสำคัญที่สูงกว่าแชนแนลที่ 1 แต่จะไม่ถูกต่อออกมาข้างขาของสล็อต เนื่องจาก IBM/PC จะใช้แชนแนลที่ 0 นี้ในการรีเฟรชหน่วยความจำที่เป็น dynamic RAM

ในการขอ DMA นั้นสัญญาณ DRQ นี้จะต้องแอกทีฟอยู่ในช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น ถ้าสัญญาณนี้แอกทีฟอยู่นานเกินไป จะทำให้เกิดขบวนการ DMA ขึ้นมากกว่า 1 ขบวนการได้ สำหรับวงจรที่ขอ DMA โดยทั่วไปแล้วจะใช้สัญญาณตอบรับการขอ DMA หรือสัญญาณ $\overline{\text{DACK}}$ ของแชนแนลที่ขอ DMA นั้น ในการรีเซ็ตสัญญาณ DRQ เช่น อุปกรณ์ภายนอกที่ขอ DMA ผ่านทางแชนแนลที่ 1 (DRQ1) ก็จะคอยตรวจสอบการตอบรับการขอ DMA จากสัญญาณ

$\overline{\text{DACK}}$ ของแชนแนลที่ 1 ($\overline{\text{DACK1}}$) เมื่อได้รับสัญญาณจาก $\overline{\text{DACK1}}$ แล้วก็จะรีเซ็ตสัญญาณ DRQ1 (เปลี่ยนจากลอจิก “1” เป็น “0”)

$\overline{\text{DACK0}} - \overline{\text{DACK3}}$ (DMA Acknowledge 0-3 ; ขา B19, B17, B26 และ B15) :

สัญญาณทั้ง 4 นี้เป็นเอาต์พุตแอกทีฟที่ลอจิก “0” ซึ่ง 8237A-5 สร้างขึ้นเพื่อแสดงให้วงจรภายนอกที่ขอ DMA ทราบว่าการขอ DMA นั้นได้รับการตอบสนองแล้ว และ 8237A-5 จะเข้าสู่ขบวนการ DMA เพื่อให้การส่งผ่านข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ I/O ที่ขอ DMA กับหน่วยความจำเกิดขึ้นได้โดยตรง (คือไม่ต้องผ่าน 8088) โดยสัญญาณ DACK นี้จะแอกทีฟในแชนแนลใดก็ขึ้นอยู่กับว่าขบวนการ DMA ที่จะเกิดขึ้นนั้น เป็นการตอบสนองต่อการขอ DMA ในแชนแนลใด เช่น ถ้าขบวนการ DMA ที่จะเกิดขึ้นนั้นเป็นการตอบสนองต่อการขอ DMA ในแชนแนลที่ 2 (DRQ2) สัญญาณ $\overline{\text{DACK2}}$ ก็จะแอกทีฟ เป็นต้น

สิ่งที่ได้กล่าวแล้วว่าสัญญาณ DRQ0 นั้นจะไม่ถูกต่อออกมายังขาของสล็อต ดังนั้นวงจรอินเทอร์เฟสจึงไม่สามารถจะขอ DMA ผ่านทางแชนแนล 0 ได้ แต่สัญญาณ $\overline{\text{DACK0}}$ จะถูกต่อออกมายังสล็อตด้วย (ขา B19) ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะแสดงให้วงจรอินเทอร์เฟสต่างๆ ทราบว่าขบวนการ DMA ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ $\overline{\text{DACK0}}$ แอกทีฟนั้น เป็นขบวนการที่ใช้สำหรับการรีเฟรชหน่วยความจำที่เป็น Dynamic RAM ซึ่งวงจรอินเทอร์เฟสที่ใช้หน่วยความจำประเภทนี้สามารถจะนำไปใช้ในการรีเฟรช Dynamic RAM ที่อยู่ในวงจรได้โดยที่การรีเฟรชหน่วยความจำนั้นจะเกิดขึ้นทุกๆ 15.12 usec. หรือทุกๆ 72 คล็อก ดังนั้นสัญญาณ $\overline{\text{DACK0}}$ นี้จะแอกทีฟในทุกๆ 15.12 usec ด้วย

AEN (Address Enable ; ขา A11) :

สัญญาณนี้เป็นเอาต์พุตที่ใช้ในการแสดงว่าบัสไซเคิลที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่สัญญาณ AEN แอกทีฟ (ลอจิก “1”) นั้น เป็นบัสไซเคิลของขบวนการ DMA สำหรับบนเมนบอร์ดของ IBM/PC นั้น จะใช้สัญญาณนี้ในการดิสเอเบิล (Disable) 8288 Bus Controller และจะใช้ดิสเอเบิลพอร์ท I/O ต่างๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับขบวนการ DMA ที่เกิดขึ้นนี้ ที่จำเป็นต้องทำเช่นนี้ก็เพราะในระหว่างขบวนการ DMA นั้น 8237A-5 จะส่งแอดเดรสของหน่วยความจำออกมาบนบัสแอดเดรส และจะทำให้สัญญาณ $\overline{\text{IOR}}$ หรือ $\overline{\text{IOW}}$ แอกทีฟด้วย ดังนั้นถ้าไม่ทำการดิสเอเบิลพอร์ท I/O ที่ไม่เกี่ยวข้องไว้ ก็อาจจะทำให้พอร์ท I/O ที่มีแอดเดรสตรงกับค่าแอดเดรสบนบัสแอดเดรส (ซึ่งเป็นบัสแอดเดรสของหน่วยความจำ) นั้น ทำการอ่านหรือส่งข้อมูลออกมาบนบัสข้อมูลทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้

T/C (Terminal Count ; ขา B27) :

สัญญาณนี้ถูกสร้างขึ้นจากการนำเอาสัญญาณเอาต์พุตที่ขา EOP ของ 8237A-5 มา กลับลอจิก (โดยใช้เกท Inverter) ทำให้สัญญาณ T/C นี้แอกทีฟที่ลอจิก “1” สำหรับสัญญาณนี้จะ แอกทีฟเมื่อจำนวนไบต์ในการส่งผ่านข้อมูลของขบวนการ DMA ในแชนแนลใดแชนแนลหนึ่ง ครบตามจำนวนที่กำหนดไว้ โดยทั่วไปแล้วสัญญาณที่จะถูกใช้ในการสิ้นสุดขบวนการ DMA ที่ทำ การส่งผ่านข้อมูลเป็นบิตอก เนื่องจากสัญญาณนี้จะแอกทีฟโดยไม่แสดงว่าเป็นสัญญาณของ แชนแนลใด ดังนั้นจึงต้องทำการนำสัญญาณ T/C นี้ผ่านเกท Inverter แล้วนำไป OR กับสัญญาณ DACK เพื่อให้สามารถทราบได้ว่า สัญญาณ T/C ที่เกิดขึ้นนั้นเป็นสัญญาณของแชนแนลใด สำหรับแชนแนลที่ 0 นั้นสัญญาณ T/C จะแอกทีฟในช่วงเวลาที่คงที่คือ ทุกๆ 990.804 ms. ซึ่งก็คือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการรีเฟรชหน่วยความจำขนาด 64 Kbyte นั้นเอง

บัสของแหล่งจ่ายไฟของระบบ

+5Vdc (ขา B3 และ B29) :

ขาทั้งสองนี้ต่อกับแหล่งจ่ายไฟ DC +5V ของระบบ โดยจะมีค่าความเที่ยงตรง (Regulated) $\pm 5\%$ คืออยู่ในช่วง +4.75 ถึง +5.25 Vdc

+12Vdc (ขา B9) :

ขานี้จะต่อกับแหล่งจ่ายไฟ DC +12V ของระบบ โดยจะมีค่าความเที่ยงตรง (Regulated) $\pm 5\%$ คือ อยู่ในช่วง +11.4 ถึง +12.6 Vdc

-5Vdc (ขา B5):

ขานี้จะต่อกับแหล่งจ่ายไฟ DC -5V ของระบบ โดยจะมีค่าความเที่ยงตรง (Regulated) $\pm 10\%$ คือ อยู่ในช่วง -5.5 ถึง -4.5 Vdc

-12Vdc (ขา B7) :

ขานี้จะต่อกับแหล่งจ่ายไฟ DC -12V ของระบบ โดยจะมีค่าความเที่ยงตรง (Regulated) $\pm 10\%$ คือ อยู่ในช่วง -13.2 ถึง -10.8 Vdc

GND (ขา B1 , B10 และ B31) :

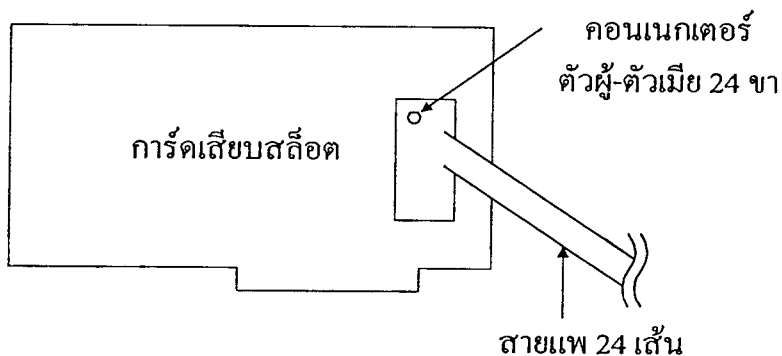
ขาทั้งสามนี้จะต่อกับกราวด์ (Ground) ของระบบ

การส่งข้อมูลออกและนำข้อมูลเข้าจำเป็นต้องมีเส้นทาง ในที่นี้เราจะเรียกว่า พอร์ต (port) ซึ่งมีการจัดสรรที่ไม่ซ้ำซ้อนกัน มีแอดเดรส (address) ที่แน่นอน ตัวอย่างการจัดสรรแอดเดรสที่ใช้ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกบน IBM PC แสดงดังตารางที่ 2.9 และการสร้างการ์ด (card) เพื่อใช้เชื่อมต่อกับ I/O slot แสดงดังรูปที่ 2.37 ตามลำดับ

พื้นที่แอดเดรสของอุปกรณ์ I/O											
เลขฐานสิบหก	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	อุปกรณ์ I/O
00-0F	0	0	0	0	0	Z	A3	A2	A1	A0	DMA CHIP B237-2
20-21	0	0	0	0	1	Z	Z	Z	Z	A0	INTERRUPT 8259A
40-43	0	0	0	1	0	Z	Z	Z	A1	A0	TIMER 8253-5
60-63	0	0	0	1	1	Z	Z	Z	A1	A0	PPI 8255A-5
80-83	0	0	1	0	0	Z	Z	Z	A1	A0	DMA PAGE REGS
AX	0	0	1	0	1						NMI MASK REG
CX	0	0	1	1	0						RESERVED
EX	0	0	1	1	1						RESERVED
3F8-3FF	1	1	1	1	1	1	1	A2	A1	A0	TP RS-232-C CD
3F0-3F7	1	1	1	1	1	1	0	A2	A1	A0	5 1/4" DRV ADAPTOR
2F8-2FF	1	0	1	1	1	1	1	Z	A1	A0	RESERVED
378-37F	1	1	0	1	1	1	1	Z	A1	A0	PARALLEL PRTR PRT
3D0-3DF	1	1	1	1	0	1	A3	A2	A1	A0	COLOR/GRAPHICS ADAPTER
278-27F	1	0	0	1	1	1	1	Z	A1	A0	RESERVED
200-20F	1	0	0	0	0	0	A3	A2	A1	A0	GAME I/O ADAPTOR
3B0-3BF	1	1	1	0	1	1	A3	A2	A1	A0	IBM MONOCHROME DISPLAY PARALLEL PRINTER ADAPTER

Z เป็น 1 หรือ 0 ก็ได้

ตารางที่ 2.9 แสดงการจัดสรรแอดเดรสที่ใช้ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกบน IBM PC



รูปที่ 2.37 แสดงการ์ดที่ใช้เสียบใน I/O slot (PC - card)

ฮาร์ดแวร์ในการอินพุต/เอาต์พุตข้อมูลมีรายละเอียดของวงจรการเชื่อมต่อ ดังนี้

1. วงจรอีน่าเบิล (enable circuit)
2. วงจรเอาต์พุตแลตช์ (output latches circuit)
3. วงจรอินพุตบัฟเฟอร์ (input latches circuit)

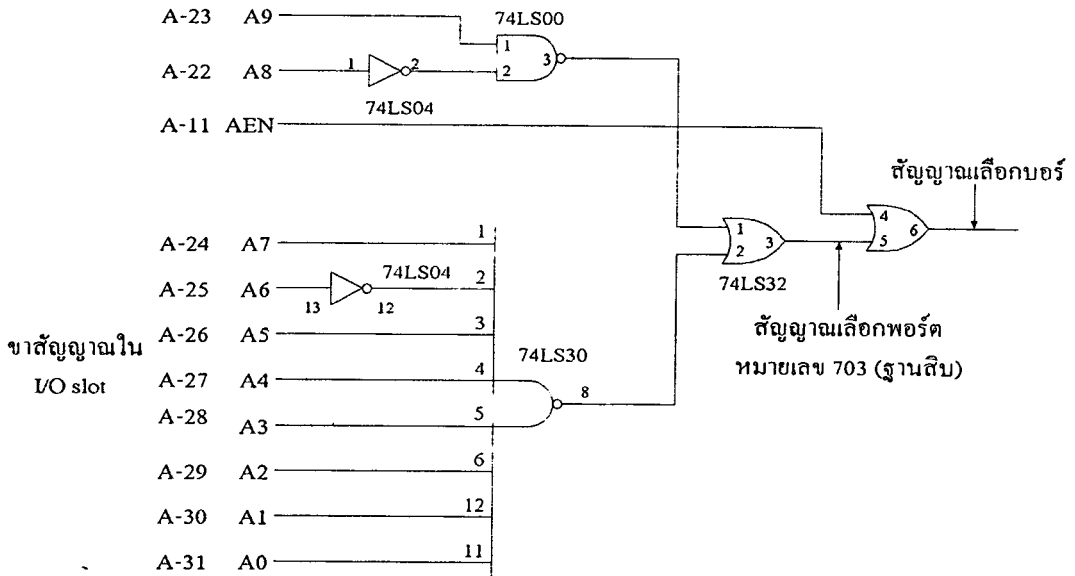
วงจรอีน่าเบิล

การสื่อสารภายในคอมพิวเตอร์มีสายข้อมูล (data bus) เพื่อส่งและรับข้อมูลถึงกัน การส่งและรับข้อมูล ถ้าไม่มีตำแหน่งในการส่งและรับก็ไม่ว่าส่งไปที่ไหนและให้ที่ใครรับ จึงจำเป็นต้องมีสายแอดเดรส (address bus) ในการกำหนดตำแหน่งภายในคอมพิวเตอร์ เช่นเดียวกับเลขที่ห้อง เพื่อจะได้รับรู้กันภายในคอมพิวเตอร์ว่า ต้องส่งข้อมูลดังกล่าวจากเลขที่ห้องไหนไปสู่ห้องไหน

ในกรณีที่มีการสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอก ก็ต้องมีการถอดรหัสแอดเดรสให้หมายเลขแก่อุปกรณ์นั้น การถอดรหัสแอดเดรสต้องไม่มีการเข้าซ้อนกับแอดเดรสที่ใช้สื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกตัวอื่น แอดเดรสที่ใช้สื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกสำหรับ IBM PC ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2.9 พบว่าแอดเดรสช่วง 2B0 - 2BF (เลขฐานสิบหก) ไม่มีการใช้ เราจึงสามารถถอดรหัสแอดเดรสใช้งานการเชื่อมต่อในช่วงดังกล่าว เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลออกและนำข้อมูลเข้าได้

การถอดรหัสแอดเดรสเพื่อการเลือกพอร์ต (port select) ได้ใช้สายแอดเดรส A0-A9 มีค่าเท่ากับ 1010111111 (หมายเลข 703 เมื่อเป็นเลขฐานสิบ) จึงทำให้สัญญาณการเลือกพอร์ตมีลอจิก 0 แต่การที่จะส่งหรือรับข้อมูลจากสายข้อมูลได้ ต้องมีการต่อกับสาย AEN (address enable) ของ IBM PC ด้วย เพราะไม่เช่นนั้น การส่งหรือรับข้อมูลจากสายข้อมูลจะเกิดการผิดพลาดได้ สัญญาณที่ได้

จากการเลือกพอร์ตนำมาออร์ (or) กับ AEN จะใช้ในการอินาเบิต วงจรส่งหรือรับข้อมูลจึงทำให้มีการส่งข้อมูลหรือรับข้อมูลเกิดขึ้น รายละเอียดของวงจรแสดงดังรูปที่ 2.38

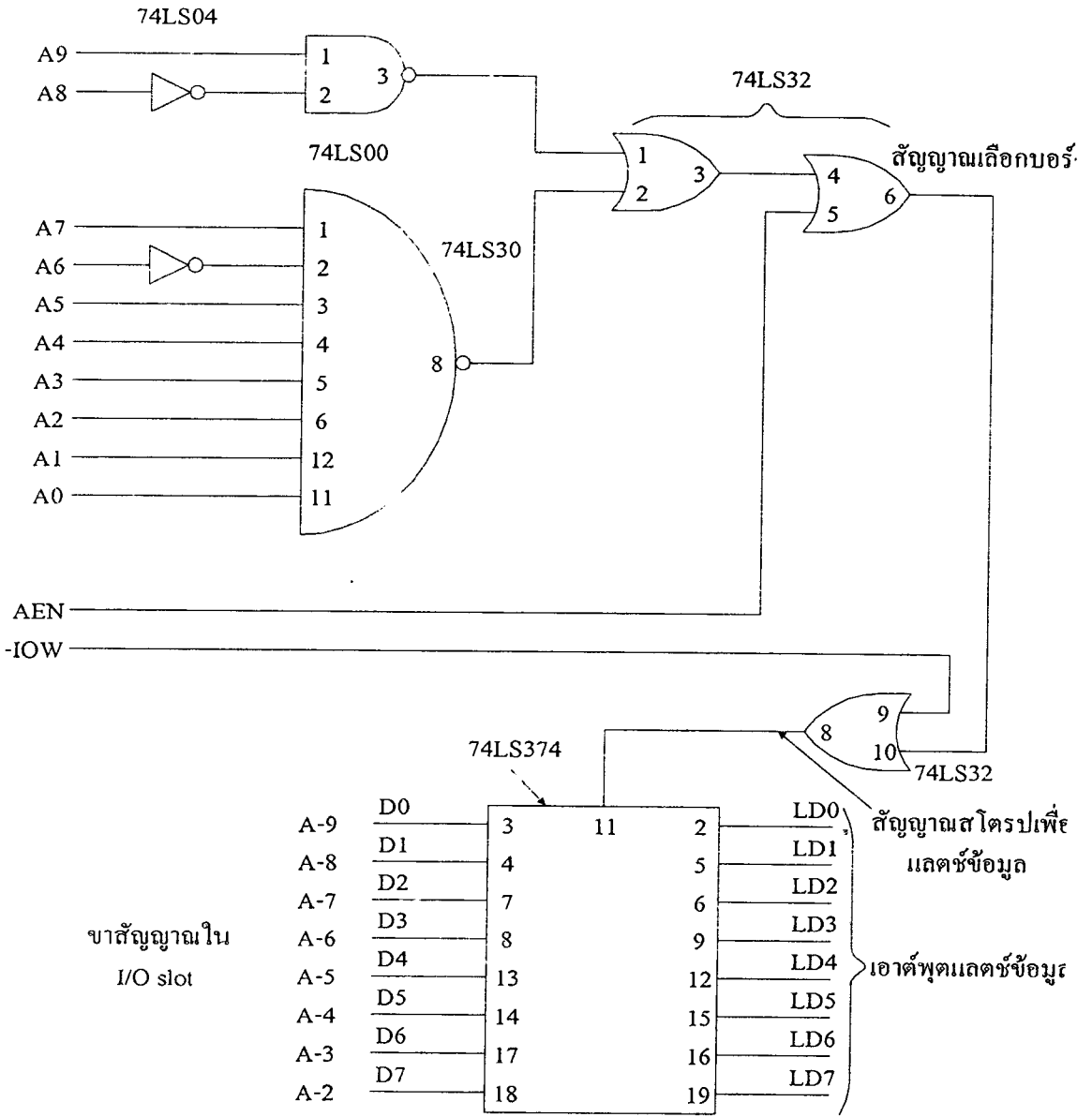


รูปที่ 2.38 แสดงรายละเอียดวงจรอินาเบิต

วงจรเอาต์พุตแลตซ์

การส่งข้อมูลออกใช้ IC เบอร์ 74LS374 เป็นตัวแลตซ์ข้อมูล การส่งข้อมูลออกต้องผ่านทางสายข้อมูล D0-D7 และต้องทำการอินาเบิตเพื่อแลตซ์ข้อมูล ซึ่งยังไม่เพียงพอที่วงจรจะทำงานได้ ต้องมีสายสัญญาณอีกสายหนึ่งเข้ามาเกี่ยวข้องคือ -IOW (input/output write) สายสัญญาณนี้มีลอจิก 0 เมื่อมีการใช้คำสั่ง OUT address, data ในภาษาเบสิกเพื่อทำการส่งข้อมูลออก ฉะนั้นจำเป็นต้องเชื่อมต่อกับสายสัญญาณดังกล่าวไว้ในวงจรอินาเบิต เพื่อการแลตซ์ข้อมูลในวงจรส่งข้อมูลออก รายละเอียดของวงจรแสดงดังรูปที่ 2.39

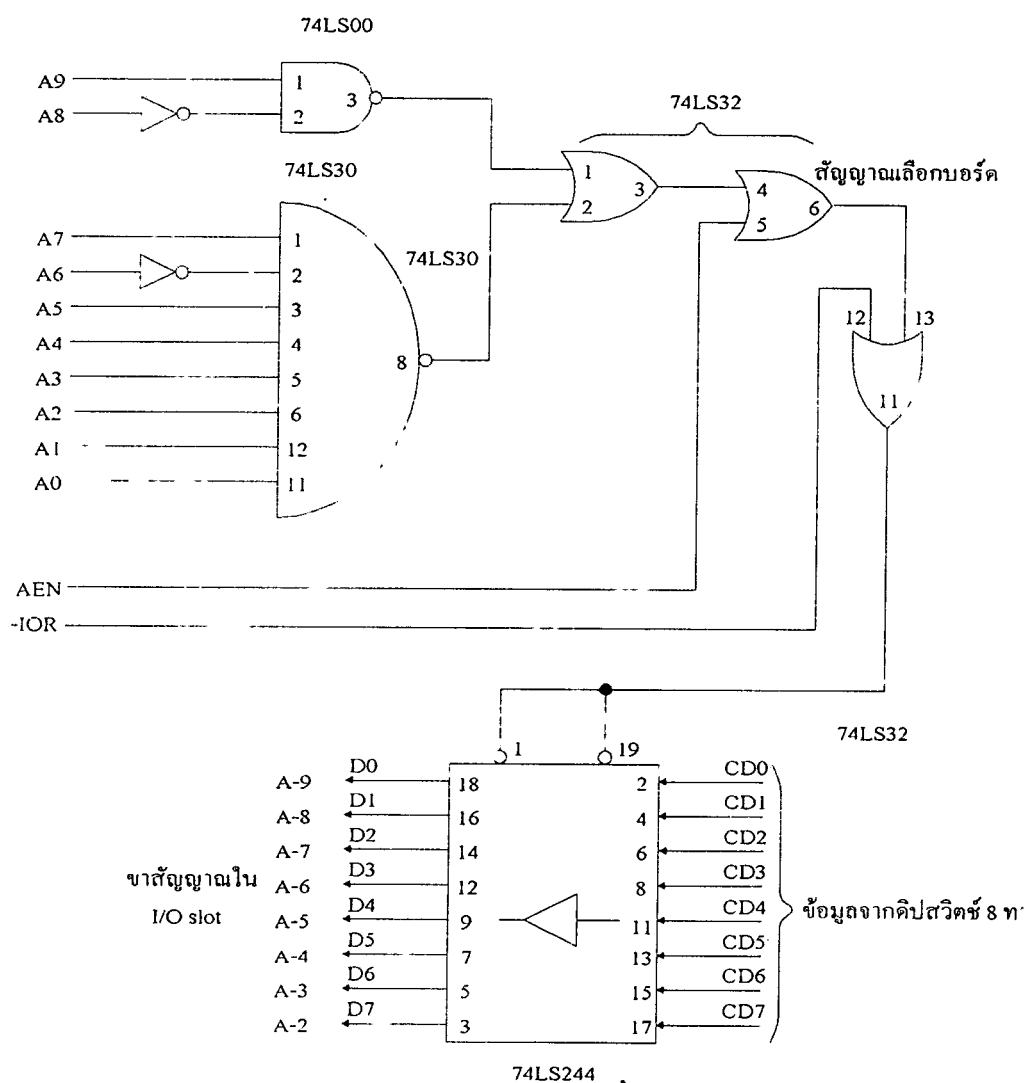
ADDRESS = 703



รูปที่ 2.39 แสดงรายละเอียดวงจรเอาต์พุตแลตซ์

วงจรรีนาพุตบัฟเฟอร์

การนำข้อมูลเข้าใช้ IC เบอร์ 74LS244 เป็นบัฟเฟอร์ของข้อมูล การนำข้อมูลเข้าก็ต้องมีอินพุต เพื่อให้นำข้อมูลเข้าทางสายข้อมูลเช่นกัน อย่างไรก็ตาม ต้องมีสายสัญญาณอีกสายหนึ่งเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย สายดังกล่าวคือ -IOR (input/output read) สายสัญญาณนี้มีลอจิก 0 เมื่อมีการใช้คำสั่ง $A = \text{INP}(\text{address})$ ในภาษาเบสิก ฉะนั้นจำเป็นต้องเชื่อมต่อสายสัญญาณนี้เข้ากับวงจรรีนาเบิต รายละเอียดของวงจรแสดงดังรูปที่ 2.40

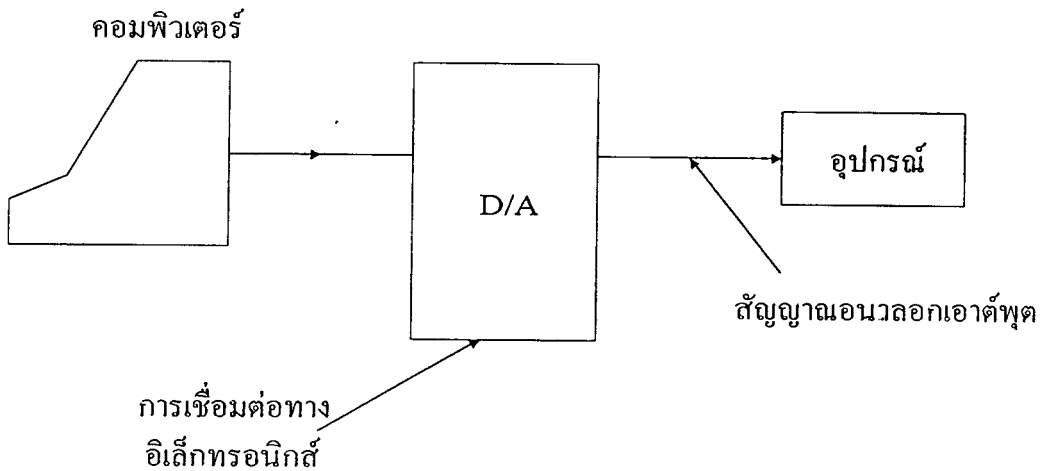


รูปที่ 2.40 แสดงรายละเอียดวงจรรีนาพุตบัฟเฟอร์

2.9 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก(Digital to Analog Converter)

การแปลงผันสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกสำหรับ IBM PC

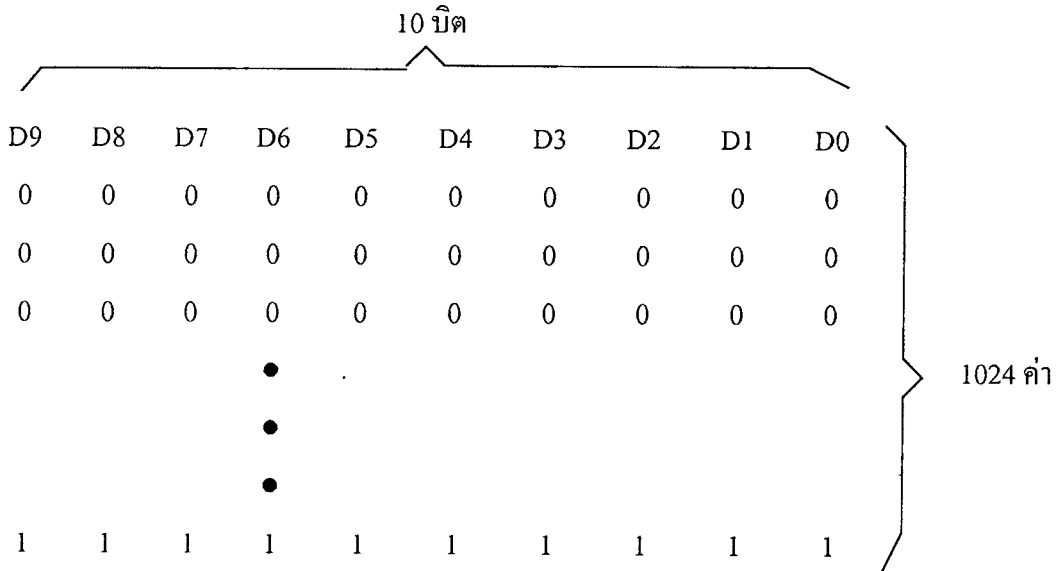
ในระบบคอมพิวเตอร์มีการทำงานเป็นแบบดิจิทัลการจะเชื่อมต่อเข้ากันได้กับสัญญาณอนาลอก จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณดิจิทัลให้เป็นสัญญาณอนาลอก เพื่อทำการควบคุมอุปกรณ์ภายนอกแบบอนาลอกนั้น แสดงดังไดอะแกรมรูปที่ 2.41



รูปที่ 2.41 แสดง ไดอะแกรมการเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก เพื่อจะเข้ากันได้กับอุปกรณ์ภายนอกแบบอนาลอก

อุปกรณ์ภายนอกแบบอนาลอก ที่ถูกควบคุมโดยสัญญาณดิจิทัลจากคอมพิวเตอร์ ได้แก่ การควบคุมความเร็วของ DC มอเตอร์ การควบคุมเฟสแรงดันไฟฟ้าภาคเพาเวอร์คอนโทรล เป็นต้น การแปลงเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก มีความสัมพันธ์กับแบบสมนัย โดยที่ถ้าหากสัญญาณดิจิทัลที่ใช้ มีค่าจำนวนบิตเท่ากับ X บิต เมื่อต้องการเปลี่ยนเป็นสัญญาณอนาลอกแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ Y โวลต์ เราพบว่าแต่ละช่วง (step) ของสัญญาณที่เปลี่ยนไปจะแตกต่างกัน

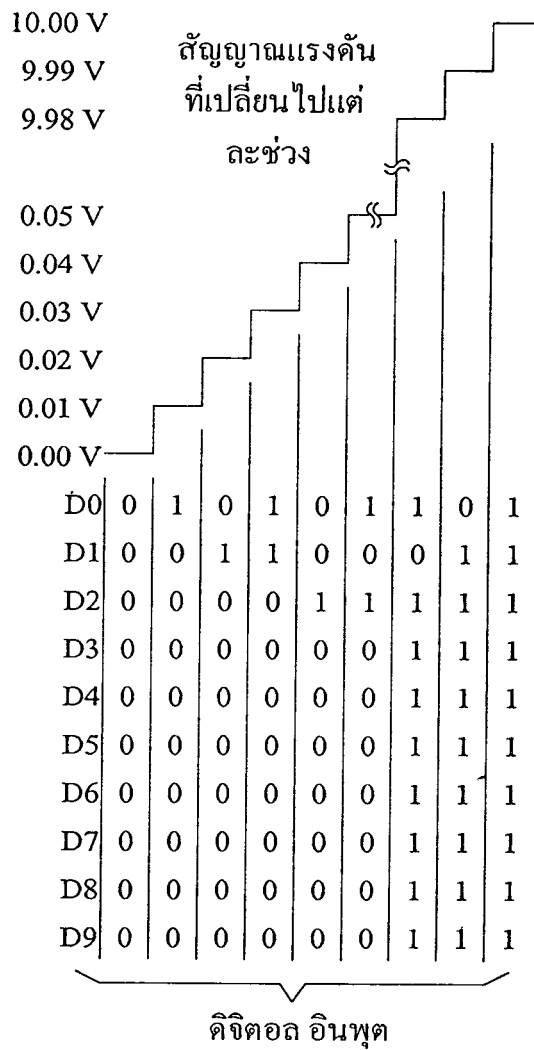
เมื่อสัญญาณดิจิตอลเปลี่ยนไปแต่ละบิต สัญญาณอนาลอกที่เปลี่ยนไปแต่ละช่วงดังกล่าว จะมีค่าเท่ากับ $(Y/(2^X - 1)) V$ ยกตัวอย่าง ถ้าสัญญาณดิจิตอลมีอินพุตจำนวนบิตเป็น 10 บิต จะมีค่า $2^{10} - 1$ เท่ากับ 1023 และแสดงการเปลี่ยนค่าแต่ละบิตจาก 0-1024 ดังรูปที่ 2.42



รูปที่ 2.42 แสดงการเปลี่ยนค่าแต่ละบิต D0-D9 จาก 0 ถึง 1024

และถ้าสัญญาณอนาลอกที่เอาต์พุต แรงดันไฟฟ้าออกมามีค่ามากที่สุดเป็น 10 V ฉะนั้นแต่ละช่วงของแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปเมื่อค่าแต่ละบิตเปลี่ยน จะเท่ากับ $10.0 / 1023$ หรือ $0.009775 V$ หรือ ประมาณ 10 mV ตามลำดับ ฉะนั้นเมื่อค่าแต่ละบิตเปลี่ยนไป 1 บิตทำให้สัญญาณเอาต์พุต แรงดันไฟฟ้า เปลี่ยนไปช่วงละประมาณ 10 mV จะได้แรงดันเอาต์พุตอยู่ในช่วง 0.00 ถึง +10.00 V แสดงดังรูปที่ 2.43 และในกรณีที่มีการเปลี่ยนจำนวนบิตของสัญญาณดิจิตอลเป็น 12 บิต ($2^{12} - 1 = 4096 - 1$) อินพุตเข้า พบว่าสัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่เปลี่ยนไปแต่ละช่วงจะเป็น $10.0 / (4096 - 1) = 0.0024 V$ และถ้าเปลี่ยนจำนวนบิตใหม่เป็น 6 บิต ($2^6 - 1 = 64 - 1$) อินพุตเข้า พบว่าสัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่เปลี่ยนไปแต่ละช่วงเป็น $10.0 / (64 - 1) = 0.158 V$ แสดงการเปลี่ยนช่วงแต่ละช่วงของสัญญาณอนาลอก เมื่อเปลี่ยนจำนวนบิตอินพุตเข้าของสัญญาณดิจิตอล ดังรูปที่ 2.44

แรงดันเอาต์พุต

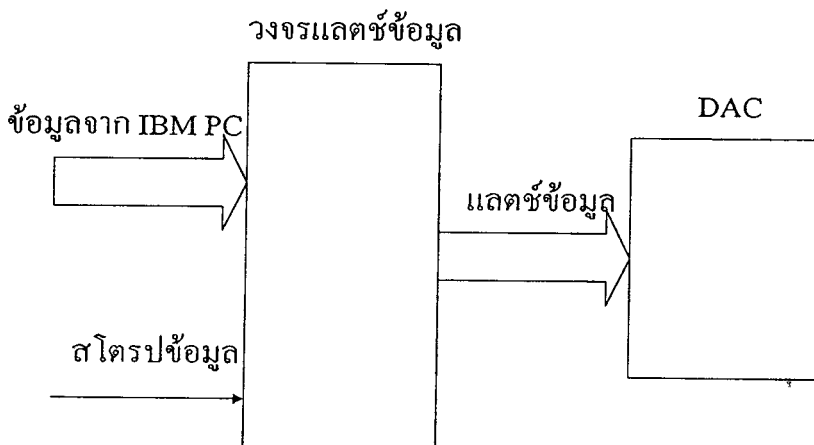


รูปที่ 2.43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดิจิตอลกับแรงดันเอาต์พุตของ DAC 10 บิต



รูปที่ 2.44 แสดงการเปลี่ยนช่วงแต่ละช่วงของสัญญาณอนาลอกเอาต์พุต เมื่อเปลี่ยนจำนวนบิตของสัญญาณดิจิตอลอินพุตเป็น 12, 10, 6 บิต ตามลำดับ

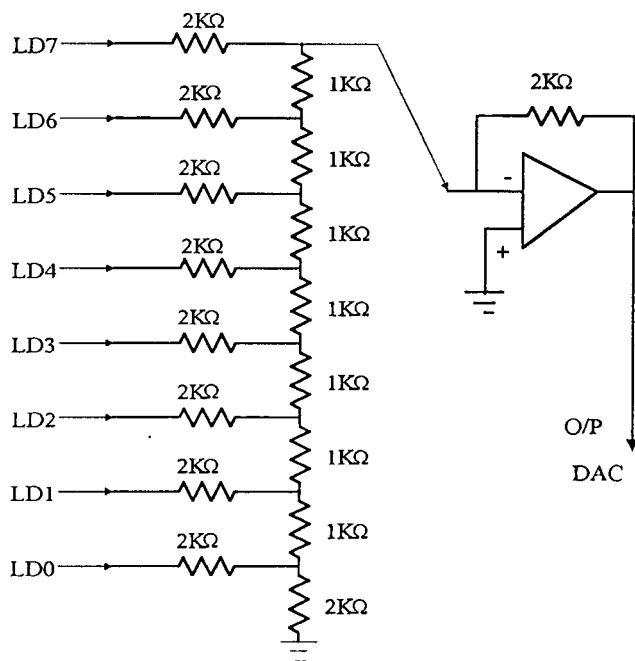
จากรูปที่ 2.44 พบว่าถ้าหากเพิ่มจำนวนบิตของสัญญาณดิจิตอลมากขึ้น จะทำให้สัญญาณอนาลอกแต่ละช่วงมีค่าน้อยลง ซึ่งเป็นการเพิ่มความละเอียดของสัญญาณมากขึ้นการแปลงผันสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก สามารถกระทำได้โดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เชื่อมต่อเข้ากับ IBM PC แสดงไดอะแกรมดังรูปที่ 2.45



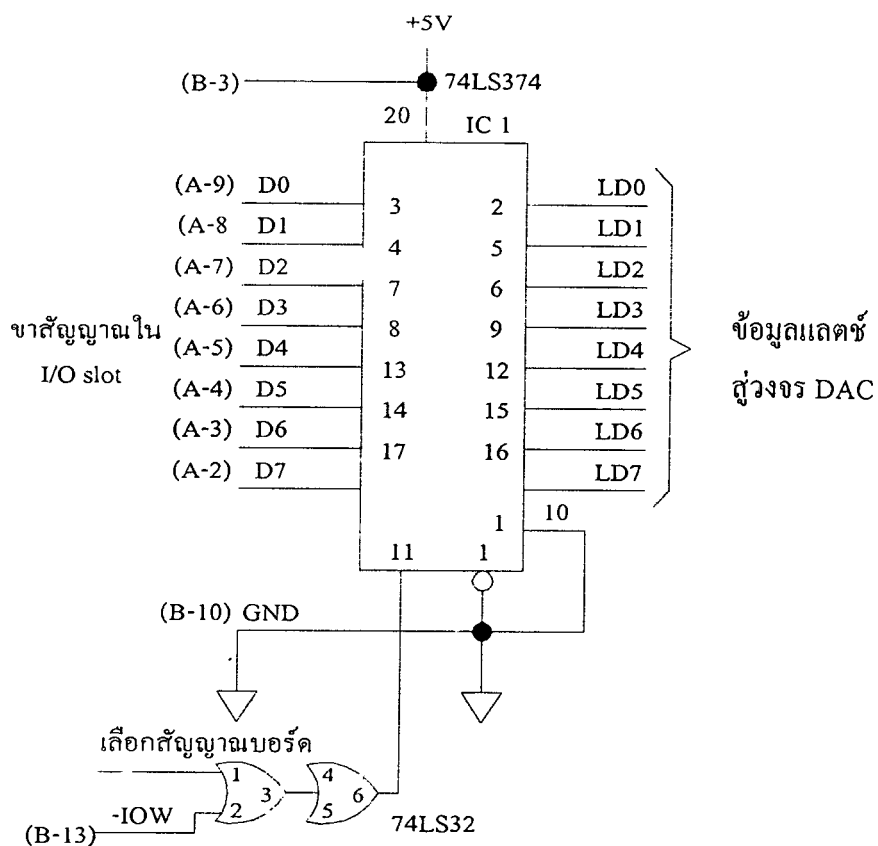
รูปที่ 2.45 แสดงไดอะแกรมการเชื่อมต่อวงจร-DAC เข้ากับ IBM PC

วงจร DAC ขนาด 8 บิต สามารถใช้แบบ R-2R ladder แสดงรายละเอียดวงจรดังรูปที่ 2.46 โดยที่ทำการเชื่อมต่อขา data D0-D7 เข้ากับวงจรแลตช์ข้อมูล (latch data) ที่เชื่อมต่อเข้ากับ IBM PC ทาง

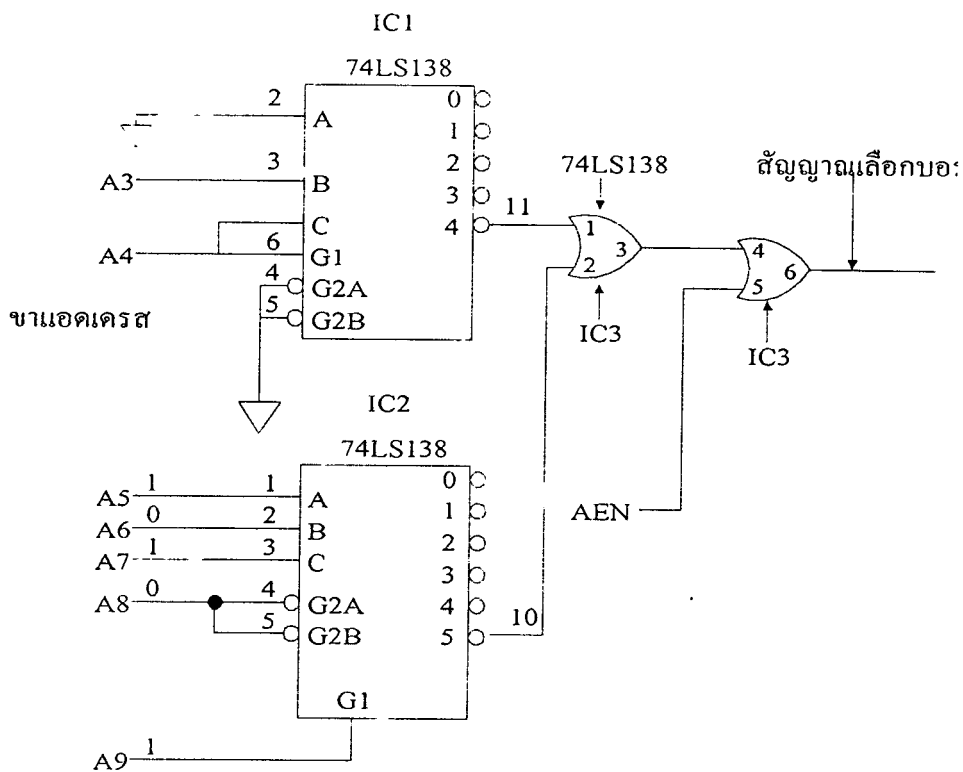
I/O slot ที่มีการติดตั้งแอดเดรสพอร์ต หมายเลข 2B0H-2B7H แสดงรายละเอียดของวงจรดังรูปที่ 2.47 และรูปที่ 2.48 ตามลำดับ



รูปที่ 2.46 แสดงรายละเอียดของวงจร DAC แบบ R-2R ladder ขนาด 8 บิต

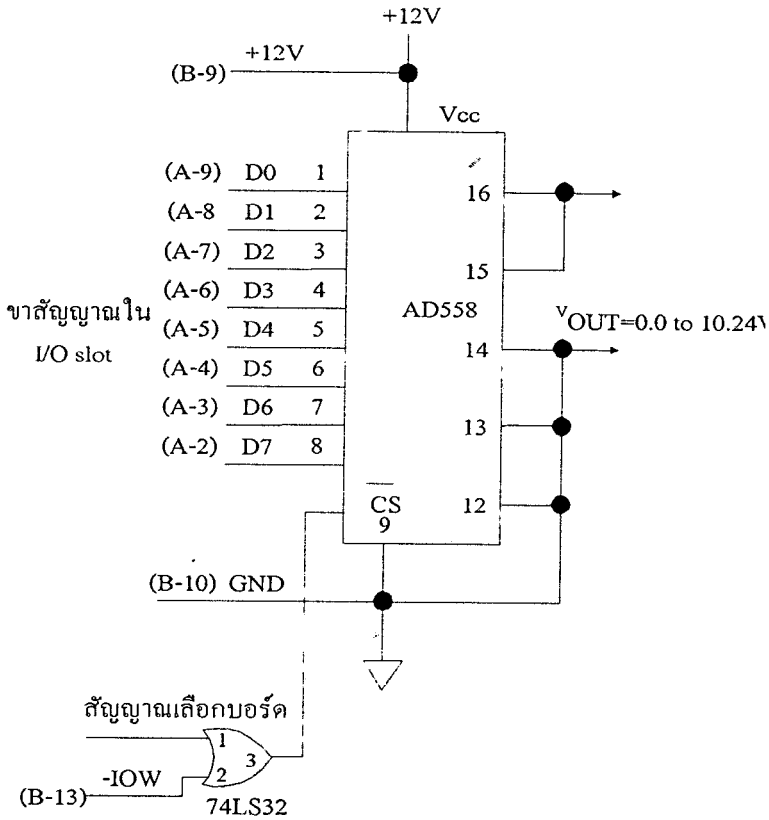


รูปที่ 2.47 แสดงรายละเอียดวงจรเลขตซ์ข้อมูล



รูปที่ 2.48 รายละเอียดวงจรดีโค้ดแอดเดรสพอร์ต หมายเลข 2B0H-2B7H

และในกรณีที่ใช้ IC DAC เบอร์ AD558 สามารถเชื่อมต่อเข้ากับ IBM PC ได้โดยตรง แสดงรายละเอียดของวงจรต่อเชื่อมกับ IC AD558 ดังรูปที่ 2.49 โดยที่สามารถใช้วงจรดีโค้ดแอดเดรสพอร์ตที่แสดงดังรูปที่ 2.48 ได้ทางขา 1 ของ IC 74LS32



รูปที่ 2.49 แสดงรายละเอียดการเชื่อมต่อ IC DAC ขนาด 8 บิต เบอร์ AD558 เข้ากับ I/O slot บน IBM PC โดยที่สัญญาณอนาลอกเอาต์พุตอยู่ในช่วง 0 ถึง 10.24 V

จากรูปที่ 2.46 ซึ่งเป็นวงจร DAC ขนาด 8 บิต แบบ R-2R ladder พบว่าการเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลขนาด 8 บิต จาก 0-255 ค่าเป็นสัญญาณอนาลอกมีค่า 0-5 V โดยที่การเปลี่ยนแต่ละช่วงจะมีค่าเท่ากับ $5/(2^8-1) = 0.019$ V และจากรูปที่ 2.49 เป็นวงจร DAC ขนาด 8 บิต โดยใช้ IC เบอร์ AD558 พบว่าสัญญาณดิจิทัลขนาด 8 บิต จาก 0-255 ค่าเป็นสัญญาณอนาลอกมีค่า 0-10.24 V โดยที่การเปลี่ยนแต่ละช่วงของสัญญาณอนาลอกเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับ $10.24/(2^8-1) = 0.040$ V ตามลำดับ

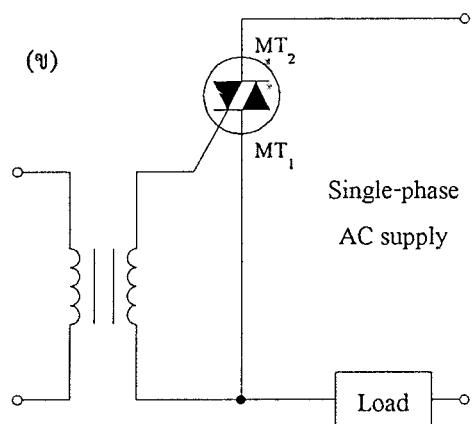
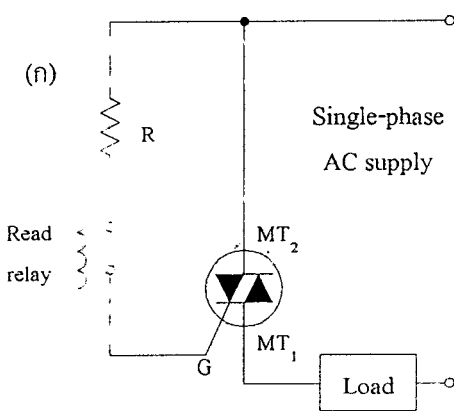
7 เฟสคอนโทรลเอซีเรกิวเลเตอร์ (Phase -Controlled AC Regulator)

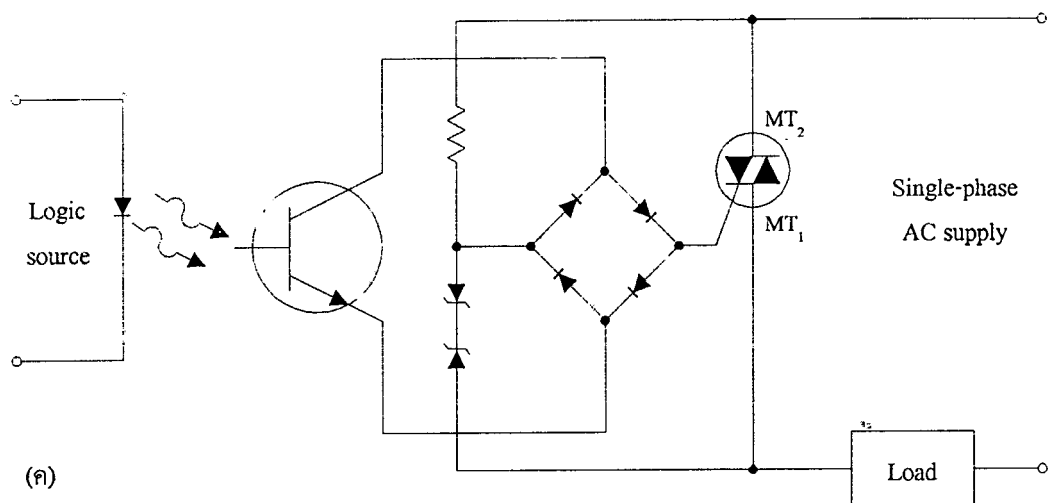
๓

วงจรส่วนนี้จะรับสัญญาณอนาลอกจากไมโครคอมพิวเตอร์เข้ามาควบคุมอัตราการให้ความร้อนแก่เตา โดยจะควบคุมด้วยอุปกรณ์กำลังที่ เรียกว่า Opto-triac หรือ ที่เรียกว่า Opto-coupler ซึ่งจะอยู่ภายใน โซลิดสเตตรีเลย์ เพื่อแยกวงจรส่วนของไมโครคอมพิวเตอร์ ออกจากไฟฟ้ากระแสลับ 220 V ที่เป็นตัวจ่ายพลังงานความร้อนแก่เตา การควบคุมกำลังไฟฟ้านี้จะใช้ลักษณะการควบคุมเฟส ของ ไตรแอก

7.1 โซลิดสเตตรีเลย์(Solid-state relay หรือ SSR)

โซลิดสเตตรีเลย์โดยทั่วไปจะมีเพียง 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ประเภทใช้สิ่งประดิษฐ์โซลิดสเตตทั้งหมด และประเภทที่ใช้สิ่งประดิษฐ์โซลิดสเตตร่วมกับรีเลย์แบบถิ้น (Reed relay) วงจรควบคุมและวงจรโหลดของรีเลย์โซลิดสเตตจะแยกจากกันผ่านทางไฟฟ้า วิธีที่นิยมใช้กันก็คืออาศัยสัญญาณจาก ออปโตคัปเปิลอร์ (Optocoupler) เป็นตัวกระตุ้น ในวงจรโหลดที่รับกระแสสลับเรามากใช้ไตรแอกเป็นสวิตช์ ส่วนในวงจรโหลดที่รับกระแสตรง เราใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์แทน ตัวอย่างของวงจรโซลิดสเตตรีเลย์เป็นดังรูปที่ 2.50

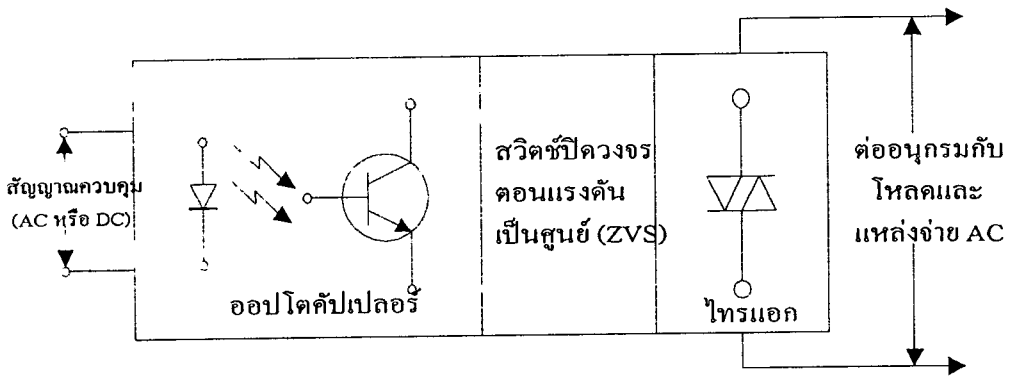




รูปที่ 2.50 แสดงวิธีการแยกส่วนวงจรทางไฟฟ้า (Electrical isolation methods): (ก) reed relay, (ข) Gate pulse transformer and (ค) Optocoupler

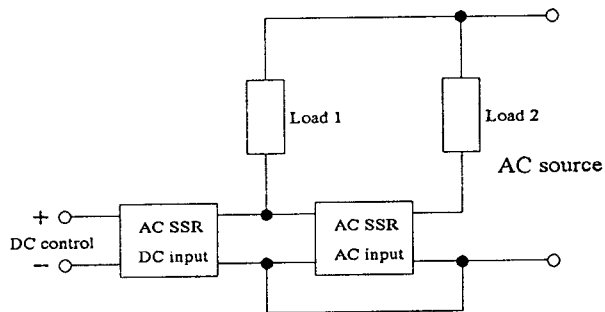
วงจรในรูปที่ 2.50 (ก) แสดงถึง โซลิดสเตตรีเลย์แบบลูกผสม (hybrid) คือ ใช้รีเลย์แบบกลีนสำหรับแยกวงจรทางด้านเข้าออกจากวงจรทางด้านออก ในรูปที่ 2.50 (ข) เราใช้หม้อแปลงพัลส์สำหรับแยกวงจรทั้งสอง ส่วนในรูปที่ 2.50 (ค) เราใช้ฮอปโตคัปเปิลอร์สำหรับจุดประสงค์ดังกล่าว ถ้าจะให้ โซลิดสเตตรีเลย์ทำงานได้ โดยมีการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic interference หรือ EMI) น้อย เราต้องใส่สวิทช์ปิดวงจรตอนแรงดันเป็นศูนย์ (zero voltage switch หรือ ZVS) เข้าไปด้วยดังไดอะแกรมในรูปที่ 2.51 สวิทช์ดังกล่าวนี้เป็นไอซีซึ่งทำหน้าที่ตรวจสอบขณะเวลาที่แรงดันกระแสสลับเพิ่มขึ้นหรือลดลงผ่านค่าศูนย์ และเมื่อตรวจสอบพบแล้วก็ส่งสัญญาณออกมาในรูปของพัลส์ซึ่งมีช่วงเวลายาวประมาณ $100 \mu\text{s}$ รอบผ่านจุดศูนย์ของแรงดันกระแสสลับดังกล่าว พัลส์นี้จะไปจุดชนวนไทรแอกอีกทอดหนึ่ง

ตามปกติแล้ว โซลิดสเตตรีเลย์ที่ควบคุมด้วยแรงดันกระแสตรงซึ่งมีจำหน่ายในท้องตลาดนั้น จะสามารถรับแรงดันเข้าได้ตั้งแต่ 3 V ถึงประมาณ 32 V ส่วนพวกที่ควบคุมด้วยแรงดันกระแสสลับจะสามารถรับแรงดันเข้าได้สูงกว่านี้ ดังนั้นในกรณีที่แรงดันเข้าเป็นแรงดันกระแสตรงค่าสูงกว่า 32 V ไม่มากนัก เราอาจใช้โซลิดสเตตรีเลย์ที่ควบคุมด้วยกระแสตรง แต่ต่อตัวด้านทานอนุกรมกับขั้วทางด้านเข้าเอาไว้ แต่ถ้าแรงดันกระแสตรงทางด้านเข้ามีค่าสูงกว่า 32 V มากๆ เช่น อยู่ในช่วง 80-140 V เราก็หันไปใช้โซลิดสเตตรีเลย์แบบที่ควบคุมด้วยแรงดันกระแสสลับแทน

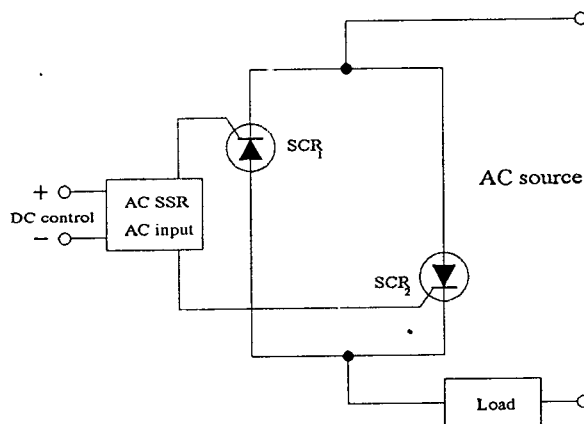


รูปที่ 2.51 แสดงไคอะแกรมการใส่ ZVS

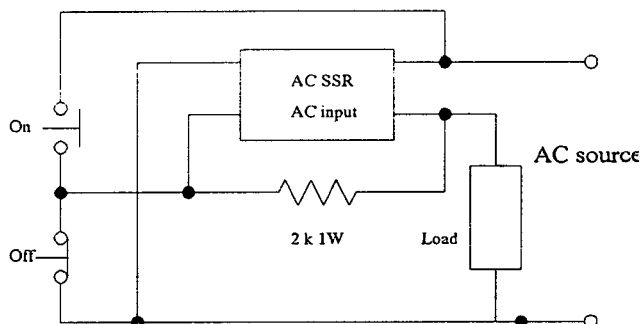
ตัวอย่างการใช้งาน โซลิดสเตตรีเลย์แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.52



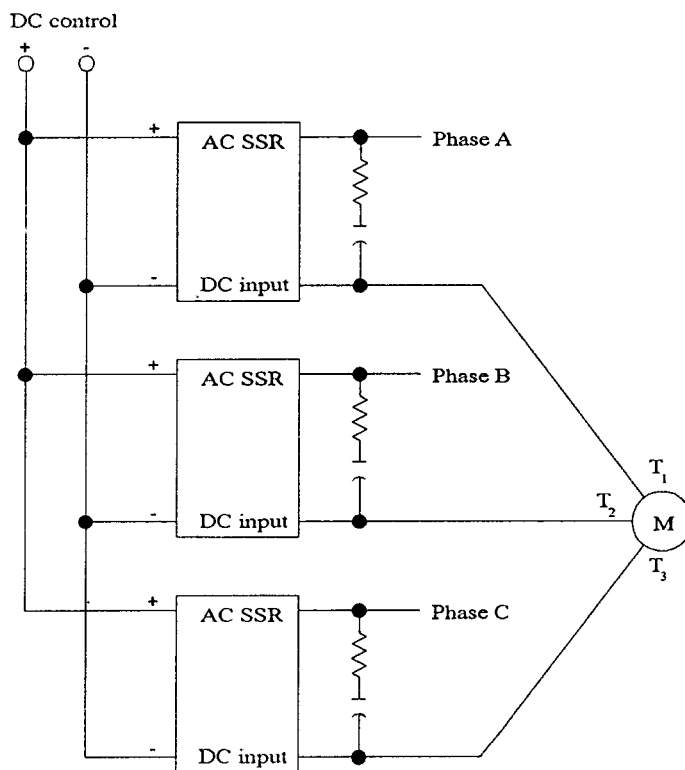
(ก) Simultaneous control of two ac loads



(ข) Low-power control of high power thyristors



(๗) Ac input SSR used as a latching relay



(๘) Simultaneous control of three ac SSRs to obtain three-phase control

รูปที่ 2.52 แสดงตัวอย่างการใช้งานโซลิดสเตตรีเลย์

จากรูปที่ 2.52 (ก) แสดงการใช้โซลิดสเตตรีเลย์ 2 ตัวทำงานร่วมกันเป็นสวิตช์ขั้วเดียวสองทาง (single-pole-double-throw หรือ SPDT) ในรูปนี้ถ้ามีแรงดันกระแสตรงป้อนเข้าสู่รีเลย์ตัวแรก โหลดตัวที่ 1 จะมีกระแสไหลผ่าน ส่วนโหลดตัวที่ 2 ไม่มีกระแสไหลผ่าน แต่ถ้าไม่มีแรงดันเข้าสู่รีเลย์ตัวแรก เหตุการณ์จะสลับกันในตอนแรกคือ โหลดตัวที่ 1 ไม่มีกระแส ส่วนตัวที่ 2 มีกระแสไหลผ่าน

รูปที่ 2.52 (ข) แสดงการใช้โซลิดสเตตรีเลย์ในการควบคุมเอสซีอาร์กำลังสูง 2 ตัว ซึ่งต้องขนานกลับทางกันในวงจรควบคุมแรงดันกระแสสลับ

รูปที่ 2.52 (ค) แสดงการใช้โซลิดสเตตรีเลย์เป็นแลตชิ่ง รีเลย์ (Latching relay) ซึ่งควบคุมโดยสวิตช์ปิดเปิดแบบกดปุ่ม

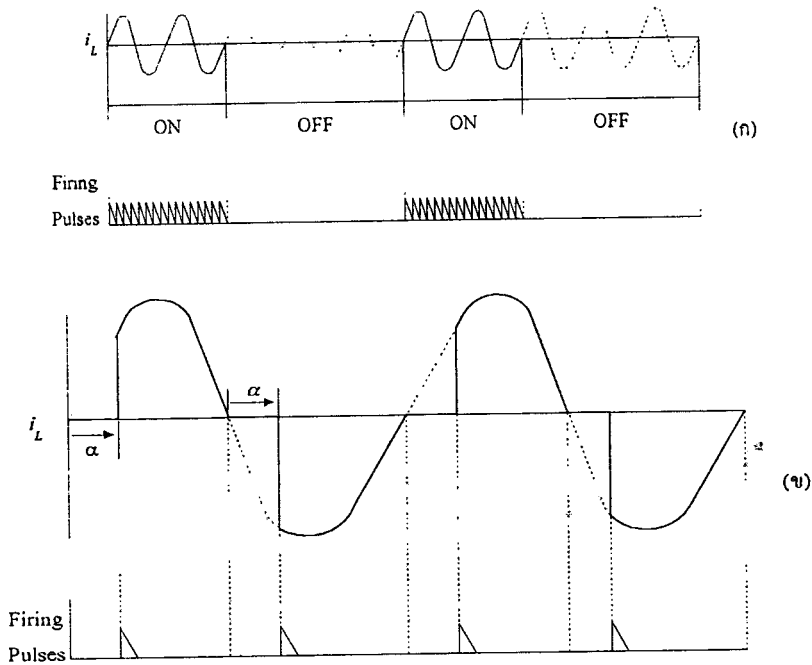
รูปที่ 52 (ง) เราใช้โซลิดสเตตรีเลย์รวม 3 ตัว สำหรับควบคุมมอเตอร์แบบสามเฟส

การควบคุมแรงดันกระแสสลับ

การควบคุมกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายกระแสสลับแบบหนึ่งได้แก่ การปรับค่าอาร์เอ็มเอส (rms value) หรือค่าประสิทธิผล (effective value) ของแรงดันกระแสสลับโดยใช้ไทรสเตอร์เป็นตัวปิดเปิดวงจรระหว่างโหลดกับแหล่งจ่ายในช่วงเวลาที่เหมาะสม วิธีการที่มีใช้อยู่ 2 วิธีคือ

(ก) วิธีควบคุมแบบ เปิด-ปิด (ON-OFF Control) ทำโดยต่อโหลดเข้ากับแหล่งจ่ายในช่วงเวลาเต็มรอบรอบเดียวหรือหลายรอบของการเปลี่ยนแปลงของแรงดันกระแสสลับ และหลังจากนั้นก็ตัดโหลดออกในช่วงเวลาที่เป็นจำนวนเต็มรอบการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้วยเช่นกัน วิธีควบคุมแบบนี้ให้รูปคลื่นของแรงดันคร่อมโหลดดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.53 (ก)

(ข) วิธีควบคุมเฟส (Phase Control) ทำโดยการหน่วงหนี้ยาวการจุดชนวนไทรสเตอร์เอาไว้จนกระทั่งแรงดันเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากค่าศูนย์แล้ว ดังตัวอย่างที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.53 (ข)



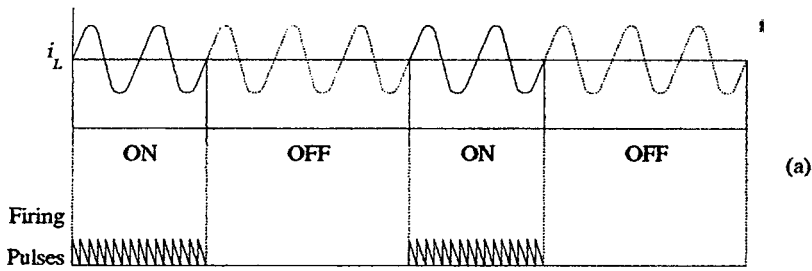
รูปที่ 2.53 แสดงการควบคุมแรงดันกระแสสลับ

การควบคุมแรงดันกระแสสลับโดยใช้ไทรสเตอร์นี้มีใช้มากในทางอุตสาหกรรม เช่น ในการปรับความร้อนของเตาไฟฟ้า ปรับความสว่างหลอดไฟฟ้า ปรับความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบหลายเฟส (Polyphase induction motor) และของมอเตอร์แบบยูนิเวอร์แซล (Universal motor) ปรับแรงดันโดยเปลี่ยนขั้วต่อที่หม้อแปลง (Tap changing) และการควบคุมแม่เหล็กกระแสสลับ

วงจรควบคุมแรงดันเฟสเดียวเต็มรอบ (Single-phase full-wave controller)

วงจรควบคุมแรงดันเฟสเดียวเต็มรอบซึ่งทำให้เราปรับแรงดันได้ตั้งแต่ 0-150% อาจเป็นดังในรูปที่ 50 (ค) ถ้าเป็นการทำงานตามวิธีควบคุมแบบเปิด-ปิด (รูปที่ 2.50 (ข)) ไทแอก จะถูกจุดจนวนให้ทำงานตั้งแต่ตอนที่แรงดันจากแหล่งจ่ายเริ่มเปลี่ยนจากค่าศูนย์ไปทางบวกและทางลบตามลำดับ ทำให้ได้รูปคลื่นแรงดันและกระแสของโหลดตัวด้านทานดังในรูปที่ 2.54 ซึ่งจะให้ค่าแรงดันประสิทธิภาพคร่อมโหลดเป็น

$$V_{rms} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} \left[\frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}} \right]^{1/2} \quad (2.26)$$



รูปที่ 2.54 แสดงรูปคลื่นตกรวมโหลดด้วยวิธีควบคุมแบบเปิด-ปิด

โดยที่ V_{max} = ค่าสูงสุดของแรงดันจากแหล่งจ่าย

t_{ON} = ช่วงเวลาที่ไทรแอกกระแสในหนึ่งวัฏจักรของการควบคุม

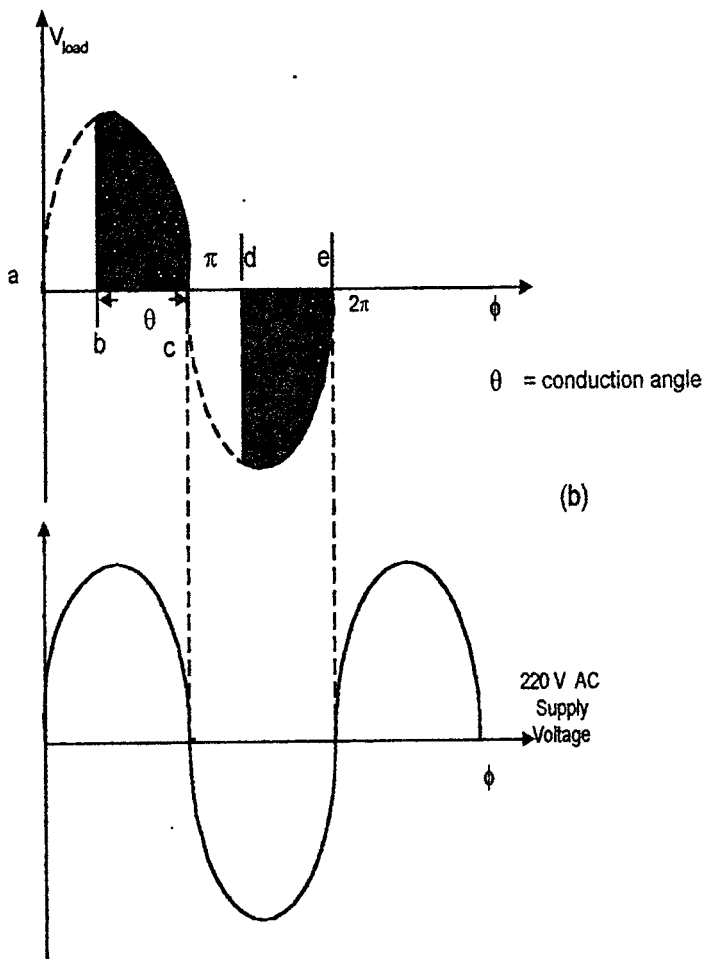
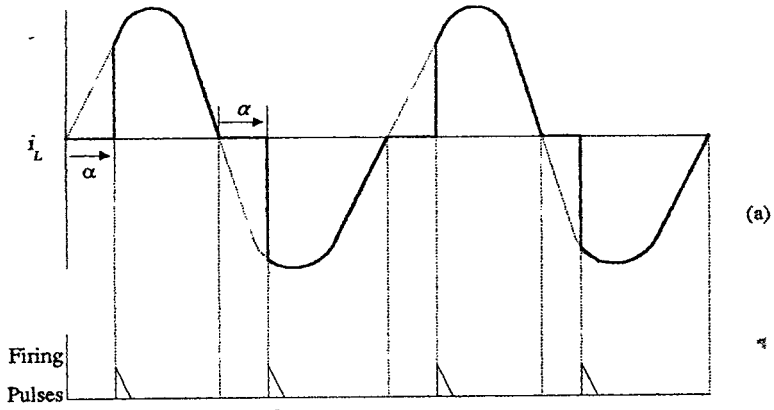
t_{OFF} = ช่วงเวลาที่ไทรแอกไม่นำกระแสในหนึ่งวัฏจักรของการควบคุม

ในกรณีที่เป็นการทำงานตามวิธีควบคุมเฟส เราจะปล่อยให้แรงดันจากแหล่งจ่าย เปลี่ยนจากค่าศูนย์ไปเป็นค่าบวกหรือลบค่าหนึ่งเสียก่อน โดยที่ค่าบวกหรือลบนี้เกิดขึ้นหลังค่า ศูนย์เป็นมุมทางไฟฟ้า $\alpha < 180^\circ$ จากนั้นเราจึงจุดชนวนไทรแอก ให้เริ่มนำกระแสรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่เกิดขึ้นที่โหลดของวงจรควบคุมแบบนี้จะเป็นดังภาพที่ 2.55 (ก)

ซึ่งจะให้ค่าแรงดันประสิทธิผลเป็น

$$V_{rms} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} \sqrt{\left(\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha\right) / \pi} \quad (2.27)$$

โดย V_{max} เป็นค่าสูงสุดของแรงดันจากแหล่งจ่าย และ α เป็นมุมหน่วงเหนี่ยวการจุดชนวน (firing delay angle) หรือ

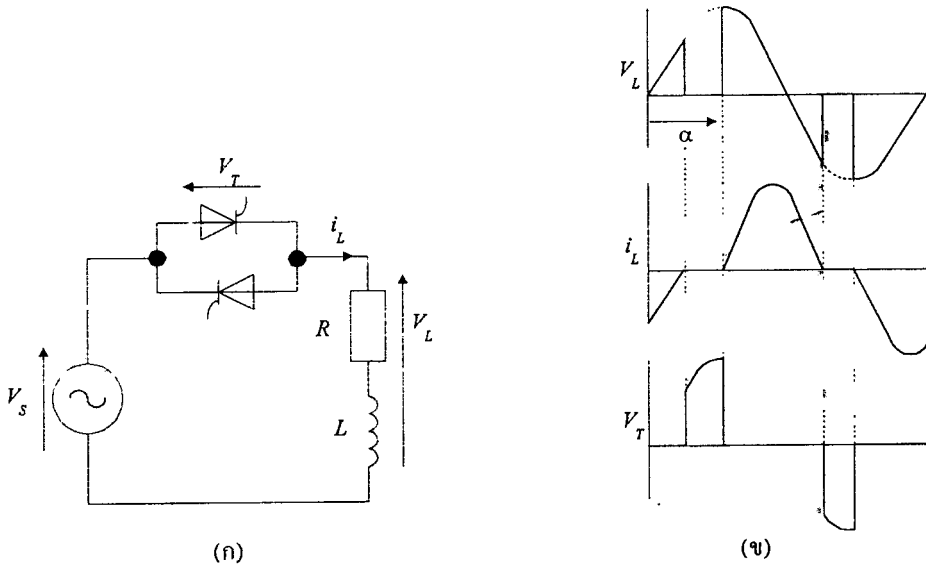


รูปที่ 2.55 แสดงรูปคลื่นการควบคุมด้วยเฟสของไทรแอด

$$V_{rms} = \frac{V_{max}}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{\theta}{2} + \frac{\sin 2(\pi - \theta)}{4}} \quad (2.28)$$

จากรูปที่ 2.55 (ข) ระหว่างช่วงเวลา a ถึง b ไตรแอก จะไม่ทำงาน จะไม่มีแรงดันตกไปคร่อมขดลวดของเตาเผา ที่เวลา b ไตรแอกจะเริ่มทำงาน ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมโหลด และไตรแอกยังคงนำกระแสไฟฟ้าต่อไปตลอดช่วงไซเคิลที่เป็นบวกคือช่วงจาก b ถึง c และตลอดช่วงไซเคิลลบ จาก d ถึง e โดยช่วงที่ไตรแอกนำกระแสนี้จะวัดในรูปของมุม ซึ่งจะเรียกว่า conduction angle (θ)

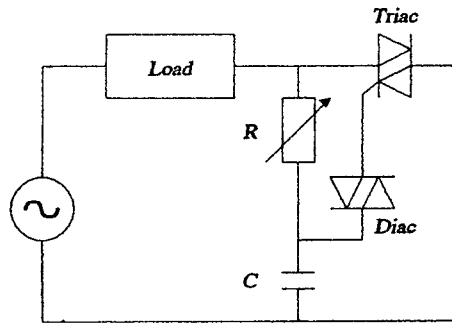
ถ้าโหลดมีความเหนี่ยวนำ (inductance) อยู่ด้วย รูปคลื่นแรงดันและรูปคลื่นกระแสที่โหลดจะไม่เหมือนกัน แต่จะมีลักษณะต่างกันดังใน รูปที่ 2.56



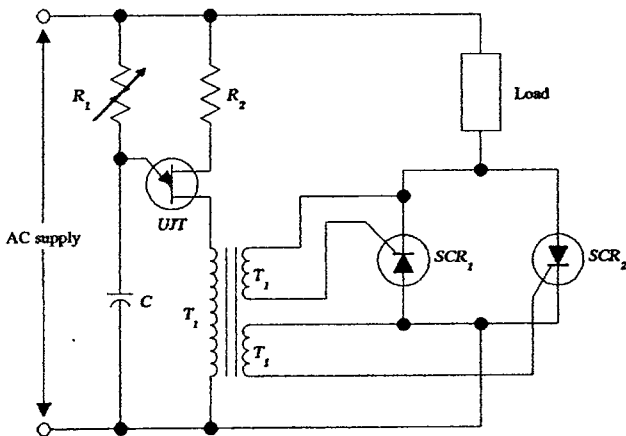
รูปที่ 2.56 แสดงวงจรควบคุมแรงดันเฟสเดียวเต็มรอบที่โหลดมีความเหนี่ยวนำ
(ก) วงจร, (ข) รูปคลื่นสัญญาณ

กระแสไหลลดค่าบวกจะยังไหลอยู่อีกระยะหนึ่ง ทั้งนี้ก็เพราะมีแรงดันจากความเหนี่ยวนำของ
โหลดมาช่วยให้ไทรแอกนำกระแสได้นั่นเอง

วงจรควบคุมเฟสที่ใช้ไทรแอกตัวเดียวอาจมีวงจรจุดชนวนอย่างง่ายแสดงดังในรูปที่ 2.57 (ก)
ส่วนวงจรควบคุมเฟสที่ใช้เอสซีอาร์ 2 ตัว อาจมีวงจรจุดชนวนดังใน รูปที่ 2.57 (ข)



(ก) วงจรจุดชนวนของระบบควบคุมแบบมุมเฟส



(ข) วงจรควบคุมเฟสที่ใช้เอสซีอาร์ 2 ตัว

รูปที่ 2.57 แสดงวงจรจุดชนวนอย่างง่าย

บทที่ 3

การวิจัยและดำเนินการสร้าง

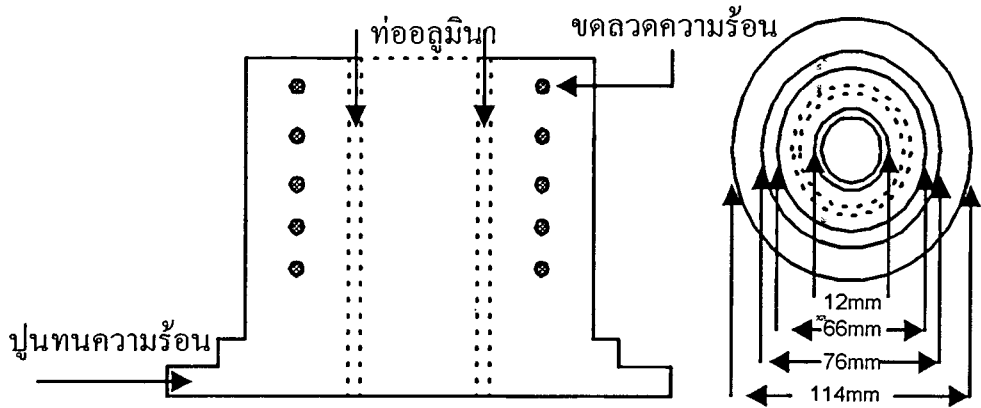
3.1 การออกแบบ

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการออกแบบและดำเนินการสร้างเครื่องมือ DTA ตามลักษณะแผนผังของเครื่องมือตามรูปที่ 2.7 โดยจะได้ออกแบบ ตามส่วนต่างๆตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

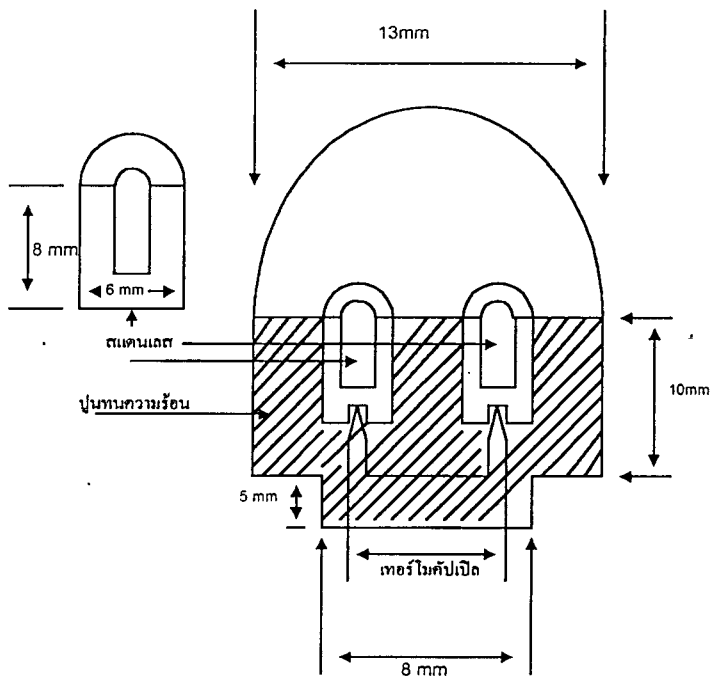
3.1.1. เตาความร้อนไฟฟ้า

ในการสร้างเครื่องมือนี้ จะเลือกใช้เตาความร้อนไฟฟ้าแบบ boersma เนื่องจากเตาความร้อนประเภทนี้ จะให้ จะมีเส้นทางเดินของความร้อนจากเตาถึงเทอร์โมคัปเปิลไม่เร็วไปกว่าสารอ้างอิงและสารตัวอย่าง และภายในเตาสามารถบรรจุภาชนะใส่สารตัวอย่างและสารอ้างอิง ซึ่งวางอยู่ในตำแหน่งที่สมมาตรกันภายในเตา และได้รับพลังงานความร้อนแหล่งเดียวกัน ซึ่งแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.8 เนื่องจากเครื่องมือนี้จะต้องสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูง (ประมาณ 600°C) ดังนั้นในการออกแบบเครื่องมือ จึงได้เลือก เตาความร้อนไฟฟ้า ที่ได้รับพลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อน ชนิด Kantal-a1 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร และสามารถทนความร้อนได้สูงสุดถึง 1300 องศาเซลเซียส ซึ่งทนความร้อนที่เกิดขึ้น ได้มากพอที่ไม่ทำให้เตาเกิดความเสียหายได้ง่ายๆ และขนาดของขดลวด จะมีความต้านทานทางไฟฟ้าที่จะทำให้เกิดความร้อนขึ้น มีค่า ประมาณ 22 โอห์ม ดังนั้น เมื่อใช้กับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์ 50 เฮิร์ต เตาความร้อนไฟฟ้าจะสามารถจ่ายพลังงานความร้อนออกมาได้ถึง 2200 วัตต์ ซึ่งเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์สารที่ต้องการทดสอบ สำหรับภาชนะใส่สารอ้างอิง และสารตัวอย่าง นั้น จะสร้างมาจาก สแตนเลส ซึ่งมีข้อดีคือ สามารถสร้างได้ง่ายไม่รั่วซึม มีการนำความร้อนที่ดี สามารถใช้งานได้ตลอดช่วงอุณหภูมิของเครื่อง DTA ที่สร้างขึ้น นอกจากนี้ ภาชนะใส่สารยังสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงจากเตาเผาได้ โดยการขับจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

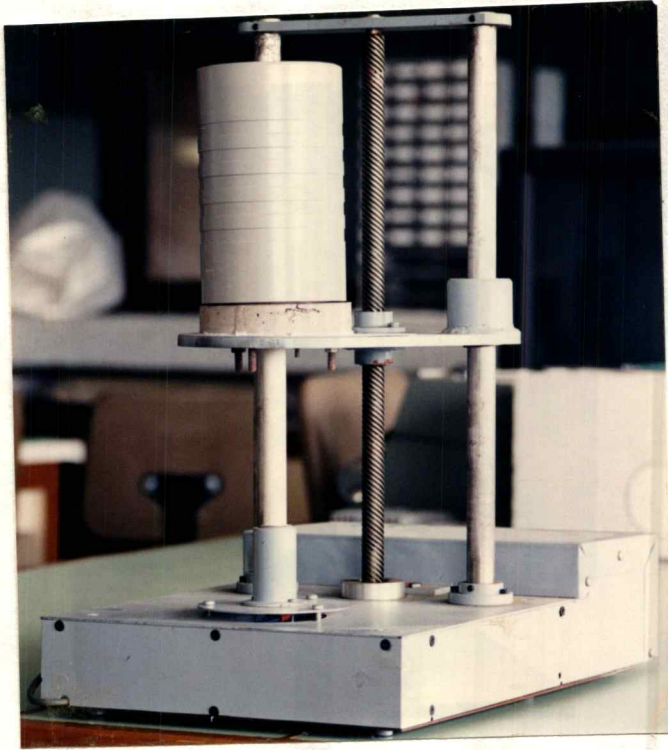
ลักษณะและขนาด ของเตาความร้อนไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 3.1 และภาชนะใส่สาร แสดงดังรูปที่ 3.2 ลักษณะภายนอกของเตาจริงที่สร้างขึ้นเสร็จ แสดงดังรูปที่ 3.3 ส่วนลักษณะจริงของภาชนะใส่สารตัวอย่างและสารอ้างอิง แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะและขนาด ของเตาความร้อนไฟฟ้า



รูปที่ 3.2 แสดง ภาพหน้าตัด



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะภายนอกของเตาจริงที่สร้างขึ้นเสร็จ



รูปที่ 3.4 แสดง ลักษณะจริงของภาชนะใส่สารตัวอย่างและสารอ้างอิง

3.1.2. เครื่องขยายสัญญาณความแตกต่างอุณหภูมิและ อุณหภูมิ ของสารตัวอย่างและสารอ้างอิง

การออกแบบและดำเนินการสร้าง ในขั้นตอนนี้ จะใช้ เทอร์โมคัปเปิลชนิด K เป็นหัววัดอุณหภูมิ ซึ่งจะพิจารณาจากข้อมูลที่สำคัญของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ดังนี้คือ

- 1 ค่าสัมประสิทธิ์ ซีเบค $40.5 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
- 2 มีช่วงอุณหภูมิการใช้งาน ระหว่าง -200 ถึง 1.260°C
- 3 เหมาะกับการใช้งานที่บรรยากาศมีการออกซิไดซ์ และมีความทนทาน
- 4 คอบสนองต่ออุณหภูมิที่ค่อนข้างมีความเป็นเชิงเส้น ในช่วงอุณหภูมิที่ต้องการใช้งาน คือตั้งแต่อุณหภูมิห้อง ถึง 600°C

โดยทั่วไป การใช้งานเทอร์โมคัปเปิลจะมีความยุ่งยากในการชดเชยอุณหภูมิ แต่ในปัจจุบันมีอุปกรณ์วงจรรวม หรือ ที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า IC โดยที่ไอซี เบอร์ AD 595 ได้ออกแบบให้เป็นอุปกรณ์ ที่สามารถชดเชยอุณหภูมิภายในตัวมันเอง และสามารถขยายสัญญาณจากหัววัดเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ออกมาได้ อย่างถูกต้อง ประมาณ $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ ดังแสดงให้เห็นดังตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.5

Thermocouple Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Type K Voltage (mV)	AD 595 Output (mV)
-200	-5.891	-1454
-180	-5.55	-1370
-160	-5.141	-1269
-140	-4.669	-1152
-120	-4.138	-1021
-100	-3.553	-876
-80	-2.92	-719
-60	-2.243	-552
-40	-1.527	-375
-20	-0.777	-189

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าแรงดันขาออกต่ออุณหภูมิ สำหรับ AD595

Thermocouple Temperature (°C)	Type K Voltage (mV)	AD 595 Output (mV)
-10	-0.392	-94
0	0	2.7
10	0.397	101
20	0.798 ¹	200
25	1	250
30	1.203	300
40	1.611	401
50	2.022	503
60	2.436	605
80	3.266	810
100	4.095	1015
120	4.919	1219
140	5.733	1420
160	6.539	1620
180	7.338	1817
200	8.137	2015
220	8.938	2213
240	9.745	2413
260	10.56	2614
280	11.381	2817
300	12.207	3022
320	13.039	3327
340	13.874	3434
360	14.712	3641
380	15.552	3849
400	16.395	4057

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าแรงดันขาออกต่ออุณหภูมิ สำหรับ AD595 (ต่อ)

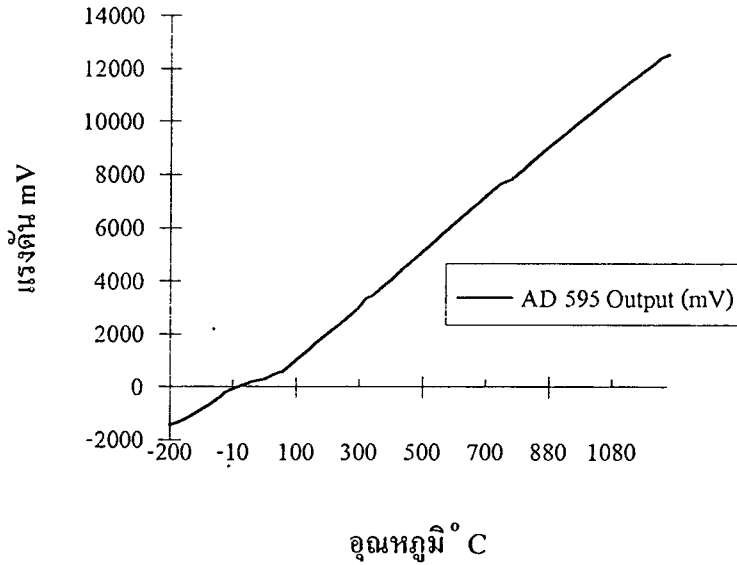
Thermocouple Temperature (°C)	Type K Voltage (mV)	AD 595 Output (mV)
420	17.241	4266
440	18.088	4476
460	18.938	4686
480	19.788	4896
500	20.64	5107
520	21.493	5318
540	22.346	5529
560	23.198	5740
580	24.05	5950
600	24.902	6161
620	25.751	6371
640	26.599	6581
660	27.445	6790
680	28.288	6998
700	28.128	7206
720	29.965	7413
740	30.799	7619
750	31.214	7722
760	31.629	7825
780	32.455	8029
800	33.277	8232
820	34.095	8434
840	34.909	8636
860	35.718	8836
880	36.524	9035

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าแรงดันขาออกต่ออุณหภูมิ สำหรับ AD595 (ต่อ)

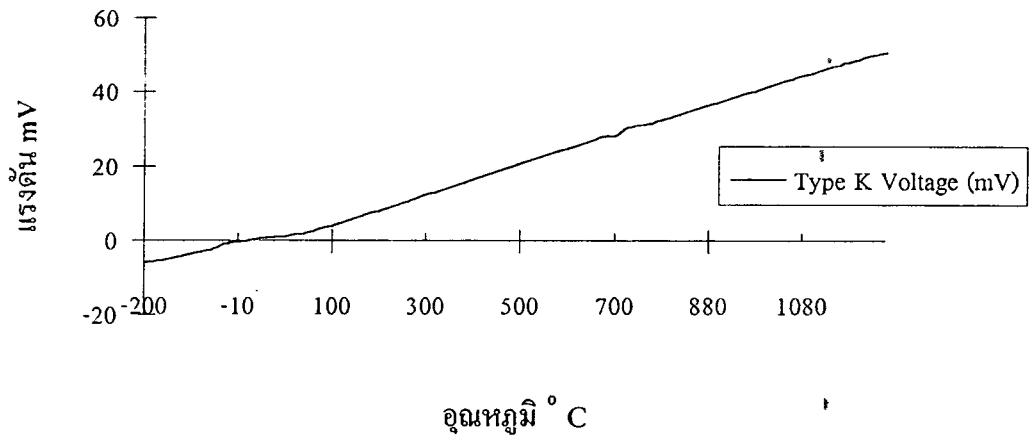
Thermocouple Temperature (°C)	Type K Voltage (mV)	AD 595 Output (mV)
900	37.325	9233
920	38.122	9430
940	38.915	9626
960	39.703	9821
980	40.488	10015
1000	41.269	10209
1020	42.045	10400
1040	42.817	10591
1060	43.585	10781
1080	44.349	10970
1100	45.108	11158
1120	45.863	11345
1140	46.612	11530
1160	47.356	11714
1180	48.095	11897
1200	48.828	12078
1220	49.555	12258
1240	50.276	12436
1250	50.633	12524

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าแรงดันขาออกต่ออุณหภูมิ สำหรับ AD595 (ต่อ)

แรงดัน AD595 กับ อุณหภูมิ



แรงดันและอุณหภูมิของ เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K



รูปที่ 3.5 แสดง กราฟค่าแรงดันขาออกต่ออุณหภูมิสำหรับ เทอร์โมคัปเปิลและ AD595

จากตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.5 จะพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างอนุกรมกัณฑ์แรงดันขาออกของเทอร์โมคัปเปิลไม่เป็นเชิงเส้นทั้งหมด แต่เราจำเป็นที่จะต้องอ่านอนุกรมให้ถูกต้องที่สุดแต่เราไม่สะดวกที่จะนำข้อมูลในตารางที่ 3.1 เก็บไว้ใน ไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อทำการเปรียบเทียบอนุกรมที่อ่านเข้ามาได้จึงจำเป็นที่ต้องใช้วิธีการประมาณค่าโดยใช้ฟังก์ชันคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า Power series polynomial เข้าช่วยเพื่อให้อ่านค่าแรงดันขาออกของเทอร์โมคัปเปิลต่ออนุกรมของเทอร์โมคัปเปิลให้ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ลักษณะของสมการ Power series polynomial มีดังนี้คือ

$$T = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_nx^n \quad (3.1)$$

เมื่อ T คืออนุกรม

x คือ แรงดันขาออกของเทอร์โมคัปเปิล

a คือ สัมประสิทธิ์โพลิโนเมียลประจำตัวของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด

n คือ ลำดับที่ n ของ โพลิโนเมียล

ตารางที่ 3.2 จะแสดงค่าสัมประสิทธิ์โพลิโนเมียลของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้ คำนวณค่าอนุกรมของสารตัวอย่างและสารอ้างอิงที่ได้จาก ระบบจัดเก็บข้อมูล

Type K : nickel-10% chromium(+) versus nickel-5%(-)(aluminium silicon),
0 to 1370 °C±0.5°C, 8th order

$$a_0 = 0.226584602$$

$$a_1 = 24152.10900$$

$$a_2 = 67233.4248$$

$$a_3 = 2210340.682$$

$$a_4 = -860963914.9$$

$$a_5 = 4.83506E+10$$

$$a_6 = -1.18452E+12$$

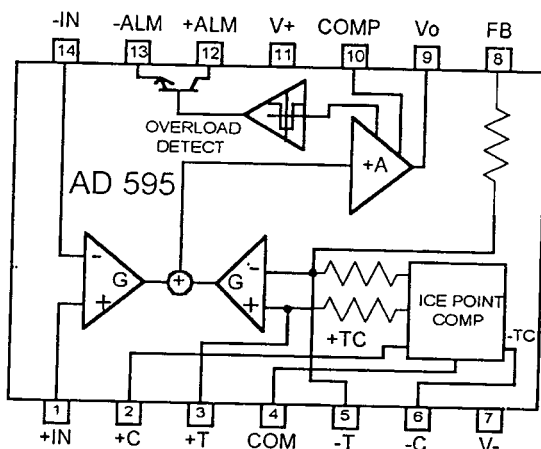
$$a_7 = 1.38690E+13$$

$$a_8 = -6.33708E+13$$

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์โพลีโนเมียลสำหรับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K

ลักษณะภายในของ ไอซี เบอร์ AD 595 จะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.6

และลักษณะการต่อใช้งานแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.7 และ รูปที่ 3.8 ตามลำดับ



รูปที่ 3.6 แสดง ลักษณะภายในของ AD 595 ที่มี วงจรขยายสัญญาณเทอร์โมคัปเปิล
ที่มีจุดอ้างอิงศูนย์องศา

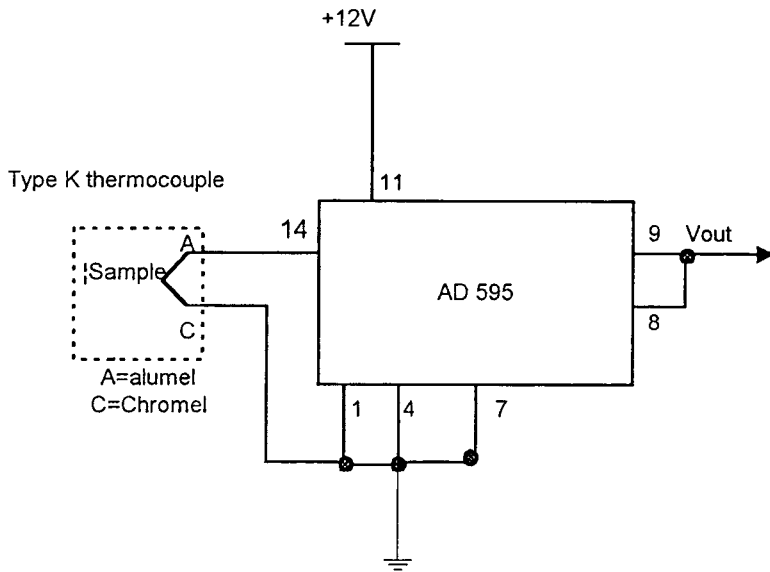
คุณลักษณะสมบัติเฉพาะของ AD 595 ที่สำคัญๆ มีดังต่อไปนี้คือ

- 1 ประกอบไปด้วย Instrumentation Amplifier ที่สมบูรณ์ และมีอุปกรณ์ชดเชยอุณหภูมิที่เรียกว่า Cold Junction ของเทอร์โมคัปเปิลอยู่ภายในตัวไอซี
- 2 ประกอบไปด้วยวงจรขยายสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิลชนิด K โดยตรง ทำให้ได้แรงดันขาออกในระดับสูง $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$
- 3 สามารถใช้ได้กับแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงกระแสตรงทั้งแบบทางเคียวและแบบคู่

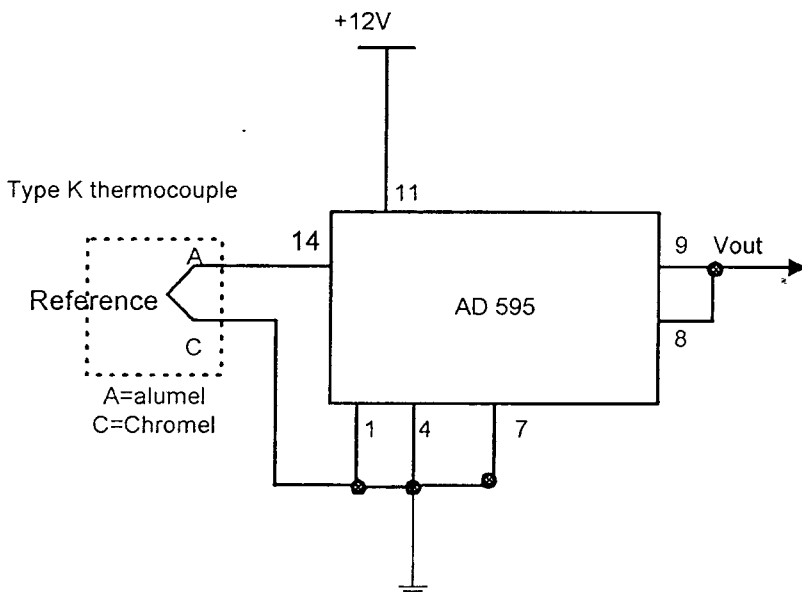
รายละเอียดทั้งหมดของคุณสมบัติของ AD 595 แสดงเอาในภาคผนวก ค

ในการออกแบบวงจรของส่วนขยายอุณหภูมิทั้งของสารตัวอย่างและสารอ้างอิง ในเครื่องมือ DTA เครื่องนี้นั้น จะพิจารณาจาก อุณหภูมิของเตาความร้อนไฟฟ้าสูงสุดที่ต้องการวัด และควบคุมคือ 600°C และ แรงดันขาออกของ AD 595 จะต้องมีค่าสูงสุด เป็น 6161 mV ดังนั้นจึงจะต้อง เลือกแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจรให้ กับ AD 595 มากกว่า 6.2 V ในที่นี้ เพื่อความสะดวกจึงได้เลือกเป็น 12 V ก็เพียงพอที่จะทำให้ได้แรงดันขาออกของ AD 595 เป็นไปตามต้องการ ลักษณะของวงจรของส่วนขยายอุณหภูมิทั้งของสารตัวอย่างและสารอ้างอิงแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8 ตามลำดับ ลักษณะการทำงานของวงจรส่วนนี้มีดังนี้

- 1 แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจรกระแสตรงป้อนเข้าขา 11 เพื่อให้ AD 595 ทำงานได้ โดยมีตัวเก็บประจุต่อเข้าที่ขา 11 เพื่อลดสัญญาณรบกวนความถี่สูง
- 2 ขั้วเทอร์โมคัปเปิล Alumel ต่อเข้ากับ ขา 14 และ ขั้วเทอร์โมคัปเปิล Chromel ต่อเข้ากับ ขา 1 และขา 1 ต่อเข้ากับ ground ของแหล่งจ่ายไฟ เพื่อป้องกันการเกิดสัญญาณรบกวน
- 3 เมื่อต่อเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับ ขา 14 และ ขา 1 แรงดันที่เกิดขึ้นจากเทอร์โมคัปเปิลจะถูกขยายสัญญาณขึ้นมาด้วยวงจรขยายศักดาความแตกต่างที่อยู่ภายในไอซี ด้วยอัตราขยาย G และสัญญาณจะถูกขยายด้วยวงจรขยายสัญญาณหลักด้วยอัตราขยาย A ให้มีสัญญาณออก ที่ ขา 9 และสัญญาณที่ได้นี้ ส่วนหนึ่งจะถูกป้อนกลับเข้าสู่ตัววงจรขยายศักดาแตกต่างอีกชุดหนึ่ง ผ่านทางขา 8 ทำให้ได้สัญญาณขาออกเป็น $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ และวงจรมีเสถียรภาพที่ดี ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องต่อขา 8 ร่วมเข้ากับขา 9 และสัญญาณที่ได้จะส่งต่อไปยังวงจรเชื่อมโยงสัญญาณเข้าสู่ไมโครคอมพิวเตอร์ หรือ ระบบจัดเก็บข้อมูล



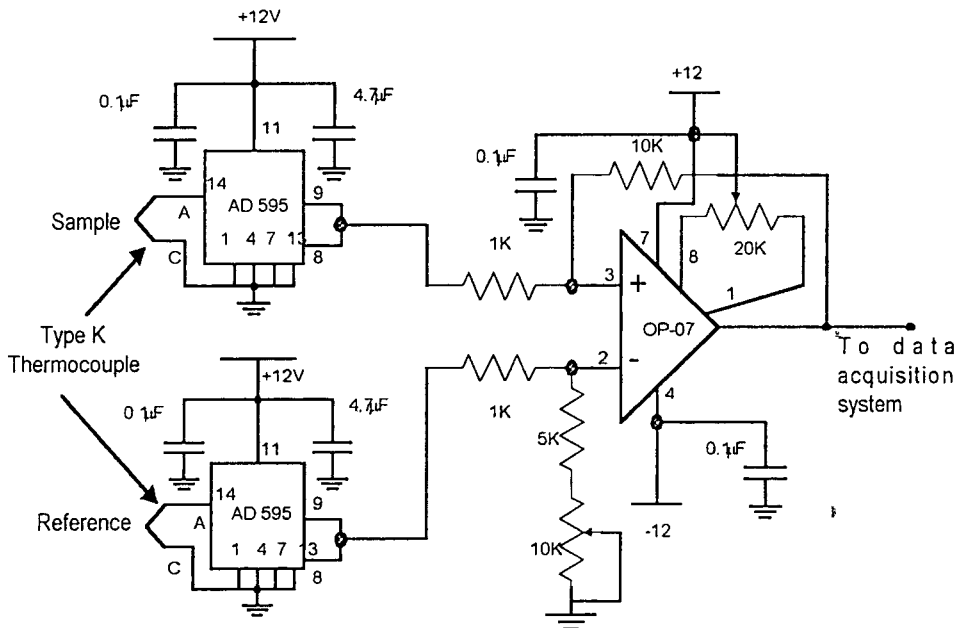
รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะการต่อใช้งาน AD 595 ที่ใช้เป็นวงจรขยายสัญญาณอุณหภูมิของสารตัวอย่าง



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะการต่อใช้งาน AD 595 ที่ใช้เป็นวงจรขยายสัญญาณอุณหภูมิของสารอ้างอิง

ส่วนขยายสัญญาณความแตกต่างอุณหภูมิ ในแกน Y

วงจรถ่ายสัญญาณส่วนนี้ จะนำสัญญาณจากวงจรถ่ายอุณหภูมิของสารตัวอย่าง และสัญญาณจากวงจรถ่ายอุณหภูมิของสารอ้างอิง มาหักลบกัน โดยใช้วงจรถ่ายสัญญาณความแตกต่าง แสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดง ส่วนขยายสัญญาณความแตกต่างอุณหภูมิ ในแกน Y

จากรูปที่ 3.9 สัญญาณจากวงจรถ่ายอุณหภูมิของสารตัวอย่าง และสัญญาณจากวงจรถ่ายอุณหภูมิของสารอ้างอิง จะป้อนเข้าสู่วงจรถ่ายสัญญาณความแตกต่างผ่านทาง ตัวต้านทาน $10\text{ K}\Omega$ และ $1\text{ K}\Omega$ เข้าสู่ขา Noninverting (3) และ Inverting (2) ของ ออปแอมป์เบอร์ OP-07 และ วงจรจะมี อัตราขยายสัญญาณความแตกต่าง เป็น

$$V_o = -\frac{10k}{1k} (V_{sample} - V_{ref}) \quad (3:2)$$

ดังนั้น อัตราของวงจรเป็น -10 เท่า และสัญญาณขาออกที่ได้จากวงจรขยายศักดาแตกต่าง ส่วนนี้จะป้อนเข้าสู่ไมโครคอมพิวเตอร์ ผ่านทาง ระบบจัดเก็บข้อมูล

3.1.3 ระบบจัดเก็บข้อมูล

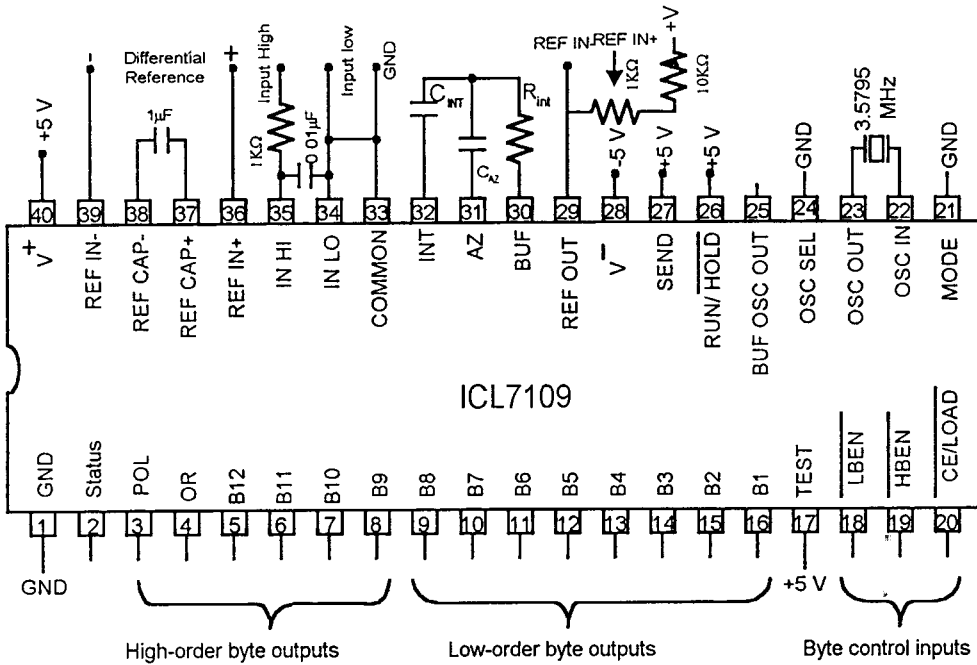
การออกแบบวงจรส่วนนี้จะพิจารณาจากส่วนที่สำคัญที่สุดของวงจรส่วนนี้คือวงจร A/D Converter ซึ่งจะใช้แปรผันสัญญาณอนาลอกที่ได้จาก ส่วนขยายสัญญาณอนุกรมของสารตัวอย่าง ส่วนขยายสัญญาณอนุกรมของสารตัวอ้างอิง และ ส่วนขยายสัญญาณอนุกรมที่แตกต่างกัน เปลี่ยนไป เป็น สัญญาณดิจิทัล เพื่อเชื่อมโยงเข้าสู่ ไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผล ต่อไป

ข้อกำหนดที่สำคัญในการออกแบบ A/D Converter มีดังต่อไปนี้

1. การทำงานเป็น แบบ Dual-Slope Converter
2. ค่าความละเอียด(Resolution) ขนาด 12 บิต
3. สามารถใช้งานได้ กับสัญญาณด้านขาเข้าที่เป็นสัญญาณ โฟบวกและโฟลบ

(Bipolar)

จากข้อกำหนดเบื้องต้น จึงได้เลือกเอา ICL 7109 ซึ่งเป็น 12-Bit Microprocessor Compatible A/D Converter รูปร่างและลักษณะที่สำคัญๆ ที่นำมาใช้งาน แสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงรูปร่างและลักษณะที่สำคัญๆ ที่นำมาใช้งานของ ICL 7109

จากรูปที่ 3.10 แสดงตำแหน่งขาและอุปกรณ์ภายนอกที่ต่อใช้งาน ICL7109 ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นส่วนใหญ่ๆ 2 ส่วน คือ ส่วนอนาลอก ได้แก่ ส่วนที่อยู่ทางด้านบนของรูป และส่วนดิจิทัล คือ ส่วนที่อยู่ด้านล่างของรูป สำหรับรายละเอียดคุณสมบัติของ ICL7109 ดูได้จากภาคผนวก ค

การออกแบบในส่วนอนาลอก จะพิจารณาจากการเลือกอุปกรณ์ภายนอกที่ใช้งานกับ ICL7109 เพื่อให้สามารถทำงานให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ดังต่อไปนี้คือ

1. การเลือกตัวต้านทาน อินทิเกรต R_{INT} (Integrating Resistor)

จากคุณสมบัติของ ICL7109 ที่ใช้ไฟเลี้ยงวงจรเป็น ± 5 V และ สามารถรับแรงดันสัญญาณอนาลอกขาเข้าได้สูงสุดเต็มสเกล เป็น ± 4.096 V ดังนั้น ความต้านทาน R_{INT} จะหาได้จาก

$$R_{INT} = \frac{4.096}{20\mu A} = 200K\Omega$$

เมื่อกระแสไหลทางด้านขาเข้าสูงสุด เป็น $20 \mu A$

2. การเลือกตัวเก็บประจุ (Integrating Capacitor C_{INT} , Auto Zero Capacitor C_{AZ} , Reference Capacitor)

การเลือกตัวเก็บประจุ Integrating capacitor C_{INT} มีวัตถุประสงค์เพื่อให้แรงดันสัญญาณขาออกของวงจรอินทิเกรตเปลี่ยนแปลงได้สูงสุด โดยปราศจากการอิ่มตัว อย่างเช่น เมื่อวงจรอินทิเกรตใช้ไฟเลี้ยง เป็น ± 5 V จะต้องทำให้แรงดันสัญญาณขาออกของวงจรอินทิเกรตเปลี่ยนแปลงได้สูงสุด ± 4 V โดยปราศจากการอิ่มตัว ดังนั้น จะได้ว่า

$$C_{INT} = \frac{(2048)(Clock_period)(20\mu A)}{Integrator_output_voltage_swing}$$

ตัวอย่างเช่น ถ้าความถี่ใช้งานเป็น $f_{clock} = 230.4$ KHz, $C_{INT} = 0.04$ μ F สำหรับแรงดัน Full Scale เป็น

4 V และ $C_{INT} = 0.05$ μ F สำหรับแรงดัน Full Scale เป็น 3.5 V

การเลือกตัวเก็บประจุ Auto Zero Capacitor C_{AZ} มีวัตถุประสงค์เพื่อลดสัญญาณรบกวน โดยหาได้จาก

$$C_{AZ} = 0.5C_{INT}$$

สำหรับแรงดัน Full Scale เป็น 4 V $C_{INT} = 0.047$ μ F, $C_{AZ} = 0.0235$ μ F

การเลือกตัวเก็บประจุ Reference capacitor จะกำหนดให้ใช้ 1 μ F เป็นมาตรฐาน เพื่อป้องกันการทำงานที่ผิดพลาด

3 การเลือกแรงดันอ้างอิงและแหล่งจ่ายแรงดันอ้างอิง (Reference Voltage & Source)

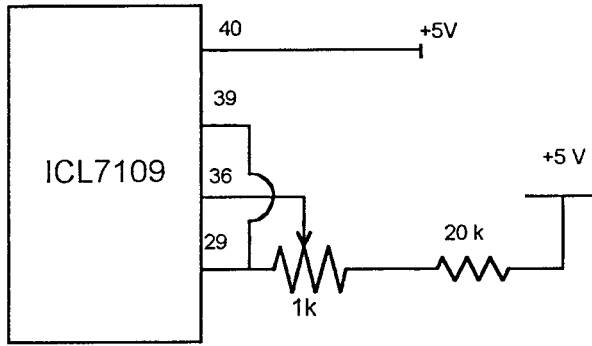
แรงดันสัญญาณอนาลอกขาเข้า V_{IN} ที่ต้องการรับเข้ามาทำให้ สัญญาณขาออกเต็มสเกลการนับ 4096 จะมีค่าเป็น

$$V_{IN} = 2V_{REF}$$

ดังนั้นสำหรับแรงดันสัญญาณอนาลอกขาเข้า V_{IN} เต็มสเกล 4.096 V ค่าแรงดันอ้างอิง V_{REF} จะมีค่าเป็น 2.048 V ซึ่งแรงดันอ้างอิงที่มีเสถียรภาพที่ดีนั้นจะเป็นฟแลคเตอร์หลักที่ทำให้เกิดความแม่นยำในการแปลงสัญญาณอนาลอกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล

การที่จะทำให้แรงดันอ้างอิงมีเสถียรภาพที่ดีนั้นจะต้องได้มาจากแหล่งจ่ายแรงดันอ้างอิงที่

ICL 7109 จะมีแรงดันอ้างอิงขาออกที่ขา 29 ในการใช้งานอาจจะต้องใช้วงจรแบ่งแรงดันเพื่อปรับให้ได้แรงดันอ้างอิงที่เหมาะสมเพื่อจ่ายให้กับขา 36 และขา 39 ซึ่งแรงดันที่ได้จากขา 29 จะมีค่าต่ำกว่าแรงดัน V^+ (ขา 40) อยู่ 2.8 V ลักษณะการต่อใช้งานแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.11

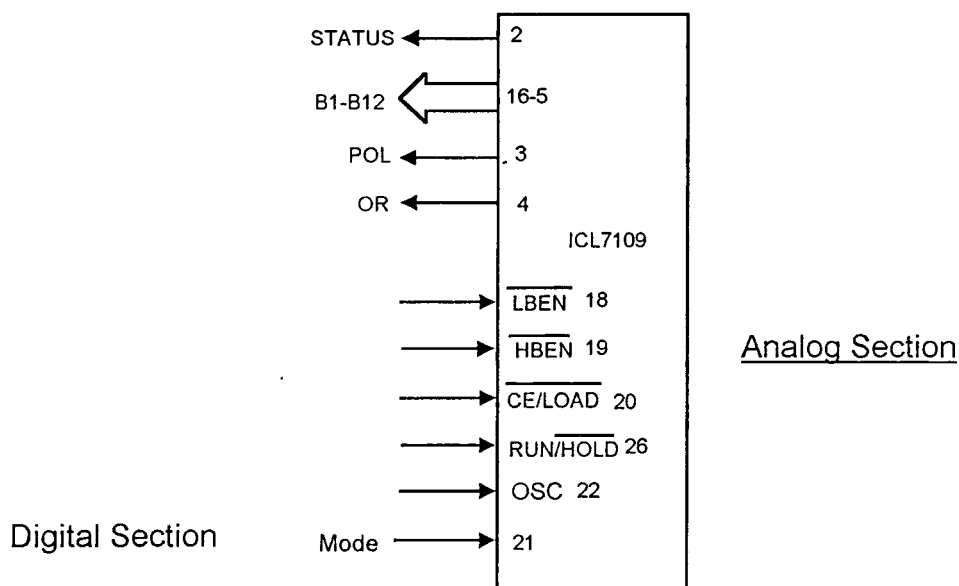


รูปที่ 3.11 แสดงลักษณะการต่อใช้งานแรงดันอ้างอิง

ถ้าหากว่าขา 40 เกิดลัดวงจรเข้ากับขา 39 จะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่ขา 29 ทำให้ ICL 7109 เสียได้

ส่วนดิจิทัล

ส่วนดิจิทัลนี้จะประกอบด้วยกลุ่ม ฟังก์ชันทางด้านซ้ายมือของ ICL 7109 ตาม รูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงส่วนดิจิทัลของ ICL 7109

ซึ่งจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันต่างๆดังต่อไปนี้คือ

STATUS output

ในระหว่างเกิดวัฏจักรการแปลงผันสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล สถานะของขา STATUS จะมีลอจิก สูง ซึ่งจะเริ่มต้นเมื่อ Converter เกิดการอินทิเกรตสัญญาณ (Phase II: จาก Conversion Timing ใน ภาคผนวก ค) และ สถานะของขา STATUS จะมีลอจิกเป็น ต่ำ เมื่อการแปลงผันสัญญาณสิ้นสุดลง แต่ข้อมูลที่ได้จากการแปลงผันผันยังคงอยู่ที่ output Latches ดังนั้นสัญญาณที่ขา STATUS จึงสามารถนำไป แสดงผลถึงสถานะของ Converter หรือใช้แจ้งให้ทราบว่า มีข้อมูลอยู่บน Output Latches หรือแสดงสถานะ “ Data Valid Flag “ เพื่อใช้ในการขอขัดจังหวะ (Interrupts)ต่อวงจรอื่น

Mode Input

หน้าที่ของขา Mode Input คือการควบคุม output mode ของ converter โดยที่สถานะของขา mode มีลอจิก “ต่ำ” converter จะอยู่ในสถานะให้ Direct output mode โดยที่ข้อมูลขาออกจะถูกจัดการโดยตรง(directly accessible)ภายใต้การควบคุม ของชิป และ byte enable inputs (CE / LOAD, LBEN, HBEN :ขา 18 ,19 ,20) แต่ถ้าสถานะของขา mode มีลอจิก “สูง” converter จะอยู่ในสถานะให้ UART handshake mode ดังนั้นในการออกแบบใช้งานในที่นี้ จึงให้ ขา Mode Input มีลอจิก“ต่ำ”

14 Tri-state outputs

ซึ่งประกอบไปด้วย 12 บิตข้อมูล (B1-B12) , 1 บิต Polarity (POL), และ 1 บิต overrange โดยกลุ่มบิตเหล่านี้จะถูกควบคุมด้วยสัญญาณควบคุมจากขา byte enable input

(CE / LOAD, LBEN, HBEN :ขา 18 ,19 ,20) เมื่อสถานะของขา mode input มีลอจิก “ต่ำ” สำหรับสัญญาณอนาลอกขาเข้าขนาด +1V จะให้ ข้อมูล 12 บิต ขาออก เหมือนกัน กับสัญญาณอนาลอกขาเข้าขนาด -1V แต่ลอจิกที่ขา POL จะมีลอจิกสูงเมื่อ สัญญาณอนาลอกขาเข้า เป็น บวก และ จะมีลอจิกต่ำเมื่อ สัญญาณอนาลอกขาเข้า เป็น ลบ

เมื่อ ขา Mode input มีลอจิกต่ำ หรือ อยู่ในสถานะ Direct mode

ขา CE/LOAD :Chip Enable load จะมีลอจิก ต่ำ ทำให้ LBEN: Low Byte Enable มีลอจิก ต่ำ จะไปควบคุม 8 บิตข้อมูลล่าง B1-B8 ในขณะที่เดียวกัน จะทำให้ HBEN ;High Byte Enable มีลอจิกต่ำจะไปควบคุม 8 บิตข้อมูล บน B9-B12,POL,OR

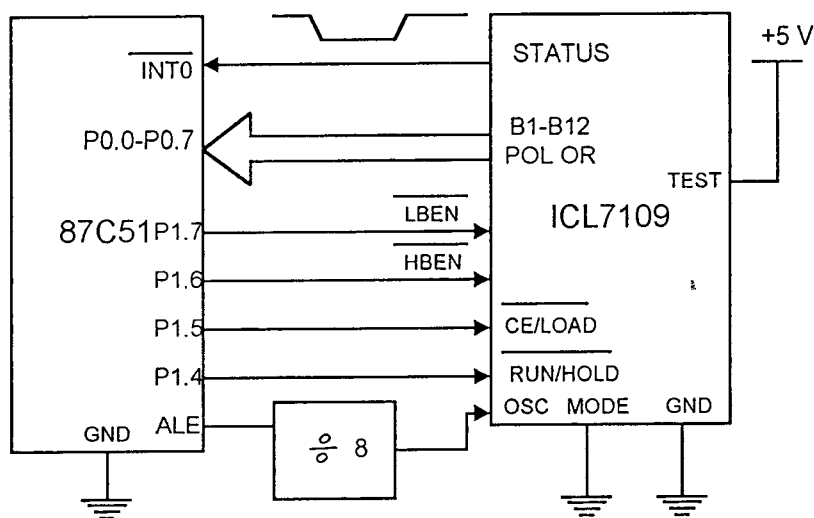
RUN/HOLD input

เมื่อ มีลอจิก สูง ICL7109 จะทำการแปลงผันสัญญาณอนาลอกไปเป็นสัญญาณดิจิทัลอย่างต่อเนื่อง ด้วยช่วงความถี่คงที่ 8192 เฮิร์ตต่อการแปลงผัน 1 รอบ เมื่อมี ลอจิก สูง จะสิ้นสุดการแปลงผันสัญญาณ และจะรออยู่ใน ช่วงเวลา autozero phase หลังจากรอในช่วงเวลา autozero phase ที่สั้นที่สุดสิ้นสุดลง เมื่อกลับมาเป็น ลอจิก สูง จะต้องใช้เวลาอย่างน้อย 200 ns จึงจะสามารถเริ่มทำการแปลงผันรอบใหม่ได้

ออสซิลเลเตอร์

ICL7109 จะมีขาสำหรับต่อให้กำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายในตัว โดยแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกา อาจจะได้มาจาก วงจร RC , ผลึก (Crystal) หรือ แหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายนอก อื่นๆ ซึ่งในที่นี่จะออกแบบโดยใช้แหล่งกำเนิดนาฬิกาภายนอก ป้อนเข้าขา OSC IN (22) โดยที่ขา OSC Select(24)จะต้องเปิด ซึ่งในที่นี่จะได้จาก ไมโครคอนโทรลเลอร์ 87C51 ที่ใช้ผลึกกำเนิดสัญญาณนาฬิกาขนาด 11.0592 MHz และความถี่ที่ได้จาก ไมโครคอนโทรลเลอร์ 87C51 จะหารด้วย วงจรหารความถี่ 8 จะได้ความถี่ที่จ่ายให้แก่ ICL 7109 มีความถี่เป็น 230 KHz และจะได้ อัตราการแปลงผันเป็น 28 conversion/second

ดังนั้นในการใช้งาน ICL7109 ในโหมด Direct Mode สามารถนำไปใช้ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ 87C51 ซึ่งทำหน้าที่เป็น microprocessor system โดยแสดงลักษณะการเชื่อมโยงระหว่าง ICL7109 และ ไมโครคอนโทรลเลอร์ 87C51 ดังรูปที่ 3.13

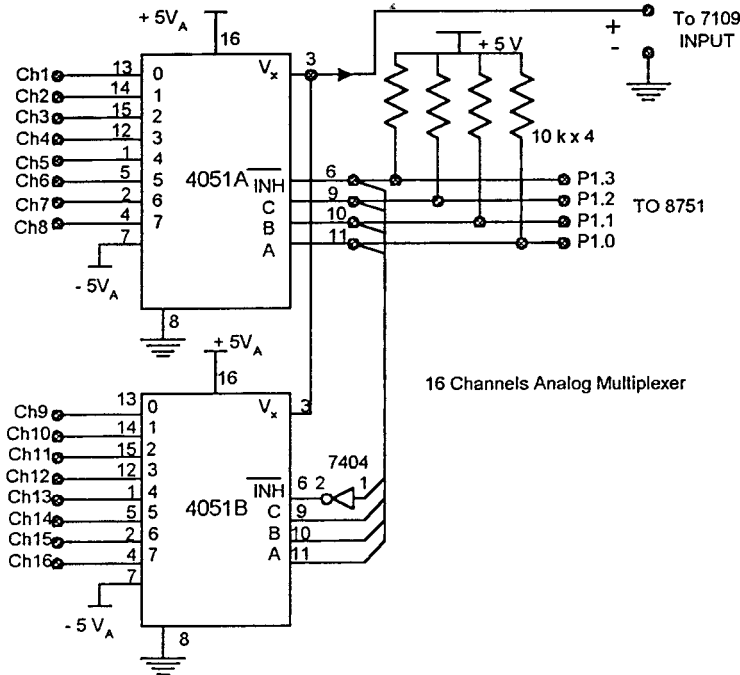


รูปที่ 3.13 แสดงลักษณะการเชื่อมโยง ICL7109 เข้ากับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ 87C51

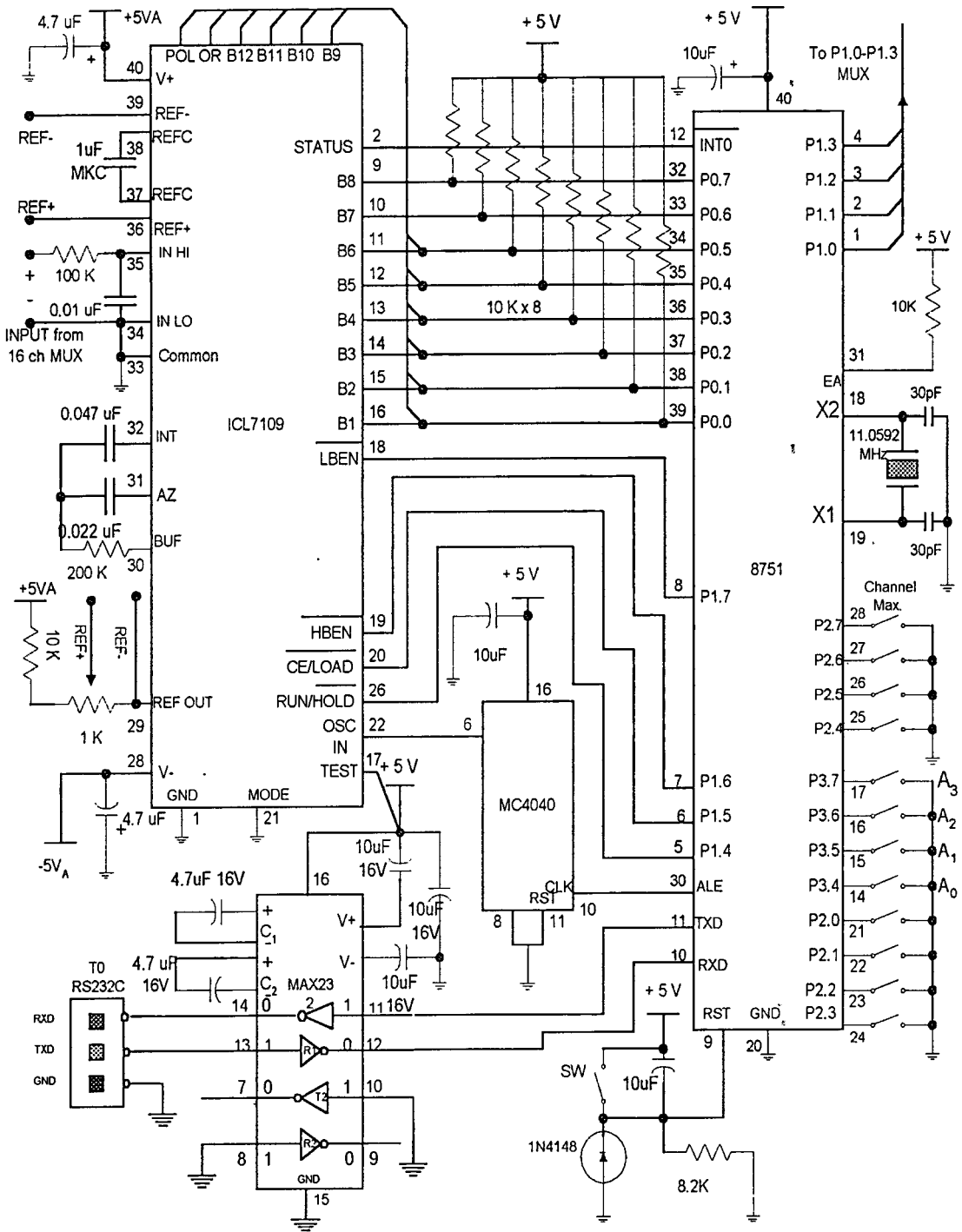
ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8751

อุปกรณ์ตัวนี้จะเป็นอุปกรณ์ในส่วนที่เรียกว่า Microprocessor system ของ ระบบจัดเก็บข้อมูล ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมการเริ่มต้นและสิ้นสุดของการแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณ

ดิจิทัลของ ICL7109 และรับข้อมูลที่เป็นสัญญาณดิจิทัล จาก ICL7109 โดยการจัดการข้อมูลให้อยู่ในรูปของอักขระเพื่อที่จะส่งข้อมูลไปให้กับไมโครคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ 8751 ยังคงใช้ควบคุมการมัลติเพล็กซ์ช่องสัญญาณขาเข้าของ ICL7109 เนื่องจากสัญญาณอนาลอกที่ต้องการนำเข้าไป ICL7109 นั้น มีอยู่ 3 สัญญาณ คือ สัญญาณอนาลอกจากส่วนวงจรขยายสัญญาณอุณหภูมิสารตัวอย่าง สัญญาณอนาลอกจากส่วนวงจรขยายสัญญาณอุณหภูมิสารอ้างอิง และ สัญญาณอนาลอกจากส่วนวงจรขยายสัญญาณความแตกต่าง อุณหภูมิของสารตัวอย่าง และสารอ้างอิง ลักษณะการใช้งานของ 8751 ใน ระบบจัดเก็บข้อมูล แสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.13 และ รูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงวงจรมัลติเพลกซ์ขนาด 16 ช่องสัญญาณของระบบจัดเก็บข้อมูล



รูปที่ 3.15 แสดง ไดอะแกรมวงจรตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลของระบบจัดเก็บข้อมูล

จาก รูปที่ 3.14 และ รูปที่ 3.15 ส่วนประกอบต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ส่วนที่ทำหน้าที่มัลติเพลกซ์(Multiplex) สัญญาณจากวงจรขยายสัญญาณที่ได้มา จากหัววัดอุณหภูมิ เนื่องจากสัญญาณที่เราต้องการมี 3 สัญญาณ คือ สัญญาณจากวงจรขยายวัดอุณหภูมิสารตัวอย่าง วงจรขยายวัดอุณหภูมิสารอ้างอิง และวงจรขยายวัดความแตกต่างอุณหภูมิสารตัวอย่าง กับสารอ้างอิงเพื่อใช้สำหรับแสดงผลในรูปของกราฟ และตัวเลข ดังนั้นจึงต้องส่งสัญญาณมาคราวละ 3 ครั้ง โดยจะส่งสัญญาณจากวงจรใดวงจรหนึ่งเข้ามาก่อนแล้วจึงส่งสัญญาณจากวงจรอื่นๆตาม มา วงจรที่ทำหน้าที่ในส่วนนี้คือ ไอซี 4051 จำนวน 2 ตัว สามารถมัลติเพลกซ์สัญญาณได้ 16 ช่องสัญญาณ แต่ในที่นี้จะใช้เพียง 3 ช่อง และสัญญาณที่ผ่านวงจรมัลติเพลกซ์ไปแล้วนั้นจะถูกส่งต่อไปยัง วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล(รูปที่ 3.15)

2. ไอซี ICL7109 เป็นวงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลชนิดสโกลบคู่มีความละเอียดขนาด 12 บิต กำหนดให้มีแรงดันอ้างอิง บวกลบ 4 V วงจรนี้จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาลอกจากวงจรขยายสัญญาณ.และจะทำการส่งค่าที่แปลงแล้ว ไปให้ไมโครโปรเซสเซอร์ 8751 อีกที

3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8751 จะรับสัญญาณมาจาก ICL7109 แล้วจะจัดการข้อมูลที่ได้ให้อยู่ในรูปของอักขระเพื่อที่จะทำการส่งข้อมูล ไปให้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ในการเซต(set) วงจรจะต้องทำการเซตที่ขาต่างๆของ 8751 ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.3

p2.7	p2.6	p 2.5	p 2.4	SCAN
0	0	0	0	CH1
0	0	0	1	CH1-CH2
0	0	1	0	CH1- CH3
0	0	1	1	CH1-CH4
.
.
1	1	1	1	CH1-CH16.

ตารางที่ 3.3 แสดงการกำหนดจำนวนช่องสัญญาณ โดยกำหนดที่ขา P 2.4 ถึง P 2.7 ของ 8751

P 3.7	P 3.6	P 3.5	P 3.4	บอร์ด
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
.
.
.
1	1	1	1	F

ตารางที่ 3.4 แสดงหมายเลขบอร์ด(Board) ที่ขา P 3.4 ถึง P 3.7 ของ 8751 ในที่นี้เลือกหมายเลข 0

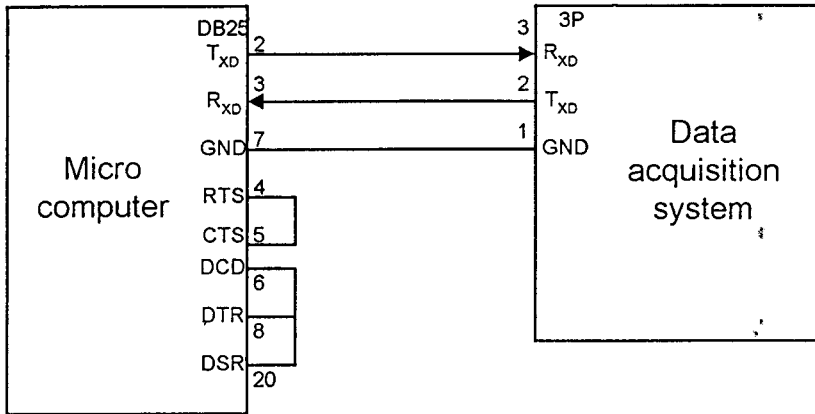
P 2.0	อัตราการรับส่งข้อมูล
0	9600
1	19200

ตารางที่ 3.5 แสดงการรับส่งข้อมูลกำหนดที่ขา P2.0 ของ 8751 ในที่นี้เลือก 9600 บิตต่อวินาที

P2.1	วิธีการรับส่งข้อมูล
0	ส่งด้วยความเร็วสูงสุดโดยไม่รอสัญญาณ กระตุ้น
1	รอสัญญาณกระตุ้นก่อนจึงค่อยส่งข้อมูลไป 1 ไบต์

ตารางที่ 3.6 แสดงการเลือกลักษณะของสัญญาณที่ส่งออกไป (เลือก 0)

4. ไอซี MAX232 ใช้สำหรับการแปลงสัญญาณแบบทีทีแอล(TTL ลักษณะของสัญญาณ จะเป็นคลื่นสี่เหลี่ยม ที่สถานะต่ำจะเป็น 0 V สถานะสูงจะเป็น +5 V) ไปเป็นสัญญาณ RS-232 เพื่อเชื่อมต่อสัญญาณเข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ การเชื่อมต่อ Data Acquisition System เข้ากับ ไมโครคอมพิวเตอร์ จะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.16 ดังนี้

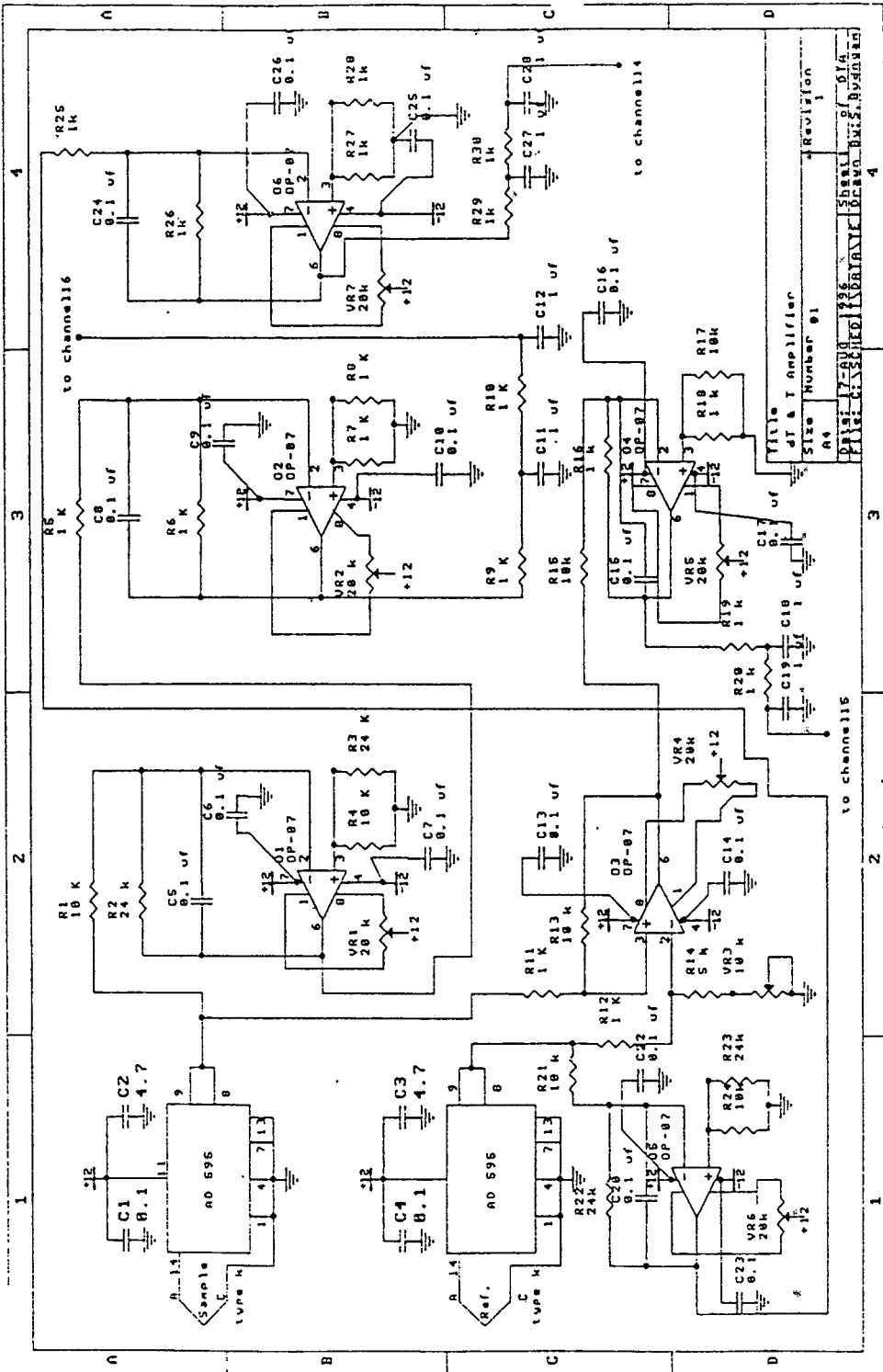


รูปที่ 3.16 แสดง การเชื่อมต่อ ระบบจัดเก็บข้อมูล เข้ากับ ไมโครคอมพิวเตอร์

5. แหล่งจ่ายแรงดันของวงจรส่วนนี้จะเป็นแรงดัน $\pm 5V$ สำหรับสัญญาณอนาลอก แรงดัน $+5V$ สำหรับสัญญาณดิจิทัล ส่วน ground จะใช้ร่วมกัน แหล่งจ่ายแรงดันของวงจรส่วนนี้ รวมทั้งวงจรขยายสัญญาณอุณหภูมิของสารอ้างอิง วงจรขยายสัญญาณอุณหภูมิของสารตัวอย่าง วงจรขยายสัญญาณความแตกต่างอุณหภูมิของสารอ้างอิงและสารตัวอย่าง จะได้จากบัสแหล่งจ่ายไฟที่อยู่บน I/O slot ของไมโครคอมพิวเตอร์

การต่อสัญญาณจากหัววัดอุณหภูมิทั้ง 3 ส่วนเข้าสู่วงจรระบบจัดเก็บข้อมูลนั้นจำเป็นต้องทำการเปลี่ยนแปลงอัตราขยายเพื่อให้ขนาดของสัญญาณสอดคล้องกับแรงดันอ้างอิงของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลของระบบจัดเก็บข้อมูล โดยที่ แรงดันขาเข้าสูงสุดของระบบจัดเก็บข้อมูล มีค่าเป็น $\pm 4V$ แต่จากวงจรขยายหัววัดอุณหภูมิ เมื่อ อุณหภูมิสูงถึง $600^{\circ}C$ จะทำให้ได้แรงดันขาออกจาก วงจรขยายอุณหภูมิ $6.161V$ ซึ่งมากกว่า แรงดันขาเข้าสูงสุดของระบบจัดเก็บข้อมูล ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดทอนสัญญาณได้แรงดันขาออกจาก วงจรขยายอุณหภูมิ ลดลง ใน

ที่นี้จึงได้ออกแบบวงจรให้ลดทอนสัญญาณจากวงจรขยายอณูภูมิสารตัวอย่างและสารอ้างอิงมีอัตราการลดทอนเป็น 2.4 เท่า ลักษณะวงจรที่สมบูรณ์ ของวงจรขยายสัญญาณอณูภูมิของสารอ้างอิง วงจรขยายสัญญาณอณูภูมิของสารตัวอย่าง วงจรขยายสัญญาณความแตกต่างอณูภูมิของสารอ้างอิงและสารตัวอย่าง แสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แสดงวงจรขยายอนุกรมส่วนต่างๆที่ใช้เชื่อมต่อกับระบบจัดเก็บข้อมูล

3.1.4. การประมวลผลสัญญาณ

ข้อมูลจากระบบจัดเก็บข้อมูลจะถูกส่งต่อไปให้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ โดยผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS232C ซึ่งจะรับส่งข้อมูลเป็นรหัสแอสกีแบบอนุกรม กล่าวคือเป็นการรับส่งแบบเรียงลำดับทีละตัว ต่อจากนั้นเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ จะรับข้อมูลเพื่อนำไปประมวลผลต่อไป

การออกแบบซอฟต์แวร์ในการประมวลผลสัญญาณ

ข้อมูลที่รับเข้ามาสู่เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ข้อมูลอุณหภูมิของสารอ้างอิง ข้อมูลอุณหภูมิของสารตัวอย่าง และข้อมูลความแตกต่างอุณหภูมิ ซึ่งข้อมูลทั้ง 3 ส่วนนี้จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรก คือ การนำข้อมูลสารตัวอย่างและสารอ้างอิง มาเฉลี่ย เพื่อเป็นอุณหภูมิของเตาเผา แล้วนำข้อมูลส่วนนี้ไปเปรียบเทียบกับโปรแกรมอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเตาเผา เพื่อทำการควบคุมอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเตาให้คงที่ ซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป ข้อมูลกลุ่มที่ 2 คือ ข้อมูล ข้อมูลความแตกต่างอุณหภูมิสารอ้างอิงและสารตัวอย่าง ข้อมูลอุณหภูมิของสารตัวอย่าง จะนำไปวิเคราะห์และแสดงผลต่อไป

สำหรับซอฟต์แวร์ที่ใช้ประมวลผลสัญญาณของเครื่อง DTA ที่สร้างขึ้นนี้ จะเป็นซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นมาโดยใช้ ภาษา Basic ซึ่งใช้ Visual Basic 3 เนื่องจาก ภาษา Basic เป็นภาษาระดับสูง และ Visual Basic 3 มีลักษณะการเขียนโปรแกรมเป็นโครงสร้าง และสามารถใช้งานได้บนซอฟต์แวร์ Windows ที่ใช้แพร่หลายในปัจจุบัน

การทำงานของซอฟต์แวร์ตัวนี้ จะนำเอาข้อมูล กลุ่มที่ 2 มาประมวลผล โดยแบ่งการประมวลผลออกเป็น 2 โหมด คือ โหมดเวลาจริง (Realtime Mode) และ โหมดการวิเคราะห์ข้อมูลภายหลัง (Lab_Net Mode, Off_Line Mode, or Post_Run Mode)

โหมดเวลาจริง(Realtime Mode)

จะเป็นโหมดที่แสดงค่าความแตกต่างอุณหภูมิของสารตัวอย่างและสารอ้างอิง ค่าอุณหภูมิสารตัวอย่าง และ เวลาในขณะที่เครื่องมือทำงาน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของเตามีลักษณะที่ช้ามาก ผลของข้อมูลที่อ่านได้จึงถือว่าเป็นข้อมูลเวลาจริง ข้อมูลที่อ่านได้จะทำการเก็บบันทึกเอาไว้ในแผ่นจานแม่เหล็กในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ การแสดงผลของข้อมูลในโหมดนี้

จะแสดงในรูปของกราฟและตัวเลข โดยที่กราฟจะแสดงในลักษณะ ค่าอุณหภูมิสารตัวอย่าง ค่าความแตกต่างอุณหภูมิของสารตัวอย่างและสารอ้างอิงเป็นค่าในแกน Y และ ค่าเวลาเป็นค่าในแกน X ในระบบพิกัดฉาก ส่วนในรูปของตัวเลข จะแสดงค่าของอุณหภูมิสารตัวอย่าง ค่าความแตกต่างอุณหภูมิของสารตัวอย่างและสารอ้างอิง อุณหภูมิของเตา และ เวลา

โหมดการวิเคราะห์ข้อมูลภายหลัง (Lab_Net Mode, Off_Line Mode, or Post_Run Mode)

จะเป็นโหมดที่ใช้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลภายหลังจากเครื่องมือทำงานในโหมดเวลาจริงเสร็จสิ้นลง หรือที่นอกเหนือจากเวลาจริง โดยที่ข้อมูลที่จะทำการวิเคราะห์จะดึงมาจากแฟ้มที่เก็บไว้บนจานแม่เหล็ก การแสดงผลของข้อมูลในโหมดนี้จะแสดงในรูปของกราฟและตัวเลข โดยที่กราฟจะแสดงในลักษณะ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิของสารตัวอย่างกับสารอ้างอิงเป็นค่าในแกน Y และ ค่าอุณหภูมิสารตัวอย่าง เป็นค่าในแกน X ในระบบพิกัดฉาก โดยใช้ซอฟต์แวร์ Microsoft Excel 5 ส่วนในรูปของตัวเลข จะแสดงค่าของ จุด T_b , T_m , T_c , T_p , และ ΔH โดยการแสดงผลส่วนนี้จะวิเคราะห์โดยใช้ซอฟต์แวร์ Visual Basic 3 ที่พัฒนาขึ้น

หลักการการทำงานของซอฟต์แวร์ที่ใช้ประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลสามารถแบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอน ดังนี้

1. การรับข้อมูลเข้ามาวิเคราะห์
2. การแปลงข้อมูลที่รับเข้ามาให้เป็นเลขจำนวนเต็ม
3. การกรองสัญญาณด้วยวิธี Moving Average
4. การประมาณค่าพื้นที่ใต้พีค
5. การแสดงผลสัญญาณทางจอภาพ
6. การรายงานผลการวิเคราะห์
7. การอ่านและบันทึกข้อมูลลงบนแผ่นจานแม่เหล็ก

1. การรับข้อมูลเข้ามาวิเคราะห์

สามารถแบ่งรูปแบบการรับข้อมูลได้เป็น 2 รูปแบบ คือ การรับข้อมูลจากระบบจัดเก็บข้อมูล ในโหมดเวลาจริง และจากแฟ้มข้อมูลที่เก็บไว้ในแผ่นงานแม่เหล็ก เป็นการรับข้อมูลในโหมดการวิเคราะห์ข้อมูลภายหลังในกรณี การรับข้อมูลจากระบบจัดเก็บข้อมูลโปรแกรมจะรับข้อมูลซึ่งเป็นรหัสแอสกีผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS232C โดยซอฟต์แวร์สำหรับติดต่อกับ พอร์ตอนุกรม จะทำการส่งสัญญาณกระตุ้นไปบอกให้ 8751 ส่งข้อมูลเข้ามาครั้งละ 16 ไบท์ ซึ่งอยู่ในรูปของรหัสแอสกี แล้วจึงทำการเปลี่ยนแปลงรูปแบบข้อมูลจากข้อมูลตัวอักษรเป็นตัวเลขจำนวนเต็มแล้วจึงนำตัวเลขที่ได้ไปทำการคำนวณอีกทีจึงจะสามารถนำข้อมูลไปประมวลผลในขั้นต่อไปได้ ส่วนกรณีการอ่านข้อมูลจากแฟ้มข้อมูลจะอ่านเป็นข้อมูลสายอักษรเช่นกันจึงจะต้องทำการเปลี่ยนแปลงรูปแบบข้อมูลจากข้อมูลตัวอักษรเป็นตัวเลขจำนวนเต็มแล้วจึงนำตัวเลขที่ได้ไปทำการคำนวณอีกที

2. การแปลงข้อมูลที่รับเข้ามาให้เป็นเลขจำนวนเต็ม

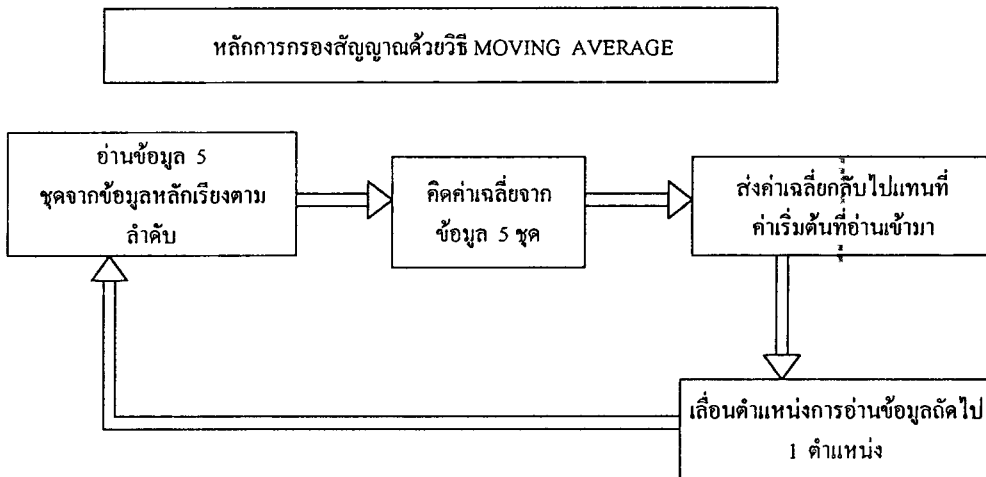
ก. เมื่อ ไมโครคอมพิวเตอร์ส่งสัญญาณ(/O)ไปกระตุ้นให้ 8751 ส่งสัญญาณที่ผ่านการแปลงจากสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล มาให้ไมโครคอมพิวเตอร์ สมมติว่าได้ข้อมูลมาดังในเครื่องหมายคำพูดนี้ “+0106-0017+0111” ข้อมูลเหล่านี้เป็นชนิดสายตัวอักษร(String)

ข. ทำการแยกข้อมูลออกเป็นสามส่วนคือส่วนอุณหภูมิสารตัวอย่างส่วนความแตกต่างทางอุณหภูมิ ส่วนอุณหภูมิอ้างอิง เราจะได้ข้อมูลเป็น “+0111” “-0017” และ “+0106”ขณะนี้ข้อมูลยังเป็นสายอักษรอยู่ซึ่งใช้ในการคำนวณไม่ได้ จึงต้องทำการเปลี่ยนชนิดของข้อมูลให้เป็นตัวเลขก่อน เมื่อทำการเปลี่ยนชนิดของข้อมูลแล้วเราจะได้ข้อมูลที่เป็นเลขจำนวนเต็มมา 3 จำนวน

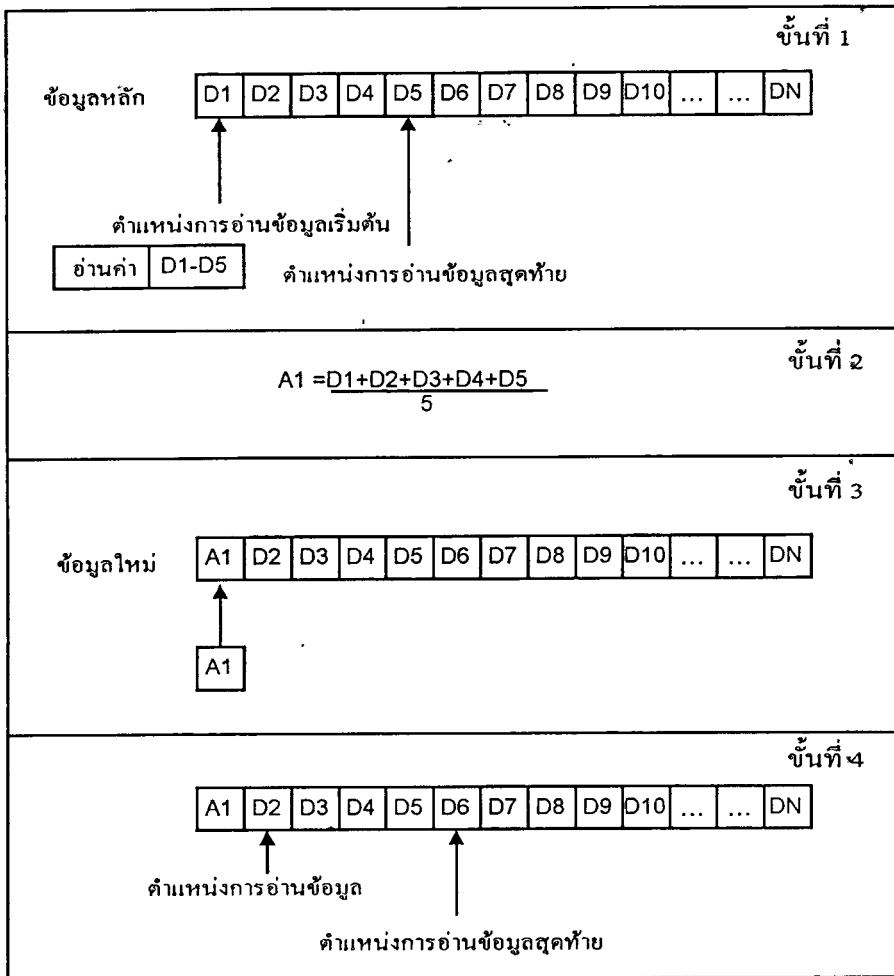
ค. นำเลขจำนวนเต็มทั้งสามจำนวน ไปทำการคำนวณ ให้เป็นค่าอุณหภูมิต่างๆ ตามที่ต้องการข้อมูลนี้จะถูกประมวลผลและเก็บลงในงานแม่เหล็ก

3. การกรองสัญญาณด้วยวิธี Moving average

โดยปกติสัญญาณที่ได้รับจากเครื่อง ระบบจัดเก็บข้อมูล อาจจะมีสัญญาณรบกวนขนาดเล็ก ๆ ปะปนอยู่ ซึ่งในบางครั้งอาจจะส่งผลให้มีการตรวจพบเป็นพีคสัญญาณที่ไม่ถูกต้องขึ้นมาได้ กรณีที่มีสัญญาณรบกวนในลักษณะเช่นนี้ จึงควรกรองสัญญาณรบกวนที่ปะปนเข้ามาออกโดยอาศัยวิธี Moving average ซึ่งวิธีนี้จะช่วยให้สัญญาณที่ได้มีความเรียบมากขึ้น ทำให้ลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวนขนาดเล็ก ๆ ได้มาก การตรวจเช็คพีคสัญญาณที่ได้ก็จะเป็นความถูกต้องมากขึ้น ซึ่งในซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นมาได้กำหนดให้มีการกรองสัญญาณ โดยการกรองสัญญาณที่ใช้จะเป็น Moving average แบบเฉลี่ย 5 จุด



รูปที่ 3.18 แสดงการคำนวณโดยใช้ Moving average แบบเฉลี่ย 5 จุด



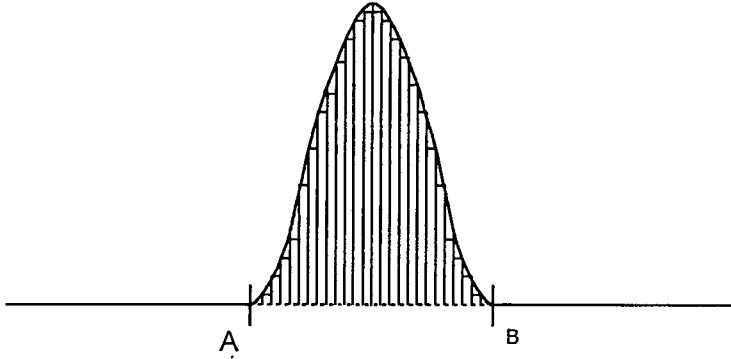
รูปที่ 3.19 แสดงขั้นตอนการคำนวณโดยวิธี Moving average แบบเคลื่อนที่ 5 จุด

เมื่อดำเนินการไปจนหมดข้อมูล D_n ค่าจะได้ข้อมูลเฉลี่ยทั้งสิ้น D_{n-4} ค่า

4. การประมาณค่าพื้นที่ใต้พีค

การประมวลผลสัญญาณ ในส่วนนี้จะทำการประมาณค่าพื้นที่ใต้พีค โดยพิจารณาจากรูป

ที่ 3.21



รูปที่ 3.20 แสดงพีคสัญญาณที่ต้องการหาค่าพื้นที่ใต้พีค

จากรูปที่ 3.21 ส่วนประกอบของกราฟเป็นดังต่อไปนี้

- เส้นตรง AB คือเส้นฐาน
- จุด A คือจุดเริ่มต้นของปฏิกิริยา
- จุด B คือจุดสิ้นสุดของปฏิกิริยา

- พื้นที่ใต้พีคสามารถหาได้จากการแบ่งพื้นที่ใต้พีคออกเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า เมื่อดูจากภาพจะเห็นว่าถ้าเราทำการแบ่งพื้นที่ใต้พีคเป็นส่วนย่อยหลายๆ ส่วน เมื่อนำพื้นที่สี่เหลี่ยมในแต่ละส่วนมารวมกันจะได้ค่าที่ใกล้เคียงกับพื้นที่ใต้พีค ยิ่งทำการแบ่งพื้นที่ใต้พีค ให้เป็นส่วนละเอียดเท่าใดพื้นที่ที่ได้ก็จะยิ่งใกล้เคียงกับค่าพื้นที่จริงเท่านั้น ดังนั้นในการคำนวณพื้นที่ใต้พีค จะใช้วิธีคำนวณเป็นผลบวกโดยรวมของข้อมูลที่อยู่เหนือระดับฐานพีค(Baseline) ตั้งแต่จุดเริ่มต้นพีคจนถึงจุดปลายพีค ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{Area} = \sum (\text{Data} - \text{Baseline})$$

เมื่อได้ค่าพื้นที่ใต้พีคแล้วจะนำค่าพื้นที่ที่ได้มาคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีของสารอีกที หรืออีกทางหนึ่งก็นำค่าพื้นที่คำนวณได้กับค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีมาตรฐานมาคำนวณหาค่าคงที่ของเครื่อง

การคำนวณหาค่าคงที่ของเครื่องจะอาศัยสมการ (2.12) และ สมการ (2.13) คือ

$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} K' \Delta T dT = \int_{T_1}^{T_2} m c_p dT$$

$$\text{ดังนั้น ค่าคงที่ของเครื่องมือ คือ } K' = \frac{m c_p (T_1 - T_2)}{\int_{T_1}^{T_2} \Delta T dT}$$

$$k' = m c_p (T_1 - T_2) / \text{พื้นที่ใต้กราฟ}$$

เมื่อ m คือ มวลของสาร และ c_p คือ ความจุความร้อนจำเพาะของสาร

5. การแสดงผลสัญญาณทางจอภาพ

ในการแสดงผลสัญญาณทางจอภาพจะแบ่งการแสดงผลเป็นการแสดงผลข้อมูลในรูปของกราฟ และตัวเลขซึ่งได้กล่าวถึงมาแล้ว ในหัวข้อ 1

6. การรายงานผลการวิเคราะห์

เราสามารถแสดงผลการวิเคราะห์ทางเครื่องพิมพ์ได้ ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลที่ได้ภายหลังการเสร็จสิ้นการใช้งาน ในโหมดเวลาจริง ใหม่ ๆ หรือในโหมดหลังเตาความร้อนเลิกทำงาน สำหรับการเลือกเครื่องพิมพ์นี้สามารถเลือกได้จากไอคอน Print manager ของ windows

7. การอ่านและบันทึกข้อมูลลงบนแผ่นจานแม่เหล็ก

การทำงานของโปรแกรม จะสามารถบันทึกไฟล์ข้อมูลลงบนแผ่นจานแม่เหล็กได้ เมื่อมีข้อมูลและอยู่ในโหมดเวลาจริงเท่านั้น ในขณะที่อ่านไฟล์ข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลใหม่จะต้องทำงานอยู่ในโหมดหลังเตาความร้อนเลิกทำงาน เท่านั้น การบันทึกข้อมูลจะทำการบันทึกในทุก ๆ 10 วินาที

3.1.5. การโปรแกรมอุณหภูมิ(Temperature Program)

การโปรแกรมอุณหภูมิของเตาเผา จะได้มาจากสมการการควบคุม แบบ PID คือ

$$v_{out} = K_p v_{error} + K_I \int v_{error} dt + K_D \frac{dv_{error}}{dt} + v_o \quad (3.3)$$

ถ้า แทน v_{error} ด้วย e และ v_o เท่ากับ ศูนย์ และ K_p, K_I, K_D คือ ค่าคงที่ ถ้า $K_D = 0$ จะทำให้ได้การควบคุมเป็นแบบ PI และถ้าให้ $K_I = 0$ เพิ่มอีก จะทำให้ได้การควบคุมเป็นแบบ P อย่างเดียว ซึ่งค่าคงที่ทั้ง 3 นี้ จะเป็นค่าคุณภาพของการควบคุม ซึ่งค่าคงที่เหล่านี้ จะได้มาจากการทดลอง

จากสมการ (3.3) เพื่อที่จะสามารถทำให้เขียนโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิตนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ได้ เราจะได้ กระจายสมการออกเป็น

$$\begin{aligned} \frac{dv_o}{dt} &= K_p \frac{de}{dt} + K_I \frac{d}{dt} \left(\int edt \right) + K_D \frac{d^2e}{dt^2} \\ \frac{dv_o}{dt} &= K_p \frac{de}{dt} + K_I e + K_D \frac{d}{dt} \left(\frac{de}{dt} \right) \end{aligned}$$

สมการเหล่านี้ จะบอกได้ว่า สัญญาณขาออกจะเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไปในช่วงเวลา dt แต่ในความเป็นจริง ระบบของไมโครคอมพิวเตอร์ จะให้ช่วงเวลา dt เป็น คาบเวลา T ดังนั้น การเปลี่ยนแปลง (Δ) สัญญาณขาออก และค่าความคลาดเคลื่อนจาก 1 คาบเวลา ไปยังคาบเวลา T ถัดไปจะมีค่าเป็น

$$\frac{\Delta v_o}{T} = K_p \frac{\Delta e}{T} + K_I e + K_D \frac{\Delta}{T} \left(\frac{\Delta e}{T} \right)$$

เมื่อ T คือ คาบเวลา I รอบ คุณ T เข้าทั้ง 2 ข้าง จะได้ว่า

$$\Delta v_o = K_p \Delta e + K_I eT + K_D \Delta \left(\frac{\Delta e}{T} \right) \quad (3.4)$$

การเปลี่ยนแปลงของ v_o คือ Δv_o จะเป็นค่าความแตกต่างระหว่าง ค่าปัจจุบัน และค่าที่อ่านได้จาก ช่วงคาบเวลาก่อน นั่นคือ

$$\Delta v_o = v_{on} - v_{on-1}$$

ในทำนองเดียวกัน สำหรับความคลาดเคลื่อน

$$\Delta e = e_n - e_{n-1}$$

เขียนสมการ (3.4) ใหม่ได้เป็น

$$v_o - v_{on-1} = k_p (e_n - e_{n-1}) + K_I eT + \frac{K_D}{T} (\Delta e_n - \Delta e_{n-1}) \quad (3.5)$$

ในทอมสุดท้าย ค่า Δ สามารถกระจายออกได้เป็น

$$\Delta e_n = e_n - e_{n-1}$$

$$\Delta e_{n-1} = e_{n-1} - e_{n-2}$$

แทนค่าเหล่านี้ ในสมการ (3.5) จะได้ว่า

$$v_o - v_{on-1} = K_p (e_n - e_{n-1}) + K_I eT + \frac{K_D}{T} [(e_n - e_{n-1}) - (e_{n-1} - e_{n-2})]$$

สุดท้ายจะได้แรงดันขาออกปัจจุบันเป็น

$$v_o = v_{on-1} + K_p (e_n - e_{n-1}) + K_I eT + \frac{K_D}{T} (e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2}) \quad (3.6)$$

ดังนั้นเราจึงสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมสัญญาณขาออกได้จากสัญญาณขาออกครั้งก่อนค่า ความคลาดเคลื่อนปัจจุบัน ค่าความคลาดเคลื่อนครั้งก่อน คาบเวลา และค่าคงที่ สัญญาณขาออกที่ได้ จะส่งออกไปควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิของเตาผ่านทางพอร์ตขนานของ ไมโคร คอมพิวเตอร์โดยใช้ วงจร DAC เป็นตัวเชื่อมโยง ในปัจจุบันวงจร DAC มีอย่างแพร่หลายในท้อง ตลาด จึงสามารถนำมาใช้งานได้อย่างง่ายดาย ในที่นี้ได้เลือก ใช้การ์ดบอร์ด DAC ขนาด 12 บิต 1 ช่อง มีแรงดันขาออก 0-9 V ในที่นี้ที่ใช้งานจะปรับให้แรงดันสูงสุดเป็น 3 V สามารถให้แรงดันขา ออกเป็น ไฟบวกทางเดียว และมีแอดเดรสในการใช้งานเป็น \$278-\$27F ในเลขฐานสิบหก และสามารถเสียบวางอยู่บน slot ของไมโครคอมพิวเตอร์ ภายในเครื่องโดยมีลักษณะขาต่อสัญญาณ

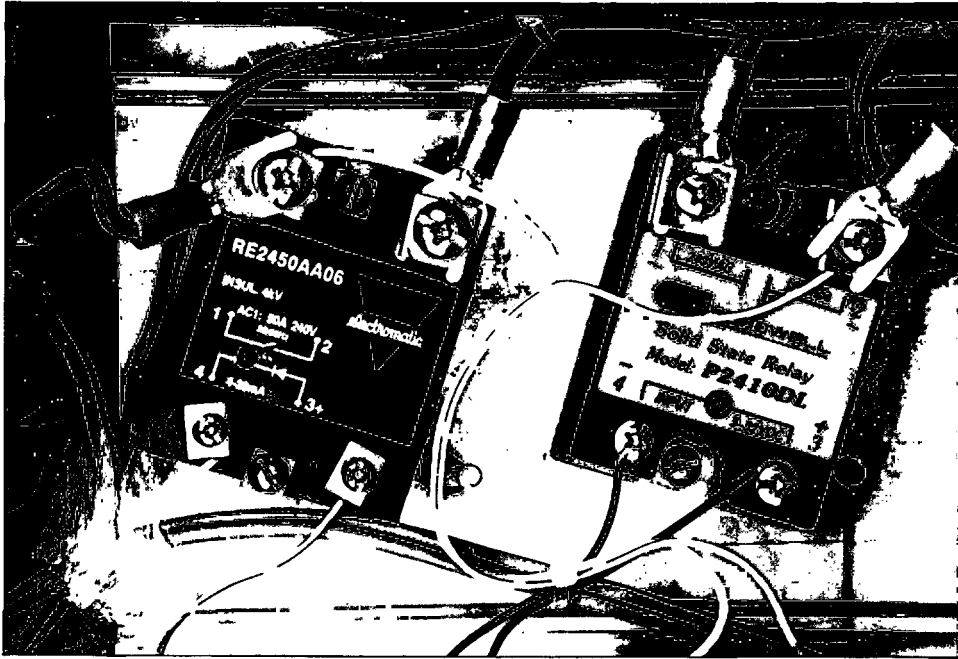
ออกตัววงจรภายนอกที่เป็นส่วนควบคุมกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่เตาเผา เป็น แบบ DB-25 โดยมีขาต่อ สัญญาณดังนี้

ขา	สัญญาณ
1	GND
2	D/A out
3	5 V
4	GND
13	12V
14	GND
15	-5V
16	GND
25	-12V

จากลักษณะสัญญาณของ DB-25 ของ การ์ด DAC จะพบว่า ขา 2 จะนำไปควบคุมโซลิดสเตตริเลย์ของวงจร Phase-Controlled AC Regulator ส่วนสัญญาณขาที่เหลือต่างๆจะเป็นแหล่งจ่ายไฟตรงซึ่งสามารถนำไปจ่ายให้กับ วงจร ส่วนขยายอุณหภูมิทั้งหมด วงจรของ ระบบจัดเก็บข้อมูล

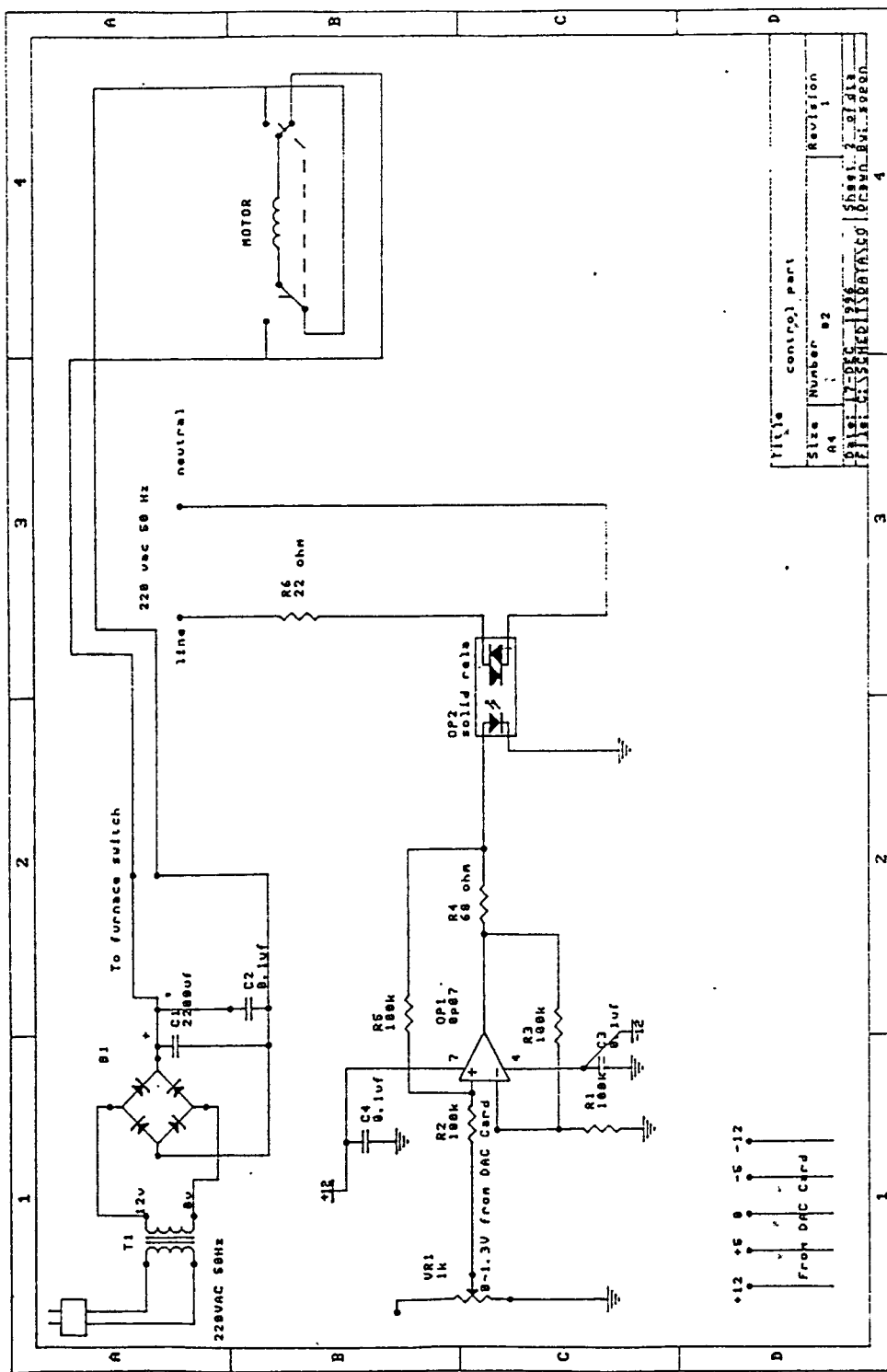
3.1.6 เฟสคอนโทรลเอซีเรกิวเลเตอร์

วงจรส่วนนี้จะรับสัญญาณอนาลอกจากไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านทางวงจรการ์ด D/C เข้ามาควบคุมอัตราการให้ความร้อนแก่เตา โดยจะควบคุมด้วยอุปกรณ์กำลังที่ เรียกว่า Opto-triac หรือ ที่เรียกว่า Opto-coupler ซึ่งจะอยู่ภายใน โซลิดสเตตริเลย์ เพื่อแยกวงจรส่วนของไมโครคอมพิวเตอร์ออกจากไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V ที่เป็นตัวจ่ายพลังงานความร้อนแก่เตา การควบคุมกำลังไฟฟ้านี้จะใช้ลักษณะการควบคุมเฟส ของ ไทแรนแอค โซลิดสเตตริเลย์ ที่นำมาใช้งานจะเป็น โซลิดสเตตริเลย์ที่ควบคุมด้วยกระแสไฟฟ้าตรง ขนาด 4-20 mA และสามารถใช้งานได้กับ ไฟฟ้ากระแสสลับ 240 V 50 A 50/60 Hz ลักษณะของโซลิดสเตตริเลย์ที่นำมาใช้งานแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.22

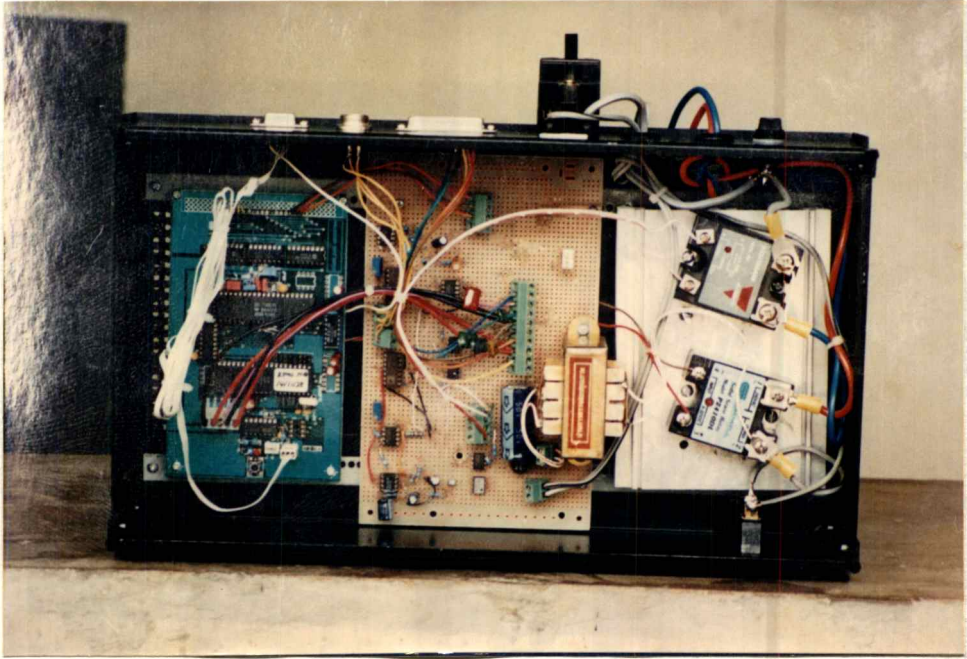


รูปที่ 3.21 แสดงลักษณะของโซลิดสเตตรีเลย์ที่นำมาใช้งาน

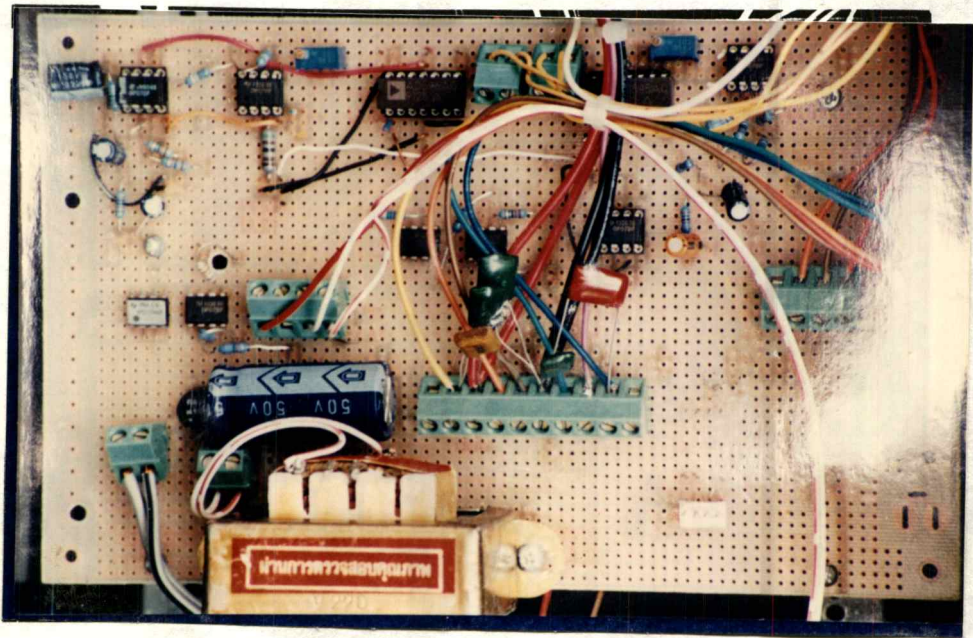
จากการที่โซลิดสเตตรีเลย์ที่นำมาใช้งานเป็นโซลิดสเตตรีเลย์ประเภทที่ต้องควบคุมด้วยไฟฟ้า กระแสตรง แต่สัญญาณที่ได้จากขา 2 ของ การ์ด DAC จะเป็นสัญญาณแรงดัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนสัญญาณแรงดันให้เป็นกระแส จึงจะสามารถควบคุมโซลิดสเตตรีเลย์ได้ ลักษณะของวงจร เปลี่ยนแรงดันเป็นกระแสและใช้ขับโซลิดสเตตรีเลย์ และ แหล่งจ่ายไฟสำหรับขับมอเตอร์ขับเคลื่อนภาชชนะใส่สารให้ขึ้นลงได้ แสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.23 และ เครื่องต้นแบบของวงจรขยาย อุณหภูมิ ระบบจัดเก็บข้อมูล และ วงจรส่วน เฟสคอนโทรลเอซีเรกทิวเลเตอร์ที่วางเอาไว้ในกล่องเดียวกัน ในที่นี้จะเรียกแทนอย่างสั้นๆว่า InBox และแสดง ให้เห็นดังรูปที่ 3.24



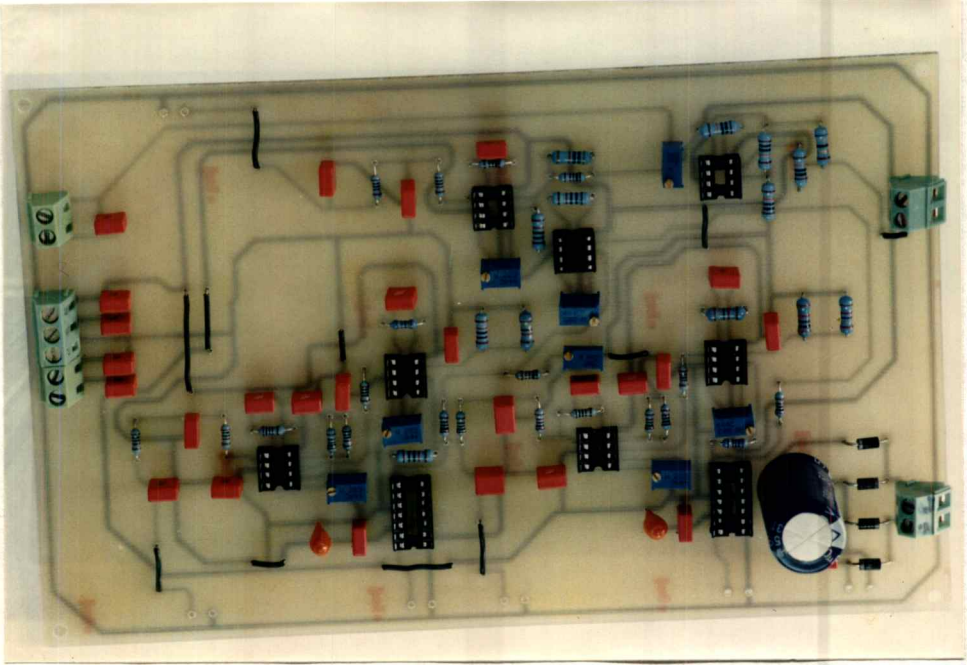
รูปที่ 3.22 แสดงวงจรเปลี่ยนสัญญาณแรงดันเป็นกระแส และ แหล่งจ่ายไฟตรง สำหรับมอเตอร์ขับเคลื่อนภาชนะใส่สาร



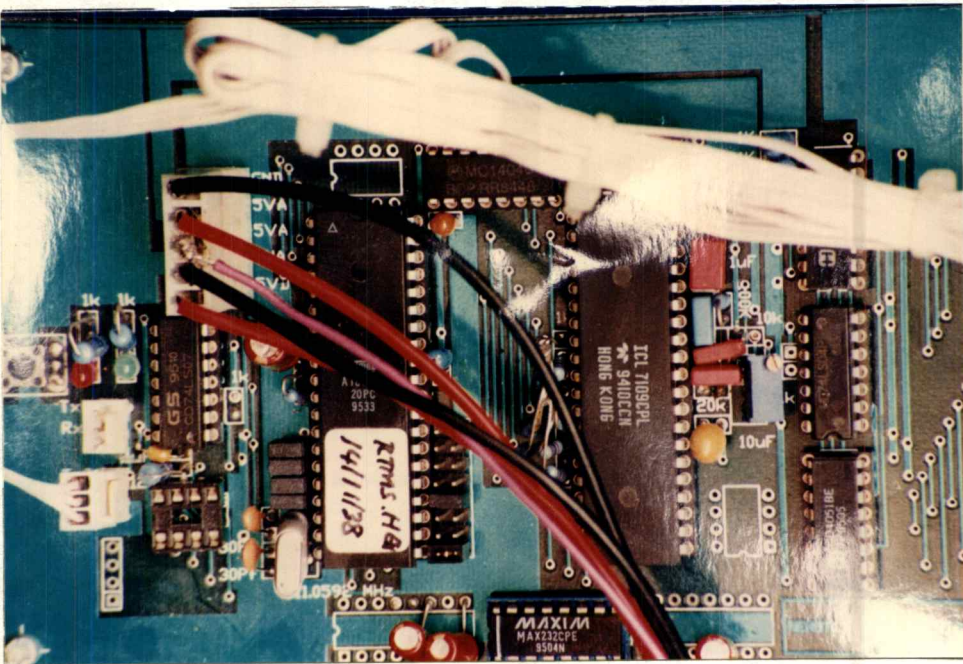
รูปที่ 3.23 แสดงลักษณะภายในของกล่อง InBox



รูปที่ 3.24 แสดงวงจรขยายอุณหภูมิส่วนต่างๆ



รูปที่ 3.25 แสดงวงจรขยายอนุกรมที่มีส่วนต่างๆ และแหล่งจ่ายไฟตรง
สำหรับมอเตอร์ขับเคลื่อนภาชนะใส่สารที่ทำซ้ำขึ้นใหม่



รูปที่ 3.26 แสดง ระบบจัดเก็บข้อมูล

บทที่ 4

การทดลอง

ในการทดสอบเครื่องมือที่สร้างขึ้นนี้ ลำดับแรกจะเป็นการทดสอบอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเตาในการออกแบบจะกำหนดอัตราการเพิ่มอุณหภูมิอย่างคงที่ในช่วง อุณหภูมิห้อง ถึง $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิกงที่ $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$, $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$, $4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$, และ $6\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ลำดับที่สอง จะเป็นการทดสอบหาค่าของจุด T_m ของสารตัวอย่าง 4 ชนิด ได้แก่ กรดเบนโซอิก, โปแตสเซียมไนเตรต, ดีบุก, ซิลเวอร์ซัลเฟต ในขณะที่เดียวกัน จะหาค่าคงที่ของเครื่องมือ K' และ หาค่าอุณหภูมิของจุด T_p ของคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบข้อมูลผลการทดลองจากเครื่อง DTA ที่สร้างขึ้น กับเครื่อง NETZCH STA 409C

4.1 การทดสอบอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ

หลังจากที่ได้สร้างเครื่องต้นแบบสำเร็จ ได้มีการทดสอบการใช้งานของเครื่อง:ซึ่งผลการทดสอบมีดังต่อไปนี้

4.1.1.จากการกำหนดอัตราการเพิ่ม อุณหภูมิ $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะได้ผลการทดสอบที่ให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิอย่างคงที่ในช่วงอุณหภูมิห้อง ถึง $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิกงที่ $1.53\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ดังนั้นจึงมีความคลาดเคลื่อนไปเป็น 23.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสาเหตุเกิดจากการปรับค่าคงที่ K_p, K_f, K_d จากโปรแกรมได้ไม่เหมาะสม โดยที่ค่า คงที่ K_p, K_f, K_d หาได้จากการทดลอง ในกรณีนี้ จะใช้ค่า

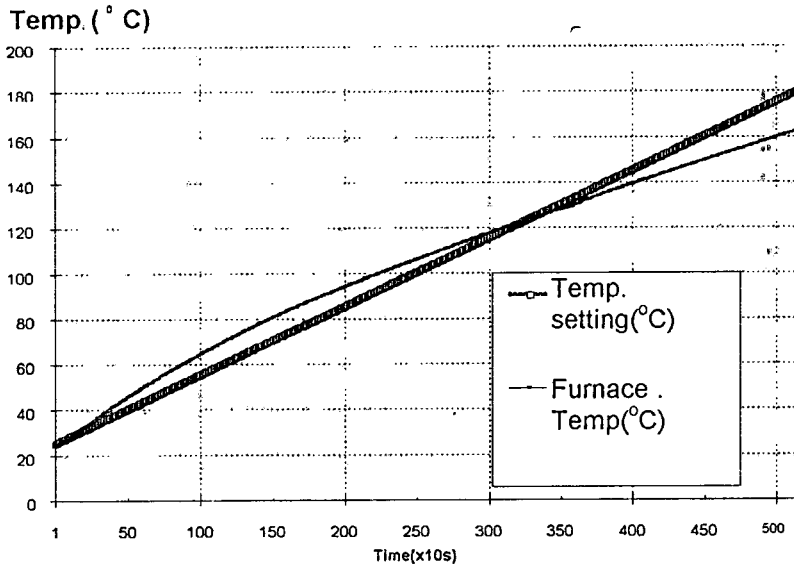
$K_p = 0.005, K_f = 0, K_d = 0.05$ และผลการทดสอบแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.1

4.1.2. จากการกำหนดอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะได้ผลการทดสอบที่ให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิอย่างคงที่ในช่วงอุณหภูมิห้อง ถึง $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิกงที่ $2.82\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ดังนั้นจึงมีความคลาดเคลื่อนไปเป็น 6.00 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสาเหตุเกิดจากการปรับค่าคงที่ K_p, K_f, K_d จากโปรแกรมได้ไม่เหมาะสม โดยที่ค่า คงที่ K_p, K_f, K_d หาได้จากการทดลอง ในกรณีนี้ จะใช้ค่า

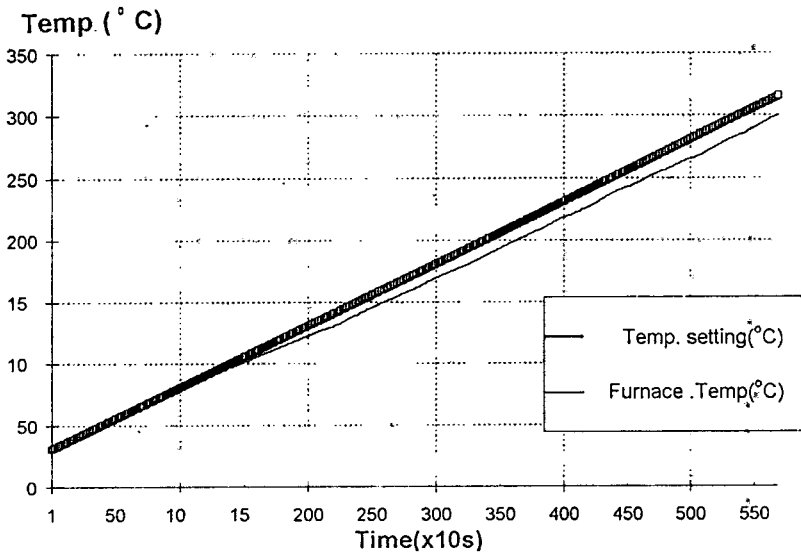
$K_p = 0.0167$, $K_I = 0$, $K_d = 0.05$ และผลการทดสอบแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.2

4.1.3. จากการกำหนดอัตราการเพิ่ม อุณหภูมิ $4^\circ\text{C}/\text{min}$ ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะได้ผลการทดสอบที่ให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิอย่างคงที่ในช่วงอุณหภูมิห้อง ถึง 600°C ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิกว่า $4.29^\circ\text{C}/\text{min}$ ดังนั้นจึงมีความคลาดเคลื่อนไปเป็น 7.25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสาเหตุเกิดจากการปรับค่าคงที่ K_p , K_I , K_d จากโปรแกรมได้ไม่เหมาะสม โดยที่ค่าคงที่ K_p , K_I , K_d หาได้จากการทดลอง ในกรณีนี้ จะใช้ค่า $K_p = 0.083$, $K_I = 0$, $K_d = 0.05$ และผลการทดสอบแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.3

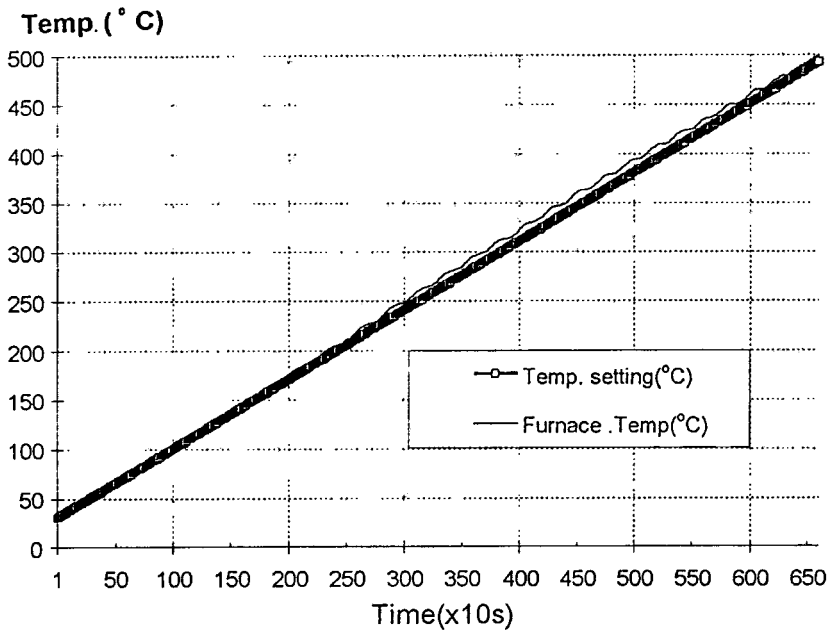
4.1.4 จากการกำหนดอัตราการเพิ่ม อุณหภูมิ $6^\circ\text{C}/\text{min}$ ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะได้ผลการทดสอบจะให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิอย่างคงที่ในช่วงอุณหภูมิห้อง ถึง 600°C ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิกว่า $6^\circ\text{C}/\text{min}$ ดังนั้นจึงมีความคลาดเคลื่อนไปเป็น 0.0 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสาเหตุเกิดจากการปรับค่าคงที่ K_p , K_I , K_d จากโปรแกรมได้อย่างเหมาะสม โดยที่ค่าคงที่ K_p , K_I , K_d หาได้จากการทดลอง ในกรณีนี้ จะใช้ค่า $K_p = 0.083$, $K_I = 0$, $K_d = 0.001$ และผลการทดสอบแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.4 ดังนั้นในการใช้งานที่เครื่องมือ DTA ที่สร้างขึ้นนี้ จะให้ความแม่นยำในการวิเคราะห์สารสูงสุด จะต้องใช้ อัตราการเพิ่มอุณหภูมิเป็น $6^\circ\text{C}/\text{min}$



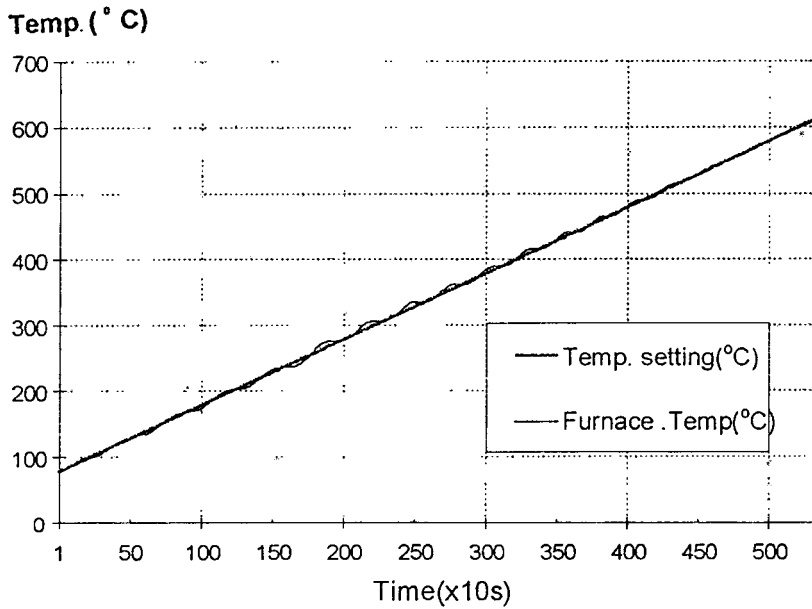
รูปที่ 4.1 แสดงกราฟอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 1.53 °C/ min



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 2.82 °C/ min



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 4.29 °C/ min



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 6.00 °C/ min

4.2 การทดสอบสารตัวอย่าง

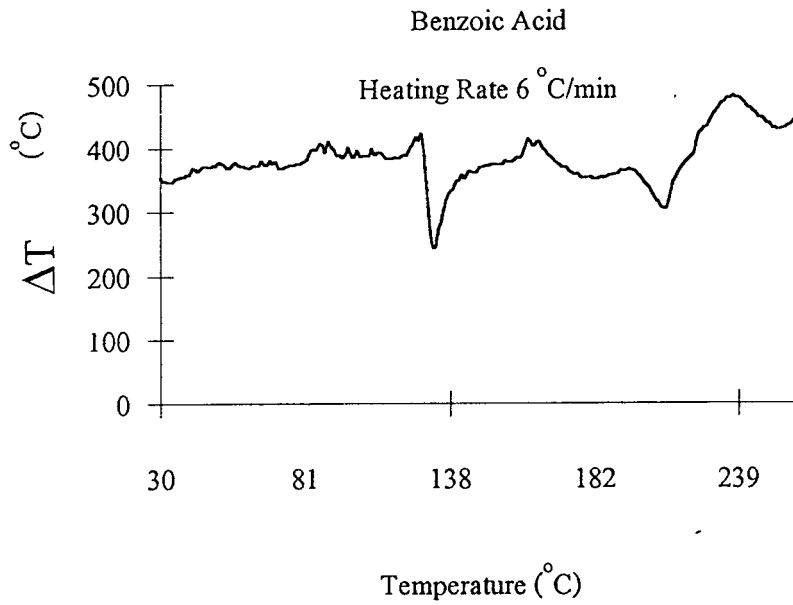
ผลการทดลองของสารตัวอย่างที่นำมาศึกษาและใช้ทดสอบในโหมดการทำงานภายหลังให้ความร้อนแก่สารหรือเตาความร้อนไฟฟ้าเล็กทำงานมี ดังต่อไปนี้

1. สารตัวอย่าง กรดเบนโซอิก

ซึ่งมีลักษณะ เป็นผงโลหะ มีความบริสุทธิ์ 99.999% และเป็นสารตัวอย่างที่ สมาคม ICTA (International Confederation for Thermal Analysis) และ สมาคม NBS (National Bureau of Standards) ได้ กำหนดให้เป็นสารมาตรฐาน สำหรับ สอบเทียบ(Calibration) เครื่องมือ DTA ที่มีความสามารถให้ความร้อนแก่สารตัวอย่าง ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 58-125 °C โดยที่จะรายงานผลการทดสอบออกมาในรูปของ จุด T_m โดยที่สาร กรดเบนโซอิก นี้ จะมีจุด T_m มีค่า เป็น 123 ± 5 °C ซึ่งจะเป็นช่วงของการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของแข็งไปเป็นของเหลว และมีค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานหรือการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี ΔH เป็น 148 J/g

ผลการทดสอบ ที่ได้จากการใช้การวิเคราะห์จาก Lab_Net Mode โดยใช้ Excel 5 จะ แสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.5 โดยสารมีมวล 10.5 mg ดังนั้นสารตัวอย่างเบนโซอิก จะมีค่า ΔH เป็น $148 \times 10.5 \times 10^{-3} = 1.554$ J และ ค่าคงที่ของเครื่องมือ $K' = \Delta H /$ พื้นที่ใต้กราฟ, จากการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟของพีคสัญญาณ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะได้พื้นที่ใต้กราฟมีค่าเป็น 201.2 C²

ดังนั้น ค่าคงที่ของเครื่องมือ $K' = 1.554/201.2 = 0.007$ J/C²



รูปที่ 4.5 แสดงกราฟ กรดเบนโซอิกจาก Excel 5

จากการทดสอบเครื่องมือ DTA ที่สร้างขึ้นนี้ กับเครื่องมือ DTA ของ NETZCH รุ่น STA 409C จะได้ผลการทดสอบค่า T_m แสดงให้เห็นดังตารางที่ 4.1 ดังต่อไปนี้

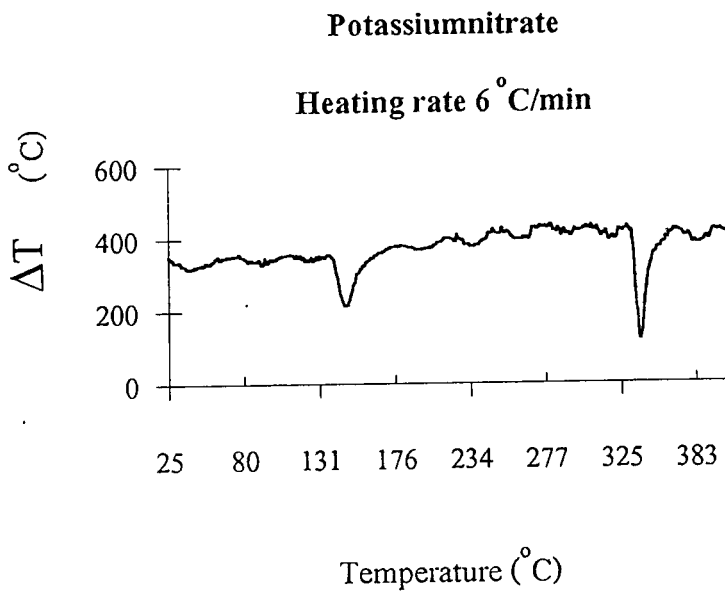
จุด Extrapolated onset temperature T_m ($^{\circ}\text{C}$)	
เครื่องมือ DTA ที่สร้างขึ้น DTA VERSION 1.0	เครื่องมือ DTA ยี่ห้อ NETZCH STA 409C
123	116.0
126	115.6
126	115.7
124	115.8
125	115.5
Maximum 126	116.0
Average 124 ± 1	115.7 ± 0.15
Minimum 123	115.5
Standard deviation ± 1.16	± 0.17
Repeatability 1.5%	0.25%
Reading Accuracy 1.46%	5.93%
Correlation r	-0.78

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า จุด T_m ($^{\circ}\text{C}$) ที่ได้จาก เครื่อง DTA VERSION 1.0 และ
เครื่อง NETZCH STA 409C

2. สารตัวอย่าง โพรแตสเซียมไนเตรต

ซึ่งมีลักษณะ เป็นผงโลหะ มีความบริสุทธิ์ 99.999% ซึ่งเป็นสารตัวอย่างที่ สมาคม ICTA และ สมาคม NBS ได้ กำหนดให้เป็นสารมาตรฐาน สำหรับ สอบเทียบเครื่องมือ DTA ที่มีความสามารถให้ความร้อนแก่สารตัวอย่าง ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง $125-435^{\circ}\text{C}$ โดยที่จะรายงานผลการทดสอบออกมาในรูปของ อุณหภูมิ ของ จุด T_m โดยที่สาร โพรแตสเซียมไนเตรต นี้ จะมีจุด T_m มีค่า เป็น $128 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ซึ่งจะเป็นช่วงของการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของแข็ง ไปเป็นของแข็ง และมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานหรือการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี ΔH เป็น 28.1 J/g ผลการทดสอบ ที่ได้จากการใช้การวิเคราะห์จาก Lab_Net Mode โดยใช้ Excel 5 จะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.6 โดยสารมีมวล 53.5 mg สารตัวอย่าง จะมีค่า ΔH เป็น $28.1 \times 53.5 \times 10^{-3} = 1.50 \text{ J}$

และ ค่าคงที่ของเครื่องมือ $K' = \Delta H /$ พื้นที่ใต้กราฟ จากการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟของพีคสัญญาณ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะได้พื้นที่ใต้กราฟมีค่าเป็น 211.757 C^2
 ดังนั้น ค่าคงที่ของเครื่องมือ $K' = 1.50/211.757 = 0.007 \text{ J/C}^2$



รูปที่ 4.6 แสดงกราฟโปรแตสเจียมไนเตรตจาก Excel 5

จากการทดสอบเครื่องมือ DTA ที่สร้างขึ้นนี้ กับเครื่องมือ DTA ของ NETZCH รุ่น STA 409C จะได้ผลการทดสอบหาค่า T_m ซึ่งได้ผลการทดลอง แสดงให้เห็นดัง ตารางที่ 4.2 ต่อไปนี้

จุด Extrapolated onset temperature T_m ($^{\circ}\text{C}$)	
เครื่องมือ DTA ที่สร้างขึ้น DTA VERSION 1.0 อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 6 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$	เครื่องมือ DTA ยี่ห้อ NETZCH STA-409C อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$
134	125.0
136	124.8
134	124.8
136	124.5
134	124.4
Maximum 136	125.0
Average 134 \pm 1	124.7 \pm 0.19
Minimum 134	124.4
Standard deviation \pm 1.6	\pm 0.22
Repeatability 1%	0.3%
Reading Accuracy 5.3%	2.6%
Correlation r	-0.19

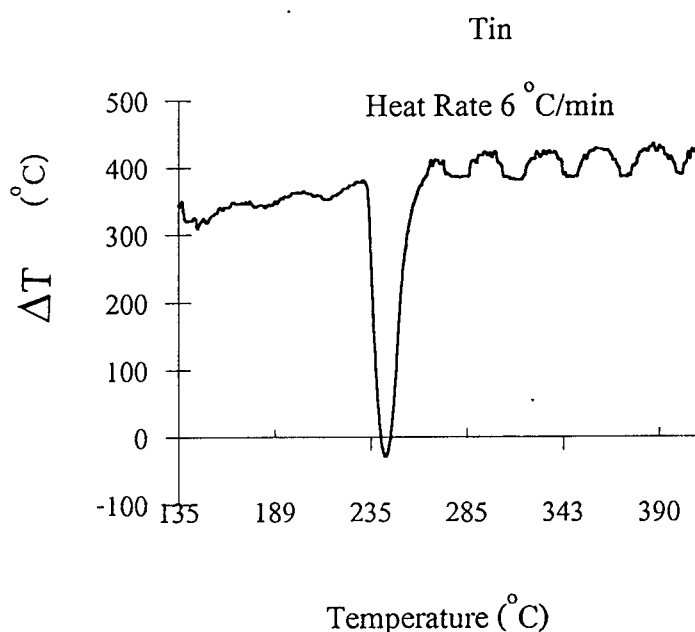
ตารางที่ 4.2 แสดงค่า จุด T_m ($^{\circ}\text{C}$) ที่ได้จาก เครื่อง DTA VERSION 1.0
และ เครื่อง NETZCH STA 409C

3. สารตัวอย่าง ดีบุก

มีลักษณะ เป็นผงโลหะ มีความบริสุทธิ์ 99.999% และเป็นสารตัวอย่างที่ สมาคม ICTA และ สมาคม NBS ได้ กำหนดให้เป็นสารมาตรฐาน สำหรับ สอบเทียบ เครื่องมือ DTA ที่มีความสามารถให้ความร้อนแก่สารตัวอย่าง ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 125-435 $^{\circ}\text{C}$ โดยที่จะรายงานผลการทดสอบออกมาในรูปของ อุณหภูมิ ของ จุด T_m โดยที่สาร ดีบุกนี้ จะมีจุด T_m มีค่า เป็น 232 \pm 5 $^{\circ}\text{C}$ ซึ่งจะเป็นช่วงของการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของแข็ง ไปเป็นของแข็ง และมีค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานหรือการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี ΔH เป็น 60.7 J/g ผลการทดสอบ ที่ได้จากการใช้การวิเคราะห์จาก Lab_Net Mode โดยใช้ Excel 5 จะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.7 ในการใช้งานนี้สารมี

มวล 154.1 mg และค่า ความจุความร้อนจำเพาะ $c_p = 0.225 \text{ J/(g}\cdot\text{C)}$ และค่าคงที่ของเครื่องมือ $K' = \Delta H / \text{พื้นที่ใต้กราฟ} = mc_p(T_1 - T_2) / \text{พื้นที่ใต้กราฟ}$ โดยที่ $T_1 = 232^\circ \text{C}$ $T_2 = 257^\circ \text{C}$ จากการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟของพีคสัญญาณ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะได้พื้นที่ใต้กราฟมีค่า เป็น 148.814 C^2

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ค่าคงที่ของเครื่องมือ } K' &= 154.1 \times 10^{-3} \times 0.225 \times 25 / 148.814 \\ &= 0.006 \text{ J/C}^2 \end{aligned}$$



รูปที่ 4.7 แสดงกราฟของดีบุกจาก Excel 5

จากการทดสอบเครื่องมือ DTA ที่สร้างขึ้นนี้ กับเครื่องมือ DTA ของ NETZCH รุ่น STA 409C จะ ได้ผลการทดสอบหาค่า T_m ซึ่งได้ผลการทดลอง แสดงให้เห็นดังตารางที่ 4.3 ดังต่อไปนี้

จุด Extrapolated onset temperature T_m ($^{\circ}\text{C}$)	
เครื่องมือ DTA ที่สร้างขึ้น DTA VERSION 1.0 อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $6^{\circ}\text{C}/\text{min}$	เครื่องมือ DTA ยี่ห้อ NETZCH STA-409C อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$
232	225.4
232	225.4
232	225.3
235	225.4
234	225.3
Maximum 235	225.4
Average 233 ± 1.12	225.4 ± 0.05
Minimum 232	225.3
Standard deviation ± 1.26	± 0.06
Repeatability 0.66%	0.033%
Reading Accuracy 0.43%	2.8%
Correlation r	0

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า จุด T_m ($^{\circ}\text{C}$) ที่ได้จาก เครื่อง DTA VERSION 1.0
และ เครื่อง NETZCH STA 409C

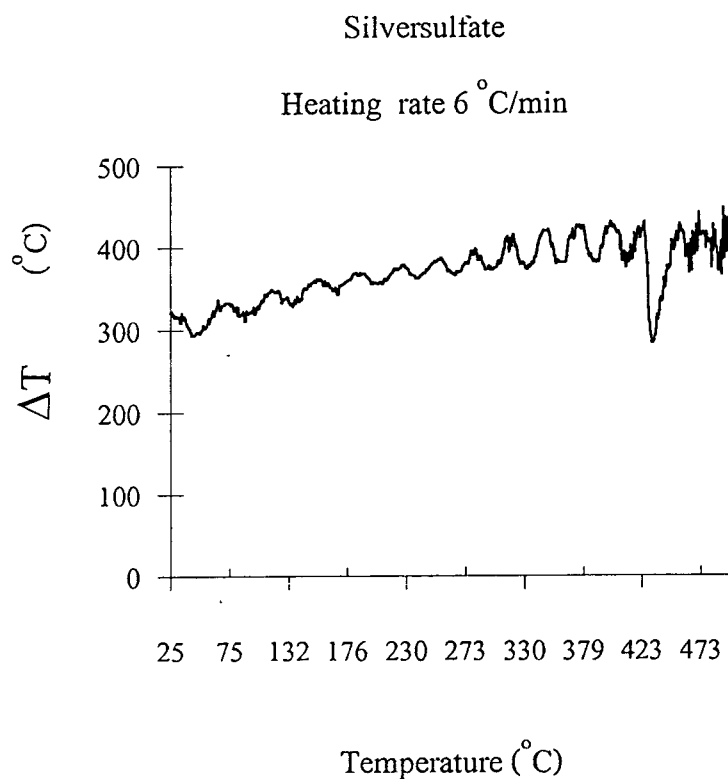
4. สารตัวอย่าง ซิลเวอร์ซัลเฟต

มีลักษณะ เป็นผงโลหะมีความบริสุทธิ์ 99.999% และเป็นสารตัวอย่างที่ สมาคม ICTA และ สมาคม NBS ได้ กำหนดให้เป็นสารมาตรฐาน สำหรับ สอบเทียบ เครื่องมือ DTA ที่มีความสามารถให้ความร้อนแก่สารตัวอย่าง ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง $125-435^{\circ}\text{C}$ และในช่วงอุณหภูมิระหว่าง $295-575^{\circ}\text{C}$ โดยที่จะรายงานผลการทดสอบออกมาในรูปของ อุณหภูมิ ของ จุด T_m โดยที่สารซิลเวอร์ซัลเฟตนี้ จะมีจุด T_m มีค่า เป็น $424 \pm 7^{\circ}\text{C}$ ซึ่งจะเป็นช่วงของการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของแข็ง ไปเป็นของแข็งและมีค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานหรือการเปลี่ยนแปลง

เอนทาลปี ΔH เป็น 13.7 J/g ผลการทดสอบ ที่ได้จากการใช้การวิเคราะห์จาก Lab_Net Mode โดยใช้ Excel 5 จะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.8 โดยสารมีมวล 64.2 mg ดังนั้นสารตัวอย่าง จะมีค่า ΔH เป็น $13.7 \times 64.2 \times 10^{-3} = 0.879$ J และ ค่าคงที่ของเครื่องมือ $K' = \Delta H /$ พื้นที่ใต้กราฟ จากการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟของพีคสัญญาณ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะได้พื้นที่ใต้กราฟมีค่าเป็น 174.257 C^2

ดังนั้น ค่าคงที่ของเครื่องมือ $K' = 0.879/174.257 = 0.005 \text{ J/C}^2$

จากการหา ค่าคงที่ของเครื่องมือ ทั้ง 4 สาร ข้างต้น จะสามารถนำมาเฉลี่ยเป็นค่าคงที่ของเครื่องมือได้ เป็น $K' = (0.007+0.007+0.006+0.005)/4 = 0.00625 \text{ J/C}^2$



รูปที่ 4.8 แสดงกราฟซิลเวอร์ซัลเฟตจาก Excel 5

จากการทดสอบเครื่องมือ DTA ที่สร้างขึ้นนี้ กับเครื่องมือ DTA ของ NETZCH รุ่น STA 409C จะได้ผลการทดสอบหาค่า T_m ซึ่งได้ผลการทดลอง แสดงให้เห็นดังตารางที่ 4.4

จุด Extrapolated onset temperature T_m ($^{\circ}\text{C}$)	
เครื่องมือ DTA ที่สร้างขึ้น DTA VERSION 1.0 อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 6 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$	เครื่องมือ DTA ชื่อ NETZCH STA 409C อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$
430	424.0
430	424.1
428	424.5
426	424.4
427	424.6
Maximum 430	424.6
Average 428 \pm 1	424.3 \pm 0.19
Minimum 426	424.0
Standard deviation \pm 1.6	\pm 0.22
Repeatability 0.8%	0.12%
Reading Accuracy 0.99%	0.07%
Correlation r	-0.82

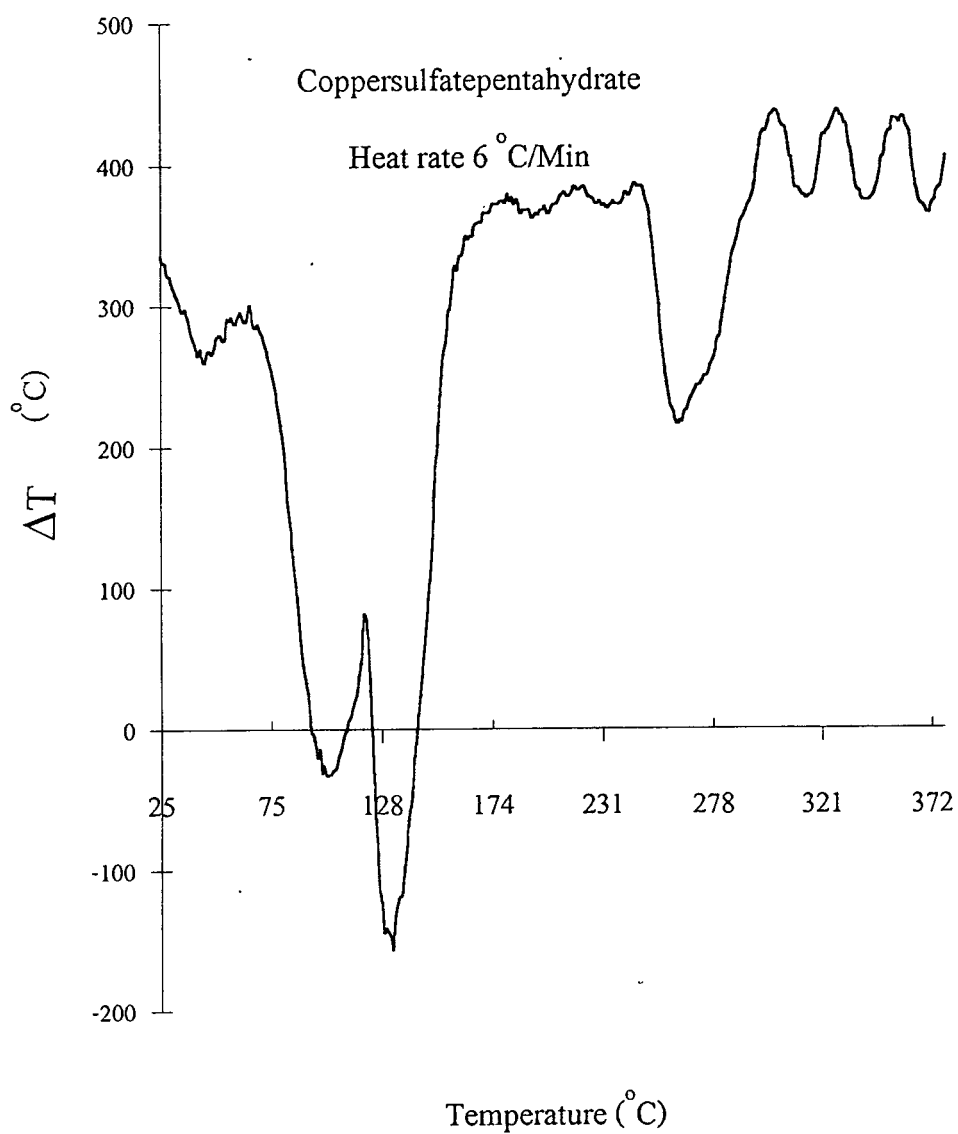
ตารางที่ 4.4 แสดงค่า จุด T_m ($^{\circ}\text{C}$) ที่ได้จาก เครื่อง DTA VERSION 1.0

และ เครื่อง NETZCH STA 409C

5. สารตัวอย่าง คอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต

ซึ่งมีลักษณะ เป็นผงผลึกสีน้ำเงิน และมีความบริสุทธิ์ 99.999% และเป็นสารตัวอย่างที่ไม่ใช่สารมาตรฐานโดยที่จะรายงานผลการทดสอบออกมาในรูปของ อุณหภูมิ ของ จุดยอดสัญญาณของพีคสัญญาณ เนื่องจากรูปร่างของสัญญาณจะมีฐานพีคสัญญาณที่กว้าง

ผลการทดสอบ ที่ได้จากการใช้การวิเคราะห์จาก Lab_Net Mode โดยใช้ Excel 5 จะแสดงให้เห็น
 ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดง กราฟคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต จาก Excel 5

จากรูปที่ 4.9 ให้พิกัดสัญญาณด้านซ้ายมือ เป็น พิกัดสัญญาณที่ 1 และให้มีจุดยอดเป็นจุดยอดที่ 1 พิกัดสัญญาณส่วนกลาง เป็น พิกัดสัญญาณที่ 2 และให้มีจุดยอดเป็นจุดยอดที่ 2 ส่วนพิกัดขวามือ เป็น พิกัดสัญญาณที่ 3 และให้มีจุดยอดเป็นจุดยอดที่ 3 โดยสารมีมวล 31.2 mg จากการทดสอบ เครื่องมือ DTA ที่สร้างขึ้นนี้ กับเครื่องมือ DTA ของ NETZCH รุ่น STA 409C จะได้ผลการทดสอบหาค่าจุดยอดพิกัดสัญญาณ ซึ่งได้ผลการทดลอง แสดงให้เห็นดังตารางที่ 4.5

จุดยอดสัญญาณ T_p ($^{\circ}\text{C}$)						
เครื่องมือ DTA ที่สร้างขึ้น DTA VERSION 1.0 อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $6^{\circ}\text{C}/\text{min}$				เครื่องมือ DTA ยี่ห้อ NETZCH STA 409C อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$		
	จุดยอดที่	จุดยอดที่	จุดยอดที่	จุดยอดที่	จุดยอดที่	จุดยอดที่
	1	2	3	1	2	3
	100	131	259	98.2	127.1	248.0
	103	134	252	97.2	122.	237.7
	101	130	250	94.7	120.5	242.3
	102	126	255	95.0	121.7	243.3
	100	128	256	95.9	121.0	241.5
Maximum	103	134	259	98.2	127.1	248.0
Average	101 ± 1	$129 \pm$	$254 \pm$	96.2	122.4	242.5
		2.42	2.79	± 1.18	± 2.11	± 2.96
Minimum	100	126	250	94.7	120.5	237.7
Standard deviation	± 1.16	± 2.71	± 3.13	± 1.32	± 2.37	± 3.31
Repeatability	1.00%	2.66%	3.00%	1.16%	2.20%	3.43%
Correlation r	-0.12	+0.27	+0.70			

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า จุดยอดสัญญาณ T_p ($^{\circ}\text{C}$) ที่ได้จาก เครื่อง DTA VERSION 1.0
และ เครื่อง NETZCH STA 409C

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

การทดสอบการวิเคราะห์สารตัวอย่างต่างๆ ด้วยเครื่องมือ DTA ที่สร้างขึ้น (DTA Version 1.0) และเครื่องมือ DTA ยี่ห้อ NETZCH STA 409C จำนวน 5 ครั้ง สามารถสรุปได้ ดังนี้ คือ

1. ในการทดสอบ สารตัวอย่างมาตรฐาน 4 สาร อันได้แก่ กรดเบนโซอิก โปรแตสเซียมไนเตรด ดีบุก ซิลเวอร์ซัลเฟต ทำให้สามารถหาค่าคงที่เฉลี่ยของเครื่องมือได้เป็น 0.006 J/C^2
2. ในการทดสอบ อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ ของเตา ในช่วง อุณหภูมิห้อง ถึง 600°C จะได้ค่าแม่นยำถูกต้องที่สุด คือ 6°C/min
3. จากการนำ สารมาตรฐาน กรดเบนโซอิก มาทดสอบกับเครื่อง DTA Version 1.0 สามารถหาค่า T_m ($^\circ\text{C}$) เฉลี่ยได้เป็น $124 \pm 1^\circ\text{C}$ และมีความแม่นยำของการอ่านเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน เป็น 1.46 เปอร์เซ็นต์ และจากการทดสอบ เครื่อง NETZCH STA 409C สามารถหาค่า T_m ($^\circ\text{C}$) เฉลี่ยได้เป็น $115.7 \pm 0.15^\circ\text{C}$ และมีความแม่นยำของการอ่านเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน เป็น 5.93 เปอร์เซ็นต์

สารมาตรฐาน โปรแตสเซียมไนเตรด เมื่อนำมาทดสอบ กับ เครื่อง DTA Version 1.0 สามารถหาค่า T_m ($^\circ\text{C}$) เฉลี่ยได้เป็น $134 \pm 1^\circ\text{C}$ และมีความแม่นยำของการอ่านเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน เป็น 5.3 เปอร์เซ็นต์ และจากการทดสอบ เครื่อง NETZCH STA 409C สามารถหาค่า T_m ($^\circ\text{C}$) เฉลี่ยได้เป็น $124.7 \pm 0.19^\circ\text{C}$ และมีความแม่นยำของการอ่านเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน เป็น 2.6 เปอร์เซ็นต์

สารมาตรฐาน ดีบุก เมื่อนำมาทดสอบ กับ เครื่อง DTA Version 1.0 สามารถหาค่า T_m ($^\circ\text{C}$) เฉลี่ยได้เป็น $233 \pm 1.12^\circ\text{C}$ และมีความแม่นยำของการอ่านเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน เป็น 0.43 เปอร์เซ็นต์ และจากการทดสอบ เครื่อง NETZCH STA 409C สามารถหาค่า T_m ($^\circ\text{C}$) เฉลี่ยได้เป็น $225.4 \pm 0.05^\circ\text{C}$ และมีความแม่นยำของการอ่านเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน เป็น 2.8 เปอร์เซ็นต์

สารมาตรฐาน ซิลเวอร์ซัลเฟต เมื่อนำมาทดสอบ กับ เครื่อง DTA Version 1.0 สามารถหาค่า T_m ($^{\circ}\text{C}$) เฉลี่ยได้เป็น 428 ± 1 $^{\circ}\text{C}$ และมีความแม่นยำของการอ่านเมื่อเทียบกับค่า มาตรฐาน เป็น 0.99 เปอร์เซ็นต์ และจากการทดสอบ เครื่อง NETZCH STA 409C สามารถหาค่า T_m ($^{\circ}\text{C}$) เฉลี่ยได้เป็น 424.3 ± 0.19 $^{\circ}\text{C}$ และมีความแม่นยำของการอ่านเมื่อเทียบกับค่า มาตรฐาน เป็น 0.07 เปอร์เซ็นต์

สำหรับ สารตัวอย่าง คอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต จะแสดงผลในรูปของจุดยอด เมื่อ นำมาทดสอบ กับ เครื่อง DTA Version 1.0 สามารถหาค่า จุดยอด T_p ($^{\circ}\text{C}$) เฉลี่ยได้เป็น

จุดยอดที่ 1 เป็น	101 ± 1 $^{\circ}\text{C}$
จุดยอดที่ 2 เป็น	129 ± 2.42 $^{\circ}\text{C}$
จุดยอดที่ 3 เป็น	254 ± 2.79 $^{\circ}\text{C}$

และจากการทดสอบด้วยเครื่อง NETZCH STA 409C จะสามารถหาจุดยอดเฉลี่ยได้เป็น

จุดยอดที่ 1 เป็น	96.2 ± 1.18 $^{\circ}\text{C}$
จุดยอดที่ 2 เป็น	122.4 ± 2.11 $^{\circ}\text{C}$
จุดยอดที่ 3 เป็น	242.5 ± 2.96 $^{\circ}\text{C}$

และจากผลการทดสอบสารตัวอย่าง 5 สาร โดยใช้เครื่อง DTA Version 1.0 และเครื่อง NETZCH STA 409C จะสรุปได้ว่า

สำหรับ สารมาตรฐาน กรดเบนโซอิก เครื่อง DTA Version 1.0 จะมีค่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) และ มีค่า การทำซ้ำ(Repeatability) มากกว่า เครื่อง NETZCH STA 409C นั่นคือ ข้อมูลการวัด ของ เครื่อง DTA Version 1.0 มีการกระจายมากกว่า ซึ่งเป็นข้อดีของเครื่อง NETZCH STA 409C ในส่วนนี้จึงจำเป็นที่จะต้องพัฒนาต่อไป ส่วน ค่าความแม่นยำในการอ่าน (Reading Accuracy) เครื่อง DTA Version 1.0 จะมีค่าน้อยกว่า เครื่อง NETZCH STA 409C นั่นคือ ข้อมูลการวัด ของ เครื่อง DTA Version 1.0 มีความแม่นยำดีกว่า เครื่อง NETZCH STA 409C สำหรับค่า สหสัมพันธ์ (Correlation) มีค่า เป็น -0.78 แสดงว่า เครื่อง DTA Version 1.0 และ เครื่อง NETZCH STA 409C มีความสัมพันธ์กันอย่างไม่สมบูรณ์ในทิศทางตรงกันข้าม

สำหรับ สารมาตรฐานโปรแตสเซียมไนเตรต เครื่อง DTA Version 1.0 จะมีค่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และมีค่า การทำซ้ำ มากกว่า เครื่อง NETZCH STA 409C นั่นคือ ข้อมูลการวัด ของ เครื่อง DTA Version 1.0 มีการกระจายมากกว่า ซึ่งเป็นข้อดีของเครื่อง NETZCH STA 409C ส่วน ค่าความแม่นยำในการอ่าน เครื่อง DTA Version 1.0 จะมีค่ามากกว่า เครื่อง NETZCH STA 409C นั่นคือ ข้อมูลการวัด ของ เครื่อง DTA Version 1.0 มีความแม่นยำดีของเครื่อง NETZCH STA 409C สำหรับค่า สหสัมพันธ์ มีค่า เป็น -0.19 แสดงว่า เครื่อง DTA Version 1.0 และ เครื่อง NETZCH STA 409C มีความสัมพันธ์กันอย่างน้อยในทิศทางตรงกันข้าม

สำหรับ สารมาตรฐานดีบุก เครื่อง DTA Version 1.0 จะมีค่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และมีค่า การทำซ้ำ มากกว่า เครื่อง NETZCH STA 409C นั่นคือ ข้อมูลการวัด ของ เครื่อง DTA Version 1.0 มีการกระจายมากกว่า ซึ่งเป็นข้อดีของเครื่อง NETZCH STA 409C ส่วน ค่าความแม่นยำในการอ่าน เครื่อง DTA Version 1.0 จะมีค่าน้อยกว่า เครื่อง NETZCH STA 409C นั่นคือ ข้อมูลการวัด ของ เครื่อง DTA Version 1.0 มีความแม่นยำดีกว่าเครื่อง NETZCH STA 409C สำหรับค่า สหสัมพันธ์ มีค่า เป็น 0 แสดงว่า เครื่อง DTA Version 1.0 และ เครื่อง NETZCH STA 409C ไม่มีความสัมพันธ์กันเลย

สำหรับ สารมาตรฐานซิลเวอร์ซัลเฟต เครื่อง DTA Version 1.0 จะมีค่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และมีค่า การทำซ้ำ มากกว่า เครื่อง NETZCH STA 409C นั่นคือ ข้อมูลการวัด ของ เครื่อง DTA Version 1.0 มีการกระจายมากกว่า ซึ่งเป็นข้อดีของเครื่อง NETZCH STA 409C ส่วน ค่าความแม่นยำในการอ่าน เครื่อง DTA Version 1.0 จะมีค่ามากกว่า เครื่อง NETZCH STA 409C นั่นคือ ข้อมูลการวัด ของ เครื่อง DTA Version 1.0 มีความแม่นยำดีของเครื่อง NETZCH STA 409C สำหรับค่า สหสัมพันธ์ (Correlation) มีค่า เป็น -0.82 แสดงว่า เครื่อง DTA Version 1.0 และ เครื่อง NETZCH STA 409C มีความสัมพันธ์กันอย่างไม่สมบูรณ์ในทิศทางตรงกันข้าม

สำหรับ สารคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต เครื่อง DTA Version 1.0 จะมีค่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และมีค่า การทำซ้ำ มากกว่า เครื่อง NETZCH STA 409C นั่นคือ ข้อมูลการวัด ของ เครื่อง DTA Version 1.0 มีการกระจายมากกว่า ซึ่งเป็นข้อดีของเครื่อง NETZCH STA 409C ส่วน ค่าความแม่นยำในการอ่าน เครื่อง DTA Version 1.0 จะมีค่ามากกว่า เครื่อง NETZCH STA 409C นั่นคือ ข้อมูลการวัด ของ เครื่อง DTA Version 1.0 มีความแม่นยำดีของเครื่อง NETZCH STA 409C

ด้วยเทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ และ ฮาร์ดแวร์ ในปัจจุบัน มีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ ของเครื่องมือต่างๆเป็นอย่างมาก จึงได้นำเอาไมโครคอมพิวเตอร์มาใช้ควบคุม เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสารชนิดคิฟเฟอเรนเชียลเทอร์มอลอนาไลซิส ซึ่งเป็นการสร้างเครื่องมือขั้นเบื้องต้น โดยได้มีการพัฒนาฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ขึ้นเบื้องต้นขึ้นมา ซึ่งสามารถนำไปใช้งานในห้องปฏิบัติการได้ แต่ในเชิงพาณิชย์นั้น ยังคงจะต้องพัฒนาเพิ่มเติมขึ้นไปอีก

เครื่องมือ DTA ที่สร้างขึ้นนี้สามารถนำไปศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของสารได้อย่างเช่น จุด T_m การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของสารตัวอย่าง เป็นต้น

นอกจากนี้ ในการสร้างเครื่องมือนี้ ยังเป็นการเพิ่มทักษะในการสร้างเครื่องมือ ทั้งทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ให้ดีขึ้น และเป็นพื้นฐานในการพัฒนาเครื่องมือต่างๆต่อไป

ข้อเสนอแนะ ในการพัฒนาเครื่องมือ DTA จะแบ่งออกเป็นทั้ง ฮาร์ดแวร์ และ ซอฟต์แวร์ ทางด้านฮาร์ดแวร์ สามารถปรับปรุงแก้ไข วงจรต่างๆให้ดีขึ้น โดยการปรับค่าแรงดันออฟเซต ต่างๆ ให้ถูกต้อง และเลือกใช้อุปกรณ์ให้ถูกต้อง และสามารถปรับปรุงแผ่นวงจร ขยายความแตกต่างอุณหภูมิ และวงจรขยายอุณหภูมิให้อยู่บนแผ่นการ์ดที่สามารถนำไปเสียบเข้ากับ สล็อตของคอมพิวเตอร์ และระบบเก็บบันทึกข้อมูล สามารถทำให้เป็นการเชื่อมโยงแบบขนาน เตาเผาสร้างให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งจะสามารถทำให้ รูปร่างของเครื่องมือเล็กลง

ทางด้านซอฟต์แวร์ ควรที่จะปรับปรุง อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ ให้ดีมากขึ้น และให้สามารถ เลือกอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ ได้ หลายๆอัตรา

บรรณานุกรม

- [1] B.Wunderlich, Thermal Analysis, Academic Press,Inc., San Diego, 1990.
- [2] E.J.Kennedy, Operational Amplifier Circuit Theory and Application, Holt, Rinehart and Winston, Inc., 1988.
- [3] F.W.Fifield and D.Kealey, Principles and Practice of Analytical Chemistry, Blackie Academic & Professional, 1995.
- [4] Gary D. Christian, James E. O'Reilly, Instrumental Analysis, Allyn and bacon, Inc., 1986.
- [5] G.W.Ewing, Analytical Instrumentation Handbook, Marcel Dekker, Inc., New - York, USA, 1990.
- [6] G.W.Ewing, Instrumental Methods of Chemical Analysis, Fifth Edition, Mcgraw-Hill Book Company, Singapore, 1985.
- [7] J. Michael Jacob, Industrial Control Electronics, pp. 199-271, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1989.
- [8] M.J.Richardson, Compendium of Thermophysical Property Measurement Methods, A.Cezairliyan, and V.E. Polesky Plenum Press, Newyork and London, 1984, pp. 669-685.
- [9] W.Smykatz-Kloss, Differential Thermal Analysis, Springer-Verlag, Berlin, 1974.

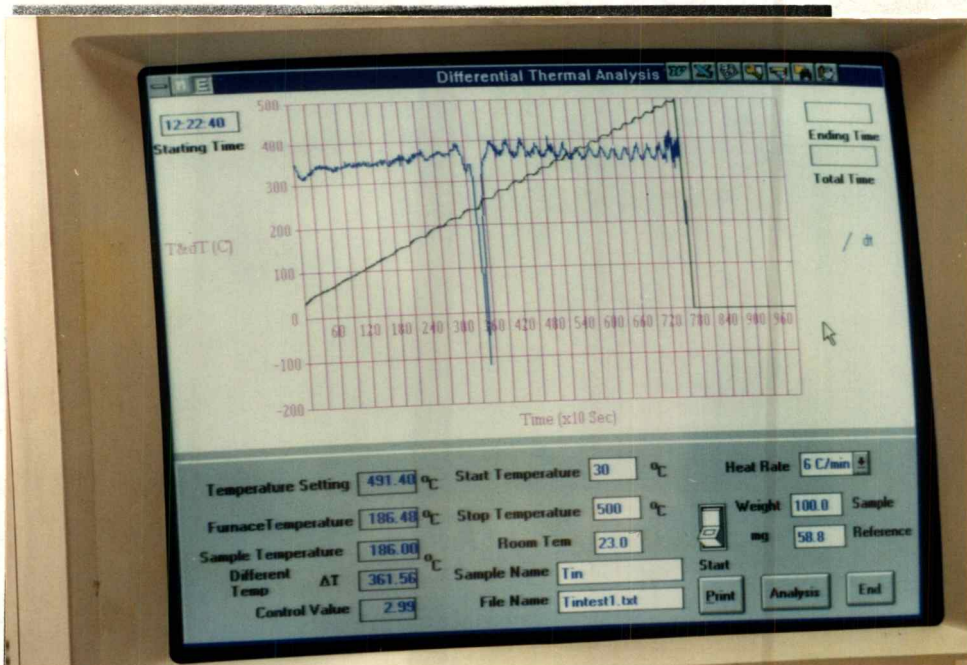
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

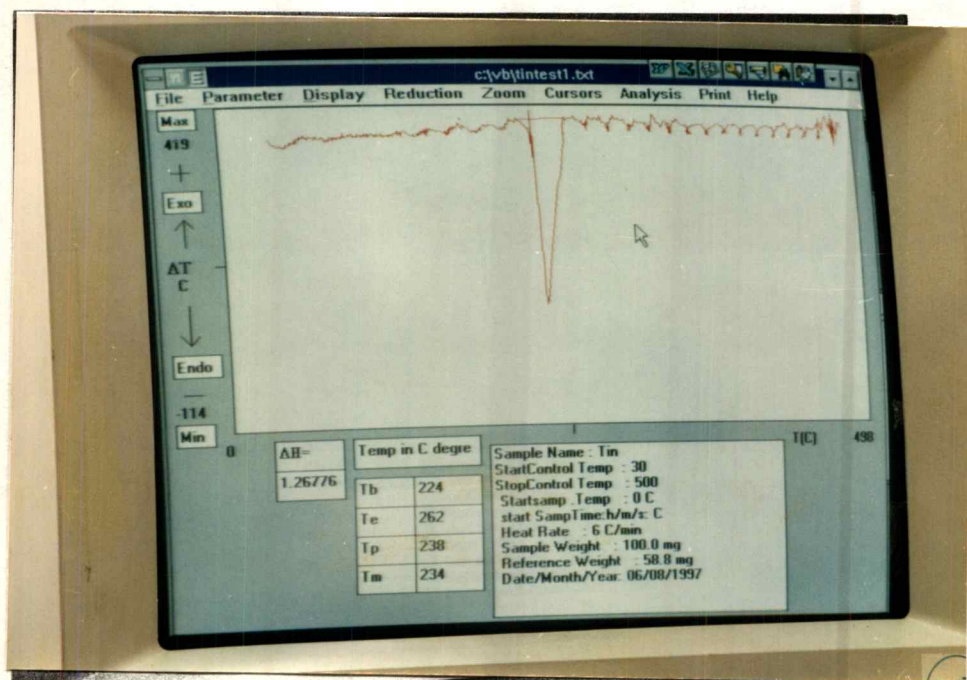
เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสารชนิด
ดิฟเฟอเรนเชียลเทอร์มอลอนาไลซิส
ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์



เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสสาร ชนิดดิฟเฟอเรนเชียล
เทอร์โมลอนาไลซิสควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ที่ได้พัฒนาขึ้น



การแสดงผลทางจอภาพในการแสดงผลแบบเวลาจริง(RealTime)



การแสดงผลทางจอภาพในการแสดงผลหลังสิ้นสุดการทำงาน
 ของเตาความร้อนไฟฟ้า(Lab_Net Mode)

ภาคผนวก ข.

การใช้งาน

การใช้งาน

ในการใช้งาน เครื่องมือ DTA จะต้องติดตั้งอุปกรณ์ และซอฟต์แวร์ก่อนที่จะนำไปใช้งาน โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1 การ ติดตั้งเครื่องมือ DTA

จะประกอบด้วย

1.1 กล่องใส่วงจรขยายสัญญาณอนุทวี ระบบจัดเก็บข้อมูล วงจรส่วน Phase-Controlled AC Regulator และ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ขับเคลื่อนภาชนะใส่สาร ซึ่งในที่นี้จะเรียกย่อๆว่า InBox

1.2 สาย เชื่อมต่อ RS232C สำหรับใช้ติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่าง InBox กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ และสายเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างการ์ด DAC กับ InBox

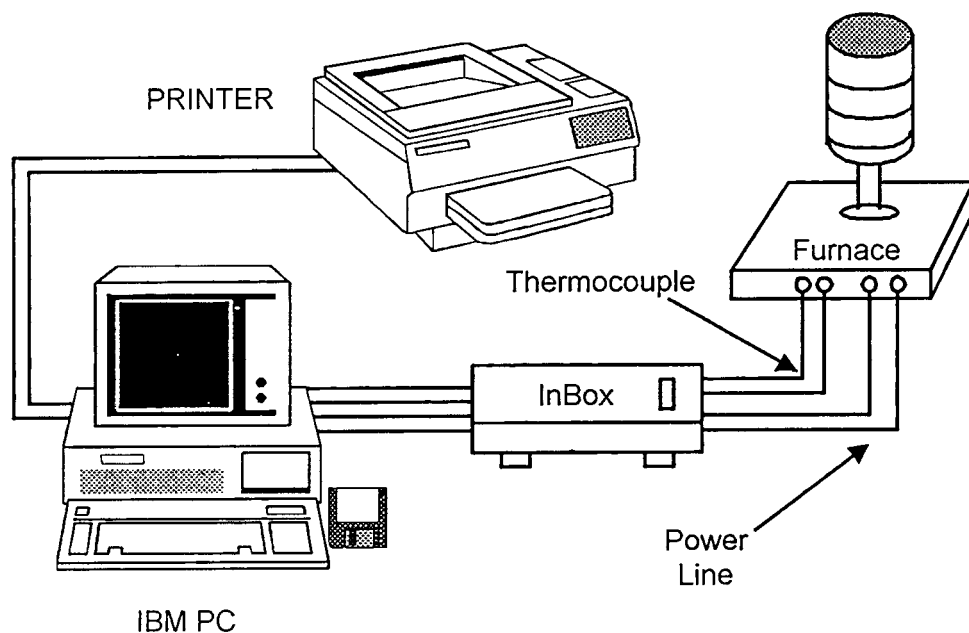
1.3 เครื่อง ไมโครคอมพิวเตอร์(IBM PC XT, AT, 486, Pentium or Compatible PC)

- Memory 8 MB
- Floppy Disk Drive 1 ตัว
- Hard disk 640 MB
- Monitor EGA/VGA Color
- Windows 3.11
- Serial Port 1 Port (for InBox)
- Parallel Port 2 Port (for DAC and Printer)
- Mouse

1.4 ซอฟต์แวร์ DTA Version 1 และ แผ่นงานแม่เหล็กสำหรับบันทึกข้อมูล

1.5 เครื่องพิมพ์แบบ Dot Matrix 8 เข็ม หรือ 24 เข็ม หรือ พลอตเตอร์

ในการติดตั้งจะเริ่มจากการต่ออุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกัน แสดงให้เห็นดังรูปที่ 1



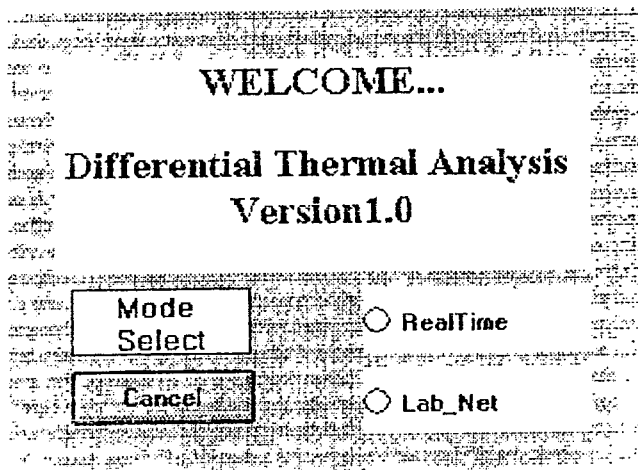
รูปที่ 1 แสดงการติดตั้ง เครื่องมือ DTA

2 การใช้งานเครื่องมือ DTA

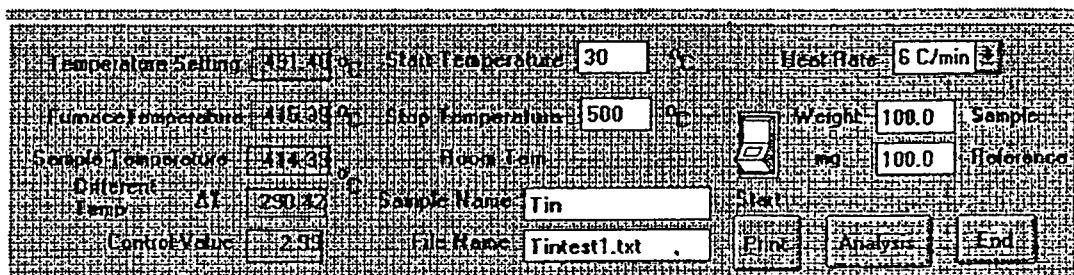
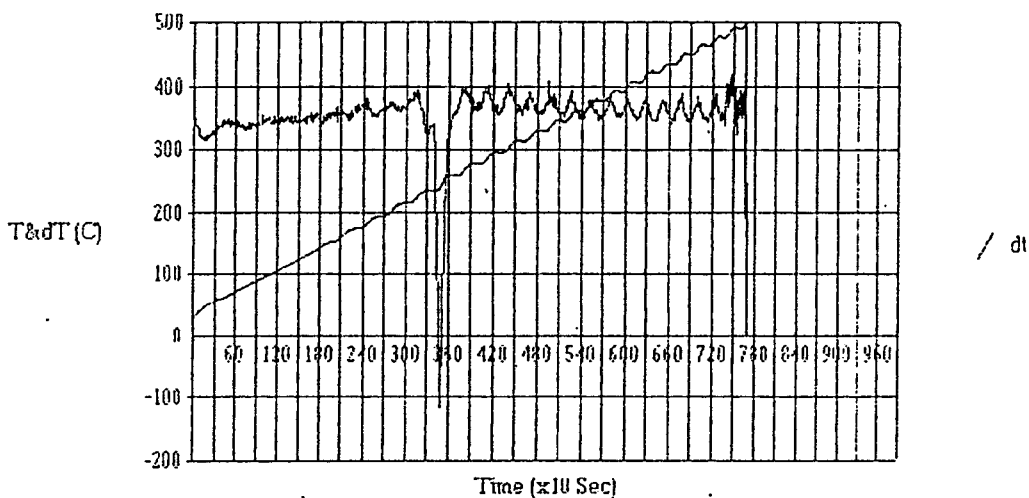
การเริ่มต้นใช้งาน อันดับแรก เมื่อต่ออุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกันเสร็จเรียบร้อยแล้ว จากนั้นจึงเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วเข้าสู่ โปรแกรม Windows ตามด้วย Program Manager แล้วจึงเลือก ไอคอน Differential Thermal analysis ก็จะสามารถเข้าสู่ โปรแกรม DTA Version 1.0 ได้อย่างง่ายดาย

Mode ของการทำงาน จะแบ่งออกเป็น 2 โหมด คือ กรณีที่ต้องการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลทันทีทันใดให้ใช้ Realtime Mode และในกรณีที่ใช้ ข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์จากเพิ่มข้อมูลที่บันทึกเก็บไว้ จะใช้ Lab_Net Mode โดยเลือกรายการ Mode จากการ ใช้ Mouse กดคลิกที่ปุ่มออกแบบขั้นตอนการเลือกโหมด ดังแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2

ในกรณีที่เลือกโหมดเวลาจริง ลักษณะของโปรแกรมจะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 แสดงลักษณะโปรแกรมการเลือกโหมดใช้งาน



รูปที่ 3 แสดง ลักษณะของโปรแกรมในโหมด เวลาจริง(Realtime)

จากรูปที่ 3 ลักษณะจะประกอบไปด้วย

1. ส่วนบนจะใช้แสดงผลในรูปของกราฟ โดยแกนตั้ง (Y) จะแทนค่าความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) และ อุณหภูมิ (T) ของสารตัวอย่าง ในหน่วย $^{\circ}\text{C}$ และแกนนอน (x) จะแทนค่า เวลาในหน่วย (คูณ 10) วินาที (s) เนื่องจาก โปรแกรมได้ออกแบบให้บันทึกข้อมูล ในทุกๆ 10 s และให้อ่านข้อมูลจากระบบจัดเก็บข้อมูลทุกๆ 50 ms

2. ส่วนด้านล่างจะแสดงข้อมูล และช่องป้อนข้อมูลต่างๆ ซึ่งจะแสดงให้เห็นดังต่อไปนี้

Temperature Setting เป็นช่องแสดงข้อมูลแบบตัวเลขค่าโปรแกรมอุณหภูมิของเตาเผา

Furnace Temperature เป็นช่องแสดงข้อมูลแบบตัวเลข ค่าที่จริงในเวลาขณะนั้นของเตาเผา

Sample Temperature เป็นช่องแสดงข้อมูลแบบตัวเลข ค่าอุณหภูมิของสารตัวอย่างค่าที่จริงในเวลาขณะนั้น

Different Temperature (ΔT) เป็นช่องแสดงข้อมูลแบบตัวเลข ค่าความแตกต่างอุณหภูมิค่าที่จริงในเวลาขณะนั้น

Control Value เป็นช่องแสดงข้อมูลแบบตัวเลข ของค่าการควบคุมเตาเผาในเวลาขณะนั้น

Start Temperature เป็นช่องกรอกข้อมูลแบบตัวเลข ของค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของเตาเผาที่ต้องการควบคุม

Stop Temperature เป็นช่องกรอกข้อมูลแบบตัวเลข ของค่าอุณหภูมิสุดท้ายของเตาเผาที่ต้องการควบคุม

Room Temperature เป็นช่องกรอกข้อมูลแบบตัวเลข ของค่าอุณหภูมิห้อง

Sample Name เป็นช่องกรอกข้อมูลที่เป็น ชื่อ สารตัวอย่าง

File Name เป็นช่องกรอกข้อมูลที่เป็น ชื่อ แฟ้มข้อมูลของสารตัวอย่าง

Heat Rate เป็นรายการที่ใช้ Mouse กดเลือกอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเตาเผา โดย มีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิให้เลือกเป็น $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$, $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$, $4^{\circ}\text{C}/\text{min}$, และ $6^{\circ}\text{C}/\text{min}$

Sample Weight เป็นช่องกรอกข้อมูลที่เป็น น้ำหนักสารตัวอย่าง มีหน่วยเป็น mg

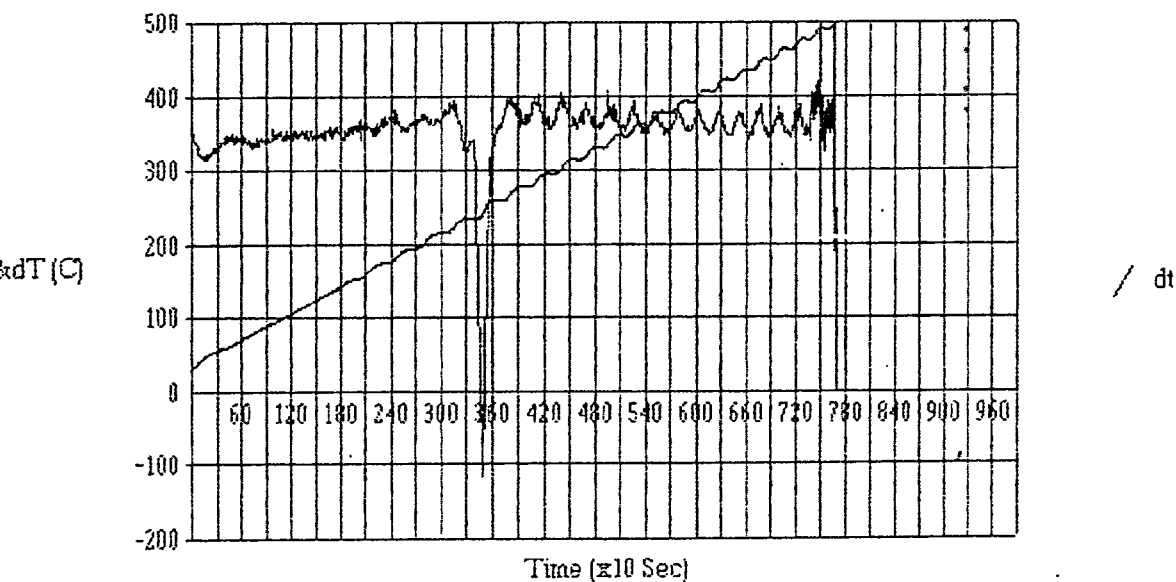
Reference Weight เป็นช่องกรอกข้อมูลที่เป็น น้ำหนักสารอ้างอิง มีหน่วยเป็น mg

Start เป็น ปุ่มที่ใช้ Mouse กดเลือกให้เริ่มต้น เปิด-ปิด การทำงานของเครื่องมือ

Print เป็น ปุ่มที่ใช้ Mouse กด เพื่อพิมพ์ข้อมูลที่เป็นกราฟและตัวเลขออกทางเครื่องพิมพ์หรือ พล็อตเตอร์ โดยที่ปุ่มนี้เมื่อปุ่ม Start ถูกกดให้เปิดให้เครื่องทำงานปุ่มนี้ไม่สามารถทำงานได้ จะสามารถทำงานได้ ก็ต่อเมื่อ ปุ่ม Start ถูกกดให้เครื่องหยุดทำงาน ลักษณะของข้อมูลที่ได้จากการพิมพ์ภายหลังสิ้นสุดการทำงานในโหมด เวลาจริง แสดงให้เห็นดังรูปที่ 4

Analysis เป็น ปุ่มที่ใช้ Mouse กด เพื่อ เข้าสู่การวิเคราะห์ข้อมูลภายหลังเครื่องหยุดทำงาน หรือ ปุ่ม Start ถูก ปิด โดยที่เมื่อ ปุ่ม Start ถูกเปิดให้เครื่องทำงาน ปุ่มนี้จะไม่สามารถทำงานได้ End เป็น ปุ่มที่ใช้ Mouse กด เพื่อ กดยกเลิกการทำงานของซอฟต์แวร์ทั้งหมด

MODULE TYPE :DTA-Curve
 MODE :REALTIME
 FILE NAME : Tintest1.txt
 Sample Name : Tin
 Start Control Temp : 30 C
 Stop Control Temp : 500 C
 Startsamp .Temp : 30.44 C
 Stopsamp.Temp:467.74C
 start SampTime:h/m/s:10:44:31
 Heat Rate : 6 C/min
 Sample Weight : 100.0 mg
 Reference Weight : 58.8 mg
 Date/Month/Year: 06/08/1997
 StartingControl Time:h/m/S:10:43:15
 EndingControl Time:h/m/s:12:14:50
 TotalControl Time:h/m/s:01:31:35
 Room Temperature:23.0 C

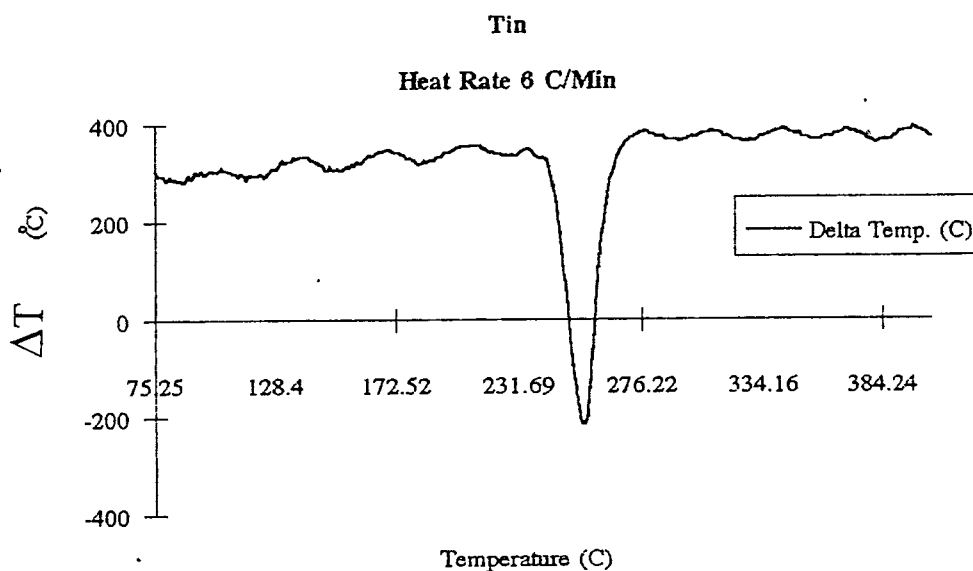


รูปที่ 4 แสดงรูปภาพข้อมูลที่ได้จากการพิมพ์ภายหลังสิ้นสุดการทำงานในโหมด เวลาจริง

ในกรณีที่เลือกโหมดภายหลังสิ้นสุดการทำงาน (Lab_Net Mode)

ในโหมดการทำงานนี้ สามารถใช้งานได้ 2 วิธีการ คือ

1. ใช้ซอฟต์แวร์ Microsoft Excel 5 วิเคราะห์ข้อมูล โดยการดึงข้อมูลจากแฟ้มข้อมูลสารตัวอย่าง มาแสดงผลในรูปของกราฟ โดยแกนตั้ง (Y) จะแทนค่าความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) และแกนนอนจะแทน อุณหภูมิ (T) ของสารตัวอย่าง ซึ่งการวิเคราะห์กรณีนี้จะสามารถหาจุด Extrapolated onset ได้ ลักษณะของกราฟแสดงผลข้อมูลที่ได้ในกรณีจะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดง กราฟแสดงผลข้อมูลที่ได้จาก โปรแกรม ซอฟต์แวร์ Microsoft Excel 5

2 . การเลือกใช้ Lab_Net Mode จากซอฟต์แวร์ DTA V. 1.0

การใช้งาน โปรแกรมเริ่มจาก การเปิดแฟ้มข้อมูลที่ต้องการ และทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยเลือก เมนู Analysis จากนั้น จึงเลือกเมนูย่อย OK

การวิเคราะห์ข้อมูลสามารถทำได้โดย

1. เลือกจุดเริ่มต้นของพีคสัญญาณ โดยใช้ Mouse คลิกที่จุดเริ่มต้นการหลอมเหลว (T_b) ซอฟต์แวร์จะแสดง ค่าอุณหภูมิจุดเริ่มต้นการหลอมเหลว (T_b) ออกมา

2. เลือกจุดสุดท้ายของพีคสัญญาณ โดยใช้ Mouse คลิกที่จุดสุดท้ายการหลอมเหลว (T_c) ซอฟต์แวร์จะแสดง ค่าอุณหภูมิจุดสุดท้ายการหลอมเหลว (T_c) ออกมา

เมื่อเลือก ทั้ง 2 จุดเสร็จสิ้น ซอฟต์แวร์จะทำการ ลากเส้นฐาน (base line) ระหว่างจุดทั้ง 2 คำนวณค่า การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี (ΔH) และแสดงผล

3 . เลือกจุดยอดของพีคสัญญาณ โดยใช้ Mouse คลิกที่จุดยอดสัญญาณ(T_p) ซอฟต์แวร์จะ แสดง ค่าอุณหภูมิจุดยอดพีคสัญญาณการหลอมเหลว (T_p) ออกมา

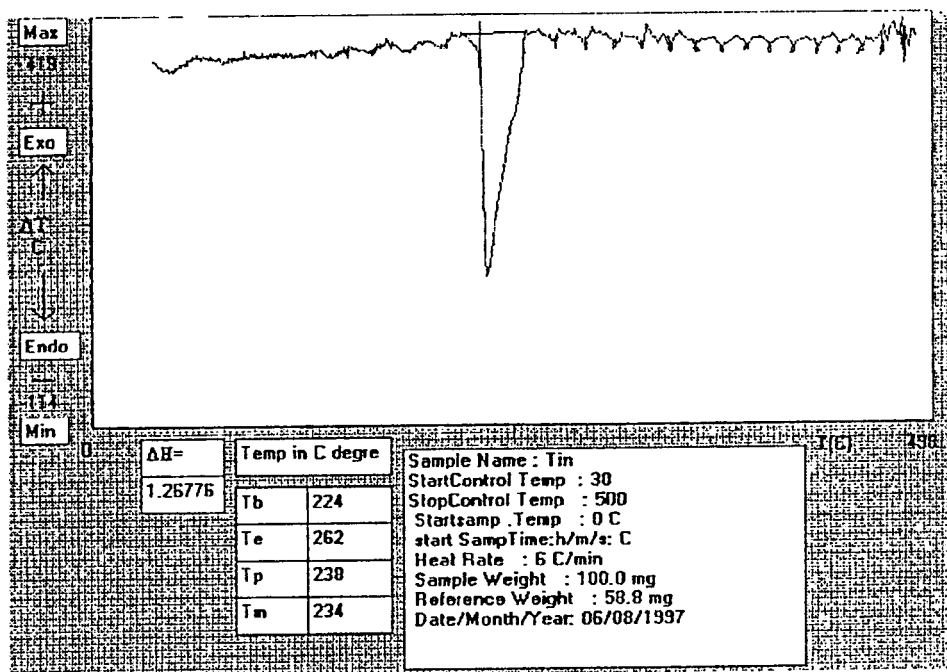
4 . เลือกจุด 2 จุด เพื่อลากเส้นสัมผัสขอบสัญญาณด้านจุดเริ่มต้นการหลอมเหลว (T_m) ไปตัดกับเส้นฐาน

5 . เลือกจุด 2 จุด บนเส้น ฐาน เพื่อ ตัดกับเส้นสัมผัสตามข้อ 4

6 . เลือกจุดตัด ระหว่างเส้นทั้งสอง โดยใช้ โดยใช้ Mouse คลิก ที่จุดตัด ทำให้ได้จุด

Extrapolated onset of melting (T_m)

ลักษณะของโปรแกรมการใช้งานจะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงลักษณะของโปรแกรมการใช้งาน Lab_Net Mode

การแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ สามารถทำได้โดย การเลือกรายการ Print ซึ่งจะแสดงผลดังรูปที่ 6 การยกเลิกการทำงาน โดยเลือกรายการ Exit

ภาคผนวก ค.

DATA SHEET



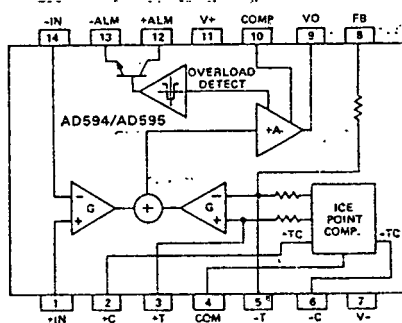
Monolithic Thermocouple Amplifiers with Cold Junction Compensation

AD594*/AD595*

FEATURES

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

AD594/AD595 FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



PRODUCT DESCRIPTION

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

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

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

The AD594 is precalibrated by laser wafer trimming to match the characteristic of type J (iron-constantan) thermocouples and the AD595 is laser trimmed for type K (chromel-alumel) inputs. The temperature transducer voltages and gain control resistors are available at the package pins so that the circuit can be recalibrated for other thermocouple types by the addition of two or three resistors. These terminals also allow more precise calibration for both thermocouple and thermometer applications.

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

PRODUCT HIGHLIGHTS

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

Model	AD594A		AD594C		AD595A		AD595C		Units	
	Min	Typ	Min	Max	Min	Typ	Max	Min		Typ
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS										
+V _S to -V _S		36		36		36		36		Volts
Common-Mode Input Voltage	-V _S - 0.15	+V _S	-V _S - 0.15	+V _S	-V _S - 0.15	+V _S	-V _S - 0.15	+V _S		Volts
Differential Input Voltage	-V _S	+V _S	-V _S	+V _S	-V _S	+V _S	-V _S	+V _S		Volts
Alarm Voltages										Volts
+ALM	-V _S	-V _S + 36	-V _S	-V _S + 36	-V _S	-V _S + 36	-V _S	-V _S + 36		Volts
-ALM	-V _S	+V _S	-V _S	+V _S	-V _S	+V _S	-V _S	+V _S		Volts
Operating Temperature Range	-55	+125	-55	+125	-55	+125	-55	+125		°C
Output Short Circuit to Common	Indefinite		Indefinite		Indefinite		Indefinite			
TEMPERATURE MEASUREMENT (Specified Temperature Range 0 to +50°C)										
Calibration Error at +25°C ¹		±3		±1		±3		±1		°C
Stability vs. Temperature ²		±0.05		±0.025		±0.05		±0.025		°C/°C
Gain Error		±1.5		±0.75		±1.5		±0.75		%
Nominal Transfer Function		10		10		10		10		mV/°C
AMPLIFIER CHARACTERISTICS										
Closed Loop Gain ³		193.4		193.4		247.3		247.3		μV/V
Input Offset Voltage	(Temperature in °C) × 51.70 μV/°C		(Temperature in °C) × 51.70 μV/°C		(Temperature in °C) × 40.44 μV/°C		(Temperature in °C) × 40.44 μV/°C			μV
Input Bias Current	0.1		0.1		0.1		0.1			μA
Differential Input Range	-10	+50	-10	+50	-10	+50	-10	+50		mV
Common-Mode Range	-V _S - 0.15	+V _S - 4	-V _S - 0.15	+V _S - 4	-V _S - 0.15	+V _S - 4	-V _S - 0.15	+V _S - 4		Volts
Common-Mode Sensitivity-RTO		10		10		10		10		mV/V
Power Supply Sensitivity-RTO		10		10		10		10		mV/V
Output Voltage Range										Volts
Dual Supplies	-V _S + 2.5	+V _S - 2	-V _S + 2.5	+V _S - 2	-V _S + 2.5	+V _S - 2	-V _S + 2.5	+V _S - 2		Volts
Single Supply	0	+V _S - 2	0	+V _S - 2	0	+V _S + 2	0	+V _S - 2		Volts
Usable Output Current ⁴	±5		±5		±5		±5			mA
3dB Bandwidth	15		15		15		15			kHz
ALARM CHARACTERISTICS										
V _{REGSAT} at 2mA	0.3		0.3		0.3		0.3			Volts
Leakage Current		±1		±1		±1		±1		μA max
Operating Voltage at -ALM		+V _S - 4		+V _S - 4		+V _S - 4		+V _S - 4		Volts
Short Circuit Current	20		20		20		20			mA
POWER REQUIREMENTS										
Specified Performance	+V _S = 5, -V _S = 0		+V _S = 5, -V _S = 0		+V _S = 5, -V _S = 0		+V _S = 5, -V _S = 0			Volts
Operating ⁵	+V _S to -V _S ≤ 30		+V _S to -V _S ≤ 30		+V _S to -V _S ≤ 30		+V _S to -V _S ≤ 30			Volts
Quiescent Current (No Load)										μA
+V _S	160	300	160	300	160	300	160	300		μA
-V _S	100		100		100		100			μA
PACKAGE OPTIONS⁶										
TO-116 (D-14)	AD594AD		AD594CD		AD595AD		AD595CD			
Cerdip (Q-14)	AD594AQ		AD594CQ		AD595AQ		AD595CQ			

NOTES

¹ Calibrated for minimum error at +25°C using a thermocouple sensitivity of 51.7 μV/°C. Since a J type thermocouple deviates from this straight line approximation, the AD594 will normally read 3.1mV when the measuring junction is at 0°C. The AD595 will similarly read 2.7mV at 0°C.
² Defined as the slope of the line connecting the AD594/AD595 errors measured at 0°C and 50°C ambient temperature.
³ Pin 8 shorted to pin 9.

⁴ Current Sink Capability in single supply configuration is limited to current drawn to ground through a 50kΩ resistor at output voltages below 2.5V.
⁵ -V_S must not exceed -16.5V.
⁶ See Section 16 for package outline information.
 Specifications subject to change without notice.

Specifications shown in boldface are tested on all production units at final electrical test. Results from these tests are used to calculate outgoing quality levels. All min and max specifications are guaranteed, although only those shown in boldface are tested on all production units.

Thermocouple Temperature °C	Type J Voltage mV	AD594 Output mV	Type K Voltage mV	AD595 Output mV	Thermocouple Temperature °C	Type J Voltage mV	AD594 Output mV	Type K Voltage mV	AD595 Output mV
-200	-7.890	-1523	-5.891	-1454	500	27.388	5300	20.640	5107
-180	-7.402	-1428	-5.550	-1370	520	28.511	5517	21.493	5318
-160	-6.821	-1316	-5.141	-1269	540	29.642	5736	22.346	5529
-140	-6.159	-1188	-4.669	-1152	560	30.782	5956	23.198	5740
-120	-5.426	-1046	-4.138	-1021	580	31.933	6179	24.050	5950
-100	-4.632	-893	-3.553	-876	600	33.096	6404	24.902	6161
-80	-3.785	-729	-2.920	-719	620	34.273	6632	25.751	6371
-60	-2.892	-556	-2.243	-552	640	35.464	6862	26.599	6581
-40	-1.960	-376	-1.527	-375	660	36.671	7095	27.445	6790
-20	-.995	-189	-.777	-189	680	37.893	7332	28.288	6998
10	.501	94	.392	94	700	39.130	7571	28.128	7206
0	0	31	0	2.7	720	40.382	7813	29.965	7413
10	.507	101	.397	101	740	41.647	8058	30.799	7619
20	1.019	200	.798	200	750	42.283	8181	31.214	7722
25	1.277	250	1.000	250	760	-	-	31.629	7825
30	1.536	300	1.203	300	780	-	-	32.455	8029
40	2.058	401	1.611	401	800	-	-	33.277	8232
50	2.585	503	2.022	503	820	-	-	34.095	8434
60	3.115	606	2.436	605	840	-	-	34.909	8636
80	4.186	813	3.266	810	860	-	-	35.718	8836
100	5.268	1022	4.095	1015	880	-	-	36.524	9035
120	6.359	1233	4.919	1219	900	-	-	37.325	9233
140	7.457	1445	5.733	1420	920	-	-	38.122	9430
160	8.560	1659	6.539	1620	940	-	-	38.915	9626
180	9.667	1873	7.338	1817	960	-	-	39.703	9821
200	10.777	2087	8.137	2015	980	-	-	40.488	10015
220	11.887	2302	8.938	2213	1000	-	-	41.269	10209
240	12.998	2517	9.745	2413	1020	-	-	42.045	10400
260	14.108	2732	10.560	2614	1040	-	-	42.817	10591
280	15.217	2946	11.381	2817	1060	-	-	43.585	10781
300	16.325	3160	12.207	3022	1080	-	-	44.349	10970
320	17.432	3374	13.039	3227	1100	-	-	45.108	11158
340	18.537	3588	13.874	3434	1120	-	-	45.863	11345
360	19.640	3801	14.712	3641	1140	-	-	46.612	11530
380	20.743	4015	15.552	3849	1160	-	-	47.356	11714
400	21.846	4228	16.395	4057	1180	-	-	48.095	11897
420	22.949	4441	17.241	4266	1200	-	-	48.828	12078
440	24.054	4655	18.088	4476	1220	-	-	49.555	12258
460	25.161	4869	18.938	4686	1240	-	-	50.276	12436
480	26.272	5084	19.788	4896	1250	-	-	50.633	12524

Table 1. Output Voltage vs. Thermocouple Temperature (Ambient + 25°C, $V_S = -5V, +15V$)

INTERPRETING AD594/AD595 OUTPUT VOLTAGES

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

Because a thermocouple output voltage is nonlinear with respect to temperature, and the AD594/AD595 linearly amplifies the compensated signal, the following transfer functions should be used to determine the actual output voltages:

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

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

or conversely:

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

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

Table 1 above lists the ideal AD594/AD595 output voltages as a function of Celsius temperature for type J and K ANSI standard thermocouples, with the package and reference junction at 25°C. As is normally the case, these outputs are subject to calibration, gain and temperature sensitivity errors. Output values for intermediate temperatures can be interpolated, or calculated using the output equations and ANSI thermocouple voltage tables referred to zero degrees Celsius. Due to a slight variation in alloy content between ANSI type J and DIN Fe-CuNi thermocouples Table 1 should not be used in conjunction with European standard thermocouples. Instead the transfer function given previously and a DIN thermocouple table should be used. ANSI type K and DIN NiCr-Ni thermocouples are composed of identical alloys and exhibit similar behavior. The upper temperature limits in Table 1 are those recommended for type J and type K thermocouples by the majority of vendors.

SINGLE AND DUAL SUPPLY CONNECTIONS

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

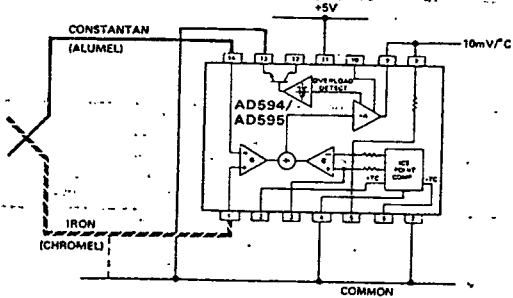


Figure 1. Basic Connection, Single Supply Operation

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

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

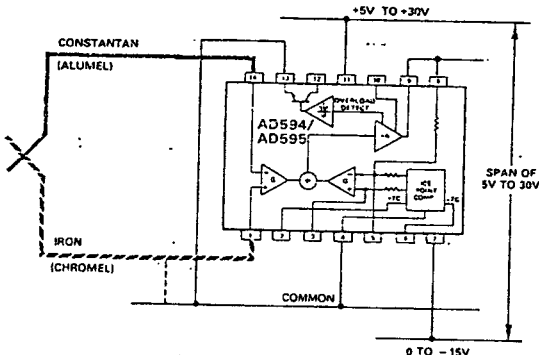


Figure 2. Dual Supply Operation

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

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

THERMOCOUPLE CONNECTIONS

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

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

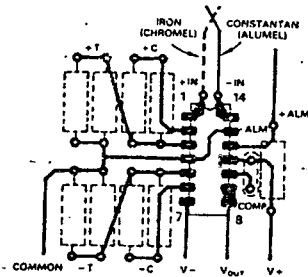


Figure 3. PCB Connections

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

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

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

FUNCTIONAL DESCRIPTION

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

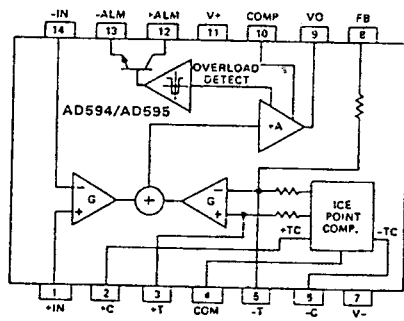


Figure 4. AD594/AD595 Block Diagram

In normal operation the main amplifier output, at pin 9, is connected to the feedback network, at pin 8. Thermocouple signals applied to the floating input stage, at pins 1 and 14, are amplified by gain G of the differential amplifier and are then further amplified by gain A in the main amplifier. The output of the main amplifier is fed back to a second differential stage in an inverting connection. The feedback signal is amplified by this stage and is also applied to the main amplifier input through a summing circuit. Because of the inversion, the amplifier causes

the feedback to be driven to reduce this difference signal to a small value. The two differential amplifiers are made to match and have identical gains, G . As a result, the feedback signal that must be applied to the right-hand differential amplifier will precisely match the thermocouple input signal when the difference signal has been reduced to zero. The feedback network is trimmed so that the effective gain to the output, at pins 8 and 9, results in a voltage of $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ of thermocouple excitation.

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

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

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

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

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

CAUTIONS:

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

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

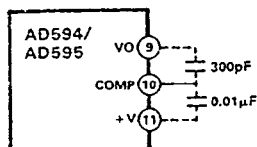


Figure 5. Low Gain Frequency Compensation

RECALIBRATION PRINCIPLES AND LIMITATIONS

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

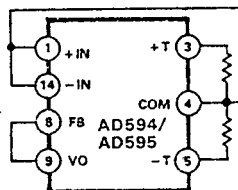


Figure 6. Decreased Sensitivity Adjustment

Changing the positive TC half of the differential output of the compensation scheme shifts the zero point away from 0°C . The zero can be restored by adjusting the current flow into the negative input of the feedback amplifier, the -T pin. A current into this terminal can be produced with a resistor between -C and -T to balance an increase in +T, or a resistor from -T to COM to offset a decrease in +T.

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

Fine calibration adjustments will require temperature response measurements of individual devices to assure accuracy. Major reconfigurations for other thermocouple types can be achieved without seriously compromising initial calibration accuracy, so long as the procedure is done at a fixed temperature using the factory calibration as a reference. It should be noted that intermediate recalibration conditions may require the use of a negative supply. An example using a type E thermocouple and an AD594 is given on the next page.

output of a type E (chromel-constantan) thermocouple. Temperature characteristics of type E thermocouples differ less from type J, than from type K, therefore the AD594 is preferred for recalibration.

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

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

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

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

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

Finally, the gain must be recalibrated such that the output V_O indicates the device's temperature once again. Do this by adding a third resistor, R3, between FB and $-T$, pins 8 and 5. V_O should now be back to the initial 240mV reading. The resistance value of R3 should be approximately 280k Ω . The final connection diagram is shown in Figure 7. An approximate verification of the effectiveness of recalibration is to measure the differential gain to the output. For type E it should be 164.2.

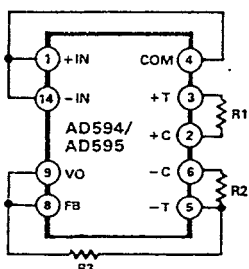


Figure 7. Type E Recalibration

65011, 84k11, 93k11 and 1.51, respectively. Power consumption will increase by about 50% when using the AD595 with type E inputs.

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

USING TYPE T THERMOCOUPLES WITH THE AD595
Because of the similarity of thermal EMFs in the 0 to 50°C range between type K and type T thermocouples, the AD595 can be directly used with both types of inputs. Within this ambient temperature range the AD595 should exhibit no more than an additional 0.2°C output calibration error when used with type T inputs. The error arises because the ice point compensator is trimmed to type K characteristics at 25°C. To calculate the AD595 output values over the recommended -200 to 350°C range for type T thermocouples, simply use the ANSI thermocouple voltages referred to 0°C and the output equation given on page 3 for the AD595. Because of the relatively large nonlinearities associated with type T thermocouples the output will deviate widely from the nominal 10mV/°C. However, cold junction compensation over the rated 0 to 50°C ambient will remain accurate.

STABILITY OVER TEMPERATURE

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

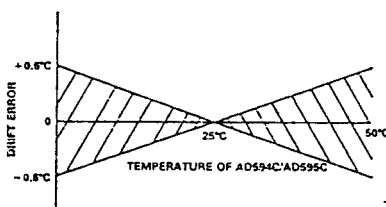


Figure 8. Drift Error vs. Temperature

THERMAL ENVIRONMENT EFFECTS

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

SET-POINT CONTROLLER

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

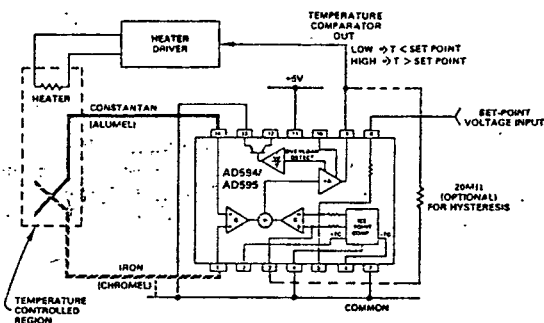


Figure 9. Set-Point Controller

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

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

ALARM CIRCUIT

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

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

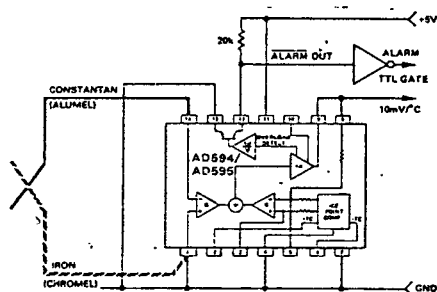


Figure 10. Using the Alarm to Drive a TTL Gate ("Grounded" Emitter Configuration)

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

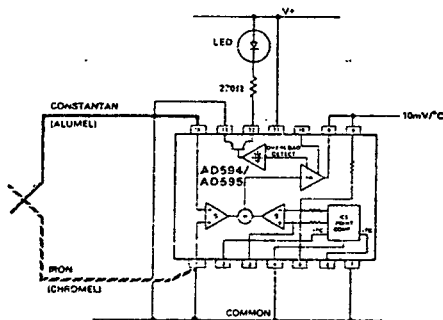


Figure 11. Alarm Directly Drives LED

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

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

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

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

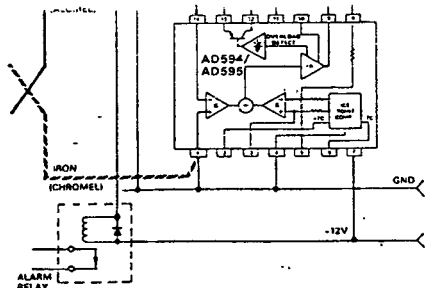


Figure 12: -ALM Driving A Negative Referenced Load

CELSIUS THERMOMETER

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

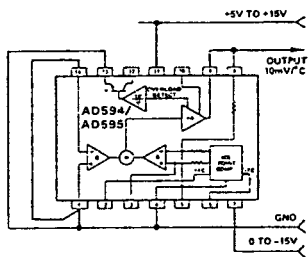


Figure 13. AD594/AD595 as a Stand-Alone Celsius Thermometer

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

THERMOCOUPLE BASICS

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

Because the number of free electrons in a piece of metal depends on both temperature and composition of the metal, two pieces of dissimilar metal in isothermal contact will exhibit a potential difference that is a repeatable function of temperature, as shown in Figure 14. The resulting voltage depends on the temperatures, T1 and T2, in a repeatable way.

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

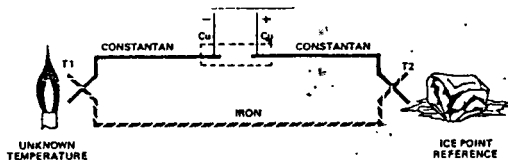


Figure 14. Thermocouple Voltage with 0°C Reference

An alternative measurement technique, illustrated in Figure 15, is used in most practical applications where accuracy requirements do not warrant maintenance of primary standards. The reference junction temperature is allowed to change with the environment

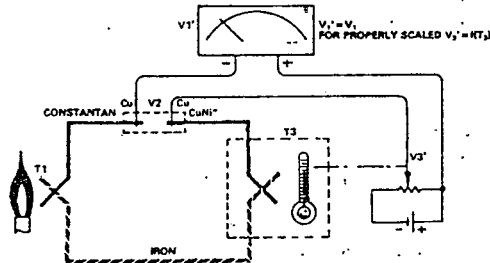


Figure 15. Substitution of Measured Reference Temperature for Ice Point Reference

of the measurement system, but it is carefully measured by some type of absolute thermometer. A measurement of the thermocouple voltage combined with a knowledge of the reference temperature can be used to calculate the measurement junction temperature. Usual practice, however, is to use a convenient thermoelectric method to measure the reference temperature and to arrange its output voltage so that it corresponds to a thermocouple referred to 0°C. This voltage is simply added to the thermocouple voltage and the sum then corresponds to the standard voltage tabulated for an ice-point referenced thermocouple.

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

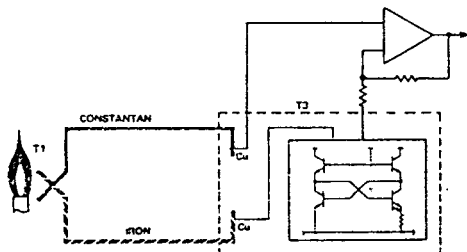


Figure 16. Connecting Isothermal Junctions

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



ICL7109

December 1993

12-Bit Microprocessor Compatible A/D Converter

Features

- 12 Bit Binary (Plus Polarity and Overrange) Dual Slope Integrating Analog-to-Digital Converter
- Byte-Organized TTL Compatible Tri-State Outputs and UART Handshake Mode for Simple Parallel or Serial Interfacing to Microprocessor Systems
- RUN/LOAD Input and STATUS Output Can Be Used to Monitor and Control Conversion Timing
- True Differential Input and Differential Reference
- Low Noise - Typically 15µV_{r.m.s.}
- 1pA Typical Input Current
- Operates At Up to 30 Conversions/Sec
- On-Chip Oscillator Operates with Inexpensive 3.58MHz TV Crystal Giving 7.5 Conversions/Sec for 60Hz Rejection. May Also Be Used with An RC Network Oscillator for Other Clock Frequencies

Description

The ICL7109 is a high performance, CMOS, low power integrating A/D converter designed to easily interface with microprocessors.

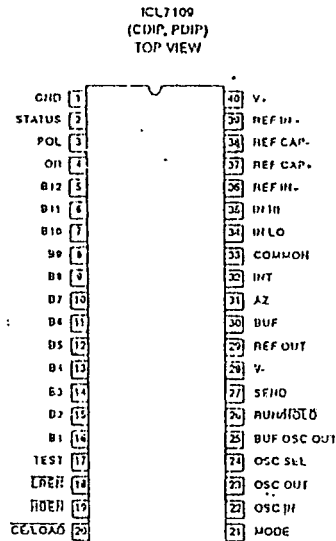
The output data (12 bits, polarity and overrange) may be directly accessed under control of two byte enable inputs and a chip select input for a single parallel bus interface. A UART handshake mode is provided to allow the ICL7109 to work with industry-standard UARTs in providing serial data transmission. The RUN/LOAD input and STATUS output allow monitoring and control of conversion timing.

The ICL7109 provides the user with the high accuracy, low noise, low drift versatility and economy of the dual-slope integrating A/D converter. Features like true differential input and reference, drift of less than 1µV/°C, maximum input bias current of 10pA, and typical power consumption of 20mW make the ICL7109 an attractive per-channel alternative to analog multiplexing for many data acquisition applications.

Ordering Information

PART NUMBER	TEMPERATURE RANGE	PACKAGE
ICL7109M0L	-55°C to +125°C	40 Lead Side Brazed Ceramic DIP
ICL7109IDL	-25°C to +85°C	40 Lead Side Brazed Ceramic DIP
ICL7109JL	-25°C to +85°C	40 Lead Ceramic DIP
ICL7109CPL	0°C to +70°C	40 Lead Plastic DIP
ICL7109M0L/883B	-55°C to +125°C	40 Lead Side Brazed Ceramic DIP
ICL7109IPL	-25°C to +85°C	40 Lead Plastic DIP

Pinout



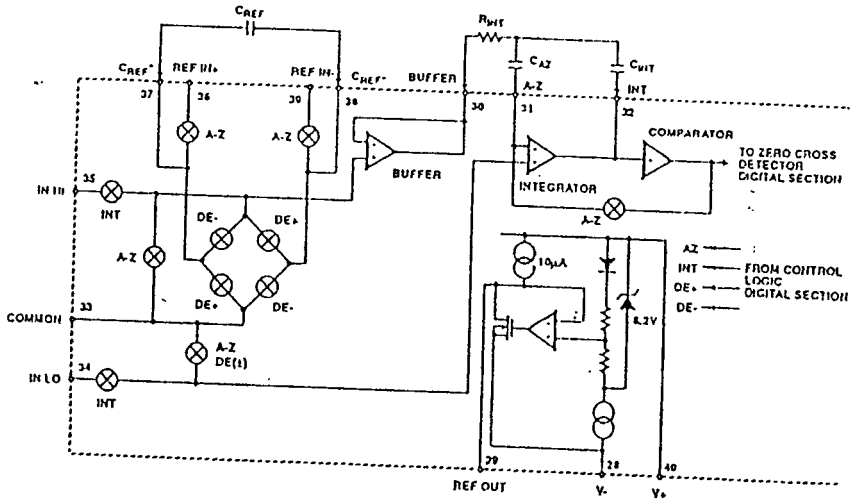


FIGURE 2. ANALOG SECTION OF ICL7109

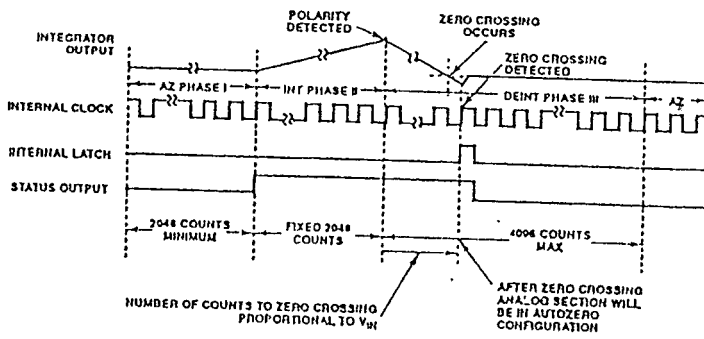


FIGURE 3. CONVERSION TIMING (RULNTHOLD PII IIIGI)

ICL7109

Reference Voltage

The analog input required to generate a full scale output of 4096 counts is $V_{BI} = 2V_{REF}$. For normalized scale, a reference of 2.048V should be used for a 4.096V full scale, and 204.8mV should be used for a 0.4096V full scale. However, in many applications where the A/D is sensing the output of a transducer, there will exist a scale factor other than unity between the absolute output voltage to be measured and a desired digital output. For instance, in a weighing system, the designer might like to have a full scale reading when the voltage from the transducer is 0.682V. Instead of driving the input down to 409.6mV, the input voltage should be measured directly and a reference voltage of 0.341V should be used. Suitable values for integrating resistor and capacitor are 33k Ω and 0.15 μ F. This avoids a divider on the input. Another advantage of this system occurs when a zero reading is desired for non-zero input. Temperature and weight measurements with an offset or tare are examples. The offset may be introduced by connecting the voltage output of the transducer between common and analog high, and the offset voltage between common and analog low, observing polarities carefully. However, in processor-based systems using the ICL7109, it may be more efficient to perform this type of scaling or tare subtraction digitally using software.

Reference Sources

The stability of the reference voltage is a major factor in the overall absolute accuracy of the converter. The resolution of the ICL7109 at 12 bits is one part in 4096, or 244ppm. Thus if the reference has a temperature coefficient of 80ppm/ $^{\circ}$ C (onboard reference) a temperature difference of 3 $^{\circ}$ C will introduce a one-bit absolute error.

For this reason, it is recommended that an external high-quality reference be used where the ambient temperature is not controlled or where high-accuracy absolute measurements are being made.

The ICL7109 provides a REFERENCE OUTPUT (pin 29) which may be used with a resistive divider to generate a suitable reference voltage. This output will sink up to about 20mA without significant variation in output voltage, and is provided with a pullup bias device which sources about 10 μ A. The output voltage is nominally 2.8V below V_{+} , and has a temperature coefficient of ± 80 ppm/ $^{\circ}$ C typ. When using the onboard reference, REF OUT (pin 29) should be connected to REF- (pin 39), and REF+ should be connected to the wiper of a precision potentiometer between REF OUT and V_{+} . The circuit for a 204.8mV reference is shown in the test circuit. For a 2.048mV reference, the fixed resistor should be removed, and a 25k Ω precision potentiometer between REF OUT and V_{+} should be used.

Note that if pins 29 and 39 are tied together and pins 39 and 40 accidentally shorted (e.g., during testing), the reference supply will sink enough current to destroy the device. This can be avoided by placing a 1k Ω resistor in series with pin 39.

Detailed Description**Digital Section**

The digital section includes the clock oscillator and scaling circuit, a 12-bit binary counter with output latches and TTL-compatible tri-state output drivers, polarity, overrange and control logic, and UART handshake logic, as shown in Figure 4.

Throughout this description, logic levels will be referred to as "low" or "high". The actual logic levels are defined in the Electrical Specifications Table. For minimum power consumption, all inputs should swing from GND (low) to V_{+} (high). Inputs driven from TTL gates should have 3-5k Ω pullup resistors added for maximum noise immunity.

ICL7109

MODE Input

The MODE input is used to control the output mode of the converter. When the MODE pin is low or left open (this input is provided with a pulldown resistor to ensure a low level when the pin is left open), the converter is in its "Direct" output mode, where the output data is directly accessible under the control of the chip and byte enable inputs. When the MODE input is pulsed high, the converter enters the UART handshake mode and outputs the data in two bytes, then returns to "direct" mode. When the MODE input is $\frac{1}{2}$ high, the converter will output data in the handshake mode at the end of every conversion cycle. (See section entitled "Handshake Mode" for further details).

STATUS Output

During a conversion cycle, the STATUS output goes high at the beginning of Signal Integrate (Phase II), and goes low one-half clock period after new data from the conversion has been stored in the output latches. See Figure 3 for of this timing. This signal may be used as a "data valid" flag (data never changes while STATUS is low) to drive interrupts, or for monitoring the status of the converter.

RUN/HOLD Input

When the RUN/HOLD input is high, or left open, the circuit will continuously perform conversion cycles, updating the output latches after zero crossing during the Deintegrate (Phase III)

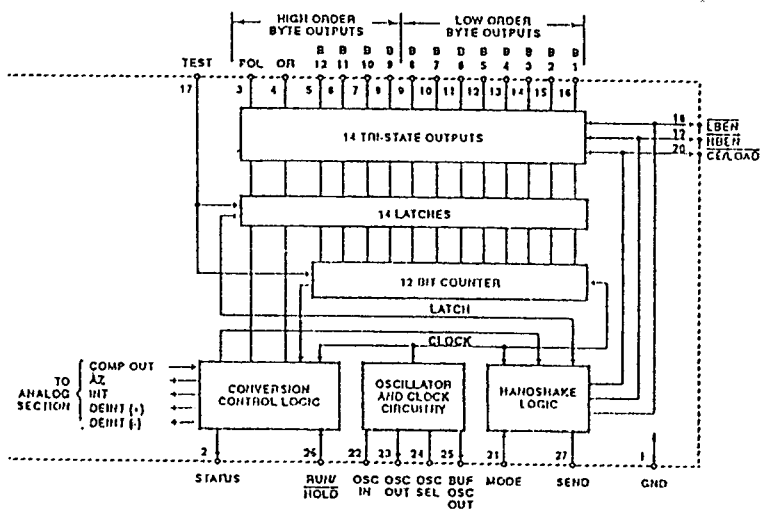


FIGURE 4. DIGITAL SECTION

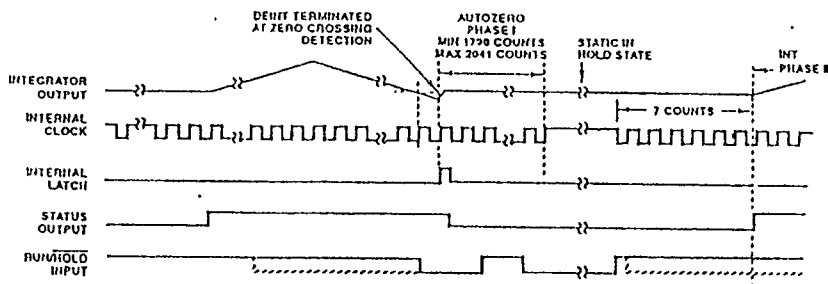


FIGURE 5. RUN/HOLD OPERATION

ICL7109

Figure 8 shows an output sequence where the SEND Input is used to delay portions of the sequence, or handshake to ensure correct data transfer. This timing diagram shows the relationships that occur using an industry-standard 1M64023 CMOS UART to interface to serial data channels. In this interface, the SEND Input to the ICL7109 is driven by the TBRE (Transmitter Buffer Register Empty) output of the UART, and the CE/LOAD terminal of the ICL7109 drives the TBRL (Transmitter Buffer Register Load) input to the UART. The data outputs are paralleled into the eight Transmitter Buffer Register inputs.

Assuming the UART Transmitter Buffer Register is empty, the SEND Input will be high when the handshake mode is entered after new data is stored. The CE/LOAD and HBEN terminals will go low after SEND is sensed, and the high order byte outputs become active. When CE/LOAD goes high at the end of one clock period, the high order byte data is clocked into the UART Transmitter Buffer Register. The UART TBRE output will now go low, which halts the output cycle with the HBEN output low, and the high order byte outputs active. When the UART has transferred that data to the Transmitter Register and cleared the Transmitter Buffer Register, the TBRE returns high. On the next ICL7109 internal clock high to low edge, the high order byte outputs are disabled, and one-half internal clock later, the HBEN output returns high. At the same time,

the CE/LOAD and LBEN outputs go low, and the low order byte outputs become active. Similarly, when the CE/LOAD returns high at the end of one clock period, the low order data is clocked into the UART Transmitter Buffer Register, and TBRE again goes low. When TBRE returns to a high it will be sensed on the next ICL7109 internal clock high to low edge, disabling the data outputs. One-half internal clock later, the handshake mode will be cleared, and the CE/LOAD, HBEN and LBEN terminals return high and stay inactive (as long as MODE stays high).

With the MODE Input remaining high as in these examples, the converter will output the results of every conversion except those completed during a handshake operation. By triggering the converter into handshake mode with a low to high edge on the MODE input, handshake output sequences may be performed on demand. Figure 9 shows a handshake output sequence triggered by such an edge. In addition, the SEND Input is shown as being low when the converter enters handshake mode. In this case, the whole output sequence for the first (high order) byte is similar to the sequence for the second byte. This diagram also shows the output sequence taking longer than a conversion cycle. Note that the converter still makes conversions, with the STATUS output and RUN/HOLD input functioning normally. The only difference is that now data will not be latched when in handshake mode, and is therefore lost.

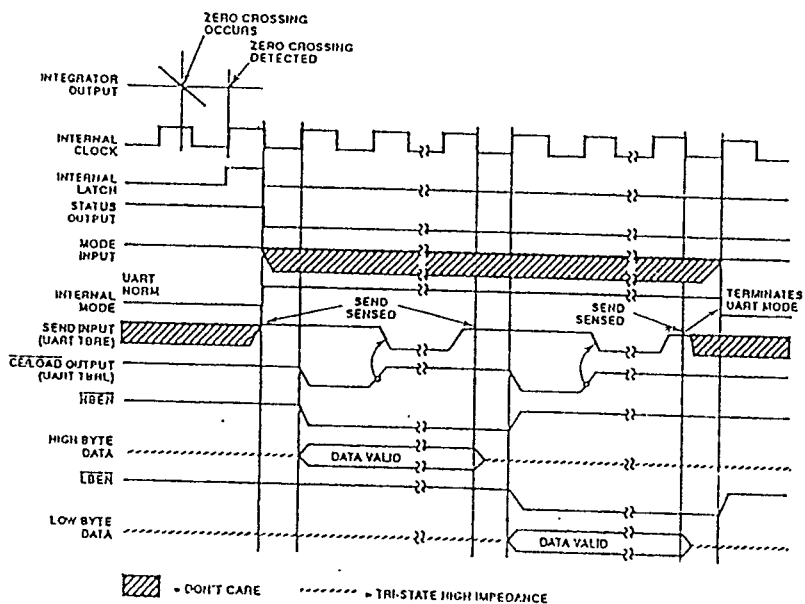


FIGURE 8. HANDSHAKE - TYPICAL UART INTERFACE TIMING

ICL7109

Oscillator

The ICL7109 is provided with a versatile three terminal oscillator to generate the internal clock. The oscillator may be overdriven, or may be operated with an RC network or crystal. The OSCILLATOR SELECT input changes the internal configuration of the oscillator to optimize it for RC or crystal operation.

When the OSCILLATOR SELECT input is high or left open (the input is provided with a pullup resistor), the oscillator is configured for RC operation, and the internal clock will be of the same frequency and phase as the signal at the BUFFERED OSCILLATOR OUTPUT. The resistor and capacitor should be connected as in Figure 10. The circuit will oscillate at a frequency given by $f = 0.45/RC$. A 100kΩ resistor is recommended for useful ranges of frequency. For optimum 60Hz line rejection, the capacitor value should be chosen such that 2048 clock periods is close to an integral multiple of the 60Hz period (but should not be less than 50pF).

When the OSCILLATOR SELECT input is low a feedback device and output and input capacitors are added to the oscillator. In this configuration, as shown in Figure 11, the oscillator will operate with most crystals in the 1MHz to 5MHz range with no external components. Taking the OSCILLATOR SELECT input low also inserts a fixed ×50 divider circuit between the BUFFERED OSCILLATOR OUTPUT and the internal clock. Using an inexpensive 3.58MHz TV crystal, this division ratio provides an integration time given by:

$$T_{INT} = (2048 \text{ clock periods}) \times (T_{CLOCK}) = 33.18 \text{ms where}$$

$$T_{CLOCK} = \frac{50}{3.581 \text{MHz}}$$

This time is very close to two 60Hz periods or 33ms. The error is less than one percent, which will give better than 40dB 60Hz rejection. The converter will operate reliably at conversion rates of up to 30 per second, which corresponds to a clock frequency of 245.8kHz.

If at any time the oscillator is to be overdriven, the overdriving signal should be applied at the OSCILLATOR INPUT, and the OSCILLATOR OUTPUT should be left open. The internal clock will be of the same frequency, duty cycle, and phase as the input signal when OSCILLATOR SELECT is left open. When OSCILLATOR SELECT is at GND, the clock will be a factor of 50 below the input frequency.

When using the ICL7109 with the IM6403 UART, it is possible to use one 3.58MHz crystal for both devices. The BUFFERED OSCILLATOR OUTPUT of the ICL7109 may be used to drive the OSCILLATOR INPUT of the UART, saving the need for a second crystal. However, the BUFFERED OSCILLATOR OUTPUT does not have a great deal of drive capability, and when driving more than one slave device external buffering should be used.

Test Input

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

When the RUN/HOLD is low and the TEST input is connected to GND, the counter outputs are all latched into the high state, and the internal clock is disabled. When the RUN/HOLD returns high and the TEST input returns to the 1/2 (V+ - GND) voltage (or to V+) and one clock is applied, all the counter outputs will be clocked to the low state. This allows easy testing of the counter and its outputs.

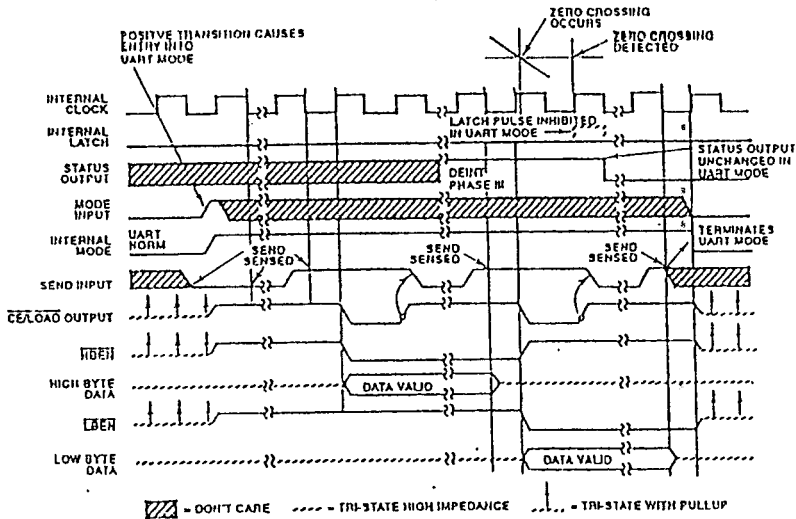


FIGURE 9. JIANOSHAKE TRIGGERED BY MODE

ICL7109

Typical Applications

Direct Mode Interfacing

Figure 12 shows some of the combinations of chip enable and byte enable control signals which may be used when interfacing the ICL7109 to parallel data lines. The $\overline{CE}/\overline{LOAD}$ input may be tied low, allowing either byte to be controlled by its own enable as in Figure 12A. Figure 12D shows a configuration where the two byte enables are connected together. In this configuration, the $\overline{CE}/\overline{LOAD}$ serves as a chip enable, and the \overline{IBEN} and \overline{LBEN} may be connected to GND or serve as a second chip enable. The 14 data outputs will all be enabled simultaneously. Figure 12C shows the \overline{IBEN} and \overline{LBEN} as flag inputs, and $\overline{CE}/\overline{LOAD}$ as a master enable, which could be the READ strobe available from most microprocessors.

Figure 13 shows an approach to interfacing several ICL7109s to a bus, connecting the \overline{IBEN} and \overline{LBEN} signals of several converters together, and using the $\overline{CE}/\overline{LOAD}$ inputs (perhaps decoded from an address) to select the desired converter.

Some practical circuits utilizing the parallel tri-state output capabilities of the ICL7109 are shown in Figures 14 through 19. Figure 14 shows a straightforward application to the Intel 8048/80/85 microprocessors via an 8255PPI, where the ICL7109 data outputs are active at all times. The VO ports of an 8155 may be used in the same way. This interface can be used in a read-anytime mode, although a read performed while the data latches are being updated will lead to scrambled data. This will occur very rarely, in the proportion of set-up skew times to conversion time. One way to overcome this is to read the STATUS output as well, and if it is high, read the data again after a delay of more than $1/2$ converter clock period. If STATUS is now low, the second reading is correct, and if it is still high, the first reading is correct. Alternatively, this timing problem is completely avoided by using a read-after-update sequence, as shown in Figure 15. Here the high to low transition of the STATUS output drives an interrupt to

the microprocessor causing it to access the data latches. This application also shows the $\overline{RUN}/\overline{TOLD}$ input being used to initiate conversions under software control.

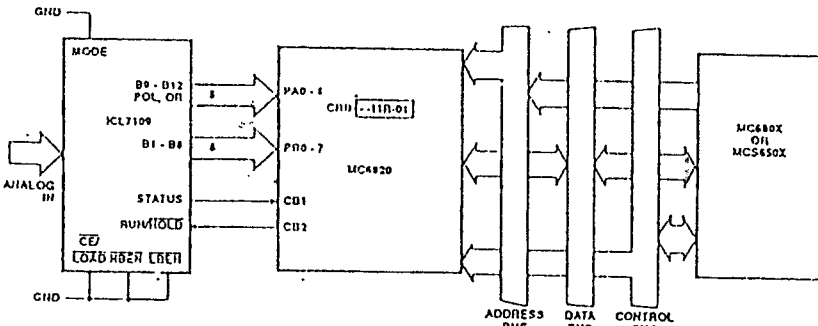
A similar interface to Motorola MC6800 or Rockwell R650X systems is shown in Figure 16. The high to low transition of the STATUS output generates an interrupt via the Control Register B CB1 line. Note that CB2 controls the $\overline{RUN}/\overline{TOLD}$ pin through Control Register B, allowing software-controlled initiation of conversions in this system as well.

The tri-state output capability of the ICL7109 allows direct interfacing to most microprocessor buses. Examples of this are shown in Figures 17 and 18. It is necessary to carefully consider the system in this type of interface, to be sure that requirements for setup and hold times, and minimum pulse widths are met. Note also the drive limitations on long buses. Generally this type of interface is only favored if the memory peripheral address density is low so that simple address decoding can be used. Interrupt handling can also require many additional components, and using an interface device will usually simplify the system in this case.

Handshake Mode Interfacing

The handshake mode allows ready interface with a wide variety of external devices. For instance, external latches may be clocked by the rising edge of $\overline{CE}/\overline{LOAD}$, and the byte enables may be used as byte identification flags or as load enables.

Figure 19 shows a handshake interface to Intel microprocessors again using an 8255PPI. The handshake operation with the 8255 is controlled by inverting its Input Buffer Full (IBF) flag to drive the SEND input to the ICL7109, and using the $\overline{CE}/\overline{LOAD}$ to drive the 8255 strobe. The internal control register of the PPI should be set in MODE 1 for the port used. If the ICL7109 is in handshake mode and the 8255 IBF flag is low, the next word will be strobed into the port. The strobe will cause IBF to go high (SEND goes low), which will keep the enable byte outputs active. The PPI will generate an interrupt which when executed will result in the data being



FULL-TIME PARALLEL INTERFACE TO MC680X OR MCS650X MICROPROCESSORS

ICL7109

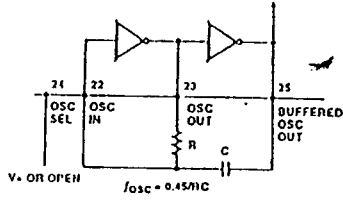


FIGURE 10. RC OSCILLATOR

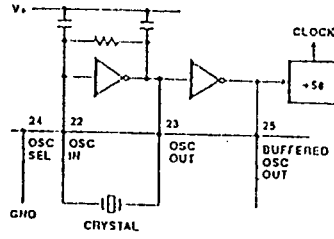


FIGURE 11. CRYSTAL OSCILLATOR

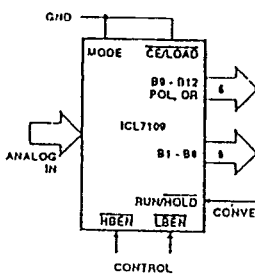


FIGURE 12A.

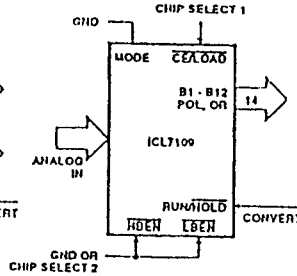


FIGURE 12B.

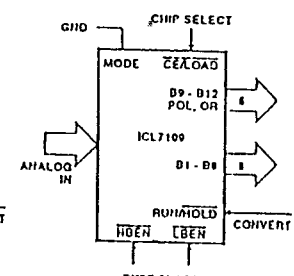


FIGURE 12C.

FIGURE 12. DIRECT MODE CHIP AND BYTE ENABLE COMBINATIONS

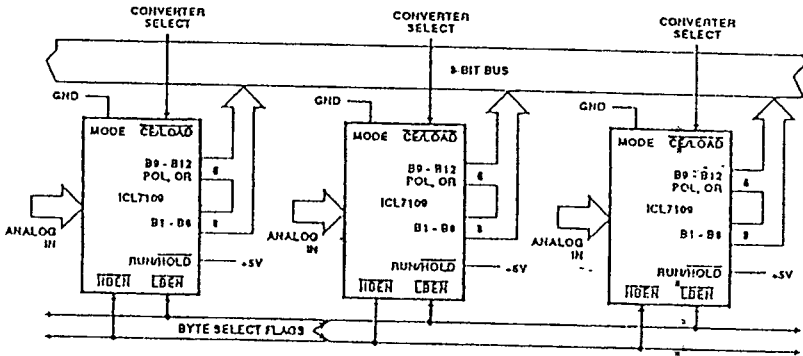


FIGURE 13. TRI-STATE SEVERAL ICL7109'S TO A SMALL BUS

ICL7109

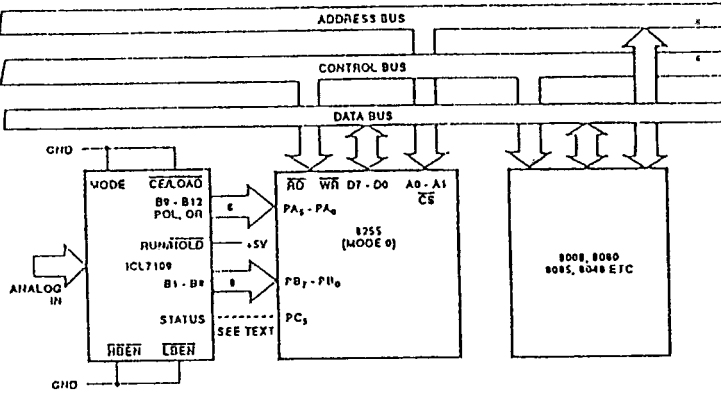


FIGURE 14. FULL-TIME PARALLEL INTERFACE TO 8040/8080/85 MICROPROCESSORS

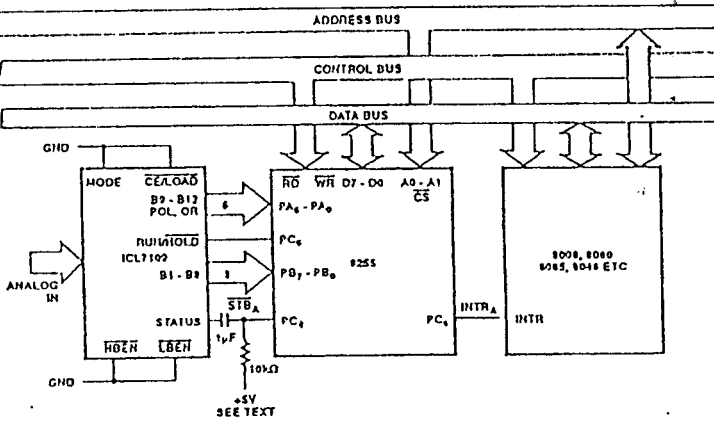


FIGURE 15. FULL-TIME PARALLEL INTERFACE TO 8048/8080/85 MICROPROCESSORS WITH INTERRUPT

ประวัติผู้เขียน

นาย โสพล บุตรงาม เกิด วันที่ 15 สิงหาคม พ.ศ. 2508 ที่จังหวัด สุรินทร์ สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ จาก มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีการศึกษา 2530 เข้าศึกษาต่อ ระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2537 ปัจจุบัน ทำงานในตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี