

การออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิ
การเผาผลาญภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

ปริญญานิพนธ์
ของ
ปาริฉัตร คำเหล็ก

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา

พฤษภาคม 2544

ลิขสิทธิ์เป็นของ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิ
การเผาผลิตรายณ์เครื่องปั้นดินเผา

บทคัดย่อ
ของ
ปาริฉัตร คำเหล็ก

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
พฤษภาคม 2544

152301 7.3

24 ต.ค. 2544

ปาริฉัตร คำเหล็ก. (2001). การออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผา

ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา. ปรินท์นิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ :

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม : ดร. ไพรัช วงศ์ยุทธไกร,
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ โกมล รักขันธ์.

จุดมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้คือ การออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ศึกษาประสิทธิภาพชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา โดยชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่สร้างขึ้น มีส่วนประกอบของวัสดุ อุปกรณ์ ได้แก่ ไอซีเรกูเลเตอร์เบอร์ 7805, 7905, 7815 7915, ไอซีA/Dเบอร์ L7109 ไอซีเบอร์TL074 ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 89C51 ไอซีเบอร์ 8255 ไอซีPAL เบอร์ CE22VIOH ไอซีรอมเบอร์2764 ไอซีแรมเบอร์62256 ไอซีเบอร์74LS245, 74HC573 OPTO เบอร์ 4N26 ไดโอดเบอร์ P600A ไดโอด 1,000 โวลต์ 70 แอมป์ ไดโอดเบอร์1N4001 เอส ซี อาร์ เบอร์SSKT26 คริสตัล 11.0592 , 3.579575 เมกะเฮิร์ตซ์ คาปาซิเตอร์ 15 pF 50 V, 0.01 μ F 50 V, 0.1 μ F 50 V, .33 μ F 50V ,1 μ F 50V, 10 μ F 50V, 470 μ F 50V, 2200 μ F 50V, ตัวต้านทาน ทริมพอก 10K Ω 1รอบ, 20K Ω 25รอบ, 100K Ω , ตัวต้านทาน $\frac{1}{4}$ w 5% 4.7K Ω , 9K Ω , 10K Ω , 15K Ω , 220K Ω , 1M Ω ตัวต้านทาน $\frac{1}{4}$ w 1% 3.9K Ω , 1K Ω , 10.2K Ω , 100K Ω ตัวต้านทาน กำลังไฟสูง 100 Ω 10W ทหรานฟอรมเมอร์ 1A 12 V แอลซีดี DMC161 สายแพ 26 เส้น พร้อมขั้วต่อ จุดเชื่อมต่อ 2 ขา ,3 ขา ชุดวงจรเอนกประสงค์ 89C51 แผ่นระบายความร้อน ขนาด 1 นิ้ว สวิตช์ กดติดปล่อยดับ แผ่นปรินออเนกประสงค์ กล้องเอนกประสงค์รุ่น EC-2A โดยชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ออกแบบและสร้างขึ้นสามารถ ใช้กับเตาเผาไฟฟ้าที่มีอุณหภูมิการเผาได้ไม่เกิน 1,300 องศาเซลเซียส ปรับอุณหภูมิได้ 6 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งตั้งอุณหภูมิไม่เกิน 1,300 องศาเซลเซียส ตั้งเวลาได้ 6 ตำแหน่ง ตั้งเวลาการเผาแต่ละโปรแกรมการเผาได้ไม่เกิน 24 ชั่วโมง ผลการทดลองการเผาดิบที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส เผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส เผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส โดยการนำค่าการควบคุมอุณหภูมิในการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา มาทำการเปรียบเทียบกับค่าการควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ของชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เนเบอร์ รุ่น C19 ซึ่งผลการเปรียบเทียบการควบคุมอุณหภูมิในการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จากชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาไม่แตกต่างกัน

DESIGN AND CONSTRUCT OF AUTOMATIC ELECTRONIC TEMPERATURE
CONTROL DEVICE FOR KILN AND FIRING

AN ABSTRACT

BY
PARICHAT KHAMLEK

Presented in partial fulfillment of the requirements for the
Master of Education degree in Industrial Education
at Srinakharinwirot University

May 2001

Parichat Khamlek. (2001). *Design and Construct of Automatic Electronic Temperature Control Device for Kiln an Firing*. Master thesis, M.Ed (Industrial Education). Bangkok : Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee : Dr. Pairust Vongyuttakhrai, Asst. Prof. Komol Raksawongsa.

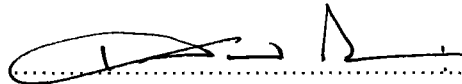
The purposes of this thesis were to design , construct and study the efficiency of the Automatic Electronic Temperature Control set for Kiln and Firing. The Automatic Electronic Temperature Control Device for Kiln an Firing were used IC regulate No.7805, No.7905, No.7815, No.7915, IC A/D No.L7109, IC No.TL074, Microcontroller No.8031, IC No.8255, IC PAL No.CE22VIOH, ROM No.2764, RAM No.62256, IC No.74LS245, No.74HC573, OPTO No.4N26, Diode No.P600A (1,000 Volt 70 A.), Diode No.1N4001, SCR No.SS.KT26, XTAL 11.0592 MHz and 3.579575 MHz, Capacitor 15 pF 50 V, 0.01 μ F 50 V, 0.1 μ F 50 V, 0.33 μ F 50 V, 1 μ F 50 V, 10 μ F 50 V, 470 μ F 50 V, 2200 μ F 50 V, Trimport 10K Ω 1 cycle, 20K Ω 25 cycle, 100K Ω , Resistor $\frac{1}{4}$ w 5% 4.7K Ω , 9K Ω , 10K Ω , 15K Ω , 220K Ω , 1M Ω , Resistor $\frac{1}{4}$ w 1% 3.9K Ω , 1K Ω , 10.2K Ω , 100K Ω , 100 Ω (10W), Transformer AC-DC output 1A 12 V, LCD No.DMC161 , Ribbon flat cable electric wire 26 pin and Connector 2 pin, 3 pin , KIT 8031 , Heat sink 1" , Switch normal OFF, General PRINT , General box model EC-2A. . The Automatic Electronic Temperature Control Device for Kiln an Firing can be fired at the temperature not over 1,300 $^{\circ}$ C, with 6 temperature adjusting positions. Each position can be fired not over 1,300 $^{\circ}$ C. The Automatic Electronic Temperature Control Device for Kiln an Firing able to set 6 timing programs. Each timing program able to set not over 24 hours. The experiment of Automatic Electronic Temperature Control Device for Kiln an Firing to control the temperature in Biscuit Firing at 850 $^{\circ}$ C, Glaze Firing at 1,200 $^{\circ}$ C, 1,250 $^{\circ}$ C, 1,230 $^{\circ}$ C, and at 1,280 $^{\circ}$ C were used to compared with Nabertherm C 19 and the results found were indifferent between the temperature.

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

การออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิ
การเผาผลิติดังนั้นเครื่องปั้นดินเผา

ของ
นางสาวปาริฉัตร คำเหล็ก

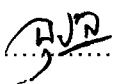
ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

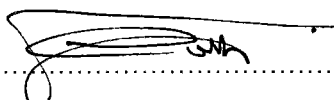

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิชาลาภรณ์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. 2544

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์


..... ประธาน
(อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ โกมล รัชวงศ์)


..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุวคันธกุล)


..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์ โอภาส สุขหวาน)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างสูงจาก ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร ประธานคณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ โกมล รักษ์วงศ์ กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ที่ท่านกรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณ ดร.อุปวิทย์ สุวคันทรกุล อาจารย์โอภาส สุขหวาน คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ชี้แนะในการแก้ไขปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สุรพันธ์ ยิ้มมั่น อาจารย์พยุ่ง เตชอยู่ คุณพิศิษฐ์ ไรจน์ทองคำ คุณธนรัตน์ ชัยศิลป์ชีวะ ภาควิชาฟิสิกส์อุตสาหกรรมและอุปกรณ์การแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ อาจารย์บุญล้ำ สุนทร อาจารย์เลิศชาย สติธัยพนาวงศ์ โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏพระนครศรีอยุธยา อาจารย์ศักดิ์ศรี แก่นสม โปรแกรมวิชาไฟฟ้า คุณกฤษฎา นำเจริญวัฒนกุล คุณเศกพร ดันศรีประภาศิริ โปรแกรมวิชาเซรามิกส์ อาจารย์ประสิทธิ์ หลีอรัชพันธ์ อาจารย์ยอติศักดิ์ นาคนาวา โปรแกรมวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม อาจารย์สุวรรณ กงทะสร คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ สถาบันราชภัฏพระนคร ที่ได้สละเวลาช่วยเหลือสนับสนุนในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี และขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาวิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา ภาคพิเศษ 5 ที่ช่วยเหลือและให้คำปรึกษา

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ คุณวิเชียร คำเหล็ก คุณบุญเรือน คำเหล็ก ที่ให้การสนับสนุนในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีตลอดมา

ปาริฉัตร คำเหล็ก

สารบัญ

บทที่

หน้า

1	บทนำ.....	1
	ภูมิหลัง.....	1
	ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า.....	2
	ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า.....	2
	ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า.....	3
	ตัวแปรที่ศึกษา.....	3
	นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
	สมมุติฐานของการศึกษาค้นคว้า.....	4
	กรอบแนวคิดของการศึกษาค้นคว้า.....	4
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
	ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา.....	5
	เตาและการเผา.....	6
	อุปกรณ์ระบบควบคุม.....	19
	วงจรขยายสัญญาณ.....	19
	วงจรอินสตรูเมนชัน.....	26
	ชุดแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล.....	27
	ไมโครโพรเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์.....	31
	ชุดควบคุม.....	50
	ชุดแสดงผล.....	55
	การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง.....	56
	การกรองแรงดัน.....	58
	ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ยี่ห้อ	
	เนเบอร์ รุ่น C 19.....	61
	การออกแบบ.....	62
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	64
3	วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า.....	66
	ศึกษารายละเอียดต่างๆที่ใช้ในการสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิ	
	การเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา.....	66
	สร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา.....	66

สารบัญ(ต่อ)

บทที่

หน้า

3 (ต่อ) ทดสอบการทำงานชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์	
เครื่องปั้นดินเผา.....	75
ทดสอบประสิทธิภาพชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์	
เครื่องปั้นดินเผา.....	76
สร้างคู่มือชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์	
เครื่องปั้นดินเผา.....	82
4 การวิเคราะห์ข้อมูล	84
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	85
การเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส.....	85
การเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส.....	86
การเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส.....	88
การเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส.....	90
การเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส.....	92
5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	94
สังเขปความมุ่งหมาย สมมุติฐานการศึกษาค้นคว้า.....	94
สร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา.....	94
สรุปผลการศึกษาค้นคว้า.....	95
อภิปรายผล.....	96
ข้อเสนอแนะ	98
บรรณานุกรม.....	100
ภาคผนวก.....	103
ภาคผนวก ก.....	103
ภาคผนวก ข.....	121
ภาคผนวก ค.....	126
ภาคผนวก ง.....	131
ภาคผนวก จ.....	144
ประวัติย่อผู้วิจัย	151

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 ชนิดและคุณสมบัติของวัตถุณนทไฟ.....	8
2 วัตถุณนทไฟที่ใช้บริเวณผนังเตา.....	8
3 ตัวอย่างความแตกต่างระหว่างไฟโรเมตริกโคนที่ใช้เป็นมาตรฐานการวัดของโคน 8 ของแต่ละชนิด	12
4 แสดงสัญญาณต่างๆ ของพอร์ต P3	44
5 แสดงตำแหน่งของรีจิสเตอร์ R0 – R 7 ในแบงค์ต่างๆ	47
6 การเลือกพรอดของไอซี 8255.....	49
7 การทำงานกับพรอดต่างๆของไอซี 8255.....	49
8 แสดง A/D ขนาด 12 บิต อินพุต 0-5 โวลต์.....	51
9 เปรียบเทียบ จำแนกตามชั่วโมงการเผาและอุณหภูมิการเผาที่ 850 องศา เซลเซียส	86
10 เปรียบเทียบ จำแนกตามชั่วโมงการเผาและอุณหภูมิการเผาเคลือบที่ 1,200 องศา เซลเซียส	87
11 เปรียบเทียบ จำแนกตามชั่วโมงการเผาและอุณหภูมิการเผาเคลือบที่ 1,2050 องศา เซลเซียส ..	89
12 เปรียบเทียบ จำแนกตามชั่วโมงการเผาและอุณหภูมิการเผาเคลือบที่ 1,2030 องศา เซลเซียส...	91
13 เปรียบเทียบ จำแนกตามชั่วโมงการเผาและอุณหภูมิการเผาเคลือบที่ 1,2080 องศา เซลเซียส...	93

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ

หน้า

1	แสดงการเชื่อมเทอร์โมคอปเปิลระหว่างทองแดง+นิกเกิล กับเหล็ก.....	13
2	แสดงการเชื่อมเทอร์โมคอปเปิลระหว่างนิกเกิล+โครเมียม กับ นิกเกิล+อลูมิเนียม.....	13
3	แสดงการเชื่อมเทอร์โมคอปเปิลระหว่างพลาตินัม กับ พลาตินัม + โรเดียม	13
4	แสดงการเชื่อมเทอร์โมคอปเปิลระหว่างพลาตินัม + โรเดียม กับพลาตินัม + โรเดียม	14
5	การต่อเชื่อมระหว่างไอริเดียม+โรเดียมกับไอริเดียม.....	14
6	แสดงการต่อเชื่อมระหว่างทั้งสแตนกับไอริเดียม.....	14
7	แสดงรูปตัดของเทอร์โมคอปเปิล.....	15
8	แสดงการเปลี่ยนแปลงของเนื้อดินปืนในการเผาติด.....	16
9	แสดงการเปลี่ยนแปลงในการเคลือบ.....	17
10	แสดงแผนผัง สัญลักษณ์ และแพคเกจจิ้งของออปแอมป์เอนกประสงค์ 741.....	20
11	วงจรขยายแรงดันแบบลูปเปิด.....	21
12	วงจรขยายแรงดันแบบลูปปิดชนิดอินเวอร์ต.....	22
13	วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส.....	23
14	วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส.....	24
15	วงจรขยายสัญญาณรวมสัญญาณ.....	24
16	วงจรบวกของวงจรขยายแบบกลับสัญญาณ.....	25
17	วงจรอินสตรูเมนชัน	28
18	เหตุการณ์แอนะล็อกที่เป็นความร้อนไม่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์โดยตรงได้.....	29
19	การใช้ตัวแปลงสัญญาณเปลี่ยนค่าความร้อนเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์ก่อน นำเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์.....	28
20	หลักการเครื่องอัดและเล่นแผ่นออดิโอเลเซอร์ดิสก์.....	29
21	วงจรสุ่มตัวอย่างและคงค่า อย่างง่าย.....	30
22	วงจร A/D แบบขั้นบันไดและกราฟแสดงการทำงาน.....	30
23	วงจร A/D แบบDual Slopeและกราฟแสดงการทำงาน.....	30
24	วงจร A/D แบบประมาณสลับเนื่องและกราฟแสดงการทำงาน.....	31
25	การประมวลผลในคอมพิวเตอร์.....	33

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

26	องค์ประกอบพื้นฐานของระบบคอมพิวเตอร์	34
27	แสดงระบบบัสของระบบไมโครโพรเซสเซอร์	35
28	แสดงสถาปัตยกรรมของไมโครโพรเซสเซอร์มาตรฐานทั่วไป	36
29	โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS- 51.....	39
30	สัญญาณต่างๆของ MCS- 51	41
31	การต่อสัญญาณนาฬิกาที่ XTALO XTAL2.....	41
32	การใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก.....	42
33	การต่อสัญญาณรีเซต.....	42
34	การสร้างสัญญาณแอดเดรส และสัญญาณข้อมูล.....	43
35	การจัดเลือกหน่วยความจำโปรแกรม	45
36	การจัดแบ่งหน่วยความจำข้อมูลภายใน	46
37	ตำแหน่งหน่วยความจำอธิบายตำแหน่งแบบบิตได้	47
38	แผนภูมิของระบบเครื่องมือวัด	50
39	แสดง ระบบเครื่องมือวัดแบบโมเดิร์น.....	50
40	แสดง ระบบการได้มาของข้อมูล.....	50
41	แสดงโครงสร้าง สัญลักษณ์ของไทรแอก.....	52
42	แสดงกราฟลักษณะสมบัติของไทรแอก.....	53
43	แสดงการนำกระแสได้ 2ทางของไทรแอก เมื่อได้รับการจุดชนวนด้วยกระแสเกตบวก.....	53
44	แสดงวงจรควบคุมเฟสที่ใช้ไทรแอก.....	54
45	วงจรควบคุมเฟสที่ใช้ไทรแอกและวงจรจุดชนวนเกตของไทรแอก.....	54
46	แสดงวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่น.....	57
47	แสดงวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่น.....	57
48	แสดงวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบบริดจ์.....	58
49	แสดงวงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ.....	59
50	แสดงวงจรกรองแรงดันด้วยตัวเหนี่ยวนำ.....	59
51	แสดงวงจรกรองแรงดันแบบพาส.....	60
52	แสดงวงจรกรองแรงดันแบบรูปตัวแอล.....	60
53	แสดงวงจรกรองแรงดันแบบ อาร์ซี.....	61
54	แสดงภาพชุดควบคุมอุณหภูมิเตาเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผารุ่น C 19.....	62
55	การติดตั้ง เครื่องวัดอุณหภูมิ และชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผา ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา.....	67

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

56	แผนภูมิ ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์ เครื่องปั้นดินเผา.....	68
57	แผนภูมิ ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์ เครื่องปั้นดินเผา.....	68
58	วงจรชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา.....	69
59	กราฟแสดงการเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส.....	76
60	กราฟแสดงการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส.....	77
61	กราฟแสดงการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส.....	78
62	กราฟแสดงการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส.....	79
63	กราฟแสดงการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส.....	80
64	แสดงการควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ...	85
65	แสดงการควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส....	86
66	แสดงการควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส....	88
67	แสดงการควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส....	90
68	แสดงการควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่อุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส....	92
69	ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา.....	127
70	อุปกรณ์ภายในชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา....	127
71	ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา.....	128
72	อุปกรณ์ภายในชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา....	128

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีการสร้างเครื่องมือ อุปกรณ์ และเครื่องใช้ต่างๆ เพื่อช่วยอำนวยความสะดวก แก่ มนุษย์ ช่วยควบคุมขั้นตอน ลดเวลาในการปฏิบัติงาน (พันศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์และประเพชร บุญธรรม. 2537 : 2) คอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ประเภทหนึ่ง ที่มีบทบาทมากในปัจจุบันในการทำงานมากขึ้น เนื่องจากคอมพิวเตอร์มีความสามารถในการทำงานได้รวดเร็วได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำ พร้อมทั้งเก็บข้อมูลและข้อความได้จำนวนมาก(พันศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์. ม.ป.ป. : 32). ไมโครโพรเซสเซอร์ ซึ่งเป็นการย่อส่วนคอมพิวเตอร์แบบดิจิทัลลงมาให้เป็นไอซีตัวเดียว ทำให้สามารถนำวิธีการของระบบคอมพิวเตอร์มาใช้กับงานควบคุมอัตโนมัติที่ต้องการได้ ด้วยเหตุนี้เครื่องมือเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันจึงเป็นชนิดควบคุมด้วยไมโครโพรเซสเซอร์ (Microprocessor Controlled) ประโยชน์ที่สำคัญอย่างหนึ่งของไมโครโพรเซสเซอร์ คือใช้ในงานระบบควบคุมได้ดังกล่าวแต่ระบบควบคุมที่ใช้ไมโครโพรเซสเซอร์นั้น จำเป็นต้องใช้วงจรอื่นๆ เป็นส่วนประกอบอีกหลายวงจร เช่น วงจรนับและจับเวลา (Counter & Timer Circuit) วงจรจัดการอินเทอร์รัปต์ (Interrupt Handler Circuit) วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล เป็นต้น หากต้องใช้ไอซีชิปแยกต่างหากเพื่อทำหน้าที่ต่างๆ เหล่านี้ ก็จะทำให้วงจรมีขนาดใหญ่ขึ้น จึงเกิดแนวคิดที่จะสร้างไมโครโพรเซสเซอร์ชนิดพิเศษขึ้น สำหรับใช้กับงานระบบควบคุมโดยเฉพาะ โดยการออกแบบให้มีวงจรประกอบต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับงานระบบควบคุมรวมไว้บนชิปเดียวกันและเรียกชื่อว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) (ถวัลย์วงศ์ ไกรโรจนานนท์. 2542 : 202,208)

เตาเผา (Kiln) เป็นเครื่องมือที่ให้ความร้อน ควบคุมความร้อน การกระจายความร้อน เตาไฟฟ้า (Electric Kiln) ปัจจุบันเป็นเตาที่มีผู้สนใจใช้กันมาก โดยเฉพาะในงานทำอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา เนื่องจากผู้ใช้มีความสะดวกสบายควบคุมได้ง่าย มีความปลอดภัยสูง และค่าใช้จ่ายไม่สิ้นเปลือง ผลิตภัณฑ์ก็มีคุณภาพดี เตาไฟฟ้าได้มีผู้ออกแบบและพัฒนาตามลำดับ ในอดีต เตาไฟฟ้าไม่สามารถเผาในอุณหภูมิสูงได้ ทั้งนี้เนื่องจากอุปกรณ์ต่างๆ ยังมีคุณภาพไม่ดีพอ จึงมีผู้สนใจน้อยมาก ปัจจุบันเนื่องจากเตาไฟฟ้า (Electric Kiln) ได้ประสบความสำเร็จเกี่ยวกับอุปกรณ์และเครื่องมือตลอดจนสายทนความร้อน (Heater Element) ได้สร้างเตาเผาดีขึ้นตามลำดับ สามารถเผาได้ในอุณหภูมิสูง นับว่าเป็นความก้าวหน้าอย่างยิ่งในปัจจุบัน เตาไฟฟ้าที่ออกแบบใช้งานในปัจจุบัน มีหลายขนาดและขนาดใหญ่นิยมใช้เผาผลิตภัณฑ์ประเภทสุขภัณฑ์ (Sanitary Ware) อิฐทนไฟ (Refractories) เตาที่ใช้ยกขึ้นครอบผลิตภัณฑ์ (Electric elevator Kiln top-hat Kiln) สามารถเผาได้อุณหภูมิสูง ใช้เวลาเผาไม่น้อยกว่า 20-22 ชั่วโมง ต่อครั้ง ส่วนเตาไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กลงมา มักนิยมสร้างเป็นเตาเผาแบบกลม แบบหกเหลี่ยม แบบสี่เหลี่ยม ซึ่งมีทั้งชนิดเปิดบน (Top Loading) เปิดด้านหน้า (Front Loading) มีความจุตั้งแต่หนึ่งลูกบาศก์ฟุต จนถึงหลายลูกบาศก์ฟุต ก็มี ใช้ไฟชนิด 2 สาย - 3 สาย (Single phase Three phase) กระแสไฟฟ้าชนิด 220-380 โวลต์ เตาไฟฟ้านอกจากจะใช้เผาผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับเคลือบ (Glaze Firing) เผาติบ (Biscuit Firing) แล้วยังใช้เผาผลิตภัณฑ์เคลือบ (Over Glaze Deivation) นอกจากนี้ยังใช้เป็นเตาเผาสำหรับงานทดลอง วิจัย

งานต่างๆ ได้เป็นอย่างดี การเผาในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา กระบวนการควมร้อนมีอิทธิพล และบทบาทอย่างยิ่ง (ทวี พรหมพฤกษ์. 2525 : 63,99)

การศึกษาวิชาเครื่องปั้นดินเผา(Ceramics) จะต้องศึกษาเรื่องวัตถุดิบ(Raw materials) เนื้อดินปั้น(Bodies) น้ำเคลือบ(Glaze) กระบวนการผลิต(Processing) เครื่องมืออุปกรณ์การผลิต(Tools & Equipment) รวมถึงการตลาด(Marketing) สิ่งทีกล่าวมาแล้วล้วนเป็นสิ่งสำคัญ ในการผลิตเครื่องปั้นดินเผาให้มีคุณภาพดี ได้ตามต้องการขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิที่เผา ดังนั้นในการเผาผลิตภัณฑ์ที่มีความจำเป็นต้องใช้เตาเผาที่มีประสิทธิภาพได้อุณหภูมิสูงสามารถบำรุง รักษา ซ่อมแซม ได้สะดวกและใช้งานได้อย่างปลอดภัย (โกมล รัชวงศ์. 2538 : 60) จากการสัมมนาสมาคมผู้ผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ผลิตภัณฑ์ที่เสียหายโดยประมาณมากกว่าร้อยละ 30 มีสาเหตุมาจากการควบคุมอุณหภูมิในการเผา การควบคุมอุณหภูมิในการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ใช้คนในการควบคุมอุณหภูมิให้เพิ่มขึ้น ลดลงหรือรักษาระดับอุณหภูมิให้ได้คงที่สม่ำเสมอ ตลอดระยะเวลาที่ใช้ในการเผาผลิตภัณฑ์ ทำได้ยากลำบาก เพื่อแก้ปัญหาการควบคุมอุณหภูมิดังกล่าว จึงนิยมใช้ ชุดอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมอุณหภูมิเตาเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาอัตโนมัติ แทน แต่การใช้ชุดอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมอุณหภูมิเตาเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาเพื่อใช้ในการควบคุมอุณหภูมิในการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาให้มีคุณภาพดี ที่มีอยู่ในปัจจุบันจำเป็นต้องซื้อสำเร็จจากต่างประเทศ นอกจากจะมีราคาสูงแล้วเมื่อมีปัญหาชุดอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมอุณหภูมิเตาเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาไม่สามารถทำงานให้มีประสิทธิภาพตามที่ต้องการได้ การจัดซื้ออะไหล่ที่นำมาใช้ในการซ่อมบำรุง จะทำได้ยาก (โกมล รัชวงศ์. ม.ป.ป.: 1) การพัฒนาอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิให้มีความเที่ยงตรง ตลอดระยะเวลาในการเผาสามารถทำได้โดยการใช้คอมพิวเตอร์ ซึ่งมีประสิทธิภาพและความเที่ยงตรงในการควบคุมอุณหภูมิสูงแต่ในขณะเดียวกันชุดควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ก็มีราคาสูง ในขณะที่วงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยทั่วไปจะมีประสิทธิภาพและความเที่ยงตรงในการควบคุมอุณหภูมิน้อยกว่าการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ (เย็น ภูววรรณ. ม.ป.ป. :257,266) แต่การควบคุมอุณหภูมิเตาเผาที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีประสิทธิภาพและความเที่ยงตรงสูงได้โดยที่มีขนาดเล็กดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิเตาเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงาน ให้สามารถกำหนดและควบคุมหน้าที่การทำงานในการควบคุมอุณหภูมิต่างๆได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถทดแทนการนำเข้า ซ่อมแซมได้ง่าย และมีราคาถูก

ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิ การเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เมื่อเทียบกับความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิของชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ยี่ห้อ เนเบอร์ (Nabertherm) รุ่น C19 ของประเทศเยอรมัน

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

ได้ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา มีประสิทธิภาพในการควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เช่นเดียวกับชุดอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผายี่ห้อ เนเบอร์ รุ่น C19 ของประเทศเยอรมัน และ สามารถทดแทนการนำเข้ารวมทั้งซ่อมแซมได้ง่าย มีราคาถูก เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา

ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า

การศึกษาค้นคว้านี้ ผู้ศึกษาค้นคว้ามุ่งที่จะออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา โดยมีขอบเขตดังนี้

1. ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จะมีอุปกรณ์ระบบควบคุมที่สามารถกำหนดโปรแกรมขณะเผาดังนี้

1.1 สามารถตั้งโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิในการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาได้

1.2 สามารถตั้งโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิในการเผาเคลือบผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาได้

2. ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา สามารถใช้กับเตาเผาไฟฟ้าที่มีอุณหภูมิในการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาไม่เกิน 1,300 องศาเซลเซียส

3. ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา สามารถปรับอุณหภูมิได้ 6 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ไม่เกิน 1,300 องศาเซลเซียส

4. ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา สามารถตั้งเวลาการเผาได้ 6 ตำแหน่ง แต่ละโปรแกรมการเผาลังจะไม่เกิน 24 ชั่วโมง

5. ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา สามารถใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 1 เฟส

6. ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่สร้างขึ้น ใช้เผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาชนิดเดียวกับที่ใช้เผาในชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผายี่ห้อ เนเบอร์ รุ่น C19

ตัวแปรที่จะศึกษา

ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ประสิทธิภาพของชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิ หมายถึง วงจรและโปรแกรม ที่ใช้ในชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ให้สามารถตั้งโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิในการเผา และเผาเคลือบได้

1.1 วงจร หมายถึง การต่ออุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ประเภท ไอซี ไดโอด คริสตอล ทรานซิสเตอร์ ตัวต้านทาน ไทรแอก เอส ซี อาร์ ที่นำมาใช้ในการสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

1.2 โปรแกรม หมายถึง ข้อมูลที่ใช้เป็นรหัสคำสั่งต่างๆเรียงกันโดยใช้ภาษาแอสแซมบลีแล้วบรรจุไว้ในหน่วยความจำของชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

2. ประสิทธิภาพ หมายถึง ความสามารถของชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติในการตั้งโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ซึ่งสามารถวัดประสิทธิภาพได้จากการเปรียบเทียบกราฟอุณหภูมิต่อเวลา ที่ได้จากการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาชนิดเดียวกับใช้เผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาในชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผายี่ห้อ เนเบอร์ รุ่น C19 ที่ระดับการเผา 5 ระดับคือ การเผาติดที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส การเผาเคลือบที่อุณหภูมิการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส การเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส การเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส การเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส

3. การเผา หมายถึง กระบวนการให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาซึ่งในที่นี้มีการเผายู่ 2 แบบคือ การเผาติดและการเคลือบ

3.1 การเผาติด หมายถึง การนำเอาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ตากแห้งแล้วทำการเผา ที่อุณหภูมิ 800 – 900 องศาเซลเซียส

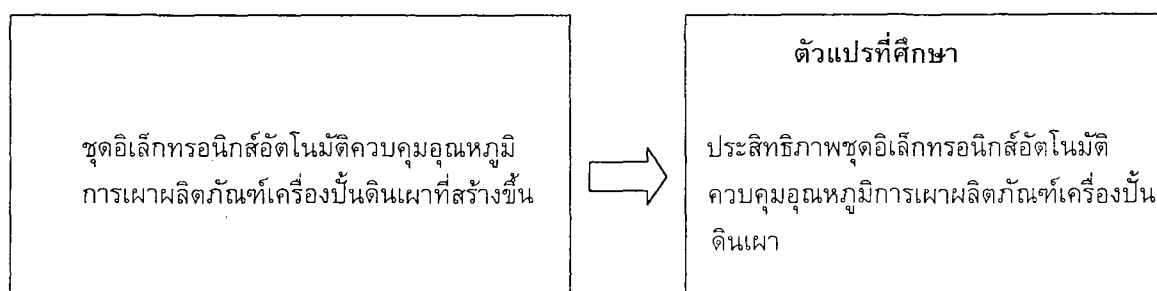
3.2 การเผาเคลือบ หมายถึง การเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ตากแห้งไปชุบน้ำเคลือบแล้วทำการเผา และอีกอย่างหนึ่งการนำเอาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ผ่านการเผาติด แล้วนำไปชุบเคลือบทำการเผาเคลือบ ทั้งนี้การเผาเคลือบสามารถทำการเผาที่อุณหภูมิ แบบสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอ ที่อุณหภูมิไม่เกิน 1,300 องศาเซลเซียส

4. ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา หมายถึง ชิ้นงานซึ่งมีส่วนประกอบเช่นดินซึ่งทั้งหมดหรือ ส่วนใหญ่ ผลิตจากวัตถุดิบที่มีอยู่ตามธรรมชาติบนเปลือกโลก โดยมีกรรมวิธีการผลิตที่ต้องผ่านการเผาติด และการเผาเคลือบที่อุณหภูมิไม่เกิน 1,300 องศาเซลเซียส

สมมุติฐานการศึกษาค้นคว้า

ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่สร้างขึ้น มีความสามารถควบคุมอุณหภูมิที่ระดับการเผา 5 ระดับไม่แตกต่างกับชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ยี่ห้อ เนเบอร์ รุ่น C19

กรอบแนวคิดในการศึกษาค้นคว้า



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ผู้ศึกษามุ่งที่จะสร้างชุดชุดอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมอุณหภูมิเตาเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาอัตโนมัติ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา
2. เตาและการเผา
3. อุปกรณ์ระบบควบคุม
 - 3.1 วงจรขยายสัญญาณ
 - 3.2 วงจรอินสตรูเมนต์ชัน
 - 3.3 ชุดแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล
 - 3.4 ไมโครโพรเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์
 - 3.5 ชุดควบคุม
 - 3.6 ชุดแสดงผล
 - 3.7 การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง
 - 3.8 การกรองแรงดัน
4. ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ยี่ห้อ เนเบอร์รุ่น C19
5. การออกแบบ
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

ในอดีต เข้าใจ คำว่า เครื่องปั้นดินเผา (ceramic) หมายถึงศิลปะที่เกี่ยวข้องกับเครื่องปั้นดินเผา ต่อมาได้มีการใช้ในความหมายกว้างขวางมากขึ้นคือ รวมถึงอุตสาหกรรมทั้งหลายที่ใช้สารประกอบพวกซิลิเกต (silicate) ในการผลิตผลิตภัณฑ์ คำว่า เครื่องปั้นดินเผา ศัพท์เดิมมาจากภาษากรีก เคารามอส (karamos) และมีรากศัพท์มาจากภาษาสันสกฤต (Sanskrit) ซึ่งมีความหมายว่าเผา ปัจจุบันมีความหมาย 2 ประการคือ ประการแรกหมายถึง ผลิตภัณฑ์ซึ่งกรรมวิธีการผลิตต้องผ่านอุณหภูมิสูง ความหมายประการที่สองหมายถึง ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดหรือ ส่วนใหญ่ ผลิตจากวัตถุดิบที่มีอยู่ตามธรรมชาติบนเปลือกโลก วิชาเซรามิกส์ เป็นวิชาที่ประกอบด้วยศิลปะ และวิทยาศาสตร์ของการผลิตและการใช้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งมีส่วนประกอบส่วนใหญ่ที่จำเป็นของผลิตภัณฑ์ที่เป็นวัสดุประเภท อนินทรีย์ และเป็นอโลหะ ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ได้แก่ เครื่องปั้นดินเผา ปอรรถเลน วัตถุทนไฟ วัสดุก่อสร้างที่เป็นดินเผา วัสดุขัดถู โลหะเคลือบ ซีเมนต์ แก้ว วัสดุที่ใช้ในงานเกี่ยวข้องกับแม่เหล็กไฟฟ้า เฟอร์โรอิเล็กทริก ผลึกเดี่ยวๆ เป็นต้น ปัจจุบันผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผามีหลายชนิด เช่นผลิตภัณฑ์ประเภทแก้ว ซึ่งประกอบด้วยผลิตภัณฑ์พวกภาชนะเครื่องแก้วต่างๆ กระฉก หลอดไฟ โคมไฟ ผลิตภัณฑ์ปูน

ขาว ยิปซัม และซีเมนต์ ผลิตภัณฑ์พวกไวท์แวร์ ซึ่งประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์ฉนวนไฟฟ้าต่างๆ เครื่องสุขภัณฑ์ กระเบื้อง ผลิตภัณฑ์เครื่องถ้วย ชาม ชนิดเอเทนแวร์ และชามแวร์ ปอร์ซเลนและสโตนแวร์ ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ ได้แก่ ยูเรเนียมไดออกไซด์ ผลิตภัณฑ์โลหะเคลือบ ผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้าง ผลิตภัณฑ์วัสดุทนไฟ ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ใช้ทางการแพทย์ (ปริดา พิมพ์ขาวขาว. 2535 : 1-4)

ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เนื้อดินปั้นที่ใช้ในการขึ้นรูปจะต้องใช้น้ำผสมเพื่อให้เกิดความเหนียว เพื่อจะทำให้ขึ้นรูปได้ง่าย ดังนั้นก่อนนำเอาไปเผาจะต้องทำการตากให้สนิทเสียก่อน ถ้าหากตากไม่แห้งสนิทนำไปเผาจะทำให้เกิดแตกร้าว เนื่องมาจากการเผาทำให้น้ำที่ผสมอยู่ในเนื้อดินระเหยออกเร็วเกินไป ผิวนอกของเนื้อดินปั้นจะร้อนเร็วกว่าบริเวณส่วนกลางของเนื้อดินได้รับความร้อนช้ากว่า เกิดการหดตัวไม่เท่ากันก็จะเกิดการแตกร้าว

2. เตาและการเผา (Kiln and firing)

2.1 เตาเผา เป็นเครื่องมืออุปกรณ์หลักอย่างหนึ่งในการผลิตเครื่องปั้นดินเผาเตาเผาเป็นปัจจัยสำคัญที่จะให้เครื่องปั้นดินเผามีคุณภาพดีหรือไม่ดี เตาเผาที่มีประสิทธิภาพสูงเครื่องปั้นดินเผาที่มีประสิทธิภาพสูงตามการแบ่งประเภทของเตาเผาแบ่งออกได้ดังนี้

2.1.1 แบ่งตามประเภทการใช้งานของเตาเผา จะแบ่งออกได้ 2 ประเภทด้วยกันคือ

2.1.1.1 เตาเผาชนิดเผาเป็นครั้งคราว (Periodic kiln) ทำการเผาให้ถึงจุดที่กำหนดไว้ แล้วหยุดการเผาปล่อยให้เตาเย็น แล้วเอาผลิตภัณฑ์ออกจากเตาเผา เตาชนิดนี้เรียกอีกชื่อหนึ่งว่าเคา (Shuttl kiln)

2.1.1.2 เตาเผาแบบต่อเนื่อง (Continuous kiln) เป็นเตาเผาที่ใช้ในระบบอุตสาหกรรม จะทำการเผาตลอดเวลาไม่มีการหยุด จะทำการหยุดเตาเผาในเมื่อเกิดปัญหาเท่านั้นปัญหาที่เกิดขึ้นได้แก่ อุปกรณ์เตาชำรุด เตาประเภทนี้จะเผาตลอดเวลาถึงครึ่งปี หรือหนึ่งปี จะกำหนดอุณหภูมิในการเผาไว้คงที่ตลอดเวลา เตาเผาประเภทนี้ได้แก่เตาอุโมงค์ (Tunnel kiln)

2.1.2 แบ่งตามประเภททางเดินลมร้อนแบ่งออกได้ 3 ประเภทดังนี้

2.1.2.1 เตาเผาชนิดทางเดินลมร้อนในแนวตรงและแนวทะแยง (horizontal) draft kiln หรือ (Crossdraft kiln)

2.1.2.2 เตาเผาประเภททางเดินลมร้อนขึ้น (Up draft kiln)

2.1.2.3 เตาเผาประเภททางเดินลมร้อนลง (down draft kiln)

2.1.3 แบ่งตามรูปร่างและลักษณะของเตา ได้แก่ เตากลม เตาเหลี่ยม เตาแมลงป่อง เتامังกร เตาจีน เตาอุโมงค์ เป็นต้น

2.1.4 แบ่งตามชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้เตาเผา ได้แก่ เตาแกส เตาฟืน เตาน้ำมัน เตาถ่านหิน เตาไฟฟ้า เป็นต้น

2.1.4.1 เตาเผาแกส แกสที่ใช้คือแกสธรรมชาติ (Natural gas) แกสโพรเพน (Propane) แกสโปรดิวเซอร์ (Producer gas)

2.1.4.2 เตาฟืน คือเตาเผาที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเผา เตาฟืนมีหลายแบบหลายชนิด เช่น เตาฟืนชนิดทางลมร้อนขึ้น เตาฟืนชนิดทางเดินลมร้อนลง เตาฟืนชนิดทางเดินลมร้อนขนานเฉียงกับพื้น

2.1.4.3 เตาไฟฟ้า จะให้พลังงานความร้อน ภายหลังจากการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าในขดลวดความต้านทาน (Heating, Element) ถ้าเป็นขดลวดที่มีคุณภาพดีก็สามารถให้ความร้อนสูงขึ้นได้ตามความต้องการ แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ต่างๆ ด้วย เช่น อิฐทนไฟชนิดเบา (Insulating Brick) ฉนวน (Insulating Borad) โดยเฉพาะเตาไฟฟ้า เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดความต้านทานยิ่งนานยิ่งจะสะสมความร้อนขึ้นไปเรื่อย ๆ จนถึงอุณหภูมิสูงสุดตามที่ต้องการ เตาไฟฟ้าจะไม่มีช่องระบายลม และในขณะเดียวกันก็ใช้เป็นที่ระบายแก๊ส เกิดจากการเผาได้อีกประการหนึ่งด้วย ขดลวดความร้อน (Electric heating Element) ที่ใช้กับเตาไฟฟ้าปัจจุบันผู้ผลิตออกจำหน่ายและเป็นมาตรฐาน ชนิดต่าง ๆ คือ ชนิดนิโครม (Nichrome) ชนิดแคนธอล (Kanthal) ชนิดซิลิคอนคาร์ไบด์ (Silicon carbide) เตาไฟฟ้า ชนิดที่นำมาใช้ในการผลิตเครื่องปั้นดินเผา จำเป็นต้องเป็นเตาที่สามารถเผาได้ในอุณหภูมิสูง มีประสิทธิภาพ จึงจะประกอบด้วยสิ่งสำคัญดังต่อไปนี้

2.1.4.3.1 ตัวเตา

โครงสร้างเตา

อิฐทนไฟ

ฉนวนกันความร้อน

สีทาเตา ชนิดสีทนความร้อน

2.1.4.3.2 ขดลวดความร้อน (Heating Element)

ชนิดของขดลวดความร้อน

วงจรไฟฟ้า (Circuit)

2.1.4.3.3 อุปกรณ์ต่าง ๆ

เครื่องวัดอุณหภูมิ

ชั้นรองและขาตั้ง(ทวี พรหมพฤกษ์. 2525 : 63-66)

2.1.5 ฉนวน เตาเผาและเตาถลุงในระยะแรก ๆ ก่อสร้างด้วยอิฐทนไฟซึ่งทนไฟได้สูงและมีความแข็งแรงสูง แต่ผนังเตาทั้งสองแบบ ค่อนข้างหนา ทั้งนี้เพราะว่าอิฐทนไฟ ที่ผลิตจากดินทนไฟทั่วไปมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไม่ดีนัก วัสดุกรุผนังเตามากเกินไปอันเป็นผลเนื่องมาจากคุณภาพของอิฐก่อเตาด้านนอก ๆ ออกมา มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไม่ดี อย่างไรก็ดีเมื่อมีการเผาที่อุณหภูมิสูงมากขึ้น และราคาเชื้อเพลิงสูงขึ้นจึงมีการนำวัสดุฉนวนมาใช้ก่อสร้างเป็นส่วนหนึ่งของผนังเตา เพื่อให้ผนังเตามีคุณสมบัติเป็นฉนวนมากขึ้น วิธีการเช่นนี้ช่วยทำให้เกิดการก่อสร้างผนังเตาบางลง พร้อมกับทำให้การสูญเสียความร้อนน้อยลง ใช้พื้นที่และปริมาณวัตถุดิบไฟในการก่อสร้างเตาน้อยลง และช่วยประหยัดเชื้อเพลิงเพราะว่าผนังเตาเก็บกักความร้อนไว้ได้น้อยลง

การเกิดอิฐฉนวนทนไฟเป็นการเกิดวิวัฒนาการที่ยิ่งใหญ่อันหนึ่งของวัตถุดิบไฟ แต่การเกิดการพัฒนาวัตถุดิบทนไฟที่อุณหภูมิสูงก็ยังไม่เป็นการวิวัฒนาการที่ยิ่งใหญ่ไปกว่าการเกิดวิวัฒนาการความคิดว่า การสร้างให้เกิดฉนวนความร้อนสามารถกระทำให้เกิดขึ้นได้ในผนังเตาวิธีการเช่นนี้ทำให้การออกแบบเตาเผาและเตาถลุงเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากมาย ช่วยทำให้ผนังเตามีขนาดและน้ำหนักลดลงอย่างมากมาย ปัจจุบันผนังเตาที่มีความหนา 9 นิ้ว หรือ 4.5 นิ้ว มีใช้กันอย่างแพร่หลาย

วัตถุนวนทนไฟ ที่ใช้ในโครงสร้างด้านหลังส่วนที่ร้อนจัดของผนังเตาทั้งอย่างแพร่หลาย ตัวอย่าง ชนิดและคุณสมบัติของแต่ละชนิดศึกษาได้จากตาราง 1

ตาราง 1 ชนิดและคุณสมบัติของวัตถุนวนทนไฟ

ชนิด	อุณหภูมิที่ใช้ °C	น้ำหนัก ปอนด์ / (ฟุต) ²
ไดอะตอมมาเชียส, แอสเบสตอส และไลม์	986 – 1041	23
ไฟเบอร์ (Fibers)		
สแลก วูล บล็อก (Slag wool block)	821 – 931	15-20
สแลก วูล แบลงเกต	438 – 548	10
แกลซ วูล แบลงเกต (Glass Wool blanket)	438 – 548	3
ซิลิกา อะลูมินา วูล บล็อก	1096 – 1260	12-20
ซิลิกา อะลูมินา วูล แบลงเกต	1096 – 1260	3-8
ซิลิกา อะลูมินา วูล เปเปอร์ (Paper)	1096 – 1260	8-10
ซิลิกา อะลูมินา วูล ลูส (Loose)	1096 – 1260	3-10
เวอร์มิคิวไลต์ (Vermiculite)		
บล็อก (Block)	821 – 876	19
ลูส (Loose)	821 – 876	10
เคโอลิน ยิปซัม (Kaolin-gypsum)	876	30
โฟม แกลสส์ (Foamed glass)	548	10

สำหรับวัตถุนวนทนไฟที่ใช้ตรงบริเวณร้อนจัดหรือผนังเตาด้านสัมผัสกับไฟโดยตรงก็มีหลายกลุ่มดังนี้

ตาราง 2 วัตถุนวนทนไฟที่ใช้บริเวณผนังเตา

กรุป	อุณหภูมิจำกัด C	ความหนาแน่นสูงสุด (Bulk density) ปอนด์ / (ฟุต) ²
16	849	34
20	1068	40
23	1232	48
26	1232	54
28	1506	60
30	1616	68

คุณสมบัติต่างๆ ที่สำคัญอีกอันหนึ่งของวัตถุนวนกันความร้อนได้แก่ สภาพความนำความร้อน เพราะฉนวนความร้อนเมื่อใช้ในความร้อนสูงมากขึ้นจะมีปริมาตรมากขึ้นและสภาพนำความร้อนก็สูงขึ้นเช่นกัน

คุณสมบัติที่สำคัญอีกอันหนึ่งคือ ความสามารถในการเก็บกักความร้อนไว้ในตัว คุณสมบัตินี้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนาแน่น (ปริดา พิมพ์ขาวขำ. 2538. : 29 – 35)

2.1.5.1 วัตถุนไฟ เปลือกโลกประกอบไปด้วยธาตุต่างๆ มาก รวบรวมกว่าธาตุแต่มีเพียงบางธาตุที่มีปริมาณมาก และสามารถก่อให้เกิดสารประกอบที่คงทน และมีคุณสมบัติเป็นวัตถุนไฟ หมู่ธาตุที่สามารถก่อให้เกิดสารประกอบที่มีคุณสมบัติเป็นวัตถุนไฟได้แก่ Si, Al, Mg, Ca, Cr, Zr, และ C หมู่ธาตุเหล่านี้สามารถก่อให้เกิดสารประกอบออกไซด์ที่มีประโยชน์ เช่น SiO_2 , Al_2O_3 , MgO และ ZrO_2 Cr_2O_3 ระเหยได้ และ CaO ไม่คงทนในบรรยากาศ แต่สารเหล่านี้สามารถรวมตัวกันเกิดเป็นวัสดุที่มีประโยชน์ เช่น CaO กับ MgO รวมตัวกันเป็นโคไลไมต์ ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) และ Cr_2O_3 รวมตัวกับ MgO เป็น $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO}$ ซึ่งเป็นสไปเนล เราสามารถนำเอาธาตุ C มาใช้ได้โดยตรง หรืออาจผลิตให้อยู่ในรูปแกรไฟต์แล้วจึงนำมาใช้ หรือทำให้รวมตัวกับ Si กลายเป็นซิลิคอนคาร์ไบด์เสียก่อนจึงนำมาใช้งาน

การแบ่งประเภทของวัตถุนไฟ

การแบ่งประเภทของวัตถุนไฟสามารถแบ่งได้หลายวิธี กล่าวคือ

1. แบ่งประเภทตามคุณสมบัติทางเคมี
2. การแบ่งประเภทตามวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์
3. แบ่งประเภทโดยอาศัยส่วนประกอบทางแร่
4. การจำแนกวัตถุนไฟที่มีความแข็งแรงและความทนไฟสูง

2.1.5.2 ไฟเบอร์ คำจำกัดความและความหมายในพจนานุกรม ของคำว่า เซรามิกส์ไฟเบอร์ ของคำว่า เซรามิกส์ไฟเบอร์ หมายถึงเส้นใยที่ทำมาจากวัตถุเซรามิกส์ทนความร้อนสูง บางชนิดก็อาจเป็นวัตถุนประกอบเดี่ยวหรือผสมกัน ทั้งอาจให้มีตัวช่วยหลอม (Flux) เข้ามาผสม ทำการหลอมแล้วพ่นกระจายในบรรยากาศที่มีความเย็น กลายเป็นเส้นใย นำไปรวมอัดเป็นก้อน แท่ง หรือทำรูปแบบต่างๆ ด้วยเส้นใยเหล่านี้นำไปผลิตเป็นงานที่มีน้ำหนักเบาเพื่อประโยชน์ในด้านการเป็นฉนวนความร้อน ไฟฟ้า และเสียง นอกจากนี้ยังมีเป้าหมายเพื่อทำเป็นวัสดุทนไฟความร้อนสูง และยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการกรอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการกรองที่อุณหภูมิสูง ไฟเบอร์ยังใช้ช่วยในการบรรจุหีบห่อ และใช้เป็นตัวเสริมโครงสร้างกับเนื้อเซรามิกส์อย่างอื่น ชนิดของไฟเบอร์ที่ผลิตได้แก่ อลูมินา ซิลิกา สารประกอบโบรมิโนซิลิเกต เซอร์โคเนีย และอื่น ๆ ทั้งนี้อาจใช้ตัวช่วยหลอม บอโรซิลิเกต (Borosilicate) ใช้โพแทสเซียมติตนาเต (Potassium Titanate) นำมาผสมกันอีกด้วย การจำแนกชนิดของไฟเบอร์อาจจำแนกได้ 2 ประเภทใหญ่คือ การจำแนกด้วยชนิดของวัตถุและรูปแบบที่นำไปใช้งาน การจำแนกด้วยชนิดของวัตถุ ประกอบด้วย

การใช้ไฟเบอร์สำหรับเตาเผาเซรามิกส์ เตาไฟเบอร์เป็นเตาที่ใช้วัสดุฉนวนความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์มาใช้บุภายในเตา ที่ผู้สร้างเตาจะได้พิจารณาถึงความเหมาะสมของไฟเบอร์ชนิดต่าง ๆ และการเลือกใช้รูปแบบต่าง ๆ มาทำการสร้างเตาซึ่งแล้วแต่ความเหมาะสมนั้นจะเป็นประการใดที่ผู้ชำนาญสามารถให้ข้อคิดเห็น และเสนอแนะงานภาคปฏิบัติเพื่อให้ประสบความสำเร็จได้ดี

บริเวณผนังเตาใกล้แผ่นโลหะ อย่างไรก็ตามอาจมีผู้พิจารณาใช้ไฟเบอร์คุณภาพดี เช่น เซอร์โคเนียไฟเบอร์เป็นผนังฉนวนความร้อนทั้งหมด ซึ่งจะทำให้คุณภาพของเตามีประสิทธิภาพมากขึ้น มีอายุการใช้งานมากขึ้น นอก

จากการเลือกใช้ไฟเบอร์ที่เป็นวัตถุดิบอื่นนั้นขึ้นอยู่กับความประสงค์และความเหมาะสมของผู้ใช้ ซึ่งทราบกันดีว่าไฟเบอร์ชนิดใดที่มีคุณภาพดี ทนความร้อนได้ดี มีความแข็งแรงต่อปฏิกิริยาเคมี ก็จะมีราคาแพง ทั้งนี้เพราะเป็นวัสดุทำขึ้นได้ยากและทำการหลอมที่อุณหภูมิสูงเพื่อทำเป็นเส้นใย และยังต้องใช้เทคนิคการทำงานที่อุณหภูมิสูงอีกด้วย เพรามิกส์ไฟเบอร์ในแง่ของรูปแบบที่ผลิตนำไปใช้งาน

ไฟเบอร์แผ่นหรือผืน (Blanket) เป็นไฟเบอร์ใช้เพื่อการบุหรือปูผนังเตา มีลักษณะเป็นผืน สะดวกในเรื่องของการตัดให้มีความกว้าง ความยาว และความหนาได้ตามประสงค์ ถึงแม้ว่าความหนาจะต้องการมากขึ้นก็สามารถซ้อนทับได้หลายชั้น จึงนิยมใช้เป็นผนังเตา แต่ในที่สุดทางปฏิบัติได้พบว่าไฟเบอร์แบบแผ่นหรือผืนสามารถใช้กับงานที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก เช่น 1,200 – 1,250 องศาเซลเซียส หรือมากกว่าเล็กน้อย และมักจะพบว่าแผ่นไฟเบอร์มีการฉีก ทั้งนี้เพราะการขยายตัวและหดตัวเนื่องด้วยรูปแบบของผืนอาจช่วยให้เกิดการแตกได้ง่าย โดยเฉพาะตรงหมุดยึดไฟเบอร์กับผนังเตา ไฟเบอร์แผ่นยังใช้สำหรับอุดรอยต่อหรือใช้เชื่อมรอยต่อที่มีการขยายตัว ทำให้เรียกว่า เป็นตัวเติม (Filler)

ไฟเบอร์กลุ่มเส้นใย (Bulk) มีลักษณะคล้ายสาลีหรือปุยนุ่มเพื่อใช้ในการอัดเข้าไปในภาชนะรูปทรงที่กำหนด เพื่อเป็นฉนวนความร้อน ไฟเบอร์ชนิดนี้มีความสะดวกในการทำงานทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปทรงของภาชนะ ไม่ว่าจะเป็นรูปทรงใดไฟเบอร์กลุ่มนี้ก็就会被อัดเข้าไปได้ตามความต้องการ จะให้ได้เนื้อแน่นหรือเนื้อโปร่งขึ้นอยู่กับความประสงค์ใช้งาน ไฟเบอร์ชนิดนี้ยังเป็นตัวอุดตามรอยต่อ รอยประเก็น และระหว่างไฟเบอร์ซึ่งเป็นลักษณะตัวเติม (Filler) เป็นต้น

ไฟเบอร์แผ่นอาบน้ำยาเนื้อแข็งจากการอัด (Wet Felt) ไฟเบอร์นี้จะทำในรูปทรงเฉพาะของงานใช้งาน เช่น เป็นรูปทรงกระบอกหุ้มอุปกรณ์เครื่องมือ สามารถสวมใส่ใช้งานได้ตามความประสงค์ ทั้งนี้ทำการขึ้นรูปและมีน้ำยาช่วยประสานเส้นใยให้เกาะติด และยังสามารถทนความร้อนได้อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามการนำน้ำยามาผสมย่อมมีจุดอ่อนบ้างในด้านความร้อน จึงถือว่าไฟเบอร์ชนิดนี้เป็นไฟเบอร์ที่มีรูปแบบสำเร็จในการใช้งาน

ไฟเบอร์อัดก้อน (Module) ด้วยความประสงค์ที่ต้องการให้ได้ไฟเบอร์ที่มีเนื้อแน่นและก้อนโตตามความกว้าง ยาว และหนา ที่เหมาะสมกับการใช้งาน ทั้งนี้อาจนำไฟเบอร์แผ่นมาอัดหรือจะใช้ไฟเบอร์กลุ่มมาอัดให้มีรูปร่างเป็นรูปลูกบาศก์ ที่เรียกว่า “Pyroblock Module” และอาจซ้อนพับไปมาโดยมีขนาดตามต้องการที่เรียกว่า “Unblock Module” ซึ่งเป็นไฟเบอร์ที่ดูคล้ายแซนวิช (Sandwich) ที่ประกบกันแต่ผ่าเป็นชั้นๆ สามารถใช้ประกบกับพื้นที่เรียบ บุกเป็นผนังฉนวนความร้อน และโมดูลชนิดนี้สามารถอัดใส่ข้างผนังเตาที่มีเนื้อที่จำกัด ที่ไม่สามารถใช้โมดูลอื่นที่เหมาะสมได้

ไฟเบอร์แผ่น (Board) ไฟเบอร์ชนิดนี้ถูกอัดให้เป็นแผ่นเพื่อนำไปประกอบติดผิวเรียบของภาชนะ นอกจากนี้ยังสามารถอัดให้มีรูปแบบเป็นกล่อ่งนำไปติดตั้งกับอุปกรณ์เครื่องมือตามรูปร่างของอุปกรณ์เหล่านั้น

ไฟเบอร์แบบแผ่นกระดาษ (Paper) ไฟเบอร์แผ่นมีความบางจนสามารถพับโค้งงอได้ตามความต้องการ และใช้กับบริเวณที่มีเนื้อที่บางและแคบของอุปกรณ์เครื่องมือ ตลอดจนนำไปทำประเก็นทนไฟ

ไฟเบอร์เส้นใยถักเป็นผ้า (Textiles) มีลักษณะเป็นผืนบางทำขึ้นด้วยวิธีการถักสามารถใช้หุ้มหรือพันรอบอุปกรณ์เครื่องมือ และยังสามารถติดให้มีรูปร่างตามลักษณะอุปกรณ์เครื่องมือที่ต้องการ นอกจากนี้ไฟเบอร์เส้นใยชนิดนี้ยังทำให้มีลักษณะเป็นเชือก (Rope) ได้อีกด้วย (ปริดา พิมพ์ขาวชา 2538 : 9-25)

2.1.5.3 มอร์ตาร์ (Mortars) มอร์ตาร์หรือปูนไฟใช้ในการก่ออิฐทนไฟในการก่อสร้างเตาเผาและใช้กับงานที่มีวัตถุประสงค์อื่น ๆ ดังนี้ ช่วยยึดก้อนอิฐต่างๆ ให้มันคงให้แข็งแรงและได้แถวแนวที่เป็น

ระเบียบ และช่วยทำให้ผนังเตาหนาแน่น แก๊สต่างๆ ไม่สามารถไหลผ่านไปได้ หรือช่วยป้องกันซัดลงแทรกซึมผ่านรอยต่อ มอร์ตาร์ที่ดีที่สุดผลิตได้จากของผสมระหว่างดินเหนียวทนไฟกับดินที่ละเอียดที่เผาจนสุกตัวดีแล้ว การใช้ดินทนไฟแต่เพียงอย่างเดียวจะสามารถใช้ได้ที่อุณหภูมิต่ำ มอร์ตาร์บางครั้งก็ผสมน้ำให้ใสหนอย และใช้ฉาบบนผิวของกำแพงทนไฟเพื่ออุดรอยต่อและอาจช่วยป้องกันผนังเตาไม่ให้ถูกทำลายโดยผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในเตาเผา การใช้งานมอร์ตาร์ มีการใช้ใน 3 ลักษณะ ควรจะเข้าใจไว้ด้วยว่าส่วนใหญ่แล้วจะใช้ให้บางที่สุดเท่าที่จะบางได้ การใช้มอร์ตาร์ลักษณะแรก ผสมมอร์ตาร์ค่อนข้างข้นและการก่ออิฐในลักษณะการฉาบอิฐถือปูน การใช้มอร์ตาร์ลักษณะที่สอง ผสมมอร์ตาร์ให้เหลวหนอยแล้วก่ออิฐโดยวิธีการจุ่มอิฐที่จะก่อลงในมอร์ตาร์ที่เหลวนั้น การใช้มอร์ตาร์ในลักษณะที่สาม โดยใช้ทั้งแบบที่หนึ่งและสองร่วมกัน (ปริดา พิมพ์ขาวชา. 2538. : 34-36)

2.1.6 ลวดความร้อน สิ่งที่พิจารณาเลือกชนิดของลวดความร้อนคือการออกแบบและการใช้งานของเตา การออกแบบลวดทำความร้อนสิ่งที่ต้องการคือ อุณหภูมิภายในเตาที่ต้องการ กำลังวัตต์หรือกิโลวัตต์ที่ต้องการ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จะจ่ายให้กับเตา พื้นที่ที่จะใส่ลวดความร้อน ลวดความร้อนที่นำมาใช้กับเตาไฟฟ้า เเผาในอุณหภูมิไม่สูงนัก เป็นลวดชนิด นิกเกิล (Nickle – Chromium) สามารถเผาได้ในอุณหภูมิสูงสุด 900 องศาเซลเซียส (1,652 องศาฟาเรนไฮต์) ลวดความร้อนที่สามารถเผาได้ในอุณหภูมิสูงได้แก่ ลวดความร้อน แคนธอล (Kanthal wire) เเผาได้อุณหภูมิสูงสุด 1,375 องศาเซลเซียส (2,507 องศาฟาเรนไฮต์) ส่วนอีกชนิดหนึ่งเรียกว่า อัลเฟอร์รัล (Alferon Super) ลวดความร้อนชนิดนิกเกิล จะมีปฏิกิริยากับสารซัลเฟอร์ (Sulphure) ลวดชนิดแคนธอล จะไม่มีปฏิกิริยาเลย บริษัทผู้ผลิตลวดแคนธอล ที่ใช้กับเตาเผาเรียกว่า Kanthal high temperature alloys (Iron – chromium Aluminium – cabalt) มี 3 ชนิดคือ Kanthal A – 1, Kanthal A, Kanthal DSD (สมภพ พิชวงค์. ม.ป.ป. : 1 - 9)

2.1.7 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ การเผาเตาเครื่องปั้นดินเผา จะทราบอุณหภูมิในเตาเผาได้นั้นจะต้องใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิ นักเซรามิกส์ได้คิดค้นเครื่องมืออุปกรณ์ในการวัดไว้หลายประเภทด้วยกัน โดยอาศัยทฤษฎีการวัดทางกายภาพเนื่องจากในเตาเผามีความร้อนสูงมาก มีความจำเป็นจะต้องหาวัสดุทนและวัสดุที่ทนต่อความร้อนในอุณหภูมิที่ทำการวัด เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่นักเซรามิกส์ได้คิดค้นสำหรับวัดอุณหภูมิในเตาเผามีดังนี้

2.1.7.1 ไพโรเมตริกโคน (Pyrometric cones)

มีรูปร่างคล้ายปิรามิด (Pyramid) รูปทรงสามเหลี่ยมทหที่มีความสูง 1 นิ้ว ถึง 3 นิ้ว อาศัยทฤษฎีในการหลอมละลายตัวของวัตถุเป็นหลักในการใช้งาน เป็นเครื่องมือวัดที่ทำจากวัสดุทางเซรามิกส์ มีส่วนผสมคล้ายกับน้ำเคลือบสามารถวัดอุณหภูมิได้เที่ยงตรงในเตาเผามาตรฐานของไพโรเมตริกโคนมีหลายมาตรฐานด้วยกันคือ มาตรฐานของออร์ตัน (Orton Standard Cones) ของอเมริกา มาตรฐานของ เซเกอร์ (seger Standard cones) ของเยอรมัน และมาตรฐานของฮาร์สัน (Harrison Standard Cones) ของอังกฤษ เริ่มต้นของการคิดค้นของ ดร.เออร์แมนน์ เซเกอร์ (Dr.Herman Seger) ใช้ Potas Feldspar ($K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$) ผสมกับแคลเซียมออกไซด์ (Calcrum oxide) และใช้สัดส่วนของอลูมินาออกไซด์ (alumina oxide) ต่อซิลิกา (Silica) ในอัตราส่วน 1 : 10 จะวัดอุณหภูมิได้ประมาณ 1,200 องศาเซลเซียส (2,192 องศาฟาเรนไฮต์) จะใช้อลูมินา 0.6 โมล และซิลิกา 6 โมล เป็นอัตราส่วนเหมือนสูตรน้ำเคลือบเฟลด์สปาร์ธรรมดา จากนั้นเพิ่มอลูมินา

ขึ้น 0.1 โมล จะพบว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 20.30 องศาเซลเซียส (Hamer.1986 : 75) ตัวอย่างสูตรไพโรเมตริกโคนของเซเกอร์

โคน	0.3 K ₂ O	0.7 Al ₂ O ₃	7.0 SiO ₂
	0.7 CaO		
โคน	0.3 K ₂ O	0.8 Al ₂ O ₃	8.0 SiO ₂
	0.7 CaO		
โคน	0.3 K ₂ O	0.9 Al ₂ O ₃	9.0 SiO ₂
	0.7 CaO		

ตาราง 3 ตัวอย่างความแตกต่างระหว่างไพโรเมตริกโคนที่ใช้เป็นมาตรฐานการวัดของโคน 8 ของแต่ละชนิด

ชนิดของโคน	องศาเซลเซียส	องศาฟาเรนไฮต์
มาตรฐานเซเกอร์Standard Seger	1,280	2,356
มีเนียเตอร์เซเกอร์ Moniatue Seger	1,295	2,363
มาตรฐานฮาร์ริสันมาตรฐานฮาร์ริสัน Standard Harrison	1,260	2,300
โคนขนาดใหญ่อร์ตัน Large Orton	1,263	2,305
โคนขนาดเล็กอร์ตัน Small Orton	1,300	2,372

2.1.7.2 โฮลด์ครอฟต์บาร์ (Holderoff's Bar) (Hamer.1986 : 74) แท่งวัดอุณหภูมิของโฮลด์ครอฟต์ เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิหลักการเดียวกันกับเซเกอร์โคน หรืออาศัยจุดหลอมละลายตัวทฤษฎีในการวัดอุณหภูมิ การขึ้นรูปที่วัดจะใช้เนื้อส่วนผสมเป็นผงแล้วทำการอัดให้เป็นทาง

2.1.7.3 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบวงแหวน (Buller's ring หรือ Firing trial rings) เครื่องมือชนิดนี้อาศัยการหดตัวของวัตถุเป็นเกณฑ์ในการวัด ผลิตขึ้นโดยบริษัทบลูลอร์ จำกัด เมื่อปี ค.ศ. 1910 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 นิ้ว มีรูตรงกลางเอาไว้สำหรับยกออกมาจากเตาเผาโดยใช้ขอเกี่ยวออกมา สามารถวัดอุณหภูมิได้ระหว่าง 960 ถึง 1,400 องศาเซลเซียส (1,760 – 2,525 องศาฟาเรนไฮต์) จะใช้งานครั้งเดียวแบบไพโรเมตริกโคน การวัดบลูลอร์ริง จะต้องเอาบลูลอร์ริงวางในเตาเผาให้อยู่ในลักษณะตั้งบนแท่นวางตรงช่องรูอุณหภูมิของเตาเผา เมื่อเผาถึงอุณหภูมิที่ต้องการวัดก็ให้

ใช้ขอเกี่ยวเหล็ก เกี่ยวเอาตัวบลูเลอริงออกมาจากเตาเผา วางให้เย็นตัวแล้วเอาไปวัดขนาดบนแท่งวัด เมื่อได้ขนาดความเข้มข้นเรียบร้อยแล้วก็นำเอาค่าหัดตัวที่อ่านได้ไปเปิดตารางหาอุณหภูมิตัวอย่างเช่นชนิดของบลูเลอริง

บลูเลอริงเบอร์ 7 เป็นวงแหวนมาตรฐานทั่วไปสีเขียวสามารถใช้วัดอุณหภูมิได้ 960 – 1,275 องศาเซลเซียส (1,760 – 2,527 องศาฟาเรนไฮน์)

บลูเลอริงเบอร์ 72 สีขาวสามารถใช้วัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 1,310 องศาเซลเซียส (2,390 องศาฟาเรนไฮน์ขึ้นไป)

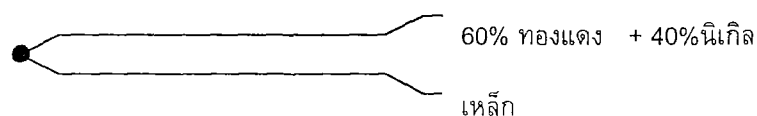
บลูเลอริงเบอร์ 55 สีน้ำตาลวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 960 -1,200 องศาเซลเซียส (1,760 - 2,192 องศาฟาเรนไฮน์ขึ้นไป)

บลูเลอริงเบอร์ 26 สีชมพูเป็นวงแหวนที่ใช้วัดอุณหภูมิสูงได้ 1,400 องศาเซลเซียส (2,552 องศาฟาเรนไฮน์ขึ้นไป)

2.1.7.4 เทอร์โมอิเล็กทริก เทอร์โมมิเตอร์ (Thermoelectric Thermometers)

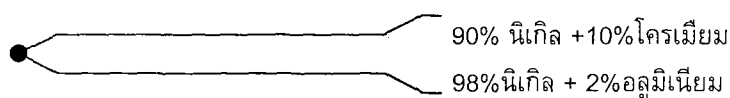
ระบบการทำงานของเครื่องชนิดนี้จะเป็นการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า จะเกิดขึ้นเมื่อใช้โลหะ 2 ชนิดต่อเชื่อมกันแล้วให้ความร้อนตรงจุดที่ต่อกัน (Hot junction) ทำให้เกิดความต่างศักย์มีความเหนี่ยวนำไฟฟ้าเกิดขึ้นที่ขั้วทั้งสองซึ่งเป็นจุดที่ไม่ร้อน (Cold junction) โลหะที่ใช้สำหรับทำเทอร์โมคอปเปิล (Thermocouple) มีดังนี้

2.1.7.4.1 ทองแดง ผสมกับนิเกิล โดยใช้ทองแดงร้อยละ 60 ผสมกับนิเกิลร้อยละ 40 แล้วเอาไปต่อเชื่อมกับเหล็ก สามารถวัดอุณหภูมิได้ 850 องศาเซลเซียส (1,562 องศาฟาเรนไฮต์) ขึ้นไป



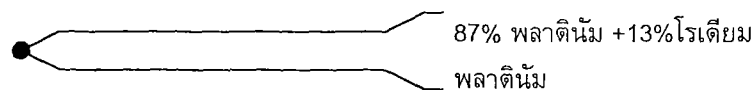
ภาพประกอบ 1 แสดงการเชื่อมเทอร์โมคอปเปิล ระหว่างทองแดง + นิเกิล กับเหล็ก

2.1.7.4.2 นิเกิล ผสมโครเมียม โดยใช้ทองแดงร้อยละ 90 ผสมกับโครเมียมร้อยละ 10 แล้วเอาไปต่อเชื่อมกับส่วนผสมของนิเกิลร้อยละ 98 และอลูมิเนียมร้อยละ 2 สามารถวัดอุณหภูมิได้ 1,100 องศาเซลเซียส (2,012 องศาฟาเรนไฮต์) ขึ้นไป



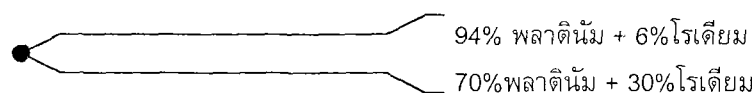
ภาพประกอบ 2 แสดงการเชื่อมเทอร์โมคอปเปิล ระหว่างนิเกิล +โครเมียม กับนิเกิล + อลูมิเนียม

2.1.7.4.3 พลาตินัมผสมกับโรเดียม โดยใช้พลาตินัมร้อยละ 87 ผสมกับโรเดียมร้อยละ 13 แล้วเอาไปต่อเชื่อมกับพลาตินัม สามารถวัดอุณหภูมิได้ 1,500 องศาเซลเซียส (2,732 องศาฟาเรนไฮต์) ขึ้นไป



ภาพประกอบ 3 แสดงการต่อเชื่อมเทอร์โมคอปเปิล ระหว่างพลาตินัม + โรเดียมกับพลาตินัม

2.1.7.4.4 พลาตินัมผสมโครเมียม ขั้นที่ 1 ใช้พลาตินัมร้อยละ 94 ผสมกับโรเดียมร้อยละ 6 ขั้นที่ 2 ใช้พลาตินัมร้อยละ 70 ผสมกับโรเดียมร้อยละ 30 สามารถวัดอุณหภูมิได้ 1,800 องศาเซลเซียส (3,270 องศาฟาเรนไฮต์) ขึ้นไป



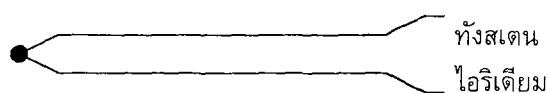
ภาพประกอบ 4 แสดงการต่อเชื่อมเทอร์โมคอปเปิล ระหว่างพลาตินัม + โรเดียมกับ พลาตินัม + โรเดียม

2.1.7.4.5 ไอริเดียม (Iridium) ผสมกับโรเดียม (Rhodium) โดยใช้ไอริเดียมร้อยละ 60 ผสมกับโรเดียมร้อยละ 40 ต่อเชื่อมกับไอริเดียม สามารถวัดอุณหภูมิได้ 1,927 องศาเซลเซียส (3,500 องศาฟาเรนไฮต์) ขึ้นไป



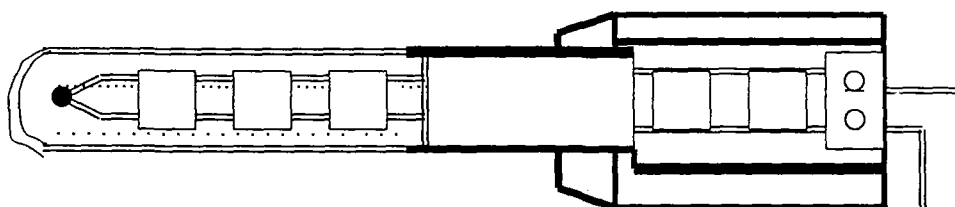
ภาพประกอบ 5 แสดงการต่อเชื่อมเทอร์โมคอปเปิล ระหว่างไอริเดียม + โรเดียมกับไอริเดียม

2.1.7.4.6 ทังสเทน (Tungsten) ต่อเชื่อมกับไอริเดียม (Iridium) สามารถวัดอุณหภูมิได้สูงถึง 2,100 องศาเซลเซียส (3,812 องศาฟาเรนไฮต์) ทำการต่อเชื่อมแล้วบรรจุในหลอดเซรามิกส์สูญญากาศ จะวัดอุณหภูมิได้เที่ยงตรงกว่าต่อเชื่อมในหลอดเซรามิกส์ธรรมดา



ภาพประกอบ 6 แสดงการต่อเชื่อมระหว่างทังสเทนกับไอริเดียม

เทอร์โมคอปเปิลที่รู้จักกันดีทั่วไปจะเป็นแบบโครมัลลูเมล (Chromel alumel) และแพลตินัมแพลตินัมโรเดียม (Platinum Platinum – Rhodium) เพราะเป็นเทอร์โมคอปเปิลที่นิยมใช้มากในองค์กรอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา เครื่องมือวัดอุณหภูมิประเภทเทอร์โมคอปเปิล จะสามารถวัดได้อย่างตรงได้ในอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 500 องศาเซลเซียส หน้าปัด (Indicator) จะนิยมจะใช้แบบมือวัดและแบบดิจิทัล



ภาพประกอบ 7 แสดงรูปตัดของเทอร์โมคอปเปิล

2.1.7.5 ออฟติคอล เรดิเอชัน ไพโรมิเตอร์ (Optical Radiation Pyrometers)

เป็นเครื่องมือที่วัดจากการแผ่รังสีของความร้อนที่เกิดขึ้นกับวัตถุ (เนื้อดินปั้นหรือผนังเตา) เทียบกับสีสะท้อนของเลนส์ภายในเครื่องมือวัด ซึ่งมีหลอดไฟใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ในเครื่องมือวัด ผู้คิดค้นครั้งแรกคือ วาเนอร์ (Wanner) เมื่อ ค.ศ. 1894 และได้ปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นโดย โฮลเบิร์นและ คอร์บู่น (Holborn Kurlbaum) ในปี ค.ศ. 1901 (Singer 1960 : 947)

ในการสร้างเครื่องมือวัดของวาเนอร์จะใช้หลอดไฟส่องผ่านแก้วสีแดง (monochromatic red glass) เป็นสีแดงเส้นเดียวผ่านเลนส์ และผ่านนิคอปปริซึม (nicol Prism) เมื่อใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิรังสีที่เกิดขึ้นจากการแผ่รังสีที่แผ่จากผลิตภัณฑ์เท่ากับเส้นสีแดงก็ให้อ่านอุณหภูมิที่จุดนั้นจากสเกลของเครื่องมือวัด ปัจจุบันเครื่องมือวัดประเภทนี้จะใช้วัดอุณหภูมิในเตาหลอมแพร่หลาย มีการพัฒนาสร้างเป็นเครื่องขนาดเล็กระบบคอมพิวเตอร์เข้าช่วยใช้งานได้สะดวก เครื่องมือออฟติคอล เรดิเอชันไพโรมิเตอร์ แบ่งส่วนส่วนต่างๆออกได้ 3 ส่วนด้วยกันคือ ระบบการวัดอุณหภูมิ ระบบควบคุม ระบบการปรับแสงเข้าเครื่องมือวัด (โกลม รัชวงศ์.2538: 75 - 82)

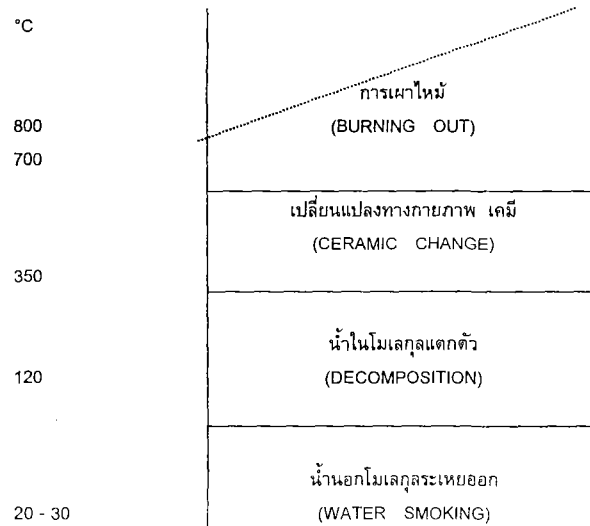
2.2 การเผา (firing) ที่จะใช้เผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ปัจจุบันจะทำการเผาอุณหภูมิต่ำเท่ากับการเผาดิบ และทำการเผาในอุณหภูมิสูง

2.2.1 การเผาดิบ (Biscuit firing) การเผาดิบเป็นขั้นตอนที่นำเอาผลิตภัณฑ์ที่ตากแห้งแล้วเข้าเตาเผา จะทำการเผาอุณหภูมิ 800 – 900 องศาเซลเซียส การเผาดิบเป็นการเผาที่ไม่เคลือบได้ เริ่มทำการเผามาตั้งแต่คริสต์ศตวรรษที่ 17 (Hamer 1975 : 24) โดยปกติแล้วการเผาดิบจะเผาในอุณหภูมิประมาณ 750 องศาเซลเซียส (1,382 องศาฟาเรนไฮต์) แต่ผลิตภัณฑ์บางประเภทจะเผาในอุณหภูมิ 850 – 1,000 องศาเซลเซียส(1,562 –1,832 องศาฟาเรนไฮต์) จุดประสงค์ของการเผาดิบมีดังนี้

2.2.1.1 เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรง เพื่อที่จะเคลื่อนย้ายได้ง่ายไม่แตกหัก สะดวกแก่การชุบเคลือบไม่ต้องระวังการแตกหัก เพราะเนื้อดินมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นกว่าก่อนเผา

2.2.1.2 เพื่อคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีตำหนิ และแตกร้าวก่อนการเผาดิบ ในบางครั้งการตรวจสอบการแตกร้าวไม่ทั่วถึง การเผาดิบเป็นการตรวจสอบได้ สามารถคัดเอาผลิตภัณฑ์ที่ดีเอาไว้เคลือบในขั้นต่อไป

2.2.1.3 เพื่อเผาไล่สารอินทรีย์ที่ปะปนอยู่ในเนื้อผลิตภัณฑ์ออก ผลิตภัณฑ์จะเกิดรูพรุนในเนื้อสามารถชุบเคลือบได้ดี



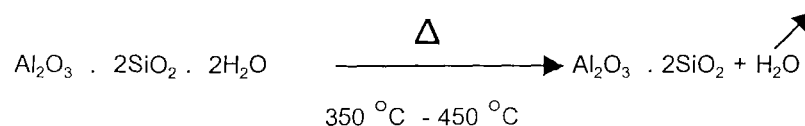
ภาพประกอบ 8 แสดงการเปลี่ยนแปลงของเนื้อดินปั้นในการเผา

การเปลี่ยนแปลงของเนื้อดินปั้นในขณะเผาจะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ดังนี้

น้ำนอกโมเลกุลระเหยออก (Water smoking) หลังจากตากผลิตภัณฑ์แห้งแล้ว จะมีความชื้นหลงเหลืออยู่ ความชื้นจะระเหยออกหมดในอุณหภูมิ 110 – 120 องศาเซลเซียส เป็นเนื้อดินปั้นที่แห้งสนิท

น้ำในโมเลกุลแตกตัว (Decomposition) อุณหภูมิระหว่าง 120 – 350 องศาเซลเซียส ผลึกของน้ำโมเลกุลดินจะเริ่มสลายตัวออก หลังจากน้ำในโมเลกุลแตกตัวออกแล้วนำเอาดินไปผสมน้ำ ก็จะไม่เกิดความเหนียวได้อีกแล้ว ในเนื้อดินจะเหลือเฉพาะออกไซด์ที่เป็นสารประกอบและอินทรีย์สาร

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพ (Ceramic change) ในอุณหภูมิ 350 – 450 องศาเซลเซียส ผลึกของน้ำในโครงสร้างของดินจะเกิดการสลายตัวออกหมดดังสมการ



ในการเผาในช่วงนี้ จะต้องทำการเผาอย่างช้าๆ เพราะจะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการแตกร้าวเสียหายได้ เนื่องจากถ้าหากเผาเร็วจะทำให้การแตกสลายตัวของน้ำในโมเลกุลออกเร็วเฉพาะผิวหน้า ส่วนภายในระเหยออกทีหลังจะเกิดการหดตัวที่ผิวหน้ามาก ส่วนภายในหดตัวน้อยกว่าจะทำให้แตกร้าวได้

ในขณะอุณหภูมิ 573 องศาเซลเซียส (1,083 องศาฟาเรนไฮต์) เป็นระยะหนึ่งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดแตกร้าวได้ง่าย เนื่องจากผลึกซิลิกาเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง (Silica Inversion) เนื้อดินปั้นจะเกิดการขยายตัวเป็นจุดที่ทำให้เกิดการแตกร้าว (Dunting Point) ดังนั้นการเผาในจุดนี้ต้องควบคุมการเผาให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสจึงจะปลอดภัย

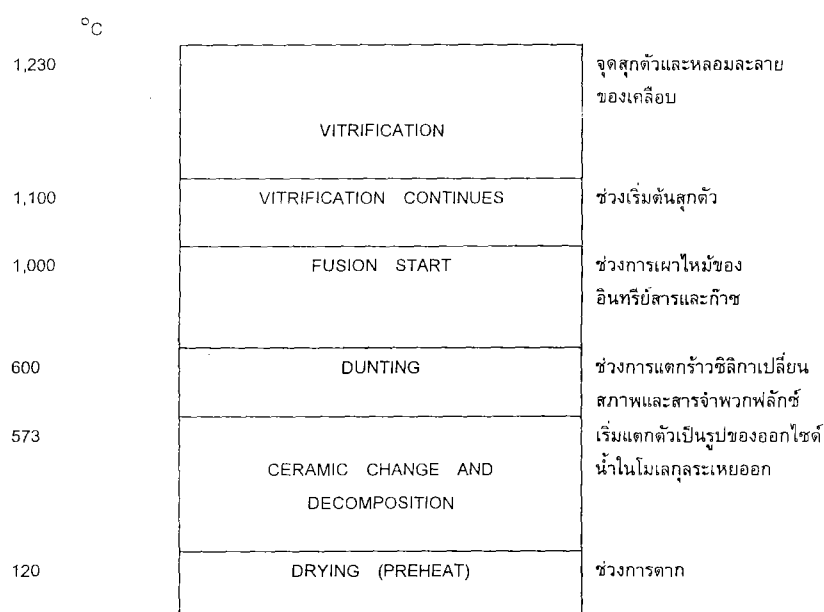
ช่วงการเผาไหม้ (Burning out) ในอุณหภูมิช่วง 700 องศาเซลเซียส (Red heat) สารอินทรีย์จำพวกคาร์บอน และก๊าซซัลเฟอร์ (Sulphur) จะเกิดการเผาไหม้ในช่วงนี้ จะเกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ซัลเฟอร์มอนนอกไซด์ (SO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO₃) สารจำพวกคาร์บอนจะเผาไหม้หมดในอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส (1,652 องศาฟาเรนไฮต์) แต่สารประกอบของซัลเฟอร์บางตัวจะเผาไหม้หมดจนกระทั่งเผาถึงอุณหภูมิ 1,100 – 1,150 องศาเซลเซียส (2,012 – 2,102 องศาฟาเรนไฮต์)

2.2.2 การเผาเคลือบ (Glaze firing) การเผาเคลือบจะนิยมเผาทั้ง 2 แบบคือเผาครั้งเดียว (Mono firing) จะนำเผาผลิตภัณฑ์ที่ตากแห้งแล้วไปชุบน้ำเคลือบแล้วทำการเผา และอีกอย่างหนึ่งจะทำการเผาติดก่อน (Second firing) แล้วเผาผลิตภัณฑ์ไปชุบเคลือบทำการเผาเคลือบที่ใช้ทำการผลิตเครื่องปั้นดินเผาอนุรักษ์ผลิตภัณฑ์

การเผาเคลือบระหว่างเนื้อดินปั้นและเคลือบ มีสิ่งที่แตกต่างกัน 2 ประเภท

2.2.2.1. เคลือบและเนื้อดินปั้นสุกตัวในอุณหภูมิเดียวกัน เช่นผลิตภัณฑ์จำพวกปอร์สเลนส์และ สโตนแวร์ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จะเผาในอุณหภูมิสูง ผิวเนื้อดินขึ้นและเคลือบเกาะติดกันดี

2.2.2.2 เคลือบและเนื้อดินปั้นสุกตัวในอุณหภูมิไม่เท่ากัน ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ได้แก่ ผลิตภัณฑ์จำพวกกรากุ (RAKU) และผลิตภัณฑ์เอิร์ทเทนแวร์ ชนิดอื่นๆเนื้อดินปั้นจะไม่สุกตัวแต่เคลือบจะหลอมละลายสุกตัวเคลือบและผิวเนื้อดินปั้นจะติดกันแน่นไม่สนิท ความแข็งแรงจะน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ชนิดแรก และอีกชนิดหนึ่งเนื้อดินปั้นเผาในอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส จะเคลือบด้วยน้ำเคลือบจุดหลอมละลายตัวที่ 12,00 องศาเซลเซียส เป็นต้น



ภาพประกอบ 9 แสดงการเปลี่ยนในการเผาเคลือบ

ขั้นตอนการเผาเคลือบจะเริ่มต้นจากอุณหภูมิในห้อง (room temperature) จนกระทั่งถึงจุดสุกตัวของเนื้อดินปั้นและจุดหลอมละลายของเคลือบเนื้อดินปั้นสุกตัวในอุณหภูมิเดียวกับอุณหภูมิที่เคลือบหลอมละลาย จะมีช่วงการเผาดังนี้

1. ช่วงการเผาไล่ น้ำ (drying) จะเผาไล่ น้ำในเนื้อดินปั้น และน้ำเคลือบออกให้หมดโดยการเผาอย่างช้าๆจนกระทั่งอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส น้ำระเหยออกหมดในกรณีที่เราผลิตภาชนะที่เผาติด เมื่อชุบเคลือบน้ำก็จะแทรกซึมเข้าไปในเนื้อดินปั้น ทำให้มีความชื้นในตัวเครื่องเคลือบก็มีความเป็นที่เป็นที่เผาให้น้ำระเหยออกให้หมด

2. ช่วงการเผาให้น้ำในโมเลกุลของวัตถุดิบแตกตัวออก (Ceramic change and decomposition) ในเนื้อดินจะมีส่วนผสมของดินและสารประกอบอื่นๆที่มีผลึกของน้ำอยู่ในโมเลกุลเช่นเดียวกับเคลือบที่ใช้เคลือบผลิตภัณฑ์ ผลึกของน้ำในโครงสร้างของวัตถุดิบจะเกิดการแตกสลายตัวระเหยออกในอุณหภูมิช่วงอุณหภูมิ 350 – 573 องศาเซลเซียส ช่วงอุณหภูมินี้ก็ต้องเผาอย่างช้าๆ ถ้าหากเผาเร็วจะเกิดการแตกร้าว หรืออาจทำให้เคลือบหลุดกระเด็นออกจากผิวผลิตภัณฑ์ได้ เพราะเมื่อน้ำในผลึกของสารประกอบแตกสลายตัววัตถุดิบจะหมดความเหนียวโดยเฉพาะดินเป็นสภาพอลูมินาซิลิเกต ปราศจากผลึกของน้ำตั้งแต่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

3. ช่วงการเผาที่ทำให้ซิลิกาเกิดการเปลี่ยนแปลง (Dunting) จะเริ่มเกิดในอุณหภูมิ 573 – 600 องศาเซลเซียส การเผาในอุณหภูมิช่วงนี้จะต้องเผาอย่างช้าๆ เพราะซิลิกาที่อยู่ในเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง เกิดการขยายตัวออกถ้าเผาเร็วจะเกิดการแตกร้าวได้ ทำให้เคลือบเกิดการร้าวเป็นร่างแหในช่วงนี้ได้ถ้าหากเผาเร็วเกินไป

4. ช่วงการเผาที่สารอินทรีย์และก๊าซจำพวกคาร์บอน และซัลเฟอร์สลายตัว (Fusion start) ในช่วงนี้สารจำพวกฟลักซ์ (Flux) ประเภทสารประกอบของโซดาและโปแตสเป็นสภาพเป็นออกไซด์ แต่สำหรับฟลักซ์ ที่อุณหภูมิต่ำจะเกิดเป็นสภาพออกไซด์เริ่มตั้งแต่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส สารจำพวกนี้ได้แก่ ตะกั่วออกไซด์ และบอแรกซ์ออกไซด์ แล้วค่อยๆหลอมละลายเข้ากับสารประกอบของอลูมินาซิลิเกตเปลี่ยนสภาพเป็นแก้วสำหรับเคลือบที่หลอมละลายในอุณหภูมิต่ำ

5. ช่วงเริ่มต้นสุกตัว (vitrification continues) เป็นช่วงที่หลังจากการเผาติด ซึ่งช่วงเผาติดเนื้อดินปั้นจะยังไม่เปลี่ยนแปลงสภาพจะเริ่มแปลงสภาพในเมื่อสารประกอบจำพวก โซดาและโปแตส เริ่มจะหลอมละลายตัวทำให้ซิลิกาและอลูมินารวมตัวติดกันเป็นเนื้อเดียว ขณะที่ฟลักซ์เริ่มทำปฏิกิริยาในเนื้อดินปั้น น้ำเคลือบที่หลอมละลายในอุณหภูมิเดียวกับจุดสุกตัวของเนื้อดินปั้น ฟลักซ์ในน้ำเคลือบก็เริ่มหลอมละลายเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะสารประกอบโซดาและโปแตส ที่อยู่ในเฟลด์สปาร์ จะเริ่มทำปฏิกิริยากับสารจำพวกแคลเซียมออกไซด์ สังกะสีออกไซด์ แบเรียมออกไซด์ และแมกนีเซียมออกไซด์ แล้วจะหลอมตัวกับอลูมินาซิลิเกต (Alumino silicate) เปลี่ยนสภาพเป็นแก้วในที่สุด

6. ช่วงจุดสุกตัว (Vitrification) เป็นช่วงที่เนื้อดินปั้นเผาถึงจุดสุกตัว โดยเฉพาะ เนื้อดินปั้นที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาแม่น้ำน้อยจะสุกตัวในอุณหภูมิ 1,200 – 1,230 องศาเซลเซียส น้ำเคลือบที่ใช้ก็จะหลอมละลายในอุณหภูมิเดียวกัน การบรรจุผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาเข้าเตาเพื่อทำการเผาเคลือบ การวางผลิตภัณฑ์เข้าเตา เคลือบ ไม่วางชิดติดกัน ไม่วางซ้อนกัน (โกมล รัชวงศ์, 2538: 57 - 74)

3. อุปกรณ์ระบบควบคุม

3.1 วงจรขยายสัญญาณ

โอเปอเรชันแนล แอมพลิไฟเออร์ (Operational Amplifier : OP-AMP) หรือเรียกสั้นๆว่า ออปแอมป์ หมายถึง วงจรขยายสัญญาณไฟตรงที่มีอัตราขยายสูงมาก ซึ่งใช้ในเครื่องแอนะล็อกเพื่อทำหน้าที่คำนวณทางคณิตศาสตร์บางอย่าง เช่นการรวมสัญญาณ การหักล้างสัญญาณ การอินทิเกรต และการดิฟเฟอเรนซ์ เป็นต้น ซึ่งเป็นการทำงานทางคณิตศาสตร์ จึงได้ชื่อออกมาว่า ออปแอมป์

ออปแอมป์ในรูปแบบไอซี ถูกผลิตขึ้นมาโดยบริษัทแฟร์ไชลด์ ซึ่งผลิต ออปแอมป์เบอร์ 702 , 709 , และ 741 ขึ้นมาในช่วงปี พ.ศ. 2507 – 2511 ขณะที่บริษัทเซมิคอนดักเตอร์ (National Semiconductor) ได้ผลิต ไอซีออปแอมป์เบอร์ 101/103 ขึ้นมาเช่นกัน เมื่อออปแอมป์มีการเปลี่ยนรูปแบบจาก หลอดสุญญากาศเป็นไอซีซึ่งมีขนาดเล็กและราคาถูก จึงส่งผลกระทบต่ออย่างมากในการออกแบบวงจร เช่น แทนที่จะใช้ทรานซิสเตอร์จำนวนมากต่อเป็นวงจรขยาย ก็สามารถนำออปแอมป์เพียงตัวเดียวกับตัวต้านทานอีกไม่กี่ตัวมาใช้แทนทำให้ลดเวลาในการออกแบบลงราคาก็ถูกลง การใช้เนื้อที่ในการต่อวงจรและแหล่งจ่ายไฟก็สามารถลดขนาดลงได้ นอกจากนี้ยังได้วงจรขยายที่ดียิ่งกว่าการใช้อุปกรณ์แบบเดิมอีกด้วย ออปแอมป์ในตอนแรกของการพัฒนานั้นส่วนใหญ่จะออกแบบให้ออปแอมป์ใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์ทั่วไปอาจเรียกออปแอมป์พวกนี้ว่า ออปแอมป์เอนกประสงค์ก็ได้ และนั่นทำให้ออปแอมป์ดังกล่าวกลายเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตาม ออปแอมป์เพื่อวัตถุประสงค์ทั่วไป บางครั้งก็ไม่เหมาะที่จะใช้สำหรับงานเฉพาะกิจ บางอย่างผู้ใช้สามารถเลือกหาออปแอมป์ให้เหมาะสมกับลักษณะของงานที่ใช้ได้สะดวกขึ้น เวลาที่ผู้ใช้ต้องการเลือกออปแอมป์ที่ใช้สำหรับงานหนึ่งผู้ใช้ก็สามารถเลือกดูชนิดของออปแอมป์จากคู่มือลิเนียร์ว่าต้องการชนิดใด ดังตัวอย่างต่อไปนี้

1. พวกที่มีความสามารถในการทนกระแสหรือแรงดันสูงได้ (high current and/or high voltage capability)
2. พวกที่ใช้เป็นตัวรับ-ส่งสัญญาณโซนาร์ (sonar sent/receive modules)
3. ออปแอมป์สำหรับงานมัลติเพลกสัญญาณ (multiplexed amplifiers)
4. วงจรขยายที่โปรแกรมอัตราการขยายได้ (programmable gain amplifiers)
5. พวกที่ใช้สำหรับเป็นอุปกรณ์ในเครื่องมือวัดหรือเครื่องมือสำหรับควบคุมอัตโนมัติ (automation instrumentation and control)
6. ไอซีที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร (communication ICs)
7. ไอซีที่ใช้กับโทรทัศน์/เครื่องเสียง/วิดีโอ (radio/audio/video ICs)

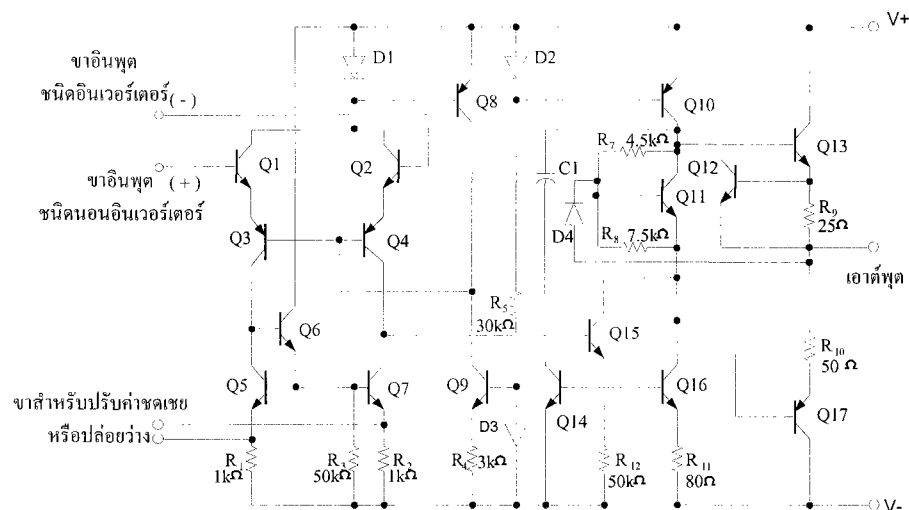
3.1.1 โครงสร้าง สัญลักษณ์ และตัวถัง(แพ็คเกจ)

3.1.1.1 โครงสร้าง ในภาพประกอบ 11 ซึ่งทำการแสดงโครงสร้างภายในของ ออปแอมป์เบอร์ 741 ประกอบไปด้วยไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ 17 ตัว ตัวต้านทาน 12 ตัว ตัวเก็บประจุ 1 ตัว และไดโอดอีก 4 ตัว จะเห็นได้ว่าวงจรภายในของออปแอมป์เป็นวงจรของออปแอมป์ที่ซับซ้อนมากแต่การนำออปแอมป์ไปใช้งานนั้นไม่จำเป็นต้องทราบ ถึงการทำงานภายในของมัน สิ่งที่ใช้มีเพียงขาที่ต่อออกมาภายนอกเท่านั้น

3.1.1.2 สัญลักษณ์ จากวงจรภายในของออปแอมป์ เมื่อเขียนในรูปแบบช่องสัญลักษณ์ จะเหลือเพียงรูปสามเหลี่ยมและขาที่ใช้ต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ดังในภาพประกอบ 11(ข) รูปสามเหลี่ยม

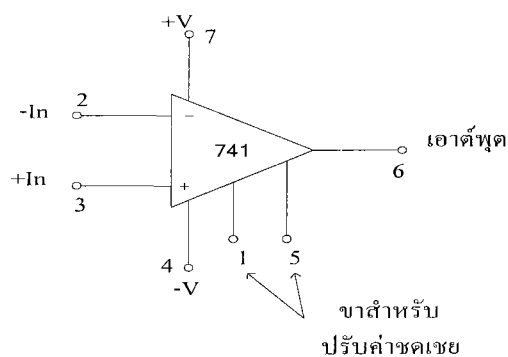
แสดงถึงการขยายและทิศทางการไหลของสัญญาณ ส่วนชื่อขาของออปแอมป์ได้แสดงเปรียบเทียบกับจุดต่อกับวงจรภายในในภาพประกอบ 11(ก)

3.1.1.3 ตัวถัง เนื่องจากวงจรที่ประกอบขึ้นมาเป็นออปแอมป์ สร้างขึ้นบน แผ่นชิป (chip) ขนาดเล็กมาก ผู้ใช้จะไม่สามารถนำแผ่นชิป ดังกล่าวมาใช้ได้ทันที ดังนั้น ผู้ผลิตจึงต้องทำการบรรจุชิปขึ้นเล็กๆลงในตัวถังหรือที่เรียกว่า เพกเกจ (package) ซึ่งอาจเป็นพลาสติก เซรามิก หรือโลหะ ดังแสดงในภาพประกอบ 10 (ค) ในการผลิตนั้น ผู้ผลิตจะทำการเชื่อมปลายวงจรแต่ละจุดกับขาที่อยู่ข้างตัวถัง โดยใช้เส้นลวดทองคำ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.001 นิ้ว



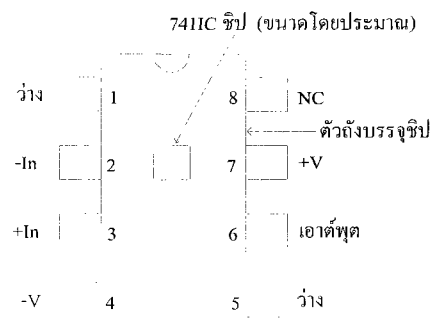
(ก) แสดงโครงสร้างภายในของออปแอมป์เบอร์ 741

(ข) แสดงรูปแบบสัญลักษณ์วงจรของ



ออปแอมป์เบอร์ 741

(ค) แสดงเพกเกจของออปแอมป์



เบอร์ 741

ภาพประกอบ 10 แสดงแผ่นผัง สัญลักษณ์ และเพกเกจของออปแอมป์เอนกประสงค์เบอร์ 741

3.1.2 คุณสมบัติของออปแอมป์ทางอุดมคติ

3.1.2.1 อัตราขยายของออปแอมป์มีค่าสูงมากเป็นอนันต์ $A_{vol} = \infty$

3.1.2.2 อินพุตอิมพีแดนซ์ของออปแอมป์มีค่าสูงมากเป็นอนันต์ $Z_{in} = \infty$

3.1.2.3 เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของออปแอมป์มีค่าต่ำมาก $Z_{out} = 0$

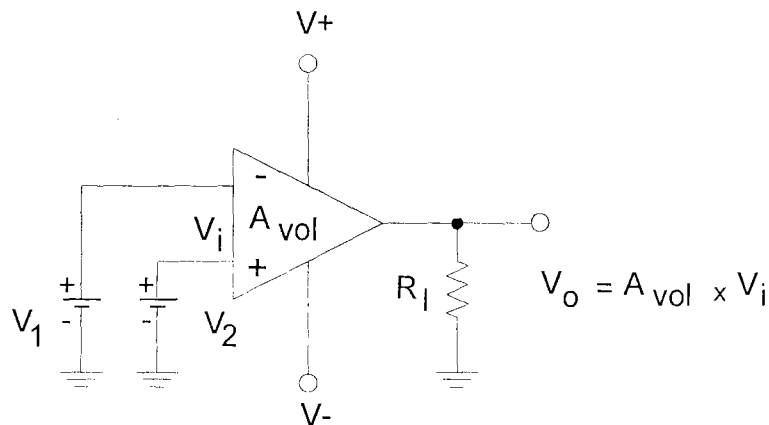
3.1.2.4 การทำงานของออปแอมป์ ไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณที่ป้อนเข้า อินพุตไม่ว่าความถี่ต่ำหรือความถี่สูงจะขยายได้เท่ากันหมดโดยมีแถบความถี่(bandwidth) $BW = \infty$

3.1.2.5 เมื่อแรงดันอินพุตเป็นศูนย์ แรงดันเอาต์พุตจะเป็นศูนย์ด้วย $V_o = 0$ เมื่อ $V_1 = V_2$

3.1.2.6 การทำงานของออปแอมป์ไม่ขึ้นกับความถี่

3.1.3. อัตราขยายแรงดันแบบลูเปิด (Open Loop Voltage Gain)

อัตราขยายแรงดันแบบลูเปิด (A_{vol}) เป็นอัตราขยายแรงดันของออปแอมป์ ขณะที่ยังไม่มีการป้อนกลับ หาได้จากอัตราส่วนระหว่างแรงดันเอาต์พุต V_o ต่อค่าผลต่างของแรงดันอินพุตทั้ง 2 ขั้ว ($V_1 - V_2$) วงจรขยายแรงดันแบบลูเปิดแสดง ดังภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 วงจรขยายแรงดันแบบลูเปิด

จากภาพประกอบ 12 สามารถหาสมการได้ดังนี้

$$V_i = V_1 - V_2$$

สมการอัตราขยายแรงดันแบบลูเปิดหาได้ดังนี้

$$A_{vol} = V_o / V_i$$

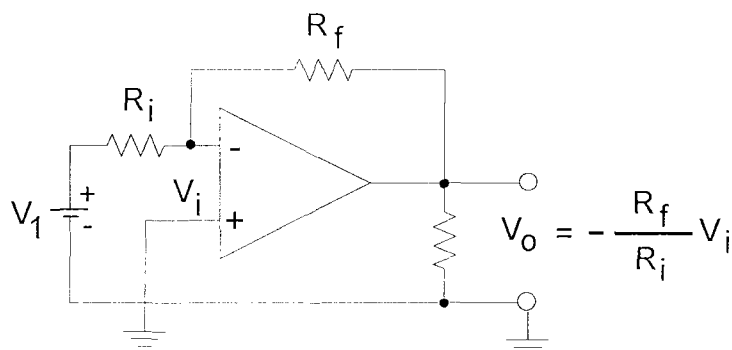
- เมื่อ
- V_1 = แรงดันอินพุตที่ป้อนเข้าขาอินเวอร์ตติ้ง วัดเทียบกับกราวด์
 - V_2 = แรงดันอินพุตที่ป้อนเข้าขาอนอินเวอร์ตติ้ง วัดเทียบกับกราวด์
 - V_i = ผลต่างของแรงดันอินพุตทั้งสอง
 - V_o = แรงดันที่ออกเอาต์พุต วัดเทียบกับกราวด์
 - A_{vol} = อัตราขยายแรงดันแบบลูเปิด

ถ้า A_{vcl} มีค่าเป็นบวก ขณะที่ผลต่างของแรงดันอินพุตทั้งสองขั้ว V_i มีค่าเป็นบวก เอาต์พุต V_o ก็จะมีค่าเป็นบวกด้วย แต่ถ้าผลต่างของแรงดันอินพุตทั้งสองขั้ว V_i มีค่าเป็นลบ เอาต์พุต V_o ก็จะมีค่าเป็นลบด้วย

3.1.4. อัตราขยายแรงดันแบบลูปปิด (Close Loop Voltage Gain)

อัตราขยายแรงดันแบบลูปปิด (A_{vcl}) เป็นอัตราขยายแรงดันของออปแอมป์ที่มีการป้อนกลับ (feedback voltage gain = A_v) อาจใช้สัญลักษณ์ย่อว่า A_v โดยต่อตัวต้านทานภายนอกจากเอาต์พุต ป้อนกลับไปยังขั้วอินพุตของออปแอมป์ที่มีความยุ่งยากในการควบคุมการทำงานของออปแอมป์ให้ทำงานตามต้องการ

ลักษณะของการป้อนกลับแบบลบ เป็นการนำเอาสัญญาณจากทางด้านเอาต์พุต ส่วนหนึ่งมาป้อนกลับให้ทางอินพุตเพื่อทำการหักล้างกับสัญญาณอินพุตที่ส่งมาจาก แหล่งจ่ายสัญญาณทำให้ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตลดลง ตัวอย่างวงจรรขยายที่มีการ ป้อนกลับแบบลบ เช่น วงจรรขยายสัญญาณแบบอินเวอร์ตติง โดยการเพิ่มตัวต้านทาน R_i และ R_f เข้ามาในวงจรเพื่อทำหน้าที่ป้อนกลับสัญญาณจากทางเอาต์พุตมายังอินพุตวงจรรขยายสัญญาณชนิดอินเวอร์ตติงแสดงดังภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 วงจรรขยายแรงดันแบบลูปปิดชนิดอินเวอร์ตติง

จากภาพประกอบ สามารถหาสมการได้ดังนี้

$$A_v = V_o / V_i$$

$$\text{หรือ } A_v = -R_f / R_i$$

$$\text{นั่นคือ } V_o / V_i = -R_f / R_i$$

$$\text{หรือ } V_o = -(R_f \times V_i) / R_i$$

$$\text{เมื่อ } V_i = \text{แรงดันอินพุตที่ป้อนเข้ามาเทียบกับกราวด์}$$

$$V_o = \text{แรงดันที่ออกเอาต์พุตวัดเทียบกับกราวด์}$$

$$R_f = \text{ตัวต้านทานป้อนกลับ}$$

$$R_i = \text{ตัวต้านทานต่ออันดับกับอินพุต}$$

$$A_v = A_{vcl} = \text{อัตราขยายแรงดันแบบลูปปิด}$$

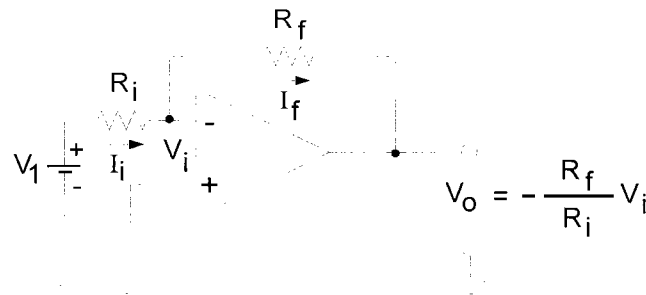
$$\text{เครื่องหมาย (-) = แสดงว่าเอาต์พุตมีเฟสตรงข้ามกับอินพุต}$$

การใช้งานของออปแอมป์แบบลูปปิด มักจะมีวงจรป้อนกลับแบบลบอยู่ด้วยเสมอไม่ว่า สัญญาณอินพุตจะถูกป้อนเข้าที่อินพุตขาอินเวอร์ตติ้ง (-) หรืออินพุต ขา nonอินเวอร์ตติ้ง (+) ก็ตามการป้อนกลับแบบลบจะต้องเชื่อมโยงจากเอาต์พุตมาที่ อินพุตขาอินเวอร์ตติ้ง (-) เท่านั้นถ้าหากนำเอาต์พุตมาต่อเข้าที่อินพุตขา nonอินเวอร์ตติ้ง (+) จะกลายเป็นการป้อนกลับแบบบวกมีผลทำให้สัญญาณ V_o ถูกขยายเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆจนกลายเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์

3.1.5. วงจรขยายสัญญาณ

3.1.5.1 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier) ลักษณะวงจรคือที่ขั้วอินพุตขา nonอินเวอร์ตติ้ง (ขา+) จะถูกต่อลงกราวด์ ส่วนสัญญาณอินพุต V_i ถูกป้อนผ่าน R_i เข้าขาอินเวอร์ตติ้ง (ขา-) มีตัวต้านทาน R_f เป็นตัวป้อนกลับสัญญาณจาก เอาต์พุตมาอินพุต สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาจะถูกกลับเฟสไป 180 องศา ก่อนส่งออกเอาต์พุต ลักษณะของวงจรแสดง ดังภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส

จากภาพประกอบ 13 ค่าแรงดัน $V_i \approx 0$ ส่งผลให้จุด A เสมือนถูกต่อลงกราวด์ กระแส I_i ที่ไหลผ่าน R_i เท่ากับกระแส I_f ที่ไหลผ่าน R_f สมการจะหาได้ดังนี้

$$V_o = -I_f R_f$$

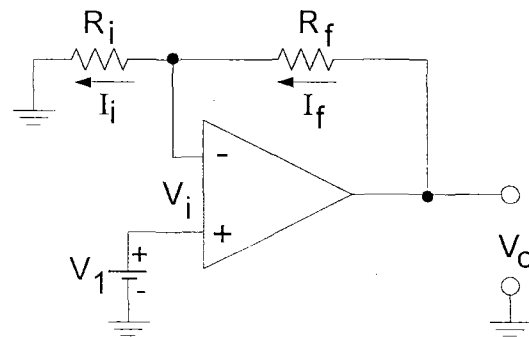
$$V_i = I_i R_i$$

$$\therefore A_v = V_o / V_i = (-I_f R_f) / (I_i R_i)$$

$$(\text{ideal op-amp}) \quad A_v = -R_f / R_i$$

3.1.5.2 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟสมีลักษณะวงจรดังนี้ ตัวต้านทาน R_f เป็นตัวต้านทานป้อนกลับ ตัวต้านทาน R_i เป็นตัวต้านทานต่ออันดับกับ ขั้วอินพุต ขาอินเวอร์ตติ้ง (-) อีกด้านหนึ่งของตัวต้านทาน R_i ถูกต่อลงกราวด์ สัญญาณอินพุต V_i จะป้อนเข้าขา nonอินเวอร์ตติ้ง(+) ทำให้สัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุตมีเฟสเหมือนกัน วงจรแสดงดังภาพประกอบ 14



ภาพประกอบ 14 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

สามารถหาสมการได้ดังนี้

$$V_i = V_1 - I_i R_i = 0$$

หรือ $V_1 = I_i R_i$

แรงดันเอาต์พุตคือ

$$V_o = I_i (R_i + R_f)$$

ดังนั้นอัตราขยาย A_v จะเป็น

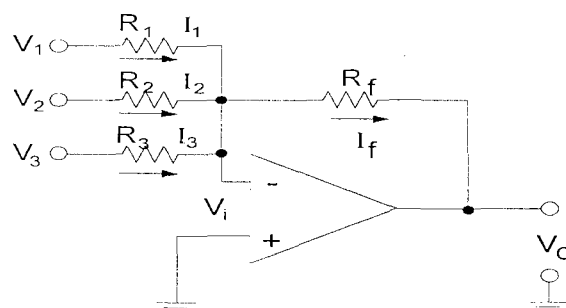
$$A_v = V_o / V_i = [I_i (R_i + R_f)] / I_i R_i$$

$$A_v = (R_i + R_f) / R_i$$

$$\therefore A_v = 1 + (R_f / R_i)$$

3.1.5.3 วงจรขยายรวมสัญญาณ (Summing Amplifier)

วงจรรวมสัญญาณแบบกลับศักระเป็นวงจรที่ทำหน้าที่รวมสัญญาณด้านเข้าจากหลายแหล่งจ่ายแล้วให้ค่าแรงดันด้านออก มีศักดาตรงกันข้ามกับสัญญาณทางด้านเข้า โดยลักษณะการเชื่อมต่อวงจร แสดงดังภาพประกอบ 15



ภาพประกอบ 15 วงจรขยายรวมสัญญาณ

จากวงจรในภาพประกอบ แรงดัน V_o มีค่าเท่ากับ

$$V_o = -(I_f R_f)$$

เมื่อพิจารณาที่ขั้วเข้าด้านลบจะเห็นเป็นจุดเสมือนกราวด์ ดังนั้นกระแส I_1, I_2 , และ กระแส I_3 มีค่าเท่ากับ

$$I_1 = V_1/R_1 ; I_2 = V_2/R_2 ; I_3 = V_3/R_3$$

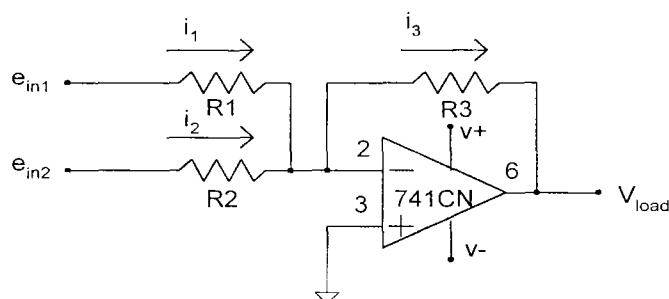
และ $I_f = I_1 + I_2 + I_3$

$$V_o = - [(R_f/R_1) * V_1 + (R_f/R_2) * V_2 + (R_f/R_3) * V_3]$$

หรือ $V_o = - [(V_1/R_1) + (V_2/R_2) + (V_3/R_3)] * R_f$

คุณสมบัติของออปแอมป์แล้วจะพบว่าออปแอมป์ได้รวมเอาข้อดี ของวงจรขยายไว้ได้อย่างครบถ้วน เนื่องจากมีอัตราขยายเป็นอนันต์ และสามารถขยายได้ทั้งแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (วิโรจน์ อัครวงษ์, ชัชวาล เต็มฤทธิ์วงศ์ และ กรชูลี ไซส์ถิตย์. 2521 : 1-22)

3.1.6 วงจรรวมวงจรของขยายสัญญาณแบบกลับสัญญาณ (Inverting Summer)



ภาพประกอบ 16 วงจรรวมของวงจรขยายสัญญาณแบบกลับสัญญาณ

จากภาพประกอบ 16 เป็นตัวอย่างวงจรรวมของวงจรขยายแบบกลับสัญญาณโดยอินพุตของขาขา e_{in2} และสัญญาณอินพุตที่ความต้านทาน R_2 จะรวมกันที่วงจรขยายสัญญาณทางด้านกลับสัญญาณ ความต้านทานด้านเข้าและแรงดันด้านออกของของวงจรแบบป้อนกลับแบบลบหาได้จากผลต่างระหว่างแรงดันขาเข้าทั้งสองขา Op Amp ขาเข้าทางด้านกลับสัญญาณเสมือนกราวด์ กระแสขาเข้าหาได้จาก e_{in1} หาด้วย ความต้านทาน R_1 และกระแส I_2 หาได้จาก R_2 ดังสมการ

$$Z_{in1} = R_1$$

$$Z_{in2} = R_2$$

$$i_1 = \frac{e_{in1}}{R_1}$$

$$i_2 = \frac{e_{in2}}{R_2}$$

$$i_1 + i_2 = i_3$$

$$V_{load} = i_3 R_3$$

$$V_{load} = -(i_1 + i_2) R_3$$

$$V_{load} = -\left(\frac{e_{m1}}{R1} + \frac{e_{m2}}{R2}\right)R3$$

$$V_{load} = -\left(\frac{R3}{R1}e_{m1} + \frac{R3}{R2}e_{m2}\right)$$

เมื่อ $\frac{R3}{R1}$ คือเกณฑ์การขยายของ e_{m1}

เมื่อ $\frac{R3}{R2}$ คือเกณฑ์การขยายของ e_{m2}

เมื่อ $V_{load} = Y$ และ $e_{m1} = X$ จะได้

$$Y = MX + C$$

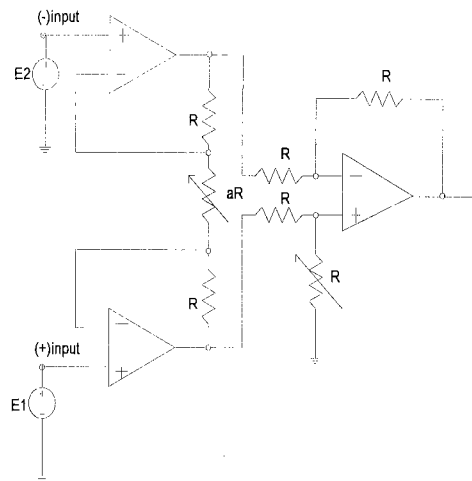
3.2 วงจรอินสตรูเมนต์

การทำงานของวงจร วงจรขยายอินสตรูเมนต์เป็นวงจรที่มีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นราคาจึงค่อนข้างแพงกว่าวงจรปกติทั่วไป ซึ่งอาจจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์จำนวนมาก และอุปกรณ์ที่นำมาใช้และตัวต้านทานต้องเป็นชนิดที่มีค่าผิดพลาดต่ำมากๆ ในปัจจุบันชิปไอซีประเภทแสวงหาข้อมูล (Data Acquisition) จะมีการนำวงจรชนิดนี้มาประยุกต์ใช้ภายในทุกตัว อย่างน้อย 1 วงจรเสมอ การนำเอา 3 ตัวมาต่อกันเป็นวงจรขยายอินสตรูเมนต์นี้ดังภาพประกอบ แม้จะไม่ได้เท่ากับไอซีที่ออกมาเพื่อใช้กับงานนี้โดยเฉพาะ การออกแบบวงจรจะเป็นการออกแบบเพิ่มวงจรใน อัตราขยายเท่ากับ 1 เท่า เป็นการปรับค่าวงจรที่แรงดันวิธีการปรับค่าแรงดันคอมมอน

$$\frac{V_0}{E_1 - E_2} = 1 + \frac{2}{a} \quad \text{เมื่อ } a = aR/R$$

และเมื่อ E_1 ถูกป้อนเข้าที่ขาบวกของออปแอมป์ ในขณะที่ E_2 ป้อนเข้าที่ขาลบ จะได้คุณสมบัติโดยย่อของวงจรอินสตรูเมนต์ดังนี้

1. อัตราขยายแรงดันซึ่งจะนำมาคูณกับค่า $E_1 - E_2$ จะกำหนดได้โดยตัวต้านทานเพียงตัวหนึ่ง
2. ความต้านทานทางด้านอินพุตจะมีค่าสูงมาก และไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราขยาย ในขณะที่ออปแอมป์ธรรมดาทั่วไป จะมีการเปลี่ยนแปลงในกรณีเสมอ
3. V_0 ไม่ขึ้นอยู่กับแรงดันคอมมอนที่มาจากที่ E_1 และ E_2 กแต่จะเป็นผลที่ขึ้นกับค่าของแรงดันแตกต่างหรือแรงดันดิฟเฟอเรนเชียลเท่านั้น



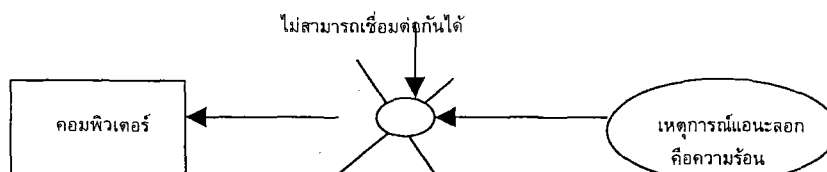
ภาพประกอบ 17 วงจรอินสตรูเมนต์

3.3 ชุดแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล

เหตุการณ์ที่ระบุได้ว่าเป็นแบบแอนะล็อก การจำลองแบบโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ พบว่า สามารถอ่านค่าอุณหภูมิจากสเกลได้ละเอียด เช่น 98.6 องศาฟาเรนไฮต์, 98.4 องศาฟาเรนไฮต์, 97.1 องศาฟาเรนไฮต์ ฯลฯ เทอร์โมมิเตอร์แบบนี้จึงเป็นสิ่งประดิษฐ์แบบแอนะล็อก เพราะการอ่านค่าอุณหภูมิมีค่าต่อเนื่อง แต่ในกรณีเทอร์โมมิเตอร์ประดิษฐ์จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เป็นแบบตัวเลข การอ่านค่าอุณหภูมิจะเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง เพราะจะต้องมีการสุ่มค่าที่วัดได้ในช่วงใดๆ มาแสดงผลเป็นตัวเลข การอ่านมีค่าเป็น 70 องศาฟาเรนไฮต์ หรือ 80 องศาฟาเรนไฮต์ จำเป็นต้องมีการสุ่มเลือกค่าระหว่างช่วงดังกล่าวออกมา อุณหภูมิขณะนั้นอาจเป็น 70.7 องศาฟาเรนไฮต์ แต่การแสดงผลเมื่อมีการสุ่มค่าแล้วแสดงเป็น 80 องศาฟาเรนไฮต์ เรียกเทอร์โมมิเตอร์กรณีดังกล่าวเป็นสิ่งประดิษฐ์แบบดิจิตอล จากตัวอย่างของเทอร์โมมิเตอร์ สามารถประยุกต์เหตุการณ์ทั้งสองมาใช้ทางอิเล็กทรอนิกส์ ตัวอย่างของแบตเตอรี่ของรถยนต์ที่ให้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตออกมามีค่า 12 โวลต์ แต่เมื่อมีการต่อเข้ากับความต้านทานแรงดันเอาต์พุตที่ได้อาจจะลดลงเป็น 11.9 หรือ 10.98 โวลต์ เรียกสัญญาณแรงดันไฟฟ้านี้ว่าสัญญาณแอนะล็อก (analog voltage) เรียกแบตเตอรี่ว่าเป็นสิ่งประดิษฐ์แบบแอนะล็อก (analog device)

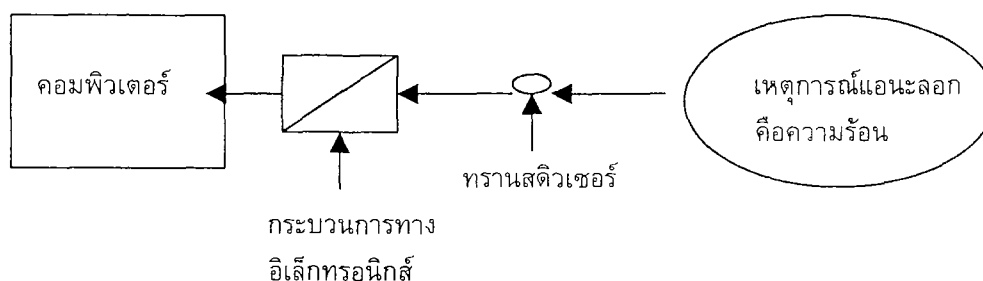
ในกรณีของเครื่องคอมพิวเตอร์ มีการสื่อสารที่มีระดับแรงดันที่แน่นอนเมื่อเทียบแล้วคือ 1 และ 0 การสื่อสารที่มีสัญญาณเป็นตัวเลข 1 และ 0 เรียกว่าสัญญาณดิจิตอล (digital) คอมพิวเตอร์จึงเป็นสิ่งประดิษฐ์แบบดิจิตอล (digital device) ตัวแปลงสัญญาณ การเชื่อมต่อเหตุการณ์แบบอะนาล็อกที่อยู่แวดล้อมเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ จำเป็นต้องมีตัวกลางในการแปลงเปลี่ยนเหตุการณ์แอนะล็อกนั้นให้เป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์ ตัวแปลงเปลี่ยนสัญญาณดังกล่าว เรียกว่า ทรานสดิวเซอร์ (transducer)

การที่จะทำให้คอมพิวเตอร์เชื่อมต่อเข้ากับเหตุการณ์อะนาล็อกโดยตรงนั้นไม่ได้ ตัวอย่าง เหตุการณ์แอนะล็อกอย่างหนึ่งคือ มีความร้อนเกิดขึ้น แสดงดังภาพประกอบ 18



ภาพประกอบ 18 เหตุการณ์แอนะล็อกที่เป็นความร้อนไม่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์โดยตรงได้

จากภาพประกอบ 18 พบว่าไม่สามารถเชื่อมต่อค่าความร้อนดังกล่าวเข้าคอมพิวเตอร์ได้ จึงจำเป็นต้องใช้ตัวแปลงสัญญาณค่าความร้อนนั้นเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์ อาจได้เป็นสัญญาณแอนะล็อกที่มีค่าสัมพันธ์กับค่าความร้อนนั้น และทำการเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลอีกครั้ง โดยกระบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ จึงสามารถนำค่าความร้อนดังกล่าวเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ได้ แสดงดังภาพประกอบ 19



ภาพประกอบ 19 การใช้ตัวแปลงสัญญาณเปลี่ยนค่าความร้อนเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์ก่อนนำเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์

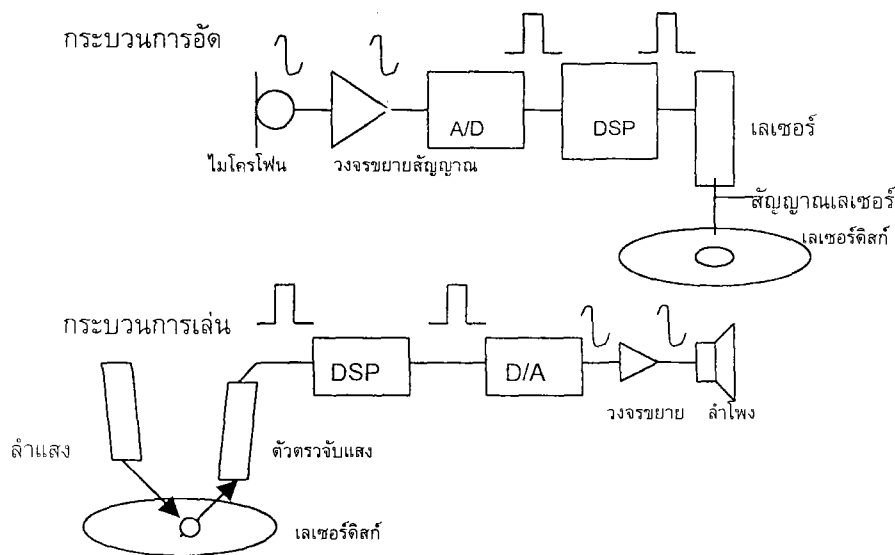
เหตุการณ์ที่เป็นแอนะล็อกจำเป็นต้องมีตัวแปลงสัญญาณ เพื่อเปลี่ยนเหตุการณ์ให้อยู่ในรูปของสัญญาณอะนาลอกโดยกระบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ สัญญาณแอนะล็อกจะเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ได้ จำเป็นต้องเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสัญญาณดิจิทัล โดยกระบวนการทางด้านอิเล็กทรอนิกส์

สัญญาณแอนะล็อกที่เปลี่ยนอยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล สามารถทำได้โดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เรียกว่า การแปลงผันสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (Analog – to – digital coverter : ADC หรือ A/D) และ สามารถเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลให้อยู่ในรูปของสัญญาณแอนะล็อกได้ การแปลงผันสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก (Digital – to – analog coverter: DAC หรือ D/A)

การแปลงสัญญาณระหว่างสัญญาณแอนะล็อกกับสัญญาณดิจิทัล

สัญญาณที่พบในชีวิตประจำวัน ส่วนใหญ่เป็นสัญญาณแอนะล็อก แต่แนวโน้มของการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์มาจัดการกับสัญญาณในปัจจุบันนิยมใช้ระบบดิจิทัล ดังนั้นจึงต้องมีการแปลงสัญญาณกลับไปมาระหว่างสัญญาณแอนะล็อกกับสัญญาณดิจิทัล ดังตัวอย่างในภาพประกอบที่ 20 ซึ่งแสดงหลักการของเครื่องอัดและเล่นแผ่นออกดีโอเลเซอร์ดิสก์ หรือที่เรียกว่า คอมแพ็กดิสก์ กระบวนการอัด (Recording) เป็นต้น คือสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณแอนะล็อกผ่านวงจรขยายแล้วถูกแปลงเป็นสัญญาณ

ดิจิตอล โดยวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล แล้วผ่านกระบวนการสัญญาณในระบบดิจิตอล ในวงจร ดีเอสพี (Digital Signal Processor : DSP) สัญญาณดิจิตอลนี้จะขับลำแสงเลเซอร์เพื่อทำการเจาะรูเล็กๆ บนแผ่นเลเซอร์ดิสก์เป็นการเก็บสัญญาณดิจิตอลไว้ในแผ่น กระบวนการเล่น (Play Back) ใช้ลำแสงเลเซอร์ส่องบนแผ่นเลเซอร์ดิสก์ วงจรตรวจจับแสง (Optical Sensor) จึงให้สัญญาณดิจิตอลที่เก็บไว้ในแผ่นกลับออกมา สัญญาณดังกล่าวจะถูกปรับแต่งโดยวงจร ดีเอสพี อีกครั้ง แล้วจึงผ่านวงจรแปลงสัญญาณ D/A สัญญาณแอนะล็อกที่ได้ออกมาจะถูกขยายไปป้อนลำโพง เพื่อให้ได้เสียงกลับคืนมา

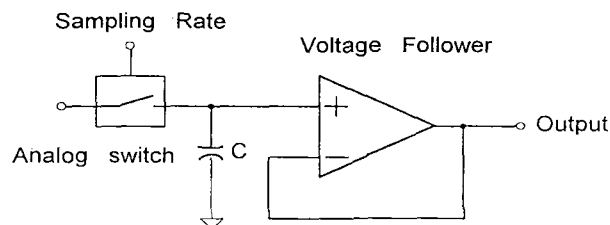


ภาพประกอบ 20 หลักการของเครื่องอัดและเล่นแผ่นออดิโอเลเซอร์ดิสก์

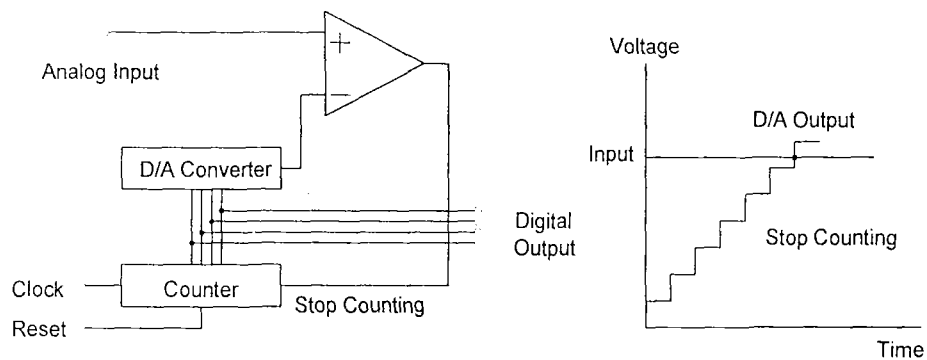
วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล

วงจร A/D มีหลายแบบขึ้นอยู่กับความแม่นยำ ความเร็วที่ต้องการ และราคา เนื่องจากวงจรแปลงสัญญาณต้องใช้เวลาในการทำงาน สัญญาณแอนะล็อกที่จะนำไปแปลงจึงต้องมาจากการสุ่มตัวอย่างและคงค่าไว้ตลอดเวลาที่วงจรทำการแปลงค่า ดังภาพประกอบ 21 "แสดงวงจรสุ่มตัวอย่างและคงค่า (Sample and Hold) ความถี่ของสัญญาณที่ใช้ควบคุมอัตราการสุ่มต้องไม่น้อยกว่าสองเท่าของความถี่สูงสุดที่มีอยู่ในสัญญาณแอนะล็อก วงจร A/D บางวงจรมีวงจรสุ่มตัวอย่างและคงค่า อยู่ที่ยินพุตรียบร้อยแล้ว วงจร A/D แบบขั้นบันได (Staircase) วงจร A/D แบบนี้เป็นแบบที่ง่ายและราคาถูก ดังภาพประกอบ 22 วงจรนับ (Counter) ควบคุมวงจร A/D Converter ซึ่งสร้างแรงดันเป็นรูปคลื่นแบบขั้นบันได เมื่อวงจรนับค่าเพิ่มจากศูนย์วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator) ทำการเปรียบเทียบแรงดันของรูปคลื่นนี้กับสัญญาณแอนะล็อก จนกระทั่งรูปคลื่นทั้งสองมีค่าแรงดันเท่ากัน เอาต์พุตจากวงจรเปรียบเทียบจะไปยังคัปปีงวงจรนับหยุด ข้อมูลในวงจรนับ จึงเป็นข้อมูลดิจิตอลซึ่งสามารถอ่านออกไปเป็นค่าของแรงดันอินพุต วงจรนี้ทำงานช้า เพราะต้องรอเวลาที่วงจรนับขึ้นไปถึงค่าที่พอดี วงจร A/D แบบดูอัล สโลป อินทิเกรเตอร์ (Dual Slope Integrator) วงจรแบบนี้ใช้ในเครื่องวัดดีวีเอ็ม (Digital Voltmeter : DVM) หรือดีเอ็มเอ็ม (Digital Multimeter :DMM) ตามภาพประกอบ 23 โดยแอนะล็อกสวิตช์อยู่ที่ตำแหน่งบน (Sample) สัญญาณอินพุตถูกอินทิเกรตในช่วงเวลาคงที่ (t_1) ประจุ Q ที่สะสมอยู่ในตัวเก็บประจุ จึงเป็นสัดส่วนกับค่าแรงดันอินพุต ต่อมาแอนะล็อกสวิตช์อยู่ตำแหน่ง (Convert)

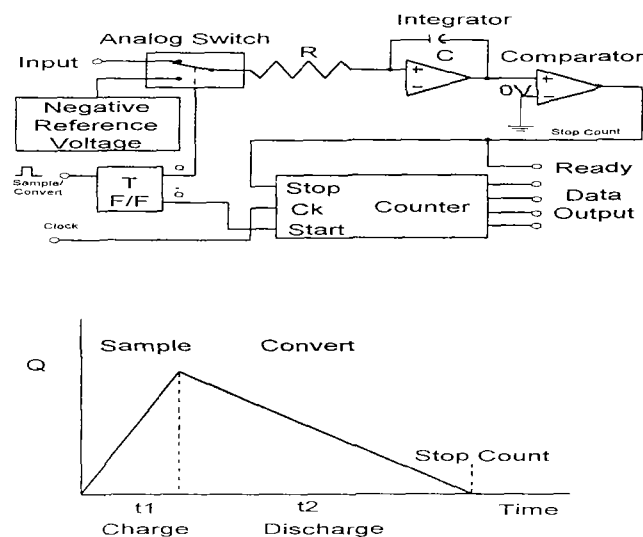
ในช่วงเวลา (t_2) ประจุใน C จะถูกปล่อยออกมาโดยการอินทิเกรตสู่ค่าแรงดันอ้างอิงที่เป็นลบ ระยะเวลา t_2 จึงเป็นสัดส่วนกับ Q ซึ่งเป็นสัดส่วนกับแรงดันอินพุต วงจรมีหน้าที่จับเวลา t_2 ดังนั้นเอาต์พุตของวงจรมีจึงเป็นค่าดิจิทัลของ t_2 ซึ่งเป็นสัดส่วนกับแรงดันอินพุต วงจรแบบนี้มีความเที่ยงตรงสูง ราคาถูก และสะดวกที่มีวงจรสุ่มตัวและคงค่า ในตัวแต่ทำงานค่อนข้างช้า เพราะอาศัยหลักการจับเวลา



ภาพประกอบ 21 วงจรสุ่มตัวอย่างและคงค่า อย่างง่าย



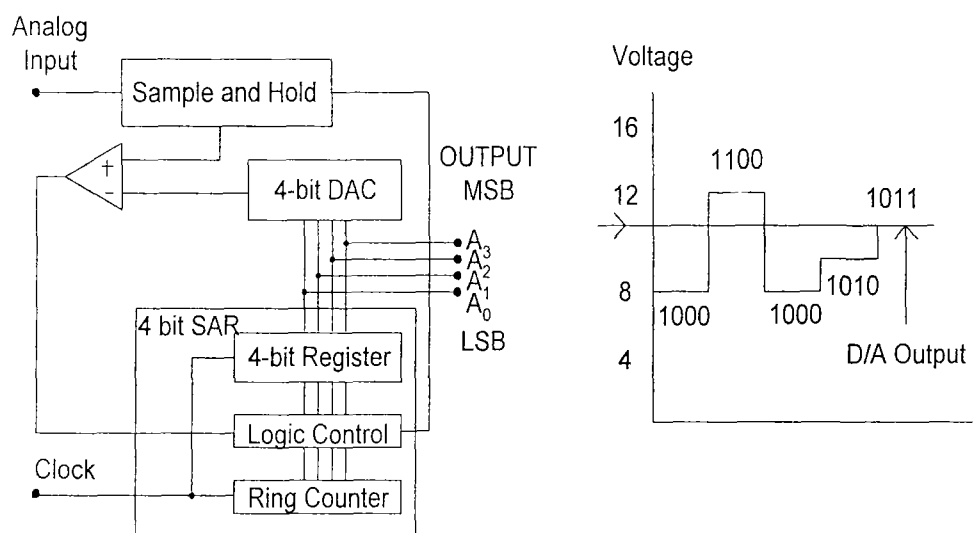
ภาพประกอบ 22 วงจร A/D แบบ ขั้นตอนได้ และกราฟแสดงการทำงาน



ภาพประกอบ 23 วงจร A/D แบบ Dual Slope และกราฟแสดงการทำงาน

วงจร A/D แบบการประมาณสืบเนื่อง (Successive Approximation)

วงจร A/D แบบนี้มีความเที่ยงตรงสูงและสามารถทำงานได้เร็วการแปลงสัญญาณเป็นกระบวนการแบบทดลองสุ่มดู บิตสูงสุด (MSB) จะถูกกำหนดเป็น 1 ก่อนขณะนั้นวงจร D/A จะผลิตแรงดันที่มีค่าเท่ากับค่าดิจิทัล วงจรเปรียบเทียบจะดูแรงดันนี้สูงกว่าแรงดันของอินพุตหรือไม่ ถ้าไม่สูงกว่า MSB จะค่าเป็น 1 ต่อไป แต่ถ้าสูงกว่า MSB จะถูกเปลี่ยนเป็น 0 เมื่อตัดสินค่าของ MSB ได้แล้ว จะมาตัดสินค่าของบิตถัดๆ ลงไปที่ละบิต โดยวิธีการเดียวกันจนบิตต่ำสุด (LSB) จบกระบวนการแปลงสัญญาณ ดังภาพประกอบ 24 แสดงส่วนประกอบของวงจรและหลักการทำงาน (ถวัลย์ ไกรโรจนานันท์, 2539 :54 – 56)



ภาพประกอบ 24 วงจร A / D แบบประมาณสืบเนื่อง และกราฟแสดงการทำงาน

3.4 ไมโครโพรเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์

ในทศวรรษ 1970 ได้มีความก้าวหน้าที่สำคัญมากเกิดขึ้นในวงการอิเล็กทรอนิกส์คือ ประดิษฐ์กรรมใหม่ที่มีชื่อเรียกว่า ไมโครโพรเซสเซอร์ จุดเริ่มต้นของเทคโนโลยีใหม่นี้มาจากการประดิษฐ์ทรานซิสเตอร์ในปี ค.ศ. 1948 ช่วงทศวรรษ 1950 จึงเป็นช่วงที่มีการนำทรานซิสเตอร์และไดโอดกึ่งตัวนำมาใช้แทนหลอดสุญญากาศในคอมพิวเตอร์แบบดิจิทัล การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำในช่วงทศวรรษ 1950 - 60 โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยีแบบระนาบ (Planar Technology) นั้น ทำให้สามารถสร้างวงจรรวมที่มีความสลับซับซ้อนมากขึ้นตามลำดับ บนชิ้นผลึกซิลิคอนเล็ก ๆ เพียงชิ้นเดียว เรียกววงจร

รวมแบบนี้ว่า Integrated Circuit หรือ ไอซี ซึ่งต่อมาสามารถเพิ่มความสลับซับซ้อนมากขึ้นอีก ก็กลายเป็น เอ็มเอสไอ (Medium Scale Integrated Circuit : MSI), แอลเอสไอ (Large Scale integrated Circuit :LSI) และ วีแอลเอสไอ (Very Large Scale Integrated Circuit : VLSI) ตามลำดับ ด้วยเทคโนโลยีใหม่นี้ การสร้าง คอมพิวเตอร์บนชิป ฟลิกชิลิคอนชิปเดียว (Computer on a Chip) จึงสามารถเป็นจริงขึ้นมาได้

ในปี ค.ศ. 1971 ริษัทอินเทล ได้ผลิตไมโครโพรเซสเซอร์ที่เป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมตัวแรกของ โลกออกจำหน่ายใช้ชื่อว่าอินเทล 8008 มีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อใช้ในเครื่องคิดเลข หลังจากนั้นก็มีหลายบริษัท รวมทั้งอินเทลได้ผลิตไมโครโพรเซสเซอร์ที่มีขีดความสามารถสูงขึ้นๆออกมาตามลำดับไมโครโพรเซสเซอร์มี ผลกระทบที่กว้างไกลต่อวงการอิเล็กทรอนิกส์มากนอกจากจะทำให้เกิดไมโครคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็น คอมพิวเตอร์ขนาดเล็กราคาถูก แต่มีสมรรถนะสูงแล้ว ไมโครโพรเซสเซอร์ยังถูกนำมาใช้เป็นหัวใจของระบบ ควบคุมในเครื่องมือเครื่องใช้สมัยใหม่เกือบทุกประเภททั้งในอุตสาหกรรม สำนักงาน ครุภัณฑ์ รถยนต์ อุปกรณ์การแพทย์ การทหาร และโทรคมนาคมอีกด้วยความรู้ความเข้าใจเรื่องไมโครโพรเซสเซอร์จึงกลายเป็น สิ่งจำเป็นสำหรับนักศึกษาที่เรียนวิชาอิเล็กทรอนิกส์เทคโนโลยีไมโครโพรเซสเซอร์เป็นเทคโนโลยีที่ไม่ยาก แต่ต้องอาศัยความรู้เกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ หมายถึง เครื่องที่สามารถปฏิบัติตาม คำสั่งเป็นชุดโดยอัตโนมัติตามข้อมูลที่ได้รับจุดมุ่งหมายของการปฏิบัติตามคำสั่งอาจเป็นการแก้สมการทาง คณิตศาสตร์หรือเป็นการควบคุมเครื่องมืออุปกรณ์บางอย่าง หรือทำทั้งสองอย่างผสมผสานกันเมื่อพูดถึง คอมพิวเตอร์ในสมัยนี้ส่วนมากเราจะหมายถึงดิจิทัลคอมพิวเตอร์ซึ่งทำงานกับข้อมูลที่เป็นเลขฐานสอง

3.4.1 ข้อมูลและรูปแบบของข้อมูล

ข้อมูล คือสิ่งที่บ่งบอกถึงสถานะทางกายภาพบางอย่างในเชิงปริมาณหรือเชิงคุณภาพ เช่น มี แสงสว่างหรือไม่มี สวิตช์ปิดหรือเปิด อุณหภูมิห้องเซลเซียส จำนวนนักศึกษาที่คน ชื่อ อายุ เพศ ของนัก ศึกษาแต่ละคน เป็นต้น การที่จะให้คอมพิวเตอร์รับรู้ข้อมูล แล้วนำข้อมูลเหล่านั้นไปทำการประมวลผล (Processing) ซึ่งหมายถึงทำการคำนวณและตัดสินใจทางตรรกะนั้น จะต้องทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ ที่คอมพิวเตอร์สามารถรับรู้และนำไปทำการประมวลผลต่อไปได้ คำว่า รูปแบบ ในที่นี้ต้องแยกพิจารณาเป็นสอง เรื่องคือ รูปแบบกายภาพ (Physical Format) กับรูปแบบเชิงตรรกะ (Logical Format) แต่รูปแบบทั้งสอง ต้องสัมพันธ์สอดคล้องกันคอมพิวเตอร์ในยุคปัจจุบันใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวการในการกระทำการประมวล การต่าง ๆ และสื่อที่ใช้ติดต่อกันระหว่างส่วนต่าง ๆ ของคอมพิวเตอร์ที่เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์นั้น คือระดับ แรงดันไฟฟ้า ดังนั้นรูปแบบกายภาพของข้อมูลคอมพิวเตอร์ก็คือ ระดับแรงดันไฟฟ้านั่นเอง เนื่องจากวงจร อิเล็กทรอนิกส์แบบสองสถานะเป็นวงจรที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ในระบบคอมพิวเตอร์ จึงได้กำหนดให้รูปแบบ กายภาพของข้อมูลคอมพิวเตอร์ประกอบด้วยแรงดันไฟฟ้าสองระดับ ซึ่งแต่ละระดับจะมีค่าที่ใกล้เคียงกับระดับ สูงขึ้นอยู่กับมาตรฐานที่จะวางให้เหมาะสมกับโครงสร้างของวงจรแต่ละชนิด (เช่น ถ้าใช้วงจรแบบ TTL จะใช้ ระดับ 0V และ 5V เป็นต้น) ส่วนรูปแบบเชิงตรรกะของข้อมูลก็กำหนดให้สอดคล้องกันคือ เป็นระบบเลขฐาน สอง เช่น อาจกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าระดับต่ำกว่าแทนด้วยเลข 0 และแรงดันไฟฟ้าระดับสูงกว่าแทนด้วยเลข 1 เป็นต้น รูปแบบเชิงตรรกะของข้อมูล เป็นวิธีการเขียนข้อมูลในเชิงคณิตศาสตร์เพื่อสื่อความหมายกับคน เท่านั้น แต่วงจรภายในของคอมพิวเตอร์ทำงานโดยอาศัยข้อมูลในรูปแบบกายภาพซึ่งเป็นระดับแรงดันไฟฟ้า อย่างไรก็ดีตามเพื่อความสะดวก คำว่าข้อมูลที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้จะหมายถึงข้อมูลในรูปแบบเชิงตรรกะเท่านั้น เว้นแต่จะระบุให้เป็นอย่างอื่น

หน่วยเล็กที่สุดของข้อมูลคือ เลขฐานสองหลักเดียว ซึ่งแทนสถานะที่แตกต่างกันได้เพียง 2 สถานะเท่านั้น เช่น มีแสงสว่างแทนด้วย 1 ไม่มีแสงสว่างแทนด้วย 0 เป็นต้น เราเรียกข้อมูลหลักเดียวนี้นว่า

เป็นข้อมูลขนาด 1 บิต (Bit ย่อมาจาก Binary Digit) สำหรับข้อมูลที่มีหลายสถานะจะต้องแทนด้วยเลขฐานสองหลายบิต เช่น ผลการโยนลูกเต๋าซึ่งมี 6 สถานะอาจแทนได้ด้วยเลขฐานสอง 3 บิต จึงเป็นข้อมูลขนาด 3 บิต เป็นต้น หลักทั่วไปคือ ถ้ามี N สถานะ จะต้องใช้ข้อมูลขนาด b บิต ตามสมการ

$$2^b \geq N$$

ข้อมูลที่มีขนาดมากกว่า 1 บิตขึ้นไป มีชื่อต่างกันตามความยาวของข้อมูลดังนี้

ข้อมูลที่มีความยาว 4 Bit เรียกว่า 1 Nibble

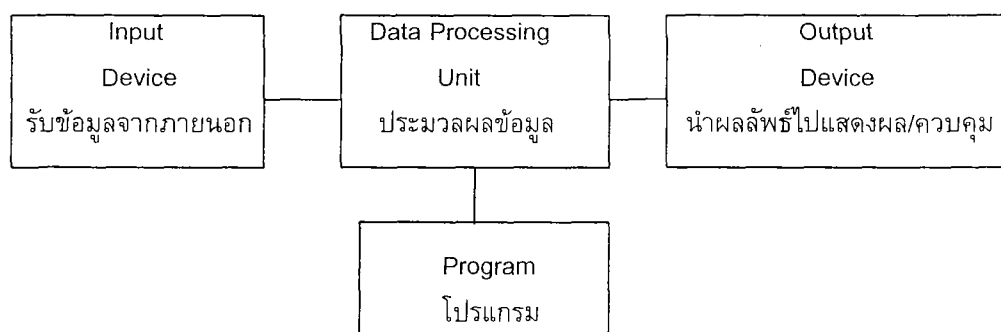
ข้อมูลที่มีความยาว 2 Nibble (8 bit) เรียกว่า 1 Byte

ข้อมูลที่มีความยาว 2 Byte (16 bit) เรียกว่า 1 Word

ข้อมูลที่มีความยาว 2 Word (32 bit) เรียกว่า 1 Long word

3.4.2 การประมวลผลในคอมพิวเตอร์

ข้อมูลคอมพิวเตอร์ หมายถึงตัวเลขหรือค่าบางอย่างที่จะให้คอมพิวเตอร์นำไปใช้ในการคำนวณหรือตัดสินใจ เพื่อส่งงานควบคุม ปกติจะอยู่ในรูปของเลขฐานสองความยาว 8 บิต หรือ 16 บิต เครื่องคอมพิวเตอร์อาจรับข้อมูลเหล่านี้เข้ามาจากหน่วยความจำ หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น จากเทอร์โมมิเตอร์ จากสายวัด (Probe หรือ Transducer ต่าง ๆ) เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์เหล่านี้เรียกว่า อุปกรณ์อินพุต (Input Device) ข้อมูลที่ได้รับเข้ามาจะต้องผ่านเข้าไปสู่ส่วนกลางของระบบคอมพิวเตอร์ ที่เรียกว่า หน่วยประมวลผล (Data Processing Unit) เพื่อทำการกระบวนการอื่น ๆ ต่อไป ตามขั้นตอนที่ได้โปรแกรมไว้แล้ว ซึ่งเรียกว่า การประมวลผล (Data Processing) หลังจากนั้นผลลัพธ์ที่ได้จะถูกส่งออกไปสู่หน่วยแสดงผล (Display Unit) ตัวอย่างอุปกรณ์แสดงผลได้แก่ จอภาพแสดงผล (Monitor) หน่วยแสดงผลเป็นแบบตัวเลข 7 ส่วน (7-Segment Display) หรือผลลัพธ์นั้นอาจถูกส่งไปยังรีเลย์เพื่อควบคุมการเปิด/ปิดวงจรไฟฟ้าอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับข้อมูลที่อยู่ในรูปของสัญญาณทางดิจิทัลของคอมพิวเตอร์ออกไปแสดงผล หรือควบคุมเรียกว่า อุปกรณ์ เอาต์พุต (Output Device) มีชื่อเรียกรวมกันว่า อุปกรณ์บริวาร (Peripheral Device) อุปกรณ์เหล่านี้ต้องมีอยู่ในระบบคอมพิวเตอร์จะขาดเสียมิได้ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ระดับใดก็ตาม และมีความจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้อุปกรณ์บริวารให้เหมาะสมกับระบบงานที่ต้องการออกแบบ เพื่อให้สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ

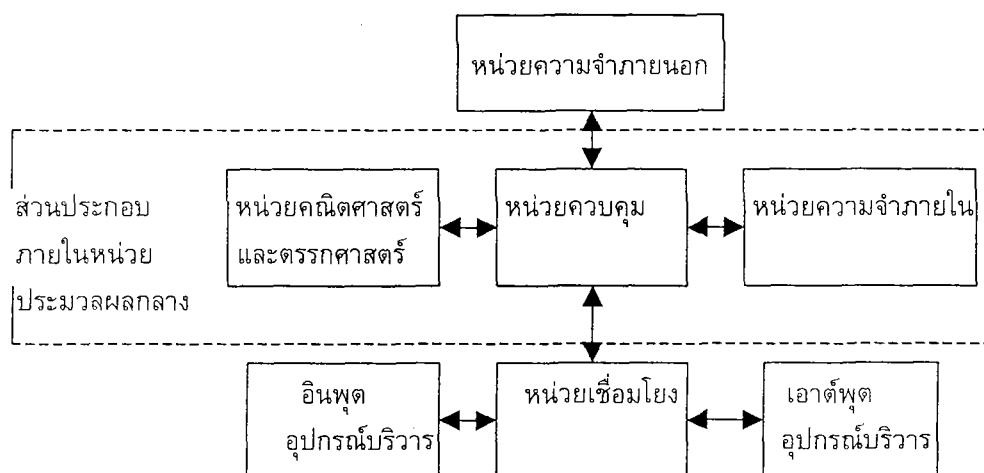


ภาพประกอบ 25 การประมวลผลในคอมพิวเตอร์

ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบคอมพิวเตอร์ที่จะทำให้ระบบสามารถทำงานได้ตามความต้องการนั้นอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. ฮาร์ดแวร์ (Hardware) ประกอบไปด้วยส่วนกลางของระบบคอมพิวเตอร์ (หรือหน่วยประมวลผล) และอุปกรณ์บริวาร เป็นส่วนที่มีลักษณะเป็นรูปธรรมสามารถจับต้องและมองเห็นได้โดยตรง
2. ซอฟต์แวร์ (Software) เป็นข้อมูลหรือโปรแกรมที่ใช้เป็นตัวควบคุมการทำงานของฮาร์ดแวร์ มีลักษณะเป็นนามธรรม ไม่สามารถจับต้องและมองเห็นได้โดยตรง ประกอบไปด้วยโปรแกรมควบคุมระบบ (Operating System) และโปรแกรมใช้งาน (User Program)

เครื่องคอมพิวเตอร์เปรียบเสมือนกับเป็นมันสมองของระบบในขณะที่อุปกรณ์ บริวารเป็นตัวต่อสื่อสารระหว่างระบบภายในกับโลกภายนอก ส่วนโปรแกรมใช้งานจะต้องเป็นตัวสั่งงานให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำงานตามขั้นตอนที่ต้องการ ในขณะที่โปรแกรมควบคุมระบบเป็นโปรแกรมอีกส่วนหนึ่งที่ทำหน้าที่ตรวจสอบและควบคุมการทำงานของระบบ เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น



ภาพประกอบ 26 องค์ประกอบขั้นพื้นฐานของระบบคอมพิวเตอร์

องค์ประกอบขั้นพื้นฐานของระบบคอมพิวเตอร์ แบ่งตามลักษณะการทำงานของหน่วยต่าง ๆ

หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit : CPU) เป็นศูนย์กลางในการควบคุมการทำงาน และประมวลผลข้อมูลทั้งหมด ประกอบไปด้วยหน่วยย่อย 3 ส่วนคือหน่วยควบคุม (Control Unit) หน่วยความจำภายใน (Internal Memory Unit) หน่วยคณิตศาสตร์และตรรกศาสตร์ (Arithmetic and Logic Unit : ALU)

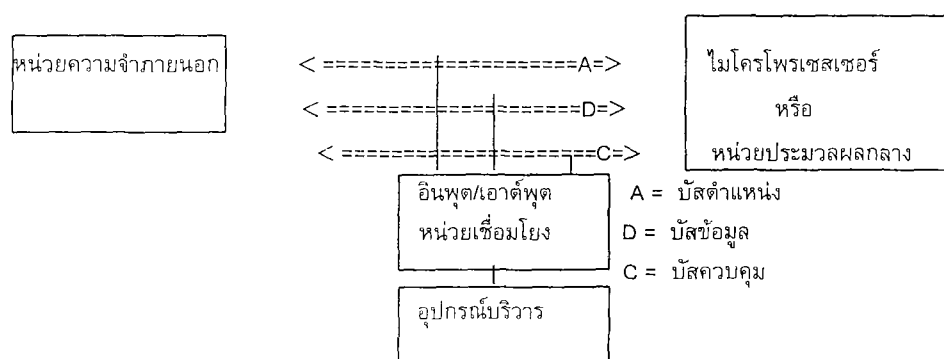
หน่วยความจำภายนอก (External Memory Unit) เป็นหน่วยที่ใช้เก็บโปรแกรม และข้อมูลต่าง ๆ ในขณะที่เครื่องกำลังทำงาน หน่วยนี้จะป็นหน่วยที่ต่อเพิ่มเข้าไปในระบบ เพื่อให้สามารถเขียนโปรแกรม และเก็บข้อมูลได้มากกว่าเดิมที่มีเพียงหน่วยความจำภายใน เช่น บางระบบอาจจะมีหน่วยความจำภายนอกเป็นจานแม่เหล็ก (Magnetic Disc) เทปแม่เหล็ก (Magnetic Tape) หรือ หน่วยความจำที่สร้างขึ้นมาจากสารกึ่งตัวนำเป็นต้น

หน่วยเชื่อมโยง (Interfacing Unit) ทำหน้าที่เชื่อมโยงให้หน่วยประมวลผลกลาง สามารถติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์บริวารต่าง ๆ ได้ เช่น หน่วยเชื่อมโยงเข้ากับแป้นพิมพ์ (Keyboard) ในขณะที่หน่วยประมวลผลกลางต้องการจะติดต่อกับอุปกรณ์บริวารชุดใด ก็จะได้รับ/ส่งสัญญาณผ่านทางหน่วยเชื่อมโยงนี้เสมอ

เมื่อเปรียบเทียบภาพประกอบ 26 กับภาพประกอบ 27 แล้วจะพบว่า Data Processing Unit ในรูป 26 นั้น ประกอบด้วย Central Processing Unit, External Memory และ Interfacing Unit ในภาพประกอบ 27 รวมกัน

ไมโครคอมพิวเตอร์และไมโครโพรเซสเซอร์

จากการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านสารกึ่งตัวนำ และการออกแบบสร้างวงจรรวมหรือเล็กทรอนิกส์ที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนจำนวนมาก ย่อส่วนเข้าไปอยู่บนชิ้นสารกึ่งตัวนำที่มีขนาดเล็กมากเพียงชิ้นเดียวได้จึงได้มีการพัฒนาสร้างวงจรถือเป็นหน่วยประมวลผลกลางของระบบคอมพิวเตอร์ขึ้นมาเป็นอุปกรณ์วงจรรวมในระดับความหนาแน่นสูงมาก หรือวีแอลเอสไอ (Very Large Scale Integrated Circuit :VLSI) โดยเรียกไอซีประเภทนี้ว่า ไมโครโพรเซสเซอร์ (Microprocessor) ซึ่งบางครั้งอาจจะเรียกว่า ซีพียู (CPU) ก็ได้ เพราะไมโครโพรเซสเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่รวมเอาส่วนสำคัญต่าง ๆ ของหน่วยประมวลผลกลางเอาไปไว้ในไอซีเพียงตัวเดียว ในระบบคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดเล็กที่เรียกกันว่า ไมโครคอมพิวเตอร์ (Microcomputer) มีส่วนประกอบของระบบคล้ายกับระบบคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ ส่วนที่แตกต่างกันคือ หน่วยประมวลผลกลางของคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กนี้ จะใช้ไอซีไมโครโพรเซสเซอร์เป็นซีพียูแทนแผงวงจรที่มีขนาดใหญ่ร่วมกับอุปกรณ์ทางตรรกะ (Logic Circuit) และหน่วยความจำภายนอกที่เป็นอุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำประกอบกันขึ้นมาเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ระดับไมโคร พร้อมกับเพิ่มเติมอุปกรณ์บริวาร เช่น จอภาพแสดงผล (Monitor) แป้นพิมพ์ (Keyboard) และอุปกรณ์เก็บข้อมูลความจุสูง (Mass Storage Device) เข้าไปในระบบ เพื่อให้สามารถทำงานได้โดยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น



ภาพประกอบ 27 แสดงระบบบัสของไมโครโพรเซสเซอร์

ระบบบัส (Bus System) ในการติดต่อสื่อสารระหว่างไมโครโพรเซสเซอร์กับอุปกรณ์ภายนอกต่าง ๆ จะติดต่อกันด้วยกลุ่มของสายสัญญาณ ที่เรียกว่า บัส (BUS) โดยบัสจะทำหน้าที่ถ่ายทอดสัญญาณและข้อมูลต่าง ๆ จากหน่วยหนึ่งไปสู่อีกหน่วยหนึ่งอย่างเป็นระบบ จึงเรียกว่า เป็นระบบบัส โดยระบบบัสนี้สามารถแยกออกได้เป็น 3 กลุ่ม ดังแสดงในภาพประกอบ 27 คือ

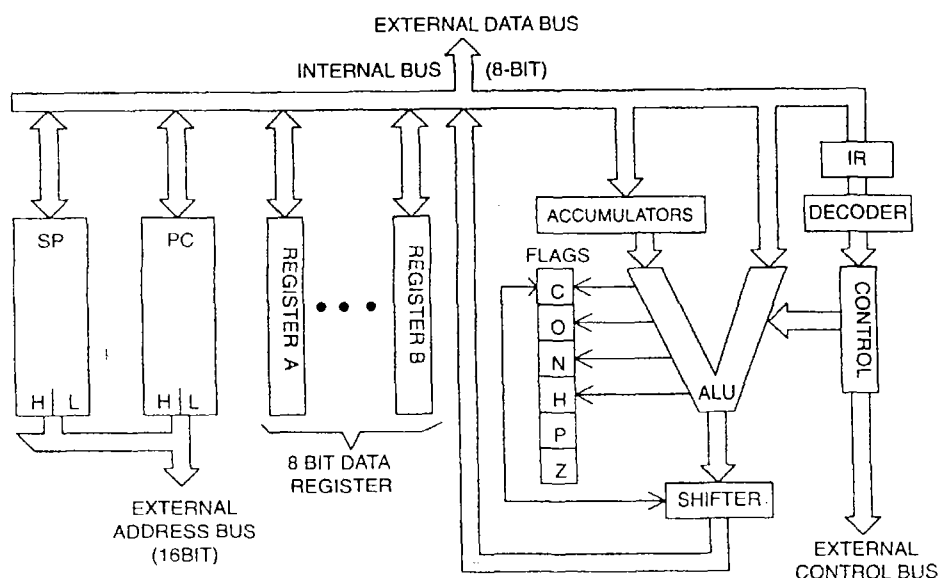
1. บัสข้อมูล (Data Bus) เป็นกลุ่มสายสัญญาณที่ใช้ในการส่งข้อมูลหรือรหัสคำสั่งต่าง ๆ ระหว่างซีพียูกับอุปกรณ์ทุกตัวที่ต่อพ่วงอยู่กับระบบโดยปกติบัสข้อมูลจะเป็นบัสแบบสองทิศทาง (Bidirectional Bus) คือ จะสามารถทำการ รับ/ส่ง ข้อมูลทั้งไปและกลับในสายสัญญาณเดียวกัน

3. บัสควบคุม (Control Bus) เป็นกลุ่มสายสัญญาณที่ส่งสัญญาณควบคุมการทำงานต่าง ๆ ของระบบ รวมทั้งแสดงสถานะที่เกิดขึ้นจากการทำงานภายในตัวไมโครโปรเซสเซอร์ สัญญาณควบคุมบางส่วนสามารถส่งมาจากอุปกรณ์อื่นเข้าไปสั่งงานชิพได้ เช่น สายสัญญาณรีเซ็ต (Reset) เพื่อสั่งให้ชิพทำการรีเซ็ตตัวเอง และสัญญาณรอคอย (Wait) สั่งให้ชิพทำการรอ และจะไม่ทำกระบวนการอื่นต่อไปจนกว่าสัญญาณรอคอยจะถูกปลดออกไปเป็นต้น

รีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register : IR) เป็นรีจิสเตอร์ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่เป็นรหัสคำสั่ง หน่วยถอดรหัสคำสั่ง (Instruction Decoder) เป็นหน่วยที่ทำหน้าที่ถอดรหัสของคำสั่งที่ได้รับเข้ามา จากรีจิสเตอร์คำสั่ง พร้อมกับการทำการแปลงข้อมูล และส่งสัญญาณต่อไปยังหน่วยควบคุม

แอ็กคิวมิวเลเตอร์ (Accumulator) เป็นรีจิสเตอร์ทำหน้าที่เป็นที่เก็บข้อมูลชั่วคราวที่ต้องการนำกลับมาใช้ได้อย่างรวดเร็ว เช่น ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์และตรรกศาสตร์ โดยปกติแอ็กคิวมิวเลเตอร์จะเป็นที่เก็บข้อมูลที่เป็นตัวตั้ง และผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการต่าง ๆ

หน่วยคำนวณ (Arithmetic and Logic Unit : ALU) เป็นหน่วยทำกระบวนการทางคณิตศาสตร์ และตรรกะ ซึ่งจะรวมวงจรเลื่อนข้อมูล (Shifter) ด้วย



ภาพประกอบ 28 แสดงสถาปัตยกรรมของไมโครโพรเซสเซอร์มาตรฐานทั่วไป

แฟล็ก (Flags) เป็นรีจิสเตอร์ทำหน้าที่แสดงผลหรือสถานะที่เกิดขึ้นจากกระบวนการต่างๆ ภายในตัวชิพ โดยแต่ละบิตของรีจิสเตอร์แฟล็กนี้จะมี ความหมายที่แตกต่างกันไปดังนี้

บิต C (Carry) เป็นบิตที่แสดงว่า มีการทศเกิดขึ้นจากผลลัพธ์ ของการคำนวณ

บิต O (Overflow) เป็นบิตที่แสดงว่า ในการคำนวณนั้นเกิดโอเวอร์โฟลว์ขึ้น

บิต N (Negative) เป็นบิตที่แสดงว่า การกระทำคำสั่งนั้นเป็นแบบลบ

บิต H (Half Carry) เป็นบิตที่แสดงว่า เกิดการทศข้ามระหว่างบิตที่ 4 ไปบิตที่ 5

บิต P (Parity) เป็นบิตที่แสดงว่า ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นมี Parity เป็นคู่ หรือคี่

บิต Z (Zero) เป็นบิตที่แสดงว่า ผลลัพธ์ของการคำนวณมีค่าเท่ากับ 0

รีจิสเตอร์ (Register - O ถึง Register - N) เป็นรีจิสเตอร์จำนวนหลายชุดที่ประกอบขึ้นเป็นที่สะสมข้อมูลชั่วคราว เพื่อการทำงานที่รวดเร็วภายในตัวชิพเอง ซึ่งไมโครโพรเซสเซอร์แต่ละเบอร์ก็จะมีชื่อเรียกรีจิสเตอร์แต่ละชุดแตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสมกับการใช้งานของรีจิสเตอร์นั้น ๆ

โปรแกรมเคาน์เตอร์ (Program Counter : PC) เป็นรีจิสเตอร์ชุดที่ทำหน้าที่เก็บตำแหน่งของข้อมูลที่เป็นรหัสคำสั่งชิพที่กำลังจะนำมาปฏิบัติต่อไป โปรแกรมเคาน์เตอร์ทำงานโดยการนับแบบเพิ่มค่าตำแหน่งภายในรีจิสเตอร์ขึ้นทีละ 1 ทุก ๆ ครั้ง หลังจากที่มีการเรียกรหัสคำสั่งเข้ามาจากตำแหน่งนั้นแล้ว เพื่อชี้ระบุตำแหน่งของคำสั่งถัดไป

สแต็กพอยเตอร์ (Stack Pointer) เป็นรีจิสเตอร์ทำหน้าที่เก็บตำแหน่งของหน่วยความจำภายนอก บริเวณที่เรียกว่า สแต็ก (Stack) หน่วยความจำภายนอกบริเวณนี้ เป็นบริเวณที่สงวนไว้สำหรับใช้เป็นที่เก็บสะสมข้อมูล เพื่อติดตามการทำงานของชิพ เช่น เก็บค่าตำแหน่งที่อยู่ภายในโปรแกรมเคาน์เตอร์ ก่อนการเรียกไปยังโปรแกรมน้อย (Sub-routine Call) เพื่อการกลับมาทำงานตามต่อได้อย่างถูกต้องเป็นต้น

การทำงานของไมโครโพรเซสเซอร์ ทำงานตามโปรแกรม (Program Controlled) คือชุดของรหัสคำสั่งต่างๆ (Instructions) ที่บรรจุไว้ในหน่วยความจำ ไมโครโพรเซสเซอร์จะนำเอา (Fetch) คำสั่งต่าง ๆ ที่ได้เรียบเรียงขึ้นเป็นโปรแกรมแล้วนี้ เข้ามาทำการกระบวนการ (Execute) ทีละคำสั่ง โดยการนำเอาคำสั่งจากหน่วยความจำ ณ ตำแหน่งที่ระบุไว้ด้วยค่าที่ปรากฏในโปรแกรมเคาน์เตอร์เข้ามาไว้ในรีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register) พร้อมทั้งทำการตีความรหัสคำสั่งนั้นว่า จะต้องส่งสัญญาณควบคุมและทำการกระบวนการใดบ้าง แล้วจึงทำการกระบวนการตามคำสั่งนั้นหลังจากเสร็จสิ้นการทำงานตามคำสั่งนั้น ชิปก็จะอ่านค่าโปรแกรมเคาน์เตอร์ ซึ่งได้นับเพิ่มขึ้นอีก 1 เป็นการชี้ตำแหน่งถัดจากรหัสคำสั่งเดิมชิพจะนำคำสั่งใหม่นี้เข้ามาทำต่อเป็นเช่นนี้เรื่อย ๆ ไปจนจบโปรแกรม

ชุดคำสั่ง และโปรแกรม (instruction Set and Program) กระบวนการทำงานของระบบไมโครโพรเซสเซอร์แต่ละขั้นตอน เป็นกระบวนการเล็ก ๆ ตามที่รหัสคำสั่งเหล่านั้นสั่งว่าให้ทำอะไร เช่น สั่งให้ทำการย้ายข้อมูลที่อยู่ในรีจิสเตอร์หนึ่งไปยังรีจิสเตอร์หนึ่งหรือสั่งให้ทำการบวกค่าที่อยู่ในแอดคิวมิวเลเตอร์กับค่าที่อยู่ในหน่วยความจำ ณ ตำแหน่งที่ระบุไว้ในคำสั่งนั้น เป็นต้น

ไมโครโพรเซสเซอร์แต่ละเบอร์จะมี ชุดคำสั่ง (Instruction Set) เฉพาะ สำหรับไมโครโพรเซสเซอร์เบอร์นั้น ๆ แต่ละคำสั่งเป็นรหัสที่ได้ทำการออกแบบไว้แล้วว่าให้ไมโครโพรเซสเซอร์ทำอะไร ซึ่งก็จะเป็นการทำงานที่อยู่ภายในขอบเขตของความสามารถของแต่ละรหัสนั้น โดยทั่วไปแล้วจะสามารถแยกประเภทของรหัสคำสั่ง ออกได้เป็นกลุ่ม ๆ ดังต่อไปนี้

1. กลุ่มการเคลื่อนย้ายข้อมูล (Data Transfer : Load, Exchange, etc.)
2. กลุ่มการคำนวณทางคณิตศาสตร์และตรรกะ (Arithmetic and Logic : Add, OR, etc.)
3. กลุ่มการเลื่อนและหมุนข้อมูล (Shift and Rotate : Shift Left, Right, etc.)
4. กลุ่มการกระทำข้อมูลในระดับบิต (Bit Manipulation : Bit Set, Reset, etc.)
5. กลุ่มการข้ามไปทำโปรแกรมอื่นและโปรแกรมน้อย (Branch: Jump, Call and Return, etc.)
6. กลุ่มการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอก (Input and Output)
7. กลุ่มการสั่งงานควบคุมไมโครโพรเซสเซอร์ทั่วไป (Basic CPU Control)

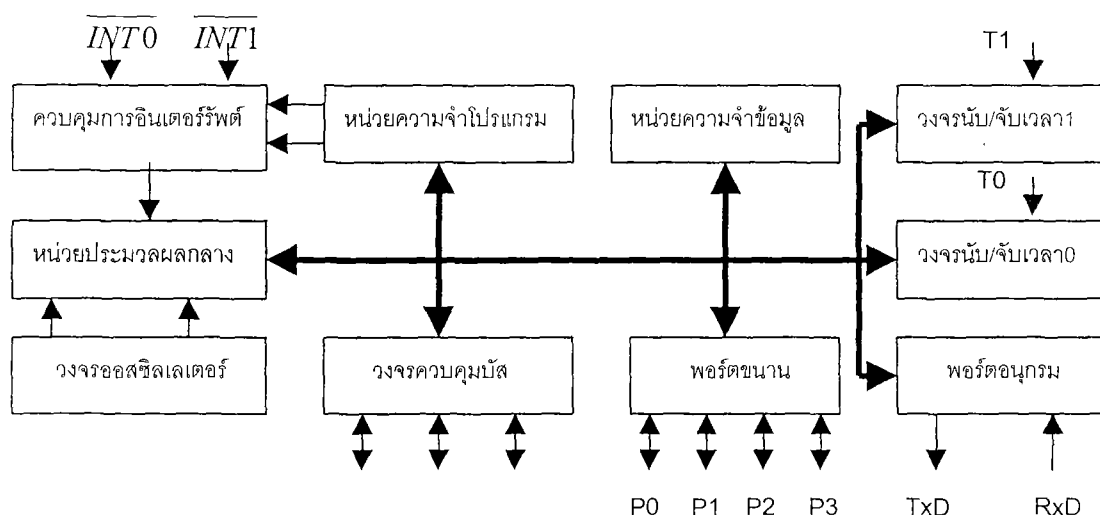
การทำงานของแต่ละคำสั่ง จะมีขีดความสามารถทำงานไปตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ ก็จะต้องทำการเขียนรหัสคำสั่งต่าง ๆ เรียงต่อกันเป็นกระบวนการที่จะสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องตามความต้องการ พร้อมกับเก็บรหัสคำสั่งเหล่านั้นเรียงลำดับไว้ในหน่วยความจำ เพื่อให้ซีพียูเรียกใช้รหัสคำสั่งเหล่านั้นเข้ามากระทำที่ละคำสั่งตามลำดับ เกิดเป็นกระบวนการทางข้อมูลได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์ วิธีการทำงานตามคำสั่งที่เรียงต่อกันเป็นกระบวนการต่าง ๆ นี้เรียกว่า การทำงานตามโปรแกรม รหัสคำสั่งที่เขียนเรียงต่อกันในหน่วยความจำก็เรียกว่า โปรแกรม (Program) ภาษาเขียนโปรแกรม (Programming Language) โปรแกรมที่มีรูปแบบเป็นรหัสคำสั่งของไมโครโพรเซสเซอร์เขียนเรียงต่อกันนั้นเรียกว่าเป็นโปรแกรมภาษาเครื่อง (Machine Language) เพราะรหัสคำสั่งต่าง ๆ เหล่านั้นเป็นรหัสที่จะสามารถรับรู้ และนำไปปฏิบัติได้เฉพาะเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่นนั้น หรือไมโครโพรเซสเซอร์นั้นเครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละรุ่นและไมโครโพรเซสเซอร์แต่ละเบอร์ก็จะมีภาษาเครื่องที่แตกต่างกันออกไป การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาเครื่องจึงเป็นเรื่องที่ยากมาก เพราะผู้เขียนจะไม่สามารถจดจำรหัสคำสั่งได้หมด และการตรวจแก้ก็ทำได้ยาก เพราะรหัสคำสั่งไม่สามารถสื่อความหมายกับผู้เขียนได้ เพื่อความสะดวกในการเขียนโปรแกรมจึงได้มีพัฒนาวิธีการใหม่ขึ้นมาแทน โดยใช้รหัสคำย่อในภาษาอังกฤษแทนรหัสคำสั่งที่เป็นภาษาเครื่องรหัสคำย่อเหล่านี้เรียกว่ารหัสนีโมนิก (Mnemonic Code) เมื่อนำรหัสนีโมนิกมาเขียนเรียงต่อกันเป็น โปรแกรมภาษาแอสเซมบลี (Assembly Language) โปรแกรมภาษาแอสเซมบลีนี้จะไม่สามารถสั่งงานให้ไมโครโพรเซสเซอร์ทำงานได้โดยตรง จึงต้องทำการแปลโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีให้เป็นรหัสภาษาเครื่องเสียก่อน เครื่องคอมพิวเตอร์จึงจะสามารถทำงานตามโปรแกรมภาษาเครื่องที่แปลออกมาได้แต่การแปลภาษาแอสเซมบลีให้เป็นภาษาเครื่องนั้นเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถทำได้โดยอัตโนมัติ โดยอาศัยโปรแกรมแปลที่เรียกว่าแอสเซมเบลเลอร์ (Assembler) ซึ่งเขียนขึ้นเฉพาะ ภาษาแอสเซมบลี ซึ่งเป็นภาษาระดับต่ำ (Low Level Language) ก็ยังมีภาษาอื่นๆ อีก เช่น ภาษาเบสิก (Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code : BASIC) ภาษาปาสคาล (Pascal) และภาษาซี (C Language) ซึ่งเป็นภาษาระดับสูง (High Level Language) ภาษาเหล่านี้ออกแบบมาให้คล้ายคลึงกับภาษามนุษย์ เพื่อให้ผู้เขียนสามารถอ่านและทำความเข้าใจได้ง่าย แต่ละภาษาจะมีกฎเกณฑ์และวิธีเขียนที่กำหนดขึ้นเป็นการเฉพาะ แต่ในที่สุดการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือไมโครโพรเซสเซอร์ก็ยังคงจะต้องทำงานตามรหัสคำสั่งที่เป็นโปรแกรมภาษาเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือไมโครโพรเซสเซอร์ก็ยังคงจะต้องทำงานตามรหัสคำสั่งที่เป็นโปรแกรมภาษาเครื่องโดยมีวิธีการที่แตกต่างกันอยู่ 2 วิธีด้วยกัน วิธีแรก ทำการแปลทีละคำสั่งแล้วทำตามคำสั่งนั้นทันทีที่โปรแกรมแปลแบบนี้เรียกว่า อินเทอร์พรีเตอร์ (Interpreter) เป็นวิธีการที่ภาษาเบสิกส่วนมากใช้วิธีที่สอง ทำการแปลโปรแกรมทั้งโปรแกรมให้เป็นภาษาเครื่องก่อนแล้วจึงนำโปรแกรมภาษาเครื่องนั้นไปใช้งานโปรแกรมแปลแบบนี้เรียกว่า คอมไพเลอร์ (Compiler) ภาษาปาสคาล และภาษาซี

3.4.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ประโยชน์ที่สำคัญอย่างหนึ่งของไมโครโพรเซสเซอร์ คือใช้ในงานระบบควบคุมแต่ระบบควบคุมที่ใช้ไมโครโพรเซสเซอร์นั้น จำเป็นต้องใช้วงจรอื่นๆ เป็นส่วนประกอบอีกหลายวงจร เช่น วงจรนับและจับเวลา (Counter & Timer Circuit) วงจรจัดการอินเทอร์รัปต์ (Interrupt Handler Circuit) วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล เป็นต้น หากต้องใช้ไอซีชิปแยกต่างหากเพื่อทำหน้าที่ต่างๆ เหล่านี้ ก็จะทำให้วงจรมีขนาดใหญ่ขึ้น และมีความเชื่อถือได้ลดลง จึงเกิดแนวคิดที่จะสร้างไมโครโพรเซสเซอร์ชนิดพิเศษขึ้น สำหรับใช้กับงานระบบควบคุมโดยเฉพาะ โดยการออกแบบให้มีวงจรประกอบต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับงานระบบควบคุมรวมไว้บนชิปเดียวกันและเรียกชื่อว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากระบบควบคุมส่วนใหญ่มีความต้องการใช้หน่วยความจำ ROM และ RAM ไม่มากนัก พอที่จะสร้างรวมอยู่บนชิปเดียวกันได้ ไมโครคอนโทรลเลอร์บางเบอร์จึงได้รวมเอาหน่วยความจำ ROM และ RAM ไว้บนชิปด้วยปัจจุบันไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางในเครื่องมือใช้เกือบทุกรูปแบบ เช่น เครื่องมือวัดต่าง ๆ เครื่องโทรสาร (FAX) โมเด็ม (MODEM) เครื่องพิมพ์เลเซอร์ เครื่องถ่ายภาพระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์ของรถยนต์ เครื่องวัดความดันโลหิต (ถวัลย์ ไกรโรจนานันท์. 2542 : 197 – 208)

3.4.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิตที่มีอุปกรณ์สนับสนุนประกอบอยู่ภายใน หลายอย่างได้แก่ หน่วยความจำ สำหรับเก็บข้อมูล หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม ตั้งเวลา/ ตัวนับ อุปกรณ์รับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

----3.4.4.1 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 โครงสร้างภายในพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆดังนี้ หน่วยความจำภายในสำหรับเก็บข้อมูลขนาด 128 ไบต์ (Internal data memory 128 byte) หน่วยความจำภายในสำหรับเก็บโปรแกรมขนาด 4 กิโลไบต์ (Internal program memory 4 Kbytes) อุปกรณ์ควบคุมการอินเทอร์รัปต์ (Interrupt Control Unit) ตัวตั้งเวลาและตัวนับขนาด 16 บิต 2 ชุด (Timer/Counter0 and Timer/Counter1) พอร์ตควบคุมการสื่อสารอนุกรมแบบ Full Duplex ซึ่งสามารถรับและส่งข้อมูลพร้อมกันได้ พอร์ตขนานสำหรับติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกจำนวน 4 พอร์ตๆละ 8 บิต วงจรผลิตสัญญาณนาฬิกาภายใน



ภาพประกอบ 29 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51

3.4.4.1.1 หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม (Internal Program Memory) หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมทำหน้าที่เก็บโปรแกรมที่ผู้ใช้เขียนขึ้นเพื่อควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยหน่วยความจำจะเป็นแบบ ROM มีความจุ 4 Kbytes (ตำแหน่ง 0000H – 0FFFH) ในการใช้งาน สามารถกำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เลือกใช้โปรแกรมที่เก็บอยู่ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำ (EPROM) ที่อยู่ภายนอกก็ได้ การเลือกการติดต่อทำได้โดยการป้อนสัญญาณควบคุมให้ที่ขา $\overline{EA}$ (External Access) ถ้าต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ติดต่อกับโปรแกรมที่อยู่ในหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะต่อขาเข้ากับลอจิก 1 ถ้าต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำภายนอกจะต่อขาเข้ากับลอจิก 0 การติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกจะติดต่อได้ทั้งหมด 64 Kbytes (ตำแหน่ง 0000H – FFFFH)

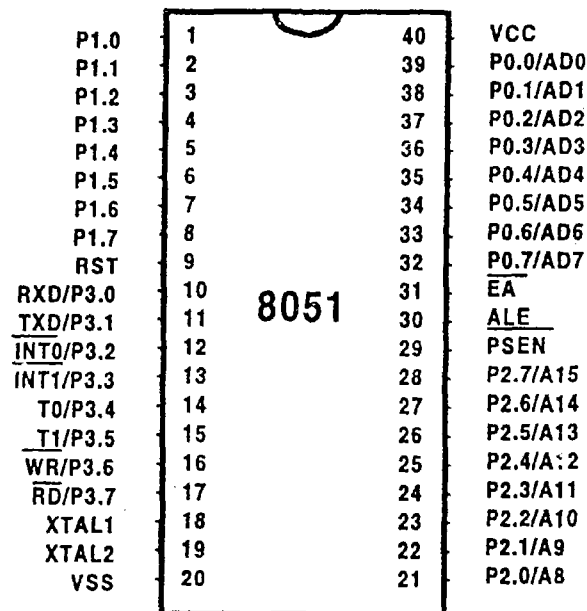
3.4.4.1.2 หน่วยความจำข้อมูลภายใน (Internal Data Memory) หน่วยความจำข้อมูลภายในทำหน้าที่เก็บข้อมูลทั่วไป และทำหน้าที่เป็นสแต็ก (Stack) บางส่วน

3.4.4.1.3 อุปกรณ์ควบคุมการอินเทอร์รัพต์ (Interrupt Control Unit) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการอินเทอร์รัพต์ได้จาก 6 แหล่งกำเนิด คือ สัญญาณจากภายนอก 2 สัญญาณจากตัว Timer0, Timer1 และ Timer2 และจากอุปกรณ์รับส่งข้อมูลแบบอนุกรม 1 สัญญาณ สัญญาณอินเทอร์รัพต์ที่เกิดขึ้นสามารถควบคุมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตอบรับหรือไม่ตอบรับก็ได้ นอกจากนี้ยังสามารถจัดลำดับความสำคัญของการอินเทอร์รัพต์ (Interrupt priority) จากสัญญาณต่างๆ ได้เป็น 2 ระดับแตกต่างกัน

3.4.4.1.4 ตัวตั้งเวลาและตัวนับ (Timer/Counter) ในไมโครคอนโทรลเลอร์ ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ตัวตั้งเวลา/ตัวนับ ขนาด 16 บิตจำนวน 2 ชุด คือ Timer 0 และ Timer 1 โดย Timer ทั้งหมดสามารถกำหนดให้ทำงานในลักษณะของตัวนับหรือตัวจับเวลาก็ได้ การทำงานในโหมดของตัวตั้งเวลา ค่าในรีจิสเตอร์จะเพิ่มขึ้นทุกๆ แมกซ์ซินไซเคิลโดย 1 แมกซ์ซินไซเคิลประกอบด้วยสัญญาณนาฬิกา 12 ลูก ดังนั้นอัตราการจับเวลาจะเป็น 1/12 เท่าของความถี่สัญญาณนาฬิกาของระบบ ค่าสูงสุดที่ตั้งได้คือ 2^{16} การทำงานในโหมดการนับ ค่าของการนับจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีสัญญาณนาฬิกาเข้ามาที่ขา T0 หรือ T1 เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 ความเร็วสูงสุดคือ 1/24 เท่าของสัญญาณนาฬิกา โดยสัญญาณที่เข้ามาที่ T0 หรือ T1 จะมี Duty Cycle เท่าใดก็ได้

3.4.4.1.5 พอร์ตอินพุตเอาต์พุต ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 ประกอบด้วยพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบ 2 ทิศทาง (Bidirectional) จำนวน 4 พอร์ต แต่ละพอร์ตมีอุปกรณ์แลตช์ข้อมูลและเอาต์พุตไดรเวอร์ประกอบอยู่ทางด้านเอาต์พุต และทางด้านอินพุตจะมีบัฟเฟอร์ (พอร์ตทั้ง 4 เป็นรีจิสเตอร์ชื่อ P0, P1, P2 และ P3) สามารถใช้งานแต่ละพอร์ตเป็นอินพุตหรือเอาต์พุตได้ตามต้องการ แต่ละบิตของพอร์ตสามารถเชื่อมต่อกับสัญญาณ TTL ได้โดยตรง ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกพอร์ต P0 และ P2 จะใช้สำหรับกำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำภายนอก โดยพอร์ต P0 จะเป็นตำแหน่งของหน่วยความจำด้านต่ำ (Low byte) และ P2 จะเป็นตำแหน่งของหน่วยความจำด้านสูง (High byte)

3.4.4.2 สัญญาณต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 เป็นไอซีขนาด 40 ขา ซึ่งมีสัญญาณต่างๆดังแสดงในภาพประกอบที่ 31



ภาพประกอบ 30 สัญญาณต่างๆของ MCS - 51

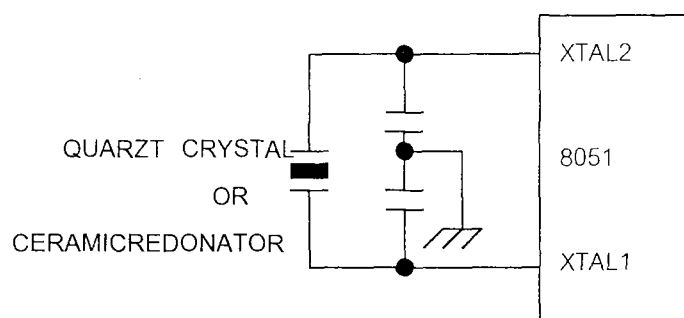
สัญญาณต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS - 51 สามารถจำแนกตามการทำงานเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มสัญญาณตำแหน่ง กลุ่มสัญญาณควบคุมเป็นสัญญาณควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ กลุ่มสัญญาณข้อมูลเป็นทางผ่านของข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับหน่วยความจำ หน้าที่และการใช้งานของสัญญาณต่างๆเป็นดังนี้

VCC สำหรับต่อกับไฟเลี้ยง 5 โวลต์

VSS สำหรับต่อกับกราวด์

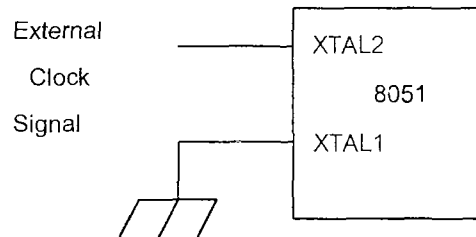
XTAL1 เป็นอินพุตของภาคขยายสัญญาณแบบอินเวอร์สของวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกา

XTAL2 เป็นเอาต์พุตของภาคขยายสัญญาณแบบอินเวอร์สของวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกา การต่อใช้งานของขา XTAL1 และ XTAL2 เพื่อสร้างวงจรผลิตสัญญาณให้กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้คริสตัลสามารถทำได้ดังภาพประกอบที่ 31



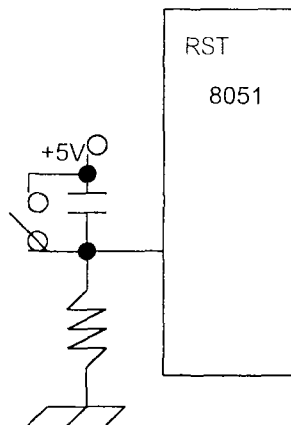
ภาพประกอบ 31 การต่อสัญญาณนาฬิกาที่ขา XTAL1 และ XTAL2

ถ้าต้องการใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอกจะต่อ XTAL1 ลงกราวด์ และต่อสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกเข้าที่ขา XTAL2 ดังภาพประกอบ 32



ภาพประกอบ 32 การใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก

RST เป็นสัญญาณรีเซ็ต ไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกรีเซ็ตเมื่อสัญญาณที่ขา RST นี้มีค่าเป็นลอจิก 1 นานไม่ต่ำกว่า 2 แมกซ์ซีไอเกิล การต่อขารีเซ็ตจะเป็นดังภาพประกอบที่ 33



ภาพประกอบ 33 การต่อสัญญาณรีเซ็ต

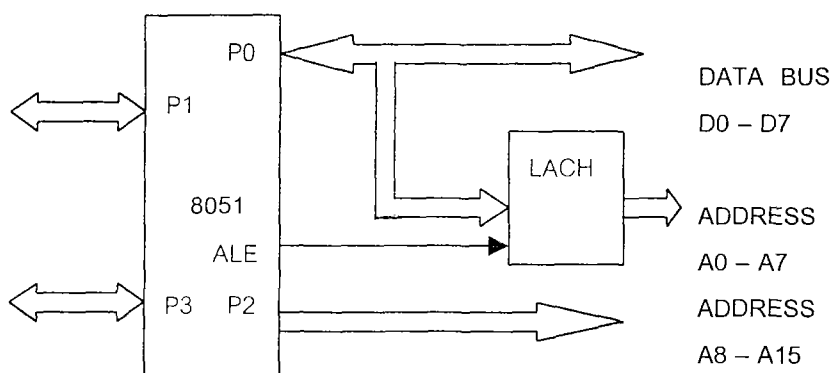
$\overline{\text{ALE/PROG}}$: (Address Latch Enable) เป็นสัญญาณเอาต์พุต ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งออกไปเป็นพัลส์เพื่อแลทช์ค่าตำแหน่งไบต์ต่ำที่อยู่พอร์ต P0 ในขณะที่ติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกสัญญาณนี้จะถูกส่งออกไปด้วยอัตราคงที่คือ 1/16 เท่าของความถี่สัญญาณนาฬิกาซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นสัญญาณนาฬิกาให้กับอุปกรณ์ภายนอกได้ สัญญาณพัลส์นี้จะถูกข้ามไป 1 พัลส์เมื่อมีการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก (External Data Memory) และสัญญาณนี้จะใช้เป็นอินพุตเพื่อควบคุมโปรแกรม PROM ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

$\overline{\text{PSEN}}$ (Program Store Enable) เป็นเอาต์พุต สำหรับส่งสัญญาณสโตรป (พัลส์ต่ำ) เพื่ออ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (External Program Memory) เมื่อซีพียูอ่านรหัส

คำสั่งจากหน่วยความจำภายนอก จะส่งสัญญาณสไตรปออกมา 2 ครั้งใน 1 แมชชีนไซเคิลแต่ สัญญาณสไตรปทั้ง 2 ครั้งจะถูกข้ามไปหากเป็นช่วงพีซียูติดต่อกับ External Data Memory

$\overline{EA}$ (External Access) เป็นสัญญาณอินพุต ใช้สำหรับควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ เลือกติดต่อกับโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำโปรแกรมภายใน หรือโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ หากให้ค่าลอจิก 1 ที่ขานี้จะเป็นการเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ หากต้องการให้พีซียูติดต่อกับหน่วยจำโปรแกรมภายนอกต้องต่อสัญญาณเข้ากับลอจิก 0 หรือ VSS

Port 0 เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทางแบบ Open drain ขนาด 8 บิต P0.1 – P0.7 เมื่อใช้เป็นเอาต์พุตสามารถต่อกับไอซี TTL ตระกูล LS ได้ 8 ตัว เมื่อต้องการใช้งานเป็นอินพุตต้องส่งค่าลอจิก 1 ออกไปที่พอร์ตก่อนเพื่อทำให้ลอยซึ่งจะเป็นอิมพีแดนซ์สูง พอร์ต P0 จะทำงานอีกหน้าที่หนึ่งคือ เป็นมัลติเพล็กซ์ของสัญญาณตำแหน่งด้านต่ำ และสัญญาณข้อมูลในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก การทำงานในลักษณะนี้จะใช้การพูลอัพ (Pull up) จากภายในที่สามารถจ่ายกระแสให้กับอินพุตของ TTL ได้ 8 ตัว นอกจากทำหน้าที่ดังกล่าวแล้ว พอร์ต P0 ยังใช้เป็นตัวรับข้อมูลในช่วงการโปรแกรมภายใน ROM หรือ EPROM ซึ่งจะต้องใช้พูลอัพจากภายนอกในขณะทำการตรวจสอบโปรแกรม การสร้างสัญญาณตำแหน่ง A0 – A7 และสัญญาณข้อมูล D0 – D7 ทำโดยใช้อุปกรณ์แลตซ์ ข้อมูลดังแสดงในภาพประกอบ 34



ภาพประกอบ 34 การสร้างสัญญาณแอดเดรสและสัญญาณข้อมูล

อุปกรณ์ที่นำมาใช้แลตซ์ตำแหน่ง A0 – A7 ที่ออกมาจากพอร์ต P0 คือไอซี 74LS373 ซึ่งเป็น 8 บิต แลตซ์สามารถนำมาต่อใช้งานได้

Port 1 เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตแบบ 2 ทางขนาด 8 บิต ที่มีพูลอัพอยู่ภายใน ในกรณีเอาต์พุตจะต่อกับอินพุตของ TTL ตระกูล LS ได้ 4 ตัว เมื่อต้องการใช้เป็นอินพุตต้องเริ่มต้นด้วยการส่งค่าลอจิก 1 ออกไปที่พอร์ตก่อน เพื่อทำให้เกิดพูลอัพภายใน เมื่อมีสัญญาณอินพุตเป็น 0 เข้ามาจะทำให้ พอร์ตจ่ายกระแสออกเนื่องจากการพูลอัพอยู่ภายใน นอกจากนี้พอร์ต P1 ยังทำหน้าที่รับตำแหน่งด้านต่ำในช่วงของการโปรแกรม EPROM และช่วงการตรวจสอบโปรแกรมใน ROM หรือ EPROM อีกด้วย

Port 2 เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตแบบ 2 ทางขนาด 8 บิต ที่มีพูลอัพภายใน ในกรณีเอาต์พุตจะต่อกับอินพุตของ TTL ตระกูล LS ได้ 4 ตัว เมื่อต้องการทำเป็นอินพุต ต้องเริ่มต้นด้วยการส่งค่าลอจิก 1 ออกที่พอร์ตก่อนเพื่อทำให้เกิดการพูลอัพภายใน เมื่อสัญญาณอินพุตเข้ามาเป็น 0 จะทำให้พอร์ต P2 จ่ายกระแสออกเนื่องจากการพูลอัพภายใน ในระหว่างการติดต่อกับโปรแกรมภายนอกหรือการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกที่มีการอ้างตำแหน่งแบบ 16 บิต พอร์ต P2 จะส่งตำแหน่งไบต์สูงออกไป ซึ่งการทำงานในลักษณะนี้จะมีการพูลอัพภายในอยู่ ในช่วงของการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกที่ใช้การอ้างตำแหน่งแบบ 8 บิต (คำสั่ง MOVX @ Ri) สัญญาณที่ขาของพอร์ต P2 จะมีค่าเท่ากับรีจิสเตอร์ P2 ที่อยู่ใน SFR นอกจากนี้พอร์ต P2 ยังทำหน้าที่รับตำแหน่งไบต์สูง ในช่วงของการโปรแกรม EPROM และการตรวจสอบโปรแกรมใน ROM และ EPROM อีกด้วย

Port 3 เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตแบบ 2 ทางขนาด 8 บิต ที่มีพูลอัพภายใน ในกรณีเอาต์พุตสามารถต่อกับอินพุตของ TTL ตระกูล LS ได้ 4 ตัว เมื่อต้องการทำเป็นอินพุต ต้องเริ่มต้นด้วยการส่งค่าลอจิก 1 ออกที่พอร์ตก่อนเพื่อทำให้เกิดการพูลอัพภายใน เมื่อสัญญาณอินพุตเข้ามาเป็น 0 จะทำให้พอร์ต P3 จ่ายกระแสออกเนื่องจากการพูลอัพภายใน นอกจากนี้ พอร์ต P3 ยังทำหน้าที่เป็นสัญญาณอื่นๆอีกดังตาราง 6

ตาราง 4 แสดงสัญญาณต่างๆของพอร์ต P3

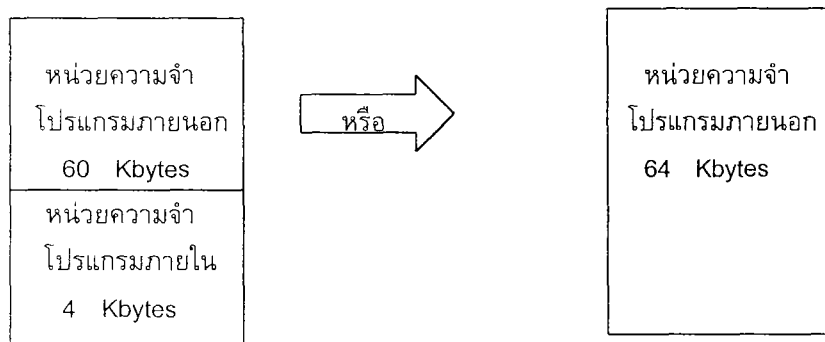
พอร์ต	สัญญาณ	หน้าที่
P3.0	RXD	อินพุตของพอร์ตอนุกรม
P3.1	TXD	เอาต์พุตของพอร์ตอนุกรม
P3.2	$\overline{INT0}$	สัญญาณอินเตอร์รัพจากภายนอกตัวที่ 0
P3.3	$\overline{INT1}$	สัญญาณอินเตอร์รัพจากภายนอกตัวที่ 1
P3.4	T0	อินพุตจากภายนอกของตัวตั้งเวลา 0
P3.5	T1	อินพุตจากภายนอกของตัวตั้งเวลา 1
P3.6	$\overline{WR}$	สัญญาณการเขียนข้อมูลออกไปภายนอก
P3.7	$\overline{RD}$	สัญญาณการอ่านข้อมูลจากภายนอกเข้ามา

เมื่อต้องการใช้งานพอร์ต P3 ให้ทำหน้าที่เป็นสัญญาณต่างๆ จะต้องเริ่มต้นด้วยการส่งลอจิก 1 ออกไปแลทซ์ที่พอร์ต P3 ก่อนเพื่อให้เกิดการพูลอัพภายใน หากกำหนดให้ค่าลอจิก 0 จะทำให้สัญญาณที่ขาต่างๆมีค่าเป็น 0 ตลอดเวลา

3.4.4.3 การจัดหน่วยความจำของ MCS – 51 การจัดหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 จะจัดแบ่งหน่วยความจำออกเป็น 3 กลุ่มคือ

3.4.4.3.1 หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม (Program Memory) หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมจะเป็นที่เก็บชุดคำสั่งต่างๆ และข้อมูลที่โปรแกรมใช้งาน หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

(Internal Program Memory) หน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (External Program Memory) การติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมที่อยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์หรือโปรแกรมที่เก็บอยู่ภายนอกได้ โดยมีจำนวนข้อมูลทั้งหมด 64 Kbytes การเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเลือกใช้งานได้ 2 ลักษณะคือเลือกใช้หน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีอยู่ 4 Kbytes รวมกับหน่วยความจำภายนอกอีก 60 Kbytes หรือเลือกใช้หน่วยความจำภายนอกทั้งหมด 64 Kbytes ได้ดังแสดงในภาพประกอบ 35



ภาพประกอบ 35 การเลือกหน่วยความจำโปรแกรม

จากภาพประกอบ 35 การจัดหน่วยความจำโปรแกรมได้จำนวนตำแหน่งของหน่วยความจำโปรแกรมทั้งหมดคือ 64 Kbytes (ตำแหน่ง 0000H ถึง FFFFH) หน่วยความจำโปรแกรมที่อยู่ในตัว มี 4 Kbytes (ตำแหน่ง 0000H ถึง 0FFFH) ในการใช้งานกำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายในหรือภายนอกได้โดยการควบคุมสัญญาณที่ขา $\overline{EA}$ (External Access) ทำให้ $\overline{EA}$ เป็น 1 จะเป็นการเลือกใช้หน่วยความจำภายใน หากทำให้ $\overline{EA}$ เป็น 0 เป็นการใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายนอก การเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมจะทำให้เฉพาะหน่วยความจำในตำแหน่ง 0000H - 0FFFH ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ซ้อนกันระหว่างหน่วยความจำภายในกับหน่วยความจำภายนอกเท่านั้น ถ้าโปรแกรมอยู่ในตำแหน่งที่เกินกว่า 0FFFH ขึ้นไปไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกอัตโนมัติ ไม่ว่าสัญญาณที่ขา $\overline{EA}$ จะมีค่าเป็น 0 หรือ 1 ก็ตาม

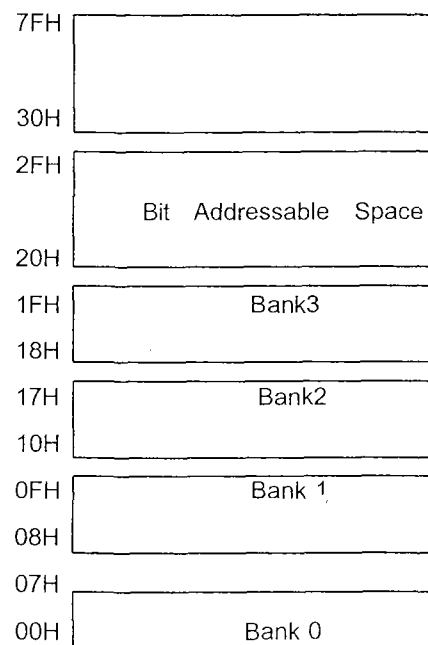
3.4.4.3.1.1 การเชื่อมต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (External Program Memory) ไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถเชื่อมต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้สูงสุด 64 Kbytes โดยใช้พอร์ต P0 ร่วมกับพอร์ต P2 เป็นสัญญาณตำแหน่งและพอร์ต P0 เป็นสัญญาณข้อมูล ซึ่งพอร์ต P0 จะทำงานในลักษณะของการมัลติเพล็กซ์ระหว่างตำแหน่งและข้อมูล ส่วนพอร์ต P2 จะทำหน้าที่เป็นสัญญาณตำแหน่งเพียงอย่างเดียว โดยมีสัญญาณที่ใช้ควบคุมการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมหดนี้ $\overline{EA}$, $\overline{ALE}$, $\overline{PSEN}$ ในการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมที่อยู่ภายนอก ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณ $\overline{PSEN}$ (Program Store Enable) ออกมาเป็น 0 ซึ่งใช้สัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกสัญญาณนี้จะนำไปต่อควบคุมการทำงานของ EPROM ต่อไป การติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกสัญญาณ $\overline{PSEN}$ จะแอกทีฟ 2 ครั้ง ใน 1 แมกซีนไซเคิล หมายถึงว่า ใน 1 แมกซีนไซเคิล ไมโครคอนโทรลเลอร์มีการอ่านคำสั่ง

เข้ามา 2 ไบต์ ยกเว้นในกรณีที่คำสั่งเป็นการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ใดอะแรมเวลา การอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

3.4.4.3.1.2 การเชื่อมต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกหลายตัว เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมได้สูงสุด 64 Kbytes ถ้าใช้ EPROM ขนาด 8 Kbytes ต้องใช้ EPROM จำนวน 8 ตัวเพื่อรวมกันให้ได้ 64 Kbytes

3.4.4.3.2 หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) หน่วยความจำข้อมูลทำหน้าที่เก็บข้อมูลต่างๆ ในขณะที่โปรแกรมทำงาน และทำหน้าที่เป็นสแต็กบางส่วน ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 จัดแบ่งหน่วยความจำข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำข้อมูลภายใน (Internal Data Memory) หน่วยความจำข้อมูลภายนอก (External Data Memory)

3.4.4.3.2.1 หน่วยความจำข้อมูลภายใน (Internal Data Memory) เบอร์ 8051 มีหน่วยความจำ 128 และเบอร์ 8052 มี 256 ไบต์ โดยหน่วยความจำ 128 ไบต์แรกเป็นหน่วยความจำที่ใช้ทั่วไปอยู่ที่ตำแหน่ง 00H – 7FH ในหน่วยความจำในตำแหน่งที่อยู่สูงขึ้นไป (ตำแหน่ง 80H – FFH) จะมีส่วนที่ซ้อนทับกันอยู่ระหว่างหน่วยความจำกับรีจิสเตอร์ พื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายในที่ตำแหน่ง 00H – 7FH หน่วยความจำในตำแหน่งที่อยู่สูงขึ้นไป (80H – FFH) จะมีส่วนที่ซ้อนทับกันอยู่ระหว่างหน่วยความจำกับรีจิสเตอร์เฉพาะ (Special Function Register)



ภาพประกอบ 36 การจัดแบ่งหน่วยความจำข้อมูลภายใน

พื้นที่ในตำแหน่ง 00H~1FH จำนวน 32ไบต์จะแบ่งออกเป็น 4กลุ่มที่เรียกว่าแบงก์(Bank)ในแต่ละแบงก์มี 8ตำแหน่งดังแสดงในภาพประกอบที่ พื้นที่ในแต่ละแบงก์ถูกใช้เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้งานทั่วไปโดย R0

อยู่ในตำแหน่งแรกของแบงก์ และ R7 อยู่ในตำแหน่งสุดท้ายของแบงก์ ในการใช้งานจะมีรีจิสเตอร์ R0 – R7 อยู่ชุดเดียวแต่สามารถกำหนดเลือกใช้พื้นที่ของรีจิสเตอร์ R0 – R7 ในแบงก์ต่างๆได้ดังตาราง 7

ตาราง 5 แสดงตำแหน่งของรีจิสเตอร์ R0 – R7 ในแบงก์ต่างๆ

รีจิสเตอร์แบงก์	รีจิสเตอร์	ตำแหน่ง
0	R0 – R7	00 – 07
1	R0 – R7	08 – 0F
2	R0 – R7	10 – 17
3	R0 – R7	18 – 1F

การเลือกตำแหน่งที่ใช้งานของรีจิสเตอร์ R0 – R7 จะกำหนดจากบิต RS0 และ RS1 ที่อยู่ในตัวรีจิสเตอร์ PSW พื้นที่ในตำแหน่ง 20H – 2FH เป็นส่วนที่สามารถใช้งานในลักษณะไบต์หรือบิตได้ คือสามารถอ้างตำแหน่งแบบบิตได้โดยตรง ซึ่งมีจำนวน 128 บิต ตำแหน่งของ 00H – 7FH โดยกำหนดตำแหน่งบิต 00 คือข้อมูลของบิตต่ำสุดในตำแหน่ง 20H และข้อมูลบิตสูงสุดในตำแหน่งของบิต 7FH การใช้การอ้างตำแหน่งแบบบิตจะทำให้การทำงานได้รวดเร็วขึ้น ซึ่งคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 ที่ออกแบบมาเพื่องานควบคุมโดยเฉพาะ ตำแหน่งต่างๆของบิตแสดงในภาพประกอบ 37

ตำแหน่ง RAM	MSB				LSB			
2FH	7FH	7EH	7DH	7CH	7BH	7AH	79H	78H
2EH	77H	76H	75H	74H	73H	72H	71H	70H
2DH	6FH	6EH	6DH	6CH	6BH	6AH	69H	68H
2CH	67H	66H	65H	64H	63H	62H	61H	60H
2BH	5FH	5EH	5DH	5CH	5BH	5AH	59H	58H
2AH	57H	56H	55H	54H	53H	52H	51H	50H
29H	4FH	4EH	4DH	4CH	4BH	4AH	49H	48H
28H	47H	46H	45H	44H	43H	42H	41H	40H
27H	3FH	3EH	3DH	3CH	3BH	3AH	39H	38H
26H	37H	36H	35H	34H	33H	32H	31H	30H
25H	2FH	2EH	2DH	2CH	2BH	2AH	29H	28H
24H	27H	26H	25H	24H	23H	22H	21H	20H
23H	1FH	1EH	1DH	1CH	1BH	1AH	19H	18H
22H	17H	16H	15H	14H	13H	12H	11H	10H
21H	0FH	0EH	0DH	0CH	0BH	0AH	09H	08H
20H	07H	06H	05H	04H	03H	02H	01H	00H

ภาพประกอบ 37 ตำแหน่งหน่วยความจำที่อ้างถึงตำแหน่งแบบบิตได้

พื้นที่บริเวณตำแหน่ง 30H – 7FH เป็นพื้นที่ที่ใช้งานทั่วไปการติดต่อกับข้อมูลในตำแหน่งต่างๆในส่วนนี้สามารถอ้างอิงตำแหน่งข้อมูลได้ในลักษณะของไบต์เท่านั้น ในพื้นที่ส่วนนี้อาจใช้เป็นสแต็กได้

หน่วยความจำข้อมูลภายนอก (External Data Memory) ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถต่อกับหน่วยความจำหน่วยความจำภายนอกได้ 64 Kbytes เพิ่มเติมจากหน่วยความจำข้อมูลไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะต่อหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเมื่อต้องการใช้พื้นที่ในการเก็บข้อมูลในขณะที่โปรแกรมทำงานจำนวนมาก ตำแหน่งของหน่วยความจำข้อมูลภายนอกอยู่ที่ 0000H – FFFFH ในการใช้งานสามารถแบ่งส่วนหนึ่งของพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายนอกมาใช้เป็นอินพุตหรือพอร์ตเอาต์พุตก็ได้

3.4.4.3.2.2 การต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก การติดต่อบริการข้อมูลกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกจะใช้คำสั่ง MOVX P0, P2, $\overline{RD}$, $\overline{WR}$ โดยพอร์ต P0 จะเป็นสัญญาณตำแหน่งไบต์ต่ำหรือข้อมูล ส่วนพอร์ต P2 เป็นสัญญาณตำแหน่งไบต์สูงสัญญาณ $\overline{RD}$ เป็นสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอก จะแอกทีฟเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอก หน่วยความจำข้อมูลภายนอกที่นำมาใช้ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 นั้นส่วนใหญ่ต่อ RAM แบบสแตติกส์ 6264

3.4.4.4 รีจิสเตอร์เฉพาะ (Special Function Register) ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 มีรีจิสเตอร์ต่างๆที่ทำหน้าที่เฉพาะอย่างเรียกว่า Special Function Register (SFR) อยู่หลายตัวซึ่งอยู่ในตำแหน่งของหน่วยความจำตั้งแต่ 80H ขึ้นไป การติดต่อกับรีจิสเตอร์เหล่านี้สามารถเข้าถึงตำแหน่งที่อยู่ได้โดยตรง (Direct addressin) และบางตัวสามารถอ้างตำแหน่งข้อมูลแบบบิต (อูตม จิน ประดับ. 2541 : 1-30)

ไอซี 8255 พีพีไอ (Programmable Peripheral Interface : PPI) เป็น LSI ขนาด 40 ขา ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมต่อ (Interface) ระหว่างไมโครโพรเซสเซอร์กับอุปกรณ์ภายนอกต่างๆ โดยในตัว 8255 จะมีพอร์ตสำหรับเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกแบบขนานอยู่ 3 พอร์ต แต่ละ 8 บิต ซึ่งแต่ละพอร์ตสามารถกำหนดเป็นอินพุตหรือเอาต์พุตได้ด้วยโปรแกรม ซึ่งมีการทำงานของส่วนประกอบต่างๆดังนี้ ส่วนประกอบของการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ Group A ประกอบด้วย Port A (PA0 – PA7) Port C_{high} (PC 4 – PC7) และ Group B ประกอบด้วย Port B (PB0 – PB7) Port C_{Low} (PC 0 – PC3) สัญญาณที่ออกจากพอร์ตทั้ง 3 ของ ไอซี 8255 สามารถนำไปเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกต่างๆ ได้เช่นเดียวกับไอซี TTL Group A Control และ Group B Control เป็นส่วนควบคุมการทำงานของพอร์ตที่อยู่ใน Group A และ Group B ตามลำดับ Data Bus Buffer เป็นบัฟเฟอร์แบบ 3 สถานะ ของบัสข้อมูลที่เชื่อมต่อกับไมโครโพรเซสเซอร์ การรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครโพรเซสเซอร์กับ ไอซี 8255 จะผ่านทาง Data Bus Buffer Read / Write Control Logic เป็นบล็อกของการควบคุมการอ่านและเขียนข้อมูลกับรีจิสเตอร์ต่างๆ ที่อยู่ภายในไอซี 8255 รวมถึงการควบคุมการทำงานภายในตัวไอซี 8255 ด้วย Do – D7 เป็นบัสข้อมูลสำหรับรับส่งข้อมูลระหว่าง ไอซี 8255 กับไมโครโพรเซสเซอร์ CS (Chip Select input) เมื่อขานี้มีค่าลอจิก 0 ไมโครโพรเซสเซอร์สามารถติดต่อกับ 8255 ได้ RD (Read input) เป็นสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลจากไอซี 8255 เมื่อขานี้มีค่าลอจิก 0 พร้อมกับ CS ไอซี 8255 จะส่งข้อมูลออกมาทางบัสข้อมูล WR (Write input) เป็นสัญญาณควบคุมการบันทึกข้อมูลลงในไอซี 8255 เมื่อขานี้มีค่าลอจิก 0 พร้อมกับ CS ข้อมูลที่อยู่บนบัสข้อมูล D0-D7 จะถูกเขียนลงในไอซี 8255 A0-A1 (Address bus) เป็นสัญญาณการเลือกพอร์ตภายในไอซี 8255 ใช้สำหรับกำหนดตำแหน่ง

ของพอร์ตภายใน 8255 ที่ไมโครโพรเซสเซอร์ต้องการติดต่อกับ RESET เมื่อขานี้มีค่าลอจิก 1 จะทำให้ไอซี 8255 จะอยู่ในช่วงรีเซ็ต พอร์ตทุกพอร์ตจะอยู่ในโหมดของอินพุตพอร์ต

PA0-PA7 เป็นพอร์ตข้อมูลที่ใช้สำหรับต่อกับอุปกรณ์ภายนอก

PB0-PB7 เป็นพอร์ตข้อมูลที่ใช้สำหรับต่อกับอุปกรณ์ภายนอก

PC0-PC7 เป็นพอร์ตข้อมูลที่ใช้สำหรับต่อกับอุปกรณ์ภายนอก

VCC ไฟบวก 5 โวลต์

GND กราวด์

การติดต่อกับพอร์ตต่างๆของไอซี 8255ภายในไอซี 8255 ประกอบด้วยพอร์ตภายใน 4 พอร์ต คือ A,B,C และ Control การเลือกติดต่อกับพอร์ตใดจะขึ้นอยู่กับ สัญญาณที่ขา A0 และ A1 ดังตาราง 6

ตาราง 6 การเลือกพอร์ตของไอซีไอซี 8255

A1	A0	Port ที่ติดต่อ
0	0	A
0	1	B
1	0	C
1	1	Control

การติดต่อกับพอร์ตต่างๆจะมีลักษณะการทำงานตามสัญญาณต่างๆ ที่เข้ามาดังตาราง 7

ตาราง 7 การทำงานกับพอร์ตต่างๆของไอซี 8255

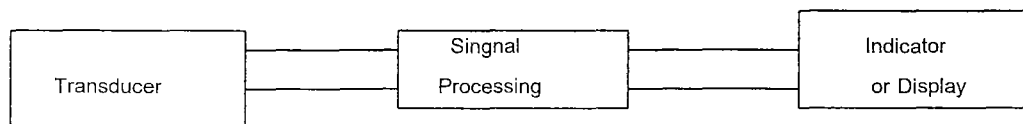
CS	RD	WR	A1	A0	OPERATION
0	1	0	0	0	Write PORT A data
0	0	1	0	0	Read PORT A data
0	1	0	0	1	Write PORT B data
0	0	1	0	1	Read PORT B data
0	1	0	1	0	Write PORT C data
0	0	1	1	0	Read PORT C data
0	1	0	1	1	Write control word
0	0	1	1	1	Illegal read register
1	x	x	x	x	Data Bus >> 3 – State

เมื่อสัญญาณ CS มีค่าเป็น 1 ตัวไอซี 8255 จะไม่ทำงานแต่พอร์ตเอาต์พุตยังคงมีค่าค้างอยู่และบัสข้อมูล D0 – D7 (อุดม จินประดับ. 2541. 197-200)

3.5 ชุดควบคุม

ชุดควบคุม (Control) ในการที่จะทำการอ่านข้อมูลจากเครื่องมือวัดหลายๆตัวในเวลาเดียวกันนั้นเป็นการยากในทางปฏิบัติ รวมทั้งการจัดเก็บข้อมูล และความแน่นอนในการอ่าน จึงใช้หลักการทำงานของคอมพิวเตอร์ หรือ ไมโครโพรเซสเซอร์ มาควบคุมแทน โดยการใช้หลักการของสแกนเนอร์ (Scanner) ซึ่งมีที่มาจากการพัฒนาทางด้านเครื่องมือวัด (Instrument) มีดังนี้

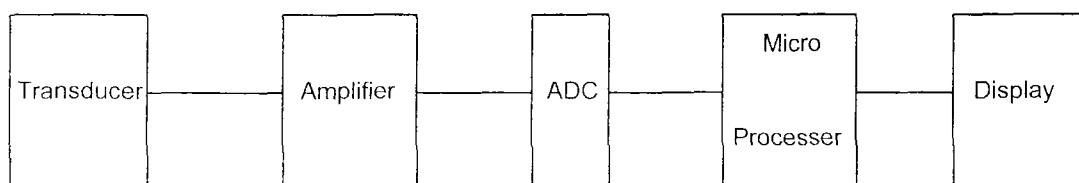
3.5.1 ระบบเครื่องมือวัด (Instrumentation System) เป็นระบบการวัดที่มีการอ่านเพียงช่อง เดียวเท่านั้น ซึ่งสามารถแบ่งชนิดได้ดังนี้



ภาพประกอบ 38 แผนภูมิระบบเครื่องมือวัด

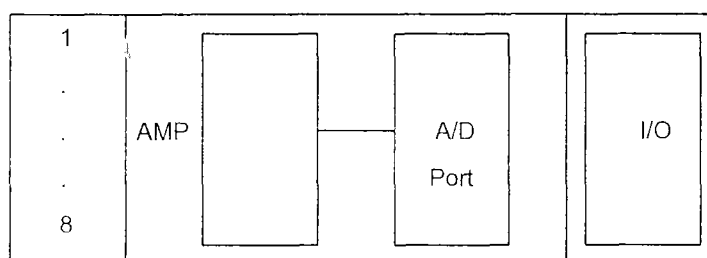
3.5.1.1 ระบบเครื่องมือวัดแบบคลาสสิก (Classical Instrumentation System) ในระบบนี้ Display จะเป็นระบบเส้นหรือความเข้มไม่สามารถอ่านค่าได้แน่นอน

3.5.1.2 ระบบเครื่องมือวัดแบบโมเดิร์น (Modern Instrumentation System) เป็นระบบการวัดที่มีการขบวนการ โดยใช้ ไมโครโพรเซสเซอร์ มาช่วยและสามารถ แสดงผล เป็นตัวเลขที่แน่นอน สะดวกแก่การอ่านแต่จำกัดการอ่านเพียงจุดเดียว



ภาพประกอบ 39 ระบบเครื่องมือวัดแบบโมเดิร์น

3.5.2 ระบบการได้มาของข้อมูล (Data Acquisition System) เป็นการประยุกต์จาก ขบวนการให้อ่านได้หลาย ช่อง และรวดเร็ว โดยมีส่วนประกอบ ดังนี้



Transducer

Scanner

Interface

ภาพประกอบ 40 แสดง ระบบการได้มาของข้อมูล

3.5.3 การทำงานของการได้มาของข้อมูล

3.5.3.1 ระบบการได้มาของข้อมูล เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานด้านฟิสิกส์ให้เป็นพลังงานด้านไฟฟ้า เช่น เทอร์โมคัปเปิล

แรงเคลื่อนไฟฟ้า 0 – 5 โวลต์ (หรือ 0 – 10 โวลต์)

กระแส 4 – 20 มิลลิแอมป์

ส่วนอีกประเภทหนึ่ง ซึ่งไม่สามารถกำเนิดไฟฟ้าได้ด้วยตัวเอง เช่น RTD แต่จะเปลี่ยนค่าความต้านทานไปตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป

3.5.3.2 วงจรขยายสัญญาณ เพื่อขยายสัญญาณให้แรงพอจะนำไปป้อนให้กับภาค ADC ได้ ซึ่ง วงจรขยาย จะขยายสัญญาณ ที่ส่งมาจาก ให้ได้เท่ากับ 1 – 5 โวลต์ หรือ 4 – 20 มิลลิแอมป์

3.5.3.3 ADC เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแอนะล็อก เป็น ดิจิตอล แล้วจึงส่งให้กับ ขาอินพุตและเอาต์พุต (I/O Port) ทั้งนี้เพื่อให้ คอมพิวเตอร์ สามารถอ่านค่าที่ได้จากการทำงานแบบแอนะล็อก ซึ่งความละเอียดหรือความแม่นยำ ขึ้นอยู่กับ A/D นั้นเป็นอย่างมาก

A/D ขนาด 8 บิต มีความละเอียดถึง 256 ค่า

A/D ขนาด 12 บิต มีความละเอียดถึง 4096 ค่า

ตาราง 8 แสดง A/D ขนาด 12 บิต อินพุต 0 – 5 โวลต์

บิต	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Decimal												
Weight	2048	1024	512	256	128	64	32	16	8	4	2	1

ความละเอียดขนาด 8 บิต = 256 ค่า

ความละเอียดขนาด 9 บิต = 512 ค่า

ความละเอียดขนาด 10 บิต = 1024 ค่า

ความละเอียดขนาด 11 บิต = 2048 ค่า

ความละเอียดขนาด 12 บิต = 4096 ค่า

$$\text{Precision} = \frac{5V}{4096} = 0.00122$$

$$\text{ถ้า } V_{in} = 2.5 V.$$

$$= \frac{2.5 V.}{0.0012}$$

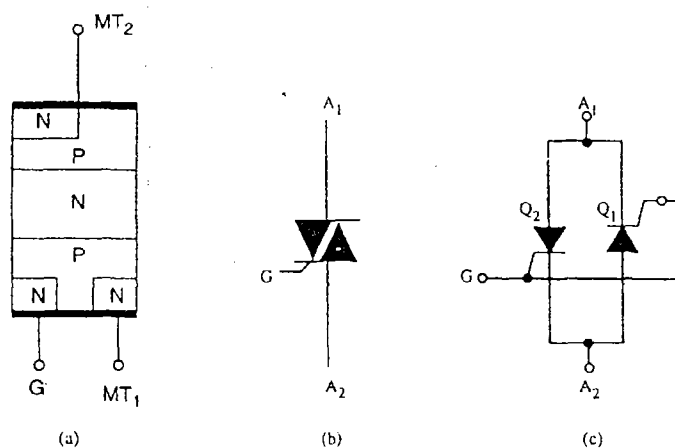
$$= 2048$$

2048 ตรงกับ บิต ที่ 11 ดังนั้น บิต 11 บิตเดียว

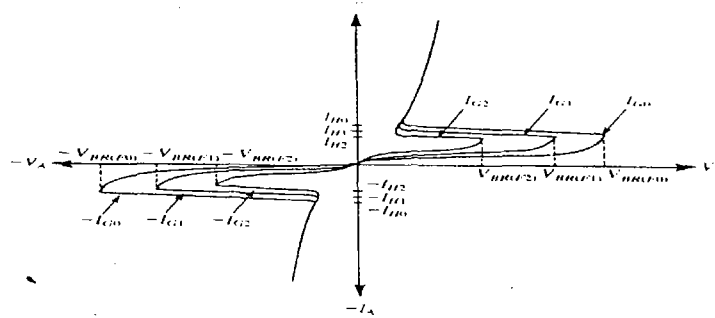
I/O Port จะทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ในการอ่าน และเขียนเป็นจังหวะซึ่งรวมถึง การควบคุม การควบคุม เป็นผลลัพธ์จากการประมวลผลของการอ่านค่า โดย Data Acquisition และทำการประมวลผลตามเงื่อนไขเทียบกับค่า Setpoint ที่กำหนด เมื่อได้ผลลัพธ์ จึงนำกลับมา ควบคุม

เพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ชนิดของการ ควบคุม สามารถแบ่งได้เป็นการควบคุมทางดิจิทัล และ การควบคุมทางแอนะล็อก โดยทั้ง 2 ชนิด สามารถทำการควบคุมได้ทั้งแบบ Open-Loop และ Close - Loop

การควบคุมทางดิจิทัล (Digital Control) สามารถควบคุมทาง ได้เพียงการ เปิด - ปิด เท่านั้น และจำกัดอยู่ที่ค่าโวลต์ขาออกมีระดับต่ำ คือระดับ สูง = 5 โวลต์ และ ระดับต่ำ = 0 V สามารถ นำไปควบคุมประเภท สวิตช์ เปิด - ปิด และอาจจะนำไปควบคุม ให้ละเอียดได้โดยการกำหนด สัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (Pulse) ให้มีความสอดคล้องกับค่าของกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานที่ได้รับการควบคุมทาง ความกว้างของสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (Pulse Width) การควบคุมทางแอนะล็อก (Analog Control) เป็นการควบคุม ที่ง่ายเพราะขึ้นอยู่กับ การขยายของกำลังไฟฟ้า ว่าเป็นกี่เท่าของสัญญาณอินพุต ทั้งค่าแรง เคลื่อนไฟฟ้า และ กระแส การควบคุม แบบนี้ ได้การควบคุมเชิงเส้น ที่ง่ายจึงนิยมใช้กันทั่วไป เช่นการ ควบคุม ความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 50 โวลต์ สามารถ ควบคุมความเร็วได้โดย V_{in} การควบคุมอีก แบบหนึ่งที่นิยมใช้กันมากคือ การการควบคุม โดยใช้ DAC เป็นการเปลี่ยนค่าทางด้านดิจิทัล เป็น แอนะล็อก แล้วนำค่าที่ได้ไปขยาย หรือผ่าน Buffer เพื่อทำให้ได้มาตรฐานในการวัด คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า ไทแร็ก (Triac) มีขั้วแอโนด 1 แอโนด 2 และมีการจุดชนวนเกต มีโครงสร้างดังภาพประกอบ 41(a) และภาพประกอบ 41 (b) แสดงสัญลักษณ์ของไทแร็ก

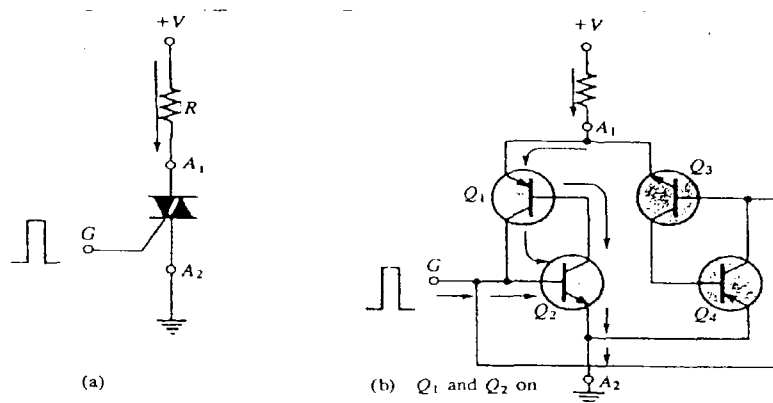


ภาพประกอบ 41 แสดงโครงสร้าง สัญลักษณ์ของไทแร็ก



ภาพประกอบ 42 แสดงกราฟลักษณะสมบัติของไทรแอก

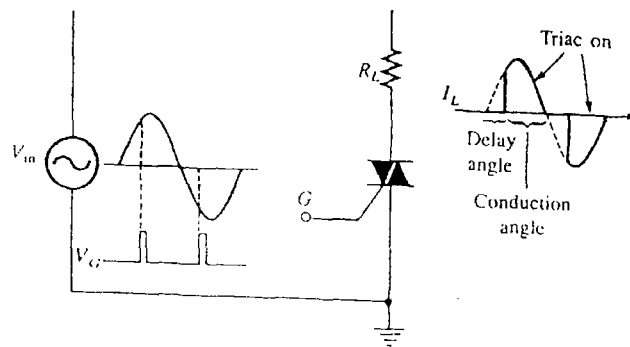
จากกราฟลักษณะสมบัติของไทรแอก จะเห็นว่าเมื่อให้แรงดันไบแอสตรงกับไทรแอก (V_{BR}) โดยไม่ให้เกิดเกินกว่าค่าแรงดันพังทลาย $V_{BR(FO)}$ และจ่ายกระแสบวก (I_G) ให้กับเกตของไทรแอกจะทำให้ ไทรแอกนำกระแสได้โดยกระแสจะไหลจากขั้ว A_1 ไปยังขั้ว A_2 และเมื่อป้อนแรงดันไบแอสกลับให้กับไทรแอก ($-V_{BR}$) โดยไม่ให้เกิดเกินกว่าค่าแรงดันพังทลายจากกราฟคือ $-V_{BR(FO)}$ สามารถจ่ายกระแสลบ ($-I_G$) เพื่อจุดชนวนไทรแอกให้นำกระแสได้เช่นกัน แต่กระแสจะไหลจากขั้ว A_1 ไปยัง A_2 การจุดชนวนไทรแอกไม่ว่าจะจุดชนวนเกิดเมื่อไทรแอกได้รับแรงดันไบแอสตรงหรือไบแอสกลับก็ตาม สามารถจุดชนวนเกิดได้ 2 วิธี คือ จุดชนวนด้วยกระแสเกตบวกหรือกระแสเกตลบก็ได้ ดังเช่นภาพประกอบที่ 42 (a) ให้ได้รับไบแอสตรงและจุดชนวนด้วยกระแสเกตบวก ไทรแอกก็ทำงานได้มีกระแสไหลจาก A_1 ไปยัง A_2 ภาพประกอบที่ 43(a)



ภาพประกอบ 43 แสดงการนำกระแสได้ 2 ทางของไทรแอก เมื่อได้รับการจุดชนวนด้วยกระแสเกตบวก

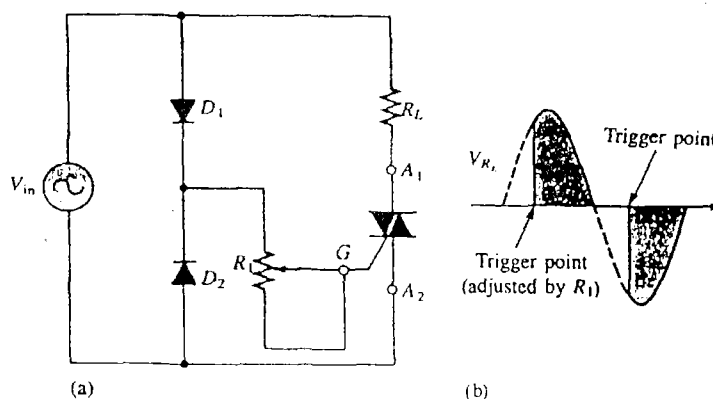
จากภาพประกอบ 43 จะพบว่า เมื่อกระแสแอโนดไหลจากขั้ว A_1 ไปยัง A_2 โครงสร้างภายในของไทรแอกทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 จะทำงาน แต่เมื่อควบคุมให้ไทรแอกมีกระแสแอโนดไหลกลับทางดังภาพประกอบที่ 46(c) การทำงานของโครงสร้างภายในจะเกิดจากการนำกระแสของทรานซิสเตอร์ Q_3 และ Q_4

แทนส่วนทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 จะหยุดนำกระแส การนำไทรแอกไปใช้งานที่นิยมมากที่สุดคือการนำไปใช้ควบคุมกำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่โหลดเช่นควบคุมความสว่างของหลอดไฟฟ้าหรือวงจรหรี่ไฟ ควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ควบคุมความร้อนของลวดความร้อนเช่นเตาอบไฟฟ้า เตาหลอมโลหะ เป็นต้น ลักษณะการทำงานของไทรแอกเพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้ากระแสสลับนั้น ใช้หลักการการนำกระแสได้สองทาง ดังนั้นจึงทำงานได้ทั้งในไซเคิลบวกและไซเคิลลบของไฟสลับ วงจรควบคุมเฟสที่ใช้ไทรแอกเบื้องต้นแสดงในภาพประกอบ 44



ภาพประกอบ 44 แสดงวงจรควบคุมเฟสที่ใช้ไทรแอก

วงจรควบคุมเฟสที่ใช้ไทรแอกนั้น สามารถสร้างสัญญาณจุดชนวนเกิดอย่างง่ายได้ โดยต่อไดโอด D_1 และ D_2 เพื่อแปลงไฟสลับและใช้ R_1 ซึ่งเป็นตัวต้านทานปรับค่าได้ปรับขนาดของสัญญาณจุดชนวนเกิดที่มุมนำกระแสต่างๆ วงจรควบคุมเฟสที่ใช้ไทรแอก และรูปคลื่นสัญญาณไฟสลับตกคร่อมโหลดแสดงในภาพประกอบ 45 (a), (b) (นภัทร วัฒนเทพินทร์.2538. 275 - 278)



ภาพประกอบ 45 วงจรควบคุมเฟสที่ใช้ไทรแอกและวงจรจุดชนวนเกิดของไทรแอก

3.6 ชุดแสดงผล

แอลซีดี (Liquid Crystal Display : LCD) เป็นที่นิยมกันอย่างมาก สำหรับการแสดงผลในเครื่องใช้ต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจากมีความเหมาะสมด้วยประการทั้งปวง ทั้งในด้านของการกินกระแสต่ำ สามารถแสดงผลเป็นตัวอักษรและด้วยตัวเลข หรือแสดงเป็นกราฟฟิคได้ จะติดปัญหาก็คือในด้านวงจร ซึ่งมีระบบการทำงานที่ซับซ้อน และหาอุปกรณ์ได้ค่อนข้างยาก แต่ขณะนี้ผู้ผลิต แอลซีดี จะทำรุ่นที่เป็น แอลซีดี โมดูลออกมา คือเป็น โมดูล ที่มีตัว แอลซีดี และวงจรควบคุมมาให้พร้อม แอลซีเอ็ม (LCM) ซึ่งทำให้ผู้ใช้สามารถต่อเข้ากับระบบไมโครโพรเซสเซอร์ได้ง่าย และสะดวกสำหรับการเขียนโปรแกรม รวมทั้งมีจำหน่ายกันอย่างกว้างขวางและมีราคาที่เหมาะสม ทำให้ผู้ใช้ทางด้านไมโครโพรเซสเซอร์หันมาใช้แผงแสดงด้วย แอลซีดี โมดูลกันมากขึ้น แอลซีดี โมดูล มีอยู่มากมายหลายรุ่น และมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลักคือ แบบ Dot Matrix และ Graphic โดยแบบ Dot Matrix จะแสดงออกเป็นตัวอักษรขนาด 5 x8 Dot และมีจำนวนอักษรและบรรทัดแตกต่างกันไปในแต่ละรุ่น ส่วนแบบ กราฟฟิค จะสามารถแสดงผลในแบบ BTT-MAP คือจะสร้างเป็นภาพใดๆ ก็ได้ตามต้องการ แนวทางในการใช้งานของทั้ง 2 แบบ จะมีลักษณะใกล้เคียงกัน การใช้งานโดยทั่วไปมักจะใช้แบบ Dot Matrix มากกว่า เนื่องจากมีราคาถูก และเพียงพอต่องานส่วนใหญ่ และในที่นี้จะกล่าวถึงการใช้งานกับ Dot Matrix เท่านั้น คุณสมบัติของ Dot Matrix แอลซีดี โมดูล สามารถสรุปได้ มีให้เลือกหลายรุ่นตามการใช้งาน โดยมีจำนวนตัวอักษรและบรรทัดแตกต่างกันไป ตัวอักษรแสดงด้วย Dot Matrix ขนาด 5x8 Dot สามารถต่อเข้ากับระบบไมโครโพรเซสเซอร์ได้ 2 ลักษณะ คือแบบ Memory Map (20 Pin LCD Bus) ไอซี 8255 Port (26 Pin Bus) โดยกรณี 26 pin 8255 bus จะใช้แผ่น PCB(DMCAD) เป็นตัว Adapter ทำให้เป็นไอซี 8255 bus อีกที่ การใช้งานง่ายและสะดวก ระบบไมโครโพรเซสเซอร์เพียงแต่ส่งข้อมูลให้กับ แอลซีดี โมดูล ข้อความก็จะปรากฏบนแผงแสดง และจะคงค้างไว้ตลอด ทำให้ไม่ต้องเสียเวลาหลักของระบบไมโครโพรเซสเซอร์ มีคำสั่งพิเศษสำหรับอำนวยความสะดวกมากมายเช่น Clear Display ,Home Cursor, On Off Cursor, Blink Character และอื่นๆ สามารถแสดงผลเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษและตัวเลขได้ 160 ตัว และสัญลักษณ์พิเศษอีก 32 ตัว รวมทั้งสามารถกำหนดอักษรที่ออกแบบเองได้ 8 ตัว กินกระแสต่ำ และมีน้ำหนักเบา รวมทั้งการทำงานได้ด้วยไฟเลี้ยงระดับ 5 โวลต์ เท่านั้น

3.6.1 การต่อเข้ากับระบบไมโครโพรเซสเซอร์

แอลซีดี โมดูล จะต่อเข้ากับระบบไมโครโพรเซสเซอร์ได้ 2 ลักษณะ คือ Memory MAP โดยผ่าน แอลซีดี บัส ขนาด 20 ขา และแบบ I/O port โดยผ่านไอซี 8255 บัส 26 pin ซึ่งทั้งสองแบบนี้จะมีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกันไป โดยแต่ละแบบจะมีหลักการดังนี้

3.6.1.1 การต่อแบบ เมมโมรี แมป (Memory Map) สามารถต่อเข้ากับ ชิพ เบอร์ต่างๆได้ เช่น ไอซี 8051 หรือ Z80 โดยจะทำให้ระบบไมโครโพรเซสเซอร์มองเห็น แอลซีดี โมดูลในลักษณะของ Memory ได้ทันที ผู้ใช้สามารถเขียนและอ่านข้อมูลจาก แอลซีดี โมดูล ทำให้มองเสมือนว่าเป็น Memory Buffer ไปได้ เนื่องจากสามารถอ่านข้อมูลกลับได้จึงทำให้สามารถตรวจสอบ Flag ความพร้อมในขณะที่ แอลซีดี โมดูล กำลังทำงานได้ ใช้ได้กับบอร์ดที่มี แอลซีดี บัส มาให้พร้อมเท่านั้น ทำให้กินพื้นที่ของหน่วยความจำไปส่วนหนึ่ง และต้องการ ดีโค้ด ละเอียดพอควร การจัดขาสัญญาณจะต้องเป็นไปตามแบบของ ชิพ แต่ละเบอร์ด้วย

3.6.2 การต่อแบบ อินพุต เอาต์พุต พอร์ต สามารถต่อเข้ากับ อินพุต เอาต์พุต ใดๆก็ได้ โดยใช้สายสัญญาณจำนวน 11 เส้น และใช้โปรแกรมเป็นตัวสร้างสัญญาณขึ้นมาให้ตรงกับข้อกำหนดของ

แอลซีดี โมดูล ผู้ใช้จะเขียนข้อมูลให้ แอลซีดี โมดูล ได้อย่างเดียว ซึ่งผู้ใช้ควรจะกำหนด Memory ส่วนหนึ่งให้เสมือน Buffer ให้กับ แอลซีดี โมดูล เนื่องจากไม่สามารถอ่านข้อมูลกลับได้ จึงต้องใช้การหน่วงเวลาของระบบไมโครโพรเซสเซอร์เองเพื่อรอให้ แอลซีดี โมดูล กระทำขบวนการต่างๆ ใช้ได้กับบอร์ดทั่วไปที่มีพอร์ต ไม่เปลืองส่วนของ หน่วยความจำ ในการใช้งาน การจัดขาสัญญาณกระทำได้อย่างอิสระ

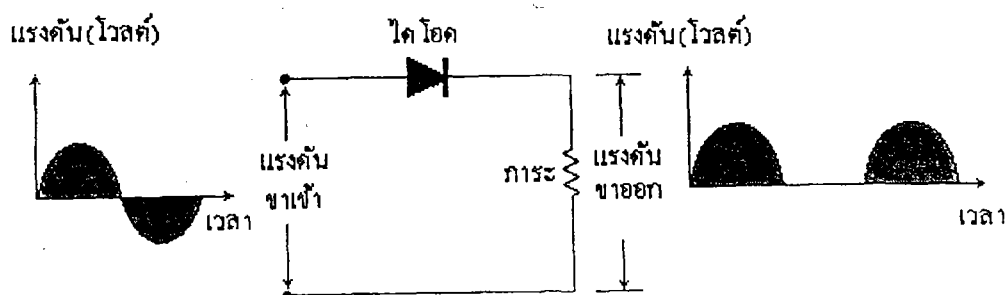
3.6.3 สั่งควบคุมและการแสดงข้อความ

การเขียนหรืออ่านข้อมูลกับ แอลซีดี โมดูล ก็คือการกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ในการใช้งานของ แอลซีดี ตามชุดคำสั่งควบคุม และรวมถึงการเขียนข้อมูลที่เป็นข้อความ เพื่อให้ปรากฏบนแผงแสดงด้วย ความเข้าใจพื้นฐาน การเขียนข้อมูลให้กับ แอลซีดี โมดูล จะแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือคำสั่ง และ โดยจะกำหนดด้วยขาสัญญาณ RS = 0 จะหมายถึงส่งสัญญาณควบคุม คำสั่ง หรืออ่านค่า Flag สภาพการทำงาน แอลซีดี โมดูล และถ้า RS = 1 จะหมายถึงการเขียนหรืออ่านข้อมูล กับ แอลซีดี โมดูล หลักการในการเขียนข้อมูลให้ แอลซีดี โมดูล นี้ คือเมื่อมีการเขียนข้อมูลไปแล้ว ตัว แอลซีดี โม จะต้องใช้เวลาในการทำงานชั่วขณะหนึ่ง ตามค่า แอควิท ไทม์ ซึ่งระบบไมโครโพรเซสเซอร์ดูสามารถตรวจสอบได้จาก บิเอฟ (Busy Flag : BF) และถ้าเรียบร้อยแล้ว จึงจะสามารถเขียนข้อมูลอันต่อไปได้ ในกรณีที่การต่อวงจรเป็นแบบ I/O Port คือไม่สามารถอ่านข้อมูลย้อนกลับได้ ระบบไมโครโพรเซสเซอร์ก็จะต้องใช้วิธีการหน่วงเวลาแทน การเขียนข้อมูลให้กับ แอลซีดี โมดูล นี้ สามารถทำได้ทั้งแบบ 8 bit และ 4 bit โดยกรณี 4 bit จะใช้สัญญาณ ข้อมูล เพียง 4 เส้น คือ DB4 – DB7 ก่อน แล้วตามด้วย DB0 - DB3 และจะต้องกำหนดคุณสมบัติตามค่า ดีแอล ในคำสั่งการทำงาน ด้วย ดีดีแรม (Display Data Ram :DDRAM) คือหน่วยความจำภายในตัว แอลซีดี โมดูล ที่เป็น กันชน ของข้อมูล โดยถ้าเขียนรหัส เอเอสซี 11 ใดๆลงไปหน่วยความจำนี้ ก็จะปรากฏเป็นตัวอักษรที่แผงทันที ซีจีแรม (Character Generator Ram :CGRAM) คือหน่วยความจำภายในตัว แอลซีดี โมดูล สำหรับเก็บภาพตัวอักษรที่ผู้ใช้สามารถสร้างได้เอง 8 ตัว โดยจะอ้างตำแหน่งได้ทั้งหมด 64 ไบต์ คือ 8 อักษร 8 แถว (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ม.ป.ป.: 1-13)

3.7 การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง

วงจรอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ จำเป็นจะต้องมีแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรงเลี้ยงวงจร ซึ่งสามารถหาจากแบตเตอรี่หรือถ่านไฟฉาย แต่แบตเตอรี่หรือถ่านไฟฉายมีข้อจำกัดที่มีพลังงาน จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนหรืออัดไฟ การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ให้เป็นกระแสตรงโดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ เป็นวิธีการที่เหมาะสม ซึ่งวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรงนี้ ซึ่งเรียกว่า วงจรเรกติไฟเออร์ (Rectifier) โดยใช้ไดโอด (Diode) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในวงจร ซึ่งแบ่งการเรกติไฟเออร์ออกเป็น 3 ลักษณะ (เจน สงสมพันธ์. 2538 : 130)

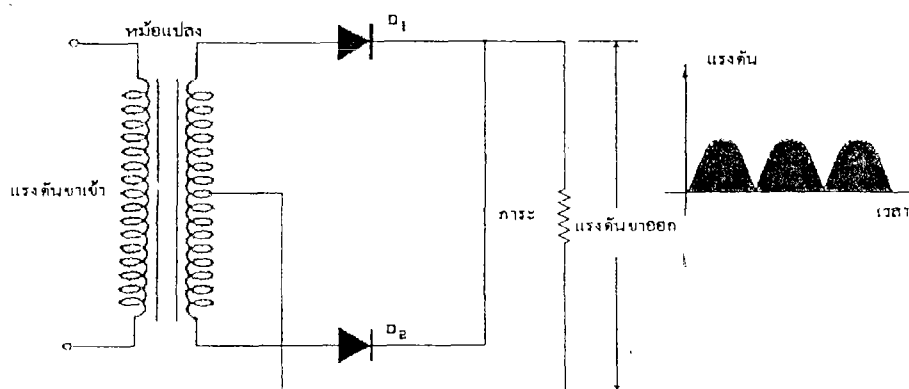
3.7.1 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่น (Half wave rectifier) เป็นวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปที่ภาระ (Load) เฉพาะครึ่งสัญญาณ เป็นสัญญาณบวกหรือสัญญาณลบ ขึ้นอยู่กับการนำไอโอดมาต่อในวงจร วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่นมีลักษณะดังภาพประกอบ 46



ภาพประกอบ 46 แสดงวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่น

จากภาพประกอบ 46 จะเห็นว่าในช่วงสัญญาณไฟฟ้าเป็นบวกซึ่งที่แรงดันขาเข้าไดโอดจะถูกไบแอสตรงทำให้มีกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปยังภาระได้ และเมื่อสัญญาณไฟฟ้าช่วงลบเข้าที่แรงดันขาเข้า ไดโอดจะถูกไบแอสกลับ ทำให้ไม่มีกระแสไหลในวงจร แรงดันที่ตกคร่อมภาระจึงมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นสัญญาณขาออกที่ภาระ จึงมีค่าเป็นสัญญาณรูปครึ่งคลื่น ค่าแรงดันไฟตรงที่วัดได้ จะเป็นค่าเฉลี่ยของสัญญาณทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับ .318 เท่าของแรงดันไฟฟ้าสูง

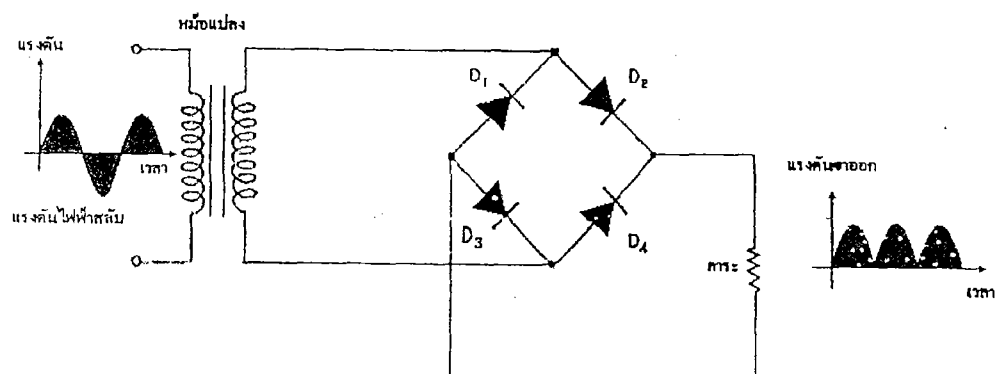
3.7.2 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่น (Full wave rectifier) วงจรแบบนี้ จำเป็นต้องใช้ไดโอดอย่างน้อยสองตัว ต่ออยู่ในวงจร เพื่อให้ไดโอดเกิดการนำกระแสในแต่ละครึ่งไซเคิลของไฟฟ้ากระแสสลับ ไดโอดทั้งสองจึงทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายกระแสให้กับภาระตัวละครึ่งรอบสัญญาณ แต่ต้องจ่ายไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นวงจรนี้จึงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงได้เรียบและสามารถจ่ายกระแสได้สูงกว่าแบบครึ่งคลื่น ซึ่งมีลักษณะดังแสดงในภาพประกอบ 47



ภาพประกอบ 47 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่น

$$\begin{aligned}
 V_{dc} &= 2\sqrt{2} V_{rms} \\
 &= 0.637 \sqrt{2} V_{RMS} \\
 &= 0.901 V_{rms}
 \end{aligned}$$

3.7.3 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบบริดจ์ (Bridge rectifier) เป็นวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่ให้ไฟฟ้าขาออกเป็นแบบเต็มคลื่น อีกแบบหนึ่ง มีลักษณะการต่อวงจร ดังภาพประกอบ 48



ภาพประกอบ 48 แสดงวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบบริดจ์

สามารถหาแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้จากสมการ

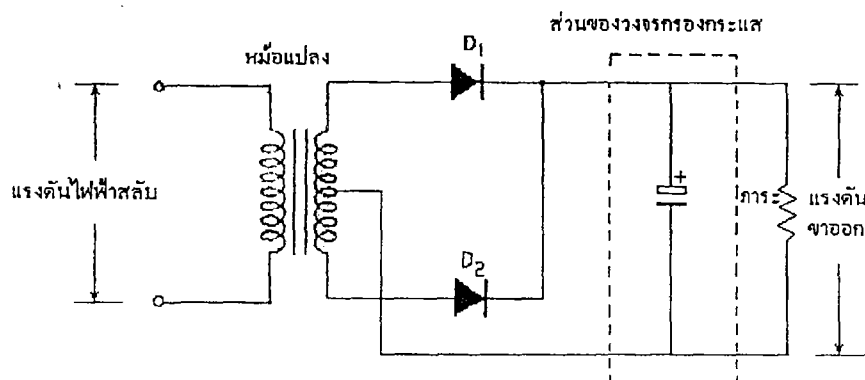
$$\begin{aligned}
 V_{dc} &= 0.637 V_p \\
 &= 0.901 V_{rms}
 \end{aligned}$$

3.8 การกรองแรงดัน

สัญญาณไฟฟ้าทางขาออกที่ได้จากวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่น และแบบเต็มคลื่นจะมีลักษณะเป็นการกระเพื่อมของแรงดัน มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทางขาเข้าในวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่นจะให้ลูกคลื่น 1 ลูกทุกๆ หนึ่งไซเคิล ส่วนวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่นจะมีค่าเป็น 2 เท่าของของแรงดันไฟฟ้าสลับขาเข้า ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปต้องการไฟตรงที่เรียบเลี้ยงวงจรวิธีการที่จะลดการกระเพื่อมของแรงดันขาออก ต้องอาศัยวงจรกรองแรงดันมาทำหน้าที่กรองสัญญาณแรงดันให้เรียบมากพอ

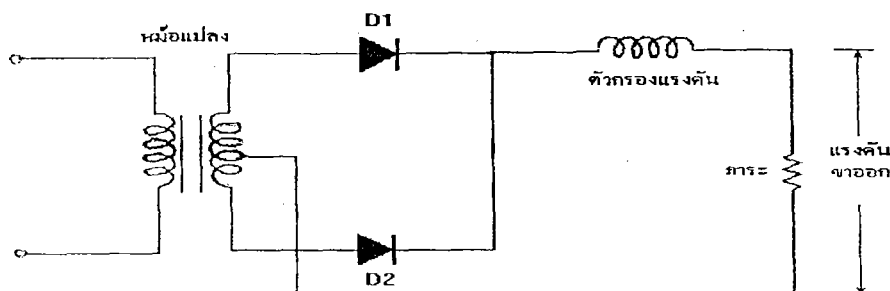
3.8.1 วงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ แรงดันรีปเปิลมีผลเสมือนกับการจ่ายกระแสภาระเป็นรูปพัลส์ แรงดันที่กระเพื่อมนี้สามารถทำให้ลดลงได้ ถ้ามีพลังงานบางส่วนที่ทางขาออกถูกเก็บไว้

พร้อมที่จะจ่ายออกมาเมื่อถึงจังหวะที่ไม่มีพลังงานจ่ายออกจากวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง หลักการนี้เป็นหลักการเบื้องต้นของวงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ



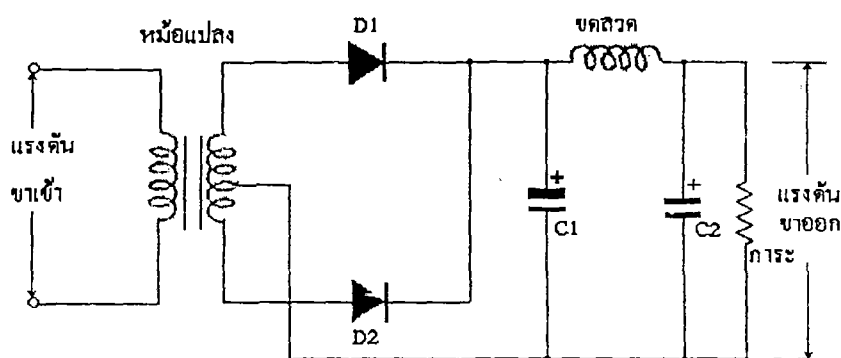
ภาพประกอบ 49 แสดงวงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ

3.8.2 วงจรกรองแรงดันด้วยตัวเหนี่ยวนำ ตัวเหนี่ยวนำเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถเก็บและคายพลังงานทางไฟฟ้าเช่นเดียวกับตัวเก็บประจุการเก็บพลังงานในตัวเหนี่ยวนำจะเก็บสะสมพลังงานไว้ในรูปของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และสามารถนำเอาคุณสมบัตินี้มาทำเป็นตัวกรองกระแสได้เช่นเดียวกับตัวเก็บประจุ มีลักษณะการต่อวงจรดังภาพประกอบ 50



ภาพประกอบ 50 แสดงวงจรกรองแรงดันด้วยตัวเหนี่ยวนำ

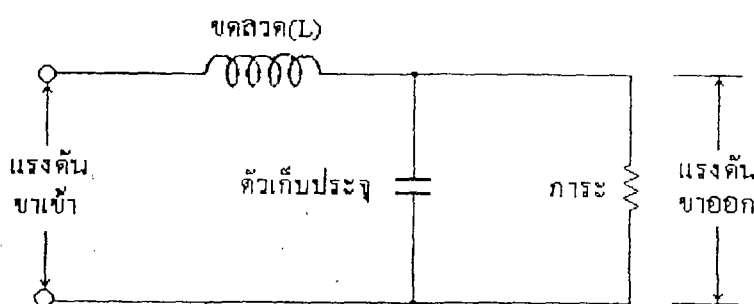
3.8.3 วงจรกรองแรงดันแบบพาย (π) วงจรกรองแรงดันแบบพาย เป็นการนำเอาตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำมาต่อร่วมกันเพื่อให้ไฟที่เรียบขึ้น ซึ่งแสดงดังภาพประกอบ 51



ภาพประกอบ 51 แสดงวงจรกรองแรงดันแบบพาย

ในวงจรกรองแรงดันแบบพายตัวเก็บประจุ C_1 ทำหน้าที่เป็นตัวกรองแรงดันเหมือนตัวกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุตัวเดียวตัวเก็บประจุนี้จะเป็นตัวทำให้ค่าแรงดันทางขาออกมีค่าเป็นแรงดันสูงสุดแล้วคายประจุลดลงในขณะที่แรงดันขาออกจากวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดลงตัวเก็บประจุ C_2 จะทำหน้าที่เช่นเดียวกับ C_1 ตัวเหนี่ยวนำ L_1 ทำให้การกรองแรงดันทั้งหมดดีขึ้นโดยปรับแรงดันไฟฟ้า ไม่ให้ค่าแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุทั้งสองแตกต่างกันมากนัก ทำให้การกรองแรงดันได้ราบเรียบยิ่งขึ้น

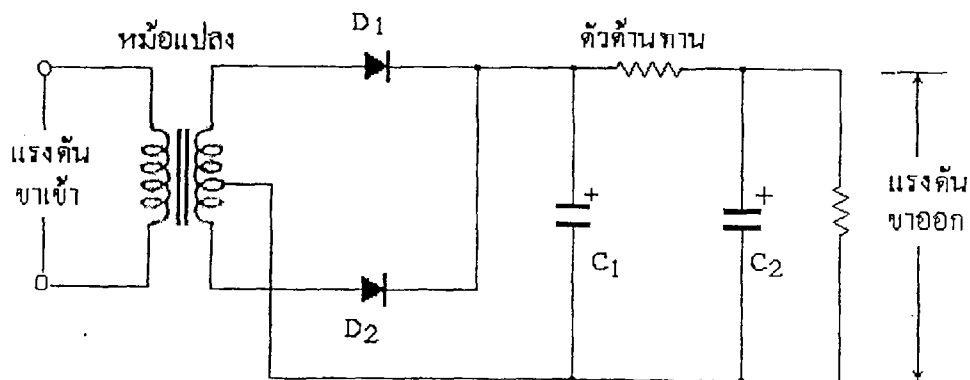
3.8.4 วงจรกรองแรงดันแบบรูปตัวแอล เมื่อต้องการกรองแรงดันโดยให้ค่าแรงดันขาออกของวงจรมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของแรงดันที่แปลงมาจากไฟฟ้ากระแสสลับ มีใช้ค่าสูงสุด V_p จะต้องใช้การกรองแรงดันที่จัดให้ตัวเหนี่ยวนำอยู่ทางด้านขาเข้าของวงจรกรองแรงดันตัวเหนี่ยวนำจะทำหน้าที่ต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเมื่อรวมทั้งสองเข้าด้วยกันจะทำให้ค่าแรงดันripple ลดลง แรงดันขาออกจึงได้เป็นค่าเฉลี่ย ดังภาพประกอบ 52



ภาพประกอบ 52 แสดงวงจรกรองแรงดันแบบรูปตัวแอล

3.8.5 วงจรกรองแรงดันแบบอาร์ซี (RC) ในบางกรณีการพันขดลวดเป็นตัวเหนี่ยวนำมีปัญหายุ่งยาก วิธีการวัดค่าของขดลวดเหนี่ยวนำดังนั้นการนำวงจรกรองแรงดันแบบ อาร์ซี เป็นที่นิยมแทนวงจรกรองแรงดันแบบพาย โดยการใช้ตัวต้านทานแทนตัวเหนี่ยวนำ ตัวต้านทานจะทำหน้าที่เพิ่มค่าคงตัวเวลาของการคายประจุบนตัวเก็บประจุ C_1 และเวลาประจุของตัวเก็บประจุของตัวเก็บประจุ

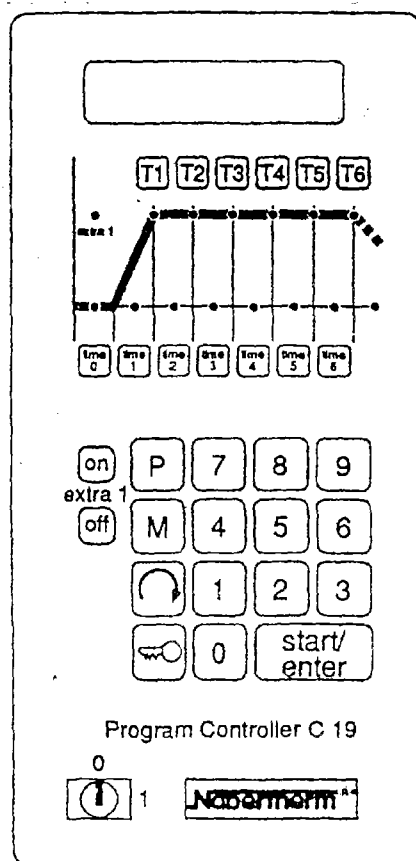
C2 แต่การกรองแรงดันแบบนี้มีผลเสีย คือต้องการจ่ายกระแสไปยังภาระด้วยค่ามาก เพราะกระแสจะทำให้เกิดกำลังสูญเสียสูงในตัวต้านทาน การต่อวงจรกรองแรงดันแบบอาร์ซี จะต่อดังภาพประกอบ 53 (ยื่น
ภู่วรรณ. 2540 : 100 – 113)



ภาพประกอบ 53 แสดงวงจรกรองแรงดันแบบ อาร์ซี

4. ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ยี่ห้อ เนเบอร์ รุ่น C19

ห้างหุ้นส่วนจำกัด สมเกียรติชัยพลาย ได้เสนอ ชุดเครื่องควบคุมอุณหภูมิเตาเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา 2 แบบคือ รุ่น C 19 และ S19 ชุดควบคุมอุณหภูมิเตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ รุ่น C 19 มีลักษณะดังภาพประกอบ



ภาพประกอบ 54 แสดงภาพชุดควบคุมอุณหภูมิเตาเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาสำรุ่น C19

รายละเอียดของชุดควบคุมอุณหภูมิมีดังนี้

1. สามารถตั้งโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิในการเผาติดผลิตภัณฑ์ได้
2. สามารถควบคุมอุณหภูมิในการเผาเคลือบผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ผ่านการเผาติดแล้ว
3. สามารถปรับอุณหภูมิได้ 6 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ไม่เกิน 1,280 องศาเซลเซียส
4. สามารถตั้งเวลาได้ 6 ตำแหน่ง
5. สามารถใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 1 เฟส

5. การออกแบบ

กระบวนการสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board : PCB) เป็นส่วนประกอบพื้นฐานที่สำคัญของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะใช้เป็นทางเดินสัญญาณไฟฟ้าของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ที่อยู่ในวงจรทำให้วงจรสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง ตามที่ได้ออกแบบไว้ แผ่นวงจรพิมพ์จะประกอบด้วยแผ่น

ฐาน หรือชั้นสเตรตที่ทำจากแผ่นฉนวนบางๆอัดยี้ตรวมกัน ด้วยสารประเภท เทอร์โมเซตติง เพื่อรองรับแผ่นตัวนำที่ใช้เชื่อมต่อสัญญาณไฟฟ้าระหว่างอุปกรณ์ โดยทั่วไปใช้ทองแดง แผ่นพีซีบีมีหน้าที่หลักในการยึดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เข้าด้วยกัน ตัวนำซึ่งเป็นลายทองแดงทำหน้าที่เป็นทางเดินสัญญาณไฟฟ้าจากอุปกรณ์ตัวหนึ่งไปสู่ตัวอื่นๆ ตามวงจรที่ได้ออกแบบไว้ โดยมีการบัดกรีตะกั่วที่บริเวณขาของอุปกรณ์ที่จุดบัดกรี (PAD) เพื่อเชื่อมต่อขาของอุปกรณ์เหล่านั้นเข้ากับลายทองแดงของวงจรและเพื่อใช้ยึดอุปกรณ์เข้ากับพีซีบีไปในตัว

แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดมีลายวงจรด้านเดียว (Single – Sided Bords) ประกอบด้วยชั้นสเตรตแลชั้นของแผ่นตัวนำเพียงด้านเดียว เป็นที่นิยมใช้กับวงจรโดยทั่วไปที่มีความหนาแน่นของวงจรไม่มากนัก มี 2 ชนิด ชนิดพินอลิกจะมีราคาถูกกว่าแต่มีข้อเสียคือความเปราะมีความแข็งแรงต่ำ และมีการต้านความชื้นต่ำทำให้สูญเสียความเป็นฉนวนง่าย จึงไม่เหมาะที่จะใช้งานที่ความถี่สูง

แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดมีลายวงจรสองด้าน (Double – Sided Bords) ประกอบด้วยชั้นของแผ่นตัวนำสองด้านคือด้านบนและด้านล่างประกบกับชั้นของชั้นสเตรตอยู่ คือ ไฟเบอร์กลาสอีพ็อกซี่ เหมาะกับงานที่มีความหนาแน่นของวงจรตั้งแต่ปานกลางจนถึงสูง สามารถใช้งานที่ความถี่สูงได้ดี ใช้วิธี ให้เส้นตัวนำทั้งสองด้านเชื่อมต่อถึงกัน (Plat Through Hole : PTH) จึงช่วยลดเส้นทางเดินของลายวงจรและสามารถเพิ่มความหนาแน่นของวงจรได้มากขึ้น

แผ่นพิมพ์ชนิดหลายชั้น (Multi – layer Boards) ประกอบด้วยชั้นของแผ่นตัวนำและชั้นสเตรตมากกว่าสองชั้น โดยการอัดชั้นต่างๆเข้าหากันด้วยความร้อนและเครื่องอัดแรงสูง เหมาะกับงานที่มีความหนาแน่นสูงถึงสูงมาก เช่นแผ่นวงจรของเครื่องคอมพิวเตอร์

แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน (Flexible Circuit PCB) ใช้กับงานที่พีซีบีโดยทั่วไปติดตั้งไม่ได้เพราะถูกจำกัดด้วยพื้นที่ หรือการใช้งานที่ต้องเคลื่อนไหวตลอดเวลา เช่นแผ่นวงจรที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างหัวอ่านดิสก์ไดรฟ์

กระบวนการออกแบบ (PCB Design) วาดลายเส้นทองแดงในชั้นต่างๆของพีซีบี โดยใช้ปิดเทปทึบแสงบนแผ่นใส สร้างด้วยขนาด 2 เท่าแล้วถ่ายย่อให้เท่าของจริง และคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบซึ่งสามารถวางวงจรซับซ้อนมากๆได้ดี โดยเริ่มจากการใส่วงจรสัญลักษณ์แทนอุปกรณ์จริงตามรูปร่างมาตรฐานและกำหนดการเชื่อมต่อสัญญาณทางไฟฟ้า จากอุปกรณ์หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง นำข้อมูลที่อยู่ในรูปเน็ทลิสต์ (Netlist) มาเชื่อมกับฟุตพริ้นท์ (Footprint) ซึ่งเป็นรูปร่างแท้จริงของอุปกรณ์บนแผ่นพีซีบี รวมกันสร้างเป็นลายวงจร มีขนาดความกว้างยาวถูกต้องตามสัดส่วน วางอุปกรณ์ได้ทั้งด้านบนและด้านล่างของแผ่นวงจรพิมพ์ ของแผ่นพิมพ์วงจร จัดการเดินลายทองแดงเพื่อเชื่อมต่อวงจรเข้าด้วยกัน หลังจากจัดสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ ผลที่ได้คือ อาร์ทเวิร์ด (Artwork) หรือแผ่นฟิล์มซึ่งจะมีลายทึบแสงนำไปผ่านกระบวนการทางเคมี

การสร้างชิ้นงาน (PCB Fabrication) หลังจากออกแบบลายวงจรเสร็จ แล้วผ่านกระบวนการทางเคมี เพื่อดึงส่วนของทองแดงที่ไม่ต้องการออก เหลือเพียงลายเส้นเชื่อมต่อระหว่างขาของอุปกรณ์เท่านั้น นำแผ่นวงจรพิมพ์มาเจาะและล้างทำความสะอาดแล้วชุบทองแดงด้วยเคมี จะได้ชั้นทองแดงบางๆเคลือบไว้ จากนั้นนำไปชุบทองแดงด้วยไฟฟ้า อีกครั้งเพื่อเพิ่มความหนาของชั้นทองแดงที่เคลือบ ทำความสะอาดแผ่น วงจรพิมพ์แล้วรีดประกบด้วยแผ่นฟิล์มไวแสง ทั้งสองด้านด้วยความร้อน นำแผ่นฟิล์ม ชนิดโพซิทีฟ(Positive) มาประกบแผ่นวงจรพิมพ์ ถ่ายผ่านด้วยแสงอัลตราไวโอเลตในระยะเวลาที่กำหนด นำแผ่นวงจรพิมพ์ที่ได้จากการอัดแสง มาผ่านกระบวนการ ดีเวลอปป์ (Developing) ซึ่งจะใช้น้ำยาเคมีทำให้เนื้อฟิล์มส่วนที่ไม่ถูกแสงหลุดออกไป จะได้แผ่นวงจรพิมพ์ขึ้นลายที่ตรงกันข้าม โดยด้านที่ไม่ต้องการจะถูก

หุ้มด้วยฟิล์ม ส่วนด้านที่ต้องการจะไม่ฟิล์มและเห็นเป็นลายทองแดงอย่างชัดเจน นำแผ่นพิมพ์วงจรที่มีลายฟิล์มเคลือบอยู่มาชุบตีบกับไฟฟ้า ซึ่งตีบจะติดเข้ากับส่วนที่นำไฟฟ้าโดยจะติดด้านที่ไม่มีฟิล์มปิดอยู่ ส่วนด้านที่มีฟิล์มปิดอยู่ก็จะชุบตีบไม่ติด ล้างชั้นของลายเส้นที่เคลือบ แผ่นพิมพ์วงจร อยู่ออก จะได้แผ่นพิมพ์วงจรที่มีลายเส้นตีบเคลือบอยู่โดยส่วนที่ต้องการก็จะเป็นทองแดงเหมือนเดิม หลังจากนั้นทำการกัดทองแดงออกด้วยวิธีทางเคมีโดยไม่ทำให้ชั้นลายเส้นของตีบหลุดออกไป จะได้แผ่นพิมพ์ที่มีลายวงจรถูกชุบตีบ อบแผ่นพิมพ์วงจรด้วยไอน้ำมันร้อน ทำให้ชั้นตีบที่เคลือบอยู่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันลงไปคลุมด้านข้างของลายเส้น ทำให้ทองแดงไม่สัมผัสอากาศ จะได้ลายวงจรมีความสวยงามและทนทาน ทำการพิมพ์ซิลิโคนบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่ผ่านกระบวนการ โซลเดอร์ รีโฟล (Solder Reflow) ด้วยสีพิเศษที่มีคุณสมบัติทนความร้อน เพื่อใช้เป็นชั้นสำหรับป้องกันการช็อตกันของลายวงจรเนื่องจากตะกั่วไหลขณะทำการบัดกรี การตรวจสอบความบกพร่องของแผ่นพิมพ์วงจร เช่นการขาดของลายเส้นวงจร การช็อตกันระหว่างลายวงจร

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หิ้น ชนสูตร (2542 : 99-100) ได้ศึกษาการพัฒนาควบคุมแบบอะแดปทีฟฟuzzy logic สำหรับควบคุมอุณหภูมิในเตาเซรามิกแบบไฟฟ้า โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาตัวควบคุมฟuzzy ที่เหมาะสมให้สามารถควบคุมอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิก ซึ่งควบคุมให้สีแดง สีเขียว สีดำ ไม่เปลี่ยนเฉดสี และระบบสามารถลดเวลาในการเผาได้จาก 10 ชั่วโมง เหลือ เพียง 5 ชั่วโมง

อำพล เจริญพัฒนไพศาล (2535 : 24-25) ได้ศึกษาการออกแบบและสร้างเตาเผาไฟฟ้าที่ใช้ในงานโลหวิทยา งานเครื่องปั้นดินเผา โดยออกแบบสร้างเตาเผาไฟฟ้ามีความจุ 24 ลิตร และใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ เป็นตัวควบคุมการทำงาน การควบคุมอุณหภูมิเป็นแบบ PID พร้อมแสดงค่าอุณหภูมิเป็นตัวเลขแบบดิจิตอล สามารถเพิ่มอุณหภูมิได้ถึง 1000 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิที่สูงได้

นายไพฑูรย์ สุขเกิด และ นางสาวประภาพรณี เรืองวรรณ (2540 : 131) ได้ศึกษาบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ 8XC196MH เอนกประสงค์ทำงานอิสระจากโปรแกรมมอนิเตอร์ ได้ออกแบบและสร้างขึ้นมีความสามารถที่ใช้งานที่ตำแหน่งจริง สามารถติดต่อกับ PC โดยต่อกับ RS 232C โปรแกรมที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้งานได้ทันที เป็นบอร์ดที่สามารถใช้อุปกรณ์ที่หาซื้อได้สะดวกภายในประเทศ

อัมพร ชันกำแพง (2541 : 67) ได้ศึกษาการออกแบบวงจรรวมสำหรับการอินเตอร์เฟซไมโครโปรเซสเซอร์ในระบบตู้สาขาโทรศัพท์อัตโนมัติขนาดใหญ่โดยเสนอการออกแบบ สร้าง และทดสอบชิปวงจรรวม สำหรับทำหน้าที่เชื่อมโยงการถ่ายโอนและแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างไมโครโปรเซสเซอร์ 16 บิตกับไมโครโปรเซสเซอร์ 8 บิต โดยชิปวงจรรวมสามารถทำงานได้ถูกต้องตามฟังก์ชันที่กำหนด

นัยนา วาณิชยพงศ์ และคนอื่นๆ (2537 : 41) ได้ศึกษาตัวควบคุมลำดับโดยใช้ MCS – 51 โดยการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานเพื่อให้สามารถใช้งานได้เหมือนกับชุด PLC ทั่วไปการนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้นั้นสามารถดัดแปลงและสามารถลดสัญญาณรบกวนได้มาก

ดวงฤดี อิ่มสินสกุลและคนอื่นๆ (2539 : 68) ได้ศึกษาการถักการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งสามารถสั่งงานได้โดยใช้และมีความสะดวกคล่องตัวมากขึ้นกว่าการถักทั่วไปที่ผู้ใช้ต้องคอยเข็นรถให้เคลื่อนด้วยตนเอง

ธวัชชัย งามคงเมืองและคนอื่นๆ (2539 : 72) ได้ศึกษาเครื่องตรวจสอบอุณหภูมิคนไข้อัตโนมัติ โดยการนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้ให้สามารถแสดงผลอุณหภูมิแบบตัวเลขได้

จิรศักดิ์ นุชนงค์และคนอื่นๆ (2541 : 92) ได้ศึกษาวิทยุแพคเกจควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับวิทยุสมัครเล่นมีประสิทธิภาพของการรับส่งข้อมูล

ธานินทร์ โพธิ์อำไพ และคนอื่นๆ (2541 : 124) ได้ศึกษาโปรแกรมจำลองการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS - 51 และสามารถที่จะจำลองการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS - 51 ได้ เป็นที่น่าพอใจ

เทอดศักดิ์ แก้วสิงห์ และคนอื่นๆ (2541 : 75) ได้ศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถพัฒนาเพื่อให้นำพลังงานแสงอาทิตย์ไปเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยนำโครงงานไปประยุกต์ใช้งานกับวิทยุสื่อสารขนาด 20 วัตต์ ใช้กระแสส่ง 5 แอมแปร์ ขณะรับ 300 มิลลิแอมแปร์ ทดลองส่ง 10 นาทีต่อชั่วโมง และ 20 นาทีต่อชั่วโมง ตลอด 9 ชั่วโมง ใน 1 วัน และรับ 15 ชั่วโมง สามารถใช้งานได้จริง

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทำให้ผู้ศึกษาค้นคว้ามีความสนใจที่นำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในการสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิถภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ที่สามารถใช้กับเตาเผาไฟฟ้าที่มีอุณหภูมิการเผาผลิถภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาไม่เกิน 1,300 องศาเซลเซียส สามารถตั้งโปรแกรมการควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิถ และการเผาเคลือบผลิถภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาได้ ปรับอุณหภูมิได้ 6 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ไม่เกิน 1,300 องศาเซลเซียส ตั้งเวลาได้ 6 ตำแหน่ง แต่ละโปรแกรมการเผาครั้งละไม่เกิน 24 ชั่วโมง ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 1 เฟส

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการศึกษาค้นคว้า

ในการศึกษาค้นคว้า เรื่องการออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาเป็นการศึกษาค้นคว้าเชิงทดลองที่มีความมุ่งหมายเพื่อสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา และเพื่อศึกษาประสิทธิภาพชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ศึกษารายละเอียดต่างๆเกี่ยวกับการเผาผลิภัณฑ์และการออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา
2. สร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา
3. ทดสอบ ปรับปรุง และแก้ไข การทำงานของชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา
4. ทดสอบประสิทธิภาพ ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา
5. สร้างคู่มือชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

1. ศึกษารายละเอียดต่างๆเกี่ยวกับการเผาผลิภัณฑ์ และการออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

ในการศึกษารายละเอียดต่างๆ เกี่ยวกับการเผาผลิภัณฑ์และการออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ดังนี้

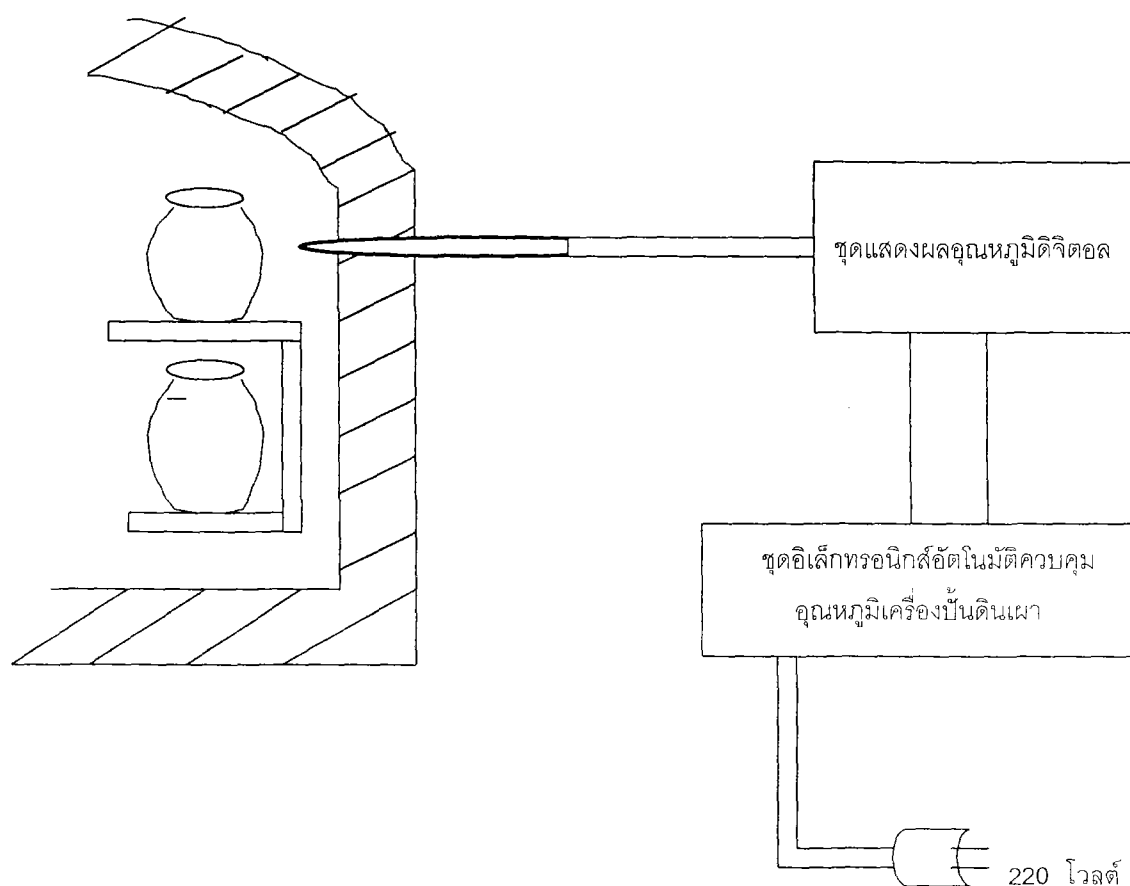
1.1 ศึกษาค้นคว้า เอกสาร ตำรา และงานทดลองที่เกี่ยวกับการเผาผลิภัณฑ์ การวัดอุณหภูมิในเตาเผา ช่วงเวลาการเผา การเผาแบบยีนไฟ การปรับลด เพิ่มอุณหภูมิในการเผา ตลอดจนวิธีการวัดอุณหภูมิในเตาเผาและเครื่องวัดอุณหภูมิ

1.2 ศึกษาค้นคว้า เอกสาร ตำรา และงานทดลองเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

1.3 ศึกษาคุณสมบัติของส่วนประกอบต่างๆ ของชุดเครื่องวัดอุณหภูมิระบบดิจิทัลและชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เพื่อจัดหาวงจร วัสดุอุปกรณ์ที่เหมาะสมมาประกอบเป็นชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

2. สร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

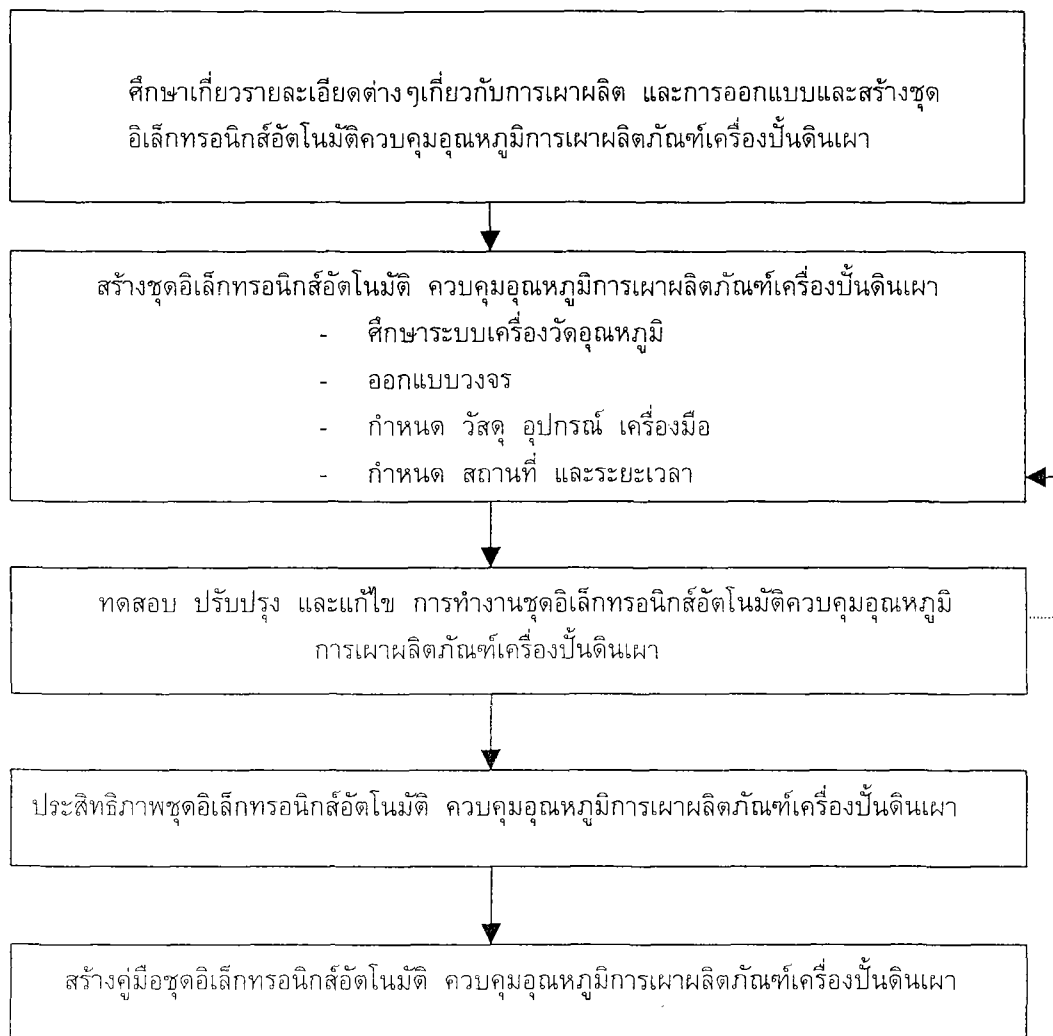
2.1 ศึกษาระบบเครื่องวัดอุณหภูมิ แบบไฟโรเมตริก เทอร์โมคอปเปิล และการต่อวงจรเข้าสู่ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา การติดตั้ง เครื่องวัดอุณหภูมิ และชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ดังภาพประกอบ 57



ภาพประกอบ 55 การติดตั้ง เครื่องวัดอุณหภูมิและชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

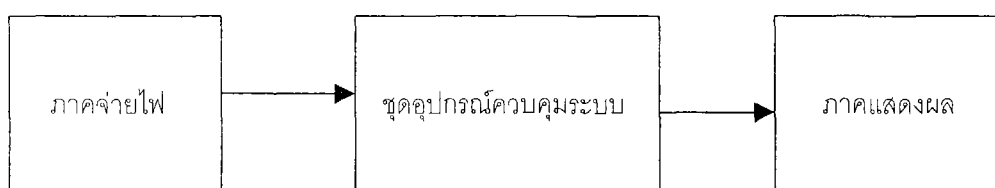
จากภาพประกอบ 55 การต่ออุปกรณ์เครื่องวัดอุณหภูมิเตาเผาใช้ไพโรมетริก เทอร์โมคอปเปิล ชนิดแพลตินัม – โรเดียม ต่อเข้าสู่ชุดแสดงผลวัดอุณหภูมิดิจิทัล เป็นการวัดอุณหภูมิภายในเตา ต่อเชื่อมเข้ากับชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่สร้างขึ้นมีส่วนประกอบต่างๆตามแผนภูมิการทำงานดังนี้

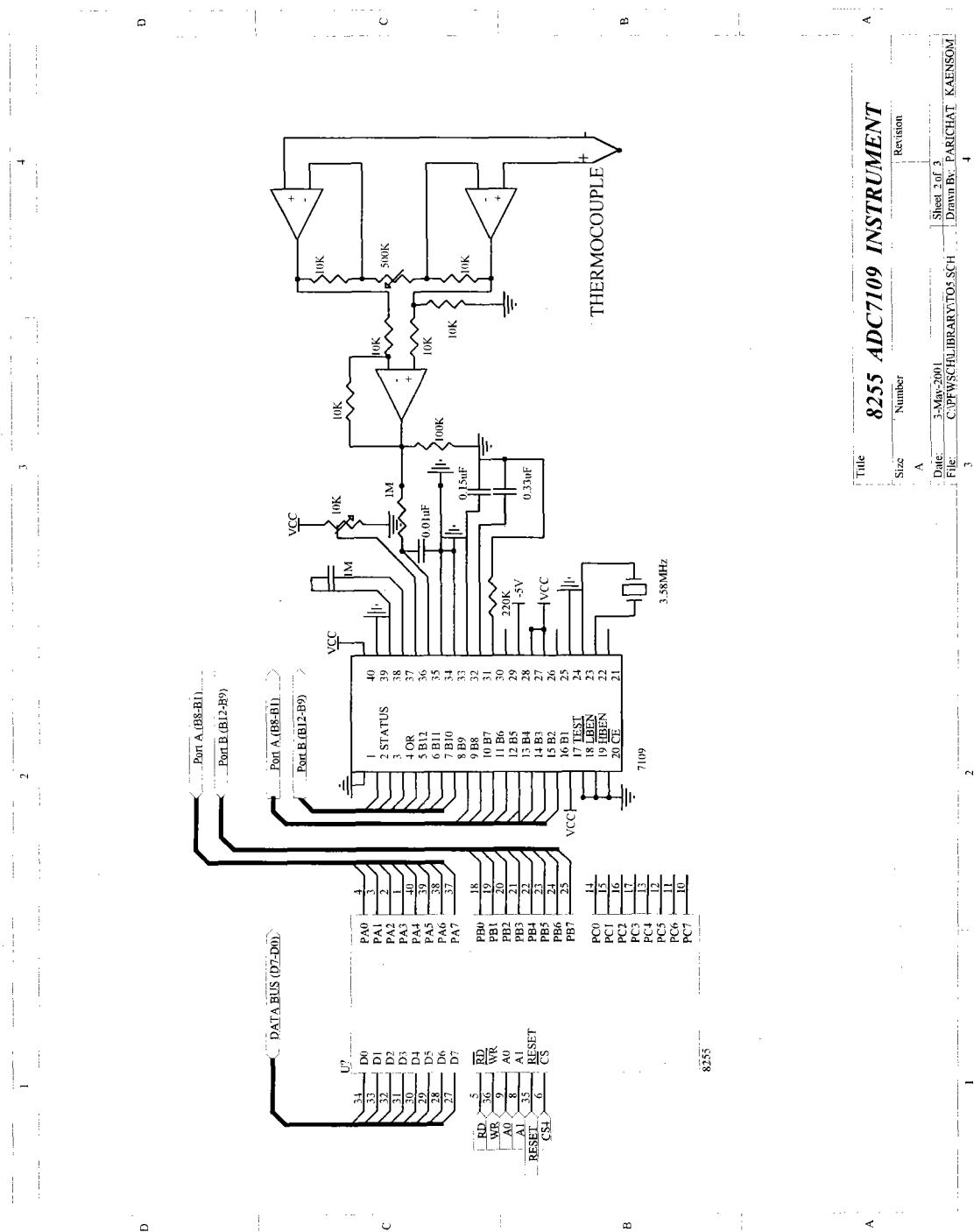


ภาพประกอบ 56 แผนภูมิชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิ การผลิตภัณฑ์เครื่องบ้นดินเผา

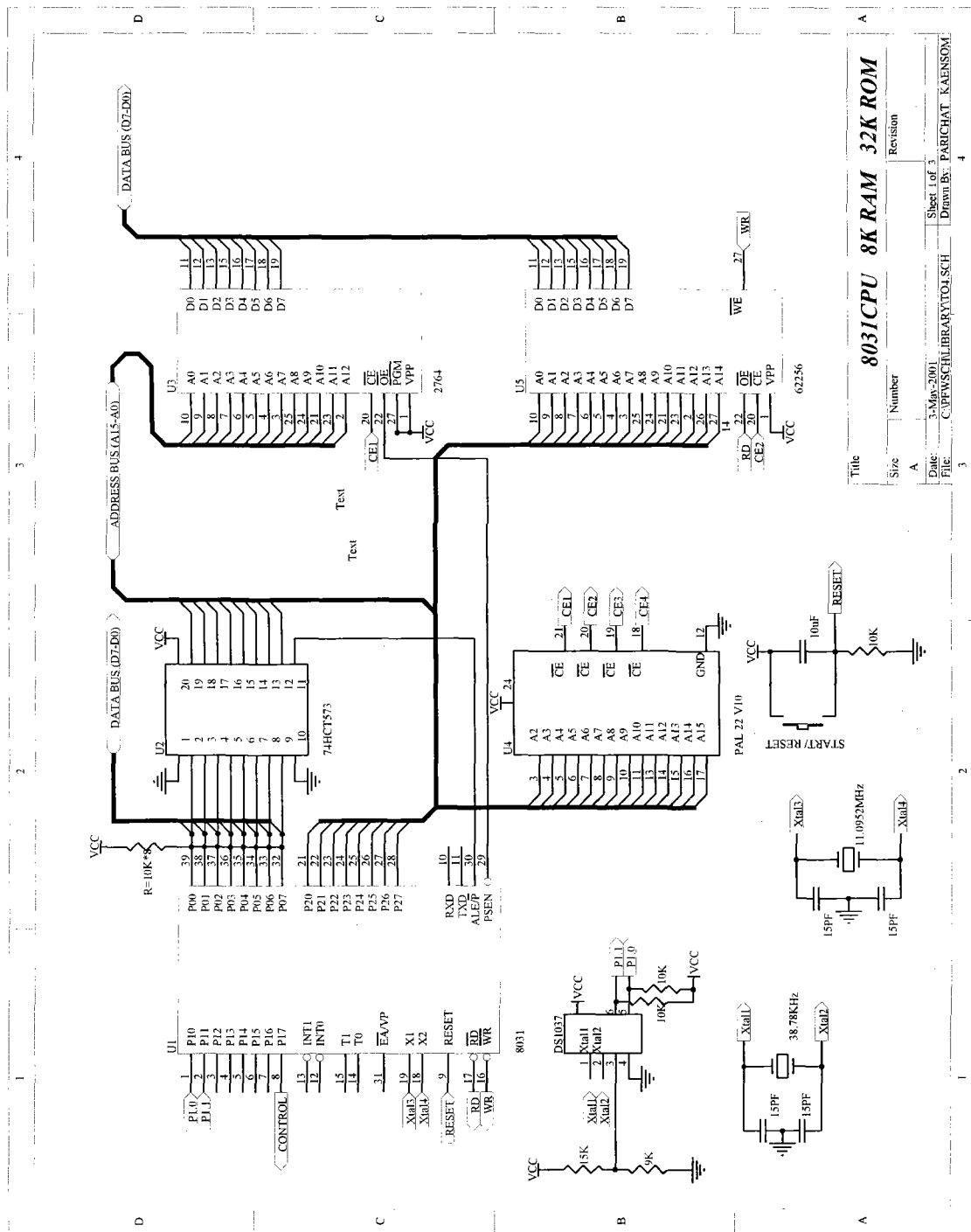
2.2 ออกแบบวงจร และส่วนประกอบต่างๆของชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติ ควบคุมอุณหภูมิการผลิตภัณฑ์เครื่องบ้นดินเผา ตามบล็อกไดอะแกรมการทำงาน การออกแบบวงจรอุปกรณ์ควบคุมระบบ



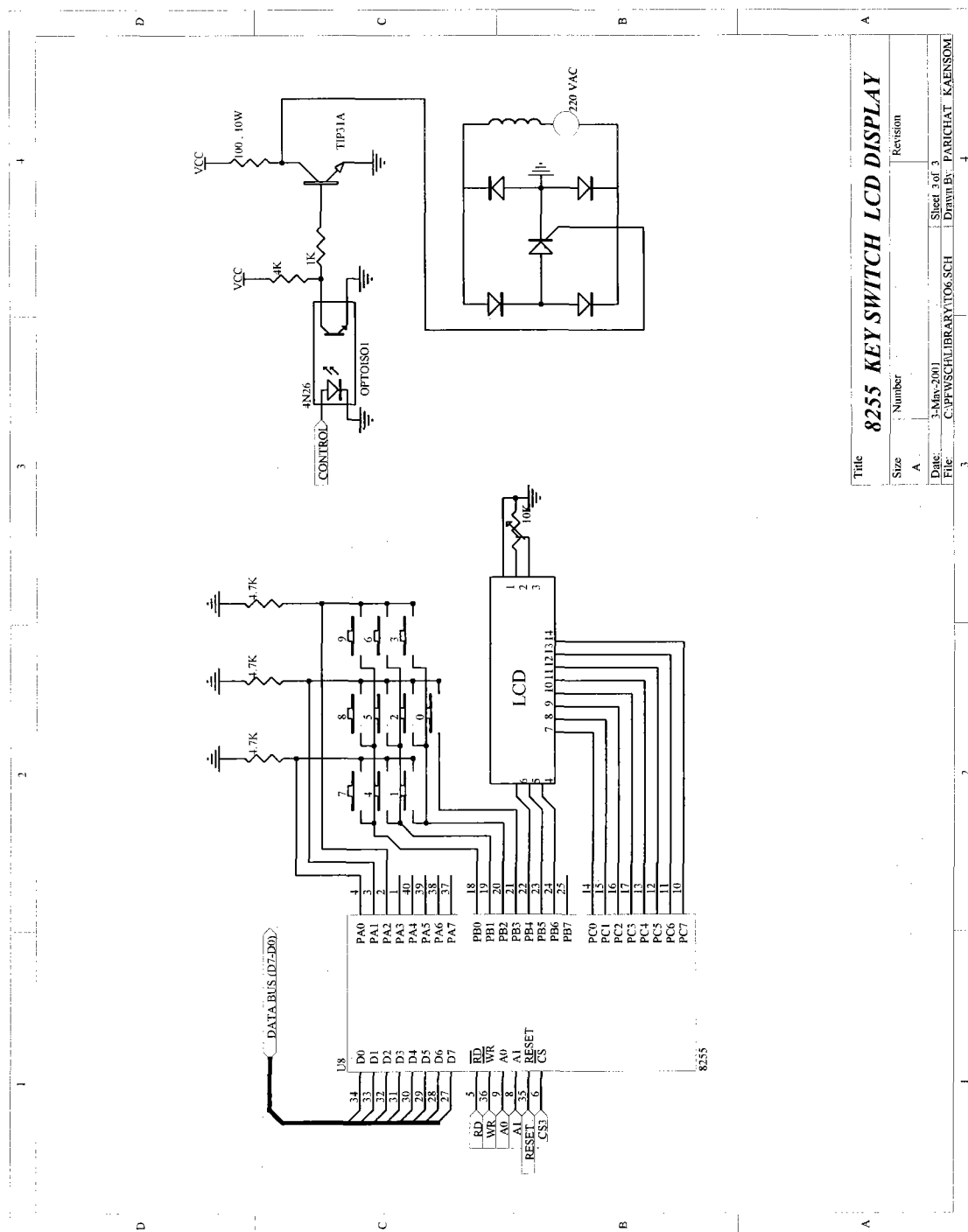
ภาพประกอบ 57 แผนภูมิชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิ การผลิตภัณฑ์เครื่องบ้นดินเผา



ภาพประกอบ 58 วงจรชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิ การเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา



ภาพประกอบ 58(ต่อ) วงจรชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิ การเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา



ภาพประกอบ 58(ต่อ) วงจรชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิ การเผาผลาญภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

การออกแบบวงจรขยายสัญญาณแบบกลับศักระ (Inverting) รับสัญญาณจากเทอร์โมคอปเปิล และขยายสัญญาณให้สูงขึ้น จากสมการ

$$V_o = V_{in} \frac{R_f}{R_i}$$

ถ้าต้องการ

$$V_o = 1.434$$

กำหนดให้

$$V_o = 14.343 \frac{1M\Omega}{10K\Omega}$$

$$V_o = 1.4343$$

ถ้าต้องการ

$$V_o = 4.72$$

กำหนดให้

$$V_o = 1.4343 \frac{361K\Omega}{110\Omega}$$

$$V_o = 4.72$$

การนำ V_o ไป วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล เพื่อส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ สัญญาณจาก เอาต์พุต ไปควบคุมอุณหภูมิในเตา

วงจร ออปโต ป้องกันไฟฟ้ากระแสสลับย้อนกลับมาในวงจร ถ้าต้องการ กระแส 60 มิลลิแอมป์ เพื่อเลือกค่าความต้านทาน

$$\begin{aligned} R &= \frac{V}{I} \\ &= \frac{5}{60mA} \\ &= 83\Omega \end{aligned}$$

วงจรขยายขา เกต เอส ซี อาร์ โดยใช้ $I_{Gt} = 150mA$ และ $V_{Gt} = 3V$ อัตราการขยายของ ทรานซิสเตอร์ 50 เท่า , $I_c = 150mA$ หา

$$R = \frac{V}{I_c}$$

$$R = \frac{15}{150}$$

$$R = 100\Omega$$

นำไปหาค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้กับ เอส ซี อาร์

$$P = V.I$$

$$= 15 \times 150$$

$$= 2.25W$$

เลือกใช้ความต้านทาน 100Ω $10W$ เพื่อป้องกันความร้อน

$$I_B = \frac{I_c}{\beta}$$

$$= \frac{150}{50}$$

$$= 3mA \quad \text{เพื่อนำไปเลือก } R_A + R_B$$

เลือก ความต้านทาน $5K\Omega$ ได้จาก

$$R_A = \frac{V}{I_B}$$

$$= \frac{15}{3mA}$$

$$= 5K\Omega \quad \text{โดยที่ } R_A = 4K\Omega \quad \text{และ } R_B = 1K\Omega$$

เอส ซี อาร์ จะทำงาน เมื่อกระตุ้นที่ขา เกต ให้มากกว่า 3 โวลต์ จึงเลือกความต้านทาน $R_A = 4K\Omega$, $R_B = 1K\Omega$ เพราะจะนำกระแส $I_B = 3mA$

$$I_B = \frac{V - V_{BE}}{R_a + R_b}$$

$$= \frac{15 - 0.7}{4 + 1}$$

$$= 4.766K\Omega \quad R_A \approx 4K\Omega \quad , \quad R_B \approx 1K\Omega$$

2.3 กำหนดวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ ที่ใช้ในการสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติ ควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิติดังนี้

2.3.1 วัสดุ อุปกรณ์ ได้แก่

ไอซี 7805 เพื่อรักษาระดับแรงดัน +5V ไอซี 7905 เพื่อรักษาระดับแรงดัน -5V

ไอซี 7815 เพื่อรักษาระดับแรงดัน +15V ไอซี 7915 เพื่อรักษาระดับแรงดัน -15V

ไอซี L7109 แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล

ไอซี TLO74 ขยายสัญญาณ

ไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด 89C51 เป็นตัวควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรม

ไอซี 8255 เชื่อมโยงสัญญาณ

ไอซี PAL CE22V10H ถอดรหัส

ไอซี ROM2764 หน่วยความจำของโปรแกรม

ไอซี RAM62256 อ่านหน่วยความจำ

ไอซี 74LS245 ขยายสัญญาณ

ไอซี 74HC573 ค้างสัญญาณ

ไอซี OPTO 4N26 แยกสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ/ไฟฟ้ากระแสตรง

ไดโอด P600A เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง

ไดโอด 1,000 โวลต์ 70 แอมป์
 ไดโอด 1N4001
 เอส ซี อาร์ SSKT26
 คริสตอล 11.0592 , 3.579575 เมกะเฮิร์ตซ์ สร้างความถี่
 เทอร์โมคอปเปิล
 คาปาซิเตอร์ 15 pF 50 V, 0.01 μ F 50 V, 0.1 μ F 50 V, .33 μ F 50V ,1 μ F 50V,
 10 μ F 50V, 470 μ F 50V, 2200 μ F 50V,
 ตัวต้านทาน ทริมพोट 10K Ω 1รอบ, 20K Ω 25รอบ, 100K Ω ,
 ตัวต้านทาน 1/4 w 5% 4.7K Ω , 9K Ω , 10K Ω , 15K Ω , 220K Ω , 1M Ω
 ตัวต้านทาน 1/4 w 1% 3.9K Ω , 1K Ω , 10.2K Ω , 100K Ω
 ตัวต้านทาน กำลังไฟสูง 100 Ω 10W
 ทรานฟอร์มเมอร์ 1A 12 V
 แอลซีดี DMC161 สำหรับแสดงผล
 สายแพ 26 เส้น พร้อมขั้วต่อ
 จุดเชื่อมต่อ 2 ขา ,3 ขา
 ชูดวงจรเอนกประสงค์ 89C51
 แผ่นระบายความร้อน ขนาด 1 นิ้ว
 สวิตช์ กดติดปล่อยดับ
 สวิตช์ ไฟฟ้ากระแสสลับ
 แผ่นปรินออเนกประสงค์
 เสารองแผ่นปริน
 ตะกั่วบัดกรี ULTRACORE ขนาด 0.4 ,0.8 มิลลิเมตร
 สายไฟ AC
 สายไฟอ่อน
 กล่องเอนกประสงค์รุ่น EC-2A

2.3.2 เครื่องมือ ประกอบด้วย

หัวแร้งไฟฟ้า ชนิดแช่ ขนาด 40 วัตต์จำนวน 1 ตัว
 หัวแร้งไฟฟ้า ชนิดแช่ ขนาด 25 วัตต์จำนวน 1 ตัว
 คีมปลอกสายไฟ
 คีมปากตัด
 คีมจับ
 ไขควง 1 ชุด

2.4 กำหนด สถานที่ และระยะเวลา ที่ใช้สร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติ ควบคุมอุณหภูมิ การเผาผลาญภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ใช้ภาควิชาฟิสิกส์อุตสาหกรรมและอุปกรณ์การแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันราชภัฏพระนครศรีอยุธยา โปรแกรมวิชาอิเล็กทรอนิกส์ และภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา คณะ

เทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏพระนคร ซึ่งใช้เวลาในการสร้างและทดสอบ ตั้งแต่ 10 พฤศจิกายน 2543 ถึง วันที่ 10 เมษายน พ.ศ. 2544

3. ทดสอบ ปรับปรุง และแก้ไข การทำงานของชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุม อุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

ทำการทดสอบ ปรับปรุงแก้ไข ปรับปรุงแก้ไขการทำงานของสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาโดยมีเครื่องมือวัดดังนี้

3.1 ออสซิลโลสโคป

- 3.1.1 มีขนาด 100 MHz , สองเส้นทาง, สองสัญญาณทริกเกอร์
- 3.1.2 ปรับความไวทางด้านแนวตั้ง 1mV/DIV ถึง 15V/DIV
- 3.1.3 ปรับความเร็วในการกวาดภาพได้ตั้งแต่ 2nS/DIV ถึง 2S/DIV
- 3.1.4 มีโหมดการทำงานแบบ X – Y HOLD และโหมด OFF
- 3.1.5 ใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 - 240 โวลต์

3.2 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์

- 3.2.1 มีจอแสดงผลเป็นแบบ LCD
- 3.2.2 มีความละเอียดและความแม่นยำในการวัดสูง สามารถวัดได้ 10 ฟังก์ชัน DCV, ACV, DCA, ACA, OHM, HFE TEST, วัดไดโอด, วัดความถี่, วัดความถี่ต่อเนื่องด้วยสัญญาณเสียง, คาปาซิเตอร์
- 3.2.3 วัดDC VOLTAGE โดยมีย่านการวัด 400mV, 4V, 400V, 1000V
- 3.2.4 วัดAC VOLTAGE โดยมีย่านการวัด 400mV, 4V, 400V, 1000V
- 3.2.5 วัดDC CURRENT โดยมีย่านการวัด 40mA, 400mA, 10A
- 3.2.6 วัดAC CURRENT โดยมีย่านการวัด 40mA, 400mA, 10A
- 3.2.7 วัดความต้านทาน 400 Ω , 4K Ω , 40K Ω , 400K Ω , 4M Ω
- 3.2.8 วัดคาปาซิเตอร์ 4nF, 40nF, 400nF, 4 μ F, 40 μ F
- 3.2.9 ใช้แบตเตอรี่ 9 โวลต์ และมีโปรแกรมแสดงผลเมื่อแบตเตอรี่จะหมด
- 3.2.10 ใช้กับแหล่งจ่ายไฟ 220 – 240 โวลต์

3.3 ชุดแสดงผลอุณหภูมิดิจิตอล

- 3.3.1 มีอินพุตแบบ K, J, RTD
- 3.3.2 มีความเที่ยงตรง $\pm 0.5 \%$ + หลักของย่านการควบคุมสูงสุด
- 3.3.3 แสดงผลแบบดิจิตอล LED สีแดง 4 หลัก
- 3.3.4 มีย่านการวัด 0 $^{\circ}$ C – 1700 $^{\circ}$ C

3.4 เครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้า

- 3.4.1 มีช่วงความถี่ตั้งแต่ 0.2 ถึง 2 MHz
- 3.4.2 มีรูปสัญญาณทั้งสี่เหลี่ยม, สามเหลี่ยม, ซายน์, พัลส์
- 3.4.3 สามารถควบคุม DUTY CYCLE ได้อย่างต่อเนื่อง
- 3.4.4 ค่าผิดพลาด $\pm 0.5 \%$ ของค่าเต็มสเกล

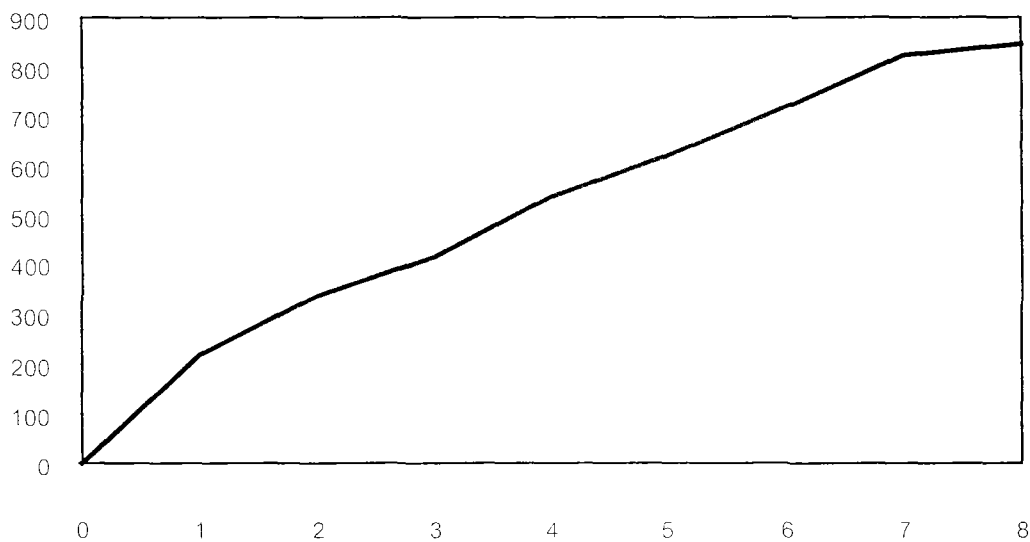
4. ประสิทธิภาพ ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณ์เครื่องปั้นดินเผา

การทดสอบประสิทธิภาพในการใช้งาน โดยการเปรียบเทียบชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณ์เครื่องปั้นดินเผาที่สร้างขึ้น กับเทียบชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณ์เครื่องปั้นดินเผายี่ห้อ เนเบอร์ รุ่น C19

4.1 ทดสอบการเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบดังต่อไปนี้

4.1.1 การควบคุมเวลาที่ใช้เผาและอุณหภูมิที่ได้จากการเผา

4.1.2 เปรียบเทียบกราฟการเผาองศาเซลเซียสต่อชั่วโมงจนเสร็จสิ้นการเผา



ชั่วโมง	0	1	2	3	4	5	6	7	8
อุณหภูมิการเผาผลิตภัณ์เครื่องปั้นดินเผา เนเบอร์ รุ่น C19 (°C)	0	220	336	414	535	615	719	822	846

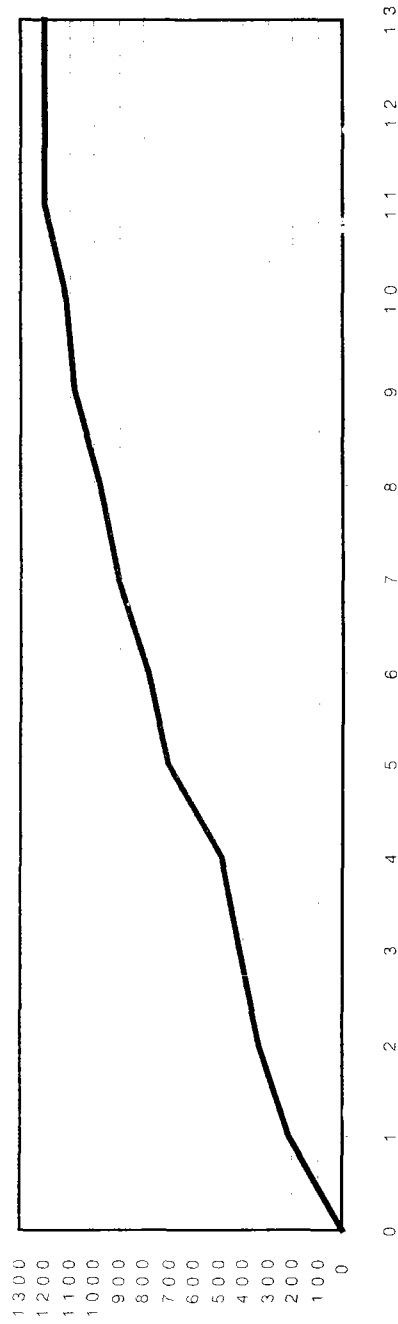
ภาพประกอบ 59 กราฟแสดงการเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส

4.2 ทดสอบการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบดังต่อไปนี้

4.2.1 การควบคุมเวลาที่ใช้เผาและอุณหภูมิที่ได้จากเผา

4.2.2 เปรียบเทียบการฟลักการเผาองศาเซลเซียสต่อชั่วโมงจนเสร็จสิ้นการเผา

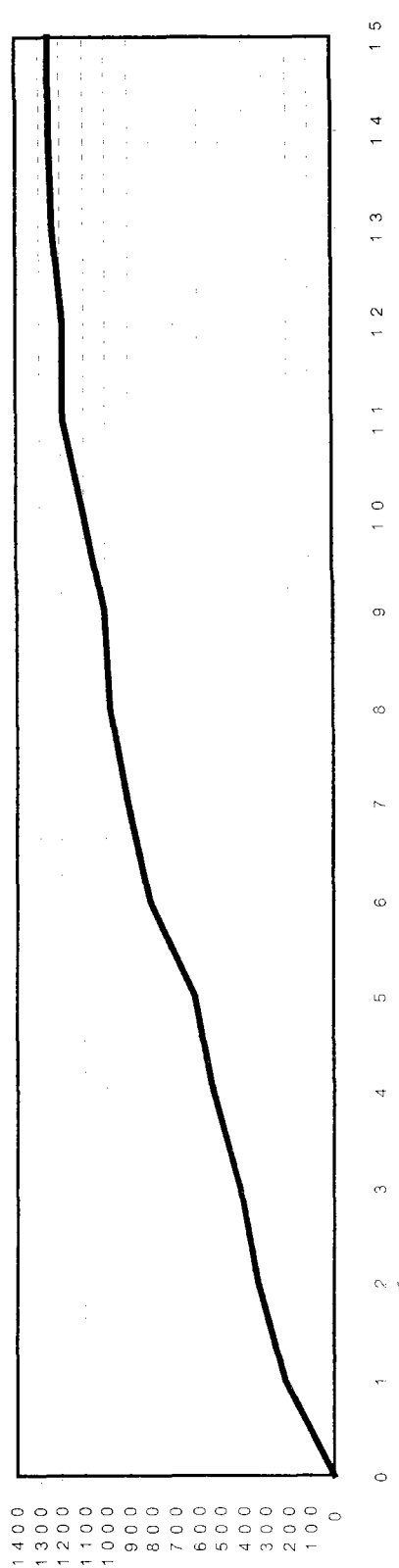
4.2.3 เปรียบเทียบการเผาในไฟใช้เวลา 30 – 60 นาที โดยอุณหภูมิคงที่ ที่ 1,200 องศาเซลเซียส



ชั่วโมง	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
อุณหภูมิการเผารองปั้นดินเผา เบนเบอร์ รุ่น C-19 (°C)	0	220	336	414	492	704	783	907	983	1080	1115	1200	1200	1200

ภาพประกอบ 60 กราฟแสดงการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

- 4.3 ทดสอบการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบดังต่อไปนี้
 - 4.3.1 การควบคุมเวลาที่ใช้เผา และอุณหภูมิที่ได้จากการเผา
 - 4.3.2 เปรียบเทียบกราฟการเผา องศาเซลเซียสต่อชั่วโมงจนเสร็จสิ้นการเผา
 - 4.3.3 เปรียบเทียบการเผาแบบเย็นไฟที่ 1,250 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 30 – 60 นาที



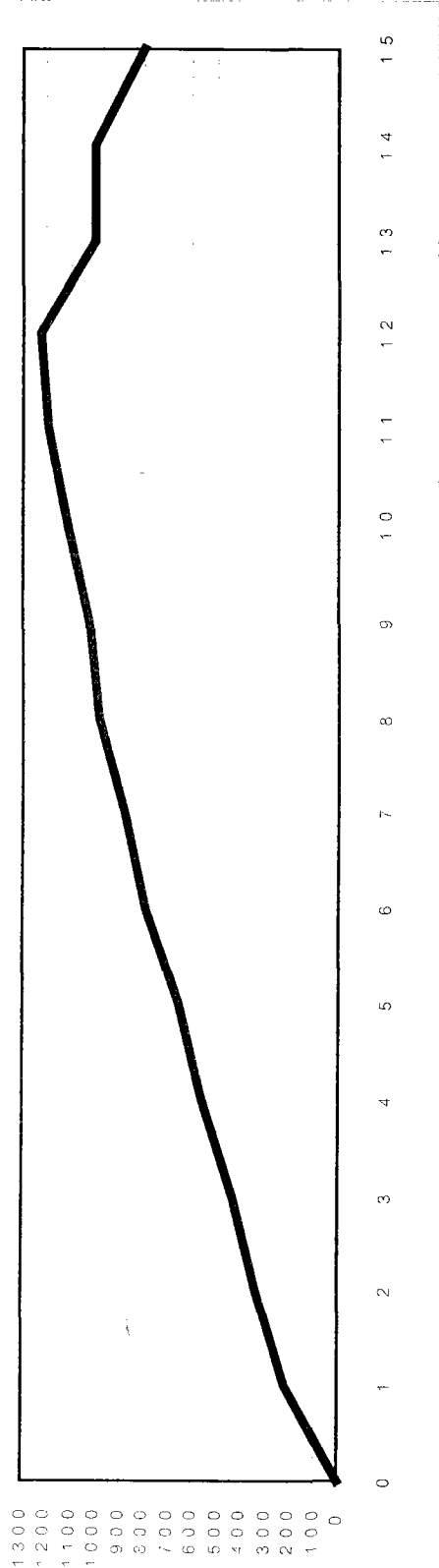
ชั่วโมง	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
อุณหภูมิการเผาเครื่องปั้นดินเผา เบนอร์ รุ่น C 19 (°C)	0	220	336	414	535	615	816	907	983	1012	1094	1189	1189	1235	1250	1250

ภาพประกอบ 61 กราฟแสดงการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

4.4 ทดสอบการเผาโดยควบคุมการลดอุณหภูมิ ให้อุณหภูมิลดช้าตามต้องการ ทำการทดสอบดังนี้

4.4.1 เผาเค็ลือบที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส ลดอุณหภูมิมาจนถึง ที่ 1,000 องศาเซลเซียส 60 นาที และลดอุณหภูมิถึงที่ ที่ 600 องศาเซลเซียส 60 นาที

4.4.2 เผาเค็ลือบที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ลดอุณหภูมิให้ลงมากจนถึง ที่ 1,050 องศาเซลเซียส 60 นาที และลดอุณหภูมิถึงที่ ที่ 800 องศาเซลเซียส 60 นาที



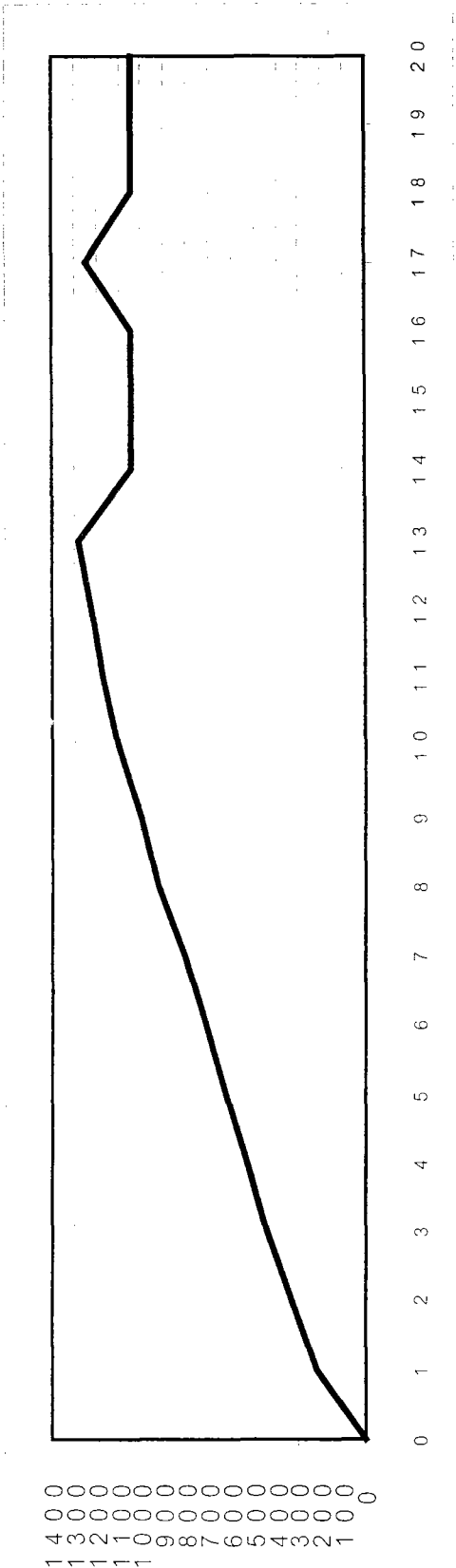
ภาพประกอบ 62 กราฟแสดงการเผาเค็ลือบที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส

4.5 ทดสอบการเผาเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส ทดสอบดังนี้

4.5.1 เปรียบเทียบเวลาและอุณหภูมิที่ขึ้นถึง 1,280 องศาเซลเซียส

4.5.2 ลดอุณหภูมิการเผาจาก 1,280 องศาเซลเซียส ทำการขึ้นไปที่ 1,150 องศาเซลเซียส 180 นาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไป 1,250 องศาเซลเซียส ยืนไฟ 60 นาที

4.5.3 จากการเผาติดั้งให้ลดอุณหภูมิลงมากที่ 1,050 องศาเซลเซียส แล้วยืนไฟอีก 180 นาที



ชั่วโมง	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
อุณหภูมิการเผาเครื่องปั้นดินเผา เบนอร์ รุ่น C 19 (°C)	0	220	336	445	535	627	721	812	931	1007	1103	1176	1223	1280	1050	1050	1050	1250	1050	1050	1050

ภาพประกอบ 63 กราฟแสดงการเผาเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพ

ค่าเฉลี่ย ใช้สูตร (ล้วน สายยศ และ อังคณา สายยศ. ม.ป.ป..76)

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

$\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยอนุกรม

N = ผลรวมค่าอนุกรม

ค่าเฉลี่ย ใช้สูตร (ล้วน สายยศ และ อังคณา สายยศ. ม.ป.ป..100)

$$S^2 = \frac{N \sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}$$

S^2 = ความแปรปรวนของค่าอนุกรม

X = ค่าอนุกรมที่วัดได้แต่ละค่า

N = จำนวนชั่วโมงที่ใช้ในการเผาผลิตภัณท์เครื่องปั้นดินเผา

ค่าสถิติ t ใช้สูตร

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$\bar{X}_1$ = ค่าเฉลี่ยของอนุกรมที่วัดได้จากชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอนุกรมการเผาผลิตภัณท์เครื่องปั้นดินเผาที่สร้างขึ้น

$\bar{X}_2$ = ค่าเฉลี่ยของอนุกรมที่วัดได้จากชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอนุกรมการเผาผลิตภัณท์เครื่องปั้นดินเผาเนเบอร์ รุ่น C19

S_1^2 = ความแปรปรวนของค่าอนุกรมที่วัดได้จากชุด จากชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอนุกรมการเผาผลิตภัณท์เครื่องปั้นดินเผาที่สร้างขึ้น

S_2^2 = ความแปรปรวนของค่าอนุกรมที่วัดได้จากชุด จากชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอนุกรมการเผาผลิตภัณท์เครื่องปั้นดินเผาเนเบอร์ รุ่น C19

n_1 = จำนวนชั่วโมงที่ใช้ในการเผาผลิตภัณท์เครื่องปั้นดินเผาที่ได้ จากชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอนุกรมการเผาผลิตภัณท์เครื่องปั้นดินเผาที่สร้างขึ้น

n_2 = จำนวนชั่วโมงที่ใช้ในการเผาผลิตภัณท์เครื่องปั้นดินเผาที่ได้ จากชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอนุกรมการเผาผลิตภัณท์เครื่องปั้นดินเผาเนเบอร์ รุ่น C19

5. สร้างคู่มือการใช้ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

ในการสร้างคู่มือการใช้ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาจะประกอบด้วย

1. ลักษณะการทำงาน (Description of operation) โดย ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิและเวลาด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีระบบอุณหภูมิเป็นองศา เซลเซียส สามารถตั้งอุณหภูมิได้ 6 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งตั้งอุณหภูมิได้ไม่เกิน 1,300 องศาเซลเซียส และปรับ/ตั้งเวลา เป็นชั่วโมงและนาทีได้ อย่างละ 6 ตำแหน่ง การปรับอุณหภูมิและเวลาของแต่ละตำแหน่งจะสูงหรือต่ำกว่า, ก่อนหรือหลัง ได้ตามความเหมาะสม มีโปรแกรมการเผาแต่ละโปรแกรมการเผาไม่เกิน 24 ชั่วโมง

2. สวิตช์เปิดปิด (Switching on and off) การเปิดและปิดสวิตช์ด้วยสวิตช์ ON OFF

3. การป้อนโปรแกรมการทำงาน (Entering a program) เป็นการป้อนโปรแกรมเพื่อให้เครื่องสามารถทำงานตามลักษณะการเผาที่ต้องการโดยมีวิธีการดังนี้

กดปุ่ม Rest/Start หน้าจอแสดงผลจะแสดง

Welcome to

Temp Control

Set Time

Time 1 > -- : -- เพื่อตั้งเวลา 2 ตัวเลขแสดง ชั่วโมง 2 ตัวหลัง แสดง นาที เมื่อกดจำนวนเวลาที่ใช้แล้ว โปรแกรมจะแสดง

already

Next

Time 2 > -- : -- เพื่อตั้งเวลา 2 ตัวเลขแสดง ชั่วโมง 2 ตัวหลัง แสดง นาที เมื่อกดจำนวนเวลาที่ใช้แล้ว โปรแกรมจะแสดง

already

Next

Time 3 > -- : -- เพื่อตั้งเวลา 2 ตัวเลขแสดง ชั่วโมง 2 ตัวหลัง แสดง นาที เมื่อกดจำนวนเวลาที่ใช้แล้ว โปรแกรมจะแสดง

already

Next

Time 4 > -- : -- เพื่อตั้งเวลา 2 ตัวเลขแสดง ชั่วโมง 2 ตัวหลัง แสดง นาที เมื่อกดจำนวนเวลาที่ใช้แล้ว โปรแกรมจะแสดง

already

Next

Time 5 > -- : -- เพื่อตั้งเวลา 2 ตัวเลขแสดง ชั่วโมง 2 ตัวหลัง แสดง นาที เมื่อกดจำนวนเวลาที่ใช้แล้ว โปรแกรมจะแสดง

already

Next

Time 6 > -- : -- เพื่อตั้งเวลา 2 ตัวเลขแสดง ชั่วโมง 2 ตัวหลัง แสดง นาที เมื่อกด
จำนวนเวลาที่ใช้แล้ว โปรแกรมจะแสดง

Time already

Next

Set Temp

Temp 1 > ---- °C เพื่อตั้งอุณหภูมิ เมื่อกดตั้งอุณหภูมิแล้วโปรแกรมจะแสดง
already

Next

Temp 2 > ---- °C เพื่อตั้งอุณหภูมิ เมื่อกดตั้งอุณหภูมิแล้วโปรแกรมจะแสดง
already

Next

Temp 3 > ---- °C เพื่อตั้งอุณหภูมิ เมื่อกดตั้งอุณหภูมิแล้วโปรแกรมจะแสดง
already

Next

Temp 4 > ---- °C เพื่อตั้งอุณหภูมิ เมื่อกดตั้งอุณหภูมิแล้วโปรแกรมจะแสดง
already

Next

Temp 5 > ---- °C เพื่อตั้งอุณหภูมิ เมื่อกดตั้งอุณหภูมิแล้วโปรแกรมจะแสดง
already

Next

Temp 6 > ---- °C เพื่อตั้งอุณหภูมิ เมื่อกดตั้งอุณหภูมิแล้วโปรแกรมจะแสดง
already

Next

Time already

Temp already

โปรแกรมจะเริ่มทำงานทันที พร้อมแสดงอุณหภูมิ และเวลา

T : ---- °C -- : --

4. การเริ่มต้นให้โปรแกรมทำงาน (Starting a program) เป็นเริ่มให้โปรแกรมทำงานด้วยการกดปุ่ม Reset/Start หลังจากได้ตั้งโปรแกรมตามข้อ 3 แล้วเตาจะเริ่มทำงานทันที โดยบนจอแสดงอุณหภูมิภายในเตา และเวลา มีสัญญาณไฟแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม จนกว่าจะหมดโปรแกรม สัญญาณไฟสุดท้ายจะปรากฏ แสดงว่าได้สิ้นสุดโปรแกรมแล้ว เตาจะหยุดทำงาน และอุณหภูมิบนจอเริ่มลดลงจนกว่าจะไปปิดสวิตช์ แต่บนจอแสดงผลจะแสดงผลอุณหภูมิ และเวลา ตลอดเวลาจนกว่าจะมีการตั้งโปรแกรมใหม่

5. การยกเลิกโปรแกรมการเผา (Erasing a program) เป็นการยกเลิกโปรแกรมการเผาโดยให้เตาหยุดทำงานได้ทันทีที่สามารถทำได้โดยกดปุ่ม RESET วิธีนี้จะทำให้เตาและโปรแกรมหยุดทำงาน จึงกดปุ่มปิด/เปิด

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลาญภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ผู้ศึกษาค้นคว้าได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้าตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ ซึ่งประกอบด้วย ศึกษารายละเอียดต่างๆเกี่ยวกับการเผาผลาญภัณฑ์และการออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติ สร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลาญภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา การทดสอบการทำงานชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลาญภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา การปรับปรุงแก้ไข การทดสอบประสิทธิภาพชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลาญภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ซึ่งผลการสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลาญภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา มีดังต่อไปนี้

ภาคจ่ายไฟ

จัดทำแผนผังวงจรสำหรับชุดจ่ายไฟ นำ หม้อแปลง ไอซี 7815, 7915, 7805, ไดโอด 1N4001, คาปาซิเตอร์ 470 μF 50 โวลต์ ประกอบลงบนแผ่นพิมพ์วงจร ทดสอบวงจรไฟฟ้ากระแสตรง ± 15 โวลต์ และ $+5$ โวลต์ โดยจ่ายไฟเข้าที่ หม้อแปลง ซึ่งมีแรงดันทางต้านอินพุต 220 Vpp แรงดันเอาต์พุตขนาด 15 Vpp ใช้ ออสซิลโลสโคป ขนาด 100 MHz สองเส้นภาพ, สองสัญญาณทริกเกอร์ ปรับความไวทางด้านแนวตั้งที่ CH1 15 V/DIV มาวัดที่สัญญาณเอาต์พุต 15 Vpp จะได้รูปคลื่นซายส์ที่มีขนาด 15 Vpp นำ CH2 15 V/DIV วัดที่ หลังวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าสลับให้เป็นกระแสไฟฟ้าตรง จะได้สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 21.21 โวลต์ นำ CH1 ไปวัดที่ ไอซี 7815 ได้สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง $+15$ โวลต์ CH1 ไปวัดที่ ไอซี 7915 ได้สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง -15 โวลต์ CH1 ไปวัดที่ IC 7805 ได้สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง $+5$ โวลต์ เมื่อทดสอบการทำงานของวงจรเรียบร้อยแล้ว จัดทำแผนผังวงจรไฟฟ้ากระแสตรง ± 15 โวลต์, และ ไฟฟ้ากระแสตรง $+5$ โวลต์ ประกอบอุปกรณ์ลงบนแผ่นพิมพ์วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง วงจรที่สร้างขึ้นจะมีชุดอุปกรณ์ควบคุมระบบ

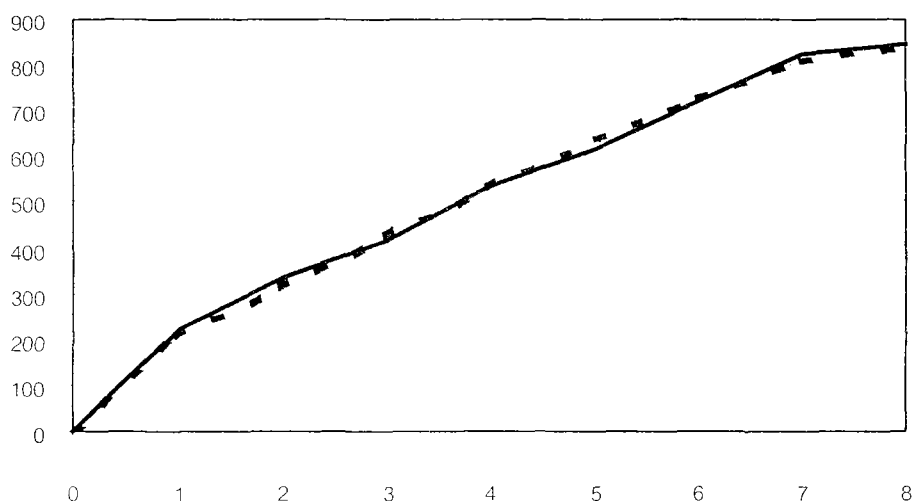
ประกอบด้วย ไอซี 8031 แผ่นพิมพ์วงจรเอนกประสงค์ ทำการทดสอบการทำงาน และจัดทำแผนผังพิมพ์วงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรสวิตช์สัมผัสตั้งค่าอุณหภูมิและตั้งค่าเวลา วงจรขยายสัญญาณ วงจรอินสตรูเมนชัน ทำการทดสอบการทำงานของแต่ละวงจรประกอบอุปกรณ์วงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ และตั้งค่าเวลา วงจรขยายสัญญาณ วงจรอินสตรูเมนชัน สายสัญญาณ เมื่อได้ชุดอุปกรณ์ควบคุมระบบ แล้วเขียนโปรแกรมการทำงาน เพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ภาคแสดงผล

ทดสอบการทำงานของวงจร โดยจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์แอลซีดีจัดทำแผนผังวงจรชุด โดยผลที่ได้ จะมีความชัดเจนของ แอลซีดี ประกอบอุปกรณ์วงจรชุดแสดงผล วงจรขยายสัญญาณ วงจรอินสตรูเมนชัน วงจรชุดแสดงผล เชื่อมโยงสายสัญญาณเพื่อต่อวงจรแต่ละชุดเข้าด้วยกันตามวงจรที่ออกแบบไว้ วงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรสวิตช์สัมผัสตั้งค่าอุณหภูมิและตั้งค่าเวลา โดยตั้งที่ 2.5 โวลต์ โดยผลที่ได้จะได้เซลล์ การทดลองโปรแกรมแสดงผล แอลซีดี โดยการป้อนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C51 แสดงผลเป็นตัวเลข

การทดสอบวงจร Key Switch โดยใช้จิจิตอลมัลติมิเตอร์ โดยการกดปุ่มที่ละปุ่มจนครบทุกตัว จนกว่าจะผ่านการวัดความไม่โดยการตั้งค่าย่านการวัดความต่อเนื่องด้วยสัญญาณเสียง ปุ่มสัญญาณ เสียง Key Switch ตัวที่ใช้งานได้เมื่อกดปุ่มจะมีสัญญาณเสียงดังขึ้น เมื่อได้กดปุ่ม การทดลองการเผาเตา ทดสอบเทอร์โมคัปเปิล เพื่อนำค่าได้ไปออกแบบเมื่อครั้งแรก จ่าย ไฟฟ้ากระแสสลับ 380 โวลต์ และเมื่อ จ่าย ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 การทดลองวงจรควบคุมขดลวดของเตาเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา โดยนำ เอสซีอาร์มาต่อวงจรบริดจ์ เรกติฟายจากการทดลองไม่สามารถควบคุมการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับได้จึง เปลี่ยนนำไดโอดมาต่อแบบบริดจ์ และควบคุมการทำงานด้วยเอสซีอาร์ ต่อโหลดด้วยตัวต้านทานทนกำลัง ไฟฟ้าสูง. ต่ออนุกรมกับหลอดไฟ ขนาด 220 โวลต์เพื่อตรวจสอบการควบคุมได้จึงทำแผ่นพิมพ์และลง อุปกรณ์

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล



————— อุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เบนเบอร์ รุ่น C 19 (°C)
 - - - - - อุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ที่สร้างขึ้น (°C)

ชั่วโมง	0	1	2	3	4	5	6	7	8
อุณหภูมิการเผา เบนเบอร์ C19(°C)	0	220	336	414	535	615	719	822	846
อุณหภูมิการเผา ชุดที่สร้าง °C	0	207	313	426	528	637	728	808	839

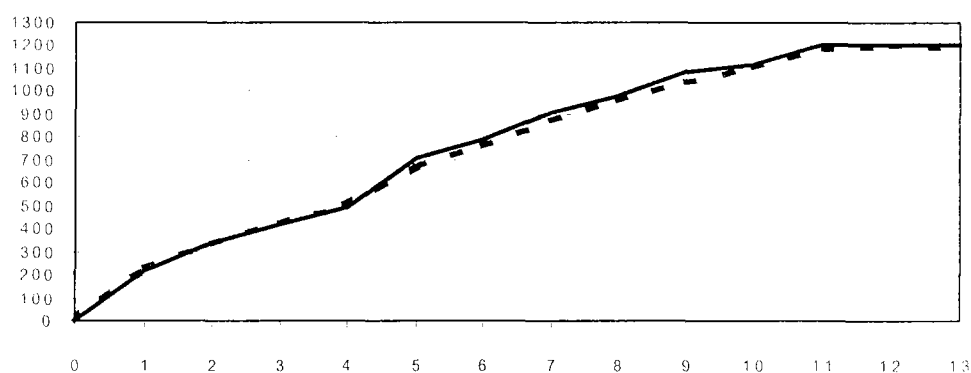
ภาพประกอบ 64 แสดงการควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่อุณหภูมิ

เปรียบเทียบการควบคุมอุณหภูมิการเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ด้วยชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เนเบอร์ C19 กับชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

ตาราง 9 เปรียบเทียบ จำแนกตามจำนวนชั่วโมงการเผา และอุณหภูมิการเผาไหม้ที่ อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส

	n	$\bar{x}$	SD	t
อุณหภูมิการเผา เนเบอร์ รุ่น C19 (°C)	8	563.38	228.78	0.023
อุณหภูมิการเผาชุดที่สร้างขึ้น (°C)	8	560.75	232.41	
รวม	16	562.06	222.78	

จากตาราง 9 แสดงว่า การควบคุมอุณหภูมิการเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ด้วยชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติ ควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เนเบอร์ C19 กับชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ



————— อุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เนเบอร์ รุ่น C 19 (°C)
 ----- อุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ที่สร้างขึ้น (°C)

ชั่วโมง	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
อุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เนเบอร์ รุ่น C 19 (°C)	0	220	336	414	492	704	783	907	983	1080	1115	1200	1200	1200
อุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ที่สร้างขึ้น (°C)	0	232	334	442	501	675	759	873	965	1042	1107	1189	1202	1198

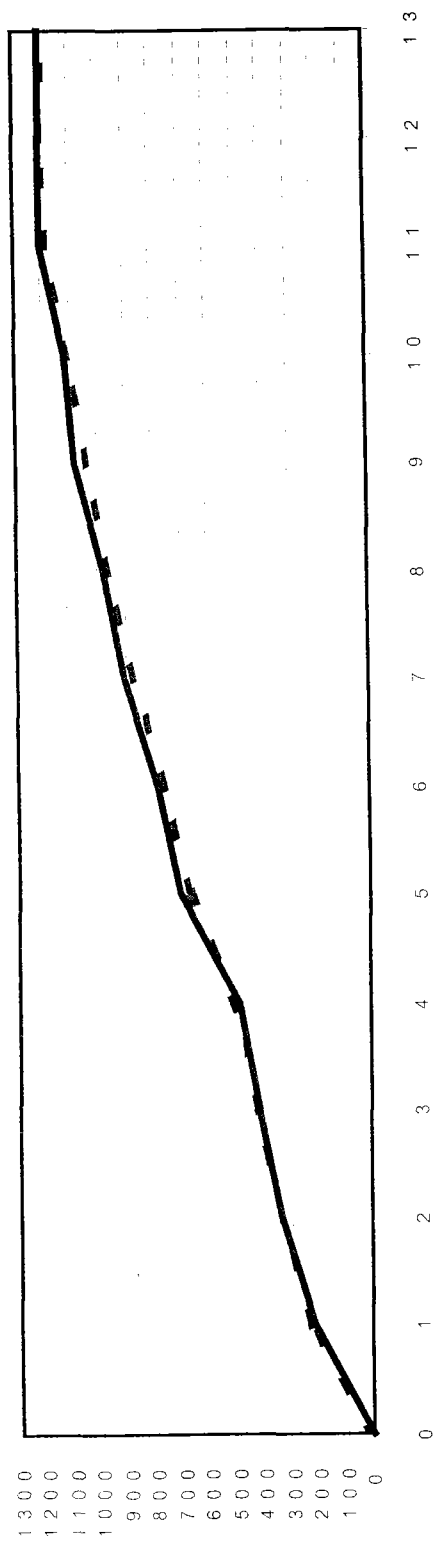
ภาพประกอบ 65 แสดงการควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

เปรียบเทียบการควบคุมอุณหภูมิการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ด้วยชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการผลิตภายในเครื่องปั้นดินเผาแบบอร์ C19 กับชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการผลิตภายในเครื่องปั้นดินเผา

ตาราง 10 เปรียบเทียบ จำนวนตามจำนวนชั่วโมงการเผา และอุณหภูมิการเผาเคลือบที่ อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

	N	$\bar{x}$	SD	t
อุณหภูมิการเผา แบบอร์ รุ่น C19 ($^{\circ}\text{C}$)	13	818.00	353.96	0.076
อุณหภูมิการเผาชุดที่สร้างขึ้น ($^{\circ}\text{C}$)	13	807.62	347.05	
รวม	26	812.81	343.48	

จากตาราง 10 แสดงว่า การควบคุมอุณหภูมิการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ด้วยชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการผลิตภายในเครื่องปั้นดินเผา แบบอร์ รุ่น C19 กับชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการผลิตภายในเครื่องปั้นดินเผาแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ



----- ข้อมูลภูมิอากาศของพื้นที่เครื่องปั้นดินเผา แบบอรัน C 19 (°C)

----- ข้อมูลภูมิอากาศของพื้นที่เครื่องปั้นดินเผา ที่สร้างขึ้น (°C)

ชั่วโมง	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
อุณหภูมิอากาศของพื้นที่เครื่องปั้นดินเผา แบบอรัน C 19 (°C)	0	220	336	414	535	615	816	907	983	1012	1094	1189	1189	1235	1250	1250
อุณหภูมิอากาศของพื้นที่เครื่องปั้นดินเผา ที่สร้างขึ้น (°C)	0	234	332	419	507	609	787	876	968	1035	1090	1178	1193	1239	1248	1253

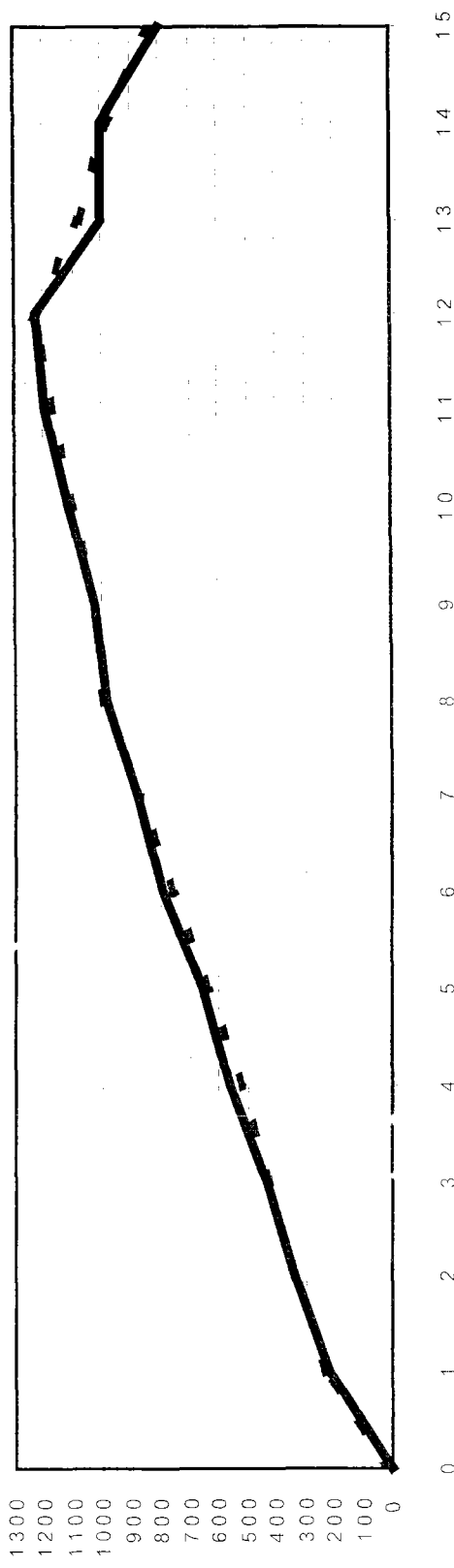
ภาพประกอบ 66 แสดงการควบคุมอุณหภูมิการผลิตภาชนะดินเผาที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

เปรียบเทียบการควบคุมอุณหภูมิการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส ด้วยชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาแบบอร์ C19 กับชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

ตาราง 11 เปรียบเทียบ จำนวนจำนวนชั่วโมงการเผา และอุณหภูมิการเผาเคลือบที่ อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

	N	$\bar{x}$	SD	t
อุณหภูมิการเผา แบบอร์ รุ่น C19 (°C)	15	869.67	359.14	0.039
อุณหภูมิการเผาชุดที่สร้างขึ้น (°C)	15	864.53	359.95	
รวม	30	867.10	353.30	

จากตาราง 11 แสดงว่า การควบคุมอุณหภูมิการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส ด้วยชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาแบบอร์ C19 กับชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ



----- อุณหภูมิการเผาผลาญที่เครื่องปั้นดินเผา เนเปอร์รุ่น C 19 (°C)

----- อุณหภูมิการเผาผลาญที่เครื่องปั้นดินเผา ที่สร้างขึ้น (°C)

ชั่วโมง	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
อุณหภูมิการเผาผลาญที่เครื่องปั้นดินเผา เนเปอร์รุ่น C 19 (°C)	0	220	336	445	535	627	721	812	931	1007	1103	1176	1223	1280	1050	1050	1050	1250	1050	1050	1050
อุณหภูมิการเผาผลาญที่เครื่องปั้นดินเผา ที่สร้างขึ้น (°C)	0	229	332	443	539	619	701	799	898	999	1087	1179	1230	1272	1054	1047	1052	1257	1137	1076	1043

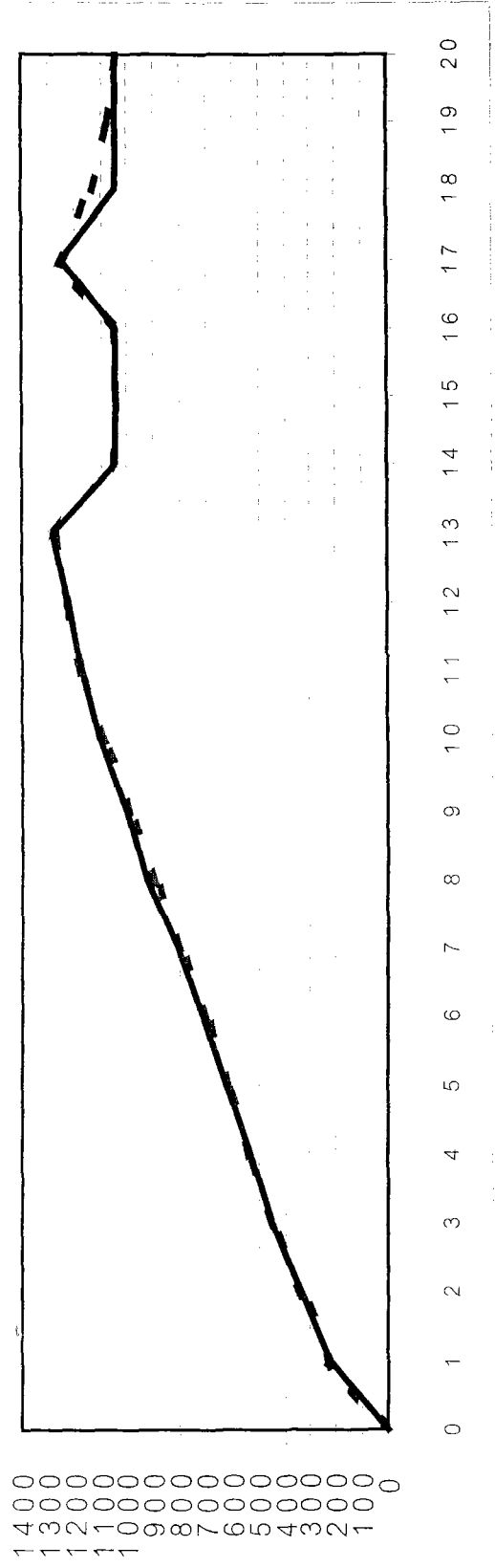
ภาพประกอบ 67 แสดงการควบคุมอุณหภูมิการเผาผลาญที่เครื่องปั้นดินเผาที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส

เปรียบเทียบการควบคุมอุณหภูมิการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส ด้วยชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาแบบอร์ C19 กับชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

ตาราง 12 เปรียบเทียบ จำนวนตามจำนวนชั่วโมงการเผา และอุณหภูมิการเผาเคลือบที่ อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส

	N	$\bar{X}$	SD	t
อุณหภูมิการเผา แบบอร์ รุ่น C19 (°C)	15	815.67	312.71	0.005
อุณหภูมิการเผาชุดที่สร้างขึ้น (°C)	15	815.07	318.41	
รวม	30	815.37	310.08	

จากตาราง 12 แสดงว่า การควบคุมอุณหภูมิการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส ด้วยชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา แบบอร์ C19 กับชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ



อุณหภูมิการเผาผลิติดังกล่าวที่เครื่องปั่นดินเผา แบบอรุ่น C19 (°C)

อุณหภูมิการเผาผลิติดังกล่าวที่เครื่องปั่นดินเผา ที่สร้างขึ้น (°C)

ชั่วโมง	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
อุณหภูมิการเผาผลิติดังกล่าวที่เครื่องปั่นดินเผา แบบอรุ่น C19(°C)	0	220	336	445	535	627	721	812	931	1007	1103	1176	1223	1280	1050	1050	1050	1250	1050	1050	1050
อุณหภูมิการเผาผลิติดังกล่าวที่เครื่องปั่นดินเผา ที่สร้างขึ้น (°C)	0	229	332	443	539	619	701	799	868	999	1087	1179	1230	1272	1054	1047	1052	1257	1137	1076	1043

ภาพประกอบ 68 แสดงการควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิติดังกล่าวที่เครื่องปั่นดินเผาที่อุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส

เปรียบเทียบการควบคุมอุณหภูมิการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส ด้วยชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาแบบอาร์ C19 กับชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

ตาราง 13 เปรียบเทียบ จำนวนชิ้นตัวอย่างการเผา และอุณหภูมิการเผาเคลือบที่ อุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส

	n	$\bar{x}$	SD	T
อุณหภูมิการเผา แบบอาร์ รุ่น C19 (°C)	20	898.30	313.81	-0.014
อุณหภูมิการเผาชุดที่สร้างขึ้น (°C)	20	899.65	317.40	
รวม	40	898.98	311.54	

จากตาราง 13 แสดงว่า การควบคุมอุณหภูมิการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส ด้วยชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา แบบอาร์ C19 กับชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา และศึกษาประสิทธิภาพชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ได้ดำเนินการเป็นขั้นตอนดังนี้

ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เมื่อเทียบกับความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิของชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ยี่ห้อเนเบอร์ รุ่น C19 ของประเทศเยอรมัน

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

ได้ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาเช่นเดียวกับชุดอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ยี่ห้อเนเบอร์ รุ่น C19 ของประเทศเยอรมัน และสามารถทดแทนการนำเข้ารวมทั้งซ่อมแซมได้ง่าย มีราคาถูก เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา

สมมุติฐานการศึกษาค้นคว้า

ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่สร้างขึ้น มีความสามารถควบคุมอุณหภูมิการเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส การเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส การเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส การเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส การเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส ไม่แตกต่างกับชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ยี่ห้อเนเบอร์ รุ่น C19 ของประเทศเยอรมัน

การดำเนินการศึกษาค้นคว้า

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ผู้ศึกษาค้นคว้าได้แบ่งกระบวนการศึกษาออกเป็น 5 ขั้นตอนดังนี้คือ
ขั้นตอนที่ 1 ศึกษารายละเอียดต่างๆเกี่ยวกับการเผาผลิภัณฑ์และการออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา โดยศึกษาค้นคว้า เอกสาร ตำรา และงานทดลองที่เกี่ยวกับการเผาผลิภัณฑ์ การวัดอุณหภูมิในการเผา ช่วงเวลาการเผา การเผาแบบยืนไฟ การปรับลด เพิ่มอุณหภูมิในการเผา ตลอดจนวิธีการวัดอุณหภูมิในเตาเผาและเครื่องวัดอุณหภูมิ การศึกษาค้นคว้า เอกสาร ตำรา งานทดลองเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างชุดชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา การศึกษาคุณสมบัติส่วนประกอบต่างๆของชุด

เครื่องมือวัดอุณหภูมิระบบดิจิทัลและชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

ขั้นตอนที่ 2 สร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา การออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ของชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา การกำหนดวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ ที่ใช้ในการสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ผู้ศึกษาค้นคว้าเลือกใช้ วัสดุ อุปกรณ์ ที่มีคุณภาพและราคาถูก เครื่องมือที่มีคุณภาพ ผู้ศึกษาค้นคว้าใช้โปรแกรมวิชาอิเล็กทรอนิกส์ และภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏพระนคร ใช้เวลาในการสร้างและทดสอบ 3 เดือน

ขั้นตอนที่ 3 ทดสอบ ปรับปรุง และแก้ไข การทำงานชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

ขั้นตอนที่ 4 ทดสอบประสิทธิภาพ ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

ขั้นตอนที่ 5 สร้างคู่มือชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

ผลการศึกษาค้นคว้า

เพื่อให้เกิดความเข้าใจโดยชัดเจนเกี่ยวกับผลการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ผู้ศึกษาค้นคว้าได้นำผลการศึกษาค้นคว้า มานำเสนอเป็นหัวข้อเพื่อให้สอดคล้องกับความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้าดังนี้

1. ในการออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ผู้ศึกษาค้นคว้าได้ทำการศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เกิดแนวคิดในการออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ที่สามารถใช้ในการควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาได้ โดยออกแบบส่วนประกอบต่างๆชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ที่ประกอบด้วย ภาควายไฟ ชุดอุปกรณ์ควบคุมระบบภาคแสดงผล

2. การศึกษาประสิทธิภาพชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เมื่อเทียบกับความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิของชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ยี่ห้อเนเบอร์ รุ่น C19 ของประเทศเยอรมัน

2.1 เมื่อทดสอบเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส สามารถเปรียบเทียบการควบคุมอุณหภูมิการเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ด้วยชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เนเบอร์ C19 กับชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่สร้างขึ้น ผลการทดลองสามารถปรับเปลี่ยนเวลาการเผา และการควบคุมอุณหภูมิการเผาใกล้เคียงกันมาก มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

2.2 เมื่อทดลองเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส สามารถเปรียบเทียบการควบคุมอุณหภูมิการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ด้วยชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เนเบอร์ C19 กับชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่สร้างขึ้น ผลการทดลองสามารถปรับเปลี่ยนเวลาการเผาและการควบคุมอุณหภูมิการเผาใกล้เคียงกันมาก มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

2.3 เมื่อทดลองเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส สามารถเปรียบเทียบการควบคุมอุณหภูมิการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส ด้วยชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เนเบอร์ C19 กับชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่สร้างขึ้น ผลการทดลองสามารถปรับเปลี่ยนเวลาการเผาและการควบคุมอุณหภูมิการเผาใกล้เคียงกันมาก มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

2.4 เมื่อทดลองเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส สามารถเปรียบเทียบการควบคุมอุณหภูมิการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส ด้วยชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เนเบอร์ C19 กับชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่สร้างขึ้น ผลการทดลองสามารถปรับเปลี่ยนเวลาการเผา และการควบคุมอุณหภูมิการเผาใกล้เคียงกันมาก มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

2.5 เมื่อทดลองการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส สามารถเปรียบเทียบการควบคุมอุณหภูมิการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส ด้วยชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เนเบอร์ C19 กับชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่สร้างขึ้น ผลการทดลองสามารถปรับเปลี่ยนเวลาการเผา และการควบคุมอุณหภูมิการเผาใกล้เคียงกันมาก มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

2.6 เมื่อทดลองการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,230 ,1250, 1,280 องศาเซลเซียส สามารถเปรียบเทียบการกำหนดเวลา การกำหนดอุณหภูมิและการกำหนดเวลาขึ้นอุณหภูมิระหว่าง ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เนเบอร์ C19 กับชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่สร้างขึ้น มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมาก มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการทดลองการเผาผลิตภัณฑ์ที่ใช้เนื้อดินปั้นที่มีส่วนผสมวัตถุดิบเหมือนกัน และน้ำเคลือบเหมือนกัน ผลการทดลองหลังจากการเผา ผลิตภัณฑ์ที่ออกมาจากการเผา เหมือนกันทุกประการไม่มีความแตกต่าง แสดงให้เห็นว่าชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่สร้างขึ้นใช้กับเตาเผาไฟฟ้ามีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมาก

3. ออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ใช้กับเตาเผาไฟฟ้าเปรียบเทียบกับชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เนเบอร์ C19 มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน แต่ราคาแตกต่างกัน ซึ่งชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่สร้างขึ้น ผู้วิจัยได้จัดบันทึกมีค่าวัสดุคิดเป็นเงินทั้งสิ้น 11,500 บาท โดยที่ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เนเบอร์ C 19 ราคา 54,000 บาท เมื่อเปรียบเทียบจะเห็นว่าชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่สร้างขึ้นมีราคาถูกกว่าคิดเป็นสัดส่วน 5.40 : 1.15

อภิปรายผล

จากสมมุติฐานการศึกษาค้นคว้าที่ตั้งไว้ในบทที่ 1 สามารถสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ใช้กับเตาไฟฟ้า นั้นปรากฏผลการศึกษาค้นคว้า สอดคล้องกับสมมุติฐานที่ตั้งไว้คือ

1. การออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ที่สร้างขึ้นมีส่วนประกอบด้วย ภาคจ่ายไฟ ชุดอุปกรณ์ควบคุมระบบ ภาคแสดงผลสามารถใช้ใน

2.5 ศึกษาประสิทธิภาพเมื่อทดลองการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส สามารถเปรียบเทียบการควบคุมอุณหภูมิการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,280 องศาเซลเซียส ด้วยชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เนเบอร์ C19 กับชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่สร้างขึ้น ผลการทดลองสามารถปรับเปลี่ยนเวลาการเผา และการควบคุมอุณหภูมิการเผาใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากการออกแบบวงจรการเลือกวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ ที่มีคุณสมบัติในการทำงานเหมือนกันและใกล้เคียงกับ ชุดสามารถใช้ในการควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ยี่ห้อเนเบอร์ รุ่น C19 ของประเทศเยอรมัน

2.6 ศึกษาประสิทธิภาพเมื่อทดลองการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,230 ,1250, 1,280 องศาเซลเซียส สามารถเปรียบเทียบการกำหนดเวลา การกำหนดอุณหภูมิและการกำหนดเวลายืนอุณหภูมิระหว่าง ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เนเบอร์ C19 กับชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่สร้างขึ้น มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากการออกแบบวงจร การเลือกวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ ที่มีคุณสมบัติในการทำงานเหมือนกันและใกล้เคียงกับ ชุดสามารถใช้ในการควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ยี่ห้อเนเบอร์ รุ่น C19 ของประเทศเยอรมัน

3. ออกแบบและสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่สร้างขึ้น จะได้ชุดอิเล็กทรอนิกส์ที่มีราคาถูกกว่า ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เนเบอร์ C19 ทั้งนี้เนื่องจาก วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ สามารถหาซื้อได้ภายในประเทศ การซ่อมแซมง่ายเนื่องจาก ผู้วิจัยออกแบบ และสร้างชุดชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาขึ้นเอง จึงสามารถหาข้อบกพร่อง ที่เกิดขึ้นได้

ข้อเสนอแนะ

ในการสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เพื่อให้การสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ใช้กับเตาเผาไฟฟ้า ควรเลือกหาวัสดุอุปกรณ์ที่มีคุณภาพโดยสั่งมาจากต่างประเทศ เท่าที่ผู้ศึกษาค้นคว้าจัดสร้างได้ใช้วัสดุได้ใช้วัสดุอุปกรณ์ภายในประเทศที่มีขายในท้องตลาดมีคุณภาพไม่ดีพอ ทำให้ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่สร้างขึ้นจึงมีค่าความคลาดเคลื่อนในการควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัย

ในการสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ผู้ศึกษาค้นคว้าได้เสนอแนะเพื่อให้เกิดแนวคิดใหม่ๆในการศึกษาค้นคว้า เพื่อที่จะทำการพัฒนาในการศึกษาค้นคว้าในขั้นต่อไปดังนี้

1. ในการสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาควรพัฒนาสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ให้ควบคุมอุณหภูมิสูงขึ้นอีก เพื่อนำไปใช้กับเตาไฟฟ้าที่มีอุณหภูมิสูงกว่าการสร้างครั้งนี้

2. ควรสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาเปรียบเทียบกับชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ผลิตจากประเทศอื่นๆ ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่า
3. ควรสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ที่มีความสามารถในการแก้ไขโปรแกรมการทำงานเมื่อเกิดโปรแกรมผิดพลาด
4. ควรสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ที่มีความสามารถในการรวมแต่ละโปรแกรมการทำงานเข้าด้วยกัน
5. ควรสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ที่มีความสามารถในการวัดค่าและแสดงผลอุณหภูมิ ที่คลาดเคลื่อนน้อยที่สุด
6. ควรทดสอบเวลาการใช้งานของ ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาให้มากกว่านี้

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- โกมล รักษ์วงศ์. (2538). งานวิจัยเตาเผาและเครื่องปั้นดินเผา เตาเผาแม่น้ำน้อยเพื่อสืบสานและอนุรักษ์ศิลปวัตถุโบราณของจังหวัดสิงห์บุรี. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา สถาบันราชภัฏพระนคร.
- โกมล รักษ์วงศ์. (2538). น้ำเคลือบ 2. (เอกสารประกอบการสอน). กรุงเทพฯ : ภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา สถาบันราชภัฏพระนคร.
- โกมล รักษ์วงศ์. (ม.ป.ป.). เตาและการเผา. (เอกสารประกอบการสอน). กรุงเทพฯ : ภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา สถาบันราชภัฏพระนคร.
- จิรศักดิ์ นุชนงค์และคนอื่นๆ.(2541). วิทยุแพกเกจควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับวิทยุสมัครเล่น. ปริญญาณิพนธ์ คอ.บ. (วิศวกรรมโทรคม). กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ถ่ายเอกสาร
- เจน สงสมพันธ์. (2538). เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์. พิมพ์ครั้งที่13 . กรุงเทพฯ : สถาบันอิเล็กทรอนิกส์กรุงเทพ-รังสิต.
- ดวงฤดี อิ่มสินสกุลและคนอื่นๆ.(2539). รถคนพิการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์. ปริญญาณิพนธ์ คอ.บ. (อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์). กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ถ่ายเอกสาร
- ถวัลย์วงศ์ ไกรโรจนานันท์. (2539). อิเล็กทรอนิกส์ระบบดิจิตอล. . กรุงเทพฯ : หจก.พิมพ์งาม.
- ถวัลย์วงศ์ ไกรโรจนานันท์. (2542). อิเล็กทรอนิกส์ระบบดิจิตอล. ฉบับปรับปรุง. กรุงเทพฯ : หจก.พิมพ์งาม.
- _____. (2538). การสร้างเตาเผาเซรามิกส์ประสิทธิภาพสูงชนิดไฟเบอร์. เชียงใหม่. สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ทวี พรหมพฤกษ์. (2525). เตาและการเผา. กรุงเทพฯ : หน่วศึกษาพิเศษ กรมฝึกหัดครู.
- เทอดศักดิ์ แก้วสิงห์และคนอื่นๆ.(2541). เซลล์แสงอาทิตย์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์. ปริญญาณิพนธ์ คอ.บ. (วิศวกรรมโทรคม). กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ถ่ายเอกสาร
- ธวัชชัย รามคงเมืองและคนอื่นๆ.(2539). เครื่องตรวจสอบอุณหภูมิคนไข้อัตโนมัติ. ปริญญาณิพนธ์ คอ.บ. (วิศวกรรมโทรคม). กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ถ่ายเอกสาร.
- ธานินทร์ โพธิ์อำไพและคนอื่นๆ.(2541). โปรแกรมจำลองการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS -51. ปริญญาณิพนธ์ คอ.บ. (อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์). กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ถ่ายเอกสาร.
- นภัทร วัจนเทพินทร์. (2538). อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ : บริษัทสกายบุ๊กส์ จำกัด.
- นัยนา วาณิชยพงศ์และคนอื่นๆ.(2537). ตัวควบคุมลำดับโดยใช้ MCS -51. ปริญญาณิพนธ์ คอ.บ. (อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์). กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ถ่ายเอกสาร.

- บุญชัย กิ่งรุ่งเพชร. (ม.ป.ป.). *คู่มือ Protel99*. กรุงเทพฯ : บริษัทแอคครา เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด.
- ปรีดา พิมพ์ขาวขา. (2535). *เซรามิกส์*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปรีดา พิมพ์ขาวขา. (2538). *วัตถุนไฟ*. กรุงเทพฯ : บริษัท สุรพิมพ์ จำกัด.
- พันศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์. (ม.ป.ป.). *ทฤษฎีอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น*. กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ.
- พันศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์ และ ประเพชร บุญธรรม. (2537). *ทฤษฎีอิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม1*.
กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์เจริญธรรม.
- ไพฤทธิ สุขเกิด และ ประภาพันท์ เรืองวรรณ. (2540). *บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ 87C196 MH อเนกประสงค์ ทำงานอิสระจากโปรแกรมมเมอร์*. วิทยานิพนธ์ วท.บ. (ฟิสิกส์อุตสาหกรรมและอุปกรณ์การแพทย์). กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ถ่ายเอกสาร.
- ยีน ภู่วรรณ. (ม.ป.ป.). *อิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม*. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ด จำกัด.
- ยีน ภู่วรรณ. (2540). *ทฤษฎีและการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์*. กรุงเทพฯ : บริษัท เอช.เอ็น.กรีน จำกัด.
- วิโรจน์ อัครรังสี, ชัชวาล เต็มฤทธิ์วงศ์ และ กรชูลี ไชยสถิตย์. (2521). *การใช้งานอปแอมป์ และ ลิเนียร์ ไอซี*. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ด จำกัด (มหาชน)
- สมภพ พิทวงศ์. (ม.ป.ป.). *แคนธอล*. กรุงเทพฯ : บริษัท แอสแซบ สติลส์ (ประเทศไทย) จำกัด.
- _____. (ม.ป.ป.). *การปฏิบัติการไฟฟ้าอุตสาหกรรม 2*. (เอกสารประกอบการสอน). กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- หิ้น ชนสูตร. (2542). *การพัฒนาระบบควบคุมอะแดปทีฟฟัซซี่ลอจิกสำหรับควบคุมอุณหภูมิในเตาเผาเซรามิคแบบไฟฟ้า*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมไฟฟ้า). เชียงใหม่ : บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ถ่ายเอกสาร
- อัมพร ชันกำแพง. (2541). *การออกแบบวงจรรวมสำหรับการอินเตอร์เฟสไมโครโพรเซสเซอร์ในระบบตู้สาขาโทรศัพท์อัตโนมัติดิจิทัลขนาดใหญ่*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมไฟฟ้า). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร
- อุดม จินประดับ. (2541). *ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS - 51*. กรุงเทพฯ : ศูนย์ผลิตตำรา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- อำพล เจริญพัฒนไพศาล. (2535). *รายงานผลการวิจัยการออกแบบและสร้างเตาเผาไฟฟ้า*. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- Albert D. Helfrick, William D. Cooper. (1990). *Modern Electronic Instrumentation and Measurement Techiquess*. America : PRENTICE HALL, INC.
- Jacob, J. Michael. (1993). *Applications and Design With Analog Intergrated Circuit*. Englewood Cliffs, New Jersey : Prentice Hall.
- Harmer, Frank and Janet. (1975). *Thepotter's Dictionary of Matericlss and Techniquess*. London : Pitman Pblishing.
- Siger.Felix and Sonja S. (1963). *Industrial Ceramics*. London : Chapman and Hall Ltd.

ภาคผนวก ก

โปรแกรมชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมการเผาผลิตรายการเครื่องปั้นดินเผา

```

#pragma code
#pragma symbols
#include <reg51.h>
#include <string.h>
#include "i2c_bus.h"
#include "8255it.c"

#define DS1307 0xd0

typedef unsigned char byte;
typedef unsigned int word;
typedef struct { byte sec;
                byte min;
                byte hour;
                byte day;
                byte date;
                byte month;
                byte year;
                } RTC_TYPE;

RTC_TYPE RTC;

typedef byte STR[4];
/* code STR Day[7] = {"Mon","Tue","Wed","Thu","Fri","Sat","Sun"};
code STR Month[12] = {"Jan","Feb","Mar","Apr","May","Jun","Jul","Aug","Sep","Oct","Nov","Dec"};
code byte table1[] = " LCD M";
code byte table2[] = "MODULE ";
code byte table[] = " LCD MODULE "; */
code STR num[6]={"1","2","3","4","5","6"};

void dmsec(word count);
void dmsec1(word count);
byte DtoH(byte dat);
void Lcdw1(byte d);
void Lcdwd(byte d);
void InitLcd(void);

```

```

void dispstr(byte x,byte *str);
void DispNum(byte x,byte dat);
void lcdprintf(byte *str);
void ReadRTC(void);
void WriteRTC(void);

```

```

sbit  acc0 = ACC^0;
sbit  acc1 = ACC^1;
sbit  acc2 = ACC^2;
sbit  acc3 = ACC^3;
sbit  acc4 = ACC^4;
sbit  acc5 = ACC^5;
sbit  acc6 = ACC^6;
sbit  acc7 = ACC^7;

```

```

sbit  p12 = P1^2;
sbit  p13 = P1^3;
sbit  p14 = P1^4;
sbit  p15 = P1^5;
sbit  p16 = P1^6;
sbit  p17 = P1^7;

```

```

void main(void)
{
    unsigned int  l,h,n,dd,n0,n1,n2,n3,xx,bl,d0,imi;
    unsigned char scan[]={0x01,0x02,0x04,0x08};
    unsigned int  xdata next,col,cc,temp1[6],kk;
    unsigned char xdata cal1[48],mm1[6],h1[6],pp1,rush;
    float xdata  nut,temad;

    bit mode;
    byte i,j;
    SDA = 1;
    SCL = 1;

```

```

bl = 1;
p12 = 0;
dmsec(100);
init8255(0x90);
init82552(0x92);
InitLcd();

/*--- Logo ---*/
lcdprintf("          ");
lcdprintf(" Welcome to ");
dmsec(500);
lcdprintf(" Temp Control ");
dmsec(500);
lcdprintf("          ");

/*--- Set Constant ---*/
cc=0;
imi=0;
col=0;
next=0;
rush=0;
p12=0;
p13=0;
p14=0;
p15=0;
p16=0;
p17=0;

/*--- Start ---*/
lcdprintf(" Set Time ");
dmsec(500);
lcdprintf("          ");
do
{

```

```

do
{
    do
    {
        if(next==0)
        {
            dispstr(0x80,"Time");
            dispstr(0x84,num[imi]);
            dispstr(0x85," ");
            dispstr(0x86,">");

        }
        else
        {
            dispstr(0x80,"Temp");
            dispstr(0x84,num[imi]);
            dispstr(0x85," ");
            dispstr(0x86,">");
            Lcdwi(0xC5);
            Lcdwd(0xdf);
            dispstr(0xC6,"C");
        }

        /*--- Scan Key ---*/

        /*----- row 1 -----*/
        for(xx=0;xx<=3;xx++)
        {
            portB = scan[xx];
            ACC = portA;
            if(acc0==0x01 && xx==0)
            {
                dispstr(0xC0+dd,"7");
                dmsec(80);
            }
        }
    }
}

```

```

        cal1[cc]=7;
        cc=cc+1;
        dd=dd+1;
    }
    else if(acc1==0x01 && xx==0)
    {
        dispstr(0xC0+dd,"8");
        dmsec(80);
        cal1[cc]=8;
        cc=cc+1;
        dd=dd+1;
    }
    else if(acc2==0x01 && xx==0)
    {
        dispstr(0xC0+dd,"9");
        dmsec(80);
        cal1[cc]=9;
        cc=cc+1;
        dd=dd+1;
    }
}

/*----- row 2 -----*/
for(xx=0;xx<=3;xx++)
{
    portB = scan[xx];
    ACC = portA;
    if(acc0==0x01 && xx==1)
    {
        dispstr(0xC0+dd,"4");
        dmsec(80);
        cal1[cc]=4;
        cc=cc+1;
        dd=dd+1;
    }
}

```

```

else if(acc1==0x01 && xx==1)
{
    dispstr(0xC0+dd,"5");
    dmsec(80);
    cal1[cc]=5;
    cc=cc+1;
    dd=dd+1;
}
else if(acc2==0x01 && xx==1)
{
    dispstr(0xC0+dd,"6");
    dmsec(80);
    cal1[cc]=6;
    cc=cc+1;
    dd=dd+1;
}

}

/*----- row 3 -----*/
for(xx=0;xx<=3;xx++)
{
    portB = scan[xx];
    ACC = portA;
    if(acc0==0x01 && xx==2)
    {
        dispstr(0xC0+dd,"1");
        dmsec(80);
        cal1[cc]=1;
        cc=cc+1;
        dd=dd+1;
    }
    else if(acc1==0x01 && xx==2)

```

```

{
    dispstr(0xC0+dd,"2");
    dmsec(80);
    cal1[cc]=2;
    cc=cc+1;
    dd=dd+1;
}
else if(acc2==0x01 && xx==2)
{
    dispstr(0xC0+dd,"3");
    dmsec(80);
    cal1[cc]=3;
    cc=cc+1;
    dd=dd+1;
}

}

/*----- row 4 -----*/
for(xx=0;xx<=3;xx++)
{
    portB = scan[xx];
    ACC = portA;
    if(acc1==0x01 && xx==3)
    {
        dispstr(0xC0+dd,"0");
        dmsec(80);
        cal1[cc]=0;
        cc=cc+1;
        dd=dd+1;
    }
}
}

```

```

        if(dd==2 && col==0)
        {
            dispstr(0xC2,":");
            dd=dd+1;
        }

    }while(dd<=4);

    dd=0;
    imi=imi+1;
    lcdprintf("      ");
    lcdprintf("  already  ");
    dmsec(500);
    lcdprintf("      ");
    lcdprintf("  Next  ");
    dmsec(500);
    lcdprintf("      ");
    if(dd==0 && col==1) dd=dd+1;
}while(imi<=5);

    col=1;
    imi=0;
    lcdprintf("      ");
    lcdprintf("  Time ready  ");
    dmsec(500);
    lcdprintf("      ");
    if(next==0)
    {
        lcdprintf("  Set Temp  ");
        dmsec(500);
        lcdprintf("      ");
    }
    next=next+1;
    dd=dd+1;
}while(next<=1);

```

```

lcdprintf("      ");
lcdprintf(" Temp ready ");
dmsec(500);
lcdprintf("      ");
p12=1;
col=0;

/*--- time0 ---*/
h1[0]=(cal1[0]<<4)+cal1[1];
mm1[0]=(cal1[2]<<4)+cal1[3];

/*--- time1 ---*/
h1[1]=(cal1[4]<<4)+cal1[5];
mm1[1]=(cal1[6]<<4)+cal1[7];

/*--- time2 ---*/
h1[2]=(cal1[8]<<4)+cal1[9];
mm1[2]=(cal1[10]<<4)+cal1[11];

/*--- time3 ---*/
h1[3]=(cal1[12]<<4)+cal1[13];
mm1[3]=(cal1[14]<<4)+cal1[15];

/*--- time4 ---*/
h1[4]=(cal1[16]<<4)+cal1[17];
mm1[4]=(cal1[18]<<4)+cal1[19];

/*--- time5 ---*/
h1[5]=(cal1[20]<<4)+cal1[21];
mm1[5]=(cal1[22]<<4)+cal1[23];

/*--- temp1 ---*/
temp1[0]=cal1[24]*1000 + cal1[25]*100 + cal1[26]*10 + cal1[27];

```

```

/*--- temp2 ---*/
temp1[1]=cal1[28]*1000 + cal1[29]*100 + cal1[30]*10 + cal1[31];

/*--- temp3 ---*/
temp1[2]=cal1[32]*1000 + cal1[33]*100 + cal1[34]*10 + cal1[35];

/*--- temp4 ---*/
temp1[3]=cal1[36]*1000 + cal1[37]*100 + cal1[38]*10 + cal1[39];

/*--- temp5 ---*/
temp1[4]=cal1[40]*1000 + cal1[41]*100 + cal1[42]*10 + cal1[43];

/*--- temp6 ---*/
temp1[5]=cal1[44]*1000 + cal1[45]*100 + cal1[46]*10 + cal1[47];

/*--- Write Real time Clock ---*/
RTC.hour = 0x00;
RTC.min = 0x00;
RTC.sec = 0x00;
RTC.day = 0x6;
RTC.date = 0x24;
RTC.month = 0x2;
RTC.year = 0x01;
WriteRTC();

/*--- Set Constant ---*/
nut=0;
col=0;
kk=0;
pp1=0;
p13=1;    /*--- LED Time 1 ---*/

/*--- Main Loop ---*/
while(1)

```

```

{
    /*--- Real Time Clock ---*/
    ReadRTC();
    DispNum(0xC3,RTC.hour);
    dispstr(0xC5,".");
    DispNum(0xC6,RTC.min);

    /*--- Check Time ---*/
    if(mm1[col]==RTC.min && h1[col]==RTC.hour && pp1==0)
    {
        col=col+1;
        kk=kk+1;
    }

/*      if(col==1) kk=0;*/

    /*--- A/D Input ---*/
    h = portB2 & 0x0f;
    l = portA2;
    n = (l+(h*256));

    /*--- Cal Temperature ---*/
    nut = (n*5.00*2.8846)/(4096);    /*--- Gain=2.8846 ---*/

    /*--- TC type R ---*/
    temad = 11.4832849+ (136.8191943*nut) + (-8.2062715*nut*nut) + (0.5544750*nut*nut*nut) +
    (-0.0152623*nut*nut*nut*nut);

    /*--- Check Temperature ---*/
    if(pp1==0)
    {
        if(temp1[kk]<=temad) p12=0;
        else p12=1;
    }
}

```

```

}

/*--- Display Temperature ---*/
n3 = temad/1000;
n2 = (temad-(n3*1000))/100;
n1 = (temad-(n3*1000)-(n2*100))/10;
n0 = (temad-(n3*1000)-(n2*100)-(n1*10));

dispstr(0x80,"T");
dispstr(0x81,".");
Lcdwd(n3+0x30);
Lcdwd(n2+0x30);
Lcdwd(n1+0x30);
Lcdwd(n0+0x30);

if(bl==1)
{
    Lcdwd(0xdf);
    bl = 0;
}
else
{
    dispstr(0x86," ");
    bl = 1;
}

dispstr(0x87,"C");
dispstr(0xC0," ");
dispstr(0xC1," ");
dispstr(0xC2," ");

if(kk==6)
{
    p12=0;
    pp1=1;
    p17=1;      /*--- LED Finish ---*/
}

```

```

    }
}

```

```
void dmsec(word count)
```

```

{
    TMOD = 0x01;
    while(count) {
        TH0 = 0xf8;
        TL0 = 0x30;
        TF0 = 0;
        TR0 = 1;
        while(!TF0);
        TR0 = 0;
        count--;
    }
}

```

```
void dmsec1(word count)
```

```

{
    byte i;
    while(count)
    {
        for (i=0;i<226;i++);
        count--;
    }
}

```

```
byte DtoH(byte dat)
```

```

{
    byte tmp;
    if (!(dat / 10))
        return dat;
    else {

```

```

    tmp = dat/10;
    tmp = tmp *10;
    tmp = tmp + (dat % 16);
    return tmp;
}
}

```

```

void Lcdwi(byte d)
{
    portC = d;
    portB = 0x0;
    portB |= 0x10;
    portB &= 0x00;
}

```

```

/**/ Lcd Write Data ***/
void Lcdwd(byte d)
{
    portC = d;
    portB = 0x40;
    portB |= 0x10;
    portB &= 0x40;
    dmsec(2);
}

```

```

/**/ Initial Lcd ***/
void InitLcd(void)
{
    Lcdwi(0x38);
    Lcdwi(0x0C);
    Lcdwi(0x01);
    dmsec(2);
}

```

```

void dispstr(byte x,byte *str)
{
    byte i,len;
    len = strlen(str);
    Lcdwi(x);
    for (i=0;i<len;i++) {
        Lcdwd(str[i]);
    }
}

```

/**/ Display number ***/

```

void DispNum(byte x,byte dat)
{
    byte tmp,dtmp;
    dtmp = dat;
    tmp = 0;
    Lcdwi(x+1);
    tmp = dtmp;
    tmp &= 0x0F;
    Lcdwd(tmp+0x30);

    Lcdwi(x);
    tmp = dtmp >> 4;
    tmp &= 0x0F;
    Lcdwd(tmp+0x30);

    //Lcdwi(x+1);
    //tmp = dtmp;
    //tmp &= 0x0F;
    //Lcdwd(tmp+0x30);
}

```

```

void lcdprintf(byte *str)

```

```

{
    byte i,len;

    Lcdwi(0x80);
    for (i=0;i<8;i++) {
        Lcdwd(str[i]);
    }
    Lcdwi(0xC0);
    for (i=8;i<16;i++) {
        Lcdwd(str[i]);
    }
}

/**/ Get time from RTC(DS1307) ***/
void ReadRTC(void)
{
    I2C_Read(DS1307,0,&RTC.sec);
    I2C_Read(DS1307,1,&RTC.min);
    I2C_Read(DS1307,2,&RTC.hour);
    I2C_Read(DS1307,3,&RTC.day);
    I2C_Read(DS1307,4,&RTC.date);
    I2C_Read(DS1307,5,&RTC.month);
    I2C_Read(DS1307,6,&RTC.year);
}

/**/ Set time to RTC(DS1307) ***/
void WriteRTC(void)
{
    I2C_Write(DS1307,0,RTC.sec);
    I2C_Write(DS1307,1,RTC.min);
    I2C_Write(DS1307,2,RTC.hour);
    I2C_Write(DS1307,3,RTC.day);
    I2C_Write(DS1307,4,RTC.date);
    I2C_Write(DS1307,5,RTC.month);

```

```
I2C_Write(DS1307,6,RTC.year);  
}
```

ภาคผนวก ข

คู่มือชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมการเผาผลิตก๊าซเครื่องปั้นดินเผา

คู่มือการใช้งาน

ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑเครื่องปั้นดินเผา

AUTOMATIC ELECTRONIC TEMPERATURE CONTROL

TEMPERATURE CONTROL °

7

8

9

4

5

6

1

2

3

0

Reset/Start

POWER

CONTROL

ON

OFF

SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY

PARICHAT KHAMLEK

1. ลักษณะการทำงาน (Description of operation)

ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณท์เครื่องปั้นดินเผา เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิและเวลาด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีระบบอุณหภูมิเป็นองศา เซลเซียส สามารถตั้งอุณหภูมิได้ 6 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งตั้งอุณหภูมิได้ไม่เกิน 1,300 องศาเซลเซียส และปรับ/ตั้งเวลา เป็นชั่วโมงและนาที ได้ อย่างละ 6 ตำแหน่ง การปรับอุณหภูมิและเวลาของแต่ละตำแหน่งจะสูงหรือต่ำกว่า ,ก่อนหรือหลัง ได้ ตามความเหมาะสม มีโปรแกรมการเผาแต่ละโปรแกรมการเผาไม่เกิน 24 ชั่วโมง

2. สวิตช์เปิดปิด (Switching on and off)

การเปิดและปิดสวิตช์ด้วยสวิตช์ ON OFF

3. การป้อนโปรแกรมการทำงาน (Entering a program)

กดปุ่ม Rest/Start หน้าจอแสดงผลจะแสดง

Welcome to

Temp Control

Set Time

Time 1 > -- : -- เพื่อตั้งเวลา 2 ตัวเลขแสดง ชั่วโมง 2 ตัวหลัง แสดง นาที เมื่อกดจำนวนเวลาที่ใช้แล้ว โปรแกรมจะแสดง

already

Next

Time 2 > -- : -- เพื่อตั้งเวลา 2 ตัวเลขแสดง ชั่วโมง 2 ตัวหลัง แสดง นาที เมื่อกดจำนวนเวลาที่ใช้แล้ว โปรแกรมจะแสดง

already

Next

Time 3 > -- : -- เพื่อตั้งเวลา 2 ตัวเลขแสดง ชั่วโมง 2 ตัวหลัง แสดง นาที เมื่อกดจำนวนเวลาที่ใช้แล้ว โปรแกรมจะแสดง

already

Next

Time 4 > -- : -- เพื่อตั้งเวลา 2 ตัวเลขแสดง ชั่วโมง 2 ตัวหลัง แสดง นาที เมื่อกดจำนวนเวลาที่ใช้แล้ว โปรแกรมจะแสดง

already

Next

Time 5 > -- : -- เพื่อตั้งเวลา 2 ตัวเลขแสดง ชั่วโมง 2 ตัวหลัง แสดง นาที เมื่อกดจำนวนเวลาที่ใช้แล้ว โปรแกรมจะแสดง

already

Next

Time 6 > -- : -- เพื่อตั้งเวลา 2 ตัวเลขแสดง ชั่วโมง 2 ตัวหลัง แสดง นาที เมื่อกด
จำนวนเวลาที่ใช้แล้ว โปรแกรมจะแสดง

Time already

Next

Set Temp

Temp 1 > ---- °C เพื่อตั้งอุณหภูมิ เมื่อกดตั้งอุณหภูมิแล้วโปรแกรมจะแสดง
already

Next

Temp 2 > ---- °C เพื่อตั้งอุณหภูมิ เมื่อกดตั้งอุณหภูมิแล้วโปรแกรมจะแสดง
already

Next

Temp 3 > ---- °C เพื่อตั้งอุณหภูมิ เมื่อกดตั้งอุณหภูมิแล้วโปรแกรมจะแสดง
already

Next

Temp 4 > ---- °C เพื่อตั้งอุณหภูมิ เมื่อกดตั้งอุณหภูมิแล้วโปรแกรมจะแสดง
already

Next

Temp 5 > ---- °C เพื่อตั้งอุณหภูมิ เมื่อกดตั้งอุณหภูมิแล้วโปรแกรมจะแสดง
already

Next

Temp 6 > ---- °C เพื่อตั้งอุณหภูมิ เมื่อกดตั้งอุณหภูมิแล้วโปรแกรมจะแสดง
already

Next

Time already

Temp already

โปรแกรมจะเริ่มทำงานทันที พร้อมแสดงอุณหภูมิ และเวลา

T : ---- °C -- : --

4. การเริ่มต้นให้โปรแกรมทำงาน (Starting a program)

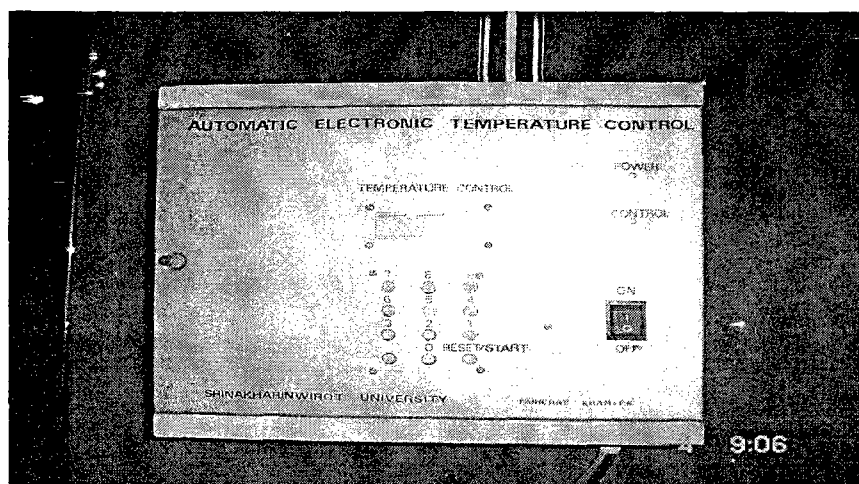
กดปุ่ม Reset/Start หลังจากได้ตั้งโปรแกรมตามข้อ 3 แล้วเตาจะเริ่มทำงานทันที โดยบนจอ
แสดงอุณหภูมิภายในเตา และเวลา มีสัญญาณไฟแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม จนกว่าจะหมด
โปรแกรม สัญญาณไฟสุดท้ายจะปรากฏ แสดงว่าได้สิ้นสุดโปรแกรมแล้ว เตาจะหยุดทำงาน และอุณหภูมิ
บนจอเริ่มลดลงจนกว่าจะไปปิดสวิตช์ แต่บนจอแสดงผลจะแสดงผลอุณหภูมิ และเวลา ตลอดเวลาจนกว่า
จะมีการตั้งโปรแกรมใหม่

5. การยกเลิกโปรแกรมการเผา (Erasing a program)

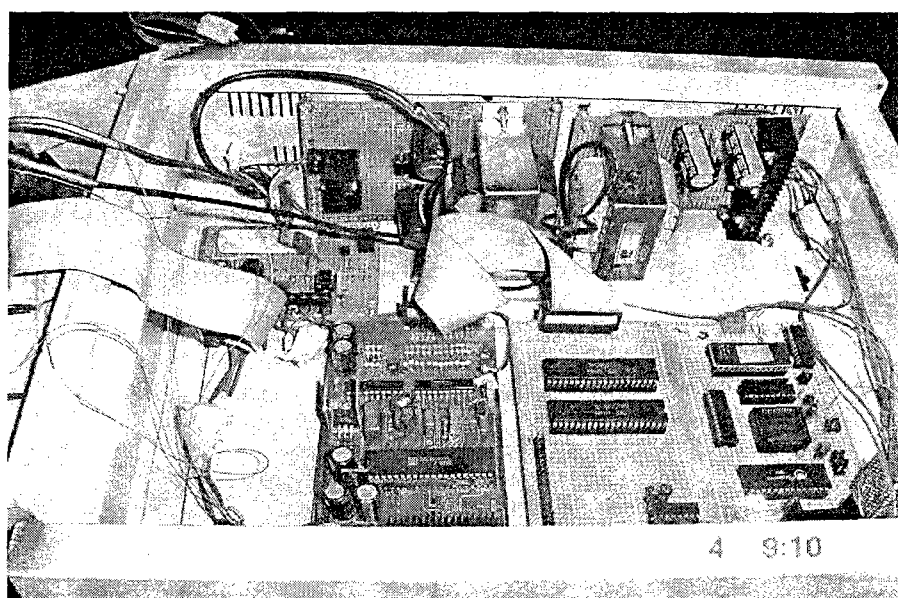
การยกเลิกโปรแกรมการเผา เพื่อให้เตาหยุดทำงานได้ทันที
กดปุ่ม RESET วิธีนี้จะทำให้เตาและโปรแกรมหยุดทำงาน กดปุ่มปิด/เปิด

ภาคผนวก ค

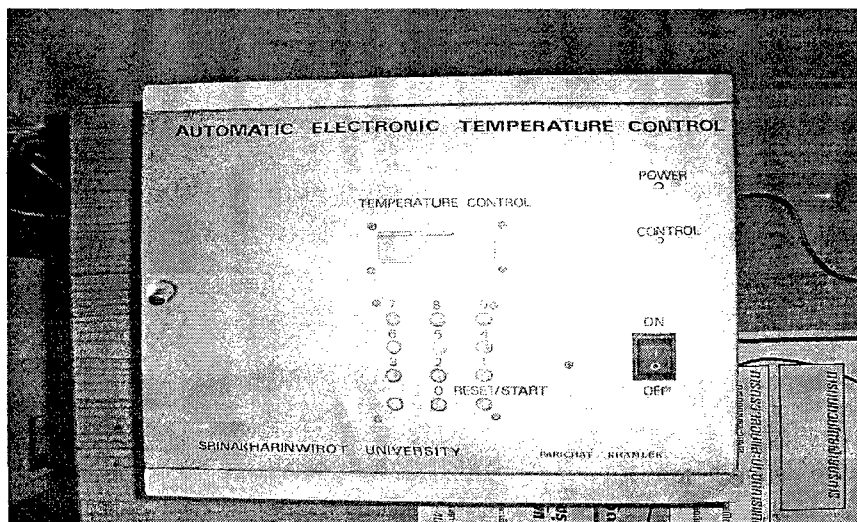
รายการอุปกรณ์ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมการเผาผลิตภัณท์เครื่องปั้นดินเผา



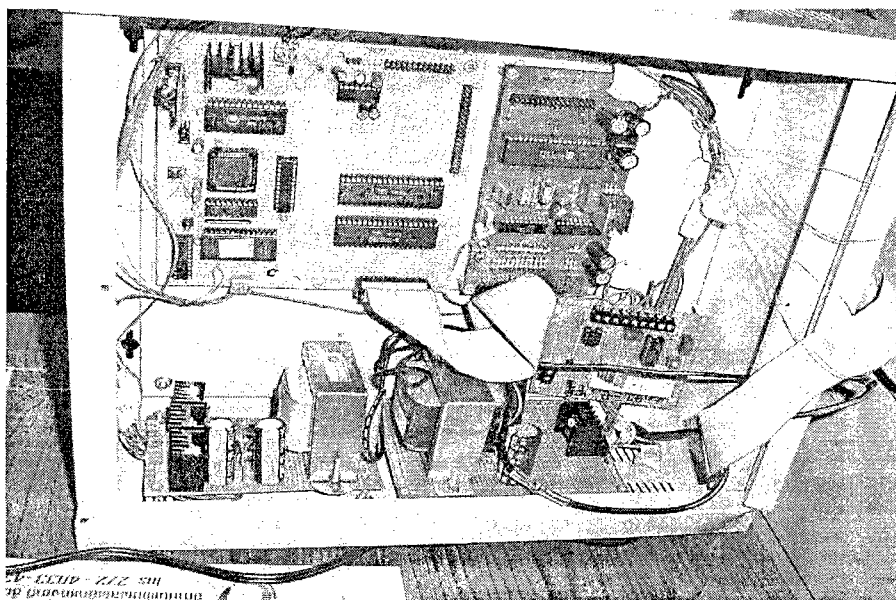
ภาพประกอบ 69 ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลาญภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา



ภาพประกอบ 70 อุปกรณ์ภายในชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลาญภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา



ภาพประกอบ 71 ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลาญภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา



ภาพประกอบ 72 อุปกรณ์ภายในชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิการเผาผลาญภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

กำหนดวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ ที่ใช้ในการสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติ ควบคุมอุณหภูมิ การเผาผลาญภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ดังนี้

1. วัสดุ อุปกรณ์ ได้แก่

ไอซี 7805 เพื่อรักษาระดับแรงดัน +5V ไอซี 7905 เพื่อรักษาระดับแรงดัน -5V

ไอซี 7815 เพื่อรักษาระดับแรงดัน +15V ไอซี 7915 เพื่อรักษาระดับแรงดัน -15V

ไอซี L7109 แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล

ไอซี TLO74 ขยายสัญญาณ

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8031 เป็นตัวควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรม

ไอซี 8255 เชื่อมโยงสัญญาณ

ไอซี PAL CE22VIOH ถอดรหัส

ไอซี ROM2764 หน่วยความจำของโปรแกรม

ไอซี RAM62256 อ่านหน่วยความจำ

ไอซี 74LS245 ขยายสัญญาณ

ไอซี 74HC573 ค้างสัญญาณ

ไอซี OPTO 4N26 แยกสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ/ไฟฟ้ากระแสตรง

ไดโอด P600A เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง

ไดโอด 1,000 โวลต์ 70 แอมป์

ไดโอด 1N4001

เอส ซี อาร์ SSKT26

คริสตัล 11.0592 , 3.579575 เมกะเฮิร์ตซ์ สร้างความถี่

เทอร์โมคอปเปิล

คาปาซิเตอร์ 15 pF 50 V, 0.01 μ F 50 V, 0.1 μ F 50 V, .33 μ F 50V ,1 μ F 50V,

10 μ F 50V, 470 μ F 50V, 2200 μ F 50V,

ตัวต้านทาน ทริมพอต 10K Ω 1รอบ, 20K Ω 25รอบ, 100K Ω ,

ตัวต้านทาน 1/4 w 5% 4.7K Ω , 9K Ω , 10K Ω , 15K Ω , 220K Ω , 1M Ω

ตัวต้านทาน 1/4 w 1% 3.9K Ω , 1K Ω , 10.2K Ω , 100K Ω

ตัวต้านทาน กำลังไฟสูง 100 Ω 10W

ทรานฟอร์มเมอร์ 1A 12 V

แอลซีดี DMC161 สำหรับแสดงผล

สายแพ 26 เส้น พร้อมขั้วต่อ

จุดเชื่อมต่อ 2 ขา ,3 ขา

ชุดวงจรเอนกประสงค์ 89C51

แผ่นระบายความร้อน ขนาด 1 นิ้ว

สวิตช์ กดติดปล่อยดับ

สวิตช์ ไฟฟ้ากระแสสลับ

แผ่นปรินท์เอนกประสงค์

เสาโครงแผ่นปรินท์

ตะกั่วบัดกรี ULTRACORE ขนาด 0.4 ,0.8 มิลลิเมตร

สายไฟ AC

สายไฟอ่อน

กล่องเอนกประสงครุ่น EC-2A

2. เครื่องมือ ประกอบด้วย

หัวแร้งไฟฟ้า ชนิดแช่ ขนาด 40 วัตต์จำนวน 1 ตัว

หัวแร้งไฟฟ้า ชนิดแช่ ขนาด 25 วัตต์จำนวน 1 ตัว

คีมปลอกสายไฟ

คีมปากตัด

คีมจับ

ไขควง 1 ชุด

ภาคผนวก ง

คุณสมบัติอุปกรณ์ชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมการเผาผลิตก๊าซเครื่องปั้นดินเผา



80C31BH/80C51BH/87C51
MCS® 51
CHMOS SINGLE-CHIP 8-BIT MICROCONTROLLER
Automotive

- | | |
|---|--|
| ■ Extended Automotive Temperature Range (–40°C to +125°C Ambient) | ■ Programmable Serial Port |
| ■ High Performance CHMOS Process | ■ TTL- and CMOS-Compatible Logic Levels |
| ■ Power Control Modes | ■ 64K External Program Memory Space |
| ■ 4 Kbyte On-Chip ROM/EPROM | ■ 64K External Data Memory Space |
| ■ 128 x 8-bit RAM | ■ IDLE and POWER DOWN Modes |
| ■ 32 Programmable I/O Lines | ■ ONCE Mode Facilitates System Testing |
| ■ Two 16-Bit Timer/Counters | ■ Available in 12 MHz and 16 MHz Versions |
| ■ 5 Interrupt Sources | ■ Available in PLCC and DIP Packages |
| ■ Quick-Pulse EPROM Programming | (See Packaging Specification, Order #231369) |
| ■ 2-Level Program Memory Lock EPROM | |
| ■ Boolean Processor | |

The MCS® 51 CHMOS microcontroller products are fabricated on Intel's reliable CHMOS process and are functionally compatible with the standard MCS 51 HMOS microcontroller products. This technology combines the high speed and density characteristics of HMOS with the low power attributes of CHMOS. This combination expands the effectiveness of the powerful MCS 51 microcontroller architecture and instruction set.

Like the MCS 51 HMOS microcontroller versions, the MCS 51 CHMOS microcontroller products have the following features: 4 Kbytes of EPROM/ROM (87C51/80C51BH respectively); 128 bytes of RAM; 32 I/O lines; two 16-bit timer/counters; a five-source two-level interrupt structure; a full duplex serial port; and on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the MCS 51 CHMOS microcontroller products exhibit low operating power, along with two software selectable modes of reduced activity for further power reduction—Idle and Power Down.

The Idle mode freezes the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port, and interrupt system to continue functioning. The Power Down mode saves the RAM contents but freezes the oscillator, causing all other chip functions to be inoperative.

The 87C51 is the EPROM version of the 80C51BH. It contains 4 Kbytes of on-chip program memory that can be electrically programmed, and can be erased by exposure to ultraviolet light. The 87C51 EPROM array uses a modified Quick-Pulse Programming algorithm, by which the entire 4 Kbyte array can be programmed in about 12 seconds.

NOTICE:

This datasheet contains information on products in full production. Specifications within this datasheet are subject to change without notice. Verify with your local Intel sales office that you have the latest datasheet before finalizing a design.

*Other brands and names are the property of their respective owners.
 Information in this document is provided in connection with Intel products. Intel assumes no liability whatsoever, including infringement of any patent or copyright, for sale and use of Intel products except as provided in Intel's Terms and Conditions of Sale for such products. Intel retains the right to make changes to these specifications at any time, without notice. Microcomputer Products may have minor variations to this specification known as errata.
 COPYRIGHT © INTEL CORPORATION, 1995 January 1995 Order Number: 270419-007

AUTOMOTIVE 80C31BH/80C51BH/87C51

intel®

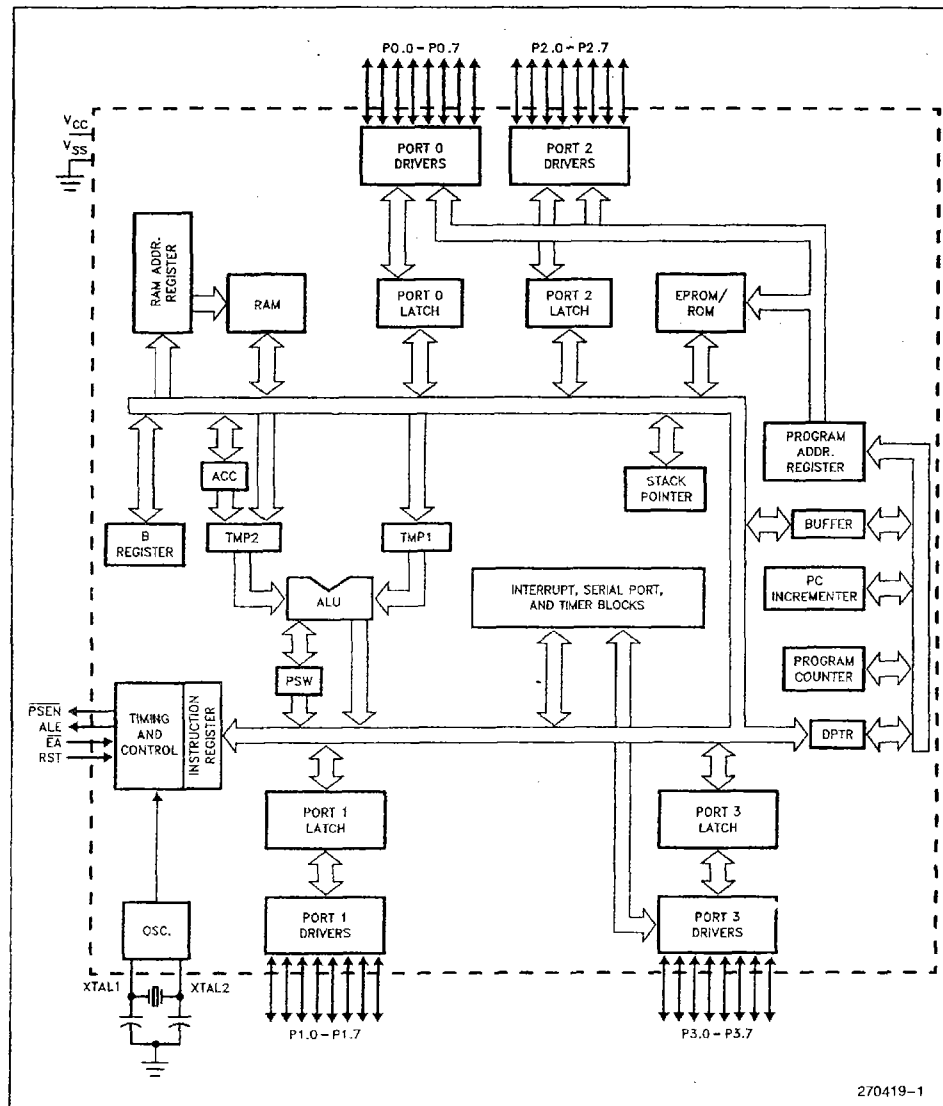


Figure 1. MCS® 51 Microcontroller Architectural Block Diagram



AUTOMOTIVE 80C31BH/80C51BH/87C51

80C31BH/80C51BH/87C51 PRODUCT OPTIONS

Intel's extended and automotive temperature range products are designed to meet the needs of those applications whose operating requirements exceed commercial standards.

With the extended temperature range option, operational characteristics are guaranteed over the temperature range of -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$ ambient. For the

automotive temperature range option, operational characteristics are guaranteed over the temperature range of -40°C to $+125^{\circ}\text{C}$ ambient.

The automotive and extended temperature versions of the MCS 51 microcontroller product families are available with or without burn-in options as listed in Table 1.

As shown in Figure 2, temperature, burn-in, and package options are identified by a one- or two-letter prefix to the part number.

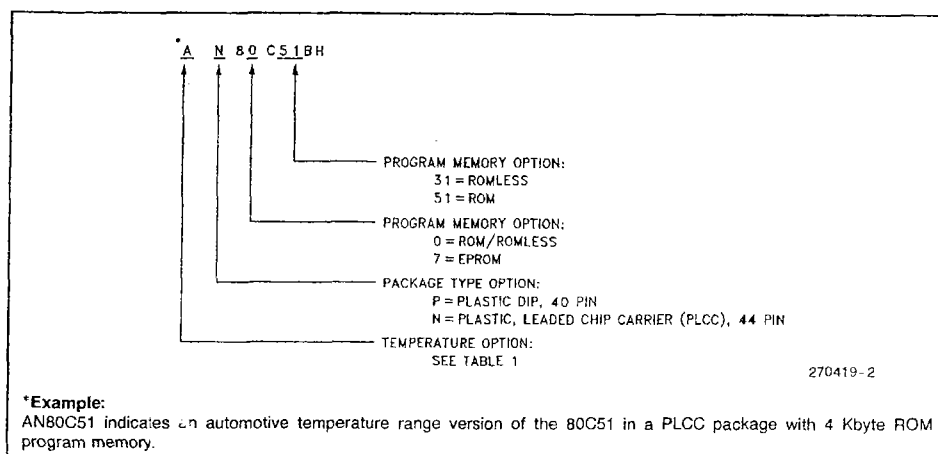


Figure 2. MCS® 51 Microcontroller Product Family Nomenclature

Table 1. Temperature Options

Temperature Classification	Temperature Designation	Operating Temperature $^{\circ}\text{C}$ Ambient	Burn-In Options
Extended	T	-40 to $+85$	Standard
	L	-40 to $+85$	Extended
Automotive	A	-40 to $+125$	Standard
	B	-40 to $+125$	Extended

AUTOMOTIVE 80C31BH/80C51BH/87C51

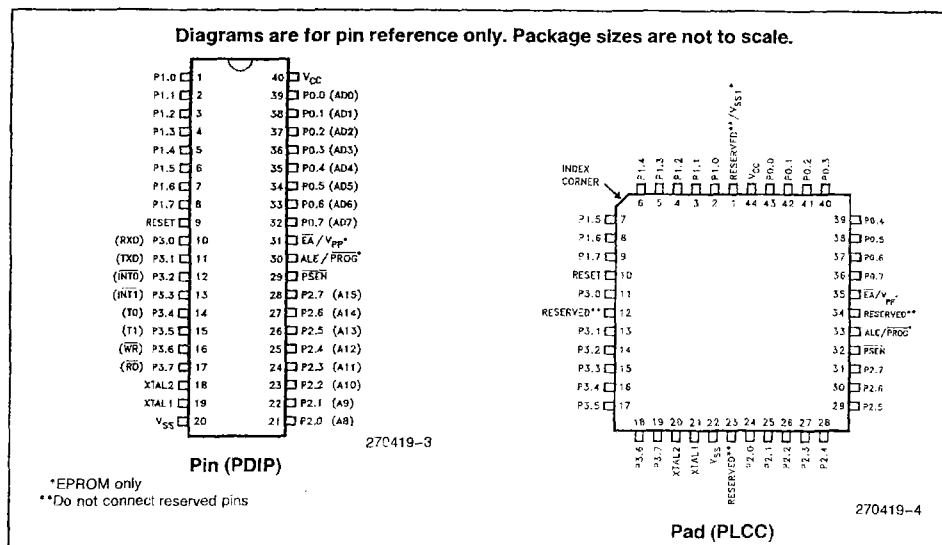


Figure 3. Pin Connections

PIN DESCRIPTION

V_{CC}: Supply voltage during normal, Idle, and Power Down operations.

V_{SS}: Circuit ground.

V_{SS1}: V_{SS1}—(EPROM PLCC only) secondary ground. Provided to reduce ground bounce and improve power supply bypassing.

NOTE:

This pin is not a substitute for the V_{SS} pin (pin 22). For ROM and ROMless, pin 1 is reserved—do not connect.

Port 0: Port 0 is an 8-bit open drain bidirectional I/O port. As an output port each pin can sink 8 LS TTL inputs. Port 0 pins that have 1s written to them float, and in that state can be used as high-impedance inputs.

Port 0 is also the multiplexed low-order address and data bus during accesses to external memory. In this application it uses strong internal pullups when emitting 1s.

Port 0 also receives the code bytes during EPROM programming, and outputs the code bytes during program verification. External pullups are required during program verification.

Port 1: Port 1 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. Port 1 pins that have 1s written to them are pulled high by the internal pullups, and in that state can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source

current (I_{IL} , on the datasheet) because of the internal pullups.

Port 1 also receives the low-order address bytes during EPROM programming and program verification.

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

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external Program memory and during accesses to external Data Memory that use 16-bit address (MOVX @DPTR). In this application it uses strong internal pullups when emitting 1s.

During accesses to external Data Memory that use 8-bit addresses (MOVX @Ri), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives some control signals and the high-order address bits during EPROM programming and program verification.

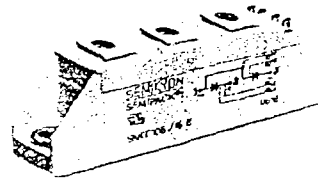
Port 3: Port 3 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. Port 3 pins that have 1s written to them are pulled high by the internal pullups, and in that state can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL} , on the datasheet)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


SEMİKRON

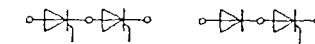
V_{RSM}	V_{RRM}	$(dv/dt)_{cr}$	I_{TRMS} (maximum value for continuous operation)			
	V_{DRM}		50 A			
			I_{TAV} (sin. 180; $T_{case} = 68^\circ C$)			
V	V	V/ μs	32 A			
500	400	500	—	—	SKKH 26/04 D	—
700	600	500	SKKT 26/06 D	—	SKKH 26/06 D	SKKH 27/06 D
900	800	500	SKKT 26/08 D	SKKT 27/08 D ¹⁾	SKKH 26/08 D	SKKH 27/08 D
1300	1200	1000	SKKT 26/12 E	SKKT 27/12 E ¹⁾	SKKH 26/12 E	SKKH 27/12 E
1500	1400	1000	SKKT 26/14 E	SKKT 27/14 E ¹⁾	SKKH 26/14 E	SKKH 27/14 E
1700	1600	1000	SKKT 26/16 E	SKKT 27/16 E ¹⁾	SKKH 26/16 E	SKKH 27/16 E

SEMIPACK® 1 Thyristor / Diode Modules

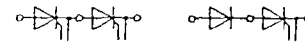
SKKT 26 SKKH 26
SKKT 27 SKKH 27
SKKT 27B



Symbol	Conditions	SKKT 26 SKKH 26	SKKT 27 SKKT 27B SKKH 27	Units
I_{TAV}	sin. 180; $T_{case} = 68^\circ C$ $T_{case} = 85^\circ C$	32	25	A
I_D	B2/B6 $T_{amb} = 45^\circ C$; P 3/180 $T_{amb} = 35^\circ C$; P 3/180 F	38 / 50 60 / 77		A
I_{RMS}	W1/W3 $T_{amb} = 45^\circ C$; P 3/180	52 / 3 x 37		A
I_{TSM}	$T_{vj} = 25^\circ C$; 10 ms $T_{vj} = 125^\circ C$; 10 ms	550 480		A
i^2t	$T_{vj} = 25^\circ C$; 8,3 ... 10 ms $T_{vj} = 125^\circ C$; 8,3 ... 10 ms	1 500 1 150		A ² s
I_{gd}	$T_{vj} = 25^\circ C$; $I_G = 1 A$ $di_G/dt = 1 A/\mu s$	1		μs
I_{gr}	$V_D = 0,67 \cdot V_{DRM}$	1		μs
$(di/dt)_{cr}$	$T_{vj} = 125^\circ C$	150		A/ μs
I_q	$T_{vj} = 125^\circ C$	typ. 80		μs
I_H	$T_{vj} = 25^\circ C$; typ./max.	100 / 200		mA
I_L	$T_{vj} = 25^\circ C$; $R_G = 33 \Omega$; typ./max.	250 / 400		mA
V_T	$T_{vj} = 25^\circ C$; $I_T = 75 A$	max. 1,8		V
$V_{T(TO)}$	$T_{vj} = 125^\circ C$	0,9		V
r_T	$T_{vj} = 125^\circ C$	12		m Ω
I_{DD} ; I_{RD}	$T_{vj} = 125^\circ C$; $V_{RD} = V_{RRM}$ $V_{DD} = V_{DRM}$	max. 10		mA
V_{GT}	$T_{vj} = 25^\circ C$; d.c.	3		V
I_{GT}	$T_{vj} = 25^\circ C$; d.c.	150		mA
V_{GD}	$T_{vj} = 125^\circ C$; d.c.	0,25		V
I_{GD}	$T_{vj} = 125^\circ C$; d.c.	5		mA
R_{thK}	cont. } sin. 180 } per thyristor / rec. 120 } per module	0,9 / 0,45 0,95 / 0,48 1,0 / 0,5 0,2 / 0,1		$^\circ C/W$ $^\circ C/W$ $^\circ C/W$ $^\circ C/W$
R_{thch}		— 40 ... + 125		$^\circ C$
T_{vj}		— 40 ... + 125		$^\circ C$
T_{stg}				
V_{isol}	a. c. 50 Hz; r.m.s.; 1 s/1 min	3600 / 3000		V
M_1	to heatsink } to terminals } SI (US) units	5 (44 lb. in.) $\pm 15\%$ ²⁾		Nm
M_2		3 (26 lb. in.) $\pm 15\%$		Nm
a		5 · 9,81		m/s ²
w	approx.	95		g
Case	→ page B 1 – 95	SKKT 26: A 5 SKKH 26: A 6	SKKT 27: A 46 SKKT 27B: A 48 SKKH 27: A 47	



SKKT 26 SKKH 26



SKKT 27 SKKH 27
SKKT 27B

Features

- Heat transfer through aluminium oxide ceramic isolated metal baseplate
- Hard soldered joints for high reliability
- UL recognized, file no. E 63 532

Typical Applications

- DC motor control (e.g. for machine tools)
- AC motor soft starters
- Temperature control (e.g. for ovens, chemical processes)
- Professional light dimming (studios, theaters)

¹⁾ Also available in SKKT 27B configuration (case A 48)

²⁾ See the assembly instructions

SEMIKRON

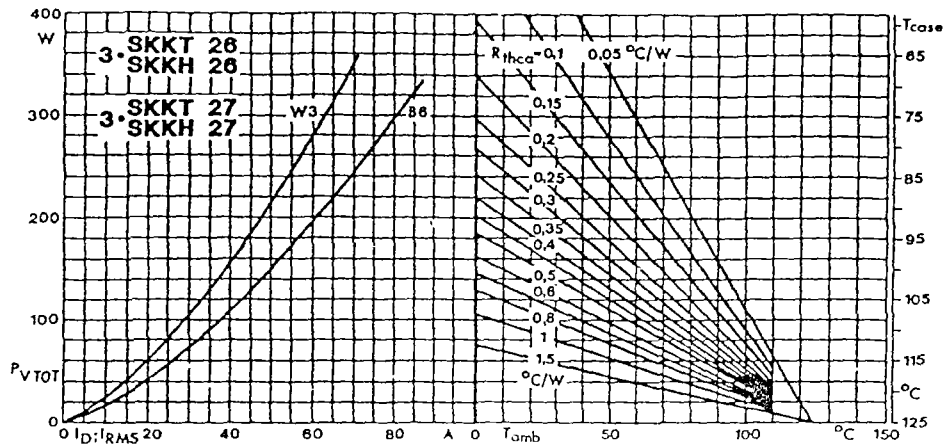


Fig. 4 Power dissipation of three modules vs. direct and rms current and case temperature

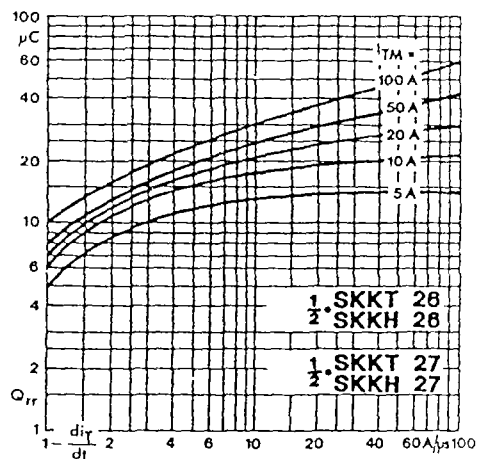


Fig. 5 Recovered charge vs. current decrease

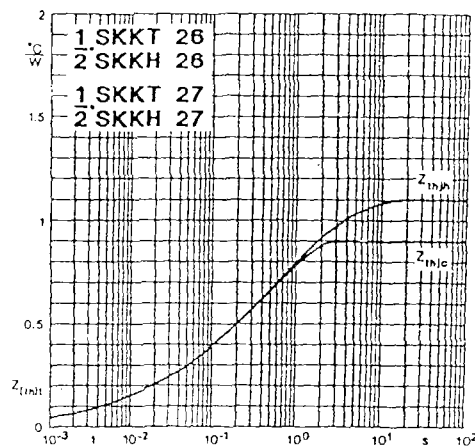


Fig. 6 Transient thermal impedance vs. time

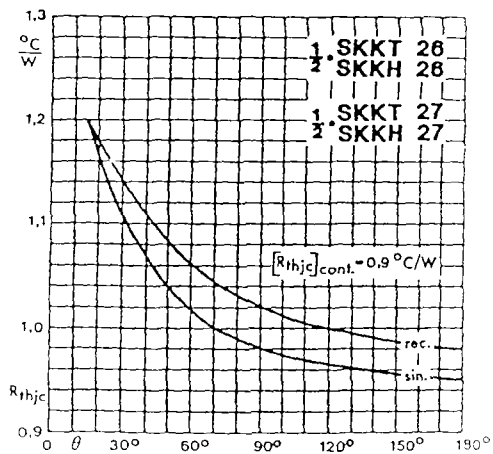


Fig. 7 Thermal resistance vs. conduction angle

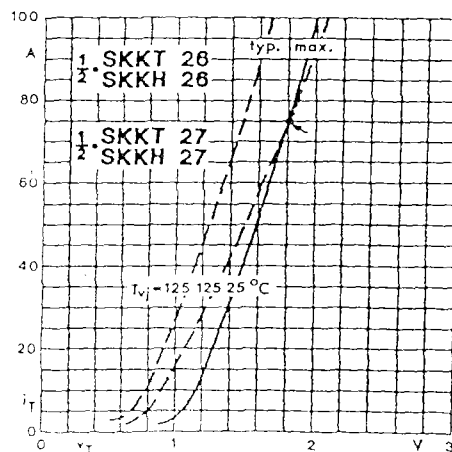


Fig. 8 On-state characteristics

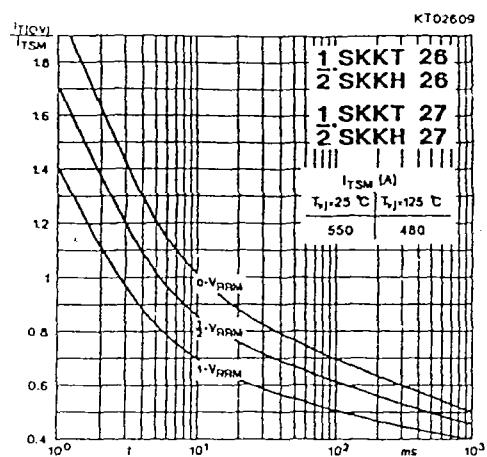


Fig. 9 Surge overload current vs. time

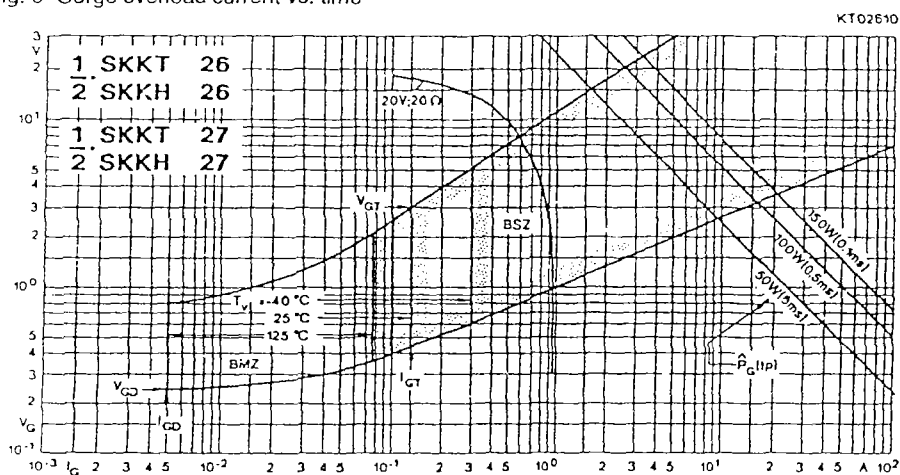
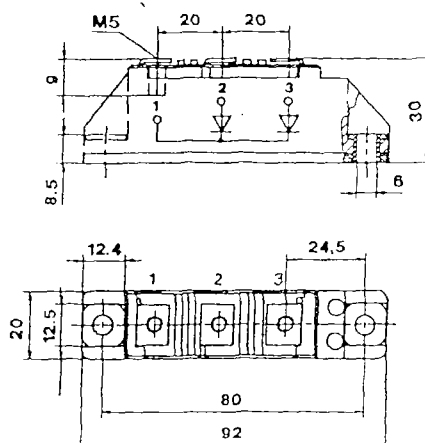


Fig. 10 Gate trigger characteristics

SKMD 100
Case A 33
SEMPACK® 1



Dimensions in mm

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA


6-Pin DIP Optoisolators

Transistor Output

The 4N25/A, 4N26, 4N27 and 4N28 devices consist of a gallium arsenide infrared emitting diode optically coupled to a monolithic silicon phototransistor detector.

- Most Economical Optoisolator Choice for Medium Speed, Switching Applications
- Meets or Exceeds All JEDEC Registered Specifications
- *To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.*

Applications

- General Purpose Switching Circuits
- Interfacing and coupling systems of different potentials and impedances
- I/O Interfacing
- Solid State Relays

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
--------	--------	-------	------

INPUT LED

Reverse Voltage	V_R	3	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
LED Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ with Negligible Power in Output Detector Derate above 25°C	P_D	120	mW
		1.4*	mW/ $^\circ\text{C}$

OUTPUT TRANSISTOR

Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	30	Volts
Emitter-Collector Voltage	V_{ECO}	7	Volts
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	70	Volts
Collector Current — Continuous	I_C	150	mA
Detector Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ with Negligible Power in Input LED Derate above 25°C	P_D	150	mW
		1.76	mW/ $^\circ\text{C}$

TOTAL DEVICE

Isolation Surge Voltage ⁽¹⁾ (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 sec Duration)	V_{ISO}	7500	Vac(pk)
Total Device Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	250 2.94	mW mW/ $^\circ\text{C}$
Ambient Operating Temperature Range ⁽²⁾	T_A	-55 to +100	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range ⁽²⁾	T_{stg}	-55 to +150	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature (10 sec, 1/16" from case)	T_L	260	$^\circ\text{C}$

1. Isolation surge voltage is an internal device dielectric breakdown rating.
For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.
2. Refer to Quality and Reliability Section in Opto Data Book for information on test conditions.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

4N25*
4N25A*
4N26*

[CTR = 20% Min]

4N27
4N28

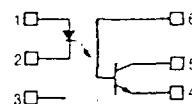
[CTR = 10% Min]

*Motorola Preferred Devices

STYLE 1 PLASTIC


 STANDARD THRU HOLE
 CASE 730A-04

SCHEMATIC



- PIN 1. LED ANODE
 2. LED CATHODE
 3. N.C.
 4. EMITTER
 5. COLLECTOR
 6. BASE

4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)⁽¹⁾

Characteristic	Symbol	Min	Typ ⁽¹⁾	Max	Unit
INPUT LED					
Forward Voltage ($I_F = 10\text{ mA}$)	V_F	—	1.15	1.5	Volts
		—	1.3	—	
		—	1.05	—	
Reverse Leakage Current ($V_R = 3\text{ V}$)	I_R	—	—	100	μA
Capacitance ($V = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$)	C_J	—	18	—	pF

OUTPUT TRANSISTOR

Collector-Emitter Dark Current ($V_{CE} = 10\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)	4N25, 25A, 26, 27 4N28	I_{CEO}	—	1	50	nA
			—	1	100	
($V_{CE} = 10\text{ V}$, $T_A = 100^\circ\text{C}$)	All Devices	I_{CEO}	—	1	—	μA
Collector-Base Dark Current ($V_{CB} = 10\text{ V}$)		I_{CBO}	—	0.2	—	nA
Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 1\text{ mA}$)		$V_{(BR)CEO}$	30	45	—	Volts
Collector-Base Breakdown Voltage ($I_C = 100\text{ }\mu\text{A}$)		$V_{(BR)CBO}$	70	100	—	Volts
Emitter-Collector Breakdown Voltage ($I_E = 100\text{ }\mu\text{A}$)		$V_{(BR)ECO}$	7	7.8	—	Volts
DC Current Gain ($I_C = 2\text{ mA}$, $V_{CE} = 5\text{ V}$)		h_{FE}	—	500	—	—
Collector-Emitter Capacitance ($f = 1\text{ MHz}$, $V_{CE} = 0$)		C_{CE}	—	7	—	pF
Collector-Base Capacitance ($f = 1\text{ MHz}$, $V_{CB} = 0$)		C_{CB}	—	19	—	pF
Emitter-Base Capacitance ($f = 1\text{ MHz}$, $V_{EB} = 0$)		C_{EB}	—	9	—	pF

COUPLED

Output Collector Current ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CE} = 10\text{ V}$)	4N25, 25A, 26 4N27, 28	I_C (CTR) ⁽²⁾	2 (20) 1 (10)	7 (70) 5 (50)	—	mA (%)
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 2\text{ mA}$, $I_F = 50\text{ mA}$)		$V_{CE(sat)}$	—	0.15	0.5	Volts
Turn-On Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\text{ }\Omega$) ⁽³⁾		t_{on}	—	2.8	—	μs
Turn-Off Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\text{ }\Omega$) ⁽³⁾		t_{off}	—	4.5	—	μs
Rise Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\text{ }\Omega$) ⁽³⁾		t_r	—	1.2	—	μs
Fall Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\text{ }\Omega$) ⁽³⁾		t_f	—	1.3	—	μs
Isolation Voltage ($f = 60\text{ Hz}$, $t = 1\text{ sec}$) ⁽⁴⁾		V_{ISO}	7500	—	—	Vac(pk)
Isolation Resistance ($V = 500\text{ V}$) ⁽⁴⁾		R_{ISO}	10^{11}	—	—	Ω
Isolation Capacitance ($V = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$) ⁽⁴⁾		C_{ISO}	—	0.2	—	pF

1. Always design to the specified minimum/maximum electrical limits (where applicable).

2. Current Transfer Ratio (CTR) = $I_C/I_F \times 100\%$.

3. For test circuit setup and waveforms, refer to Figure 11.

4. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

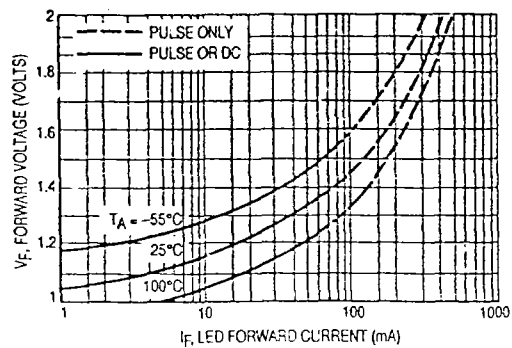
4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28**TYPICAL CHARACTERISTICS**

Figure 1. LED Forward Voltage versus Forward Current

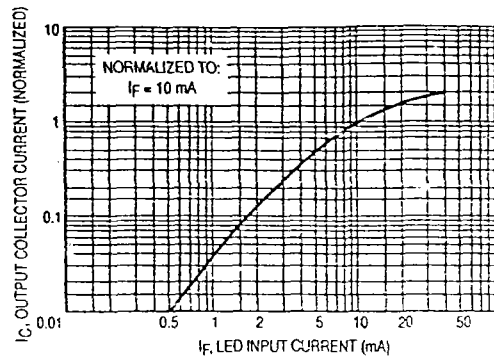


Figure 2. Output Current versus Input Current

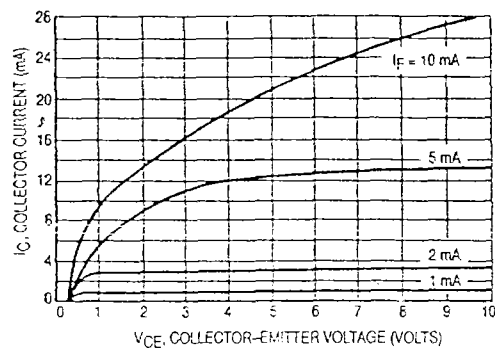


Figure 3. Collector Current versus Collector-Emitter Voltage

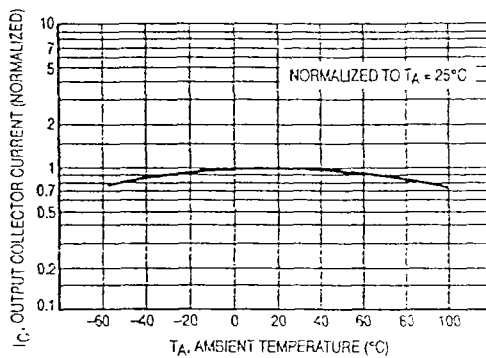


Figure 4. Output Current versus Ambient Temperature

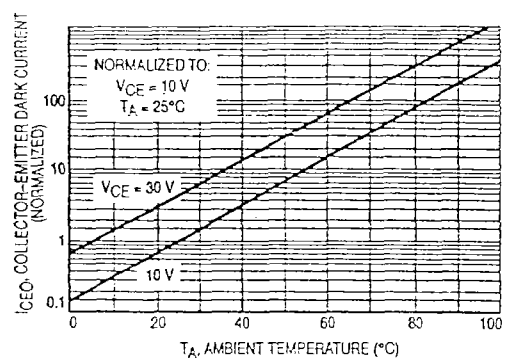
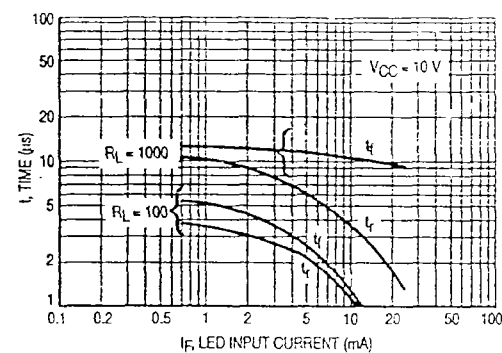


Figure 5. Dark Current versus Ambient Temperature

Figure 6. Rise and Fall Times
(Typical Values)

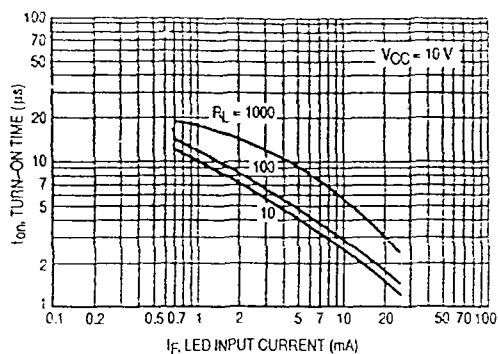


Figure 7. Turn-On Switching Times
(Typical Values)

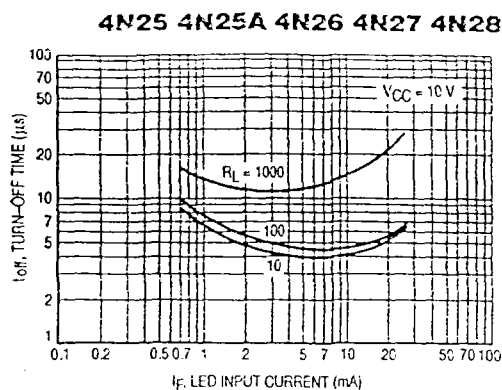


Figure 8. Turn-Off Switching Times
(Typical Values)

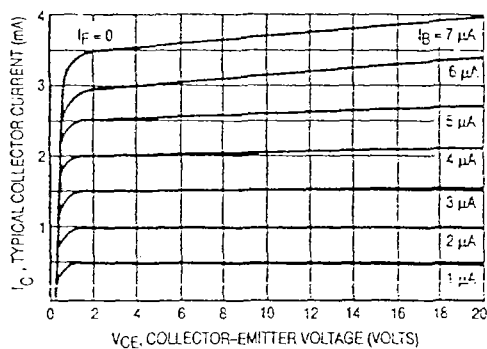


Figure 9. DC Current Gain (Detector Only)

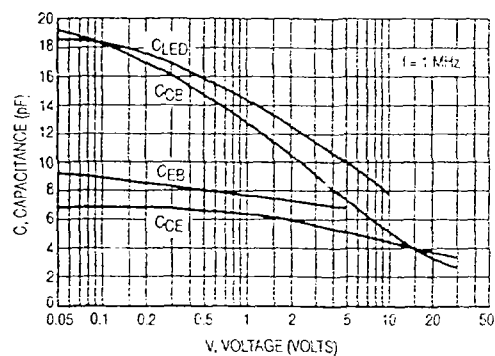


Figure 10. Capacitances versus Voltage

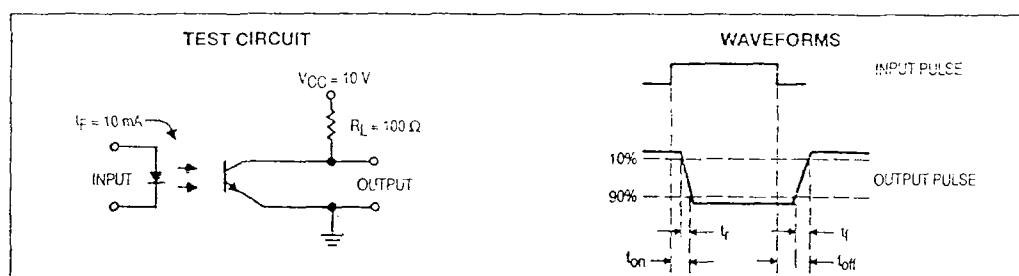


Figure 11. Switching Time Test Circuit and Waveforms

ภาคผนวก จ
คุณสมบัติชุดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติควบคุมการเผา
ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เนเบอร์ C19

Nabertherm®	Ofen mit Schaltanlage am Ofen	Gebrauchsanleitung
--------------------	--	---------------------------

1. Ofen

Dieser Ofen ist ein Qualitätsprodukt. Die mehrschichtige Wärmeisolierung ist besonders hochwertig, energiesparend und handwerklich präzise eingebaut. Nach derzeitigem Wissensstand werden keine gesundheits- und umweltschädlichen Materialien verwendet. Der Ofen ist mit einem Program Controller ausgerüstet, der weitgehend Sicherheit gegen Fehlbedienung bietet. Zum Messen und Regeln der Ofenraum-Temperatur wird ein langlebiges Platin-Rhodium Thermoelement verwendet. Die Kenndaten des Ofens finden Sie auf dem Typenschild an der Ofenseite. Die Abmessungen und das Gewicht des Ofens finden Sie im entsprechenden Prospekt.

2. Program Controller

siehe besondere Anleitung

3. Sicherheit

Thermische Sicherheit:

Der Ofen entspricht der Thermischen Sicherheitsklasse 0 nach DIN VDE 0721 Teil 2 E und ist für den gewerblichen Einsatz konzipiert. Hobbytherm-Ofen sind nach DIN VDE 0700 für den privaten Einsatz konzipiert.

Wird die Ofentür geöffnet, schaltet die Ofenheizung ab.

Um den Ofen herum ist ein Freiraum von 0,25 m einzuhalten.

Die Wärmeabführung an der Oberseite des Ofens darf nicht behindert sein.

Materialien:

- Keine brennbaren Materialien in Ofennähe bringen.
- Brennbarkeit und Explosivität von Gasen beachten, wenn diese beim Ofenbetrieb eingesetzt werden oder entstehen können.
- Nur solche Materialien verwenden, deren Eigenschaften und Schmelztemperaturen bekannt sind (vgl. Kennzeichnung der Materialien)

Es besteht Verbrennungsgefahr:

- an einigen Stellen der Ofenoberfläche, wenn mit hohen Ofentemperaturen gearbeitet wird.
- am Anschlußstutzen. Er kann eine Temperatur von 200 °C erreichen.

Mechanische Sicherheit:

Einige Ofen sind rückwärtig mit einem Gegengewicht für die Tür ausgerüstet. Der Zugang zur Rückseite des Ofens muß bei solchen Modellen versperrt sein, um eine Verletzungsgefahr auszuschließen.

Elektrische Sicherheit:

Nur eine Elektro-Fachkraft darf Arbeiten an der elektrischen Anlage ausführen! Ausreichende Dimensionierung und Absicherung der Netzleitung entsprechend den Kenndaten des Ofens beachten.

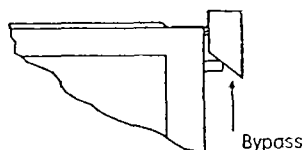
Abluft:

Je nach Art der vom Benutzer verwendeten Materialien können gesundheitsschädliche Gase und Dämpfe freiwerden. Diese Gase und Dämpfe müssen vom Abzug des Ofens aus in geeigneter Weise ins Freie geleitet werden (Anschluß eines Abzugsrohres, siehe 4. Installation)

4. Installation

Mechanischer Aufbau:

- Stellen Sie den Ofen auf das zugehörige Untergestell bzw. auf einen gleich hohen, nicht brennbaren Unterbau (nicht alle Modelle). Bei der Aufstellung ist ein Freiraum 0,25 m allseitig einzuhalten. Die Wärmeabführung der Gehäusoberfläche darf nicht behindert werden.
- Montieren Sie den Program Controller an der linken Ofenseite (falls noch nicht geschehen)
- Schrauben Sie den mitgelieferten Anschlußstutzen gemäß Skizze fest (nicht bei allen Modellen vorhanden). Ein handelsübliches Stahlrohr 80 mm Ø kann eingesteckt werden. Zur Erzielung einer guten Zugwirkung ist das Rohr steigend zu verlegen. Durch den Bypass wird unerwünschte Zugwirkung im Ofen vermieden.



Elektrische Anschlüsse:

- Stecken Sie den Stecker des Program Controllers in die Buchse der Schaltanlage. S 8 / S 19 sind werksseitig angeschlossen.
- Stecken Sie den Stecker des Ofens in eine gut zugängliche Steckdose.

Inbetriebnahme:

Zum Trocknen der Ausmauerung und zur Erzielung einer Oxid-Schutzschicht auf dem Heizdraht ist der Ofen einmalig aufzuheizen. Dabei kann es zu einer Geruchsbelastung kommen, die jedoch gesundheitlich völlig unbedenklich ist.

- Bodenschieber, falls vorhanden, halb öffnen
 - Leeren Ofen in 5 Stunden auf 900 °C aufheizen, Temperatur 1 Stunde halten.
 - Für Ofen mit $T_{max} < 900$ °C: leeren Ofen in 5 Stunden auf T_{max} aufheizen, Temperatur 1 Stunde halten.
 - Für Ofen mit Bezeichnung .../13; .../14: leeren Ofen in 6 Stunden auf 1200 °C aufheizen, Temperatur 5 Stunden halten.

5. Betrieb

Drehen Sie die Türverschlüsse (nicht bei allen Modellen vorhanden) nur mit geringem Kraftaufwand an.

Der Bodenschieber für Zuluft (nicht bei allen Modellen vorhanden) ist bei gezogenem Bedienungsknopf geöffnet.

Der Zuluftstutzen mit Magnetverschluss

(nicht bei allen Modellen vorhanden) befindet sich entweder an der linken Ofenseite oder an der Vorderseite.

Bodenschieber bzw. Zuluftstutzen sind beim Aufheizen geschlossen zu halten.

Die Heizelemente sind in kaltem Zustand bruchempfindlich. Beim Besetzen, Entnehmen und Reinigen des Ofens muß darauf besonders Rücksicht genommen werden. Nach jeder reduzierenden Wärmebehandlung (Brand) ist eine Wärmebehandlung in normaler Atmosphäre durchzuführen, damit sich die Oxid-Schutzschicht erneuern kann. Beim Besetzen des Ofens ist darauf zu achten, daß hohe Punktlasten der Bodenisolierung vermieden werden.

Risse in der Isolierung:

Die Isolierung des Ofens besteht aus sehr hochwertigem Feuerfest-Material. Durch Wärmedehnung entstehen bereits nach wenigen Aufheizzyklen Risse in der Isolierung. Diese haben jedoch keinen Einfluß auf die Funktion oder Qualität des Ofens.

6. Störung

Verwenden Sie zum Erkennen und Beheben von Störungen die Fehlersuchliste, die Reparaturanleitung und den Schaltplan.

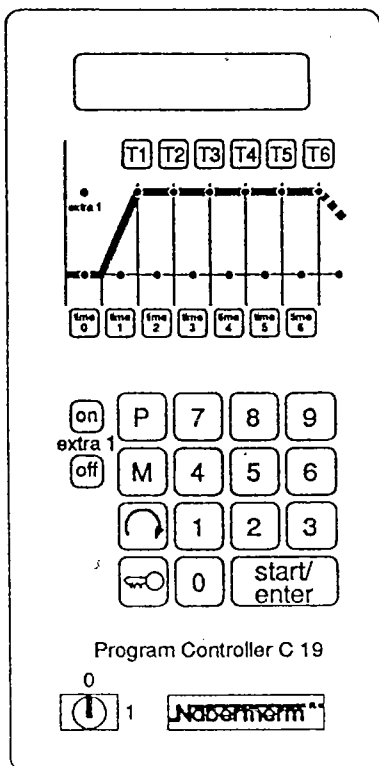
7. Wartung

In regelmäßigen Abständen:

- Ofen reinigen
- Sicherheitsschalter der Tür überprüfen
- Türanschlüsse prüfen (nicht bei allen Modellen vorhanden). Tür muß dicht schließen und dabei an den Anschlüssen anliegen.

Mindestens alle 4 Jahre:

- Elektrische Betriebsmittel von einer Elektro-Fachkraft prüfen lassen (Vorschrift der Berufsgenossenschaft VBG 4).



Eigenschaften

Der Program Controller C 19:

- ist ein elektronischer Temperatur-Programmregler
- arbeitet mit einer separaten Leistungs-Schaltanlage zusammen
- hat 9 Speicherplätze für je ein Programm (maximal 6 Zeiten und 6 Temperaturen)
- kann 3 Programme miteinander verknüpfen, so daß maximal 18 Temperatur-Zeit-Punkte nacheinander aufgerufen werden können.
- kann eine Extra-Funktion (z.B. Kühlgebläse ein/aus) steuern.
- erlaubt es, daß jede Temperatur höher oder niedriger als die vorherige Temperatur sein kann.

Der Program Controller S 19:

- hat ein elektronisches Schaltschütz, das Leistungen bis 3,6 kW (einphasig) schalten kann und hat keine separate Leistungs-Schaltanlage
- unterscheidet sich sonst nur durch den Ein- / Ausschalter vom C 19
- + C 19 mit Schlüsselschalter
- + S 19 mit Wippschalter

Sicherheit

Betriebssicherheit

Der C19/S19 schaltet:

- nur dann in den nächsten Zeitabschnitt, wenn die vorgegebene Temperatur erreicht ist (Temperatur-Vorrang).
- schaltet nach Ausschalten (von Hand oder durch Stromausfall) während eines Programmablaufs den Ofen nur wieder ein,
 - wenn die Unterbrechung bei time 0 erfolgte (time 0 läuft während der Spannungsunterbrechung nicht weiter)
 - wenn die Temperatur höher als 100°C und um weniger als 20°C gefallen ist.

Fehlermeldungen:

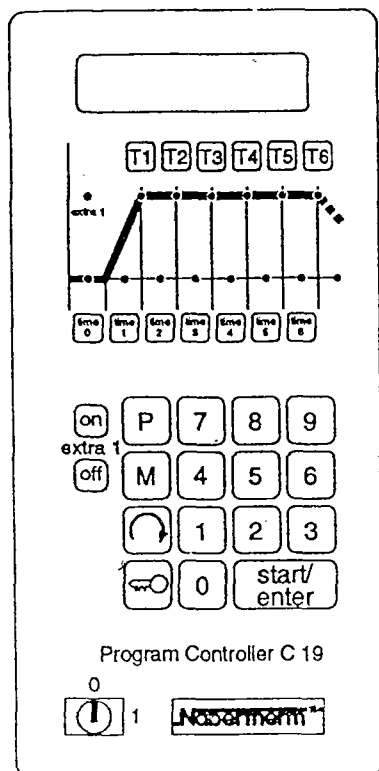
- F1: Ofen oder Schaltanlage defekt (kein Temperaturanstieg)*
- F2: Ofenleistung nicht ausreichend (Brennzeit größer als die Summe von time 1 bis time 6 plus 18 Stunden)*
- F3: Thermoelement defekt (Meßkreis unterbrochen)*
- F4: Thermoelement verpolt*
- F5: Temperatureingabe größer als zulässig**
- F6: Controller defekt*

Fehlerbeseitigung:

*: Service anrufen

**: Kleineren Temperaturwert eingeben

	Tasten drücken	Anwort	Anmerkung
Programm eingeben 1. C 19 mit Schlüsselschalter einschalten; S 19 mit Wippschalter einschalten 2. Zeit eingeben, bis die nächste Temperatur erreicht sein soll (hier z.B. 30 Minuten) 3. Temperatur eingeben (hier z.B. 500°C) 4. weiter bei 2.	 C 19 time 1 30 00 T1 500 00	 S 19 Ofentemperatur im Display entspr. Diode blinkt 30' im Display entspr. Diode blinkt 500°C im Display	Temperatur konstant halten (z.B. für 40 Minuten auf 500°C): Schritt 2 und 3 wie links eingeben, dann time 2, 40, T2, 500 eingeben Temperatur für beliebig lange Zeit konstant halten (z.B. auf 500°C): Schritt 2 und 3 wie links eingeben, dann time 2, 9999, T2, 500 eingeben
Extra-Funktion einschalten Extra-Funktion einschalten in Abhängigkeit von der Temperatur (hier z.B., wenn T2 erreicht ist) Extra-Funktion einschalten in Abhängigkeit von der Zeit (hier z.B., wenn time 3 erreicht ist)	 T2 on time 3 on	entspr. Diode blinkt Diode extra 1 blinkt entspr. Diode blinkt Diode extra 1 blinkt	Extra-Funktion wird bei Erreichen von T3 bzw. nach Ablauf von time 3 ausgeschaltet. Extra-Funktion kann bei laufendem Programm mit der Taste on eingeschaltet werden.
Programm starten		Ofen schaltet ein Temp. im Display	Leuchtdiode (LED) der Zeitachse zeigt Programmabschnitt an. Am Ende schaltet der Ofen automatisch ab; LED leuchtet während der nachfolgenden Abkühlphase. Alle eingegebenen Werte werden auf "0" gesetzt. Speichern eines Programms siehe Rückseite.



Features

The program controller C 19:

- is an electronic temperature program controller
- operates together with a separate power switchgear
- has 9 memory locations for one program each (max. 6 times and 6 temperatures)
- can combine 3 programs together so that a max. of 18 temperature-time points can be called up in succession
- can control peripheral equipment (e.g. cooling fan on/off) via the extra function
- permits each temperature to be higher or lower than the previous temperature

The program controller S 19:

- has an electronic contactor relay which has a switching capacity of up to 3,6 kW (single-phase) and no separate power switchgear
- Differs from C 19 only in the way it is switched on/off

Program controllers C 19 and S 19 differ in their handling only in the way they are switched on/off:

- C 19 by means of a key-operated switch
- S 19 by means of a rocker switch

Safety

Safety of operation

The C19/S19 switches:

- to the next time section only when the set temperature has been reached (temperature priority)
- the furnace on again (having been switched off manually or due to power failure) during a program cycle only
- if the interruption took place at time 0 (time 0 stops running during the power interruption)
- if the temperature is higher than 100°C and has dropped by less than 20°C.

Fault indications:

- F1: Furnace or switchgear defect (no temperature increase)*
- F2: Insufficient furnace capacity (firing time greater than the sum of time 1 to 6 plus 18 hours)*
- F3: Thermocouple defect (measuring circuit interrupted)*
- F4: Thermocouple reversed*
- F5: Temperature entered higher than permissible**
- F6: Controller defect**

Fault clearance:

- * Call service technician
- ** Enter lower temperature

	Press button	Response	Remark
Entering a programme 1. Switch on C 19 by means of key-operated switch; S 19 by means of rocker switch 2. Enter time required within which the next temperature shall be reached (in this case 30 minutes) 3. Enter temperature (in this case 500°C) 4. Continue as under point 2	C 19	Furnace temperature appears on display	To maintain a constant temperature (e.g. for 40 minutes at 500°C): Enter steps 2 and 3 as shown on the left, then enter time 2, 40, T2, 500
	30	Relevant diode flashes 30' appears on display	
	500	Relevant diode flashes 500°C appears on display	To maintain a constant temperature for an unspecified time (e.g. at 500°C): Enter steps 2 and 3 as shown on the left, then enter time 2, 9999, T2, 500
	9999		
Switching on a peripheral equipment If switching on of peripheral equipment shall be controlled by temperature (in this case when T2 has been reached) If switching on of peripheral equipment shall be controlled by time (in this case when time 3 has been reached)	T2	Relevant diode flashes	Peripheral equipment is switched off when T3 has been reached or time 3 has expired. Peripheral equipment can be switched on whilst the programme is running with the ON button.
	extra 1	Diode extra 1 flashes	
	time 3	Relevant diode flashes	
	extra 1	Diode extra 1 flashes	
Starting the programme	start/enter	Furnace switches on. Temperature appears on display	The LED of the time axis indicates the program section. On completion, the furnace switches off automatically; the LED extinguishes. All set values will be reset. For storing a programme please see backside.

Nabertherm®

Program Controller C19/S19

Operating Instructions

	Press button	Response	Remark
Storing a programme (in this case in memory location 7)		S=7 appears on display	Time for automatic start-up cannot be stored. Starting a programme by pressing again key start/enter.
Calling-up a stored programme (in this case from memory location 5)		P=5 appears on display	Starting a programme by pressing again key start/enter.
Checking entered values Check temperature value (in this case for T3)		Temperature value appears on display Before start: programmed value is indicated / After start: remaining time is indicated	The value called-up is indicated for a period of 10 secs. The program is not interrupted by the checking procedure.
Altering values in stored programme Call-up programme (in this case programme 4) Alter value (in this case T2 to 950°C) Store programme		Old value T2 is indicated then 950°C appears on display	If any alteration is made while a program cycle is running, the button start/enter must be pressed afterwards.
Switching-on the furnace automatically Enter waiting time (in this case the furnace will switch-on automatically after 120 minutes)		120' appears on display Remaining time appears on display	The starting time can be set before each programme and cannot be stored.
Locking a running programme Lock programme			To cancel locking: switch off controller.
Combining programmes together Combine programmes (in this case programmes 5, 7 and 4)		P 5-7-4 appears on display Respective programme and furnace temperature appear on display	Maximum 18 temperature-time points can be called up in succession.
Interrupting a programme		PO and Tmax. on display	A running programme will immediately be interrupted.
Deleting a programme Call-up programme (in this case programme 6)		PO and max. permissible furnace temperature appear on display	If a stored programme shall be deleted. A running programme will be immediately terminated.
Delete programme			

Nabertherm®	Programmbeispiele für Program Controller C 19/S 19 Programming Examples for Program Controller C 19/S 19
--------------------	---

Die angegebenen Temperaturen und Zeiten sind Empfehlungen. Exakte Werte sind bei den Materiallieferanten zu erfragen.

The mentioned temperatures and times are our recommendations. For exact values please ask your supplier of raw materials.

Brennen von Keramik / Burning of Ceramics

	time 1	T 1	time 2	T 2	time 3	T 3	time 4	T 4	time 5	T 5	time 6	T 6
Rohbrand/first firing	300	500	0	850	15	850	0	0	0	0	0	0
" " "	300	500	0	950	15	950	0	0	0	0	0	0
Einmalbrand / single firing	300	500	0	1050	20	1050	0	0	0	0	0	0
Glasurbrand / glaze firing	90	250	0	1050	30	1050	0	0	0	0	0	0
" " "	90	250	0	1150	30	1150	0	0	0	0	0	0
" " "	90	250	0	1250	30	1250	0	0	0	0	0	0

Härten von Stahl / Annealing of Steel

Werkstoff / Material	time 1	T 1	time 2	T 2	time 3	T 3	time 4	T 4	time 5	T 5	time 6	T 6
2510, 2479, 2842	150	550	60	550	180	820	X	820	0	0	0	0
2721, 2718, 2743, 2767	120	450	60	450	220	850	X	850	0	0	0	0
2542, 2550, 2747	180	620	60	620	150	900	X	900	0	0	0	0
2080, 2363	180	620	60	620	120	850	50	850	60	960	X	960
2379, 2601	180	620	60	620	120	850	50	850	80	1020	X	1020
2344, 2343	180	620	60	620	120	880	50	880	80	1040	X	1040

X = Haltezeit nach Bedarf eingeben / Holding times should be adjusted according to your requirements.

Program Controller C19 + S19

- Staubdichtes Gehäuse mit Folientastatur.
- Sehr einfache und übersichtliche Bedienung.
- Ein Mikroprozessor steuert und kontrolliert den Programmablauf.
- Präzise Regelung: reproduzierbare Genauigkeit besser als 3 °C.
- Optimale Schonung des Brenn-/Glühgutes durch lineares Aufheizen/Abkühlen.
- Exakte Programmierung in Schritten von 1 °C bzw. 1 min.
- Speicher für 9 Programme mit je 6 Segmenten.
- 3 Programme verknüpfbar, so daß bis zu 18 Programmsegmente gefahren werden können.
- Die Programm-Nr. wird im LCD-Display angezeigt.
- Leuchtdioden markieren den jeweiligen Programmabschnitt.
- Temperaturen und Zeiten werden digital angezeigt.
- Permanente Anzeige der Ist-Temperatur während des Betriebes.
- Steuerung von einer „Extra“-Funktion z.B. Lüftungsklappen öffnen oder Kühl-Gebläse einschalten.
- Einschaltautomatik mit programmierbarer Startzeit bis zu einer Woche.
- Eingang: Thermoelement Pt 10 Rh-Pt (Typ S).
- Schlüsselschalter (nur C 19) und Verriegelungstaste zum Schutz vor unbefugter und unbeabsichtigter Bedienung.
- Sicherheitsvorkehrungen zur Gewährleistung einwandfreier Funktion:
 - Doppelte Ausgangsstufe
 - Mehrfach-Abspeicherung der eingegebenen Werte
 - Ständiger Vergleich von Soll- und Ist-Werten.
 - Zwangsabschaltung im Fehlerfall und bei Fehlbedienung.
- Verhalten bei Spannungsunterbrechung: Fortsetzung des Programms bei Spannungswiederkehr, wenn die Ofentemperatur um weniger als 20 °C gesunken ist. Bei größerem Absinken der Temperatur wird abgeschaltet.
- Automatische Fehleranzeige: Thermoelementbruch, Bedienungsfehler usw.
- Solide Steckverbindung zum Anschluß an die Schaltanlage.

Besonderheiten S 19:

- Integrierte Schaltanlage.
- Elektron. Schaltschutz im Gehäuse für 230 V, max. 16 A.
- Fester Anschluß zum Ofen.

- Dust proof casing with foil keys.
- Very easy to operate.
- Microprocessors control the program.
- Precise regulation: reproducible accuracy better than 3 °C.
- Highest possible care of the goods by linear heating-up and cooling.
- Programmable in steps of 1 °C and 1 min.
- Storage for 9 programs with 6 segments each.
- 3 programs can be combined to have a 18 segments program.
- The program no. is shown on the LCD-display.
- Light emitting diodes mark the program sections.
- Digital indication of temperatures and times.
- Indication of actual temperature during operation.
- Control of „extra“-function like vapor flaps or fan.
- Integrated preselective timer for automatic switch-on within 1 week.
- Input: thermocouple Pt 10 Rh-Pt (type S).
- Protection against unauthorized or unintentional operation by key (C 19 only) and lock-button.
- Safety device to assure trouble-free operation:
 - Double output-stage,
 - Multiple storage of every value,
 - Permanent control of nominal and actual values,
 - Forced switching-off if any faults occur.
- Safety at power-supply drop-outs: Program continues after return of power, if furnace temperature dropped less than 20 °C. If temperature dropped more, furnace will be cut off.
- Automatic fault indication: for example wrong connection, broken thermocouple, etc.
- Plug-in connector for connection with switch-gear.

Special features S 19:

- Integrated switch-gear.
- Elektronical solid-state relay in the casing for 230 V, max. 16 A.
- Mounted at the furnace.

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	นางสาว ปาริฉัตร คำเหล็ก
วันเดือนปีเกิด	25 มิถุนายน 2510
สถานที่เกิด	29 หมู่ 2 ตำบล บ้านรี อำเภอมือง จังหวัดอ่างทอง 14000
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	3 /1/29 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขต กรุงเทพมหานคร 10220
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	อาจารย์ 1 ระดับ 4
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สถาบันราชภัฏพระนคร
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2529	มัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนสิงห์บุรี
พ.ศ. 2534	วท.บ. (เทคโนโลยีอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์) จากวิทยาลัยครูพระนคร
พ.ศ. 2538	ค.บ. (วิทยาศาสตร์ทั่วไป) จาก สถาบันราชภัฏพระนคร
พ.ศ. 2544	กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา) จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร