

เครื่องต้มน้ำสำหรับทดสอบฉนวนไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60502

BOILER FOR INSULATION TESTING WITH IEC 60502



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เลขหม.....
เลขทะเบียน..... 45966
วัน, เดือน, ปี 26 ก.พ. 2546

b.....
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า 2
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องต้มน้ำสำหรับทดสอบฉนวนไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60502
BOILER FOR INSULATION TESTING WITH IEC 60502



ปฏิญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา2544

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

กระวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง เครื่องต้นน้ำสำหรับทดสอบฉนวนไฟฟ้าตามมาตรฐานIEC 60502

ผู้จัดทำ

1. นายศิริวัฒน์ รัตนรจนานนท์
2. นายปรกรณ์ วิเศษการ



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องต้มน้ำสำหรับทดสอบฉนวนไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60502

BOILER FOR INSULATION TESTING WITH IEC 60502

ผู้จัดทำ

- | | | |
|----------------------------|-------------|----------|
| 1. นายธีรวัฒน์ รัตนรณานนท์ | เลขประจำตัว | 41014195 |
| 2. นายปกรณ์ วิเศษการ | เลขประจำตัว | 41014237 |

โครงการนี้ได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมทั้งจะทำการสอบได้

ลงชื่อ.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการเครื่องต้นน้ำสำหรับทดสอบฉนวนไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60502 นี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะความช่วยเหลือจาก บุคคลหลายท่าน ทางผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

- คุณพ่อ คุณแม่ และญาติ พี่น้องทุกคน ที่ให้การเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน จนมีวันนี้
 - รศ.ศิริวัฒน์ โภชินเวชกุล และครูอาจารย์ทุกท่าน สำหรับความรู้ที่ได้รับ
 - พี่สาธิต บริษัทจรุงไทยไวร์แอนด์เคเบิ้ล สำหรับตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ
 - อ.ธวัชชัย ขาวสะอาด ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สำหรับความรู้เรื่อง แก้ว และห้องแล็บเป่าแก้วที่ให้อบรมใช้
 - พี่โต้ง, พี่แสบ, พี่เคฟ, พี่เล็ก, พี่โจติ, พี่ดาร์ และพี่ ๆ ปร.โท ห้อง Staff 2 ทุกคน ที่คอยให้คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือ ในทุก ๆ เรื่อง
 - พี่ต๋อง ห้อง Hardware ภาควิชาคอมฯ สำหรับคำปรึกษาเรื่อง ไมโครคอนโทรลเลอร์
 - พี่ตัวเล็ก, พี่เอ ห้อง Store สำหรับอุปกรณ์ทำแล็บ ที่ให้อบรม
 - เจ้าของ และคุณลุงหอดาวรพฤษย์ สำหรับเครื่องมือ เครื่องมือ ที่ให้อบรมทำโปรเจก
 - ปาน รุ่น37 ภาควิชาวิศวกรรมฯ สำหรับเทอร์โมมิเตอร์ดิจิตอลเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ฯลฯ
 - นก, เกียง, หมิง, เดียร์, อู๋ย, ฉิน, ยู่ย, เอ และ ไอ๊ด สำหรับน้ำใจที่ไม่เคยขาดหาย
 - เพื่อน ๆ ห้องบัลลาสต์, รถไฟฟ้า และเพื่อน ๆ ทุกคน สำหรับความช่วยเหลือที่มีให้
 - หนังสือต่างๆ เล่มที่ให้ความรู้จนสามารถทำโปรเจกได้สำเร็จลุล่วง
- ขอคุณพระศรีรัตนตรัยจงคุ้มครอง ให้มีความสุขความเจริญ กันทุกคนเทอญ

ผู้จัดทำ

ปล. หากมีปัญหาเกี่ยวกับการใช้งานหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม โปรดติดต่อ

ปกรณ์ วิเศษการ

Toey_pakorn@yahoo.com

ธีรวัฒน์ รัตนรจนานนท์

unjitee@yahoo.com

เครื่องต้มน้ำสำหรับทดสอบฉนวนไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60502

นายธีรวัฒน์	รัตนรจนานนท์	(41014195)
นายปกรณ์	วิเศษการ	(41014237)
รศ.ศิริวัฒน์	โพธิเวชกุล	(อาจารย์ที่ปรึกษา)
ปีการศึกษา 2544		

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษา , ออกแบบ และ จัดสร้างชุดทดสอบฉนวนสายไฟฟ้า ซึ่งใช้ในการทดสอบฉนวนสายไฟฟ้า ตามมาตรฐาน IEC 60502 ในหัวข้อ Water absorption โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมอุณหภูมิของน้ำ, การรักษาระดับน้ำ, การควบคุมเวลา, การแสดงผล และการเก็บข้อมูล ทำให้ชุดทดสอบนี้สามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้คงที่ ± 2 องศาเซลเซียสในช่วงอุณหภูมิ 50 - 90 องศาเซลเซียส ภายในระยะเวลา 14 วัน สามารถรักษาระดับน้ำให้คงที่ได้ อัตโนมัติ ทั้งยังสามารถใช้คอมพิวเตอร์ติดต่อสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการสั่งงาน การแสดงผล และการเก็บข้อมูลได้อีกด้วย

BOILER FOR INSULATION TESTING WITH IEC 60502

Mr. Teerawat Rattanosjananon (41014195)

Mr. Pakorn Wisedkarn (41014237)

Assoc. Prof. Siriwat Potivejkul (Advisor)

Educational year 2001

Abstract

The propose of this project is for testing quality of cable's insulation, with IEC 60502 standard (Water absorption). Microcontroller is used for controlling water temperature , water level , time duration , displaying result and storage data . This make it can keep water temperature within ± 2 degree of celsius at any point between 50 – 90 degree of celsius in 14 days , keep water level at same level . Moreover , it can interface with computer for sending input data, displaying temperature versus time and storage temperature data .

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
Abstract	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VIII
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	2
2.1 มาตรฐานการทดสอบ Water absorption ที่ระบุไว้ใน IEC 60502	2
2.2 ขั้นตอนในการทดสอบ Water absorption ตามมาตรฐาน IEC 60502	2
2.3 ทฤษฎีที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ	4
2.3.1 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)	4
2.3.2 การยับยั้งการลวดทำความร้อน โดยวิธีเฟสคอนโทรล	7
2.3.3 ฮีตเตอร์ (Heater)	8
2.4 ทฤษฎีที่ใช้ในการควบคุมระดับน้ำ	9
2.4.1 ก้านอิเล็กโทรด (Electrode)	9
2.4.2 โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid valve)	10
2.5 ทฤษฎีที่ใช้ในการควบคุมเวลา	10
2.5.1 แนะนำไอซีสร้างฐานเวลาจริง (DS 1307)	10
2.5.2 การทำงานของ DS 1307	11
2.5.3 การจัดสรรหน่วยความจำใน DS 1307	12
2.5.4 โหมดการทำงานของ DS 1307	13
2.6 ทฤษฎีที่ใช้ในการประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	14
2.6.1 สถาปัตยกรรมของ 89C51RD+	14
2.6.1.1 แนะนำไมโครคอนโทรลเลอร์	14
2.6.1.2 คุณสมบัติพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์	15
ตระกูล MCS-51	
2.6.1.3 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	15
2.6.1.4 โครงสร้างหน่วยความจำภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์	16
ตระกูล MCS-51	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.2 การติดต่อสื่อสารแบบ I ² C Bus	17
2.6.2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบบัส I ² C	17
2.6.2.2 คุณสมบัติโดยทั่วไปของบัส I ² C	17
2.6.2.3 หลักการของระบบบัส I ² C	17
2.6.2.4 สภาวะที่เกิดขึ้นบนบัส I ² C	18
2.6.2.5 การทำงานบนระบบบัส I ² C	19
2.6.3 การแปลงสัญญาณอนาลอกดิจิทัล	21
2.6.3.1 การแปลงสัญญาณอนาลอกดิจิทัลแบบประมาณค่าใกล้เคียง	21
2.6.3.2 ข้อมูลเบื้องต้นของ ไอซีแปลงสัญญาณอนาลอกดิจิทัล (PCF 8591)	22
2.6.3.3 ตำแหน่งแอดเดรสของ PCF 8591	22
2.6.3.4 ข้อมูลควบคุมของ PCF 8591	23
2.7 ทฤษฎีที่ใช้ในการแสดงผลและเก็บข้อมูล	25
2.7.1 การแสดงผลทางหน้าจอแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD)	25
2.7.1.1 รายละเอียดเกี่ยวกับ LCD	25
2.7.1.2 โครงสร้างภายในของตัวควบคุม LCD	25
2.7.1.3 หน้าที่การทำงานของขาต่าง ๆ ของ LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 1บรรทัด (LCD 16x1)	26
2.7.1.4 คำสั่งสำหรับควบคุม LCD	26
2.7.1.5 การเขียนคำสั่งและข้อมูลให้แก่ LCD	29
2.7.1.6 จังหวะการทำงานของ LCD	29
2.7.2 การส่งผ่านข้อมูลด้วยพอร์ตอนุกรม (Serial port)	30
2.7.2.1 แนะนำพอร์ตอนุกรม	30
2.7.2.2 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51	30
2.7.2.3 โหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51	31
2.7.2.4 อัตราบอดของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51	31
บทที่ 3 การออกแบบ	33
3.1 การออกแบบหม้อต้ม	33
3.1.1 ตัวหม้อ	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.2 ฝาแก้วปิดบีกเกอร์	33
3.1.3 ส่วนจับยึดชิ้นงาน	33
3.1.4 ฉนวนกันความร้อน	34
3.1.5 ส่วนจับยึดเทอร์โมคัปเปิล, ก้านอิเล็กทรอนิกส์ และ โซลินอยด์วาล์ว	34
3.2 การออกแบบส่วนควบคุมอุณหภูมิ	35
3.2.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน	35
3.2.2 เทอร์โมคัปเปิล	36
3.2.3 วงจรขยายสัญญาณเทอร์โมคัปเปิล	36
3.2.4 ฮีตเตอร์	37
3.2.5 การจับขดลวดทำความร้อนด้วยวิธีเฟสคอนโทรล	38
3.3 การออกแบบส่วนควบคุมระดับน้ำ	38
3.3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน	38
3.3.2 ก้านอิเล็กทรอนิกส์	38
3.3.3 โซลินอยด์วาล์ว	39
3.3.4 วงจรควบคุมระดับน้ำ	40
3.4 การออกแบบโปรแกรมประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	41
3.4.1 ไดอะแกรมการทำงานของโปรแกรมประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	41
3.4.2 การรองรับข้อมูลเริ่มต้นต่างๆ จากคอมพิวเตอร์	42
3.4.3 โปรแกรมย่อยการควบคุมอุณหภูมิ	42
3.4.4 การส่งข้อมูลของอุณหภูมิไปยังคอมพิวเตอร์	42
3.4.5 โปรแกรมย่อยการแสดงผลทางหน้าจอ LCD	43
3.4.6 โปรแกรมย่อยการตรวจสอบระดับน้ำ	43
3.4.7 โปรแกรมย่อยตรวจสอบคำสั่งยกเลิกการทดสอบ	44
3.5 การออกแบบโปรแกรมสั่งงาน,แสดงผลและจัดเก็บผลการทดลอง	44
3.5.1 รูปแบบและการเชื่อมโยงกันของหน้าจอที่ใช้ในการแสดงผล	44
3.5.2 หน้าจอหลัก	45
3.5.3 หน้าจอกำหนดข้อมูลเริ่มต้น	46
3.5.4 หน้าจอแสดงกราฟขณะที่หม้อต้มกำลังทำงาน	47
3.5.5 หน้าจอเปิดฐานข้อมูลเก่า	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5.6 หน้าจอแสดงกราฟจากฐานข้อมูลเก่า	49
3.5.7 หน้าจอแสดงการเตือนเมื่อครบเวลาการทดสอบ	50
3.5.8 หน้าจอแสดงการเตือนเมื่อระดับน้ำต่ำกว่าปกติ	50
3.6 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง	50
3.6.1 วงจรจ่ายไฟ	50
3.6.2 พิกัดกระแสของอุปกรณ์	51
3.7 การออกแบบการจัดวางอุปกรณ์	51
3.7.1 บีกเกอร์และส่วนจับยึดชิ้นงาน	51
3.7.2 ฮีตเตอร์	52
3.7.3 แผงยึดแผงวงจร	52
3.7.4 โครงสร้างสำหรับวางตัวหม้อและแผงวงจร	54
3.7.5 เทอร์โมคัปเปิล, โซลินอยด์วาล์ว และก้านอิเล็กทรอนิกส์	54
3.7.6 ถังน้ำสำรอง	55
บทที่ 4 ผลการทดลอง	56
4.1 ผลการควบคุมขนาดลดทำความร้อน	56
4.2 ผลการเปรียบเทียบเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้ในโครงการกับเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน	57
4.3 ผลการควบคุมอุณหภูมิในระดับต่าง ๆ ตั้งแต่ 50 – 90 องศาเซลเซียส	58
4.4 ผลการควบคุมอุณหภูมิของหม้อต้มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	59
4.5 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้โดยประมาณ	61
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน	62
5.1 สรุปผลการออกแบบตัวหม้อ	62
5.2 สรุปผลการควบคุมอุณหภูมิ	62
5.3 สรุปผลการควบคุมระดับน้ำ	62
5.4 สรุปผลการควบคุมเวลา	62
5.5 สรุปผลการแสดงผล และเก็บผลการทดลอง	63
5.6 สรุปคุณสมบัติของเครื่อง	63
5.7 แนวทางในการพัฒนาโครงการในอนาคต	63
ภาคผนวก	
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบของโครงการ	1
รูปที่ 2.1 แสดงวงจร "ซีเบ็ค โวลต์เตจ"	4
รูปที่ 2.2 สัญญาณ Synchronization ที่ได้จากวงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์	7
รูปที่ 2.3 สัญญาณแรงดันลาดเอียง ที่ได้จากสัญญาณตรวจวัดจุดตัดศูนย์	8
รูปที่ 2.4 การสร้างสัญญาณพัลส์ เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมแรงดัน ไฟฟ้า	8
รูปที่ 2.5 การใช้งานก้านอิเล็กทรอนิกส์	10
รูปที่ 2.6 แสดง โครงสร้างภายในของไอซีสร้างฐานเวลาจริง DS 1307	12
รูปที่ 2.7 (ก) การจัดสรรหน่วยความจำแรมภายใน DS 1307	13
(ข) รายละเอียดของรีจิสเตอร์เก็บค่าเวลาและรีจิสเตอร์ควบคุมของDS 1307	13
รูปที่ 2.8 แสดงรูปแบบของข้อมูลสำหรับติดต่อกับ DS 1307 ในโหมดการเขียนข้อมูล	14
รูปที่ 2.9 รูปแบบของข้อมูลสำหรับติดต่อกับ DS 1307 ในโหมดการอ่านข้อมูล	14
รูปที่ 2.10 แสดง ไดอะแกรมเวลาของสถานะต่างๆ ในบัส I ² C	19
รูปที่ 2.11 แสดงรูปแบบของข้อมูลกำหนดแอดเดรสที่ใช้ในการอ้างถึงแบบ 7 บิต	20
รูปที่ 2.12 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมที่ใช้ติดต่อกับอุปกรณ์บนบัส I ² C เมื่อใช้การอ้างถึงแบบ 7 บิต	20
รูปที่ 2.13 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมที่ใช้ติดต่อกับอุปกรณ์บนบัส I ² C เมื่อใช้การอ้างถึงแบบ 10 บิต	21
รูปที่ 2.14 แสดงรายละเอียดของข้อมูลควบคุมที่เขียนลงในรีจิสเตอร์ควบคุม ภายในไอซี PCF 8591	24
รูปที่ 2.15 แสดงรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งเลือกโหมดการป้อนข้อมูล	27
รูปที่ 2.16 แสดงรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งควบคุมการแสดงผล	27
รูปที่ 2.17 แสดงรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์ และข้อมูลตัวอักษร	27
รูปที่ 2.18 แสดงรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งกำหนดฟังก์ชันการทำงาน	28
รูปที่ 2.19 แสดงรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งอ่านแฟล็ก BUSY และแอดเดรส	29
รูปที่ 2.20 แสดงรายละเอียดการทำงานของรีจิสเตอร์SCON	30
รูปที่ 3.1 บีกเกอร์	33
รูปที่ 3.2 ฝาแก้วปิดบีกเกอร์	33
รูปที่ 3.3 ชิ้นงาน และส่วนจับยึดชิ้นงาน	34

สารบัญรูปลูกภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.4 ฉนวนกันความร้อน	34
รูปที่ 3.5 ส่วนจับยึดอุปกรณ์	35
รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมส่วนควบคุมอุณหภูมิ	35
รูปที่ 3.7 เทอร์โมคัปเปิล	36
รูปที่ 3.8 วงจรขยายสัญญาณเทอร์โมคัปเปิล	36
รูปที่ 3.9 ฮีตเตอร์รััดท่อ	37
รูปที่ 3.10 วงจรขับเคลื่อนหลอดความร้อนด้วยวิธีเฟสคอนโทรล	38
รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมส่วนควบคุมระดับน้ำ	38
รูปที่ 3.12 ก้านอิเล็กทรอนิกส์	39
รูปที่ 3.13 โซลินอยด์วาล์ว	39
รูปที่ 3.14 วงจรควบคุมระดับน้ำ	40
รูปที่ 3.15 แสดงไดอะแกรมการทำงานของโปรแกรมประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	41
รูปที่ 3.16 แสดงไดอะแกรมการทำงานของโปรแกรมย่อยการควบคุมอุณหภูมิ	42
รูปที่ 3.17 แสดงไดอะแกรมการทำงานของโปรแกรมการตรวจสอบระดับน้ำ	44
รูปที่ 3.18 แสดงหน้าจอต่างๆ ของโปรแกรม	45
รูปที่ 3.19 แสดงหน้าจอหลักของโปรแกรม	46
รูปที่ 3.20 แสดงหน้าจอกำหนดข้อมูลเริ่มต้น	46
รูปที่ 3.21 แสดงรูปแบบของตารางฐานข้อมูลในแต่ละวัน	47
รูปที่ 3.22 แสดงหน้าจอแสดงกราฟขณะที่หม้อต้มกำลังทำงาน	48
รูปที่ 3.23 แสดงหน้าจอเปิดฐานข้อมูลเก่า	48
รูปที่ 3.24 หน้าจอแสดงกราฟจากฐานข้อมูลเก่า และหน้าจอแสดงกราฟ เพื่อพิมพ์ข้อมูลใน 1 วัน	49
รูปที่ 3.25 หน้าจอแสดงการเตือนเมื่อครบเวลาการทดสอบ	50
รูปที่ 3.26 หน้าจอแสดงการเตือนเมื่อระดับน้ำต่ำกว่าปกติ	50
รูปที่ 2.27 วงจรจ่ายไฟกระแสตรง	51
รูปที่ 3.28 การจัดวางบีกเกอร์และส่วนจับยึดชิ้นงาน	51
รูปที่ 3.29 การจัดวางฮีตเตอร์	52
รูปที่ 3.30 การจัดวางแผงวงจร	53
รูปที่ 3.31 โครงสร้างสำหรับวางตัวหม้อและแผงวงจร	54
รูปที่ 3.32 การจัดวางส่วนจับยึดอุปกรณ์เข้ากับฉนวนกันความร้อน	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

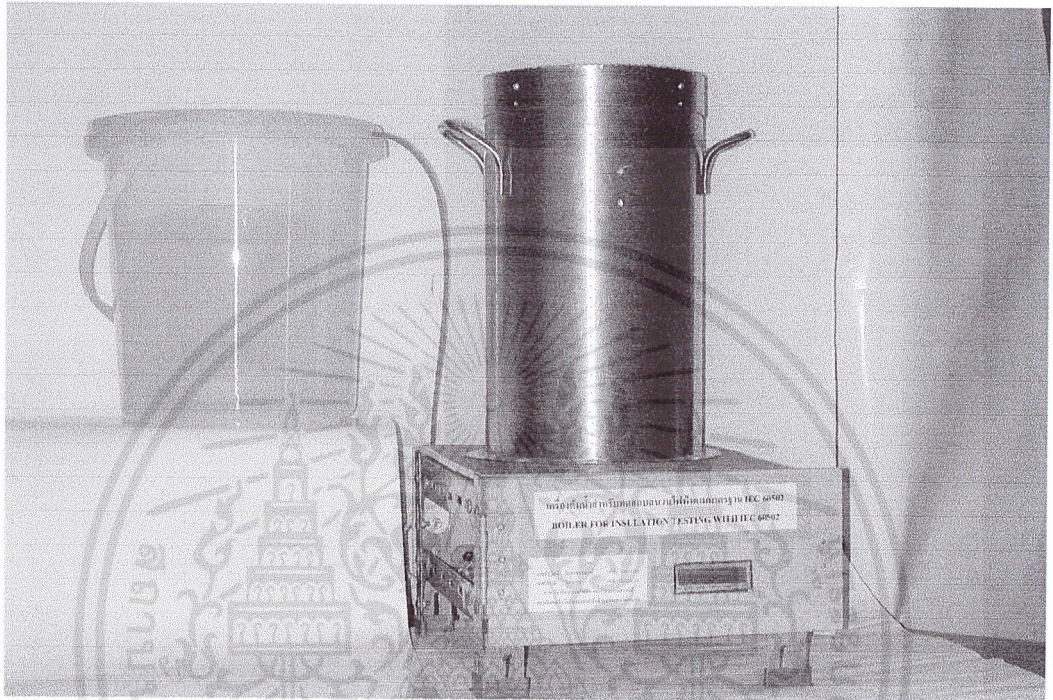
สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.33 การจัดวางถังน้ำสำรอง	55
รูปที่ 4.1 รูปสัญญาณในช่วงเริ่มทดสอบที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส	56
รูปที่ 4.2 รูปสัญญาณในช่วงอุณหภูมิเข้าใกล้ 85 องศาเซลเซียส	56
รูปที่ 4.3 รูปสัญญาณในช่วงอุณหภูมิคงที่ ที่ 85 องศาเซลเซียส	57
รูปที่ 4.4 การ Synchronization สัญญาณ เพื่อนำไปสร้างสัญญาณลาดเอียง	57
รูปที่ 4.5 แสดงกราฟการเปรียบเทียบระหว่างเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้ในโครงการกับมาตรฐาน	57
รูปที่ 4.6 (ก) แสดงกราฟการควบคุมอุณหภูมิของหม้อต้มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	58
(ข) แสดงกราฟการควบคุมอุณหภูมิของหม้อต้มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	58
รูปที่ 4.7 (ก) แสดงกราฟการควบคุมอุณหภูมิของหม้อต้มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	58
(ข) แสดงกราฟการควบคุมอุณหภูมิของหม้อต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	58
รูปที่ 4.8 (ก) แสดงกราฟการควบคุมอุณหภูมิของหม้อต้มที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส	59
(ข) แสดงกราฟการควบคุมอุณหภูมิของหม้อต้มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	59
รูปที่ 4.9 แสดงกราฟการควบคุมอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส ของวันที่ 1 – 6	59
รูปที่ 4.10 แสดงกราฟการควบคุมอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส ของวันที่ 7 – 14	60

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติเปรียบเทียบเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน Type ต่าง ๆ	6
ตารางที่ 2.2 การเลือกอัตราบอดของวงจรพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	32
ตารางที่ 4.1 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้โดยประมาณ	61





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

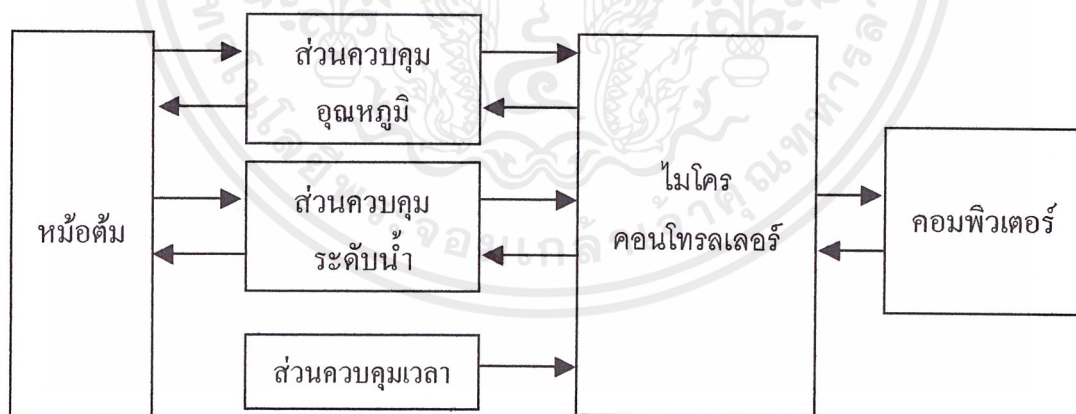
บทที่ 1

บทนำ

ในอุตสาหกรรมการผลิตสายไฟ จำเป็นต้องมีการทดสอบฉนวนของสาย ก่อนที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งหม้อต้มก็เป็นส่วนหนึ่งของเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ และหม้อต้มที่ได้มาตรฐาน ซึ่งสามารถใช้ทดสอบฉนวนของสายไฟในปัจจุบัน ก็มีจำนวนน้อยมากเมื่อเทียบกับความต้องการ ด้วยเหตุนี้เองจึงได้จัดทำโครงการนี้ขึ้น เพื่อให้สถาบันฯเป็นแหล่งให้บริการการทดสอบฉนวนสายไฟแก่บริษัทต่าง ๆ

และเนื่องจากโครงการนี้ มีส่วนของการออกแบบในด้านของตัวหม้อต้ม ที่สามารถใช้ความคิดได้อย่างอิสระ และในส่วนของ การควบคุมต่าง ๆ ก็มีการนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้งาน ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อเทคโนโลยีทั้งในปัจจุบันและในอนาคต จึงคิดว่าโครงการนี้เป็นโครงการหนึ่งที่น่าสนใจ

โดยหม้อต้มน้ำที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันนั้น มีระบบการเก็บข้อมูลของเงื่อนไขต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาการทดสอบ (เวลา, อุณหภูมิ, ระดับน้ำ) ด้วยการบันทึกข้อมูลเป็นกราฟลงบนกระดาษ ซึ่งไม่คงทนและยังจำเป็นต้องใช้งานร่วมกับเครื่องบันทึกข้อมูล โครงการนี้จึงทำการพัฒนาในส่วนของการเก็บข้อมูล ส่วนแสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ และส่วนของระบบการรักษาระดับน้ำให้คงที่อยู่ตลอดเวลา โดยส่วนประกอบต่าง ๆ ของหม้อต้มในโครงการนี้สามารถดูได้จากบล็อกไดอะแกรมด้านล่างนี้



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบของโครงการ

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 มาตรฐานการทดสอบ Water absorption ที่ระบุไว้ใน IEC 60502

อุณหภูมิที่ใช้ในการต้ม

ใช้อุณหภูมิที่ -5°C ของอุณหภูมิสูงสุดของตัวนำในขณะที่ใช้งานปกติ แต่ต้องไม่เกิน 90°C
ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ

แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. สำหรับสายเคเบิลที่มีพื้นที่หน้าตัดของลวดตัวนำ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 25 ตารางมิลลิเมตร ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบจะเป็นสายเคเบิลทั้งเส้น (ลวดตัวนำ + ฉนวน) ยาว 300 มิลลิเมตร
2. สำหรับสายเคเบิลที่มีพื้นที่หน้าตัดของลวดตัวนำมากกว่า 25 ตารางเซนติเมตร ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบจะเป็น ฉนวนสายเคเบิลที่สไลด์เป็นแผ่น ขนาด กว้าง 4-5 มิลลิเมตร ยาว 80 -100 มิลลิเมตรหนา 0.6 - 0.9 มิลลิเมตร

เวลาที่ใช้ในการต้ม

สำหรับชิ้นงานแบบที่ 1

ถ้าชิ้นงานหนาน้อยกว่า	1	มิลลิเมตร	ใช้เวลา 2 สัปดาห์
ถ้าชิ้นงานหนาระหว่าง	1.1-1.5	มิลลิเมตร	ใช้เวลา 3 สัปดาห์
ถ้าชิ้นงานหนามากกว่า	1.5	มิลลิเมตร	ใช้เวลา 4 สัปดาห์

สำหรับชิ้นงานแบบที่ 2

ใช้เวลา 14 วัน ในการต้ม

2.2 ขั้นตอนในการทดสอบ Water absorption ตามมาตรฐาน IEC 60502

สำหรับชิ้นงานทดสอบประเภทที่ 1

ทำความสะอาดและทำชิ้นงานให้แห้งโดยนำเข้าเตาอบความดันต่ำ (ไม่เกิน 6.6 มิลลิบาร์) ที่อุณหภูมิ $70 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาทำให้เย็นใน Desiccator แล้วนำมาชั่งน้ำหนักเก็บค่าไว้เป็น M1

นำชิ้นงานมาพันรอบค้ำจับ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 6-8 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสายเคเบิล (รวมฉนวน) แล้วตัดให้เป็นรูปตัว U และเอาปลายทั้งสองข้างสอดผ่านรูของฝาของภาชนะแก้วขึ้นมา โดยอนุญาตให้มีแค่ชิ้นงานทดสอบ 2 ชิ้นที่มีแกนเดียวกันเท่านั้นในภาชนะแก้ว 1 ใบ

ปรับตำแหน่งของชิ้นงานโดยให้ประมาณ 250 มิลลิเมตรของความยาวจุ่มอยู่ในน้ำในภาชนะแก้ว

ทำการต้มชิ้นงานที่อุณหภูมิและเวลาตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานของสายที่นำมาทดสอบ แต่ถ้ามาตรฐานไม่ได้กำหนดก็ให้ใช้อุณหภูมิและเวลาตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานนี้

เอาชิ้นงานออกก่อนที่น้ำจะเย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง สะบัดและเช็ดหยดน้ำออกอย่างนุ่มนวล โดยกระดาษพิเศษที่ไม่มีขุยแล้วทำการชั่งน้ำหนักเก็บค่าไว้เป็น M2 ภายใน 2-3 นาที หลังจากที้นำออกมาจากการต้ม

ทำการทำความสะอาดและทำชิ้นงานให้แห้งตามเงื่อนไขที่ทำก่อนการนำไปต้ม นำมาชั่งน้ำหนักเก็บค่าไว้เป็น M3

นำค่า M1 , M2 , M3 ไปคำนวณตามสูตร

ถ้า M1 มากกว่า M3 ใช้สูตร $(M2 - M3) / A$

ถ้า M1 น้อยกว่า M3 ใช้สูตร $(M2 - M1) / A$

โดย A หมายถึงพื้นที่ผิวของชิ้นงานที่จุ่มอยู่ในน้ำ มีหน่วยเป็น ตารางเซนติเมตร

สำหรับชิ้นงานทดสอบประเภทที่ 2

ทำความสะอาดชิ้นงานและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ $70 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ภายใต้สูญญากาศ (หรือ ความดันประมาณ 1 มิลลิบาร์) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง โดยในการอบแต่ละครั้งชิ้นงานที่เข้าตู้อบได้จะต้องเป็นชิ้นงานที่มีวัสดุประเภทเดียวกันเท่านั้น หลังจากนั้นชิ้นงานจะถูกทำให้เย็นเป็นเวลา 1 ชั่วโมงใน Desiccator และนำไปชั่งน้ำหนักเก็บค่าไว้เป็น M1

ชิ้นงานจะถูกนำมาจุ่มในน้ำที่ผ่านการลดประจุแล้ว (Deionized) หรือน้ำกลั่น (Distilled) ที่อุณหภูมิและเวลาตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานของสายที่นำมาทดสอบ แต่ถ้ามาตรฐานไม่ได้กำหนดก็ให้ใช้อุณหภูมิและเวลาตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานนี้

ชิ้นงานแต่ละชิ้นจะต้องถูกจุ่มอย่างสมบูรณ์ในแก้วที่ถูกติดตั้งกับเครื่องควบแน่น หรือ ในบีกเกอร์ที่ถูกปิดด้วยฝาแก้ว (ถ้าเครื่องควบแน่นถูกใช้ ที่ด้านบนของเครื่องจะต้องถูกปิดด้วยอลูมิเนียมฟอยด์เพื่อป้องกันความสกปรกต่างๆ)

หลังจากต้มเสร็จแล้วชิ้นงานจะถูกโยกย้ายไปสู่ที่ลดประจุแล้ว หรือน้ำกลั่น ที่อุณหภูมิห้องและทำให้ชิ้นงานเย็นตัวลง หลังจากนั้นนำขึ้นจากน้ำ สะบัดและเช็ดหยดน้ำออกอย่างนุ่มนวลแล้วทำการชั่งน้ำหนักเก็บค่าไว้เป็น M2

ทำการทำความสะอาดและทำชิ้นงานให้แห้งตามเงื่อนไขที่ทำก่อนการนำไปต้ม นำมาชั่งน้ำหนักเก็บค่าไว้เป็น M3

นำค่า M1 , M2 , M3 ไปคำนวณตามสูตร

ถ้า M1 มากกว่า M3 ใช้สูตร $(M2 - M3) / A$

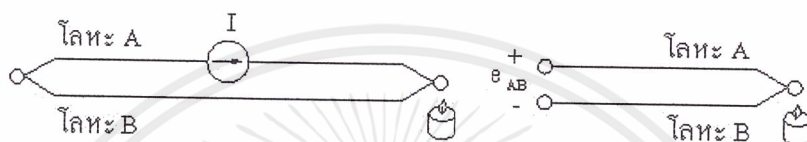
ถ้า M1 น้อยกว่า M3 ใช้สูตร $(M2 - M1) / A$

โดย A หมายถึงพื้นที่ผิวของชิ้นงานที่จุ่มอยู่ในน้ำ มีหน่วยเป็น ตารางเซนติเมตร

2.3 ทฤษฎีที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ

2.3.1 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

หลักการของเทอร์โมคัปเปิลมีอยู่ว่า เมื่อนำลวดโลหะ 2 เส้นที่ทำด้วยโลหะต่างชนิดกันมา เชื่อมต่อกันปลายทั้งสองเข้าด้วยกัน ถ้าปลายจุดต่อทั้งสองมีอุณหภูมิต่างกัน จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลใน วงจรเส้นลวดทั้งสองนี้ โดยปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามผลต่างของ อุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง และถ้าเปิดปลายจุดต่อข้างหนึ่งออก จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้น ที่ปลายด้านที่เปิด แรงเคลื่อนไฟฟ้านี้เรียกว่า “ซีเบ็ค โวลต์เตจ” (Seebeck Voltage)



รูปที่ 2.1 แสดงวงจร “ซีเบ็ค โวลต์เตจ”

ปริมาณของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะแปรผันโดยตรงกับผลต่างอุณหภูมิของปลายจุดต่อทั้งสอง โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$e_{AB} = \alpha \Delta T$$

เมื่อ e_{AB} คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้ (Seebeck Voltage)

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของวีเบ็ค (Seebeck Coefficient) เป็นค่าคงที่ มีหน่วยเป็น Volt/K

ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิของปลายจุดต่อทั้งสอง

กฎการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากความร้อน (Thermoelectric Laws)

1. กฎของวงจรโลหะชนิดเดียวกัน (Law of the Homogeneous Circuit) ในวงจรที่ประกอบ ขึ้นด้วยโลหะชนิดเดียวกัน จะไม่เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ ณ ปลายจุดต่อทั้งสอง

กระแสไฟฟ้าจะเกิดขึ้นในกรณีที่ลวดทั้งสองเป็น โลหะต่างชนิดกันเท่านั้น แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง

2. กฎของโลหะแทรก (Law of Intermediate Metals) ในวงจรเทอร์โมคัปเปิล ถ้ามีโลหะ แทรกอยู่ในส่วนหนึ่งส่วนใดของวงจร หากจุดต่อของปลายโลหะแทรกทั้งสองมีอุณหภูมิเท่ากัน แล้ว โลหะแทรกนี้จะไม่มีส่วนต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ในทางปฏิบัติมีอยู่เสมอ เช่น ขั้วต่อ หรือ สายทองแดงที่ใช้ต่อเข้ามิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กฎของอุณหภูมิแทรก (Law of Intermediate Temperature) แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นโดยเทอร์โมคัปเปิลชุดใด ๆ ที่มีอุณหภูมิที่จุดต่อต่างกัน จะมีค่าเท่ากับผลบวกทางพีชคณิตของแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิลชุดนั้น

ปรากฏการณ์ของเทอร์โมคัปเปิล (Phenomena) ที่ควรทราบ

1. ในเทอร์โมคัปเปิลคู่เดียวกัน อุณหภูมิที่มีผลคือ อุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสองเท่านั้น อุณหภูมิบนจุดต่าง ๆ ตามสายจะไม่มีผลต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น
2. การต่อขานานเทอร์โมคัปเปิลเข้าด้วยกัน ผลที่ได้คือแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ย
3. การต่อเทอร์โมคัปเปิลสองชุดกลับขั้วกันเป็นการวัดผลต่างของอุณหภูมิ
4. การเพิ่มเทอร์โมคัปเปิลที่จุดวัดอุณหภูมิหนึ่ง จะไม่มีผลต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น
5. การต่ออนุกรมเทอร์โมคัปเปิล แรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะเป็นผลรวมของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชุด

เทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน

เทอร์โมคัปเปิลมีหลายชนิด (Type) ให้เลือก แล้วแต่ย่านอุณหภูมิ และลักษณะการใช้งาน โดยความแตกต่างของแต่ละชนิดนี้ เกิดจากการเลือกใช้คู่ของวัสดุ (Element) ของโลหะ ที่จะนำมาเชื่อมเข้าด้วยกันให้แตกต่างกัน เพราะโลหะแต่ละชนิดย่อมมีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะตัวของมันอยู่แล้ว เมื่อนำโลหะชนิดต่าง ๆ กันมาจับคู่เข้าด้วยกัน จะทำให้คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลที่ได้แตกต่างกันไป นอกจากนี้ ได้มีการทดลองผสมโลหะต่างชนิดกันเข้าด้วยกัน เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของโลหะเดิมให้ดีขึ้น หรือเพื่อใช้แทนโลหะบางชนิดที่ใช้อยู่เดิม เช่น แพลทินัม เนื่องจากมีราคาสูง ตัวอย่างโลหะผสมที่เกิดขึ้น เช่น

โครเมล (Cromel) คือ นิกเกิล 90% + โครเมียม 10%

อลูเมล (Alumel) คือ นิกเกิล 95% + อลูมิเนียม 2% + แมงกานีส 2% + ซิลิคอน 1%

คอนสแตนแตน (Constantan) คือ ทองแดง 60% + นิกเกิล 40% เป็นต้น

การใช้งานเทอร์โมคัปเปิล ควรเลือกใช้ให้ถูกต้องและเหมาะสมกับงานนั้น ๆ โดยสิ่งที่ควรพิจารณามีหลายข้อ เช่น ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้งาน, ราคา, ความกักร้อนของสารที่เทอร์โมคัปเปิลสัมผัส, ลักษณะบรรยากาศที่เป็น Oxidizing, Reducing, Inert หรือ Vacuum เป็นต้น

ส่วนประกอบของเทอร์โมคัปเปิล

1. ตัวเทอร์โมคัปเปิล คือส่วนที่นำเส้นลวด 2 เส้นมาเชื่อมต่อกันด้วยวิธีต่าง ๆ เพื่อเป็นจุดใช้วัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ครอบโลหะป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิล (Metal Sheath) คือส่วนที่หุ้มคู่สายของเทอร์โมคัปเปิล เพื่อให้มีความเรียบร้อยและแข็งแรง ลักษณะการประกอบตัวเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับ Metal Sheath มีหลายแบบ ได้แก่
 - 2.1 แบบเปลือย - จุดต่อสำหรับวัดไม่มี Metal Sheath หุ้ม ,ให้ผลการวัดไวที่สุด แต่ชำรุดง่าย และอายุการใช้งานสั้น
 - 2.2 แบบ Ungrounded Junction - จุดต่อของคู่สายไม่เชื่อมต่อกับอยู่กับ Metal Sheath ,ทนทานที่สุด แต่ให้ผลการวัดช้า
 - 2.3 แบบ Grounded Junction - สายทั้งคู่ของเทอร์โมคัปเปิลถูกเชื่อมต่อลงบน Metal Sheath ,ให้ผลการวัดไวกว่าแบบ Ungrounded Junction แต่ถ้ามีกระแสไฟฟ้ารั่วจากอุปกรณ์อื่นมาที่ Metal Sheath จะทำให้ผลการวัดผิดพลาดได้
3. ฉนวนของเทอร์โมคัปเปิล เป็นส่วนที่ใช้กั้นระหว่างตัวเทอร์โมคัปเปิลกับ Metal Sheath ส่วนใหญ่จะเป็นสารประเภท แมกนีเซียมออกไซด์ ,อะลูมิเนียมออกไซด์ หรือ เบอริลเลียมออกไซด์
4. เทอร์โมเวลล์ (Thermowell) ใช้เสริมความแข็งแรงให้ตัวเทอร์โมคัปเปิล และป้องกันไม่ให้เทอร์โมคัปเปิลสัมผัสกับสารที่ต้องการวัดอุณหภูมิโดยตรง
5. Extension Wire คือสายที่ใช้ในการเชื่อมต่อ หรือต่อเพิ่มจากตัวเทอร์โมคัปเปิลที่มีอยู่แล้ว

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติเปรียบเทียบเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน Type ต่าง ๆ

Type	ส่วนผสม	ย่านอุณหภูมิใช้งาน		แรงเคลื่อนไฟฟ้า ที่ได้ mV
		°C	°F	
B	แพลทินัม – 30% โรเดียม แพลทินัม – 6% โรเดียม	0 ถึง 1820	32 ถึง 3310	0 ถึง 13.814
R	แพลทินัม – 13% โรเดียม แพลทินัม	- 50 ถึง 1768	- 60 ถึง 3210	-02.26 ถึง 21.108
S	แพลทินัม – 6% โรเดียม แพลทินัม	- 50 ถึง 1768	- 60 ถึง 3210	-0.236 ถึง 18.698
J	เหล็ก/คอนสแตนแตน	- 210 ถึง 760	- 350 ถึง 1400	-8.096 ถึง 42.922
K	โครเมิล/อะลูเมิล	- 270 ถึง 1372	- 450 ถึง 2500	-6.458 ถึง 54.875
T	ทองแดง/คอนสแตนแตน	- 270 ถึง 400	- 450 ถึง 750	-6.258 ถึง 20.869
E	โครเมิล/คอนสแตนแตน	- 270 ถึง 1000	- 450 ถึง 1830	-9.835 ถึง 76.358
แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดกับจุดเยือกแข็งของน้ำ				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การขับเคลื่อนทำความร้อนโดยวิธีเฟสคอนโทรล

การขับเคลื่อนทำความร้อนจะใช้ ไทรแอก เป็นสวิตซ์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส (220 V) โดยใช้ IC เบอร์ TCA 785 ในการควบคุมมุมทริกแบบเฟสคอนโทรล

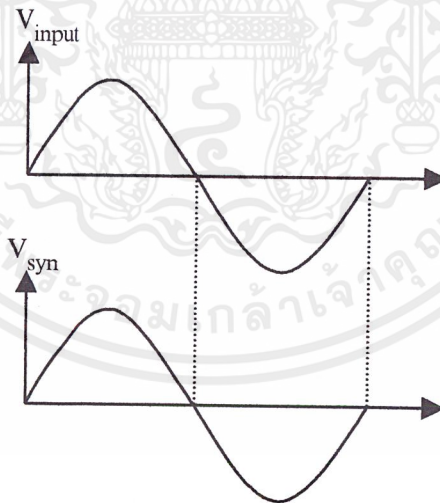
คุณสมบัติของ TCA 785 Integrated Phase Control

TCA 785 Integrated Phase Control เป็นวงจรรวมที่สร้างพัลส์จุกชนวนเกต เอสซีอาร์และ ไทรแอก (ไทรสเตอร์) โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานดังนี้

1. วงจรเรียงกระแส แบบควบคุมได้เต็มที่และครึ่งเดียว (Fully and Haft Control) ทั้งแบบเฟสเดียวและสามเฟส
2. วงจรควบคุมมุมเฟสแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียวและสามเฟส

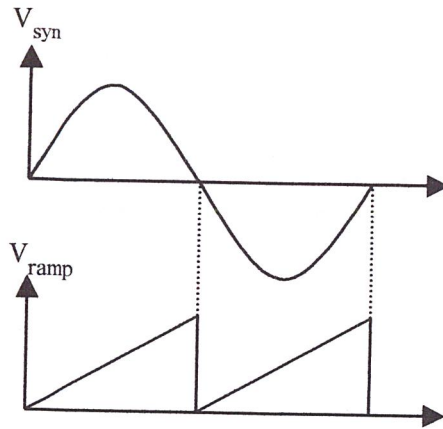
ความรู้พื้นฐานและหลักการทำงานของ TCA 785

ภายใน TCA 785 จะมีวงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์ (Zero Crossing Detector) ซึ่งจะเป็นส่วนที่มีความไวสูงมาก สามารถทำให้เกิดการ Synchronization ระหว่างสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (แรงดันอินพุต) กับสัญญาณจุกชนวนเกตไทรสเตอร์ นั่นคือแรงดันอินพุตต่อกับไทรสเตอร์จะตรงเฟสกับมุมจุกชนวนเกตพอดี



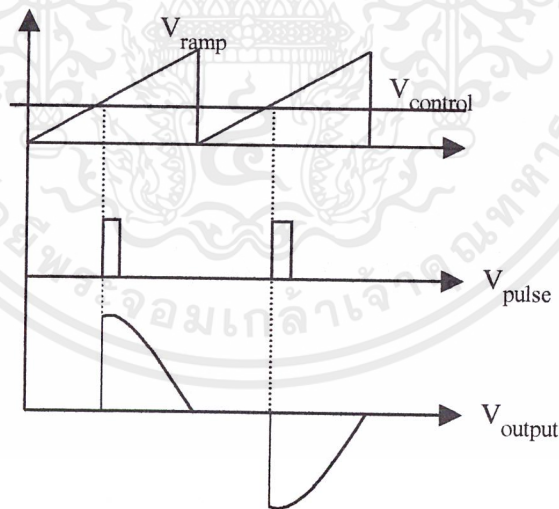
รูปที่ 2.2 สัญญาณ Synchronization ที่ได้จากวงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์

หลังจากนั้นวงจรสร้างสัญญาณลาดเอียง (Ramp Generator) จะนำสัญญาณตรวจจับจุดตัดศูนย์นี้ไปสร้างสัญญาณลาดเอียงหรือฟันเลื่อย (Ramp or Saw tooth) ที่มีเฟสตรงกับแรงดันอินพุต และเป็นเชิงเส้นกับมุมเฟสของแรงดันอินพุต



รูปที่ 2.3 สัญญาณแรงดันลาดเอียง ที่ได้จากสัญญาณตรวจวัดจุดตัดศูนย์

หลังจากนั้นวงจรเปรียบเทียบ (Control Comparator Circuit) จะนำสัญญาณแรงดันลาดเอียง V_{ramp} มาเปรียบเทียบกับสัญญาณแรงดันควบคุม (Control Voltage : V_{st}) จากภายนอก (แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งสามารถปรับค่าได้) โดยใช้หลักการของวงจรเปรียบเทียบ คือ และถ้าหากสัญญาณแรงดันควบคุม มีค่าต่ำกว่าสัญญาณลาดเอียง สัญญาณลอจิกที่ได้จะมีค่าเป็นลอจิกหนึ่ง ถ้าแรงดันควบคุมมีค่าสูงกว่าแรงดันลาดเอียง สัญญาณลอจิกที่ได้จะเป็นลอจิกศูนย์ ทำให้สามารถปรับตำแหน่งของสัญญาณทริกขาเกิดของไทรแอก เพื่อนำไปควบคุมแรงดันขับเคลื่อนทำความร้อนโดยวิธีเฟสคอนโทรลได้ตามต้องการ



รูปที่ 2.4 การสร้างสัญญาณพัลส์ เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมแรงดันไฟฟ้า

2.3.3 ฮีตเตอร์ (Heater)

ฮีตเตอร์ เป็นอุปกรณ์ทำความร้อนในอุตสาหกรรม ที่มีหลักการพื้นฐานคือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านลวดตัวนำที่มีค่าความต้านทานสูง ลวดตัวนำจะร้อนขึ้น ดังนั้นลวดที่ใช้ผลิตฮีตเตอร์จะต้องมีคุณสมบัติเหนียว และทนอุณหภูมิได้สูง เช่น นิกเกิล, โครเมียม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบอีกส่วนที่สำคัญคือ ฉนวน (แมกนีเซียมออกไซด์) ซึ่งทำหน้าที่กั้นกลางอยู่ระหว่างลวดฮีตเตอร์กับปลอกโลหะ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดกระแสรั่ว (Leak Current) จากลวดฮีตเตอร์ออกไปยังผิวโลหะ ซึ่งต้องมีคุณสมบัติมีความนำไฟฟ้าต่ำแต่ทำความร้อนดีมาก จุดสำคัญคือ ห้ามมีความชื้นในฉนวนเด็ดขาดเพราะจะทำให้ค่าความนำไฟฟ้าสูงขึ้น ทำให้อาจมีกระแสรั่วได้ ซึ่งหากมีความชื้นแก้ไขได้โดยการอบในเตาอบ

ฮีตเตอร์ถูกแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ตามลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน ดังนี้

- ฮีตเตอร์แท่ง (Cartridge Heater) ใช้ให้ความร้อนกับวัสดุที่เป็นของแข็ง เช่น เหล็ก และโลหะต่าง ๆ ตัวอย่างการใช้งาน เช่น งานบรรจุหีบห่อ งานขึ้นรูปพลาสติก
- ฮีตเตอร์ครีป (Finned Heater) และฮีตเตอร์ท่อกลม ใช้ให้ความร้อนกับอากาศ เช่น ใช้ในห้องอบแห้ง ในเตาอบ
- ฮีตเตอร์จุ่ม (Immersion Heater) บางทีเรียกว่า ฮีตเตอร์ต้มน้ำ ใช้ให้ความร้อนกับของเหลวทุกชนิด ตัวอย่างการใช้งาน เช่น งานต้มน้ำ-ต้มน้ำมัน งานผสมสาร
- บอบบินฮีตเตอร์ (Bobbin Heater) ใช้ให้ความร้อนของเหลวเหมือนฮีตเตอร์จุ่ม สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย
- ฮีตเตอร์อินฟราเรด (Infrared Heater) ใช้ให้ความร้อนกับวัตถุโดยไม่ต้องสัมผัสโดยตรง ไม่เหมาะกับวัตถุที่มีลักษณะมันวาว เนื่องจากวัตถุมันวาวจะมีคุณสมบัติสะท้อนแสง ทำให้ไม่สามารถดูดซับรังสีอินฟราเรดได้อย่างเต็มที่ ที่ติดตั้งในเตาอบ หรือเหนือคอนเวเยอร์ได้
- ฮีตเตอร์รัดท่อ (Band Heater) ใช้ให้ความร้อนกับของเหลวที่อยู่ในท่อ หรือถึงรูปทรงกระบอก
- ฮีตเตอร์แผ่น (Strip Heater) ใช้ให้ความร้อน โดยแนบกับวัตถุโดยตรง

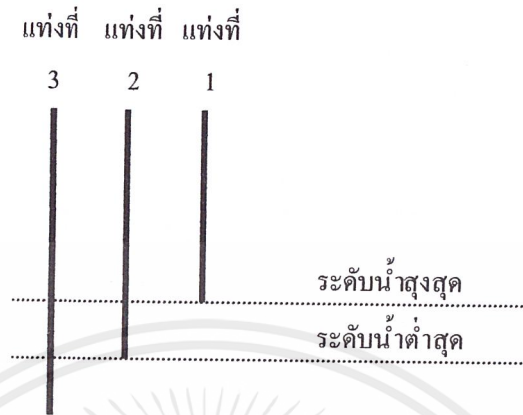
2.4 ทฤษฎีที่ใช้ในการควบคุมระดับน้ำ

2.4.1 ก้านอิเล็กโทรด (Electrode)

ก้านอิเล็กโทรด คืออุปกรณ์ที่ใช้วัดระดับน้ำชนิดหนึ่ง มีลักษณะเป็นแท่งตัวนำยาว ๆ ในการใช้งานปกติจะใช้แท่งตัวนำ 3 แท่ง ซึ่งแต่ละแท่งจะมีความยาวไม่เท่ากัน ดังนี้

1. แท่งที่สั้นที่สุด (แท่งที่ 1) คือ แท่งตัวนำควบคุมระดับสูงสุดของระดับน้ำ
2. แท่งที่ยาวปานกลาง (แท่งที่ 2) คือ แท่งตัวนำควบคุมระดับต่ำสุดของระดับน้ำ
3. แท่งที่ยาวที่สุด (แท่งที่ 3) คือ แท่งตัวนำที่ทำหน้าที่นำไฟฟ้าร่วมของแท่งที่ 1 และ แท่งที่

หลักการทํางาน คือ เมื่อระดับน้ำอยู่ในช่วงปกติจะมีการนำไฟฟ้าระหว่างแท่งที่ 2 และ แท่งที่ 3 ดังนั้นถ้าหากระดับน้ำต่ำกว่าปกติ แท่งที่ 2 จะไม่นำไฟฟ้า และหากระดับน้ำสูงกว่าปกติ จะมีการนำไฟฟ้าเกิดขึ้นในแท่งที่ 1



รูปที่ 2.5 การใช้งานก้านอิเล็กทรอนิกส์

2.4.2 โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid valve)

คือวาล์วที่ควบคุมการเปิด/ปิดท่อโดยใช้ไฟฟ้าในการควบคุม โดยใช้โซลินอยด์ทำหน้าที่คล้ายสวิตช์ในการสั่งงานเปิด/ปิดท่อ

โซลินอยด์เป็นอุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล มีลักษณะเป็นขดลวดพันบนแกนทรงกระบอก ภายในแกนจะมีแกนเหล็กที่สามารถเคลื่อนที่ได้อิสระ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด จะทำให้ขดลวดมีสภาพเสมือนเป็นแม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้การดึงแกนเหล็กนี้ให้เคลื่อนที่ได้

โซลินอยด์วาล์วมีทั้งแบบที่ใช้กับไฟกระแสตรงและไฟกระแสสลับ และมีชนิดให้เลือกใช้ตามลักษณะการใช้งาน เช่น ใช้กับน้ำ, อากาศ, น้ำมัน เป็นต้น

2.5 ทฤษฎีที่ใช้ในการควบคุมเวลา

2.5.1 แนะนำไอซีสร้างฐานเวลาจริง (DS 1307)

หน้าที่การทํางานของ ไอซีสร้างฐานเวลาจริง คือ สร้างฐานเวลาจริงให้แก่ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับเวลาทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นค่าของ เวลาที่ละเอียดถึงหลักวินาที, นาที, ชั่วโมง, วันที่, วันในสัปดาห์, เดือน และปี โดยสามารถปรับวันเดือนปีให้ตรงตามปฏิทินได้อย่างถูกต้อง สำหรับคุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญ มีดังนี้

- เป็นไอซีสร้างฐานเวลาจริงที่ให้ข้อมูลตั้งแต่วินาทีจนถึงปี สามารถให้ข้อมูลเวลาได้อย่างเที่ยงตรงถึงปี คริสตศักราช 2100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

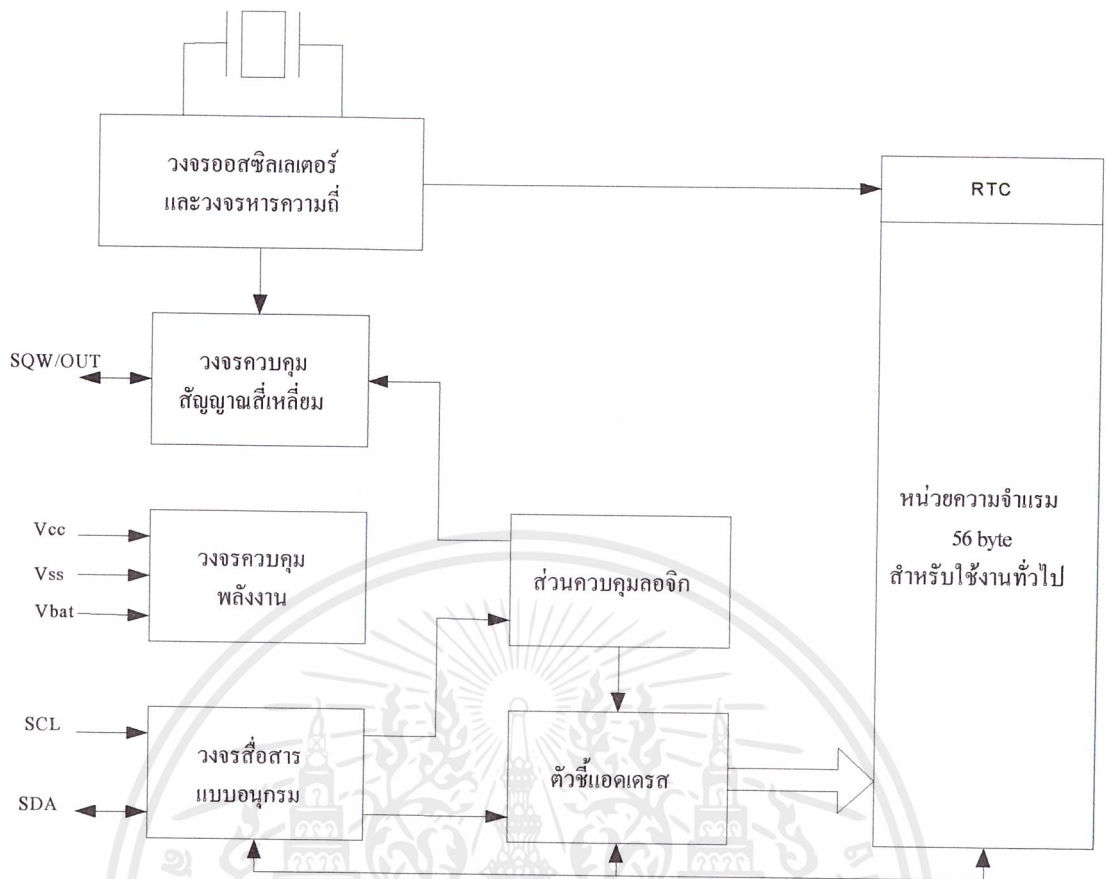
- มีหน่วยความจำแรมภายในอยู่ 56 ไบต์ สามารถใช้เก็บข้อมูลทั่วไปได้
- ใช้การเชื่อมต่อในระบบบัสแบบ I²C
- มีวงจรตรวจจับไฟเลี้ยงต่ำหรือหายไป อย่างอัตโนมัติ และสามารถรักษาข้อมูลเวลาไว้ได้ แม้ไม่มีไฟเลี้ยงไอซี

2.5.2 การทำงานของ DS 1307

ไอซี DS 1307 จัดการเชื่อมต่อแบบบัส I²C โดยจะทำงานเป็นอุปกรณ์สเลฟเสมอ ดังนั้นการติดต่อเพื่อใช้งานจึงต้องกำหนดรูปแบบตามที่กำหนดไว้ใน การติดต่อแบบ I²C ในรูปที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบหลักที่สำคัญและไคอะแกรมการทำงานของ DS 1307 วงจรออสซิลเลเตอร์ ถือเป็นหัวใจสำคัญหลักของไอซี เนื่องจากเป็นจุดเริ่มต้นของการสร้างข้อมูลเวลาจริง ในขณะที่ DS 1307 ทำงาน ที่ขา SQW/OUT จะมีสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมส่งออกมาตลอดเวลา ในกรณีที่มีการอื่นาเบิลวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่รีจิสเตอร์ควบคุม ส่วนการเก็บค่าของเวลานั้นจะเก็บไว้ในหน่วยความจำแรมซึ่งมีขนาดรวม 64 ไบต์ แต่จัดสรรให้ใช้เก็บข้อมูลเวลา 8 ไบต์ และเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปสำหรับผู้ใช้งานอีก 56 ไบต์

วงจรควบคุมพลังงานไฟฟ้าจะคอยตรวจสอบสถานะของไฟเลี้ยงไอซี หากไฟเลี้ยงต่ำกว่า $1.25 \times V_{BAT}$ ก็จะควบคุมให้ DS 1307 หยุดการทำงานรีเซตค่าตัวนับแอดเดรสภายในทำให้ไม่สามารถติดต่อกับ DS 1307 ได้ ดังนั้นการใช้งาน DS 1307 ต้องระมัดระวังอย่าให้ไฟเลี้ยงตกต่ำกว่า $1.25 \times V_{BAT}$ หรือประมาณ 3.75 V ในกรณีที่ใช้ $V_{BAT} = 3$ โวลต์ ถ้าหากไฟเลี้ยงมีค่าต่ำกว่า 3 โวลต์ ไอซี DS 1307 จะเข้าสู่โหมดสำรองข้อมูลกระแสต่ำทันที จะไม่มีการส่งสัญญาณพัลส์ออกมาแต่วงจรสร้างฐานเวลายังคงทำงานเพื่อให้ค่าของเวลาเดินไปอย่างไม่มีผิดพลาด

วงจรสื่อสารอนุกรมภายใน DS 1307 ได้รับการกำหนดให้ทำงานตามรูปแบบของบัส I²C โดยเป็นช่องทางการสื่อสารระหว่าง DS 1307 กับอุปกรณ์มาสเตอร์ และ ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงหน่วยความจำที่ใช้เก็บค่าเวลาและหน่วยความจำใช้งานทั่วไปได้โดยการเขียนข้อมูลตามรูปแบบที่กำหนดในระบบบัส I²C



รูปที่ 2.6 แสดง โครงสร้างภายในของไอซีสร้างฐานเวลาจริง DS 1307

2.5.3 การจัดสรรหน่วยความจำใน DS 1307

ในรูปที่ 2.7 (ก) แสดงการจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำภายใน DS 1307 พื้นที่ 7 ไบต์แรกตั้งแต่แอดเดรส 00H - 06H เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ค่าเวลา ไบต์ต่อมาที่แอดเดรส 07H เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของ DS 1307 ในรูปที่ 2.7 (ข) แสดงรายละเอียดของรีจิสเตอร์ค่าเวลาและรีจิสเตอร์ควบคุมของ DS 1307

ด้วยการจัดสรรพื้นที่แบบนี้ ทำให้ผู้ใช้สามารถเรียกข้อมูลเวลาออกมาได้ตามที่ต้องการโดยไม่จำเป็นต้องอ่านออกทั้งหมดก็ได้ ค่าของเวลาที่ทั้งหมดจะอยู่ในรูปของเลขฐานสิบ สำหรับการแสดงเวลาในรูปของชั่วโมง สามารถเลือกได้ว่าต้องการแบบ 12 หรือ 24 ชั่วโมง โดยกำหนดที่บิต 6 ของแอดเดรส 02H และเมื่อเลือกแบบ 12 ชั่วโมง ที่บิต 5 ในแอดเดรสเดียวกันจะใช้ในการแสดงค่า AM/PM โดยถ้าบิตนี้เป็น “ 1 “ หมายถึง ค่าชั่วโมงในขณะนี้เป็นเวลาหลังเที่ยงวัน ในกรณีที่เป็นแบบ 24 ชั่วโมง บิตนี้จะใช้ในการแสดงค่า 2 ของหลักสิบในหน่วยชั่วโมง

00H	บิตที่ 7	บิตที่ 6	บิตที่ 5	บิตที่ 4	บิตที่ 3	บิตที่ 2	บิตที่ 1	บิตที่ 0	ค่าของข้อมูล
วันที่	ch	ข้อมูลวันที่ (หลักสิบ)			ข้อมูลวันที่ (หลักหน่วย)				00-59
นาฬิกา	x	ข้อมูลนาฬิกา (หลักสิบ)			ข้อมูลนาฬิกา (หลักหน่วย)				00-59
ชั่วโมง	x	12 ชั่วโมง	ชั่วโมง (หลักสิบ)	ข้อมูลชั่วโมง (หลักสิบ)	ข้อมูลชั่วโมง (หลักหน่วย)				01-12 00-23
วัน	x	24 ชั่วโมง	AM/PM		x	ข้อมูลวันในสัปดาห์			1-7
วันที่เดือน	x	x	x	x	x	ข้อมูลวันที่ (หลักสิบ)			01-28/29 00-30 00-31
ปี	x	x	x	ข้อมูลเดือน (หลักสิบ)	ข้อมูลเดือน (หลักหน่วย)				01-12
รีจิสเตอร์ควบคุม	ข้อมูลปี (หลักสิบ)				ข้อมูลปี (หลักหน่วย)				00-99
รวม 56 byte	OUT	x	x	SQWE	x	x	RS1	RS0	
07H									
08H									
3FH									

(ก)

(ข)

รูปที่ 2.7 (ก) การจัดสรรหน่วยความจำแรมภายใน DS 1307

(ข) รายละเอียดของรีจิสเตอร์เก็บค่าเวลาและรีจิสเตอร์ควบคุมของ DS 1307

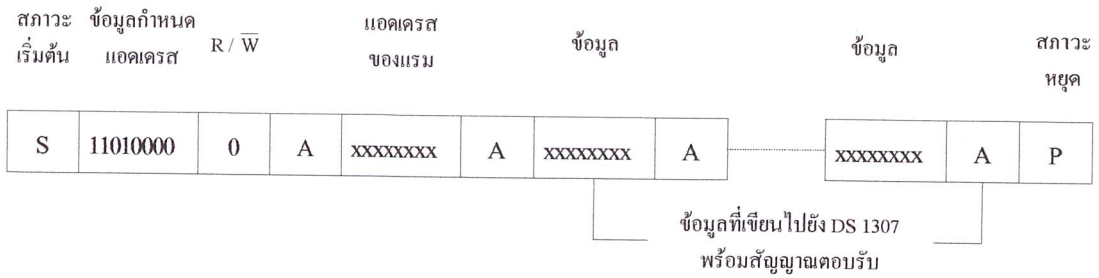
2.5.4 โหมดการทำงานของ DS 1307

มีด้วยกัน 2 โหมด คือ โหมดเขียนข้อมูล และ โหมดอ่านข้อมูล ในการใช้งาน DS 1307 ตามปกติจะใช้งานเฉพาะโหมดอ่านข้อมูลเท่านั้น เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อกับ DS 1307 เพื่ออ่านข้อมูลของเวลาไปใช้งานเท่านั้น ส่วนโหมดการเขียนข้อมูลจะถูกใช้งานก็ต่อเมื่อต้องการตั้งค่าเวลาใหม่และต้องการเขียนข้อมูลลงไปหน่วยความจำใช้งานทั่วไปเท่านั้น อย่างไรก็ตามเมื่อเริ่มต้นติดต่อกับ DS 1307 จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเข้าสู่โหมดของการเขียนข้อมูลก่อนเพื่อกำหนดแอดเดรสที่ต้องการจะอ่านข้อมูล จากนั้นจึงเปลี่ยนโหมดการทำงานมาเป็นโหมดการอ่านข้อมูลต่อไป

1. โหมดการเขียนข้อมูล

มีรูปแบบดังในรูปที่ 2.8 เริ่มต้นเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการกำหนดสถานะเริ่มต้น (START : S) จากนั้นส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรส 11010000 ตามด้วยข้อมูลเลือกการเขียน นั่นคือค่า 0 จากนั้นจะรอการตอบรับจาก DS 1307 ขั้นตอนต่อมาคือ ส่งข้อมูลเพื่อเลือกแอดเดรสที่ต้องการเขียน จากนั้นรอการตอบรับจาก DS 1307 เมื่อมีการตอบรับกลับมาเรียบร้อยแล้ว ก็เริ่มทยอยเขียนข้อมูลลงไปครั้งละแอดเดรส หลังจากเขียนข้อมูลในแต่ละแอดเดรสเสร็จจะต้องหยุดรอการตอบรับจาก DS 1307 ทุกครั้ง จึงจะสามารถเขียนข้อมูลต่อไปได้ เมื่อเขียนข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้วให้ส่งสถานะหยุด (STOP : P) เป็นอันสิ้นสุดกระบวนการเขียนข้อมูล

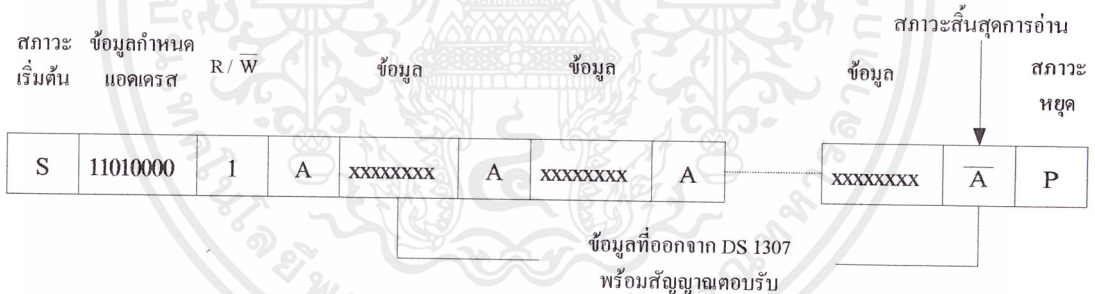
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงรูปแบบของข้อมูลสำหรับติดต่อกับ DS 1307 ในโหมดการเขียนข้อมูล

2. โหมดการอ่านข้อมูล

มีรูปแบบแสดงในรูปที่ 2.9 เริ่มต้นการทำงานเหมือนกับโหมดการเขียนข้อมูล คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์กำหนดสถานะเริ่มต้น แล้วส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรส ตามด้วยข้อมูลเลือกการอ่าน ซึ่งเท่ากับ 1 จากนั้นรอการตอบรับจาก DS 1307 เมื่อตอบรับเรียบร้อยแล้ว DS 1307 จะทยอยส่งข้อมูลออกมาให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์คราวละ 1 แอดเดรส หรือ 1 ไบต์ โดยแอดเดรสที่เลือกอ่านข้อมูลจะต้องมีการกำหนดมาก่อนล่วงหน้าด้วยโหมดการเขียนข้อมูล วิธีการง่ายๆ คือ เข้าสู่โหมดการเขียนข้อมูลก่อน เมื่อถึงจังหวะที่ต้องเขียนข้อมูล ให้ทำการสร้างสถานะเริ่มต้นและส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสใหม่อีกครั้ง ตามด้วยการเลือกโหมดการอ่านข้อมูล ข้อมูลที่ออกมาจาก DS 1307 ก็จะเป็นข้อมูลจากแอดเดรสที่กำหนดไว้ก่อนหน้านี้



รูปที่ 2.9 รูปแบบของข้อมูลสำหรับติดต่อกับ DS 1307 ในโหมดการอ่านข้อมูล

2.6 ทฤษฎีที่ใช้ในการประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

2.6.1 สถาปัตยกรรมของ 89C51RD+

2.6.1.1 แนะนำไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ประเภทหนึ่ง ที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้งานกับระบบควบคุมที่มีขนาดเล็ก โดยไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์หนึ่งตัวจะประกอบด้วยหน่วยการทำงานหลักของระบบคอมพิวเตอร์ครบถ้วน เช่น หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU), หน่วยความจำ, พอร์ตในการติดต่อหรือควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้น ซึ่งถ้าหากว่าเป็นการใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไป ก็จะต้องใช้อุปกรณ์ภายนอกมาประกอบเพื่อทำหน้าที่เหล่านี้ ดังนั้นจึงกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ว่าไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นระบบคอมพิวเตอร์ที่สมบูรณ์ โดยบรรจุอยู่ในไอซีเพียงตัวเดียว ในบางครั้งจึงอาจเรียกไมโครคอนโทรลเลอร์ว่าเป็น ระบบควบคุมไมโครคอมพิวเตอร์ชิปเดี่ยว ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์หลายรุ่นซึ่งมีสถาปัตยกรรมพื้นฐานที่เหมือนกัน เพียงแต่มีขนาดหรือจำนวนของหน่วยทำงานภายในที่ต่างกันออกไป เพื่อความเหมาะสมในงานประยุกต์ต่างๆ ตามความต้องการ

2.6.1.2 คุณลักษณะพื้นฐานของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

- หน่วยประมวลกลางขนาด 8 บิต
- หน่วยประมวลผลสำหรับข้อมูลแบบบิต (Boolean Processor)
- ความสามารถในการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก 64 กิโลไบต์
- ความสามารถในการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำข้อมูลภายนอก 64 กิโลไบต์
- หน่วยความจำโปรแกรมภายในขนาด 64 กิโลไบต์แบบ Flash (เบอร์ 89C51RD+)
- หน่วยความจำแบบ RAM ภายในจำนวน 128 ไบต์
- พอร์ตอินพุต/เอาต์พุต แบบขนานจำนวน 32 เส้น ซึ่งสามารถแยกการทำงานได้อย่างอิสระ
- วงจรสื่อสารแบบอนุกรมแบบดูเพล็กซ์เต็ม (Full Duplex)
- วงจรควบคุมการขัดจังหวะ(Interrupt)จากแหล่งกำเนิดสัญญาณ 6 ประเภท พร้อมกำหนดลำดับความสำคัญได้สองระดับ
- วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน

2.6.1.3 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์พื้นฐานสำหรับตระกูล MCS-51 ได้แก่เบอร์ 8051, 8031, 8751 โดยเบอร์ 8051 จัดเป็นสมาชิกตัวแรกในตระกูล ซึ่งมีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปเป็น ROM ขนาด 4 กิโลไบต์ และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายใน MCS-51 (RAM) เองจำนวน 128 ไบต์ มีพอร์ตขนาด 8 บิต 4 พอร์ต มีรีจิสเตอร์ในการขัดจังหวะจากภายนอกได้ 2 ชนิด สามารถรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมผ่านทางพอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม มีวงจรออสซิลเลเตอร์ เพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาควบคุมการทำงานในตัวเอง ส่วนเบอร์ 8751 จะมีคุณสมบัติเหมือน 8051 ทุกอย่าง ต่างกันเพียงชนิดหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในตัวของเบอร์ 8751 จะเป็น EEPROM แทนที่จะเป็น ROM ส่วนเบอร์ 8031 จะเหมือนกับเบอร์ 8051 ต่างกันเพียง 8031 จะไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในตัวเท่านั้น

2.6.1.4 โครงสร้างหน่วยความจำภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-851 ทุกตัวจะแบ่งหน่วยความจำออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม (Program memory) และ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (Data memory) โดยหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม จะใช้เก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานของชิป MCS-51 บางเบอร์จะมีหน่วยความจำส่วนนี้อยู่ในตัว แต่บางเบอร์จะไม่มี ทำให้ต้องเก็บโปรแกรมไว้ในหน่วยความจำภายนอกทั้งหมด ส่วนหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล ใช้สำหรับเก็บข้อมูลระหว่างการทำงาน MCS-51 ทุกเบอร์จะมีส่วนนี้อยู่ในชิปข้อมูลจำนวนหนึ่ง แต่จะมีมากหรือน้อยเท่าใดขึ้นอยู่กับเบอร์ของชิป

หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม ในไอซี MCS-51 จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป (Internal Memory) และหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายนอกชิป (External Memory) ขนาดของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป มีได้ตั้งแต่ 0 , 4 , 8 , 16 , 64 กิโลไบต์ ขึ้นอยู่กับเบอร์ของชิป หน่วยความจำโปรแกรมมีแอดเดรสเริ่มต้นที่ 0000H เมื่อชิปยูได้รับคำสั่งให้เริ่มต้นการทำงาน จะต้องมาเริ่มต้นที่แอดเดรส 0000H นี้เสมอ อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่ของหน่วยความจำโปรแกรมไม่ว่าจะใช้งานภายในหรือภายนอกก็ตามต้องมีการสงวนพื้นที่บางตำแหน่งไว้สำหรับการบริการอินเตอร์รัปต์ 6 ประเภท ประเภทละ 8 ไบต์ ประกอบด้วย

พื้นที่สำหรับการบริการอินเตอร์รัปต์ 0 จากภายนอก กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0003H

พื้นที่สำหรับการบริการอินเตอร์รัปต์จากไทมเมอร์ 0 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 000BH

พื้นที่สำหรับการบริการอินเตอร์รัปต์ 1 จากภายนอก กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0013H

พื้นที่สำหรับการบริการอินเตอร์รัปต์จากไทมเมอร์ 1 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 001BH

พื้นที่สำหรับการบริการอินเตอร์รัปต์ของการสื่อสารอนุกรม กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0023H

พื้นที่สำหรับการบริการอินเตอร์รัปต์จากไทมเมอร์ 2 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 002BH

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลของ MCS-51 จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิป และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอก โดยหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิป ยังแบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อยดังนี้

- ส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไป (Internal RAM) เป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่มีอยู่ภายใน MCS-51 หน่วยความจำส่วนนี้มีไว้สำหรับเก็บข้อมูลในขณะที่ทำงาน แบ่งออกเป็น 3 ส่วนย่อยๆ 3 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นรีจิสเตอร์แบงก์ เป็นส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลในการทำงานทั่วไป แบ่งออกเป็น 4 แบงก์แบงก์ละ 8 รีจิสเตอร์ คือ R0 – R7 ส่วนที่สอง เป็นหน่วยความจำที่สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต และส่วนสุดท้ายคือส่วนที่สามารถเข้าถึงได้ในระดับไบต์

- ส่วนที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ (Special Function Register) เป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายใน MCS-51 ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ เพื่อควบคุมการทำงานและบอกสถานะของซีพียู เนื่องจาก MCS-51 ถูกออกแบบมาให้ใช้สำหรับการควบคุมระบบโดยเฉพาะ จึงทำให้มีความสามารถเฉพาะตัวหลายอย่าง ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยวงจรภายในตัวที่มีเพิ่มขึ้นมาจากไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไป การควบคุมการทำงานของวงจรภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะกระทำผ่านรีจิสเตอร์ที่ถูกกำหนดหน้าที่ไว้แล้ว ดังนั้นหากต้องการใช้ MCS-51 ให้มีประสิทธิภาพ จึงจำเป็นต้องทราบหน้าที่การทำงานของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะแต่ละตัวให้ละเอียด รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะทั้งหมดอยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในตัว บริเวณที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ

2.6.2 การติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีโดยระบบบัส I²C

2.6.2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบบัส I²C

I²C ย่อมาจาก Inter-IC Communication หมายถึง การติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีโดยบัส I²C ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยฟิลิปส์ (Philips) ด้วยจุดมุ่งหมายหลัก คือ ต้องการให้ไอซีหรือโมดูลสามารถติดต่อสั่งงานและควบคุมภายใต้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น เส้นหนึ่งคือ สายข้อมูล (สายข้อมูลอนุกรม หรือ SDA Serial data line) อีกเส้นหนึ่ง คือ สายสัญญาณนาฬิกา (สายสัญญาณนาฬิกาอนุกรม หรือ SCL Serial clock line) ที่ใช้ในการกำหนดจังหวะการทำงาน การต่อร่วมกันของอุปกรณ์บนบัส I²C ทำได้ง่ายมาก เพียงต่อสายข้อมูลและสายสัญญาณนาฬิกาของอุปกรณ์แต่ละตัวขนานหรือพ่วงกันไป ส่วนการกำหนดแอดเดรสหรือตำแหน่งสำหรับติดต่ออุปกรณ์แต่ละตัว จะใช้รหัสข้อมูลและการกำหนดสถานะลอจิกที่ขาแอดเดรสของอุปกรณ์แต่ละตัว

2.6.2.2 คุณสมบัติโดยทั่วไปของบัส I²C

สาย SDA และ SCL เป็นสายสัญญาณ 2 ทิศทาง (Bi – directional line) โดยมีอัตราการถ่ายเทข้อมูลบนบัส I²C สูงถึง 100 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดปกติ (Standard mode) และสูงถึง 400 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดความเร็วสูง (Fast mode) การเข้าถึงอุปกรณ์บนบัส I²C ใช้ข้อมูลในการเข้าถึง 2 คำ คือ 7 บิต (7-bit addressing) หรือ 10 บิต (10-bit addressing)

2.6.2.3 หลักการของระบบบัส I²C

บัส I²C ประกอบด้วยสายสัญญาณ 2 เส้น ดังที่ได้กล่าวมาแล้วคือ SDA และ SCL อุปกรณ์ที่ต่อพ่วงบนบัสสามารถมีได้มากมาย ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดรูปแบบของการติดต่อบนบัส เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบว่า ขณะนี้อุปกรณ์ใดติดต่อกันอยู่ และอุปกรณ์ตัวใดเป็นตัวรับหรือตัวส่ง

อุปกรณ์ที่เป็นผู้สร้างข้อมูลหรือส่งข้อมูล เรียกว่า ตัวส่ง (Transmitter)

อุปกรณ์ที่เป็นผู้รับข้อมูล เรียกว่า ตัวรับ (Receiver) ในอุปกรณ์บนบัส I²C สามารถเป็นได้ทั้งตัวรับ และตัวส่ง บางอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นตัวรับเพียงอย่างเดียว จะไม่มีอุปกรณ์ใดบนบัส I²C ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งเพียงอย่างเดียว

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมจังหวะการติดต่อบนบัส I²C เรียกว่า มาสเตอร์ (Master)

อุปกรณ์ที่ถูกควบคุมหรืออุปกรณ์ที่ต่อพ่วงเข้าไปบนบัส I²C เรียกว่า สเลฟ (Slave)

ข้อกำหนด 2 ประการสำคัญของการติดต่อบนบัส I²C คือ

- การถ่ายทอดข้อมูลจะเกิดขึ้นได้เมื่อบัสว่างเท่านั้น

- ในระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล เมื่อใดก็ตามที่สาย SCL มีสถานะเป็นลอจิกสูง สายข้อมูลต้องรักษาข้อมูลไว้ อย่าให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นเด็ดขาด มิฉะนั้น สัญญาณที่เกิดขึ้นจะได้รับการแปลความหมายเป็นสัญญาณควบคุมแทน

2.6.2.4 สภาวะที่เกิดขึ้นบนบัส I²C

สภาวะที่เกิดขึ้นมีด้วยกัน 5 สภาวะ คือ

- บัสว่าง (Bus not busy) สภาวะนี้เกิดขึ้นเมื่อสถานะลอจิกบนสาย SDA และ SCL เป็นลอจิกสูงทั้งคู่ นั้นหมายความว่า การถ่ายทอดข้อมูลสามารถเริ่มต้นขึ้นได้

- เริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูล (Start data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากสูงไปต่ำ ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสภาวะที่เกิดขึ้นนี้ว่า สภาวะเริ่มต้น (START)

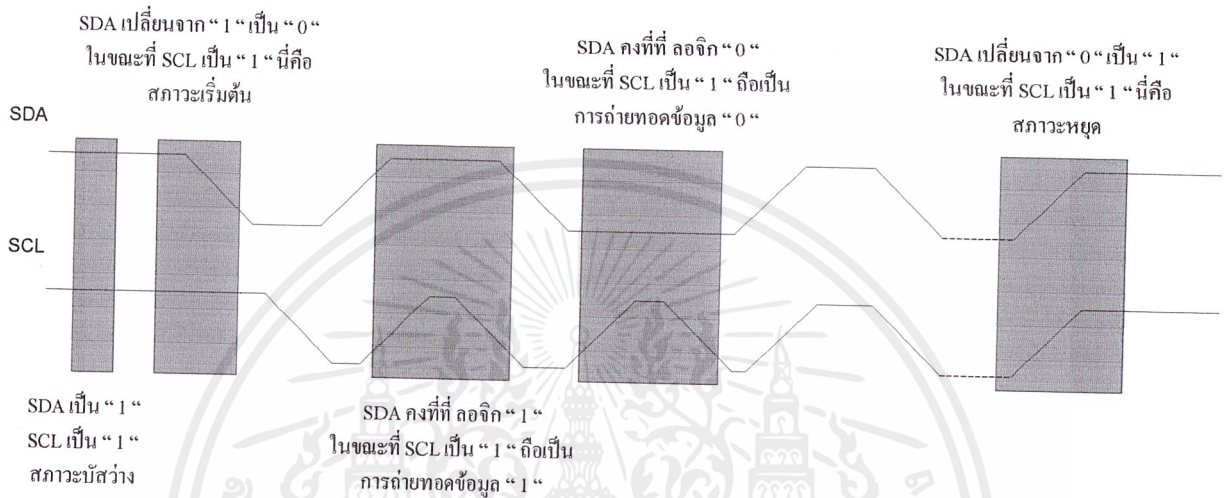
- หยุดการถ่ายทอดข้อมูล (Stop data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากต่ำไปสูง ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสภาวะที่เกิดขึ้นนี้ว่า สภาวะหยุด (STOP)

- ข้อมูลดำรงอยู่บนบัส (Data valid) สภาวะนี้เกิดขึ้นถัดจากสภาวะเริ่มต้น โดยสถานะลอจิกที่เกิดขึ้นบนสาย SDA ก็คือข้อมูลที่ทำการถ่ายทอด เมื่อสาย SCL เป็นลอจิกสูง โดยสถานะที่สาย SDA ต้องคงที่ เพื่อให้อุปกรณ์รับรู้ข้อมูลในจังหวะนั้นว่า เป็น “ 0 “ หรือเป็น “ 1 “ ข้อมูลอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ขณะที่สาย SCL เป็นลอจิกต่ำ แต่เมื่อใดก็ตามที่ต้องการให้เกิดการถ่ายทอดข้อมูลอย่างสมบูรณ์ สถานะลอจิกที่ขา SDA ต้องคงที่ตลอดช่วงเวลาที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง หากเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะลอจิกที่สาย SDA ในขณะที่สาย SCL มีลอจิกสูงอยู่นั้น อุปกรณ์มาสเตอร์ที่ทำการควบคุมการถ่ายทอดข้อมูล จะแปลความหมายเป็นสภาวะหยุดหรือสภาวะเริ่มต้นก็ได้ ทำให้ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดนั้นเกิดความผิดพลาดขึ้น

- รับรู้ข้อมูล (Acknowledge) เกิดขึ้นหลังจากที่การถ่ายทอดข้อมูลจากตัวส่งมายังตัวรับเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยตัวส่งจะทำการส่งข้อมูลมา 1 บิต เรียกว่า บิตรับรู้ (Acknowledge bit) มีสถานะเป็นลอจิกสูง หลังจากที่ได้รับข้อมูลมาครบถ้วน ส่วนอุปกรณ์มาสเตอร์จะทำการส่งสัญญาณรับ

รู้พิเศษซึ่งสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา เพื่อตอบสนองบิตรับรู้ว่าที่ส่งมาจากตัวส่ง ทางด้านตัวรับจะส่งบิตรับรู้ว่าที่มีสถานะลอจิกต่ำลงบนบัส อุปกรณ์สเลฟที่ถูกอ้างอิงในการติดต่อหรือกำลังจะติดต่ออยู่ในขณะนั้น ก็จะกำเนิดบิตรับรู้ว่าเพื่อตอบสนองให้ทราบว่าได้รับข้อมูลในแต่ละไบต์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว

ในรูปที่ 2.10 เป็นไดอะแกรมเวลาที่แสดงถึงการเกิดสถานะต่างๆ บนบัส I²C ไม่ว่าจะป็นสถานะบัสว่าง , เริ่มต้นถ่ายทอข้อมูล , ถ่ายทอข้อมูล , รั้บรู้ และ หยุดการถ่ายทอข้อมูล



รูปที่ 2.10 แสดงไดอะแกรมเวลาของสถานะต่างๆ ในบัส I²C

2.6.2.5 การทำงานบนระบบบัส I²C

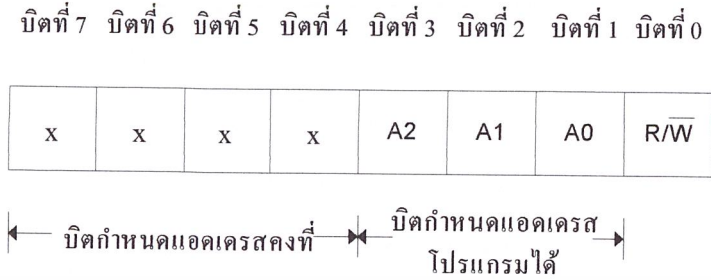
ก่อนที่จะเริ่มต้นการถ่ายทอระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต่ออยู่บนบัส ต้องมีการอ้างอิงเสียก่อน โดยการอ้างอิงอุปกรณ์บนบัส I²C นั้นจะมีการอ้างอิง 2 ลักษณะ คือ แบบ 7 บิต และ แบบ 10 บิต ในกรณีที่มีอุปกรณ์ต่ออยู่บนบัสไม่มาก สามารถใช้การอ้างอิงแบบ 7 บิตได้ แต่ถ้ามีอุปกรณ์ต่ออยู่บนบัสมากกว่า 127 แอดเดรสแล้ว จำเป็นต้องใช้การอ้างอิงแบบ 10 บิต โดยที่หลังจากติดต่อกับอุปกรณ์แต่ละตัวได้เรียบร้อยแล้ว ก็จะเริ่มต้นการถ่ายทอข้อมูลกันต่อไป

การอ้างอิงแบบ 7 บิต

ข้อมูลไบต์แรกที่เกิดขึ้นหลังจากสถานะเริ่มต้น คือ ข้อมูลที่ใช้ในการอ้างอิงอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อกับ หรือ ข้อมูลกำหนดแอดเดรส โดยมีรูปแบบแสดงไว้ในรูปที่ 2.11 ใน 7 บิตบนรวมทั้งบิต MSB ด้วย จะเป็นข้อมูลแอดเดรสของอุปกรณ์สเลฟที่ต้องการติดต่อ โดยแบ่งเป็น บิตกำหนดแอดเดรสคงที่ (Fixed address bit) จำนวน 4 บิต ซึ่งข้อมูลนี้ที่อุปกรณ์แต่ละตัวจะถูกกำหนดมาจากผู้ผลิตไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ ถัดมาอีก 3 บิตเป็น บิตกำหนดแอดเดรสที่สามารถโปรแกรมได้ (Programmable address bit) โดยผู้ใช้งานต้องกำหนดสถานะลอจิกให้แก่ขา A0 – A2 ของอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อแบบบัส I²C ส่วนในบิต LSB เป็นบิตที่ใช้กำหนดการอ่านหรือเขียนข้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

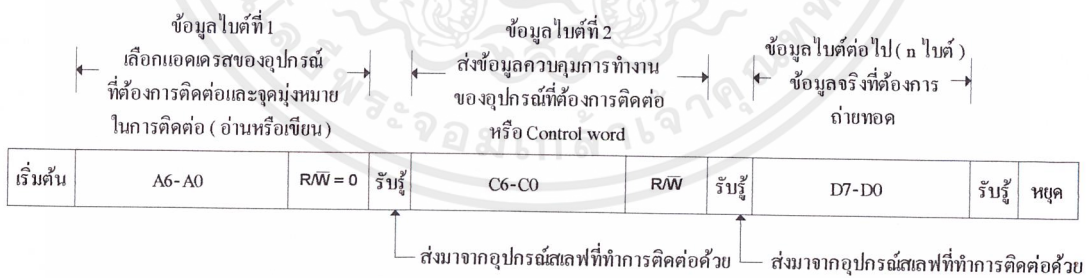
มุลกับอุปกรณ์สเลฟตัวนั้นๆ หากบิต LSB เป็น “ 0 “ หมายถึงต้องการเขียนข้อมูล ไปยังอุปกรณ์ตัวนั้น แต่ถ้าบิต LSB เป็น “ 1 “ จะเป็นการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ตัวนั้นแทน



รูปที่ 2.11 แสดงรูปแบบของข้อมูลกำหนดแอดเดรสที่ใช้ในการอ้างถึงแบบ 7 บิต

ข้อมูลในไบต์ต่อมา คือ ข้อมูลควบคุม (Control byte) ในอุปกรณ์แต่ละตัวมีการกำหนดข้อมูลควบคุมที่แตกต่างกันไป ยกตัวอย่าง ไอซีขยายพอร์ต มีข้อมูลควบคุมที่ใช้กำหนดว่า บิตใดเป็นอินพุต บิตใดเป็นเอาต์พุต ในขณะที่ไอซี ADC/DAC ต้องการข้อมูลควบคุมเพื่อกำหนดว่าจะให้ทำงานเป็นวงจร ADC หรือ ให้ทำงานเป็นวงจร DAC เป็นต้น

ข้อมูลในไบต์ต่อมา คือ ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดจริง (Data) หลังจากที่มีการถ่ายทอดข้อมูลในแต่ละไบต์แล้ว อุปกรณ์สเลฟที่ได้รับการติดต่อต้องส่งสัญญาณรับรู้ว่าตอบกลับมาด้วยทุกครั้ง เพื่อให้กระบวนการถ่ายทอดข้อมูลสามารถดำเนินต่อไปได้ โดยรูปที่ 2.12 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมที่เกิดขึ้นในการติดต่อบนบัส I²C ของการอ้างถึงแบบ 7 บิต



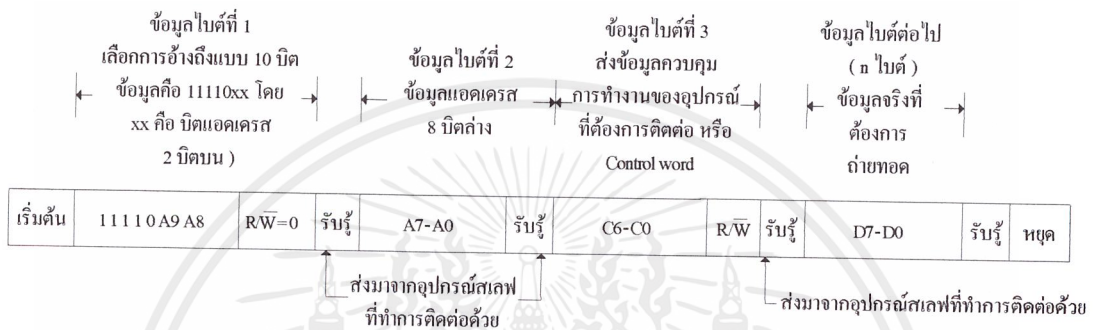
รูปที่ 2.12 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมที่ใช้ติดต่อกับอุปกรณ์บนบัส I²C เมื่อใช้การอ้างถึงแบบ 7 บิต

การอ้างถึงแบบ 10 บิต

ในการอ้างถึงแบบนี้ยังคงใช้รูปแบบข้อมูลอนุกรมที่เหมือนกับแบบ 7 บิต หากแต่จะมีข้อมูลเพิ่มเติมขึ้นมาเล็กน้อย โดยในข้อมูลไบต์แรกหลังจากเกิดสถานะเริ่มต้น ต้องกำหนดให้ 5 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บนมีข้อมูลเป็น 11110 ส่วนอีก 2 บิต ถัดมาเป็นบิตแอดเดรสของอุปกรณ์ที่ต้องการจะติดต่อ ในบิต LSB ของข้อมูลไบต์แรกยังคงเป็นการกำหนดว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวที่ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูลไบต์ต่อมาเป็นข้อมูลแอดเดรสในไบต์ที่ 2 ของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูลไบต์ถัดไปจึงเป็นข้อมูลควบคุม ข้อมูลหลังจากนั้นก็จะเป็นข้อมูลจริงที่ใช้ในการติดต่อ เช่นเดียวกับการอ้างถึงแบบ 7 บิต หลังจากการถ่ายทอดข้อมูลครบทุกไบต์แล้ว ต้องมีสถานะรับรู้เกิดขึ้น เพื่อให้กระบวนการถ่ายทอดข้อมูลสามารถดำเนินต่อไปได้ ในรูปที่ 2.13 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมของการอ้างถึงแบบ 10 บิต



รูปที่ 2.13 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมที่ใช้ติดต่อกับอุปกรณ์บนบัส I²C เมื่อใช้การอ้างถึงแบบ 10 บิต

2.6.3 การแปลงสัญญาณอนาลอกดิจิทัล

2.6.3.1 การแปลงสัญญาณอนาลอกดิจิทัลแบบประมาณค่าใกล้เคียง

การแปลงสัญญาณอนาลอกดิจิทัลแบบประมาณค่าใกล้เคียง (Successive Approximation ADC) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมสูงและมีประสิทธิภาพดี โดยสามารถอธิบายการแปลงค่าได้ดังต่อไปนี้

สมมุติว่าเป็นการแปลงค่า 4 บิต

ถ้าบิตที่ 0 เซต จะให้ค่า 1 โวลต์ , ถ้าบิตที่ 1 เซต จะให้ค่า 2 โวลต์ , ถ้าบิตที่ 2 เซต จะให้ค่า 4 โวลต์ และ ถ้าบิตที่ 3 เซต จะให้ค่า 8 โวลต์

ต้องการแปลงค่าสัญญาณอนาลอก 13.5 โวลต์ ให้เป็นสัญญาณดิจิทัล

ในขั้นตอนแรก จะเซตค่าของบิตที่ 3 ให้เป็น 1 ก่อน เมื่อนำไปเข้าวงจรเปรียบเทียบแล้วปรากฏว่าน้อยกว่า ค่า 13.5 โวลต์ ก็จะคงค่า 1 ของ บิตที่ 3 ไว้

ต่อมาก็ทำการเซตค่า บิตที่ 2 ให้เป็น 1 เมื่อนำไปรวมกับค่าที่เซตไว้ของบิตที่ 3 แล้วได้ 12 โวลต์ เข้าวงจรเปรียบเทียบแล้วปรากฏว่ายังคงน้อยกว่า 13.5 โวลต์ ก็ยังคงค่า 1 ของบิตที่ 2 ไว้

ต่อมาทำการเซตค่า บิตที่ 1 ให้เป็น 1 เมื่อนำไปรวมกับค่าที่ผ่านมา แล้วได้ 14 โวลต์ เซ้าวงจรเปรียบเทียบ แล้วปรากฏว่ามากกว่า 13.5 โวลต์ ก็จะทำการเคลียร์บิตที่ 1 ซะ ตอนนี้อ่านค่าโวลต์ที่ได้จะเป็น 12

ในขั้นตอนต่อมา ก็ทำการเซตค่าบิตที่ 0 ให้เป็น 1 เมื่อนำไปรวมกับค่าที่ผ่านมา แล้วจะได้ 13 โวลต์ เซ้าวงจรเปรียบเทียบแล้วปรากฏว่า น้อยกว่า 13.5 โวลต์ ก็จะคงค่า 1 ของบิตที่ 0 ดังนั้นค่าที่แปลงได้ก็จะเป็น 1101

2.6.3.2 ข้อมูลเบื้องต้นของไอซีแปลงสัญญาณอนาลอกดิจิทัล (PCF 8591)

เป็นไอซีแปลงสัญญาณที่มีความสามารถสูง เนื่องจากในตัวมันมีวงจร ADC แบบประมาณค่าใกล้เคียงขนาด 8 บิตสูงถึง 4 ช่อง และยังมีวงจร DAC อีก 1 ช่องด้วย โดยระบบการเชื่อมต่อเป็นแบบบัส I²C ทำให้ใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้นในการเชื่อมต่อ และยังสามารถต่อพ่วงกันได้สูงสุดถึง 8 ตัว ทำให้ได้วงจร ADC รวมสูงถึง 32 ช่อง และวงจร DAC รวม 4 ช่อง ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง โดยมีรายละเอียดคุณสมบัติทางเทคนิคดังนี้

- ทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียว
- ทำงานที่แรงดัน 2.5 ถึง 6 โวลต์
- กินกระแสขณะอยู่ในสถานะสแตนด์บายต่ำ
- ติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านระบบบัส I²C
- สามารถเลือกตำแหน่งแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์จากขา A0 , A1 , A2 ทำให้สามารถต่อพ่วงกันได้สูงสุดถึง 8 ตัว
- อัตราการสุ่มข้อมูล (Sampling) ขึ้นอยู่กับความเร็วของสัญญาณนาฬิกาบนบัส I²C
- วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (ADC) สามารถรับสัญญาณอนาลอกได้ 4 ช่อง และยังสามารถเลือกได้ว่าให้ทำงานแบบแยกช่องหรือจะให้ทำงานเป็นวงจรดิฟเฟอเรนเชียล
- การอ่านค่าสามารถกำหนดให้เลื่อนช่องอินพุตได้โดยอัตโนมัติ

2.6.3.3 ตำแหน่งแอดเดรสของ PCF 8591

ในระบบบัส I²C การติดต่อกับอุปกรณ์แต่ละตัวจะต้องระบุแอดเดรสของอุปกรณ์เหล่านั้นอย่างชัดเจน โดยข้อมูลกำหนดแอดเดรส 4 บิตบนจะเป็นค่าแอดเดรสเฉพาะของอุปกรณ์ตัวนั้นๆ ที่กำหนดมาจากผู้ผลิต ผู้ใช้งานไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ สำหรับไอซี PCF 8591 จะมีค่าเท่ากับ 1001 (ฐานสอง) ส่วนข้อมูล 3 บิตถัดมาจะเป็นค่าของแอดเดรสที่ผู้ใช้งานสามารถกำหนดได้ทางฮาร์ดแวร์เพื่อเลือกไอซี PCF 8591 ตัวที่ต้องการติดต่อด้วยในกรณีที่มีการต่อใช้งาน PCF 8591 มากกว่า 1 ตัว ส่วนบิต LSB ใช้ในการกำหนดว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับไอซีตัวนั้นๆ

2.6.3.4 ข้อมูลควบคุมของ PCF 8591

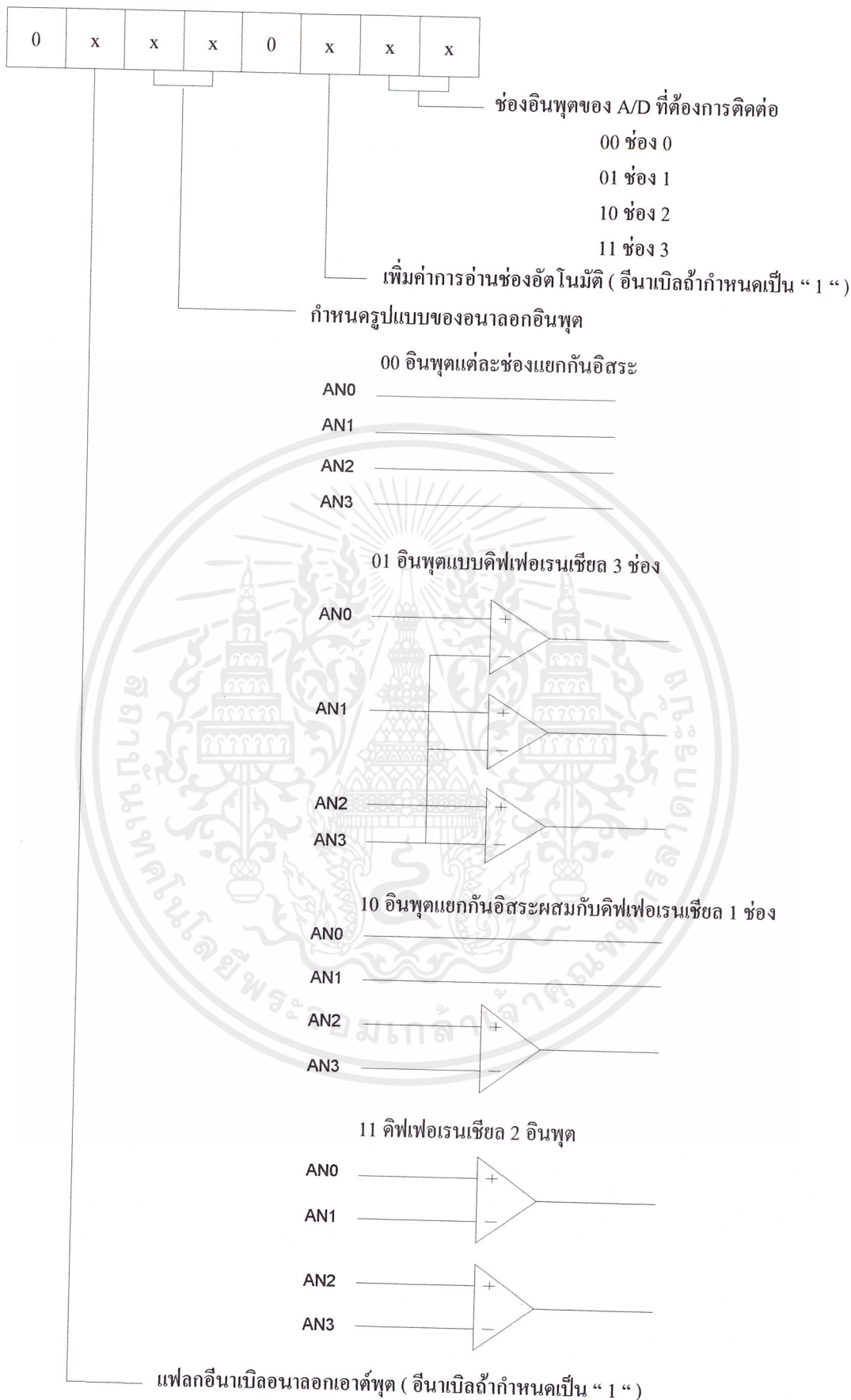
หลังจากส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสให้แก่ PCF 8591 แล้ว ต้องส่งข้อมูลควบคุมตามไปด้วย เพื่อกำหนดคุณสมบัติของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล และ วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก ภายใน PCF 8591 โดยมีรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละบิตดังในรูปที่ 2.14

บิต 6 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับการอินาเบิลขาอนาลอกเอาต์พุต เมื่อต้องการอินาเบิล ต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น “ 1 “

บิต 4 และ บิต 5 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับการกำหนดรูปแบบของสัญญาณอนาลอกอินพุตที่ป้อนให้แก่ PCF 8591

บิต 2 ใช้สำหรับเลือกรูปแบบการอ่านข้อมูลจากขาอินพุตอนาลอกว่าจะเป็นการอ่านจากเพียงอินพุตเดียว หรืออ่านแบบเรียงลำดับทุกอินพุต ถ้าต้องการเลือกให้อ่านแบบเรียงลำดับต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น “ 1 “

บิต 0 และ บิต 1 ใช้สำหรับกำหนดช่องของอินพุตอนาลอกที่ต้องการอ่าน ข้อมูลควบคุมทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ควบคุมภายใน PCF 8591 เมื่อจ่ายไฟให้แก่ PCF 8591 ครั้งแรกบิตต่างๆ ของข้อมูลภายในรีจิสเตอร์ควบคุมจะเป็น “0“



รูปที่ 2.14 แสดงรายละเอียดของข้อมูลควบคุมที่เขียนลงในรีจิสเตอร์ควบคุมภายในไอซีPCF 8591

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ทฤษฎีที่ใช้ในการแสดงผลและเก็บข้อมูล

2.7.1 การแสดงผลทางหน้าจอแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD)

2.7.1.1 รายละเอียดเกี่ยวกับ LCD

ในตัว LCD จะมีส่วนประกอบหลักๆ 3 ส่วน ดังนี้

ตัวแสดงผล (Display) ภายในเป็นผลึกเหลวที่สามารถแสดงผลให้เห็น โดยอาศัยแสงจากภายนอก ดังนั้นจึงต้องอาศัยมุมในการมองข้อมูลที่แสดงผลบนจอ LCD

ตัวควบคุม (Controller) เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมาควบคุมการทำงานของ LCD เช่น ลบจอภาพ แสดงตัวอักษร หรือเลื่อนเคอร์เซอร์ เป็นต้น ตัวควบคุมนี้ใช้ชิปควบคุมโดยเฉพาะ ชิพที่นิยมใช้ คือ เบอร์ HD44780 และ HD61830 โดย HD44780 จะใช้ควบคุม LCD แบบอักษร ส่วน HD61830 ใช้ควบคุม LCD แบบกราฟิก

ตัวขับ (Driver) เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมมาขับให้ตัวแสดงผลแสดงข้อมูลตามที่กำหนด ชิพที่ใช้ทำหน้าที่เป็นตัวขับนี้ ได้แก่ เบอร์ HD44100H และ MSM5259 เป็นต้น

2.7.1.2 โครงสร้างภายในของตัวควบคุม LCD

ในการใช้งาน LCD จำเป็นต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างและคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมให้ดีเสียก่อน โดยส่วนต่างๆ ภายในของชิปควบคุม LCD ที่ใช้ใน LCD แบบอักษร ประกอบด้วย

บัฟเฟอร์อินพุตเอาต์พุต เป็นส่วนที่ใช้ในการติดต่อรับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอก เพื่อที่จะถ่ายทอดข้อมูลเข้าออกภายในตัวควบคุม

รีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction register : IR) เป็นรีจิสเตอร์ที่รับข้อมูลคำสั่งจากอุปกรณ์ภายนอก เพื่อนำไปควบคุมการแสดงผล

รีจิสเตอร์ข้อมูล (Data register : DR) เป็นรีจิสเตอร์ที่รับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกเพื่อถ่ายทอดต่อไปยังหน่วยความจำที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลแสดงผล หรือนำข้อมูลไปสร้างตัวอักษรเพิ่มเติมในแรมเก็บตัวอักษร

แรมเก็บข้อมูลแสดงผล (Display data RAM : DDRAM) เป็นหน่วยความจำแรมที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่มาจากรีจิสเตอร์ DR โดยตัวควบคุมจะนำข้อมูลใน DDRAM นี้ไปเปิดตาราง (Look-up table) ของตัวอักษรที่เก็บไว้ในหน่วยความจำรวมและแรมเก็บตัวอักษรเพื่อนำไปแสดงที่ตัวแสดงผล

รวมเก็บตัวอักษร (Character generator ROM : CGROM) เป็นหน่วยความจำรวมที่ใช้เก็บข้อมูลตัวอักษรหรือสัญลักษณ์ที่สามารถอ่านออกไปแสดงที่ตัวแสดงผลได้ มีขนาด 7200 บิต โดยจะถูกอ่านด้วยค่าของข้อมูลใน DDRAM

แรมเก็บตัวอักษร (Character generator RAM : CGRAM) เป็นหน่วยความจำแรมที่ใช้เก็บตัวอักษรที่มีการสร้างเพิ่มเติมขึ้นมาใหม่ ในกรณีที่ตัวอักษรใน CGROM ไม่เพียงพอ มีขนาด 512 บิต การเขียนและอ่านค่าไปใช้นั้นทำได้เช่นเดียวกับ CGROM คือ เขียนข้อมูลลงใน DDRAM แล้วตัวควบคุมจะมาอ่านค่าจาก CGRAM เอง

แฟล็ก BUSY เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แจ้งสถานะการทำงานของตัวควบคุมให้อุปกรณ์ภายนอกทราบว่า ตัวควบคุมพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือคำสั่งหรือไม่ ดังนั้นก่อนการส่งข้อมูลหรือคำสั่งมายังตัวควบคุมจะต้องตรวจสอบสถานะของแฟล็ก BUSY นี้เสียก่อน

2.7.1.3 หน้าที่การทำงานของขาต่างๆ ของ LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 1 บรรทัด (LCD 16x1)

LCD 16x1 มีขาต่อใช้งานทั้งสิ้น 14 ขา โดยรายละเอียดการทำงานของแต่ละขามีดังนี้

V_{ss} (ขา 1) : ต่อกาวด์

V_{DD} (ขา 2) : ต่อไฟเลี้ยง + 5 โวลต์

V_O (ขา 3) : เป็นขาอินพุตรับแรงดันเพื่อปรับความเข้มของการแสดงผล

RS (ขา 4) : เป็นขาอินพุตใช้ในการแยกชนิดของข้อมูลที่ทำการประมวลผลในขณะนั้นว่าเป็นคำสั่งสำหรับริจิสเตอร์ IR หรือเป็นข้อมูลสำหรับริจิสเตอร์ DR โดยถ้าขานี้เป็น “ 0 “ ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นคำสั่ง แต่ถ้าขาเป็น “ 1 “ ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นข้อมูลสำหรับการแสดงผล

R/W (ขา 5) : เป็นขาที่ใช้เลือกการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับ LCD ถ้าเป็น “ 0 “ เป็นการกำหนดให้เขียนข้อมูล แต่ถ้าเป็น “ 1 “ จะเป็นการอ่านข้อมูล

E (ขา 6) : เป็นขาอินพุตเปิดให้ LCD ทำงาน

D0 – D7 (ขา 7 – 14) : เป็นขาที่ใช้เป็นทางผ่านของข้อมูลระหว่าง LCD กับอุปกรณ์ภายนอกขนาด 8 บิต

2.7.1.4 คำสั่งสำหรับควบคุม LCD

คำสั่งควบคุม LCD ของชิปควบคุม ที่สำคัญมี 10 คำสั่งดังนี้

คำสั่งเคลียร์ตัวแสดงผล (Clear display) มีข้อมูลคำสั่งเป็น 01H เป็นคำสั่งที่ใช้เขียนข้อมูลช่องว่างเข้าไปใน DDRAM ทั้งหมด

คำสั่ง Return home ต้องกำหนดให้บิต 1 ของข้อมูลเป็น “ 1 “ เป็นคำสั่งให้เคอร์เซอร์เคลื่อนที่กลับไปยังตำแหน่งซ้ายสุดของจอแสดงผลแต่ข้อมูลบนจอแสดงผลไม่เปลี่ยนแปลง นั่นคือข้อมูลคำสั่งนี้จะป็น 02H หรือ 03H ก็ได้

คำสั่งเลือกโหมดการป้อนข้อมูล (Entry mode set) มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังรูปที่ 2.15

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	0	0	1	I/D	S

รูปที่ 2.15 แสดงรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งเลือกโหมดการป้อนข้อมูล

บิต S เป็นบิตที่ใช้ในการกำหนดลักษณะของการแสดงผล เมื่อมีการป้อนข้อมูล ถ้าหากบิต S เป็น “ 1 “ เมื่อเกิดข้อมูลใหม่บนจอแสดงผล ตัวเคอร์เซอร์จะอยู่กับที่ แต่อักษรข้อมูลเดิมจะถูกดันไปทางซ้าย แต่หากบิตนี้เป็น “ 0 “ เมื่อเกิดข้อมูลใหม่ตัวเคอร์เซอร์จะเลื่อนไปทางขวามือ

บิต I/D เป็นบิตที่ใช้ในการกำหนดว่า เมื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลแล้ว ทำให้แอดเดรสของ DDRAM เพิ่มขึ้นหรือลดลงหนึ่งแอดเดรส โดยถ้าบิตนี้เป็น “ 1 “ แอดเดรสของ DDRAM จะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเป็น “ 0 “ แอดเดรสของ DDRAM จะลดลง

คำสั่งควบคุมการแสดงผล มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังรูปที่ 2.16

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	0	1	D	C	B

รูปที่ 2.16 แสดงรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งควบคุมการแสดงผล

บิต D ใช้ควบคุมการเปิดปิดจอแสดงผล ถ้าบิตนี้เป็น “ 1 “ จะเป็นการเปิดจอแสดงผล ถ้าเป็น “ 0 “ จะเป็นการปิดจอแสดงผล

บิต C ใช้ควบคุมการแสดงผลตัวเคอร์เซอร์บนจอแสดงผล ถ้าต้องการให้มีเคอร์เซอร์แสดงผลบนจอแสดงผล ต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น “ 1 “ ถ้ากำหนดให้เป็น “ 0 “ จะเป็นการปิดเคอร์เซอร์ หรือไม่แสดงเคอร์เซอร์

บิต B ใช้ควบคุมการกระพริบของเคอร์เซอร์ ถ้าบิตนี้เป็น “ 1 “ เคอร์เซอร์จะกระพริบ คำสั่งควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และข้อมูลตัวอักษร มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังรูปที่ 2.17

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	1	S/C	R/L	*	*

รูปที่ 2.17 แสดงรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และข้อมูลตัวอักษร

การควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และตัวอักษรบนจอแสดงผลขึ้นอยู่กับกำหนดบิต S/C และ R/L ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

ถ้า S/C เป็น “ 0 “ และ R/L เป็น “ 0 “ จะเป็นการเลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางซ้าย

ถ้า S/C เป็น “ 0 “ และ R/L เป็น “ 1 “ จะเป็นการเลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางขวา

ถ้า S/C เป็น “ 1 “ และ R/L เป็น “ 0 “ จะเป็นการเลื่อนตัวอักษรใหม่ไปทางซ้าย

ถ้า S/C เป็น “ 1 “ และ R/L เป็น “ 1 “ จะเป็นการเลื่อนตัวอักษรใหม่ไปทางขวา

คำสั่งกำหนดฟังก์ชันการทำงาน มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังรูปที่ 2.18

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	1	DL	N	F	*	*

รูปที่ 2.18 แสดงรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งกำหนดฟังก์ชันการทำงาน

บิต DL ใช้กำหนดจำนวนบิตที่ใช้ติดต่อส่งผ่านข้อมูล ถ้าบิตนี้เป็น “ 0 “ จะเป็นการติดต่อแบบ 4 บิต แต่ถ้าบิตนี้เป็น “ 1 “ จะเป็นแบบ 8 บิต

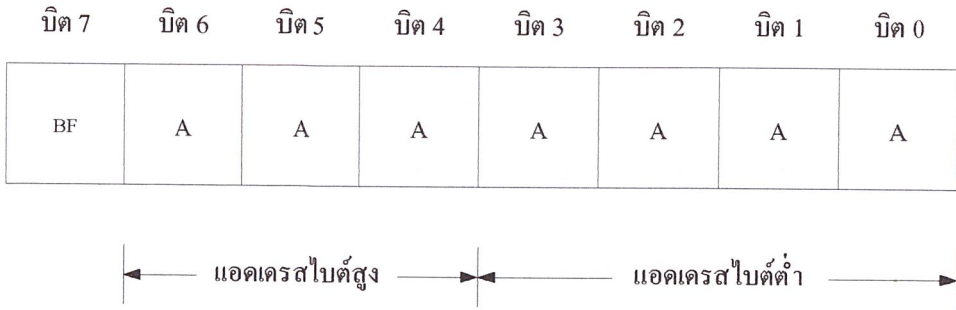
บิต N ใช้กำหนดจำนวนบรรทัดของการแสดงผล ถ้าเป็น “ 0 “ จะแสดงผล 1 บรรทัด แต่ถ้าเป็น “ 1 “ จะแสดงผล 2 บรรทัด ในกรณีที่จอแสดงผลสามารถแสดงผลได้มากกว่า 2 บรรทัด และต้องการให้แสดงผลมากกว่า 2 บรรทัด ก็ให้กำหนดบิต N นี้เป็น “ 1 “

บิต F ใช้เลือกความละเอียดของตัวอักษรในการแสดงผล ถ้าบิตนี้เป็น “ 0 “ จะเป็นการแสดงผลแบบ 5x7 จุด และถ้าเป็น “ 1 “ จะเป็นการแสดงผลแบบ 5x10 จุด

คำสั่งเลือกแอดเดรสของ CGRAM เมื่อต้องการกำหนดแอดเดรสของ CGRAM ต้องกำหนดให้บิต 7 เป็น “ 0 “ บิต 6 เป็น “ 1 “ ส่วนอีก 6 บิตที่เหลือจะแทนด้วยค่าแอดเดรสของ CGRAM โดยจะต้องทำการกำหนดแอดเดรสด้วยคำสั่งนี้ก่อนที่จะทำการอ่านหรือเขียนข้อมูลให้ CGRAM โดยแอดเดรสของ CGRAM อยู่ที่ 00H-3FH

คำสั่งเลือกแอดเดรสของ DDRAM ใช้ในการเลือกแอดเดรสของ DDRAM ก่อนที่จะทำการอ่านหรือเขียนข้อมูล โดยบิต 7 ต้องเป็น “ 1 “ และข้อมูลอีก 7 บิตที่เหลือจะเป็นค่าแอดเดรสของ DDRAM ซึ่งแอดเดรสของ DDRAM จะอยู่ระหว่าง 80H – 0FFH

คำสั่งอ่านแฟลก BUSY และแอดเดรส มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แสดงรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งอ่านแฟล็ก BUSY และแอดเดรส

เป็นคำสั่งที่ใช้อ่านแฟล็ก BUSY (BF) โดยแฟล็กนี้จะเป็นตัวบอกสถานะของตัวควบคุม LCD ว่าพร้อมจะรับข้อมูลอยู่หรือไม่ ถ้าหากบิต BF เป็น “ 0 “ แสดงว่าตัวควบคุม LCD พร้อมที่จะรับข้อมูลหรือคำสั่ง แต่ถ้าเป็น “ 1 “ แสดงว่าขณะนี้ตัวควบคุม LCD ยังอยู่ในกระบวนการทำงานยังไม่พร้อมที่จะรับข้อมูล

2.7.1.5 การเขียนคำสั่งและข้อมูลให้แก่ LCD

ในการเขียนข้อมูลเพื่อควบคุม LCD ให้แสดงผลตามที่ผู้ใช้งานต้องการ ต้องส่งคำสั่ง (Instruction) แล้วกำหนดโหมดการทำงานให้แก่ LCD ก่อน จากนั้นจึงค่อยส่งข้อมูล (Data) ที่ต้องการแสดงผล เนื่องจากบัสข้อมูลของ LCD มี 8 เส้น คือ D0 – D7 และใช้เป็นทางผ่านของทั้งคำสั่งและข้อมูล ดังนั้นในการส่งคำสั่งและข้อมูลจึงต้องอาศัยการกำหนดสัญญาณลอจิกที่ขา RS

เมื่อต้องการเขียนหรืออ่านข้อมูลใน CGRAM และ DDRAM เริ่มต้นต้องกำหนดแอดเดรสที่ต้องการอ่านหรือเขียนก่อน โดยใช้คำสั่งเลือกแอดเดรส จากนั้นกำหนดให้ขา RS เป็น “ 1 “ เพื่อแจ้งให้ตัวควบคุมทราบว่าข้อมูลที่ปรากฏต่อไปนี้เป็นข้อมูลปกติไม่ใช่ข้อมูลคำสั่ง ในกรณีที่ต้องการอ่านข้อมูลจะต้องกำหนดให้ขา R/W เป็น “ 1 “ ข้อมูลขนาด 8 บิต ก็จะปรากฏบนบัสข้อมูล โดยข้อมูลที่อ่านออกมาได้จะเป็นข้อมูลจากแอดเดรสของ CGRAM หรือ DDRAM ตามที่ต้องการ

2.7.1.6 จังหวะการทำงานของ LCD

ในการติดต่อกับ LCD จะต้องมีการหน่วงเวลาหลังจากที่ทำการส่งรหัสคำสั่งหรือข้อมูล เนื่องจากต้องรอให้คอนโทรลเลอร์ภายใน LCD แปลความหมายของรหัสคำสั่งและทำงานตามคำสั่งให้เรียบร้อยก่อน จากนั้นจึงจะรับข้อมูลหรือดำเนินการต่อไป

2.7.2 การส่งผ่านข้อมูลด้วยพอร์ตอนุกรม (Serial port)

2.7.2.1 แนะนำพอร์ตอนุกรม

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS 51 มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบ ฟูลดูเพล็กซ์ 1 ชุด (วงจรสื่อสารที่สามารถทำการรับและส่งข้อมูลในลักษณะ 2 ทิศทางได้ในเวลาเดียวกัน) โดยใช้การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (การรับส่งข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกาพร้อมด้วยแต่จะใช้การกำหนดค่าอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกว่า อัตราบอด มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที)

2.7.2.2 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51

รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ตอนุกรม มีอยู่ 2 ตัว คือ

SBUF เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 99H เป็นเสมือนที่พักของข้อมูลก่อนที่จะมีการส่งออกหรือรับเข้า ถ้าจะทำการส่งข้อมูลออก พอร์ตอนุกรมจะทำการส่งข้อมูลที่อยู่ใน SBUF ออกเท่านั้น ส่วนในการรับข้อมูลเข้า พอร์ตอนุกรมก็จะรับข้อมูลเข้ามาเก็บไว้ที่ SBUF เท่านั้น

SCON เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 98H สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต มีรายละเอียดการทำงานดังรูปที่ 2.20

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI

รูปที่ 2.20 แสดงรายละเอียดการทำงานของรีจิสเตอร์ SCON

บิต SM0 – SM1 (Serial port mode bit 0 – 1) : ใช้ในการเลือกโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรม

บิต SM2 : ใช้ในการอินทิเกรตการสื่อสารในแบบมัลติโพรเซสเซอร์ (Multiprocessor) ในการทำงานของโหมด 2 และ โหมด 3 ของพอร์ตอนุกรม โดยถ้าบิตนี้เป็น “ 1 “ บิต RI จะไม่แอกตีฟ ถ้าบิตที่ 9 ที่รับเข้ามาเป็น “ 0 “ (ข้อมูลบิตที่ 9 จะถูกเก็บไว้ที่บิต RB8) ส่วนในการทำงานในโหมด 1 ถ้าบิตนี้เซต บิต RI จะไม่แอกตีฟ ถ้ายังไม่ได้รับบิตหยุด ส่วนในโหมด 0 บิตนี้ไม่มีการใช้งาน

บิต REN (Enable serial reception) : ใช้ในการอินทิเกรตการรับข้อมูลของพอร์ตอนุกรม ทำการเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ ถ้าต้องการให้มีการรับข้อมูลต้องเซตบิตนี้ให้เป็น “ 1 “

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิต TB8 : ใช้สำหรับเก็บข้อมูลบิตที่ 9 ที่ต้องการส่งออกไป ในการทำงานในโหมด 2 และ โหมด 3 เซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

บิต RB8 : ใช้สำหรับรับข้อมูลบิตที่ 9 ที่เข้ามาในการทำงานในโหมด 2 และ โหมด 3 แต่ถ้าหากพอร์ตอนุกรมทำงานอยู่ในโหมด 1 และบิต SM2 เป็น “ 0 “ ข้อมูลที่บิต RB8 จะเป็นข้อมูลของบิตหยุด (Stop bit) สำหรับในการทำงานในโหมด 0 บิตนี้จะไม่ใช้งาน บิต RB8 นี้สามารถเซตและเคลียร์ได้ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

บิต TI (Transmit interrupt flag) : ใช้ในการแสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการส่งข้อมูลออกจากพอร์ตอนุกรม สามารถเซตได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์เมื่อทำการส่งข้อมูลบิตที่ 8 ไปเรียบร้อยแล้วในการทำงานในโหมด 0 ส่วนในการทำงานในโหมดอื่นๆ บิตนี้จะเซตเมื่อมีการเริ่มต้นส่งบิตหยุดออกไป การเคลียร์บิตนี้ต้องใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

บิต RI (Receive interrupt flag) : ใช้ในการแสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการรับข้อมูลเข้าสู่พอร์ตอนุกรม สามารถเซตได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์เมื่อทำการรับข้อมูลบิตที่ 8 เรียบร้อยแล้วในการทำงานในโหมด 0 ส่วนในการทำงานในโหมดอื่นๆ บิตนี้จะเซตเมื่อรับบิตหยุดของข้อมูลอนุกรมไปได้ครึ่งทางแล้ว ยกเว้นในกรณีที่บิต SM2 มีการเซตบิตนี้จะเซตได้ก็ต่อเมื่อได้รับบิตหยุดหรือบิตที่ 9 อย่างสมบูรณ์แล้ว การเคลียร์บิตนี้ต้องใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

2.7.2.3 โหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51

พอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถเลือกโหมดการทำงานได้ 4 โหมด คือ โหมด 0 เป็นการกำหนดให้พอร์ตอนุกรมทำงานในลักษณะชิฟต์รีจิสเตอร์ (Shift register) โหมด 1 เป็นการกำหนดให้เป็น UART ขนาด 8 บิต โดยสามารถเลือกอัตราบอดได้ โหมด 2 เป็นการกำหนดให้เป็น UART ขนาด 9 บิต โดยมีอัตราบอดคงที่ โหมด 3 เป็นการกำหนดให้เป็น UART ขนาด 9 บิต โดยสามารถเลือกอัตราบอดได้

การเลือกโหมดการทำงานของวงจรถอดอนุกรม สามารถกระทำได้โดยการกำหนดข้อมูลให้แก่บิต SM0 และ SM1 ในรีจิสเตอร์ SCON

2.7.2.4 อัตราบอดของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51

ในการทำงานโหมด 0 อัตราบอด จะมีค่าคงที่ เท่ากับ

$$\text{อัตราบอด} = \frac{\text{ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา}}{12} \quad \text{หน่วยเป็น บิต ต่อ วินาที}$$

ในการทำงานโหมด 1 และ โหมด 3 สามารถเลือกแหล่งกำเนิดอัตราบอดได้จากอัตราการเกิดโอเวอร์โพลของ ไทเมอร์ 1 โดยจะต้องใช้ค่าของบิต SMOD ในรีจิสเตอร์ PCON มาพิจารณาประกอบด้วย โดยสามารถคำนวณหาอัตราบอดได้จาก

$$\text{อัตราบอด} = (2^{\text{ค่าของบิต SMOD}} / 32) \times (\text{ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา} / \{ 12 \times [256 - TH_1] \})$$

ตารางที่ 2.2 การเลือกอัตราบอดของวงจรถ่ายรูปอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

อัตราบอด (บิตต่อวินาที : bps)	ความถี่ สัญญาณนาฬิกา	SMOD	ไทเมอร์ 1		
			C/T	โหมด	ค่ารีโหลด
โหมด 0 : สูงสุด 1 MHz	12MHz	X	X	X	X
โหมด 2 : สูงสุด 375KHz	12MHz	1	X	X	X
โหมด 1,3 : 62.5 KHz	12MHz	1	0	2	FFH
19.2K (19,200)	11.0592 MHz	1	0	2	FDH
9.6K (9,600)	11.0592 MHz	0	0	2	FDH
4.8K (4,800)	11.0592 MHz	0	0	2	FAH
2.4K (2,400)	11.0592 MHz	0	0	2	F4H
1.2K (1,200)	11.0592 MHz	0	0	2	E8H
1375	11.0592 MHz	0	0	2	1DH
110	6MHz	0	0	2	72H
110	12MHz	0	0	1	FEEBH

ในการทำงานโหมด 2 การกำหนดอัตราบอดจะขึ้นกับค่าของบิต SMOD ในรีจิสเตอร์ PCON โดยสามารถคำนวณหาอัตราบอดได้จาก

$$\text{อัตราบอด} = (2^{\text{ค่าของบิต SMOD}} / 64) \times \text{ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา}$$

บทที่ 3

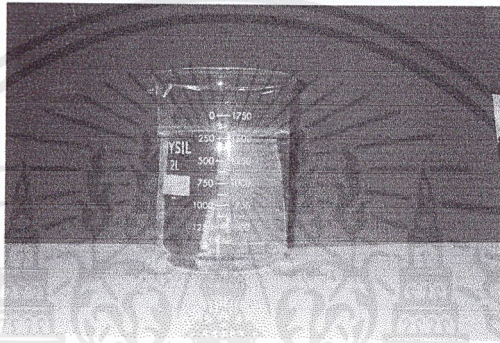
การออกแบบ

3.1 การออกแบบหม้อต้ม

ในส่วนของหม้อต้มจะประกอบไปด้วย ตัวหม้อ, ฝาแก้วปิดบีกเกอร์, ส่วนจับยึดชิ้นงาน, ฉนวนกันความร้อน และส่วนจับยึดอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

3.1.1 ตัวหม้อ

ใช้บีกเกอร์แก้วทนความร้อนยี่ห้อ HYSIL เป็นภาชนะใส่น้ำในการต้ม เพราะแก้วจะไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำ โดยเลือกใช้บีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 13 เซนติเมตร สูง 19 เซนติเมตร เนื่องจากมีขนาดพอเหมาะในการทดสอบชิ้นงานไม่เกินครั้งละ 30 ชิ้น



รูปที่ 3.1 บีกเกอร์

3.1.2 ฝาแก้วปิดบีกเกอร์

ใช้แผ่นแก้วทำเป็นฝาปิดเนื่องจากมาตรฐานกำหนดเอาไว้ โดยตัดเป็นรูปวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12 เซนติเมตร พร้อมทั้งเจาะรูสำหรับใส่ส่วนจับยึดชิ้นงาน, เทอร์โมคัปเปิล, ก้านอิเล็กทรอนิกส์ และ โซลินอยด์วาล์ว

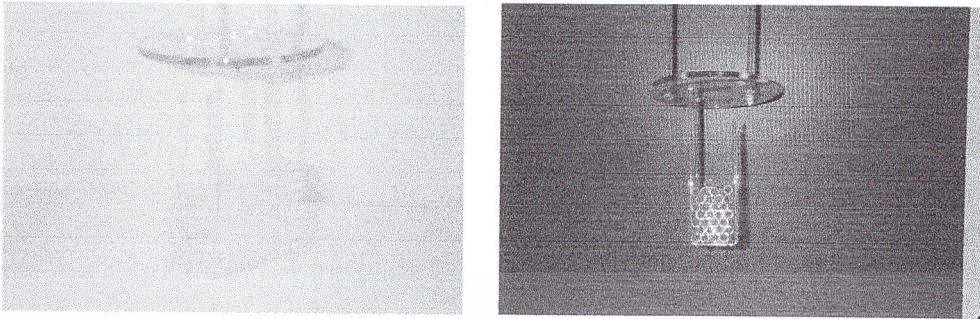


รูปที่ 3.2 ฝาแก้วปิดบีกเกอร์

3.1.3 ส่วนจับยึดชิ้นงาน

ใช้หลอดแก้วทนความร้อนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร ในการแยกชิ้นงานไม่ให้สัมผัสกันขณะทดสอบ โดยจะตัดหลอดแก้วให้มีความยาว 10 เซนติเมตร แล้วนำชิ้นงานใส่ไว้ด้านเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหลอดแก้ว และนำหลอดแก้วนี้มาวางไว้บนแท่งแก้วทนความร้อนที่ถูกตัดให้สามารถวางหลอดแก้วได้สูงสุดประมาณ 30 หลอด



รูปที่ 3.3 ชิ้นงาน และส่วนจับยึดชิ้นงาน

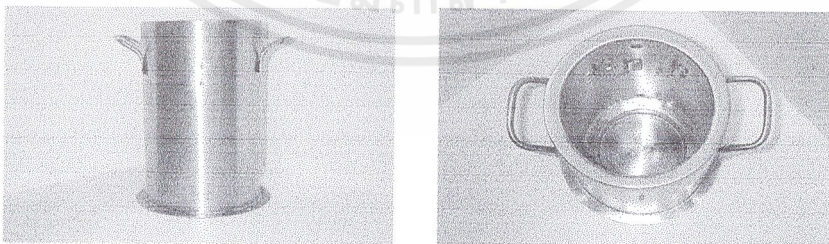
3.1.4 ฉนวนกันความร้อน

ใช้ฉนวนกันความร้อนเพื่อเหตุผลดังต่อไปนี้

1. ช่วยในการรักษาอุณหภูมิ
2. ป้องกันอันตรายจากการสัมผัสฮีตเตอร์
3. เป็นตัวยึดในการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล, ก้านอิเล็กทรอนิกส์ และ โซลินอยด์วาล์ว
4. เพื่อความเรียบร้อย

สำหรับฉนวนกันความร้อนที่ใช้ มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกสูง 36 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ภายนอก 18, 23 เซนติเมตร ตามลำดับ เลือกลงโครงสร้างแบบอะลูมิเนียม เนื่องจากมีน้ำหนักเบาและมีความสวยงามกว่าแบบเหล็ก มีใยแก้วเป็นฉนวนกันความร้อน

ในการใช้งานสามารถยกบีกเกอร์เข้า/ออกได้ โดยที่ฮีตเตอร์ยังอยู่ภายในฉนวน โดยฮีตเตอร์จะดูวางไว้สูงจากก้นฉนวนประมาณ 3 เซนติเมตร



รูปที่ 3.4 ฉนวนกันความร้อน

3.1.5 ส่วนจับยึดเทอร์โมคัปเปิล, ก้านอิเล็กทรอนิกส์ และโซลินอยด์วาล์ว

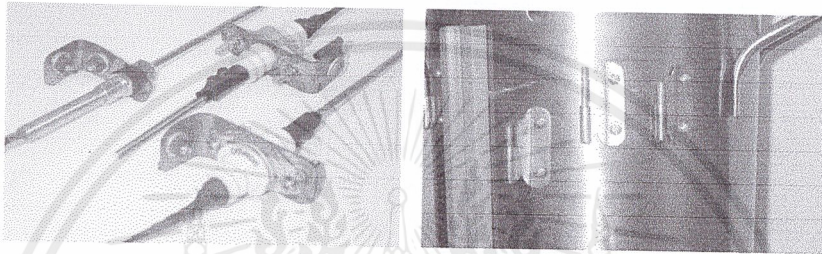
ส่วนนี้ใช้จับยึดเทอร์โมคัปเปิล, ก้านอิเล็กทรอนิกส์ และ โซลินอยด์วาล์วให้ติดอยู่กับฉนวนกันความร้อน เพื่อความสะดวกและความเป็นระเบียบในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับส่วนจับยึดนี้ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

1. ส่วนจับยึดอุปกรณ์ - เป็นแผ่นเหล็กบางที่ถูกเจาะรู และตัดโค้ง โดยจะนำมาประกอบเข้ากับบานพับสี่เหลี่ยมของหน้าต่างมุ้งลวดและอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งจะมีทั้งหมด 4 ชุด
2. ส่วนฐาน - เป็นบานพับสี่เหลี่ยมของหน้าต่างมุ้งลวดอีกด้านหนึ่ง โดยจะถูกยึดให้ติดอยู่กับฉนวนกันความร้อน แบ่งเป็นด้านใน 4 ตัว (สำหรับจับยึดเวลาใช้งาน) และด้านนอก 4 ตัว (เป็นที่พักของอุปกรณ์เวลาไม่ใช้งาน)

สำหรับเวลาใช้งานจะนำส่วนจับยึดอุปกรณ์ มาประกอบ(เสียบ)เข้ากับส่วนฐาน ซึ่งการประกอบแบบนี้ สามารถแยก/ประกอบส่วนจับยึดอุปกรณ์ได้อย่างง่ายดาย



รูปที่ 3.5 ส่วนจับยึดอุปกรณ์

3.2 การออกแบบส่วนควบคุมอุณหภูมิ

แบ่งออกเป็น ส่วน ๆ ได้ดังนี้

3.2.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน



รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมส่วนควบคุมอุณหภูมิ

ในการควบคุมอุณหภูมิไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณแรงดันควบคุมการขับฮีตเตอร์แบบเฟสคอนโทรลเป็น 3 ระดับ ดังนี้

1. อุณหภูมิเริ่มต้น ถึง (อุณหภูมิที่ตั้งไว้ - 20 องศาเซลเซียส)

ช่วงเร่งอุณหภูมิ - เป็นช่วงที่มีแรงดันตกคร่อมฮีตเตอร์เต็มที่ (220 โวลต์)

2. (อุณหภูมิที่ตั้งไว้ - 20 องศาเซลเซียส) ถึง (อุณหภูมิที่ตั้งไว้ - 2 องศาเซลเซียส)

ช่วงหน่วงอุณหภูมิ - เป็นช่วงที่แรงดันตกคร่อมฮีตเตอร์ลดลงเหลือประมาณครึ่งหนึ่ง

3. (อุณหภูมิที่ตั้งไว้ - 2 องศาเซลเซียส) ถึง อุณหภูมิที่ตั้งไว้

ช่วงอุณหภูมิคงที่ - เป็นช่วงที่แรงดันตกคร่อมฮีตเตอร์ลดลงเหลือเพียงแค่รักษาระดับอุณหภูมิเอาไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

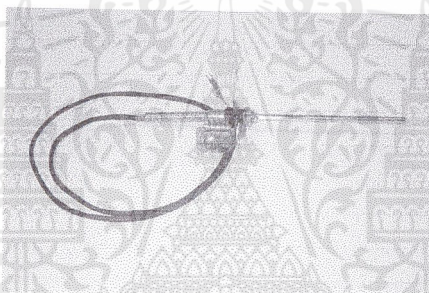
3.2.2 เทอร์โมคัปเปิล

เลือกใช้เทอร์โมคัปเปิล type K ในการวัดอุณหภูมิ เนื่องจากมีความทนทาน, เหมาะกับงานที่ใช้งานเป็นเวลานาน, มีส่วนผสม (โครเมียม/นิกเกิล) ที่ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำ, มีระดับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูง และมีราคาที่ไม่แพงมากนัก

เลือกความยาวก้านวัด 13 ซม. เพื่อให้ปลายของเทอร์โมคัปเปิล(ส่วนวัดอุณหภูมิ) อยู่บริเวณตอนกลางของชิ้นงานที่ทดสอบทั้งหมด 30 ชิ้น

เลือกใช้เทอร์โมคัปเปิลที่มี Metal Sheath แบบ Ungrounded Junction อีกทั้งให้ตัวเทอร์โมคัปเปิล และสายของเทอร์โมคัปเปิลถูกหุ้มด้วยท่อหด เพื่อป้องกันไม่ให้กระแสไฟฟ้าจากอุปกรณ์ตัวอื่นไหลเข้าตัวเทอร์โมคัปเปิล หรือกระแสไฟฟ้าจากตัวเทอร์โมคัปเปิลรั่วออกไป ซึ่งจะส่งผลให้ค่าที่วัดได้ผิดพลาดไป

ที่ปลายสายของเทอร์โมคัปเปิล จะเป็นหางปลา(ห้ามบัดกรี) เพื่อความสะดวกในการถอด/ประกอบ เข้ากับแผงวงจรขยายสัญญาณ

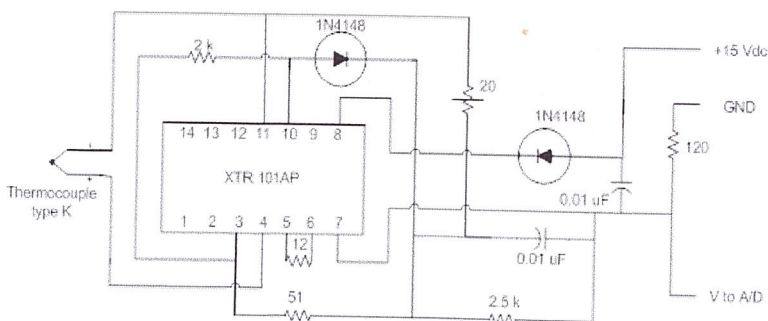


รูปที่ 3.7 เทอร์โมคัปเปิล

3.2.3 วงจรขยายสัญญาณเทอร์โมคัปเปิล

เนื่องจากแรงดันที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลจะมีปริมาณน้อยมาก (เป็นมิลลิโวลต์) อีกทั้งยังไม่ได้เปรียบเทียบจากอุณหภูมิที่วัดกับจุดเยือกแข็งของน้ำ ดังนั้นจึงต้องมีวงจรเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดกับจุดเยือกแข็งของน้ำ (Cold Junction Compensation) และวงจรขยายสัญญาณ

สำหรับโครงงานนี้ใช้ IC เบอร์ XTR101AP เป็นตัวชดเชยอุณหภูมิและขยายสัญญาณ โดยมีวงจรดังนี้



รูปที่ 3.8 วงจรขยายสัญญาณเทอร์โมคัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ฮีตเตอร์

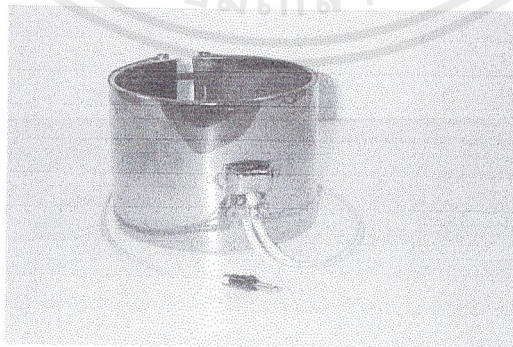
โครงการานนี้ใช้ฮีตเตอร์แบบรัดท่อเพราะไม่ต้องการแช่ฮีตเตอร์ในน้ำและเพื่อความสะดวกในการซ่อมบำรุง โดยฮีตเตอร์จะรัดอยู่รอบบีกเกอร์ ซึ่งการคำนวณกำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์ แสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad P &= Q/\Delta t \\ &= mc\Delta T/\Delta t \\ &= DVc\Delta T/\Delta t \end{aligned}$$

โดยที่ P	คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)
Q	คือ พลังงานความร้อนที่ใช้ (kJ)
m	คือ มวลของน้ำ (kg)
D	คือ ความหนาแน่นของน้ำ (1 kg/dm ³)
V	คือ ปริมาตรของน้ำที่ใช้ (dm ³)
c	คือ ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำ (4.18 kJ/kg-K)
ΔT	คือ ผลต่างของอุณหภูมิที่ต้องการให้เพิ่มขึ้น (K, °C)
Δt	คือ ระยะเวลาที่ต้องการให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นไปถึงจุดที่ต้องการ (second) (กำหนดให้ = 15 นาที)

$$\text{จะได้} \quad P = (1) \times (\pi \times 0.6^2 \times 1.7) \times (4.18) \times (90 - 30) / (15 \times 60) = 0.543 \text{ kW}$$

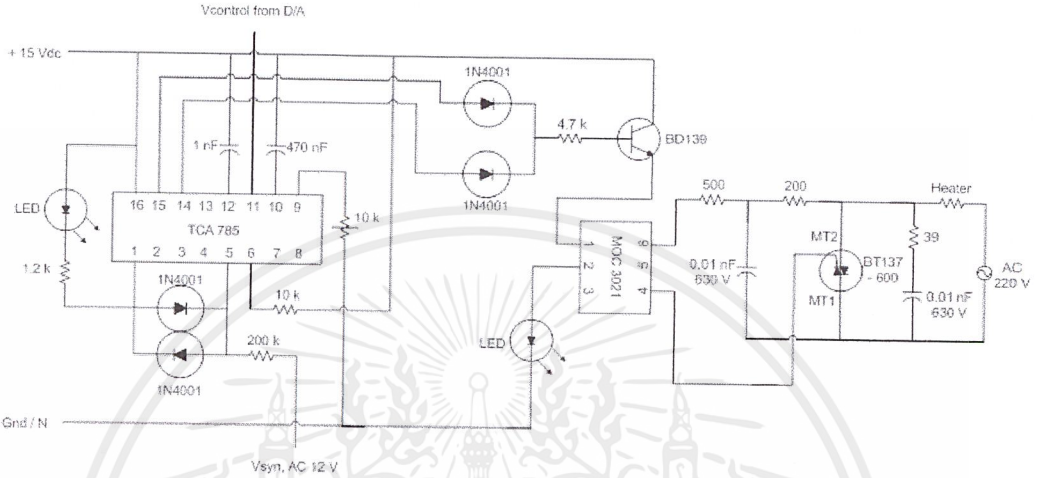
เลือกใช้ฮีตเตอร์ขนาด 600 W ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13.2 ซม. สูง 10 ซม. โดยฮีตเตอร์นี้จะมีฉนวนกันความร้อนหุ้มอยู่รอบนอก เพื่อความปลอดภัยในการสัมผัสและเพื่อการรักษาอุณหภูมิที่ปลายสายไฟของฮีตเตอร์ จะเป็นแจ๊คสำหรับเสียบเข้ากับเทอร์มินอลบนแผงยึดแผงวงจร เพื่อให้สามารถแยกฮีตเตอร์ออกจากแผงวงจรได้ง่าย ๆ ทำให้สะดวกในการตรวจสอบหรือซ่อมแซมอุปกรณ์



รูปที่ 3.9 ฮีตเตอร์รัดท่อ

3.2.5 การยับยั้งลดความร้อนด้วยวิธีเฟสคอนโทรล

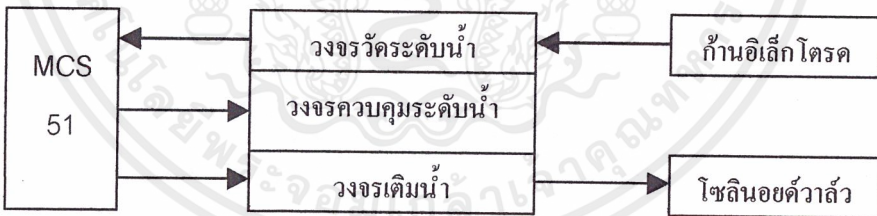
โครงงานนี้ใช้ IC เบอร์ TCA 785 ซึ่งเป็น IC สำเร็จรูปที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับการควบคุมแบบเฟสคอนโทรลโดยเฉพาะ เป็นอุปกรณ์ในการควบคุมแรงดันแบบเฟสคอนโทรล เนื่องจากใช้งานสะดวก และใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ เนื่องจากใช้งานง่ายในการควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ, ทนทาน วงจรยับยั้งลดความร้อนแบบเฟสคอนโทรลที่ใช้ในโครงงานแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 3.10 วงจรยับยั้งลดความร้อนด้วยวิธีเฟสคอนโทรล

3.3 การออกแบบส่วนควบคุมระดับน้ำ

3.3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน



รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมส่วนควบคุมระดับน้ำ

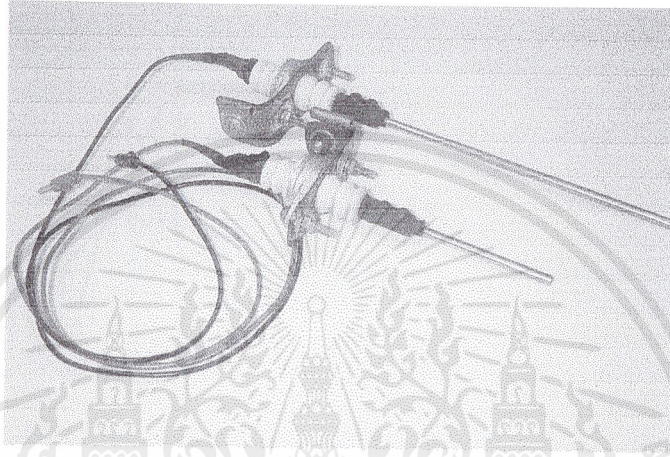
3.3.2 ก้านอิเล็กทรอนิกส์

ประยุกต์การใช้อุปกรณ์ตรวจจับระดับของเหลวแบบก้าน Electrode 3 แท่ง โดยในที่นี้ใช้หัวชุดควบคุมและก้าน Electrode แบบทนความร้อน เพียง 2 ชุด เพื่อลดค่าใช้จ่ายและลดปัญหาในการติดตั้งอุปกรณ์ลง ดังนี้

1. แท่งสั้น คือ แท่งตัวนำควบคุมระดับน้ำต่ำสุด
2. แท่งยาว คือ แท่งตัวนำที่ทำหน้าที่นำไฟฟ้าร่วม

หลักการทำงาน คือ ถ้ำระดับน้ำลดลงจนเลยแท่งสั้นไป (ไม่มีการนำกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น) วงจรควบคุมก็จะสั่งให้เปิดวาล์วน้ำ และเมื่อน้ำสูงถึงแท่งสั้น(มีการนำไฟฟ้าเกิดขึ้น) วงจรควบคุมก็จะสั่งให้ทำการปิดวาล์วน้ำ

ที่ปลายสายไฟของก้านอิเล็กทรอนิกส์ จะเป็นแจ็คสำหรับเสียบเข้ากับเทอร์มินอลบนแผงยึดแผงวงจร เพื่อให้สามารถแยกก้านอิเล็กทรอนิกส์ออกจากแผงวงจรได้ง่าย ๆ ทำให้สะดวกในการตรวจสอบหรือซ่อมแซมอุปกรณ์

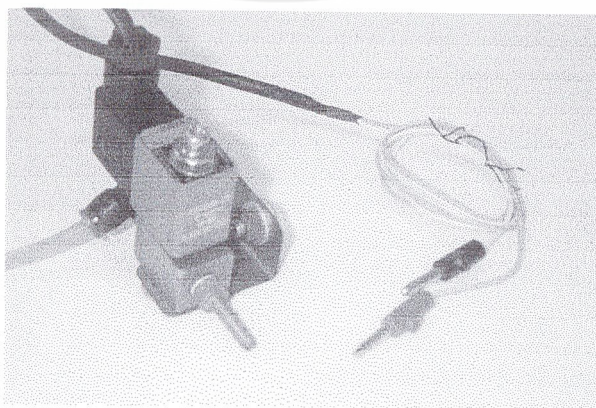


รูปที่ 3.12 ก้านอิเล็กทรอนิกส์

3.3.3 โซลินอยด์วาล์ว

เลือกใช้โซลินอยด์วาล์วชนิดใช้กับน้ำ ซึ่งใช้กับไฟตรง ขนาด 12 โวลต์ เพราะสามารถใช้กับวงจรจ่ายไฟที่เตรียมเอาไว้ได้

ที่ปลายสายไฟของโซลินอยด์วาล์ว จะเป็นแจ็คสำหรับเสียบเข้ากับเทอร์มินอลบนแผงยึดแผงวงจร เพื่อให้สามารถแยกโซลินอยด์วาล์วออกจากแผงวงจรได้ง่าย ๆ ทำให้สะดวกในการตรวจสอบหรือซ่อมแซมอุปกรณ์



รูปที่ 3.13 โซลินอยด์วาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 วงจรควบคุมระดับน้ำ

วงจรควบคุมระดับน้ำจะใช้รีเลย์ 3 โวลต์ จำนวน 3 ตัว ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ โดยมีหลักการทำงานดังนี้

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณมาสั่งให้วงจรวัดระดับน้ำ (ก้านอิเล็กทรอนิกส์) ทำงาน ทุก ๆ 1 นาที เป็นช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ประมาณ 2 วินาที ดังนี้

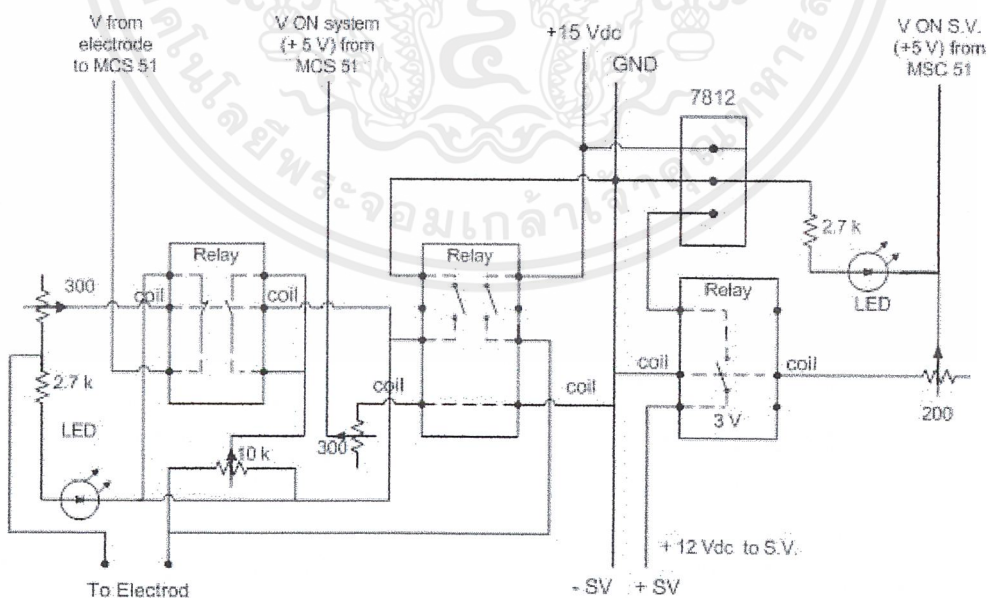
ถ้าน้ำสูงท่วมทั้ง 2 ก้าน ก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านก้านอิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 2 แล้วเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงว่าไม่ต้องเติมน้ำ

ถ้าน้ำสูงท่วมแค่ก้านยาวก้านเดียว ก็จะไม่มีการไหลผ่านก้านอิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 2 แล้วเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงว่าน้ำน้อยเกินไป ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะส่งสัญญาณไปยังวงจรเติมน้ำเป็นระยะเวลาประมาณ 2 วินาที

2. เมื่อมีสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งมายังวงจรเติมน้ำ (โซลินอยด์วาล์ว) ก็จะส่งผลให้โซลินอยด์วาล์วเปิดให้น้ำไหลผ่าน เป็นระยะเวลานานเท่าที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณมา (ประมาณ 2 วินาที ต่อครั้ง)

3. ทำอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ นาทีละ 1 ครั้ง ก็จะสามารถรักษาระดับน้ำภายในบีกเกอร์ได้ และจะมีการป้องกันน้ำแห้ง โดยถ้ามีการสั่งให้วงจรเติมน้ำทำงานติดต่อกันเกิน 50 ครั้ง (หมายความว่าน้ำสำรองที่เตรียมไว้หมด หรือมีเหตุให้ไม่สามารถเติมน้ำได้) ก็จะหยุดการทำงานทันที เพื่อป้องกันไม่ให้บีกเกอร์แตก

สำหรับวงจรควบคุมระดับน้ำแสดงได้ดังนี้



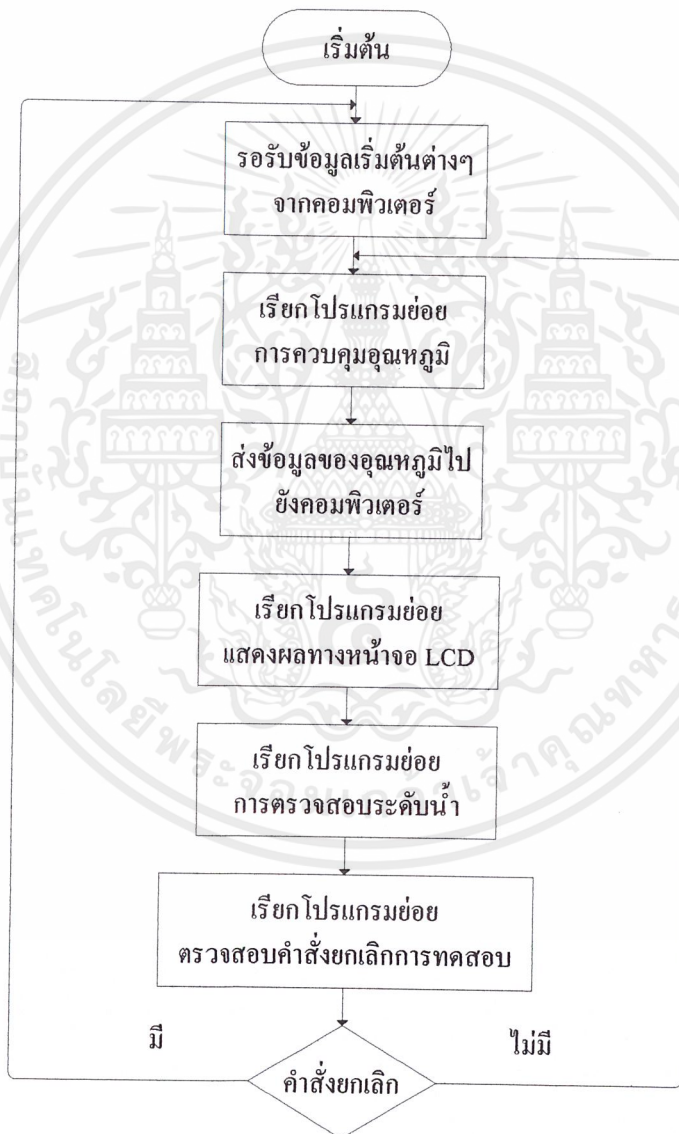
รูปที่ 3.14 วงจรควบคุมระดับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การออกแบบโปรแกรมประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

3.4.1 ไลอะแกรมการทำงานของโปรแกรมประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

ในส่วนของโปรแกรมประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น ต้องออกแบบให้สามารถควบคุมการทำงานทั้งหมดของหม้อต้มได้ ซึ่งก็คือ การควบคุมอุณหภูมิ, การควบคุมระดับน้ำ, การควบคุมเวลา, การส่งข้อมูลไปแสดงผลทั้งที่หน้าจอ LCD และ การส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ และ เก็บข้อมูล โดยสามารถแสดงไลอะแกรมการทำงานของโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้ดังนี้



รูปที่ 3.15 แสดงไลอะแกรมการทำงานของโปรแกรมประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การรรับข้อมูลเริ่มต้นต่างๆ จากคอมพิวเตอร์

การรรับข้อมูลเริ่มต้นต่างๆ จากคอมพิวเตอร์ ใช้การสื่อสารผ่านทางพอร์ตอนุกรมโดยข้อมูลทีรรับได้แก่ ค่าระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ , ค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ และ ค่าตัวเลขดิจิทัลที่ใช้ในการจับฮิตเตอร์ (เป็นค่าที่จะนำไปเข้าวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกเพื่อนำสัญญาณอนาลอกนั้นไปใช้ในการจับฮิตเตอร์ซึ่งจะแปรเปลี่ยนไปตามค่าของอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ)

3.4.3 โปรแกรมย่อยการควบคุมอุณหภูมิ

โปรแกรมย่อยการควบคุมอุณหภูมิ ประกอบไปด้วย โปรแกรมย่อยการแปลงสัญญาณแรงดันจากเทอร์โมคัปเปิลเป็นค่าดิจิทัล , โปรแกรมย่อยการเปรียบเทียบค่าของอุณหภูมิปัจจุบันกับค่าของอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ เพื่อหาค่าดิจิทัลที่จะนำไปใช้ในการจับฮิตเตอร์ โดยค่าของอุณหภูมิปัจจุบันได้มาจาก การนำค่าดิจิทัลที่แปลงได้จากเทอร์โมคัปเปิลไปเปิดตารางที่เปรียบเทียบระหว่างค่าแรงดันที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลกับค่าอุณหภูมิ , โปรแกรมย่อยการแปลงค่าดิจิทัลที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าของอุณหภูมิปัจจุบัน กับค่าของอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ ไปเป็นสัญญาณอนาลอก โดยสามารถแสดงไคอะแกรมการทำงานได้ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แสดงไคอะแกรมการทำงานของ โปรแกรมย่อยการควบคุมอุณหภูมิ

3.4.4 การส่งข้อมูลของอุณหภูมิไปยังคอมพิวเตอร์

การส่งข้อมูลของอุณหภูมิไปยังคอมพิวเตอร์ จะทำการส่งทุกๆ ครั้งหลังจากที่แปลงค่าสัญญาณแรงดันจากเทอร์โมคัปเปิลเป็นค่าดิจิทัลเรียบร้อยแล้ว โดยค่าที่ส่งไปยังคอมพิวเตอร์นั้นจะเป็นค่าดิจิทัลขนาด 8 บิต (ซึ่งยังไม่ใช่ค่าของตัวเลขอุณหภูมิ แต่จะเป็นค่าดิจิทัลของสัญญาณแรงดันจากเทอร์โมคัปเปิล) เมื่อคอมพิวเตอร์รับค่านี้ไปก็จะนำไปเปิดตารางอุณหภูมิในคอมพิวเตอร์แล้วจึงได้ค่าอุณหภูมิออกมา

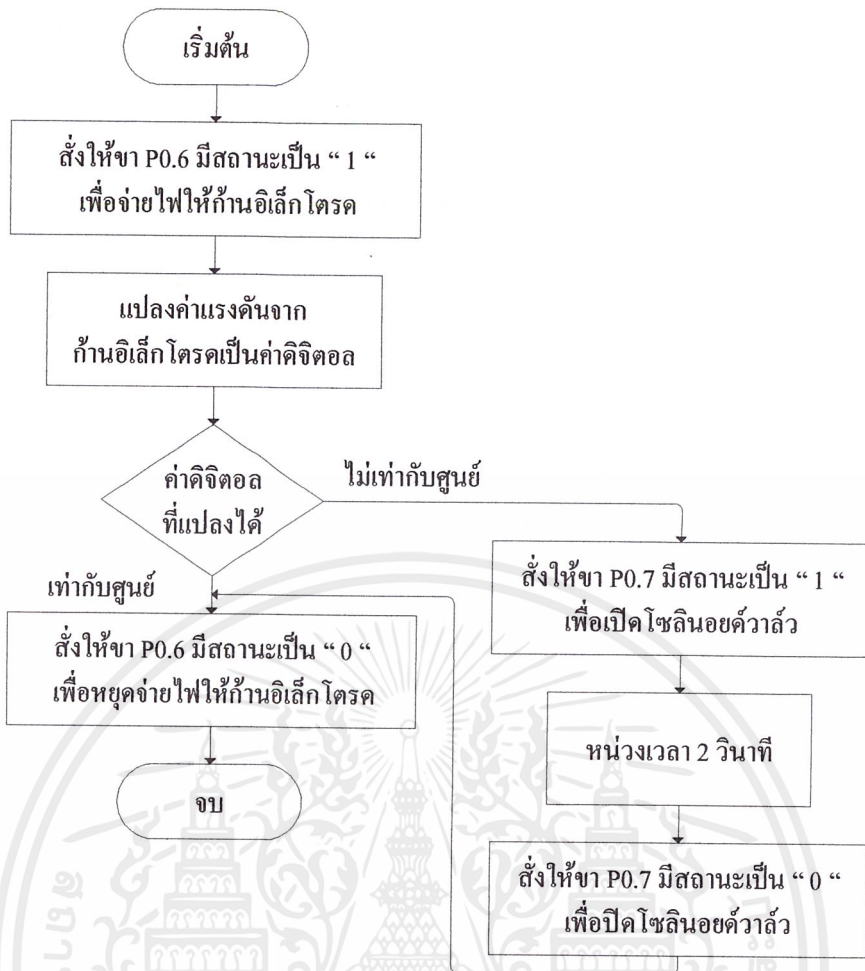
เหตุผลที่ส่งค่านี้ไปเป็นเพราะว่าค่าดิจิทัลที่แปลงได้จากเทอร์โมคัปเปิลนั้นนั้นมีขนาด 8 บิต (เนื่องจากความละเอียดของไอซีแปลงสัญญาณอนาลอกดิจิทัลที่ใช้เป็น 8 บิต) สามารถทำการส่งออกไปได้ในคราวเดียวแล้ว เมื่อเปรียบเทียบกับ การส่งค่าของอุณหภูมิ มาจากตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เลย ถ้าอยากได้ค่าของทศนิยมด้วยก็จำเป็นต้องส่งค่าออกมาอย่างน้อย 16 บิต (ค่าของตัวเลขจำนวนเต็มขนาด 8 บิต และค่าของตัวเลขทศนิยมอีก 8 บิต) จะทำให้การทำงานของโปรแกรมประมวลผลที่ไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ช้าลง และอาจเกิดการผิดพลาดในการส่งข้อมูลเป็นชุดๆ ผ่านทางพอร์ตอนุกรมได้ง่าย

3.4.5 โปรแกรมย่อยการแสดงผลทางหน้าจอ LCD

จะทำการแสดงค่าของอุณหภูมิและเวลาออกทางหน้าจอ LCD สลับกันทุกๆ วินาที พร้อมทั้งทำการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการทดสอบ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการเปรียบเทียบค่าระยะเวลาที่ได้ทำการทดสอบไปแล้วกับค่าของระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ ถ้าหากว่าครบตามระยะเวลาที่กำหนดจะปรากฏข้อความ “ Time up now! “ ขึ้นที่หน้าจอ LCD สลับกับค่าของอุณหภูมิและค่าของเวลาทุกๆ วินาทีโดยตัวของหม้อต้มยังคงทำงานต่อไป จนกว่าจะได้รับสถานะการรับรู้จากคอมพิวเตอร์

3.4.6 โปรแกรมย่อยการตรวจสอบระดับน้ำ

ในส่วนของการตรวจสอบระดับน้ำนั้นใช้การตรวจสอบโดยก้านอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นในการออกแบบโปรแกรมการตรวจสอบระดับน้ำ จึงใช้การแปลงสัญญาณแรงดันจากก้านอิเล็กทรอนิกส์เป็นค่าดิจิทัล แล้วนำไปเปรียบเทียบว่าค่าดิจิทัลที่ได้มีค่าเป็นศูนย์หรือไม่ ถ้าเป็นศูนย์แสดงว่าก้านอิเล็กทรอนิกส์ต่อถึงกัน (ระดับน้ำสูงพอ) แต่ถ้าไม่เป็นศูนย์แสดงว่าก้านอิเล็กทรอนิกส์ไม่ต่อถึงกัน (ระดับน้ำสูงไม่พอ) เมื่อตรวจสอบระดับน้ำได้แล้ว ถ้าระดับน้ำต่ำเกินไปก็ทำการเปิดโซลินอยด์วาล์วโดยการสั่งให้ขา P0.7 มีสถานะเป็น “ 1 “ เป็นเวลา 2 วินาที แล้วทำการปิดวาล์วน้ำโดยการสั่งให้ขา P0.7 มีสถานะเป็น “ 0 “ โดยในการจ่ายไฟให้กับก้านอิเล็กทรอนิกส์จะใช้ขา P0.6 ในการควบคุม คือเมื่อเรียกโปรแกรมย่อยการตรวจสอบระดับน้ำแล้ว จึงจะจ่ายไฟให้กับรีเลย์ที่ต่อขา NO อยู่กับก้านอิเล็กทรอนิกส์โดยการสั่งให้ขา P0.6 มีสถานะเป็น “ 1 “ และก่อนที่จะออกจากโปรแกรมย่อยการตรวจสอบระดับน้ำ ก็หยุดการจ่ายไฟให้กับรีเลย์ที่ต่อขา NO อยู่กับก้านอิเล็กทรอนิกส์โดยการสั่งให้ขา P0.6 มีสถานะเป็น “ 0 “ โดยสามารถแสดงไดอะแกรมการทำงานได้ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แสดงไดอะแกรมการทำงานของโปรแกรมการตรวจสอบระดับน้ำ

3.4.7 โปรแกรมย่อยตรวจสอบคำสั่งยกเลิกการทดสอบ

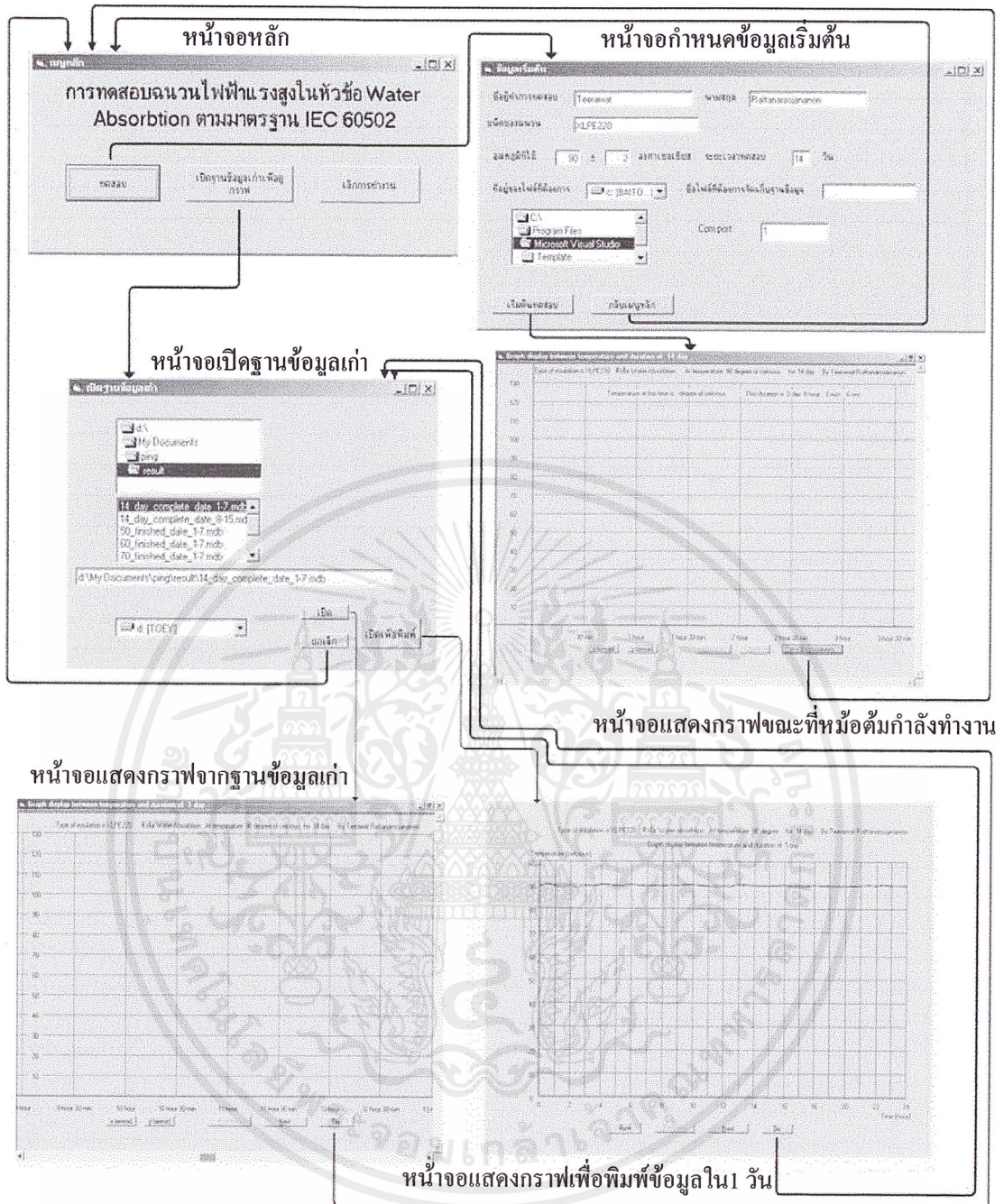
โดยคำสั่ง ยกเลิกการทดสอบ เกิดขึ้นได้จากการกดปุ่มยกเลิกการทดสอบจากหน้าจอแสดงกราฟขณะที่หม้อต้มกำลังทำงานซึ่งจะทำการรอรับข้อมูลเริ่มต้นต่างๆ ใหม่ เพื่อเริ่มการทดสอบใหม่

3.5 การออกแบบโปรแกรมสั่งงาน,แสดงผลและจัดเก็บผลการทดลอง

3.5.1 รูปแบบและการเชื่อมโยงกันของหน้าจอที่ใช้ในการแสดงผล

ในส่วนของ โปรแกรมสั่งงาน,แสดงผลและจัดเก็บผลการทดลองนั้น ได้นำ Visual basic มาใช้ในการออกแบบ โดยโปรแกรมที่เขียนขึ้นมานั้นออกแบบให้ สามารถแสดงผลค่าของอุณหภูมิเปรียบเทียบกับค่าของเวลาที่หม้อต้มกำลังทำงานอยู่ในรูปแบบของกราฟ สามารถเก็บค่าของอุณหภูมิในระบบฐานข้อมูลแบบ Microsoft access สามารถเรียกข้อมูลการทดสอบเก็บขึ้นมาดูในรูปแบบของกราฟได้ อีกทั้งยังสามารถกำหนดค่าเริ่มต้นในการทดสอบ ตัวอย่างเช่น ชื่อของผู้ที่ทำการทดสอบ , ชนิดของฉนวนที่นำมาทดสอบ , ค่าของอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ , ระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ และ ชื่อไฟล์ที่ต้องการจัดเก็บฐานข้อมูล โดยมีแบบฟอร์มต่างๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



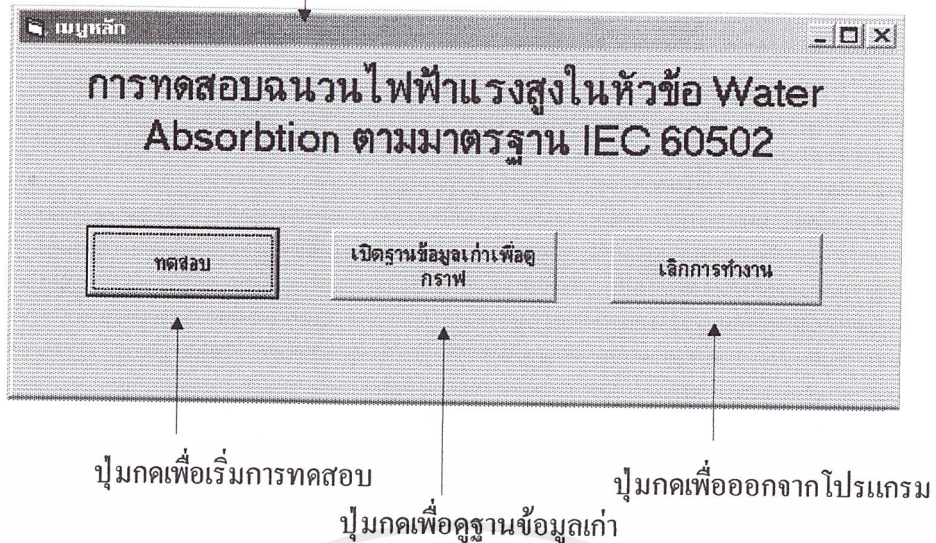
รูปที่ 3.18 แสดงหน้าจอต่างๆ ของโปรแกรม

3.5.2 หน้าจอหลัก

หน้าจอหลัก ประกอบไปด้วย หัวข้อของการทดสอบ , ปุ่มกดสำหรับทดสอบ , ปุ่มกดสำหรับดูฐานข้อมูลเก่า และ ปุ่มกดสำหรับเลิกการทำงาน เป็นหน้าจอแรกที่จะต้องเจอหลังจากที่โหลดโปรแกรมขึ้นมา มีไว้สำหรับให้เลือกว่าจะต้องการทำการทดสอบหรือต้องการดูฐานข้อมูลเก่าหรือต้องการออกจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

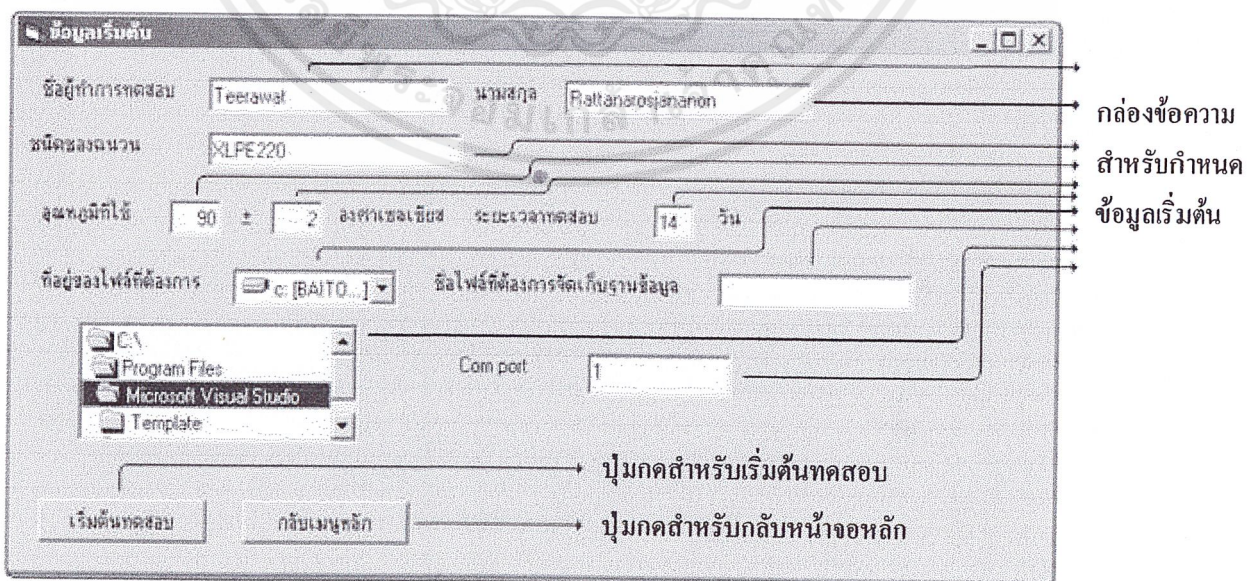
หน้าจอหลัก



รูปที่ 3.19 แสดงหน้าจอหลักของ โปรแกรม

3.5.3 หน้าจอกำหนดข้อมูลเริ่มต้น

หน้าจอกำหนดข้อมูลเริ่มต้น ประกอบไปด้วยกล่องข้อความต่างๆ สำหรับกำหนดข้อมูลเริ่มต้น (ชื่อ นามสกุล ของผู้ทำการทดสอบ , ชนิดของฉนวน , อุณหภูมิที่ใช้ , ช่วงของอุณหภูมิที่ยอมรับได้ , ระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ , ตำแหน่งของคอมพิวเตอร์ที่ต่ออยู่กับไมโครคอนโทรลเลอร์ , ที่อยู่ของไฟล์ฐานข้อมูล และ ชื่อของไฟล์ฐานข้อมูล) ปุ่มกดสำหรับเริ่มต้นทดสอบ และปุ่มกดสำหรับกลับหน้าจอหลัก เป็นหน้าที่ทำหน้าที่ในการรับค่าเริ่มต้นต่างๆ แล้วนำไปเก็บในไฟล์ฐานข้อมูลในตารางข้อมูลเริ่มต้นต่อไป รวมทั้งทำหน้าที่ ในการส่งค่าเริ่มต้นเหล่านี้ ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ในการควบคุมต่อไป



รูปที่ 3.20 แสดงหน้าจอกำหนดข้อมูลเริ่มต้น

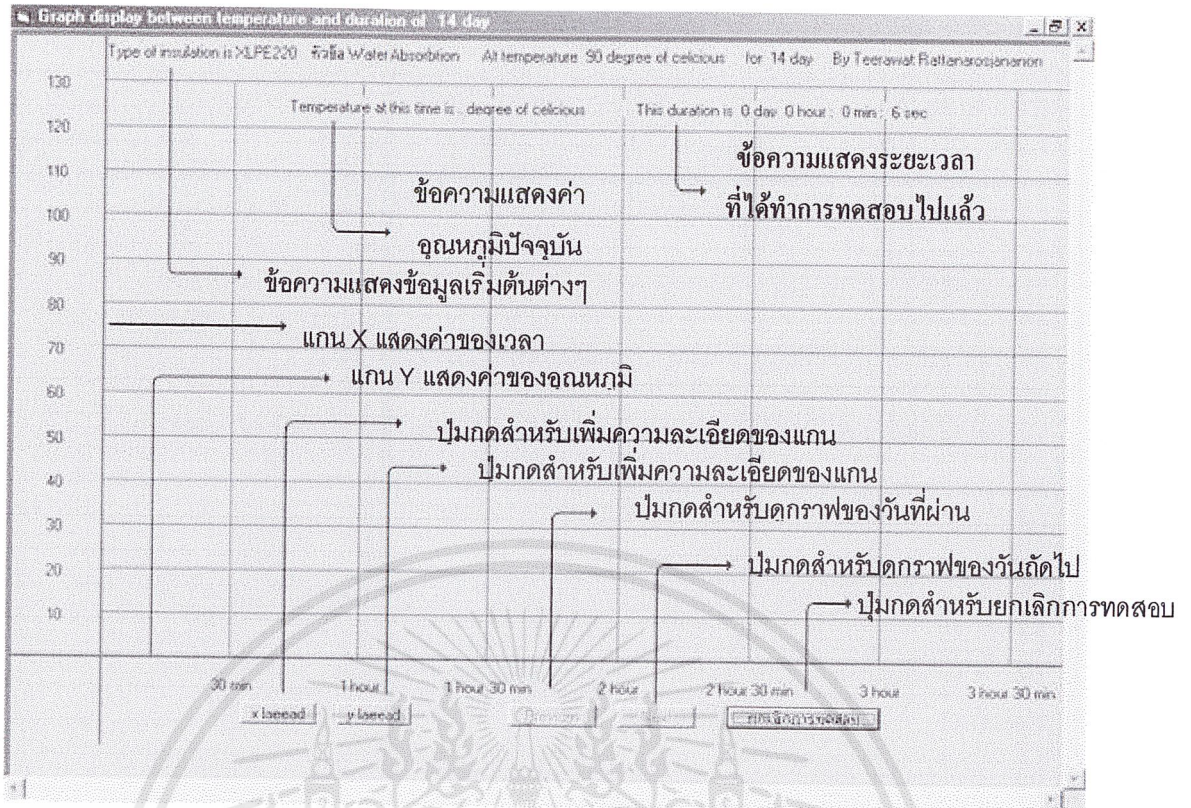
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 หน้าจอแสดงกราฟขณะที่หม้อต้มกำลังทำงาน

หน้าจอแสดงกราฟขณะที่หม้อต้มกำลังทำงาน ประกอบไปด้วย ข้อความแสดงข้อมูลเริ่มต้นต่างๆ , ข้อความแสดงค่าอุณหภูมิปัจจุบัน , ข้อความแสดงระยะเวลาที่ได้ทำการทดสอบไปแล้ว , กราฟที่สามารถแสดงผลได้เป็นระยะเวลา 1 วัน โดยมีแกน Y เป็นค่าอุณหภูมิและแกน X เป็นค่าเวลา , ปุ่มกดสำหรับเพิ่มความละเอียดของแกน X , ปุ่มกดสำหรับเพิ่มความละเอียดของแกน Y , ปุ่มกดสำหรับดูกราฟของวันที่ผ่านมา , ปุ่มกดสำหรับดูกราฟของวันถัดไป และ ปุ่มกดสำหรับยกเลิกการทดสอบ เป็นหน้าจอที่ทำหน้าที่รับค่าข้อมูลเข้ามาจากไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วนำข้อมูลที่ได้ออกไปเปิดตารางเพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิออกมา เพื่อที่จะนำมาแสดงผลทางหน้าจอนี้ โดยในการแสดงผลนั้นจะนำข้อมูลที่รับได้ทั้งหมดภายในเวลา 1 วินาทีมาทำการเฉลี่ย แล้วจึงทำการแสดงผลทุกๆ 1 วินาที พร้อมทั้งนำข้อมูลนั้นไปเก็บในตารางมาตรฐานที่ได้ออกแบบเอาไว้ โดยตารางที่ออกแบบเอาไว้จะแยกเป็นตารางละ 1 วัน แต่ละวันจะทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 5 วินาที โดยรูปแบบของตารางในแต่ละวันสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.21

second	hour0	hour1	hour2	hour22	hour23
0 min : 5 sec	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ
0 min : 10 sec	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ
0 min : 15 sec	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ
0 min : 20 sec	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ
59 min : 50 sec	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ
59 min : 55 sec	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ
60 min : 00 sec	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิ

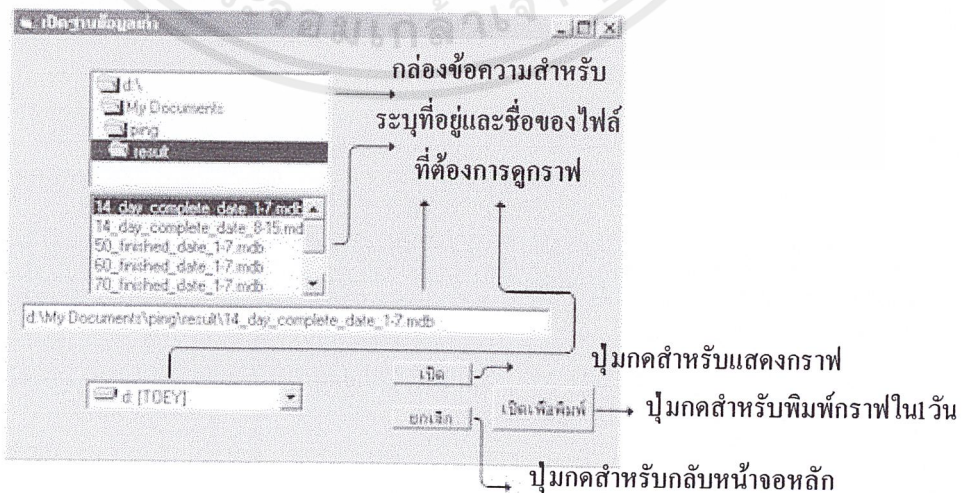
รูปที่ 3.21 แสดงรูปแบบของตารางฐานข้อมูลในแต่ละวัน



รูปที่ 3.22 แสดงหน้าจอแสดงกราฟขณะที่หม้อต้มกำลังทำงาน

3.5.5 หน้าจอเปิดฐานข้อมูลเก่า

หน้าจอเปิดฐานข้อมูลเก่า ประกอบด้วย กล่องข้อความสำหรับระบุที่อยู่และชื่อของไฟล์ที่ต้องการดูกราฟ, ปุ่มกดสำหรับแสดงกราฟของไฟล์ที่ได้เลือกเอาไว้ และ ปุ่มกดสำหรับกลับไปจอหลัก เป็นหน้าจอที่ทำหน้าที่เปิด ไฟล์ฐานข้อมูลเก่าโดยมีกล่องข้อความไว้ให้สำหรับค้นหาไฟล์นั้นๆ ซึ่ง ไฟล์ที่สามารถเปิดได้จะต้องมีรูปแบบของตารางเป็นแบบของตารางมาตรฐานตามที่ได้แสดงไว้ให้เห็นในข้างต้น



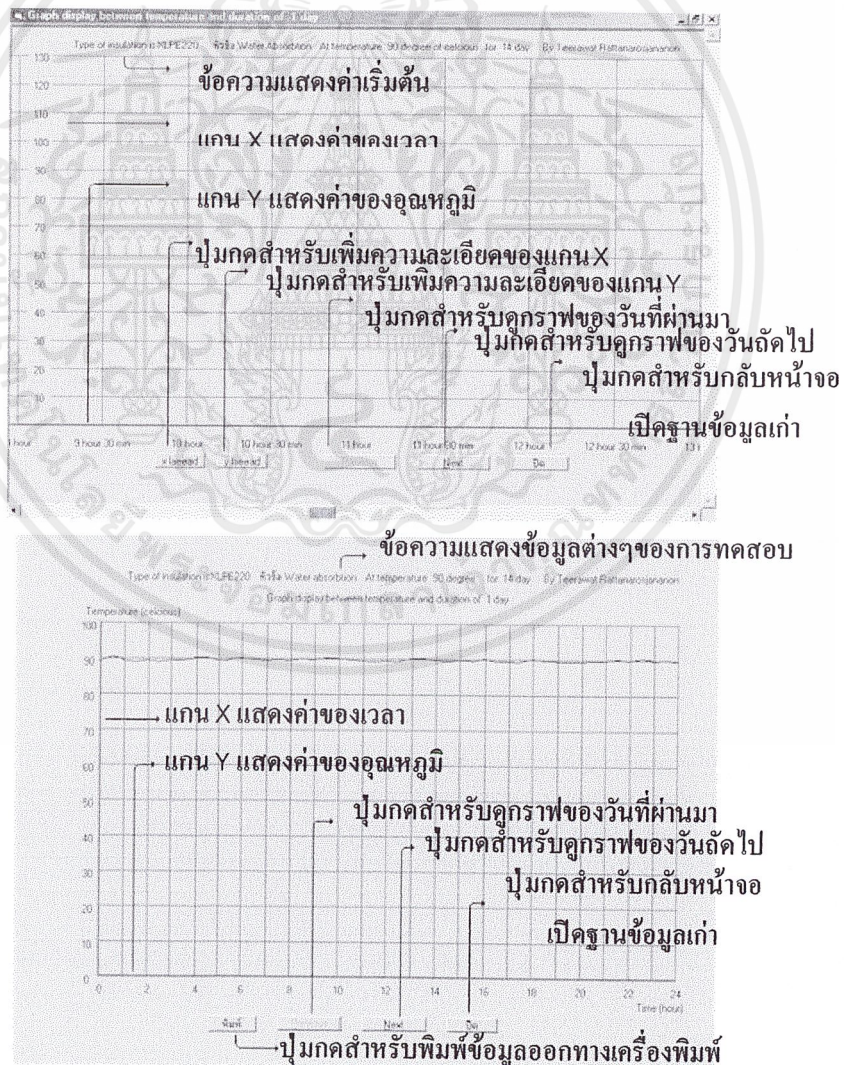
รูปที่ 3.23 แสดงหน้าจอเปิดฐานข้อมูลเก่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.6 หน้าจอแสดงกราฟจากฐานข้อมูลเก่า

หน้าจอแสดงกราฟจากฐานข้อมูลเก่า ประกอบไปด้วย ข้อความแสดงค่าเริ่มต้นต่างๆ , กราฟที่สามารถแสดงผลได้เป็นระยะเวลา 1 วัน โดยมีแกน Y เป็นค่าอุณหภูมิและแกน X เป็นค่าเวลา , ปุ่มกดสำหรับเพิ่มความละเอียดของแกน X , ปุ่มกดสำหรับเพิ่มความละเอียดของแกน Y , ปุ่มกดสำหรับดูกราฟของวันที่ผ่านมา , ปุ่มกดสำหรับดูกราฟของวันถัดไป และ ปุ่มกดสำหรับกลับหน้าจอเปิดฐานข้อมูลเก่า เป็นหน้าจอที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับไฟล์ฐานข้อมูลที่ได้ระบุเอาไว้จากหน้าจอเปิดฐานข้อมูลเก่าแล้วนำข้อมูลเหล่านั้นมาแสดงผลในรูปแบบของกราฟหน้าจอละ 1 วัน โดยสามารถเลือกดูวันต่างๆ ได้จากปุ่ม Next และ ปุ่ม Previous

หน้าจอแสดงกราฟเพื่อพิมพ์ข้อมูลใน 1 วัน ประกอบไปด้วยข้อความแสดงข้อมูลต่างๆ ของการทดสอบ และปุ่มกดต่างๆ เหมือนกันกับหน้าจอแสดงกราฟจากฐานข้อมูลเก่า แต่มีปุ่มกดสำหรับพิมพ์ข้อมูลออกทางเครื่องพิมพ์ขึ้นมาอีก 1 ปุ่ม โดยจะบีบแกนเวลาเข้ามาให้สามารถแสดงผลได้ 24 ชั่วโมงใน 1 หน้าจอ

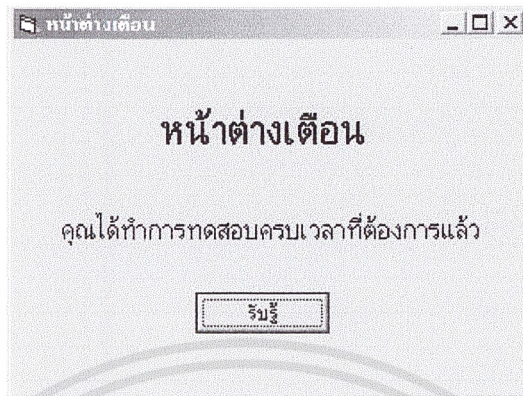


รูปที่ 3.24 หน้าจอแสดงกราฟจากฐานข้อมูลเก่าและหน้าจอแสดงกราฟเพื่อพิมพ์ข้อมูลใน 1 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.7 หน้าจอแสดงการเตือนเมื่อครบเวลาการทดสอบ

หน้าจอนี้จะแสดงเมื่อระยะเวลาที่ทำการทดสอบครบตามกำหนดแล้ว ซึ่งส่วนประกอบของหน้าจอประกอบด้วย ข้อความเตือน และปุ่มรับรู้ว่าได้ทดสอบครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว



รูปที่ 3.25 หน้าจอแสดงการเตือนเมื่อครบเวลาการทดสอบ

3.5.8 หน้าจอแสดงการเตือนเมื่อระดับน้ำต่ำกว่าปกติ

หน้าจอนี้จะแสดงเมื่อ ระบบเติมรักษาระดับน้ำ ไม่สามารถเติมน้ำให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ ซึ่งส่วนประกอบของหน้าจอประกอบด้วย ข้อความเตือน และปุ่มยกเลิกการทดสอบ



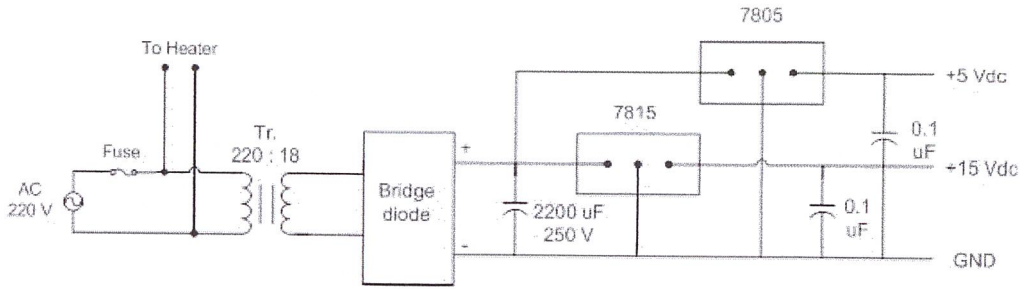
รูปที่ 3.26 หน้าจอแสดงการเตือนเมื่อระดับน้ำต่ำกว่าปกติ

3.6 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

3.6.1 วงจรจ่ายไฟ

สำหรับโครงการนี้ไฟกระแสตรงที่ใช้ในวงจรควบคุมต่าง ๆ มีอยู่ 2 ระบบ คือ +5 และ +15 โวลต์ โดยออกแบบให้ใช้วงจรเรกกูเรเตอร์เป็นแหล่งจ่ายไฟเพราะทำงานง่าย และวงจรต่าง ๆ ที่ใช้ก็ต้องการกระแสไม่มากนัก ซึ่งวงจรที่ใช้แสดงได้ดังรูปด้านล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 วงจรจ่ายไฟกระแสตรง

3.6.2 พิกัดกระแสของอุปกรณ์

สำหรับโหลดที่มีในโครงการแยกได้ 2 ส่วน คือ

1. ฮีตเตอร์ ใช้กระแส = $600 \text{ W} / 220 \text{ V} = 2.73 \text{ A}$
2. ส่วนควบคุมอื่น ๆ ใช้กระแสประมาณ 1 A

เพราะฉะนั้น หม้อแปลงที่ใช้ต้องมีพิกัดกระแสมากกว่า 1 A และ
ฟิวส์ ต้องมีพิกัดประมาณ 4 A

3.7 การออกแบบการจัดวางอุปกรณ์

ในการนำส่วนประกอบต่าง ๆ มาประกอบเข้าด้วยกัน จะมีหลักการและแนวคิดในแต่ละส่วน ดังนี้

3.7.1 บีกเกอร์และส่วนจับยึดชิ้นงาน

ส่วนจับยึดชิ้นงานจะถูกนำมาแขวนผ่านรูของฝาแก้วปิดบีกเกอร์ แล้วฝาแก้วปิดบีกเกอร์ก็จะวางปิดปากบีกเกอร์อีกทีหนึ่ง

บีกเกอร์จะถูกวางอยู่ด้านในของฉนวนกันความร้อน โดยสามารถยกเข้า/ออกได้ เพื่อความสะดวกในการทำความสะอาดบีกเกอร์



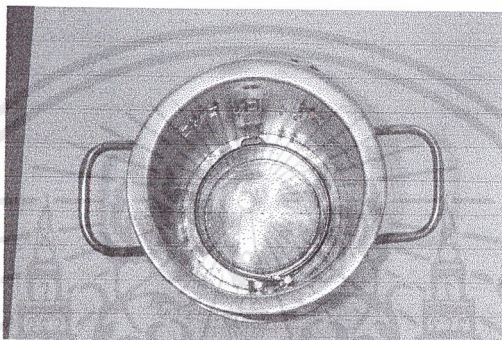
รูปที่ 3.28 การจัดวางบีกเกอร์และส่วนจับยึดชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.2 ฮีตเตอร์

ฮีตเตอร์รัศมีท่อจะวางไว้ด้านในของฉนวนกันความร้อน ซึ่งถูกออกแบบให้บริเวณกันของฉนวนกันความร้อนมีวงแหวนยกระดับขึ้นมา 3 เซนติเมตรจากกันฉนวน เพื่อเอาไว้วางฮีตเตอร์ (ดังนั้นเวลาใช้งานฮีตเตอร์จะรัศมีอยู่รอบบีกเกอร์ สูงจากกันบีกเกอร์ 3 เซนติเมตร) นอกจากนั้นยังทำการเจาะรูฉนวนกันความร้อนให้ทะลุออกมาภายนอก ในระดับเดียวกับวงแหวน เพื่อเอาไว้ร้อยสายไฟของฮีตเตอร์ออกมาสู่แผงวงจร

ดังนั้นเวลาใช้งาน ฮีตเตอร์ก็จะถูกวางอยู่ด้านในของฉนวนกันความร้อนตลอดเวลา ซึ่งจะช่วยให้สะดวกในการยกบีกเกอร์เข้า/ออก



รูปที่ 3.29 การจัดวางฮีตเตอร์

3.7.3 แผงยึดแผงวงจร

แผงวงจรที่ใช้ทั้งหมดในโครงการ ซึ่งได้แก่

1. วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์
2. วงจรขับเคลื่อนความร้อนด้วยวิธีฟอสคอนโทรล
3. วงจรขยายสัญญาณเทอร์โมคัปเปิล
4. วงจรควบคุมระดับน้ำ
5. วงจรจ่ายไฟกระแสตรง

โดยจะแยกแต่ละวงจรให้เป็นอิสระต่อกัน แล้วเชื่อมโยงด้วยสายไฟ แทนที่จะทำเป็นแผงวงจรเดียวใหญ่ ๆ ก็เพราะว่า ต้องการให้มีความสะดวกในการแก้ไข, ปรับปรุง และซ่อมแซม ซึ่งจะสะดวกกว่าที่จะทำเป็นวงจรเดียวใหญ่

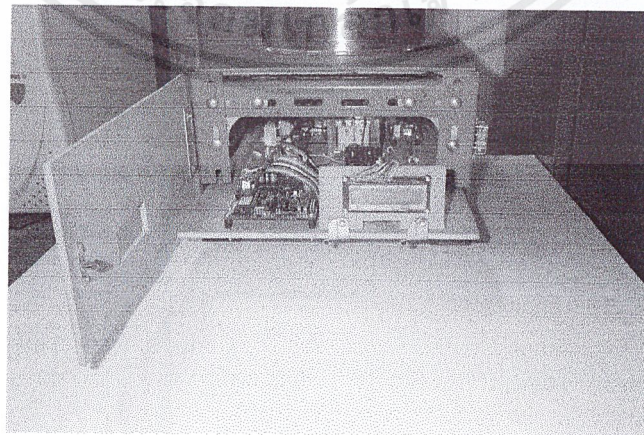
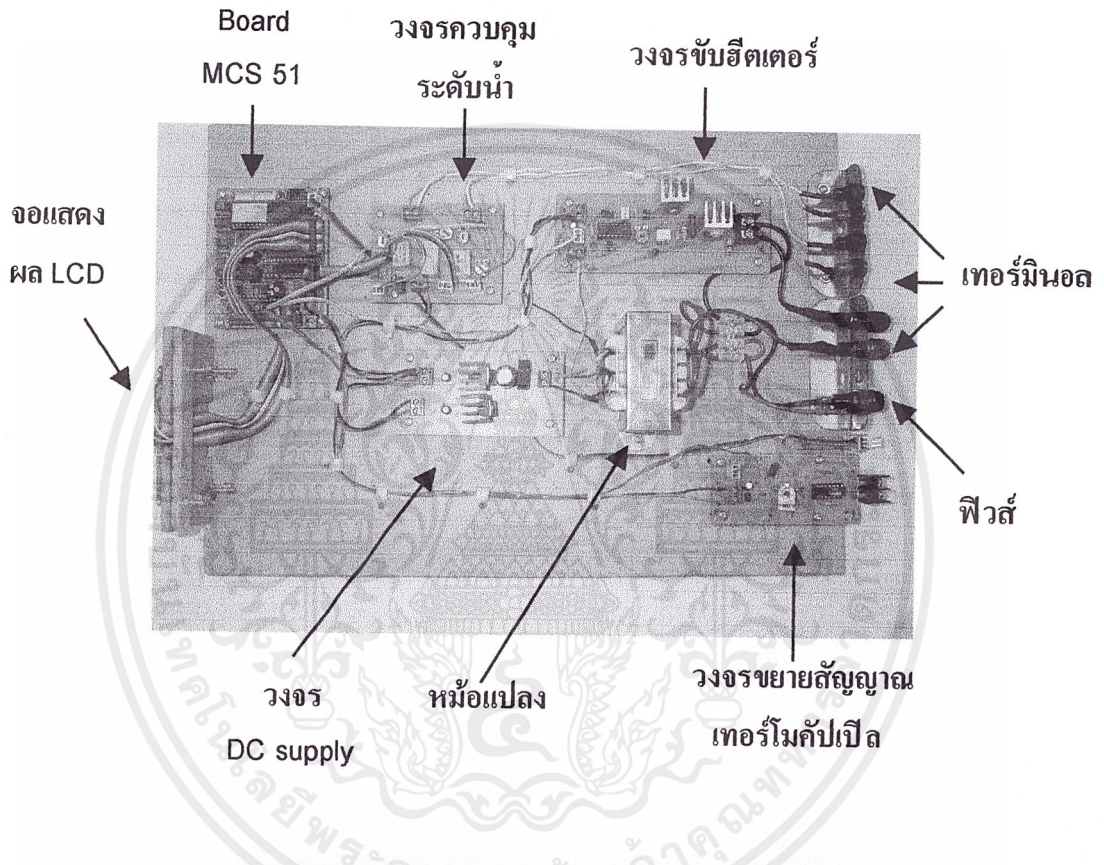
วงจรเหล่านี้จะถูกนำไปติดตั้งบนแผ่นไม้ขนาด 30 x 40 เซนติเมตร เพื่อให้สามารถนำไปวางไว้ใต้ตัวหม้อ ภายในโครงสร้างได้ นอกจากนี้ ยังมีอุปกรณ์เสริมอื่น ๆ อีกที่ติดตั้งอยู่บนแผ่นไม้ นี้ ได้แก่

1. ฟิวส์
2. หม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จอแสดงผล LCD
4. เทอร์มินอลของ เทอร์โมคัปเปิล, Serial Port, ฮีตเตอร์, ก้านอิเล็กทรอนิกส์, โซลินอยด์ วาล์ว
5. ตลับเก็บสายไฟ

และเพื่อความสะดวกในการตรวจสอบและซ่อมแซม จึงได้ออกแบบให้แผงยึดแผงวงจรนี้ สามารถดึงเข้า/ออกจากตัวโครงสร้างได้อย่างอิสระ โดยรูปแบบและตำแหน่งการติดตั้งแสดงได้ดังรูปต่อไปนี้



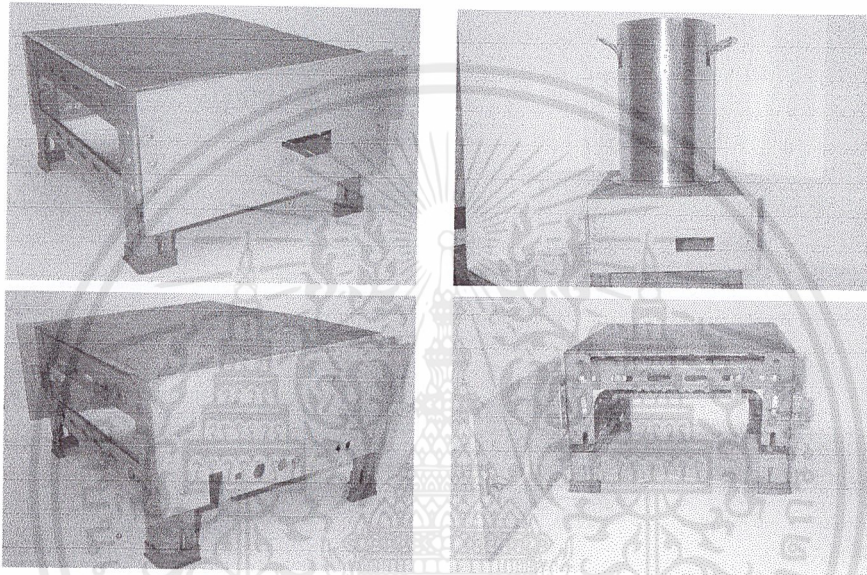
รูปที่ 3.30 การจัดวางแผงวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.4 โครงสร้างสำหรับวางตัวหม้อและแผงวงจร

โครงสร้างสำหรับวางตัวหม้อและแผงวงจรทำจากเหล็กฉากประกอบขึ้นรูป มีขนาด กว้าง/ยาว/สูง เท่ากับ 31 / 41 / 20 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยออกแบบให้มี 2 ชั้น

1. ชั้นบน - ใช้แผ่นไม้ทำเป็นพื้น เพื่อเอาไว้วางฉนวนกันความร้อนและตัวหม้อ โดยจะยึดฉนวนกันความร้อนให้ติดอยู่กับแผ่นไม้
2. ชั้นล่าง - เอาไว้วางแผงยึดแผงวงจร โดยแผงนี้สามารถดึงเข้าออกได้อย่างอิสระ นอกจากนี้ยังได้ใช้แผ่นไม้ปิดด้านหลังของโครงสร้าง และทำเป็นประตูปิดด้านหน้า เพื่อความเรียบร้อยอีกด้วย



รูปที่ 3.31 โครงสร้างสำหรับวางตัวหม้อและแผงวงจร

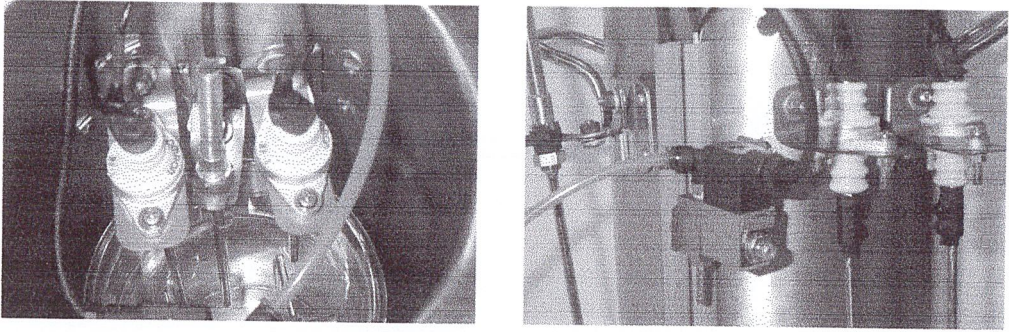
3.7.5 เทอร์โมคัปเปิล, โซลินอยด์วาล์ว และก้านอิเล็กทรอนิกส์

อุปกรณ์เหล่านี้จะถูกยึดติดอยู่กับส่วนจับยึดอุปกรณ์ โดยแยกของใครของมัน เพื่อความสะดวกในการติดตั้ง ซึ่งในการติดตั้งเข้ากับตัวฉนวนกันความร้อนนั้นจะแบ่งได้ 2 ลักษณะคือ

1. ขณะใช้งาน - จะนำส่วนจับยึดอุปกรณ์ มาประกอบเข้ากับส่วนฐานที่ติดอยู่ด้านในของฉนวนกันความร้อน โดยได้ทำการวัดระดับความสูงในการประกอบให้เหมาะสมกับการใช้งานเรียบร้อยแล้ว
2. ขณะไม่ใช้งาน - จะยกส่วนจับยึดอุปกรณ์ออกมาประกอบเข้ากับส่วนฐานที่ติดอยู่ด้านนอกของฉนวนกันความร้อน เพื่อให้สามารถยกปีกเกอร์เข้า/ออกจากฉนวนกันความร้อนได้สะดวก

สำหรับสายไฟของอุปกรณ์เหล่านี้ จะเดินในรางพลาสติกที่ติดไว้ด้านข้างฉนวนกันความร้อน โดยจะแยกเป็น 2 ราง คือ รางแรกให้สายของเทอร์โมคัปเปิลอยู่เดี่ยว ๆ เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน รางที่สองจะประกอบด้วยสายของโซลินอยด์วาล์ว 2 เส้น และสายของก้านอิเล็กทรอนิกส์ 2 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.32 การจัดวางส่วนจับยึดอุปกรณ์เข้ากับฉนวนกันความร้อน

3.7.6 ถังน้ำสำรอง

ถังน้ำสำรองถูกออกแบบมาเพื่อเอาไว้เก็บน้ำ ที่จะเติมใส่บีกเกอร์ โดยใช้หลักการไหลของเหลวจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำในการออกแบบ โดยจะวางถังน้ำไว้ในระดับที่สูงกว่าบีกเกอร์ (ให้ก้นของถังน้ำสูงกว่าปากฉนวนกันความร้อนมากกว่า 30 เซนติเมตร) แล้วจึงต่อท่อลงผ่านโซลินอยด์วาล์ว ซึ่งถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิด/ปิดน้ำ ก่อนลงสู่บีกเกอร์ต่อไป

สำหรับถังน้ำสำรองที่ใช้มีขนาด 30 ลิตร ซึ่งเพียงพอต่อการเติมน้ำเป็นระยะเวลา 1 วันครึ่ง ทำให้เสียเวลาคนมาเติมน้ำในภาชนะนี้เพียงวันละ 1 ครั้ง



รูปที่ 3.33 การจัดวางถังน้ำสำรอง

บทที่ 4

ผลการทดลอง

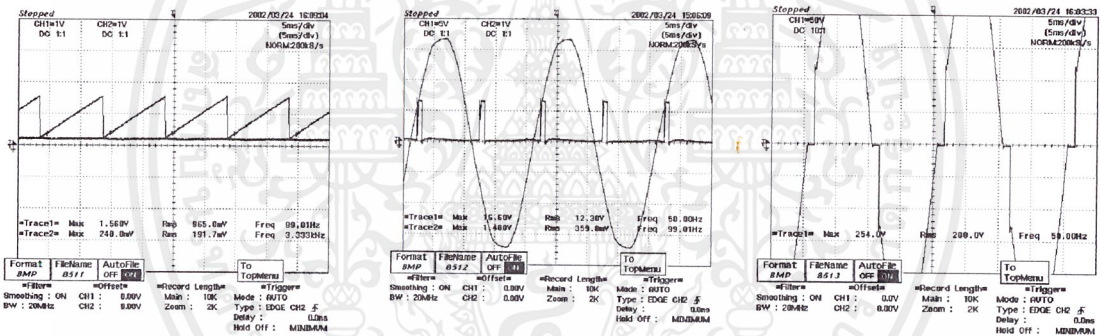
4.1 ผลการควบคุมขดลวดทำความร้อน

รูปต่อไปนี้เป็นผลการควบคุมแรงดันขั้วขดลวดทำความร้อน ด้วยวิธีเฟสคอนโทรล โดยแต่ละรูปมีความหมายดังนี้

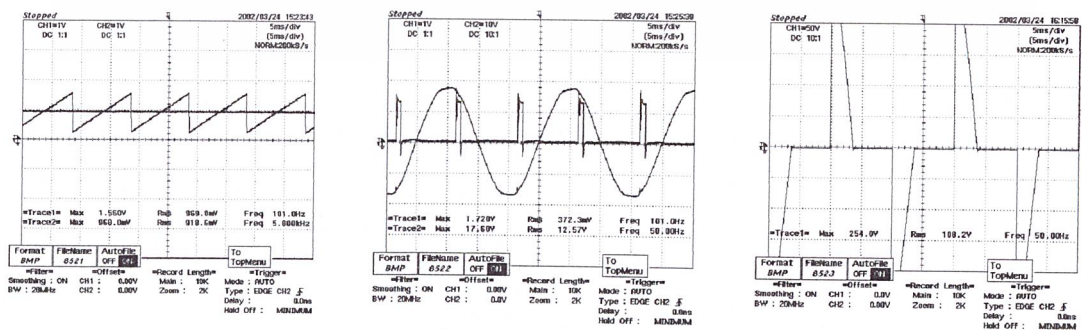
รูปด้านซ้ายมือ - แสดงรูปสัญญาณควบคุมที่ระดับต่าง ๆ ตัดกับสัญญาณลาดเอียง เพื่อนำไปสร้างสัญญาณพัลส์

รูปกลาง - แสดงรูปสัญญาณพัลส์ ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่สัญญาณควบคุม ตัดกับสัญญาณลาดเอียง โดยนำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณแรงดันอินพุท

รูปด้านขวามือ - แสดงรูปสัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่รวมฮีตเตอร์ โดยสัญญาณที่ได้จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของสัญญาณพัลส์ที่ตัดกับสัญญาณแรงดันอินพุท

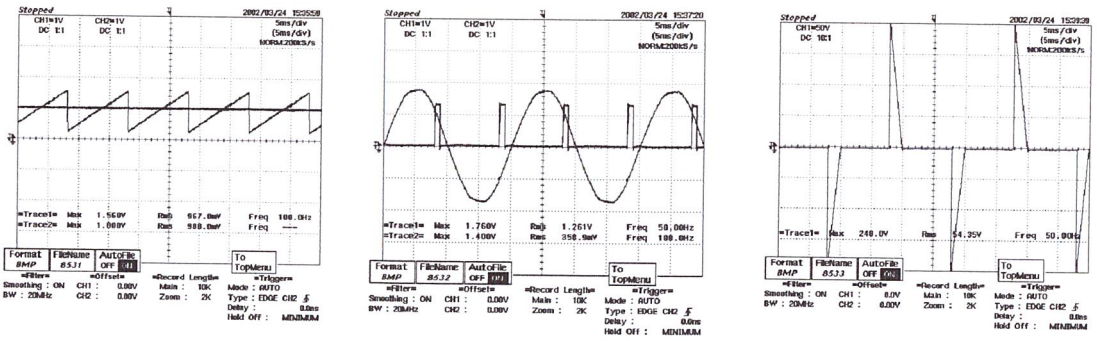


รูปที่ 4.1 รูปสัญญาณในช่วงเริ่มทดสอบที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส



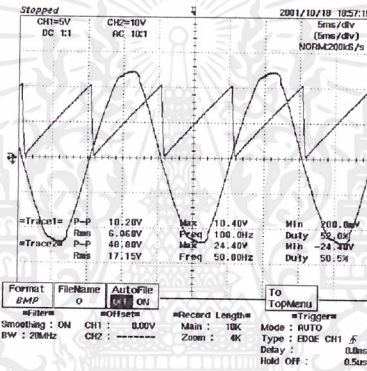
รูปที่ 4.2 รูปสัญญาณในช่วงอุณหภูมิเข้าใกล้ 85 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



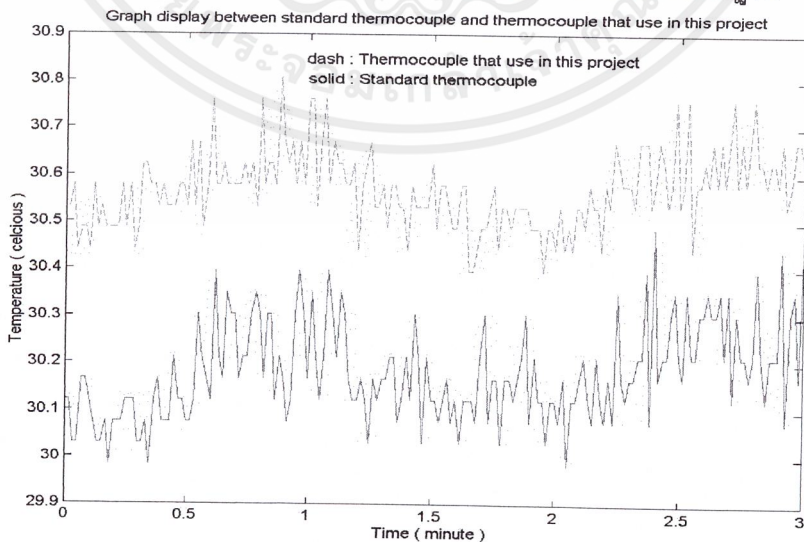
รูปที่ 4.3 รูปสัญญาณในช่วงอุณหภูมิคงที่ ที่ 85 องศาเซลเซียส

รูปสัญญาณต่อไปนี้จะแสดงการ Synchronization สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (รูปคลื่น Sine) เพื่อนำไปสร้างสัญญาณภาคเอียง (รูปคลื่นสามเหลี่ยม) ที่มีเฟสตรงกับแรงดันอินพุต และเป็นเชิงเส้นกับมุมเฟสของแรงดันอินพุต



รูปที่ 4.4 การ Synchronization สัญญาณ เพื่อนำไปสร้างสัญญาณภาคเอียง

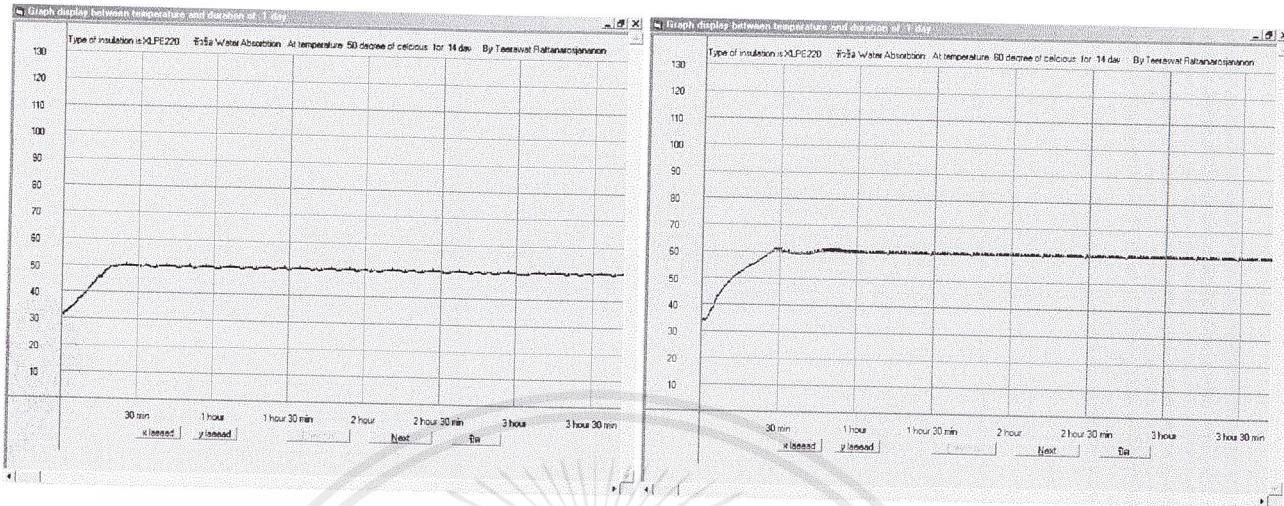
4.2 ผลการเปรียบเทียบเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้ในโครงการกับเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน



รูปที่ 4.5 แสดงกราฟการเปรียบเทียบระหว่างเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้ในโครงการกับมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการควบคุมอุณหภูมิในระดับต่าง ๆ ตั้งแต่ 50 – 90 องศาเซลเซียส

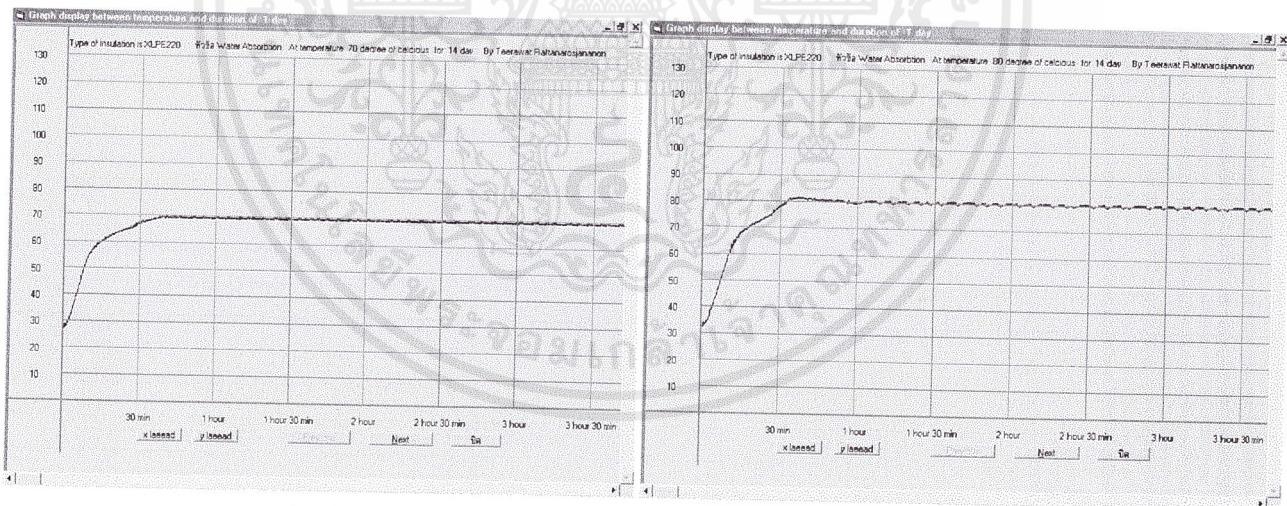


(ก)

(ข)

รูปที่ 4.6 (ก) แสดงกราฟการควบคุมอุณหภูมิของหม้อต้มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

(ข) แสดงกราฟการควบคุมอุณหภูมิของหม้อต้มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



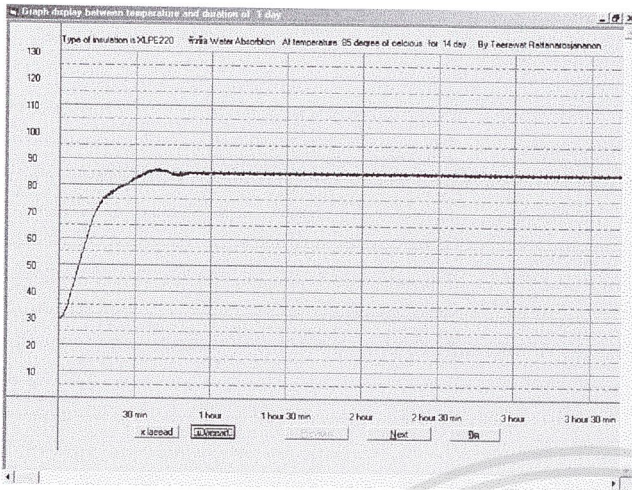
(ก)

(ข)

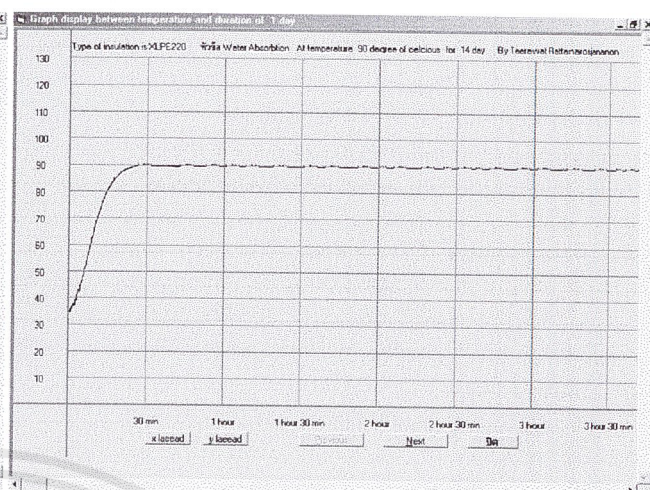
รูปที่ 4.7 (ก) แสดงกราฟการควบคุมอุณหภูมิของหม้อต้มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

(ข) แสดงกราฟการควบคุมอุณหภูมิของหม้อต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



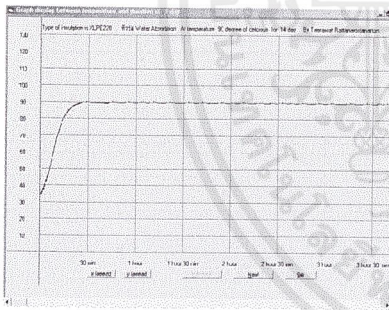
(ก)



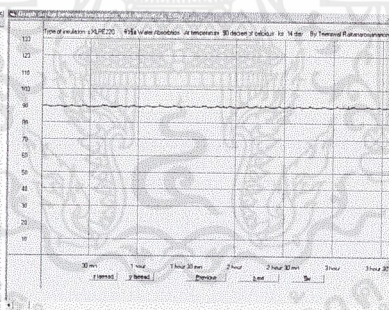
(ข)

รูปที่ 4.8 (ก) แสดงกราฟการควบคุมอุณหภูมิของหม้อต้มที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส
 (ข) แสดงกราฟการควบคุมอุณหภูมิของหม้อต้มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

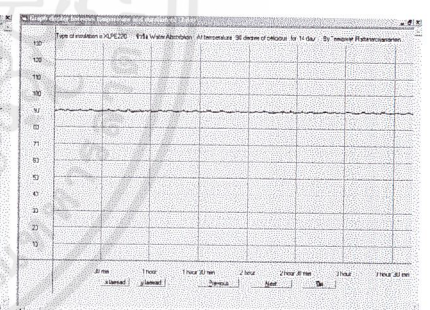
4.4 ผลการควบคุมอุณหภูมิของหม้อต้มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน



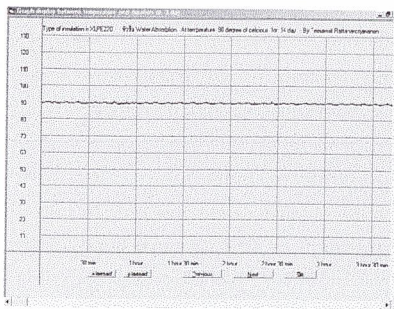
วันที่ 1



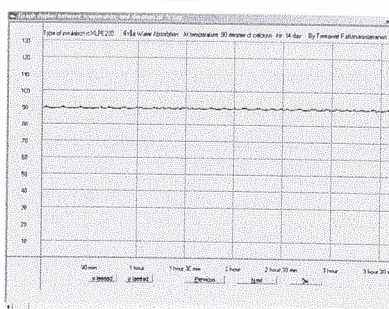
วันที่ 2



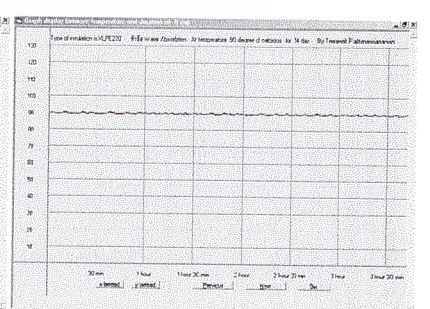
วันที่ 3



วันที่ 4



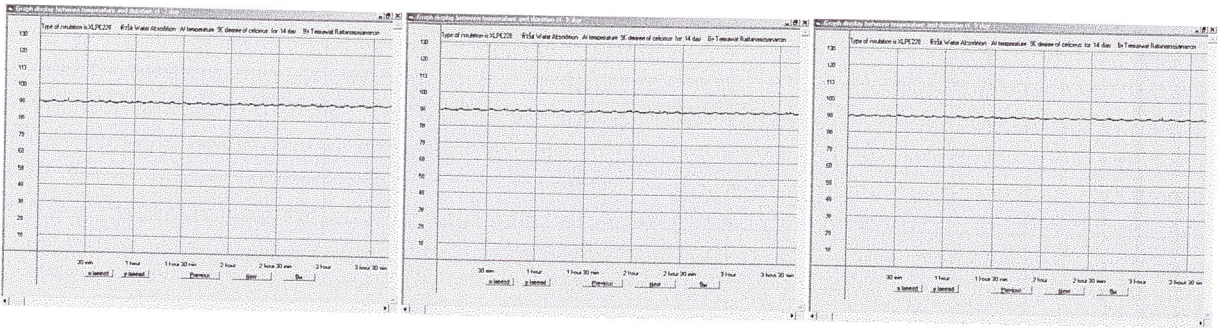
วันที่ 5



วันที่ 6

รูปที่ 4.9 แสดงกราฟการควบคุมอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส ของวันที่ 1 - 6

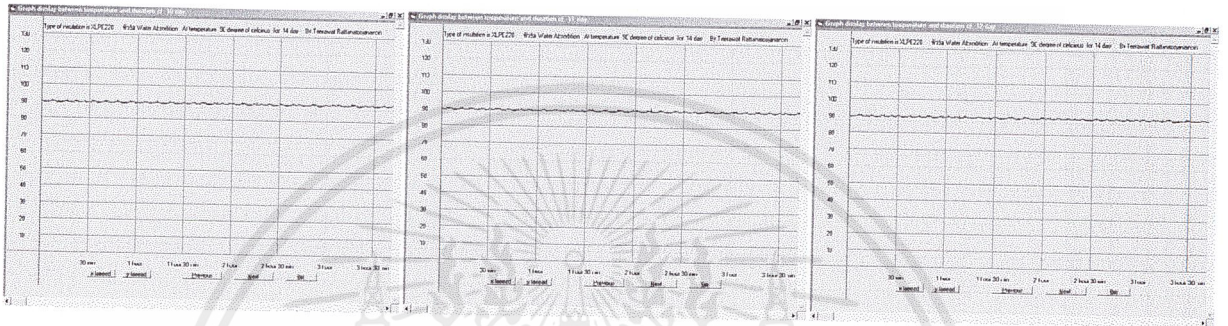
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วันที่ 7

วันที่ 8

วันที่ 9



วันที่ 10

วันที่ 11

วันที่ 12



วันที่ 13

วันที่ 14

รูปที่ 4.10 แสดงกราฟการควบคุมอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส ของวันที่ 7 – 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้โดยประมาณ

ตารางที่ 4.1 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้โดยประมาณ

ระยะเวลาในแต่ละช่วงของการทดสอบ โดยประมาณ ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส	กระแส (แอมแปร์)
15 นาทีแรก (ช่วงเริ่มทดสอบ)	2.4
15 นาทีต่อมา (ช่วงอุณหภูมิเข้าใกล้ 85 องศาเซลเซียส)	1.2
ระยะเวลาที่เหลือ (ช่วงอุณหภูมิคงที่ ที่ 85 องศาเซลเซียส)	0.9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการออกแบบตัวหม้อ

จากที่ได้ออกแบบตัวหม้อ สามารถบรรจุชิ้นงานได้อย่างน้อย 30 ชิ้นจริง และจากที่ได้ใช้จนวนกันความร้อนในการรักษาความร้อน ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในตัวหม้อได้คงที่ยิ่งขึ้น และในส่วนของ การจับยึดอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ (เทอร์โมคัปเปิล , ก้านอิเล็กทรอนิกส์ และ โซลีนอยด์วาล์ว) นั้น สามารถถอดเข้าถอดออกได้ง่ายทำให้สะดวกในการใช้งานและการซ่อมบำรุง

5.2 สรุปผลการควบคุมอุณหภูมิ

ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ได้ คือ สามารถควบคุมอุณหภูมิได้คงที่ไม่เกิน ± 2 องศาเซลเซียส (ตามที่มีมาตรฐานได้กำหนดเอาไว้) ภายในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 50 – 90 องศาเซลเซียส และค่าอุณหภูมิที่วัดได้เบี่ยงเบนจากค่าที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐาน ไม่เกิน 0.5 องศาเซลเซียส

สำหรับช่วงเวลาในการเพิ่มอุณหภูมิน้ำจากอุณหภูมิห้องไปจนถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้ จะใช้เวลาประมาณ 20 – 40 นาที โดยจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ตั้งไว้, อุณหภูมิของน้ำก่อนต้ม และอุณหภูมิห้องในขณะทำการทดสอบ

5.3 สรุปผลการควบคุมระดับน้ำ

สามารถควบคุมระดับน้ำให้อยู่ในระดับที่ท่วมชิ้นงานได้ตลอดเวลา โดยไม่ทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปมาก เนื่องจากปริมาณน้ำที่เติมเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่อยู่ในบีกเกอร์อยู่ก่อนแล้ว ถือว่าการเติมในแต่ละครั้งมีปริมาณที่น้อยมาก อีกทั้งยังสามารถป้องกันน้ำแห้งหรือน้ำล้นได้ โดยเสียเวลาในการเติมน้ำสำรองเพียง 2 วันต่อครั้ง

5.4 สรุปผลการควบคุมเวลา

การควบคุมเวลา สามารถควบคุมเวลาได้ตามที่กำหนดไว้ในค่าเริ่มต้นตอนเริ่มต้นทดสอบ โดยเมื่อตรวจสอบดูแล้วว่าได้ทำการทดสอบครบตามเวลาที่กำหนดไว้แล้ว จะยังทำการต้มต่อไปได้อีก 1 วัน จนกว่าจะคนเข้ามารับรู้ครบเวลาแล้ว จึงจะหยุดการควบคุมอุณหภูมิเพราะถ้าหากหยุดการควบคุมอุณหภูมิเลยจะทำให้ผลการทดสอบการชั่งน้ำหนักในขั้นตอนต่อไปผิดพลาดได้ (เพราะในมาตรฐานระบุเอาไว้ว่าให้นำออกมาจากหม้อต้มในขณะที่ยังรักษาอุณหภูมิอยู่ แล้วจึงนำมาชั่งน้ำหนักเป็นขั้นตอนต่อไปเลย)

5.5 สรุปผลการแสดงผล และเก็บผลการทดลอง

ในส่วนของการแสดงผล สามารถแสดงผลการทดลองออกมาเป็นกราฟระหว่างค่าอุณหภูมิ และค่าเวลาโดยจะแสดงผลในทุกๆ วินาที และในทุกๆ 5 วินาที จะนำค่าอุณหภูมิไปเก็บในชื่อไฟล์ ที่ตั้งเอาไว้โดยจะจัดเก็บเป็น ไฟล์ของ Microsoft access ซึ่งจะทำให้การบันทึกข้อมูลเองทุกครั้งที่มีข้อมูล เปลี่ยนแปลง

5.6 สรุปคุณสมบัติของเครื่อง

- ใช้สำหรับทดสอบจนวนสายเคเบิล ตามมาตรฐาน IEC 60502 หัวข้อ Water absorption
- ทดสอบชิ้นงาน ได้ครั้งละ 30 –50 ชิ้น โดยที่ชิ้นงานแต่ละชิ้น ไม่สัมผัสกัน
- ตั้งงาน, แสดงผล และเก็บข้อมูล ด้วยคอมพิวเตอร์ ผ่านทางพอร์ตอนุกรม (RS232)
- ควบคุมการทำงานด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C51RD+
- ควบคุมอุณหภูมิของน้ำได้คงที่ ± 2 องศาเซลเซียส ภายในช่วงอุณหภูมิ 50 – 90 องศาเซลเซียส
- เติมน้ำได้อัตโนมัติ (ใช้คนเติมน้ำในถังน้ำสำรอง 2 วัน ต่อครั้ง)
- ให้ความร้อนในการทดสอบด้วยฮีตเตอร์รัศพอขนาด 600 วัตต์
- ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์

5.7 แนวทางในการพัฒนาโครงการในอนาคต

1. เนื่องจากการควบคุมแรงดันจ่ายขดลวดความร้อน ใช้การควบคุมแบบเฟสคอนโทรล ทำให้คาดว่าจะมีสัญญาณฮาร์โมนิกเกิดขึ้น

ข้อเสนอแนะ คือ ควรออกแบบวงจรกรองสัญญาณขึ้นมาเพื่อลดสัญญาณฮาร์โมนิกดังกล่าวลง หรือเปลี่ยนวงจรควบคุมแรงดันจ่ายขดลวดความร้อนเป็นแบบอื่น ที่ไม่มีผลกระทบต่อค่าฮาร์โมนิก

2. สำหรับหม้อต้มนี้เวลาใช้งานจริง จำเป็นต้องใช้งานคู่กับคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บข้อมูลของอุณหภูมิตลอดเวลาที่ทำการทดสอบชิ้นงาน ทำให้ต้องลำบากหากคอมพิวเตอร์มาใช้ในงานนี้โดยเฉพาะ ไม่สามารถเคลื่อนย้ายไปไหนได้ตลอดระยะเวลาการทดสอบ

ข้อเสนอแนะ คือ ควรออกแบบให้ส่วนประมวลผลมีวงจร หน่วยความจำภายนอก (เช่น แรม เป็นต้น) เพิ่มเข้ามา โดยให้เก็บข้อมูลขณะทดสอบลงในหน่วยความจำนี้เลย และสามารถถ่ายโอนข้อมูลเหล่านี้เข้าสู่คอมพิวเตอร์ได้ทุกเวลาที่ต้องการ

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
มาตรฐานการทดสอบฉนวนสายไฟฟ้าหัวข้อ Water Absorbtion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.2 Gravimetric water absorption test

9.2.1 Preparation of test piece

- a) For cables with conductors of nominal cross-sectional area equal to or less than 25 mm^2 and rated voltage up to and including 0,6/1 kV:

Each test piece shall be a piece of core approximately 300 mm in length.

- b) For all other cables:

Slices of 0,6 mm to 0,9 mm thickness shall be ground or cut in the insulation with surfaces approximately parallel and free from roughness.

Test pieces 80 mm to 100 mm long and 4 mm to 5 mm wide shall be punched out of the slices.

- c) Two test pieces shall be prepared from each core to be tested.

9.2.2 Testing procedure

- a) For test pieces as in Item a) of 9.2.1:

Clean the surface of the test piece by rubbing with a filter paper moistened with water.

Allow the test piece to dry at $(70 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ to constant weight. It may also be allowed to dry by placing it for 24 h in a low-pressure oven at not more than 6,6 mbar and $(70 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$. Cool the sample in a desiccator.

Weigh the test piece to within 0,1 mg. Let M1 be the mass in milligrams.

Wind the test piece around a mandrel, whose diameter is at least six to eight times that of the test piece, so as to bend it to a U shape and force the ends through apertures bored in the cover of a suitable glass vessel. Only the two test pieces of the same core should be in the glass vessel.

Adjust the position of the test piece such that 250 mm of its length is immersed when the vessel is filled with water up to the edge of the fitted cover.

Use preboiled distilled water.

Allow the test piece to remain at the temperature and for the time specified in the product standard. If the time is not specified, it shall be two weeks for specified thicknesses up to 1,0 mm, three weeks for thicknesses between 1,1 mm and 1,5 mm, and four weeks for thicknesses above 1,5 mm. If the temperature is not specified, it shall be the maximum conductor temperature minus $5 \text{ }^\circ\text{C}$, but not exceeding $90 \text{ }^\circ\text{C}$. The water level shall be maintained up to the inside surface of the cover.

Now allow the water to cool to ambient temperature. Remove the test piece and shake off any drops of water adhering to it, wipe lightly with a filter paper and weigh to the nearest milligram within 2 min to 3 min of its being removed from the water. Let M2 be the new mass in milligrams.

Finally, dry out the test piece under the same conditions as were used before immersion, i.e. using whichever of the two alternative methods described above had been used before the first weighing. Let M3 be the final mass in milligrams.

b) For test pieces as in Item b) of 9.2.1:

The test pieces, with thoroughly cleaned surfaces, shall be heated at (70 ± 2) °C under vacuum (residual pressure close to 1 mbar) for 72 h. Materials of substantially different compositions shall not be treated in the same cell or oven at the same time.

After this treatment, the test pieces shall be cooled for 1 h in a desiccator and weighed to the nearest 0,1 mg (mass M1).

The test pieces shall then be immersed in deionized (or distilled) water at the temperature and for the time specified in the standard for the type of cable. If the temperature is not specified, it shall be the maximum conductor temperature minus 5 °C, but not greater than 90 °C. Each test piece shall be completely immersed in a separate glass to be equipped with a condenser, or in a beaker covered with a glass lid.

If a condenser is used, its upper part shall be covered with aluminium foil to prevent any contamination.

After the time specified in the standard for the type of cable, or after 14 days if the time is not specified in the cable standard, the test pieces shall be transferred into deionized (or distilled) water at room temperature and kept there to cool. Then each test piece shall be removed from the water, shaken to detach any adherent drops, dried with special filter paper leaving no fibres, and weighed to the nearest 0,1 mg (mass M2). Finally the test piece shall be treated under the same conditions as were used before immersion. Let M3 be the final mass in milligrams.

9.2.3 Expression of results

a) The mass variation in milligrams shall be calculated from one of the following formulae:

1) if the final mass M3 is less than M1:

$$(M2 - M3)/A$$

2) if the final mass M3 is greater than M1:

$$(M2 - M1)/A$$

where A is, for test pieces as in item a) of 9.2.1, the surface area in square centimetres of the 250 mm long immersed portion of sample, and, for test pieces as in item b) of 9.2.1, the total surface area of the immersed test piece in square centimetres.

b) The mean value of the mass variation of the two test pieces shall be recorded as the value for the core.

10 Shrinkage test for insulation

10.1 Sampling

One sample about 1,5 L mm in length of each core to be tested shall be taken at least 0,5 m away from the end of the cable length.

L is the length given in the relevant cable standard.

10.2 Preparation of test pieces

All coverings, except adherent, extruded semi-conducting screens, if any, shall be removed from the samples of insulated conductor without delay.

Within an interval of not more than 5 min from the time of cutting the samples, a test length of $L \pm 5$ mm shall be marked on the middle part of each piece of core. The distance between the marks shall be measured to an accuracy of 0,5 mm. Each test piece shall then be prepared by cutting and removing the insulation from both ends of each sample up to positions between 2 mm and 5 mm away from the marks.

10.3 Procedure

The test pieces shall be supported horizontally in an air oven by the bare ends of conductors or on the surface of a talc bath, to permit free movement of the insulation. They shall be heated at the temperature and for the time specified in the standard for the type of cable.

The test pieces shall then be allowed to cool in air to room temperature and the distance between the two marks on each piece measured again to the nearest 0,5 mm.

10.4 Expression of results

The difference between the distances between the marks before the heat treatment and after the heating and cooling shall be recorded as a percentage of the distance between the marks before the treatment.

11 Shrinkage test for PE sheaths

11.1 Test equipment

Oven electrically heated and naturally ventilated.

Measuring tape with a scale division of 1 mm.

11.2 Sampling

The cable to be tested shall be stored for at least 24 h at room temperature before the test.

One sample (500 ± 5) m in length shall be taken at least 2 m away from the end of the cable length.

11.3 Preparation of test pieces

The initial length of the sheath (L_1) shall be determined, immediately after cutting, as the mean value of two measurements. These shall be made longitudinally and parallel to the cable sample axis between diametrically opposite marks on the ends of the sample. If the sample is bent, these measurements shall be taken on the inside and outside of the bend.

11.4 Test procedure

The test piece shall be supported horizontally in an oven preheated to the temperature specified in the standard for the type of cable. The test piece should remain in the oven for a time specified in the standard for the type of cable.

The test piece shall then be removed from the oven and allowed to cool in air at room temperature. This thermal cycle shall be carried out five times. After cooling to room temperature, the final length of the sheath (L_2) shall be determined as described in 11.3.

11.5 Expression of results

The percentage shrinkage (ΔL) is calculated using the following:

$$\Delta L = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100 \%$$



NORME
INTERNATIONALE

CEI
IEC

INTERNATIONAL
STANDARD

60502-1

Première édition
First edition
1997-04

Câbles d'énergie à isolant extrudé et leurs
accessoires pour des tensions assignées
de 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) à 30 kV ($U_m = 36$ kV) –

Partie 1:
Câbles de tensions assignées de 1 kV
($U_m = 1,2$ kV) et 3 kV ($U_m = 3,6$ kV)

Power cables with extruded insulation and
their accessories for rated voltages from
1 kV ($U_m = 1,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV) –

Part 1:
Cables for rated voltages of 1 kV
($U_m = 1,2$ kV) and 3 kV ($U_m = 3,6$ kV)

© IEC 1997 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée
sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique
ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans
l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in
any form or by any means, electronic or mechanical, including
photocopying and microfilm, without permission in writing from
the publisher.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site: <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

X

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
Clause	
1 Scope	7
2 Normative references	7
3 Definitions	9
4 Voltage designations and materials	11
5 Conductors	15
6 Insulation	15
7 Assembly of multicore cables, inner coverings and fillers	19
8 Metallic layers for single-core and multicore cables	23
9 Metallic screen	23
10 Concentric conductor	25
11 Lead sheath	25
12 Metallic armour	27
13 Oversheath	33
14 Test conditions	35
15 Routine tests	35
16 Sample tests	39
17 Type tests, electrical	45
18 Type tests, non-electrical	49
19 Electrical tests after installation	59
Annexes	
A Fictitious calculation method for determination of dimensions of protective coverings	77
B Rounding of numbers	89
C Determination of hardness of HEPR insulations	91

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER CABLES WITH EXTRUDED INSULATION AND THEIR ACCESSORIES
FOR RATED VOLTAGES FROM 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) UP TO 30 kV ($U_m = 36$ kV) –Part 1: Cables for rated voltages of 1 kV
($U_m = 1,2$ kV) and 3 kV ($U_m = 3,6$ kV)

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60502-1 has been prepared by subcommittee 20A: High-voltage cables, of IEC technical committee 20: Electric cables.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
20A/318/FDIS	20A/347/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

IEC 60502 consists of the following parts, under the general title: Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV):

- Part 1: Cables for rated voltages of 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) and 3 kV ($U_m = 3,6$ kV);
- Part 2: Cables for rated voltages from 6 kV ($U_m = 7,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV);
- Part 3: Reserved;
- Part 4: Test requirements on accessories for cables with rated voltages from 6 kV ($U_m = 7,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV).

Annexes A, B and C form an integral part of this standard.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POWER CABLES WITH EXTRUDED INSULATION AND THEIR ACCESSORIES FOR RATED VOLTAGES FROM 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) UP TO 30 kV ($U_m = 36$ kV) –

Part 1: Cables for rated voltages of 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) and 3 kV ($U_m = 3,6$ kV)

1 Scope

This part of IEC 60502 specifies the construction, dimensions and test requirements of power cables with extruded solid insulation of rated voltages 1 kV and 3 kV for fixed installations such as distribution networks or industrial installations.

Cables for special installation and service conditions are not included, for example cables for overhead networks, the mining industry, nuclear power plants (in and around the containment area), submarine use or shipboard application.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 60502. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 60502 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60038: 1983, *IEC standard voltages*

IEC 60060-1: 1989, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60183: 1984, *Guide to the selection of high-voltage cables*

IEC 60228: 1978, *Conductors of insulated cables*

IEC 60230: 1966, *Impulse tests on cables and their accessories*

IEC 60332-1: 1993, *Tests on electric cables under fire conditions – Part 1: Test on a single vertical insulated wire or cable*

IEC 60502-2: 1997, *Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV) – Part 2: Cables for rated voltages from 6 kV ($U_m = 7,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV)*

IEC 60724: 1984, *Guide to the short-circuit temperature limits of electric cables with a rated voltage not exceeding 0,6/1,0 kV*

IEC 60811-1-1: 1993, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 1: Methods for general application – Section 1: Measurement of thickness and overall dimensions – Tests for determining the mechanical properties*

IEC 60811-1-2: 1985, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 1: Methods for general application – Section 2: Thermal ageing methods*

IEC 60811-1-3: 1993, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 1: Methods for general application – Section 3: Methods for determining the density – Water absorption tests – Shrinkage test*

IEC 60811-1-4: 1985, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 1: Methods for general application – Section 4: Tests at low temperature*

IEC 60811-2-1: 1986, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 2: Methods specific to elastomeric compounds – Section 1: Ozone resistance test – Hot set test – Mineral oil immersion test*

IEC 60811-3-1: 1985, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 3: Methods specific to PVC compounds – Section 1: Pressure test at high temperature – Tests for resistance to cracking*

IEC 60811-3-2: 1985, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 3: Methods specific to PVC compounds – Section 2: Loss of mass test – Thermal stability test*

IEC 60811-4-1: 1985, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 4: Methods specific to polyethylene and polypropylene compounds – Section 1: Resistance to environmental stress cracking – Wrapping test after thermal ageing in air – Measurement of the melt flow index – Carbon black and/or mineral content measurement in PE*

IEC 60986: 1989, *Guide to the short-circuit temperature limits of electric cables with a rated voltage from 1,8/3 (3,6) kV to 18/30 (36) kV*

ISO 48: 1994, *Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of hardness (hardness between 10 IRHD and 100 IRHD)*

3 Definitions

For the purpose of this part of IEC 60502, the following definitions apply.

3.1 Definitions of dimensional values (thicknesses, cross-sections, etc.)

3.1.1 nominal value: Value by which a quantity is designated and which is often used in tables. Usually, in this standard, nominal values give rise to values to be checked by measurements taking into account specified tolerances.

3.1.2 approximate value: Value which is neither guaranteed nor checked; it is used, for example, for the calculation of other dimensional values.

3.1.3 median value: When several test results have been obtained and ordered in an increasing (or decreasing) succession, the median value is the middle value if the number of available values is odd, and the mean of the two middle values if the number is even.

3.1.4 fictitious value: Value calculated according to the "fictitious method" described in annex A.

3.2 Definitions concerning the tests

3.2.1 routine tests: Tests made by the manufacturer on each manufactured length of cable to check that each length meets the specified requirements.

3.2.2 sample tests: Tests made by the manufacturer on samples of completed cable or components taken from a completed cable, at a specified frequency, so as to verify that the finished product meets the specified requirements.

3.2.3 type tests: Tests made before supplying, on a general commercial basis, a type of cable covered by this standard, in order to demonstrate satisfactory performance characteristics to meet the intended application. These tests are of such a nature that, after they have been made, they need not be repeated, unless changes are made in the cable materials or design or manufacturing process which might change the performance characteristics.

3.2.4 electrical tests after installation: Tests made to demonstrate the integrity of the cable and its accessories as installed.

4 Voltage designations and materials

4.1 Rated voltages

The rated voltages U_0/U (U_m) of the cables considered in this standard are 0,6/1 (1,2) kV and 1,8/3 (3,6) kV.

NOTE 1 – The voltages given above are the correct designations although in some countries other designations are used, e.g. 1,7/3 kV or 1,9/3,3 kV instead of 1,8/3 kV.

In the voltage designation of cables U_0/U (U_m):

U_0 is the rated power frequency voltage between conductor and earth or metallic screen for which the cable is designed;

U is the rated power frequency voltage between conductors for which the cable is designed;

U_m is the maximum value of the "highest system voltage" for which the equipment may be used (see IEC 60038).

The rated voltage of the cable for a given application shall be suitable for the operating conditions in the system in which the cable is used. To facilitate the selection of the cable, systems are divided into three categories:

- category A: this category comprises those systems in which any phase conductor that comes in contact with earth or an earth conductor, is disconnected from the system within 1 min;
- category B: this category comprises those systems which, under fault conditions, are operated for a short time with one phase earthed. This period, according to IEC 60183, should not exceed 1 h. For cables covered by this standard a longer period, not exceeding 8 h on any occasion, can be tolerated. The total duration of earth faults in any year should not exceed 125 h;
- category C: this category comprises all systems which do not fall into category A or B.

NOTE 2 – It should be realized that in a system where an earth fault is not automatically and promptly isolated, the extra stresses on the insulation of cables during the earth fault reduce the life of the cables to a certain degree. If the system is expected to be operated fairly often with a permanent earth fault, it may be advisable to classify the system in category C.

The values of U_0 recommended for cables to be used in three-phase systems are listed in table 1.

Table 1 – Recommended rated voltages U_0

Highest system voltage (U_m) kV	Rated voltage (U_0) kV	
	Categories A et B	Category C
1,2 3,6	0,6 1,8	0,6 3,6*
* This category is covered by 3,6/6 (7,2) kV cables to IEC 60502-2.		

4.2 Insulating compounds

The types of insulating compound covered by this standard are listed in table 2, together with their abbreviated designations.

Table 2 – Insulating compounds

Insulating compound	Abbreviated designation
a) <i>Thermoplastic</i> polyvinyl chloride intended for cables with rated voltages $U_0/U \leq 1,8/3$ kV	PVC/A*
b) <i>Thermosetting</i> : ethylene propylene rubber or similar (EPM or EPDM) high modulus or hard grade ethylene propylene rubber cross-linked polyethylene	EPR HEPR XLPE
* Insulating compound based on polyvinyl chloride intended for cables with rated voltages $U_0/U = 3,6/6$ kV is designated PVC/B in IEC 60502-2.	

The maximum conductor temperatures for different types of insulating compound covered by this standard are given in table 3.

Table 3 – Maximum conductor temperatures for different types of insulating compound

Insulating compound	Maximum conductor temperature °C	
	Normal operation	Short circuit (5 s maximum duration)
Polyvinyl chloride (PVC/A) Conductor cross-section ≤ 300 mm ² Conductor cross-section > 300 mm ²	70	160
	70	140
Cross-linked polyethylene (XLPE) Ethylene propylene rubber (EPR and HEPR)	90	250
	90	250

The temperatures in table 3 are based on the intrinsic properties of the insulating materials. It is important to take into account other factors when using these values for the calculation of current ratings.

For example, in normal operation, if a cable directly buried in the ground is operated under continuous load (100 % load factor) at the maximum conductor temperature shown in the table, the thermal resistivity of the soil surrounding the cable may, in the course of time, increase from its original value as a result of drying-out processes. As a consequence, the conductor temperature may greatly exceed the maximum value. If such operating conditions are foreseen, adequate provisions shall be made.

For guidance on the short-circuit temperatures, reference should be made to IEC 60724 and IEC 60986.

4.3 Sheathing compounds

The maximum conductor temperatures for the different types of sheathing compound covered by this standard are given in table 4.

Table 4 – Maximum conductor temperatures for different types of sheathing compound

Sheathing compound	Abbreviated designation	Maximum conductor temperature in normal operation °C
a) <i>Thermoplastic:</i>		
polyvinyl chloride (PVC)	ST ₁	80
	ST ₂	90
polyethylene	ST ₃	80
	ST ₇	90
b) <i>Elastomeric:</i>		
polychloroprene, chlorosulfonated polyethylene or similar polymers	SE ₁	85

5 Conductors

The conductors shall be either of class 1 or class 2 of plain or metal-coated annealed copper or of plain aluminium or aluminium alloy in accordance with IEC 60228.

6 Insulation

6.1 Material

Insulation shall be extruded dielectric of one of the types listed in table 2.

6.2 Insulation thickness

The nominal insulation thicknesses are specified in tables 5 to 7.

The thickness of any separator shall not be included in the thickness of the insulation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 5 – Nominal thickness of PVC/A insulation

Nominal cross-sectional area of conductor	Nominal thickness of insulation at rated voltage	
	$U_0/U (U_m)$	
	0,6/1 (1,2) kV	1,8/3 (3,6) kV
mm ²	mm	mm
1,5 and 2,5	0,8	–
4 and 6	1,0	–
10 and 16	1,0	2,2
25 and 35	1,2	2,2
50 and 70	1,4	2,2
95 and 120	1,6	2,2
150	1,8	2,2
185	2,0	2,2
240	2,2	2,2
300	2,4	2,4
400	2,6	2,6
500 to 800	2,8	2,8
1 000	3,0	3,0

NOTE – Any smaller conductor cross-section than those given in this table is not recommended.

Table 6 – Nominal thickness of cross-linked polyethylene (XLPE) insulation

Nominal cross-sectional area of conductor	Nominal thickness of insulation at rated voltage	
	$U_0/U (U_m)$	
	0,6/1 (1,2) kV	1,8/3 (3,6) kV
mm ²	mm	mm
1,5 and 2,5	0,7	–
4 and 6	0,7	–
10 and 16	0,7	2,0
25 and 35	0,9	2,0
50	1,0	2,0
70 and 95	1,1	2,0
120	1,2	2,0
150	1,4	2,0
185	1,6	2,0
240	1,7	2,0
300	1,8	2,0
400	2,0	2,0
500	2,2	2,2
630	2,4	2,4
800	2,6	2,6
1 000	2,8	2,8

NOTE – Any smaller conductor cross-section than those given in this table is not recommended.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 7 – Nominal thickness of ethylene propylene rubber (EPR) and hard ethylene propylene rubber (HEPR) insulation

Nominal cross-sectional area of conductor mm ²	Nominal thickness of insulation at rated voltage $U_0/U (U_m)$			
	0,6/1 (1,2) kV		1,8/3 (3,6) kV	
	EPR mm	HEPR mm	EPR mm	HEPR mm
1,5 and 2,5	1,0	0,7	–	–
4 and 6	1,0	0,7	–	–
10 and 16	1,0	0,7	2,2	2,0
25 and 35	1,2	0,9	2,2	2,0
50	1,4	1,0	2,2	2,0
70	1,4	1,1	2,2	2,0
95	1,6	1,1	2,4	2,0
120	1,6	1,2	2,4	2,0
150	1,8	1,4	2,4	2,0
185	2,0	1,6	2,4	2,0
240	2,2	1,7	2,4	2,0
300	2,4	1,8	2,4	2,0
400	2,6	2,0	2,6	2,0
500	2,8	2,2	2,8	2,2
630	2,8	2,4	2,8	2,4
800	2,8	2,6	2,8	2,6
1 000	3,0	2,8	3,0	2,8

NOTE – Any smaller conductor cross-section than those given in this table is not recommended.

7 Assembly of multicore cables, inner coverings and fillers

The assembly of multicore cables depends on the rated voltage and whether a metallic layer is applied to each core.

The following subclauses 7.1 to 7.3 do not apply to assemblies of sheathed single-core cables.

7.1 Inner coverings and fillers

7.1.1 Construction

The inner coverings may be extruded or lapped.

For cables with circular cores, except cables with more than five cores, a lapped inner covering shall be permitted only if the interstices between the cores are substantially filled.

A suitable binder is permitted before application of an extruded inner covering.

7.1.2 Material

The materials used for inner coverings and fillers shall be suitable for the operating temperature of the cable and compatible with the insulating material.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1.3 Thickness of extruded inner covering

The approximate thickness of extruded inner coverings shall be derived from table 8.

Table 8 – Thickness of extruded inner covering

Fictitious diameter over laid-up cores		Thickness of extruded inner covering (approximate values) mm
Above mm	Up to and including mm	
–	25	1,0
25	35	1,2
35	45	1,4
45	60	1,6
60	80	1,8
80	–	2,0

7.1.4 Thickness of lapped inner coverings

The approximate thickness of lapped inner coverings shall be 0,4 mm for fictitious diameters over laid-up cores up to and including 40 mm and 0,6 mm for larger diameters.

7.2 Cables with rated voltage 0,6/1 kV

Cables with rated voltage 0,6/1 kV may have a metallic layer collectively surrounding the cores.

NOTE – The choice between cables having and cables not having a metallic layer depends upon national regulations and installation requirements for the prevention of possible dangers from mechanical damage or direct electrical contact.

7.2.1 Cables having a collective metallic layer (see clause 8)

Cables shall have an inner covering over the laid-up cores. The inner covering and fillers shall comply with 7.1.

Metallic tapes may, however, be applied directly over the assembled cores, omitting the inner covering, provided that the nominal thickness of each tape does not exceed 0,3 mm and that the completed cable complies with the special bending test specified in 18.17.

7.2.2 Cables having no collective metallic layer (see clause 8)

The inner covering may be omitted, provided the outer shape of the cable remains practically circular and no adhesion occurs between cores and sheath.

The oversheath may penetrate into the interstices of the cores, except in the case of thermoplastic sheaths over circular cores exceeding 10 mm².

If, however, an inner covering is applied, its thickness need not comply with 7.1.3 or 7.1.4.

7.3 Cables with rated voltage 1,8/3 kV

Cables with rated voltage 1,8/3 kV shall have a metallic layer surrounding the cores either individually or collectively.

7.3.1 Cables having only a collective metallic layer (see clause 8)

Cables shall have an inner covering over the laid-up cores. The inner covering and fillers shall comply with 7.1 and shall be non-hygroscopic.

7.3.2 Cables having a metallic layer over each individual core (see clause 9)

The metallic layers of the individual cores shall be in contact with each other.

Cables with an additional collective metallic layer (see clause 8) of the same material as the underlying individual metallic layers shall have an inner covering over the laid-up cores. The inner covering and fillers shall comply with 7.1 and shall be non-hygroscopic.

When the underlying individual metallic layers and the collective metallic layer are of different materials, they shall be separated by an extruded sheath of one of the materials specified in 13.2. For lead-sheathed cables the separation from the underlying individual metallic layers may be obtained by an inner covering according to 7.1.

For cables having neither armour, nor concentric conductor, nor other collective metallic layer (see clause 8), the inner covering may be omitted provided the outer shape of the cable remains practically circular. The oversheath may penetrate into the interstices of the cores, except in the case of thermoplastic sheaths over circular cores exceeding 10 mm². If, however, an inner covering is applied, its thickness need not comply with 7.1.3 or 7.1.4.

8 Metallic layers for single-core and multicore cables

The following types of metallic layers are included in this standard:

- a) metallic screen (see clause 9);
- b) concentric conductor (see clause 10);
- c) lead sheath (see clause 11);
- d) metallic armour (see clause 12).

The metallic layer(s) shall comprise one or more of the types listed above and shall be non-magnetic when applied to either single-core cables or individual cores of multicore cables.

9 Metallic screen

9.1 Construction

The metallic screen shall consist of one or more tapes, or a braid, or a concentric layer of wires or a combination of wires and tape(s).

It may also be a sheath or, in the case of a collective screen, an armour which complies with 9.2.

When choosing the material of the screen, special consideration shall be given to the possibility of corrosion, not only for mechanical safety but also for electrical safety.

Gaps in the screen shall comply with the national regulations and/or standards.

9.2 Requirements

The dimensional, physical and electrical requirements of the metallic screen shall be determined by national regulations and/or standards.

10 Concentric conductor

10.1 Construction

Gaps in the concentric conductor shall comply with national regulations and/or standards.

When choosing the material of the concentric conductor, special consideration shall be given to the possibility of corrosion, not only for mechanical safety but also for electrical safety.

10.2 Requirements

The dimensional and physical requirements of the concentric conductor and its electrical resistance shall be determined by national regulations and/or standards.

10.3 Application

When a concentric conductor is required, it shall be applied over the inner covering in the case of multicore cables; in the case of single-core cables, it shall be applied either directly over the insulation or over a suitable inner covering.

11 Lead sheath

The sheath shall consist of lead or lead alloy and shall be applied as a reasonably tight-fitting seamless tube.

The nominal thickness shall be calculated by the following formula:

- a) for all single-core cables or assemblies thereof:

$$t_{pb} = 0,03 D_g + 0,8$$

- b) for all cables with sector-shaped conductors:

$$t_{pb} = 0,03 D_g + 0,6$$

- c) for all other cables:

$$t_{pb} = 0,03 D_g + 0,7$$

where

t_{pb} is the nominal thickness of lead sheath, in millimetres;

D_g is the fictitious diameter under the lead sheath, in millimetres (rounded to the first decimal place in accordance with annex B).

In all cases the smallest nominal thickness shall be 1,2 mm. Calculated values are to be rounded to the first decimal place (see annex B).

12 Metallic armour

12.1 Types of metallic armour

The armour types covered by this standard are:

- a) flat wire armour;
- b) round wire armour;
- c) double tape armour.

12.2 Materials

Round or flat wires shall be of galvanized steel, copper or tinned copper, aluminium or aluminium alloy.

Tapes shall be of steel, galvanized steel, aluminium or aluminium alloy. Steel tapes shall be hot- or cold-rolled of commercial quality.

In those cases where the steel armour wire layer is required to comply with a minimum conductance, it is permissible to include sufficient copper or tinned copper wires in the armour layer to ensure compliance.

When choosing the material of the armour, special consideration shall be given to the possibility of corrosion, not only for mechanical safety, but also for electrical safety, especially when the armour is used as a screen.

The armour of single-core cables for use on a.c. systems shall consist of non-magnetic material, unless a special construction is chosen.

12.3 Application of armour

12.3.1 Single-core cables

In the case of single-core cables, an inner covering, extruded or lapped, of the thickness specified in 7.1.3 or 7.1.4, shall be applied under the armour.

12.3.2 Multicore cables

In the case of multicore cables, the armour shall be applied on an inner covering complying with 7.1 except for special applications using metallic tapes, see 7.2.1.

12.3.3 Separation sheath

When the underlying metallic layer and the armour are of different materials, they shall be separated by an extruded sheath of one of the materials specified in 13.2.

When an armour is required for a lead-sheathed cable it may be applied over a lapped bedding according to 12.3.4.

If a separation sheath is used, it shall be applied under the armour instead of, or in addition to, the inner covering.

The nominal thickness of the separation sheath T_s expressed in millimetres shall be calculated by the following formula:

$$T_s = 0,02 D_u + 0,6$$

where D_u is the fictitious diameter under this sheath, in millimetres, calculated as described in annex A.

The value resulting from the formula shall be rounded off to the nearest 0,1 mm (see annex B).

For cables without a lead sheath the nominal thickness shall be not less than 1,2 mm. For cables where the separation sheath is applied directly over the lead sheath, the nominal thickness shall be not less than 1,0 mm.

12.3.4 *Lapped bedding under armour for lead-sheathed cables*

The lapped bedding applied to the compound coated lead sheath shall consist of either impregnated and compounded paper tapes or a combination of two layers of impregnated and compounded paper tapes followed by one or more layers of compounded fibrous material.

The impregnation of bedding materials may be made with bituminous or other preservative compounds. In case of wire armour these compounds shall not be applied directly under the wires.

Synthetic tapes may be used instead of impregnated paper tapes.

The total thickness of the lapped bedding between the lead sheath and the armour after application of the armour shall have an approximate value of 1,5 mm.

12.4 *Dimensions of the armour wires and armour tapes*

The nominal dimensions of the armour wires and armour tapes shall preferably be one of the following values:

round wires:

0,8 - 1,25 - 1,6 - 2,0 - 2,5 - 3,15 mm diameter;

flat wires:

0,8 mm thickness;

tapes of steel:

0,2 - 0,5 - 0,8 mm thickness;

tapes of aluminium or aluminium alloy:

0,5 - 0,8 mm thickness.

12.5 *Correlation between cable diameters and armour dimensions*

The nominal diameters of round armour wires and the nominal thicknesses of the armour tapes shall be not less than the values given in tables 9 and 10 respectively.

Table 9 – Nominal diameter of round armour wires

Fictitious diameter under the armour		Nominal diameter of armour wire mm
Above mm	Up to and including mm	
–	10	0,8
10	15	1,25
15	25	1,6
25	35	2,0
35	60	2,5
60	–	3,15

Table 10 – Nominal thickness of armour tapes

Fictitious diameter under the armour		Nominal thickness of tape	
Above mm	Up to and including mm	Steel or galvanized steel mm	Aluminium or aluminium alloy mm
–	30	0,2	0,5
30	70	0,5	0,5
70	–	0,8	0,8

NOTE – This table does not apply to cables having metallic tapes applied directly over the assembled cores (see 7.2.1).

For flat armour wires and fictitious diameters under the armour greater than 15 mm, the nominal thickness of the flat steel wire shall be 0,8 mm. Cables with fictitious diameters under the armour up to and including 15 mm shall not be armoured with flat wires.

12.6 Round or flat wire armour

The wire armour shall be closed, i.e. with a minimum gap between adjacent wires. An open helix consisting of galvanized steel tape with a nominal thickness of at least 0,3 mm may be provided over flat steel wire armour and over round steel wire armour, if necessary. Tolerances on this steel tape shall comply with 16.7.3.

12.7 Double tape armour

When a tape armour and an inner covering as specified in 7.1 are used, the inner covering shall be reinforced by a taped bedding. The total thickness of the inner covering and the additional taped bedding shall be as given in 7.1 plus 0,5 mm if the armour tape thickness is 0,2 mm, and plus 0,8 mm if the armour tape thickness is more than 0,2 mm.

The total thickness of the inner covering and the additional taped bedding shall be not less than these values by more than 0,2 mm + 20 %.

If a separation sheath is required or if the inner covering is extruded and satisfies the requirements of 12.3.3, the additional taped bedding is not required.

The tape armour shall be applied helically in two layers so that the outer tape is approximately central over the gap of the inner tape. The gap between adjacent turns of each tape shall not exceed 50 % of the width of the tape.

13 Oversheath

13.1 General

All cables shall have an oversheath.

The oversheath is normally black but a colour other than black may be provided by agreement between the manufacturer and the purchaser, subject to its suitability for the particular conditions under which the cable is to be used.

13.2 Material

The oversheath shall consist of a thermoplastic compound (PVC or polyethylene) or an elastomeric compound (polychloroprene, chlorosulfonated polyethylene or similar polymers).

The sheathing material shall be suitable for the operating temperature in accordance with table 4.

Chemical additives may be requested for use in the oversheath for special purposes, for example termite protection, but they should not include materials harmful to mankind and/or environment.

NOTE – Examples of materials¹⁾ considered to be undesirable are:

Aldrin 1,2,3,4,10,10-hexachloro-1,4,4a,5,8,8a-hexahydro-1,4,5,8-dimethanonaphthalene

Dieldrin 1,2,3,4,10,10-hexachloro-6,7-epoxy-1,4,4a,5,6,7,8,8a-octahydro-1,4,5,8-dimethanonaphthalene

Lindane Gamma isomer of 1,2,3,4,5,6-hexachloro-cyclohexane.

13.3 Thickness

Unless otherwise specified, the nominal thickness t_s expressed in millimetres shall be calculated by the following formula:

$$t_s = 0,035 D + 1,0$$

where D is the fictitious diameter immediately under the sheath, in millimetres (see annex A).

The value resulting from the formula shall be rounded off to the nearest 0,1 mm (see annex B).

For unarmoured cables and cables with the sheath not applied directly over the armour, metallic screen or concentric conductor, the nominal thickness shall be not less than 1,4 mm for single-core cables and 1,8 mm for multicore cables.

Cables with the sheath applied directly over the armour, metallic screen or concentric conductor, the nominal sheath thickness shall be not less than 1,8 mm.

14 Test conditions

14.1 Ambient temperature

Unless otherwise specified in the details for the particular test, tests shall be made at an ambient temperature of $(20 \pm 15) ^\circ\text{C}$.

14.2 Frequency and waveform of power frequency test voltages

The frequency of the alternating test voltages shall be in the range 49 Hz to 61 Hz. The waveform shall be substantially sinusoidal. The values quoted are r.m.s. values.

14.3 Waveform of impulse test voltages

In accordance with IEC 60230, the impulse wave shall have a virtual front time between 1 μs and 5 μs and a nominal time to half the peak value between 40 μs and 60 μs , and in other respects shall be in accordance with IEC 60060-1.

15 Routine tests

15.1 General

Routine tests are normally carried out on each manufactured length of cable (see 3.2.1). The number of lengths to be tested may however be reduced according to agreed quality control procedures.

The routine tests required by this standard are:

- a) measurement of the electrical resistance of conductors (see 15.2),
- b) voltage test (see 15.3).

15.2 Electrical resistance of conductors

Resistance measurements shall be made on all conductors of each cable length submitted to the routine tests, including the concentric conductor, if any.

The complete cable length, or a sample from it, shall be placed in the test room, which shall be maintained at a reasonably constant temperature, for at least 12 h before the test. In case of doubt as to whether the conductor temperature is the same as the room temperature, the resistance shall be measured after the cable has been in the test room for 24 h. Alternatively, the resistance can be measured on a sample of conductor conditioned for at least 1 h in a temperature-controlled liquid bath.

The measured value of resistance shall be corrected to a temperature of $20 ^\circ\text{C}$ and 1 km length in accordance with the formulae and factors given in IEC 60228.

The d.c. resistance of each conductor at $20 ^\circ\text{C}$ shall not exceed the appropriate maximum value specified in IEC 60228. For concentric conductors, the resistance shall comply with national regulations and/or standards.

15.3 Voltage test

15.3.1 General

The voltage test shall be made at ambient temperature, using either alternating voltage at power frequency or direct voltage, at the manufacturer's option.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15.3.2 Test procedure for single-core cables

For single-core screened cables, the test voltage shall be applied for 5 min between the conductor and the metallic screen.

Single-core unscreened cables shall be immersed in water at room temperature for 1 h and the test voltage then applied for 5 min between the conductor and the water.

NOTE – A spark test is under consideration for single-core cables without any metallic layer.

15.3.3 Test procedure for multicore cables

For multicore cables with individually screened cores, the test voltage shall be applied for 5 min between each conductor and the metallic layer.

For multicore cables without individually screened cores, the test voltage shall be applied for 5 min in succession between each insulated conductor and all the other conductors and collective metallic layers, if any.

The conductors may be suitably connected for successive applications of the test voltage to limit the total testing time, provided that the sequence of connections ensures that the voltage is applied for at least 5 min without interruption between each conductor and each other conductor and between each conductor and the metallic layers, if any.

Alternatively, three-core cables may be tested in a single operation by using a three-phase transformer.

15.3.4 Test voltage

The power frequency test voltage shall be $2,5 U_0 + 2$ kV. Values of single-phase test voltage for the standard rated voltages are given in table 11.

Table 11 – Routine test voltages

Rated voltage U_0	kV	0,6	1,8
Test voltage	kV	3,5	6,5

If, for three-core cables, the voltage test is carried out with a three-phase transformer, the test voltage between the phases shall be 1,73 times the values given in this table.

When a direct voltage is used, the applied voltage shall be 2,4 times the power frequency test voltage.

In all cases, the test voltage shall be increased gradually to the specified value.

15.3.5 Requirement

No breakdown of the insulation shall occur.

16 Sample tests

16.1 General

The sample tests required by this standard are:

- a) conductor examination (see 16.4);
- b) check of dimensions (see 16.5 to 16.8);
- c) hot set test for EPR, HEPR and XLPE insulations and elastomeric sheaths (see 16.9).

16.2 Frequency of sample tests

16.2.1 Conductor examination and check of dimensions

Conductor examination, measurement of the thickness of insulation and sheath and measurement of the overall diameter shall be made on one length from each manufacturing series of the same type and nominal cross-section of cable, but shall be limited to not more than 10 % of the number of lengths in any contract.

16.2.2 Physical tests

Physical tests shall be carried out on samples taken from manufactured cables according to agreed quality control procedures. In the absence of such an agreement, for contracts where the total length exceeds 2 km for multicore cables or 4 km for single-core cables, tests shall be made on the basis of table 12.

Table 12 – Number of samples for sample tests

Cable length				Number of samples
Multicore cables		Single-core cables		
Above km	Up to and including km	Above km	Up to and including km	
2	10	4	20	1
10	20	20	40	2
20	30	40	60	3
etc.		etc.		etc.

16.3 Repetition of tests

If any sample fails in any of the tests in clause 16, two further samples shall be taken from the same batch and submitted to the same test or tests in which the original sample failed. If both additional samples pass the tests, all the cables in the batch from which they were taken shall be regarded as complying with the requirements of this standard. If either of the additional samples fails, the batch from which they were taken shall be regarded as failing to comply.

16.4 Conductor examination

Compliance with the requirements for conductor construction of IEC 60228 shall be checked by inspection and by measurement when practicable.

16.5 *Measurement of thickness of insulation and of non-metallic sheaths (including extruded separation sheath, but excluding inner extruded coverings)*

16.5.1 *General*

The test method shall be in accordance with clause 8 of IEC 60811-1-1.

Each cable length selected for the test shall be represented by a piece of cable taken from one end after having discarded, if necessary, any portion which may have suffered damage.

For cables having more than three cores with conductors of equal nominal cross-section, the number of cores on which the measurement is made shall be limited to either three cores or 10 % of the cores, whichever is larger.

16.5.2 *Requirements for the insulation*

For each piece of core the average of the measured values, rounded to 0,1 mm in accordance with annex B, shall be not less than the nominal thickness, and the smallest value shall not fall below the nominal value by more than 0,1 mm + 10 % of the nominal value, i.e.:

$$t_m \geq t_n - (0,1 + 0,1 t_n)$$

where

t_m is the minimum thickness, in millimetres;

t_n is the nominal thickness, in millimetres.

16.5.3 *Requirements for non-metallic sheaths*

The piece of sheath shall comply with the following:

a) for an oversheath applied on a smooth cylindrical surface (e.g. on an inner covering, a metal sheath or the insulation), the average of the measured values, rounded to 0,1 mm in accordance with annex B, shall be not less than the nominal thickness and the smallest value measured shall not fall below the nominal thickness by more than 0,1 mm + 15 % of the nominal value, i.e.:

$$t_m \geq t_n - (0,1 + 0,15 t_n)$$

b) for an oversheath applied on an irregular cylindrical surface (e.g. a penetrating oversheath on an unarmoured multicore cable without inner covering or an oversheath applied directly over armour, metallic screen or concentric conductor) and for a separation sheath, the smallest measured value shall not fall below the nominal thickness by more than 0,2 mm + 20 % of the nominal value, i.e.:

$$t_m \geq t_n - (0,2 + 0,2 t_n)$$

16.6 *Measurement of thickness of lead sheath*

The minimum thickness of the lead sheath shall be determined by one of the following methods, at the discretion of the manufacturer, and shall not fall below the nominal thickness by more than 0,1 mm + 5 % of the nominal value, i.e.:

$$t_m \geq t_n - (0,1 + 0,05 t_n)$$

16.6.1 *Strip method*

The measurement shall be made with a micrometer with plane faces of 4 mm to 8 mm diameter and an accuracy of $\pm 0,01$ mm.

The measurement shall be made on a test piece of sheath about 50 mm in length removed from the completed cable. The piece shall be slit longitudinally and carefully flattened. After cleaning the test piece, a sufficient number of measurements shall be made along the circumference of the sheath and not less than 10 mm away from the edge of the flattened piece to ensure that the minimum thickness is measured.

16.6.2 *Ring method*

The measurements shall be made with a micrometer having either one flat nose and one ball nose, or one flat nose and a flat rectangular nose 0,8 mm wide and 2,4 mm long. The ball nose or the flat rectangular nose shall be applied to the inside of the ring. The accuracy of the micrometer shall be $\pm 0,01$ mm.

The measurements shall be made on a ring of the sheath carefully cut from the sample. The thickness shall be determined at a sufficient number of points around the circumference of the ring to ensure that the minimum thickness is measured.

16.7 *Measurement of armour wires and tapes*

16.7.1 *Measurement on wires*

The diameter of round wires and the thickness of flat wires shall be measured by means of a micrometer having two flat noses to an accuracy of $\pm 0,01$ mm. For round wires, two measurements shall be made at right angles to each other at the same position and the average of the two values taken as the diameter.

16.7.2 *Measurement on tapes*

The measurement shall be made with a micrometer having two flat noses of approximately 5 mm in diameter to an accuracy of $\pm 0,01$ mm. For tapes up to 40 mm in width the thickness shall be measured at the centre of the width. For wider tapes the measurements shall be made 20 mm from each edge of the tape and the average of the results taken as the thickness.

16.7.3 *Requirements*

The dimensions of armour wires and tapes shall not fall below the nominal values given in 12.5 by more than:

- 5 % for round wires;
- 8 % for flat wires;
- 10 % for tapes.

16.8 *Measurement of external diameter*

If the measurement of the external diameter of the cable is required as a sample test, it shall be carried out in accordance with clause 8 of IEC 60811-1-1.

16.9 *Hot set test for EPR, HEPR and XLPE insulations and elastomeric sheaths*

16.9.1 *Procedure*

Sampling and test procedure shall be carried out in accordance with clause 9 of IEC 60811-2-1, following the conditions given in tables 19 and 20.

16.9.2 Requirements

The test results shall comply with the requirements given in table 19, for EPR, HEPR and XLPE insulations and in table 20 for SE₁ sheaths.

17 Type tests, electrical

A sample of completed cable 10 m to 15 m in length shall be subjected to the following tests, applied successively:

- a) insulation resistance measurement at ambient temperature (see 17.1);
- b) insulation resistance measurement at maximum conductor temperature in normal operation (see 17.2);
- c) voltage test for 4 h (see 17.3).

Cables of rated voltage 1,8/3 (3,6) kV shall also be subjected to an impulse test on a separate sample of completed cable, 10 m to 15 m in length (see 17.4).

The tests shall be limited to not more than three cores.

17.1 Insulation resistance measurement at ambient temperature

17.1.1 Procedure

This test shall be made on the sample length before any other electrical test.

All outer coverings shall be removed and the cores shall be immersed in water at ambient temperature for at least 1 h before the test.

The d.c. test voltage shall be 80 V to 500 V and shall be applied for a sufficient time to reach reasonably steady measurement, but for not less than 1 min and not more than 5 min.

The measurement shall be made between each conductor and the water.

If requested, measurement may be confirmed at a temperature of $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$.

17.1.2 Calculations

The volume resistivity shall be calculated from the measured insulation resistance by the following formula:

$$\rho = \frac{2 \times \pi \times l \times R}{\ln \frac{D}{d}}$$

where

ρ is the volume resistivity, in ohms · centimetres;

R is the measured insulation resistance, in ohms;

l is the length of the cable, in centimetres;

D is the outer diameter of the insulation, in millimetres;

d is the inner diameter of the insulation, in millimetres.

The "insulation resistance constant K_i " expressed in megohms · kilometres may also be calculated, using the formula:

$$K_i = \frac{I \times R \times 10^{-11}}{\lg \frac{D}{d}} = 10^{-11} \times 0,367 \times \rho$$

NOTE – For the cores of shaped conductors, the ratio D/d is the ratio of the perimeter over the insulation to the perimeter over the conductor.

17.1.3 Requirements

The values calculated from the measurements shall be not less than those specified in table 13.

17.2 Insulation resistance measurement at maximum conductor temperature

17.2.1 Procedure

The cores of the cable sample shall be immersed in water at a temperature within ± 2 °C of the maximum conductor temperature in normal operation for at least 1 h before the test.

The d.c. test voltage shall be 80 V to 500 V and shall be applied for a sufficient time to reach reasonably steady measurement, but for not less than 1 min and not more than 5 min.

The measurement shall be made between each conductor and the water.

17.2.2 Calculations

The volume resistivity and/or the insulation resistance constant shall be calculated from the insulation resistance by the formulae given in 17.1.2.

17.2.3 Requirements

The values calculated from the measurements shall be not less than those specified in table 13.

17.3 Voltage test for 4 h

17.3.1 Procedure

The cores of the cable sample shall be immersed in water at ambient temperature for at least 1 h before the test.

A power frequency voltage equal to $4 U_0$ shall then be gradually applied and maintained continuously for 4 h between each conductor and the water.

17.3.2 Requirements

No breakdown of the insulation shall occur.

17.4 Impulse test for cables of rated voltage 1,8/3 (3,6) kV

17.4.1 Procedure

This test shall be performed on the sample at a conductor temperature 5 °C to 10 °C above the maximum conductor temperature in normal operation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The impulse voltage shall be applied according to the procedure given in IEC 60230 and shall have a peak value of 40 kV.

For multicore cables in which the cores are not individually screened, each series of impulses shall be applied in turn between each phase conductor and all the other conductors connected together and to earth.

17.4.2 Requirements

Each core of the cable shall withstand without failure 10 positive and 10 negative voltage impulses.

18 Type tests, non-electrical

The non-electrical type tests required by this standard are given in table 14.

18.1 Measurement of thickness of insulation

18.1.1 Sampling

One sample shall be taken from each insulated cable core.

For cables having more than three cores with conductors of equal nominal cross-section, the number of cores on which the measurement is made shall be limited to either three cores or 10 % of the cores, whichever is larger.

18.1.2 Procedure

The measurements shall be made as described in 8.1 of IEC 60811-1-1.

18.1.3 Requirements

See 16.5.2.

18.2 Measurement of thickness of non-metallic sheaths (including extruded separation sheaths, but excluding inner coverings)

18.2.1 Sampling

One sample of cable shall be taken.

18.2.2 Procedure

The measurements shall be made as described in 8.2 of IEC 60811-1-1.

18.2.3 Requirements

See 16.5.3.

18.3 Tests for determining the mechanical properties of insulation before and after ageing

18.3.1 Sampling

Sampling and the preparation of the test pieces shall be carried out as described in 9.1 of IEC 60811-1-1.

18.3.2 Ageing treatments

The ageing treatments shall be carried out as described in 8.1 of IEC 60811-1-2 under the conditions specified in table 15. Tests 2.2 and 2.3 of table 15 are only applicable to 0,6/1 kV cables having copper conductors. Test 2.3 is only carried out in conjunction with test 2.1 of table 15 on those cables having copper conductors which cannot be subjected to test 2.2.

NOTE – Tests 2.2 and 2.3 which should be carried out in the presence of a copper conductor, are recommended. However, insufficient information has been obtained to date to make these requirements mandatory, except by agreement between the purchaser and the manufacturer.

18.3.3 Conditioning and mechanical tests

Conditioning and the measurement of mechanical properties shall be carried out as described in 9.1 of IEC 60811-1-1.

18.3.4 Requirements

The test results for unaged and aged test pieces shall comply with the requirements given in table 15.

18.4 Tests for determining the mechanical properties of non-metallic sheaths before and after ageing

18.4.1 Sampling

Sampling and the preparation of the test pieces shall be carried out as described in 9.2 of IEC 60811-1-1.

18.4.2 Ageing treatments

The ageing treatments shall be carried out as described in 8.1 of IEC 60811-1-2, under the conditions specified in table 16.

18.4.3 Conditioning and mechanical tests

Conditioning and the measurement of mechanical properties shall be carried out as described in 9.2 of IEC 60811-1-1.

18.4.4 Requirements

The test results for unaged and aged test pieces shall comply with the requirements given in table 16.

18.5 Additional ageing test on pieces of completed cables

18.5.1 General

This test is intended to check that the insulation and non-metallic sheaths are not liable to deteriorate in operation due to contact with other components in the cable.

The test is applicable to cables of all types.

18.5.2 Sampling

Samples shall be taken from the completed cable as described in 8.1.4 of IEC 60811-1-2.

18.5.3 Ageing treatment

The ageing treatment of the pieces of cable shall be carried out in an air oven, as described in 8.1.4 of IEC 60811-1-2, under the following conditions:

- temperature: $(10 \pm 2) ^\circ\text{C}$ above the maximum conductor temperature of the cable in normal operation (see table 15);
- duration: 7. x 24 h.

18.5.4 Mechanical tests

Test pieces of insulation and oversheath from the aged pieces of cable shall be prepared and subjected to mechanical tests as described in 8.1.4 of IEC 60811-1-2.

18.5.5 Requirements

The variations between the median values of tensile strength and elongation-at-break after ageing and the corresponding values obtained without ageing (see 18.3 and 18.4) shall not exceed the values applying to the test after ageing in an air oven specified in table 15 for insulations and table 16 for non-metallic sheaths.

18.6 Loss of mass test on PVC sheaths of type ST₂

18.6.1 Procedure

The sampling and test procedure shall be in accordance with 8.2 of IEC 60811-3-2.

18.6.2 Requirements

The test results shall comply with the requirements given in table 17.

18.7 Pressure test at high temperature on insulations and non-metallic sheaths

18.7.1 Procedure

The pressure test at high temperature shall be carried out in accordance with clause 8 of IEC 60811-3-1, employing the test conditions given in the test method and in tables 17 and 18.

18.7.2 Requirements

The test results shall comply with the requirements given in clause 8 of IEC 60811-3-1.

18.8 Test on PVC insulation and sheaths at low temperatures

18.8.1 Procedure

The sampling and test procedures shall be in accordance with clause 8 of IEC 60811-1-4, employing the test temperature specified in table 17.

18.8.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements given in clause 8 of IEC 60811-1-4.

18.9 Test for resistance of PVC insulation and sheaths to cracking (heat shock test)

18.9.1 Procedure

The sampling and test procedure shall be in accordance with clause 9 of IEC 60811-3-1, the test temperature and duration being in accordance with table 17.

18.9.2 Requirements

The results of the tests shall comply with the requirements given in clause 9 of IEC 60811-3-1.

18.10 Ozone resistance test for EPR and HEPR insulations

18.10.1 Procedure

The sampling and test procedure shall be carried out in accordance with clause 8 of IEC 60811-2-1. The ozone concentration and test duration shall be in accordance with table 19.

18.10.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements given in clause 8 of IEC 60811-2-1.

18.11 Hot set test for EPR, HEPR and XLPE insulations and elastomeric sheaths

The sampling and test procedure shall be carried out in accordance with 16.9 and shall comply with its requirements.

18.12 Oil immersion test for elastomeric sheaths

18.12.1 Procedure

The sampling and test procedure shall be carried out in accordance with clause 10 of IEC 60811-2-1 employing the conditions given in table 20.

18.12.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements given in table 20.

18.13 Water absorption test on insulation

18.13.1 Procedure

The sampling and test procedure shall be carried out in accordance with 9.1 or 9.2 of IEC 60811-1-3 employing the conditions specified in tables 17 or 19 respectively.

18.13.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements specified in tables 17 or 19.

18.14 Flame retardance test

This test is only applicable to cables having sheaths of ST₁, ST₂ or SE₁ compound and shall be carried out on such cables only when specially required.

The test method and requirements shall be those specified in IEC 60332-1.

18.15 *Measurement of carbon black content of black PE oversheaths*

18.15.1 *Procedure*

The sampling and test procedure shall be carried out in accordance with clause 11 of IEC 60811-4-1.

18.15.2 *Requirements*

The results of the test shall comply with the requirements of table 18.

18.16 *Shrinkage test for XLPE insulation*

18.16.1 *Procedure*

The sampling and test procedure shall be carried out in accordance with clause 10 of IEC 60811-1-3 under the conditions specified in table 19.

18.16.2 *Requirements*

The results of the test shall comply with the requirements of table 19.

18.17 *Special bending test*

This test shall be made on multicore cables with rated voltage 0,6/1 kV, having a collective metallic layer in form of metallic tapes applied directly over the assembled cores and omitting the inner covering.

18.17.1 *Procedure*

The sample shall be bent around a test cylinder (for example, the hub of a drum) at ambient temperature for at least one complete turn. The diameter of the cylinder shall be $7 D \pm 5 \%$ where D is the actual external diameter of the cable sample. The cable shall then be unwound and the process shall be repeated except that the bending of the sample shall be in the reverse direction.

This cycle of operations shall be carried out three times. Then the sample, left bent around the cylinder shall be placed in an air oven heated to the maximum conductor temperature in normal operation of the cable for 24 h.

After the cable has cooled down, the voltage test in accordance with 15.3 shall be carried out while the cable is still bent.

18.17.2 *Requirements*

No breakdown shall occur and the external sheath shall show no sign of cracking.

18.18 *Determination of hardness of HEPR insulation*

18.18.1 *Procedure*

The sampling and test procedure shall be carried out in accordance with annex C.

18.18.2 *Requirements*

The results of the test shall comply with the requirements of table 19.

18.19 Determination of the elastic modulus of HEPR insulation

18.19.1 Procedure

Sampling, preparation of the test pieces and the test procedure shall be carried out in accordance with clause 9 of IEC 60811-1-1.

The loads required for 150 % elongation shall be measured. The corresponding stresses shall be calculated by dividing the loads measured by the cross-sectional areas of the unstretched test pieces. The ratios of the stresses to strains shall be determined to obtain the elastic moduli at 150 % elongation.

The elastic modulus shall be the median value.

18.19.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements of table 19.

18.20 Shrinkage test for PE oversheaths

18.20.1 Procedure

The sampling and test procedure shall be carried out in accordance with clause 11 of IEC 60811-1-3 under the conditions specified in table 18.

18.20.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements of table 18.

19 Electrical tests after installation

Tests after installation are made, if required, when the installation of the cable and its accessories has been completed.

A d.c. voltage equal to $4 U_0$ shall be applied for 15 min.

As an alternative, and by agreement between the contractor and purchaser, an a.c. voltage test at power frequency, in accordance with items a) or b) below, can be used:

- a) test for 5 min with the phase-to-phase voltage of the system applied between the conductor and the metallic screen;
- b) test for 24 h with the normal operating voltage of the system.

NOTE – Electrical tests on *repaired* installations are subject to installation requirements. The tests above are for *new* installations only.

Table 13 – Electrical type test requirements for insulating compounds

0	1	2	3	4	5
	Designation of compounds (see 4.2)		PVC/A	EPR/ HEPR	XLPE
	Maximum conductor temperature in normal operation (voir 4.2)	°C	70	90	90
1	<i>Volume resistivity ρ</i>				
1a	– at 20 °C (see 17.1)	$\Omega \cdot \text{cm}$	10^{13}	–	–
1b	– at maximum conductor temperature in normal operation (see 17.2)	$\Omega \cdot \text{cm}$	10^{10}	10^{12}	10^{12}
2	<i>Insulation resistance constant K_i</i>				
2a	– at 20 °C (see 17.1)	$M\Omega \cdot \text{km}$	36,7	–	–
2b	– at maximum conductor temperature in normal operation (see 17.2)	$M\Omega \cdot \text{km}$	0,037	3,67	3,67



Table 14 – Non-electrical type tests for insulating and sheathing compounds
(see tables 15 to 20)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Designation of compounds (see 4.2 and 4.3)	Insulations				Sheaths				
		PVC/A	EPR	HEPR	XLPE	PVC		PE		SE ₁
						ST ₁	ST ₂	ST ₃	ST ₇	
1	<i>Dimensions</i>									
1a	Measurements of thickness	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	<i>Mecanical properties</i> (tensile strength and elongation-at-break)									
2a	Without ageing	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2b	After ageing in air oven	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2c	After ageing of pieces of complete cable	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2d	After immersion in hot oil	–	–	–	–	–	–	–	–	x
3	<i>Thermoplastic properties</i>									
3a	Hot pressure test (indentation)	x	–	–	–	x	x	–	x	–
3b	Behaviour at low temperature	x	–	–	–	x	x	–	–	–
4	<i>Miscellaneous</i>									
4a	Loss of mass in air oven	–	–	–	–	–	x	–	–	–
4b	Heat shock test (cracking)	x	–	–	–	x	x	–	–	–
4c	Ozone resistance test	–	x	x	–	–	–	–	–	–
4d	Hot set test	–	x	x	x	–	–	–	–	x
4e	Flame retardance test (if required)	–	–	–	–	x	x	–	–	x
4f	Water absorption	x	x	x	x	–	–	–	–	–
4g	Shrinkage test	–	–	–	x	–	–	x	x	–
4h	Carbon black content*	–	–	–	–	–	–	x	x	–
4i	Determination of hardness	–	–	x	–	–	–	–	–	–
4j	Determination of elastic modulus	–	–	x	–	–	–	–	–	–

NOTE – x indicates that the type test is to be applied.

* For black oversheaths only.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 15 – Test requirements for mechanical characteristics of insulating compounds (before and after ageing)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Designation of compounds (see 4.2)		PVC/A	EPR		HEPR		XLPE	
				0,6/1 kV cables with copper con- ductors	All other cables	0,6/1 kV cables with copper con- ductors	All other cables	0,6/1 kV cables with copper con- ductors	All other cables
	Maximum conductor temperature in normal operation (see 4.2)	°C	70	90	90	90	90	90	90
1	<i>Without ageing</i> (IEC 60811-1-1, subclause 9.1)								
1.1	Tensile strength, minimum	N/mm ²	12,5	4,2	4,2	8,5	8,5	12,5	12,5
1.2	Elongation-at-break, minimum	%	150	200	200	200	200	200	200
2	<i>After ageing in air oven</i> (IEC 60811-1-2, subclause 8.1)								
2.1	After ageing without conductor								
2.1.1	Treatment:								
	– temperature	°C	100	135	135	135	135	135	135
	– tolerance	°C	±2	±3	±3	±3	±3	±3	±3
	– duration	d	7	7	7	7	7	7	7
2.1.2	Tensile strength:								
	a) value after ageing, minimum	N/mm ²	12,5	–	–	–	–	–	–
	b) variation*, maximum	%	±25	±30	±30	±30	±30	±25	±25
2.1.3	Elongation at break:								
	a) value after ageing, minimum	%	150	–	–	–	–	–	–
	b) variation*, maximum	%	±25	±30	±30	±30	±30	±25	±25
2.2	After ageing with copper conductor followed by tensile test**								
2.2.1	Treatment:								
	– temperature	°C	–	150	–	150	–	150	–
	– tolerance	°C	–	±3	–	±3	–	±3	–
	– duration	d	–	7	–	7	–	7	–
2.2.2	Tensile strength: variation*, maximum	%	–	±30	–	±30	–	±30	–
2.2.3	Elongation-at-break: variation*, maximum	%	–	±30	–	±30	–	±30	–
2.3	After ageing with copper conductor followed by bending test (only if 2.2 is not practicable)**								
2.3.1	Treatment:								
	– temperature	°C	–	150	–	150	–	150	–
	– tolerance	°C	–	±3	–	±3	–	±3	–
	– duration	d	–	10	–	10	–	10	–
2.3.2	Results to be obtained		–	No cracks	–	No cracks	–	No cracks	–

* Variation: difference between the median value obtained after ageing and the median value obtained without ageing expressed as a percentage of the latter.

** See 18.3.2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 16 – Test requirements for mechanical characteristics of sheathing compounds (before and after ageing)

0	1	2	3	4	5	6	7
	Designation of compounds (see 4.3)		ST ₁	ST ₂	ST ₃	ST ₇	SE ₁
	Maximum conductor temperature in normal operation (see 4.3)	°C	80	90	80	90	85
1	<i>Without ageing</i> (IEC 60811-1-1, subclause 9.2)						
1.1	Tensile strength, minimum	N/mm ²	12,5	12,5	10,0	12,5	10,0
1.2	Elongation-at-break, minimum	%	150	150	300	300	300
2	<i>After ageing in air oven</i> (IEC 60811-1-2, subclause 8.1)						
2.1	Treatment: – temperature (tolerance ±2 °C) – duration	°C d	100 7	100 7	100 10	110 14	100 7
2.2	Tensile strength: a) value after ageing, minimum b) variation*, maximum	N/mm ² %	12,5 ±25	12,5 ±25	– –	– –	– ±30
2.3	Elongation-at-break: a) value after ageing, minimum b) variation*, maximum	% %	150 ±25	150 ±25	300 –	300 –	250 ±40
<p>* Variation: difference between the median value obtained after ageing and the median value obtained without ageing expressed as a percentage of the latter.</p>							

Table 17 – Test requirements for particular characteristics for PVC insulating and sheathing compounds

0	1	2	3	4	5
	Designation of compound (see 4.2 and 4.3)		PVC/A	ST ₁	ST ₂
	Use of the PVC compound		Insulation	Sheath	
1	<i>Loss of mass in air oven</i> (IEC 60811-3-2, subclause 8.2)				
1.1	Treatment:				
	– temperature (tolerance ± 2 °C)	°C	–	–	100
	– duration	d	–	–	7
1.2	Maximum loss of mass	mg/cm ²	–	–	1,5
2	<i>Pressure test at high temperature</i> (IEC 60811-3-1, clause 8)				
2.1	Temperature (tolerance ± 2 °C)	°C	80	80	90
3	<i>Behaviour at low temperature*</i> (IEC 60811-1-4, clause 8)				
3.1	Test to be carried out without previous ageing:				
	– cold bending test for diameter <12,5 mm				
	– temperature (tolerance ± 2 °C)	°C	–15	–15	–15
3.2	Cold elongation test on dumb-bells:				
	– temperature (tolerance ± 2 °C)	°C	–15	–15	–15
3.3	Cold impact test:				
	– temperature (tolerance ± 2 °C)	°C	–	–15	–15
4	<i>Heat shock test</i> (IEC 60811-3-1, clause 9)				
4.1	Temperature (tolerance ± 3 °C)	°C	150	150	150
4.2	Duration	h	1	1	1
5	<i>Water absorption</i> (IEC 60811-1-3, subclause 9.1)				
	Electrical method:				
5.1	Temperature (tolerance ± 2 °C)	°C	70	–	–
5.2	Duration	d	10	–	–
* Due to climatic conditions national standards may require the use of a lower temperature.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 18 – Test requirements for particular characteristics of PE (thermoplastic polyethylene) sheathing compounds

0	1	2	3	4
	Designation of compounds (see 4.3)		ST ₃	ST ₇
1	<i>Density*</i> (IEC 60811-1-3, clause 8)			
2	<i>Carbon black content</i> (for black oversheaths only) (IEC 60811-4-1, clause 11)			
2.1	Nominal value	%	2,5	2,5
2.2	Tolerance	%	±0,5	±0,5
3	<i>Shrinkage test</i> (IEC 60811-1-3, clause 11)			
3.1	Temperature (tolerance ±2 °C)	°C	80	80
3.2	Heating, duration	h	5	5
3.3	Heating cycles		5	5
3.4	Maximum shrinkage	%	3	3
4	<i>Pressure test at high temperature</i> (IEC 60811-3-1, subclause 8.2)			
4.1	Temperature (tolerance ±2 °C)	°C	–	115
* The measurement of density is only required for the purpose of other tests.				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 19 – Test requirements for particular characteristics of various thermosetting insulating compounds

0	1	2	3	4	5
	Designation of compounds (see 4.2)		EPR	HEPR	XLPE
1	<i>Ozone resistance</i> (IEC 60811-2-1, clause 8)				
1.1	Ozone concentration (by volume)	%	0,025 to 0,030	0,025 to 0,030	-
1.2	Test duration without cracks	h	24	24	-
2	<i>Hot set test</i> (IEC 60811-2-1, clause 9)				
2.1	Treatment:				
	– air temperature (tolerance ± 3 °C)	°C	250	250	200
	– time under load	min	15	15	15
	– mechanical stress	N/cm ²	20	20	20
2.2	Maximum elongation under load	%	175	175	175
2.3	Maximum permanent elongation after cooling	%	15	15	15
3	<i>Water absorption</i> (IEC 60811-1-3, subclause 9.2)				
	Gravimetric method:				
3.1	Temperature (tolerance ± 2 °C)	°C	85	85	85
3.2	Duration	d	14	14	14
3.3	Maximum increase of mass	mg/cm ²	5	5	1*
4	<i>Shrinkage test</i> (IEC 60811-1-3, clause 10)				
4.1	Distance <i>L</i> between marks	mm	-	-	200
4.2	Temperature (tolerance ± 3 °C)	°C	-	-	130
4.3	Duration	h	-	-	1
4.4	Maximum shrinkage	%	-	-	4
5	<i>Determination of hardness</i> (see annex C)				
5.1	IRHD**, minimum		-	80	-
6	<i>Determination of elastic modulus</i> (see 18.19)				
6.1	Modulus at 150 % elongation, minimum	N/mm ²	-	4,5	-
	* An increase greater than 1 mg/cm ² is being considered for densities of XLPE greater than 1 g/cm ³ .				
	** IRHD: international rubber hardness degree.				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 20 – Test requirements for particular characteristics of elastomeric sheathing compound

0	1	2	3
	Designation of compound (see 4.3)		SE ₁
1	<i>Oil immersion test followed by a determination of the mechanical properties</i> (IEC 60811-2-1, clause 10 and IEC 60811-1-1, clause 9)		
1.1	Treatment: - oil temperature (tolerance ± 2 °C) - duration	°C h	100 24
1.2	Maximum variation* of: a) tensile strength b) elongation-at-break	% %	± 40 ± 40
2	<i>Hot set test</i> (IEC 60811-2-1, clause 9)		
2.1	Treatment: - temperature (tolerance ± 3 °C) - time under load - mechanical stress	°C min N/cm ²	200 15 20
2.2	Maximum elongation under load	%	175
2.3	Maximum permanent elongation after cooling	%	15
* Variation: difference between the median value obtained after treatment and the median value without treatment, expressed as a percentage of the latter.			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Annex A (normative)

Fictitious calculation method for determination of dimensions of protective coverings

The thickness of cable coverings, such as sheaths and armour, has usually been related to nominal cable diameters by means of "step-tables".

This sometimes causes problems. The calculated nominal diameters are not necessarily the same as the actual values achieved in production. In borderline cases, queries can arise if the thickness of a covering does not correspond to the actual diameter because the calculated diameter is slightly different. Variations in shaped conductor dimensions between manufacturers and different methods of calculation cause differences in nominal diameters and may therefore lead to variations in the thicknesses of coverings used on the same basic design of cable.

To avoid these difficulties, the fictitious calculation method shall be used. The idea is to ignore the shape and degree of compaction of conductors and to calculate fictitious diameters from formulae based on the cross-sectional area of conductors, nominal insulation thickness and number of cores. Thicknesses of sheath and other coverings are then related to the fictitious diameters by formulae or by tables. The method of calculating fictitious diameters is precisely specified and there is no ambiguity about the thicknesses of coverings to be used, which are independent of slight differences in manufacturing practices. This standardizes cable designs, thicknesses being pre-calculated and specified for each conductor cross-section.

The fictitious calculation is used only to determine dimensions of sheaths and cable coverings. It is not a replacement for the calculation of actual diameters required for practical purposes, which should be calculated separately.

A.1 General

The following fictitious method of calculating thicknesses of various coverings in a cable has been adopted to ensure that any differences which can arise in independent calculations, for example due to the assumption of conductor dimensions and the unavoidable differences between nominal and actually achieved diameters, are eliminated.

All thickness values and diameters shall be rounded according to the rules in annex B to the first decimal figure.

Holding strips, for example counter helix over armour, if not thicker than 0,3 mm, are neglected in this calculation method.

A.2 Method

A.2.1 Conductors

The fictitious diameter (d_L) of a conductor, irrespective of shape and compactness, is given for each nominal cross-section in table A.1.

Table A.1 – Fictitious diameter of conductor

Nominal cross-section of conductor mm ²	d_L mm	Nominal cross-section of conductor mm ²	d_L mm
1,5	1,4	95	11,0
2,5	1,8	120	12,4
4	2,3	150	13,8
6	2,8	185	15,3
10	3,6	240	17,5
16	4,5	300	19,5
25	5,6	400	22,6
35	6,7	500	25,2
50	8,0	630	28,3
70	9,4	800	31,9
		1 000	35,7

A.2.2 Cores

The fictitious diameter D_c of any core is given by:

$$D_c = d_L + 2 t_i$$

where t_i is the nominal thickness of insulation, in millimetres (see tables 5 to 7).

If a metallic screen or a concentric conductor is applied, a further addition shall be made in accordance with A.2.5.

A.2.3 Diameter over laid-up cores

The fictitious diameter over laid-up cores (D_f) is given by:

a) for cables having all conductors of the same nominal cross-sectional area:

$$D_f = k D_c$$

where the assembly coefficient k is as given in table A.2.

b) for four-core cables with one conductor with reduced cross-section:

$$D_f = \frac{2,42 (3 D_{c1} + D_{c2})}{4}$$

where:

D_{c1} is the fictitious diameter of the insulated phase conductor, including metallic layer, if any, in millimetres;

D_{c2} is the fictitious diameter of the conductor with reduced cross-section including the insulation or covering, if any, in millimetres.

Table A.2 – Assembly coefficient k for laid-up cores

Number of cores	Assembly coefficient k	Number of cores	Assembly coefficient k
2	2,00	24	6,00
3	2,16	25	6,00
4	2,42	26	6,00
5	2,70	27	6,15
6	3,00	28	6,41
7	3,00	29	6,41
7*	3,35	30	6,41
8	3,45	31	6,70
8*	3,66	32	6,70
9	3,80	33	6,70
9*	4,00	34	7,00
10	4,00	35	7,00
10*	4,40	36	7,00
11	4,00	37	7,00
12	4,16	38	7,33
12*	5,00	39	7,33
13	4,41	40	7,33
14	4,41	41	7,67
15	4,70	42	7,67
16	4,70	43	7,67
17	5,00	44	8,00
18	5,00	45	8,00
18*	7,00	46	8,00
19	5,00	47	8,00
20	5,33	48	8,15
21	5,33	52	8,41
22	5,67	61	9,00
23	5,67		

* Cores assembled in one layer.

A.2.4 Inner coverings

The fictitious diameter over the inner covering (D_B) is given by:

$$D_B = D_f + 2 t_B$$

where

$t_B = 0,4$ mm for fictitious diameters over laid-up cores (D_f) up to and including 40 mm;

$t_B = 0,6$ mm for D_f exceeding 40 mm.

These fictitious values for t_B apply to:

a) multicore cables:

- whether an inner covering is applied or not;
- whether the inner covering is extruded or lapped;

unless a separation sheath complying with 12.3.3 is used in place of or in addition to the inner covering, when A.2.7 applies instead;

b) single-core cables:

when an inner covering is applied whether it is extruded or lapped.

A.2.5 Concentric conductors and metallic screens

The increase in diameter due to the concentric conductor or metallic screen is given in table A.3.

Table A.3 – Increase of diameter for concentric conductors and metallic screens

Nominal cross-section of concentric conductor or metallic screen mm ²	Increase in diameter mm	Nominal cross-section of concentric conductor or metallic screen mm ²	Increase in diameter mm
1,5	0,5	50	1,7
2,5	0,5	70	2,0
4	0,5	95	2,4
6	0,6	120	2,7
10	0,8	150	3,0
16	1,1	185	4,0
25	1,2	240	5,0
35	1,4	300	6,0

If the cross-section of the concentric conductor or metallic screen lies between two of the values given in the table above, then the increase in diameter is that given for the larger of the two cross-sections.

If a metallic screen is applied, the cross-sectional area of the screen to be used in the table above shall be calculated in the following manner:

a) tape screen:

$$\text{cross-sectional area} = n_t \times t_t \times w_t$$

where

n_t is the number of tapes;

t_t is the nominal thickness of an individual tape, in millimetres;

w_t is the nominal width of an individual tape, in millimetres.

Where the total thickness of the screen is less than 0,15 mm then the increase in diameter shall be zero:

- for a lapped tape screen made of either two tapes or one tape with overlap, the total thickness is twice the thickness of one tape;
- for a longitudinally applied tape screen:
 - if the overlap is below 30 %, the total thickness is the thickness of the tape;
 - if the overlap is greater than or equal to 30 %, the total thickness is twice the thickness of the tape.

b) wire screen (with a counter helix, if any):

$$\text{cross-sectional area} = \frac{n_w \times d_w^2 \times \pi}{4} + n_h \times t_h \times w_h$$

where

n_w is the number of wires;

d_w is the diameter of an individual wire, in millimetres;

n_h is the number of counter helix;

t_h is the thickness of counter helix, in millimetres, if greater than 0,3 mm;

w_h is the width of counter helix, in millimetres.

A.2.6 Lead sheath

The fictitious diameter over the lead sheath (D_{pb}) is given by:

$$D_{pb} = D_g + 2 t_{pb}$$

where

D_g is the fictitious diameter under the lead sheath, in millimetres;

t_{pb} is the thickness calculated in accordance with clause 11, in millimetres.

A.2.7 Separation sheath

The fictitious diameter over the separation sheath (D_s) is given by:

$$D_s = D_u + 2 t_s$$

where

D_u is the fictitious diameter under the separation sheath, in millimetres;

t_s is the thickness calculated in accordance with 12.3.3, in millimetres.

A.2.8 Lapped bedding

The fictitious diameter over the lapped bedding (D_{lb}) is given by:

$$D_{lb} = D_{ulb} + 2 t_{lb}$$

where

D_{ulb} is the fictitious diameter under the lapped bedding, in millimetres;

t_{lb} is the thickness of lapped bedding, i.e. 1,5 mm according to 12.3.4.

A.2.9 Additional bedding for tape-armoured cables (provided over the inner covering)

Table A.4 – Increase of diameter for additional bedding

Fictitious diameter under the additional bedding		Increase in diameter for additional bedding mm
Above mm	Up to and including mm	
– 29	29 –	1,0 1,6

A.2.10 Armour

The fictitious diameter over the armour (D_x) is given for:

- a) flat or round wire armour by:

$$D_x = D_A + 2 t_A + 2 t_w$$

where

D_A is the diameter under the armour, in millimetres;

t_A is the thickness or diameter of the armour wire, in millimetres;

t_w is the thickness of the counter helix, if any, in millimetres, if greater than 0,3 mm.

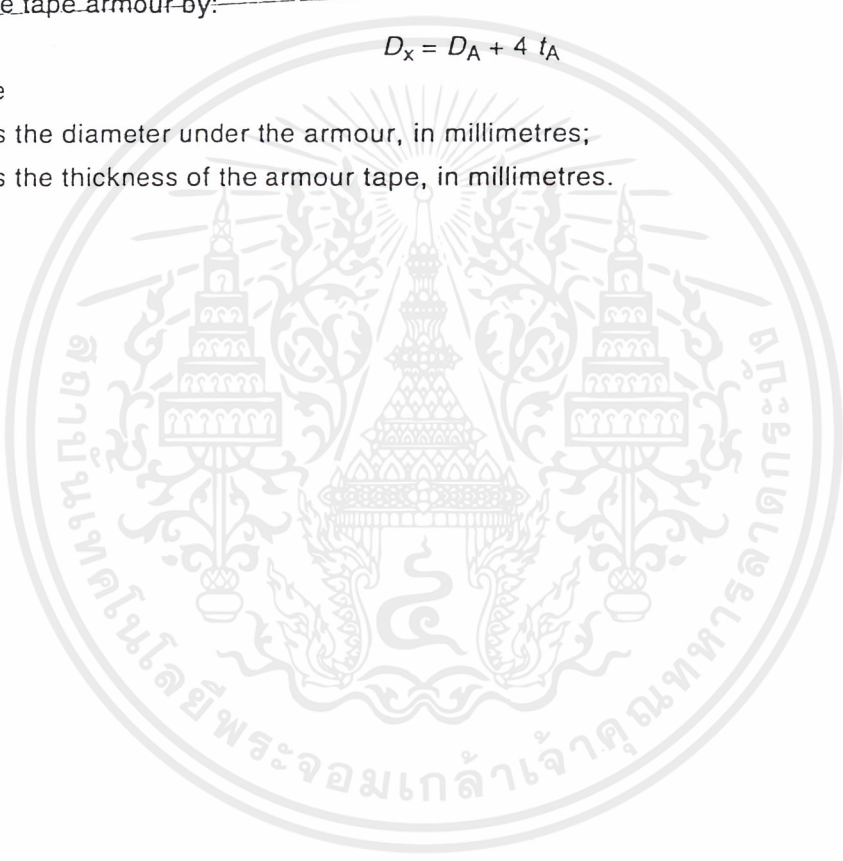
- b) double tape armour by:

$$D_x = D_A + 4 t_A$$

where

D_A is the diameter under the armour, in millimetres;

t_A is the thickness of the armour tape, in millimetres.



Annex B (normative)

Rounding of numbers

B.1 Rounding of numbers for the purpose of the fictitious calculation method

The following rules apply when rounding numbers in calculating fictitious diameters and determining dimensions of component layers in accordance with annex A.

When the calculated value at any stage has more than one decimal place, the value shall be rounded to one decimal place, i.e. to the nearest 0,1 mm. The fictitious diameter at each stage shall be rounded to 0,1 mm and, when used to determine the thickness or dimension of an overlying layer, it shall be rounded before being used in the appropriate formula or table. The thickness calculated from the rounded value of the fictitious diameter shall in turn be rounded to 0,1 mm as required in annex A.

To illustrate these rules, the following practical examples are given:

a) when the figure in the second decimal place before rounding is 0, 1, 2, 3 or 4, then the figure retained in the first decimal place remains unchanged (rounding down).

Examples:

$$\begin{aligned} 2,12 &\approx 2,1 \\ 2,449 &\approx 2,4 \\ 25,0478 &\approx 25,0 \end{aligned}$$

b) when the figure in the second decimal place before rounding is 9, 8, 7, 6 or 5, then the figure in the first decimal place is increased by one (rounding up)

Examples:

$$\begin{aligned} 2,17 &\approx 2,2 \\ 2,453 &\approx 2,5 \\ 30,050 &\approx 30,1 \end{aligned}$$

B.2 Rounding of numbers for other purposes

For purposes other than those considered under B.1, it may be required that values are rounded to more than one decimal place. This may occur, for instance, in calculating the average value of several measurement results, or the minimum value by applying a percentage tolerance to a given nominal value. In these cases, rounding shall be carried out to the number of decimal places specified in the relevant clauses.

The method of rounding shall then be:

a) if the last figure to be retained is followed, before rounding, by 0, 1, 2, 3 or 4, it shall remain unchanged (rounding down);

b) if the last figure to be retained is followed, before rounding, by 9, 8, 7, 6 or 5, it shall be increased by one (rounding up).

Examples:

$$\begin{aligned} 2,449 &\approx 2,45 && \text{rounded to two decimal places} \\ 2,449 &\approx 2,4 && \text{rounded to one decimal place} \\ 25,0478 &\approx 25,048 && \text{rounded to three decimal places} \\ 25,0478 &\approx 25,05 && \text{rounded to two decimal places} \\ 25,0478 &\approx 25,0 && \text{rounded to one decimal place} \end{aligned}$$

Annex C (normative)

Determination of hardness of HEPR insulations

C.1 Test piece

The test piece shall be a sample of completed cable with all the coverings, external to the HEPR insulation to be measured, carefully removed. Alternatively, a sample of insulated core may be used.

C.2 Test procedure

Tests shall be made in accordance with ISO 48 with exceptions as indicated below.

C.2.1 Surfaces of large radius of curvature

The test instrument, in accordance with ISO 48, shall be constructed so as to rest firmly on the HEPR insulation and permit the presser foot and indenter to make vertical contact with this surface. This is done in one of the following ways:

- a) the instrument is fitted with feet moveable in universal joints so that they adjust themselves to the curved surface;
- b) the base of the instrument is fitted with two parallel rods A and A' at a distance apart depending on the curvature of the surface (see figure C.1).

These methods may be used on surfaces with radius of curvature down to 20 mm.

When the thickness of HEPR insulation tested is less than 4 mm, an instrument as described in the method in ISO 48 for thin and small test pieces shall be used.

C.2.2 Surfaces of small radius of curvature

On surfaces with too small a radius of curvature for the procedures described in C.2.1, the test piece shall be supported on the same rigid base as the test instrument, in such a way as to minimize bodily movement of the HEPR insulation when the indenting force increment is applied to the indenter and so that the indenter is vertically above the axis of the test piece. Suitable procedures are as follows:

- a) by resting the test piece in a groove or trough in a metal jig (see figure C.2a);
- b) by resting the ends of the conductor of the test piece in V-blocks (see figure C.2b).

The smallest radius of curvature of the surface to be measured by these methods shall be at least 4 mm.

For smaller radii, an instrument as described in the method in ISO 48 for thin and small test pieces shall be used.

C.2.3 Conditioning and test temperature

The minimum time between manufacture i.e. vulcanization and testing shall be 16 h.

The test shall be carried out at a temperature of $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and the test pieces shall be maintained at this temperature for at least 3 h immediately before testing.

C.2.4 Number of measurements

One measurement shall be made at each of three or five different points distributed around the test piece. The median of the results shall be taken as the hardness of the test piece, expressed to the nearest whole number in international rubber hardness degrees (IRHD).

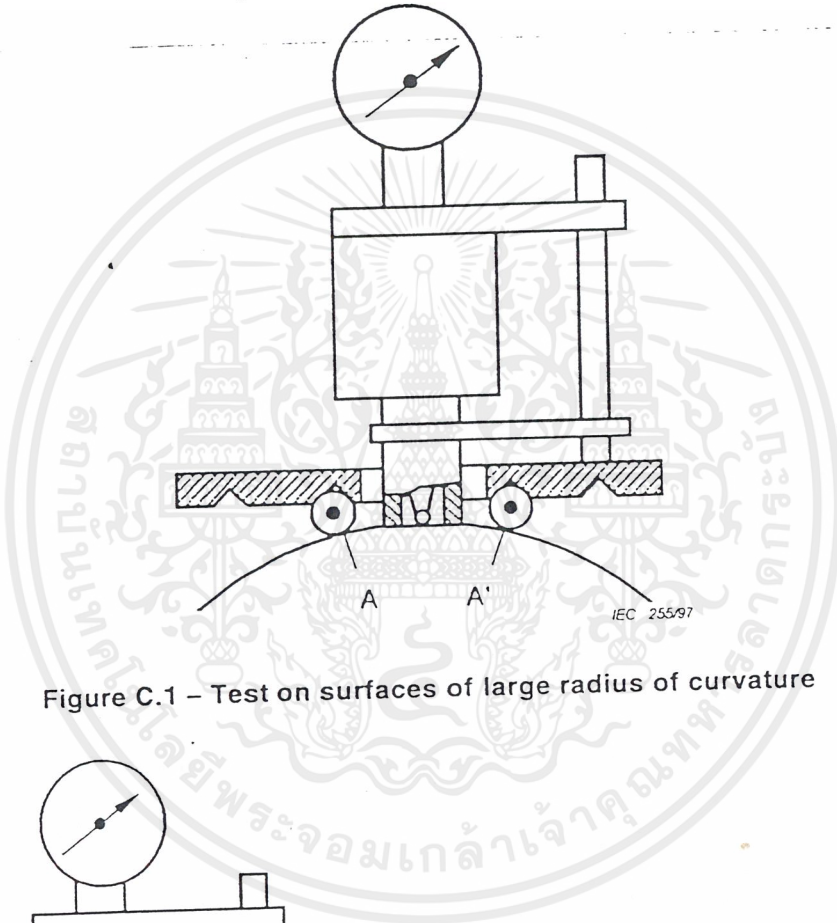


Figure C.1 – Test on surfaces of large radius of curvature

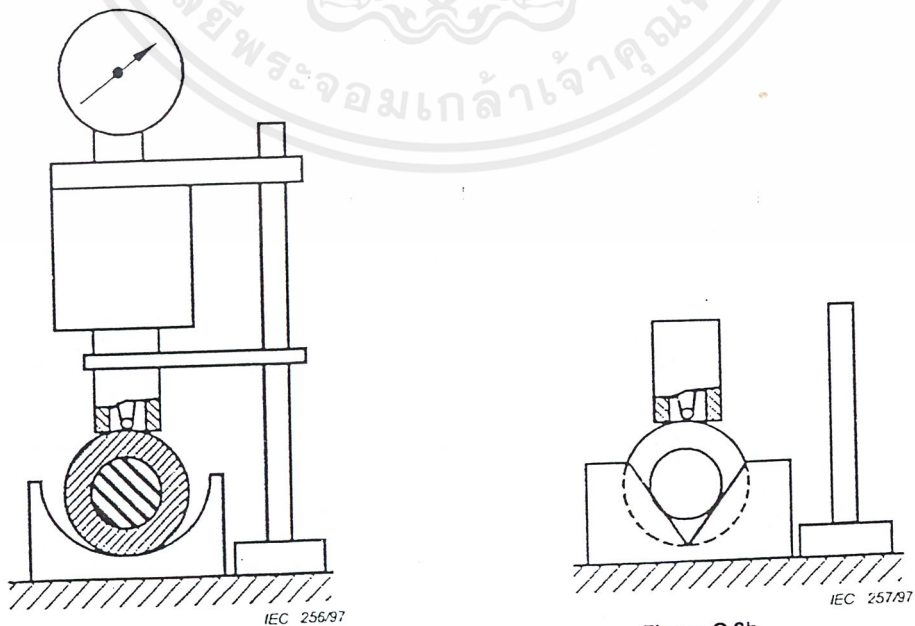


Figure C.2a

Figure C.2b

Figure C.2 – Test on surfaces of small radius of curvature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ Figure C.2 – Test on surfaces of small radius of curvature
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งานหม้อต้มน้ำทดสอบฉนวน

1. การจับยึดชิ้นงาน

นำชิ้นงานใส่ในหลอดแก้วกลวง หลอดละ 1 ชิ้น

นำขาจับยึดชิ้นงานประกอบกับฝาแก้ว

นำหลอดแก้วที่มีชิ้นงานอยู่ด้านในวางลงบนขาจับยึดชิ้นงาน

ปิดฝาแก้วลงบนบีกเกอร์ที่ใส่น้ำลงไปประมาณ 1,625 ลูกบาศก์เซนติเมตร

นำบีกเกอร์ที่ประกอบเสร็จแล้วใส่ลงไปในฉนวนกันความร้อน



รูปแสดงขาจับยึดชิ้นงานและหลอดแก้วกลวงสำหรับใส่ชิ้นงาน



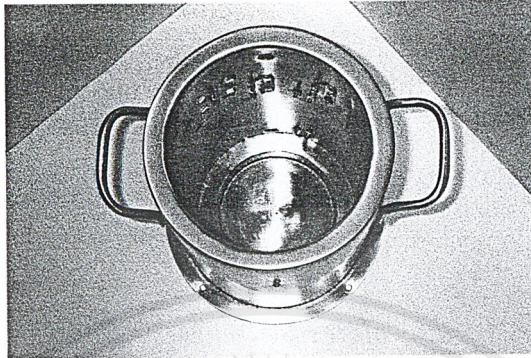
รูปแสดงการประกอบส่วนจับยึดชิ้นงานเข้ากับบีกเกอร์

2. การติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล , ก้านอิเล็กทรอนิกส์ และ โซลินอยด์วาล์ว

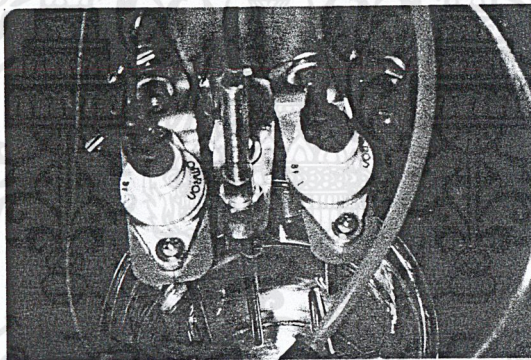
นำเทอร์โมคัปเปิลเสียบกับบานพับด้านในตรงกลางด้านที่มีบานพับ 3 อัน

นำก้อนอิเล็กทรอนิกส์ก้านสั้นเสียบด้านขวาของเทอร์โมคัปเปิล และ นำก้อนอิเล็กทรอนิกส์
ก้านยาวเสียบด้านซ้ายของเทอร์โมคัปเปิล

นำโซลินอยด์วาล์วเสียบที่บ้านพันด้านตรงข้ามกับเทอร์โมคัปเปิล



รูปแสดงตำแหน่งของบ้านพัน โดย ตำแหน่งตรงกลางใช้สำหรับเสียบเทอร์โมคัปเปิล
ด้านซ้ายมือใช้สำหรับเสียบก้านอิเล็กทรอนิกส์ก้านยาว
ด้านขวามือใช้สำหรับเสียบก้านอิเล็กทรอนิกส์ก้านสั้น



รูปแสดงการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล , ก้านอิเล็กทรอนิกส์ และ โซลินอยด์วาล์ว

3. การเริ่มต้นการใช้งานโปรแกรมควบคุมหม้อต้มเพื่อทำการทดสอบ

เข้าสู่โปรแกรม

ที่หน้าจอหลัก กดปุ่ม ทดสอบ

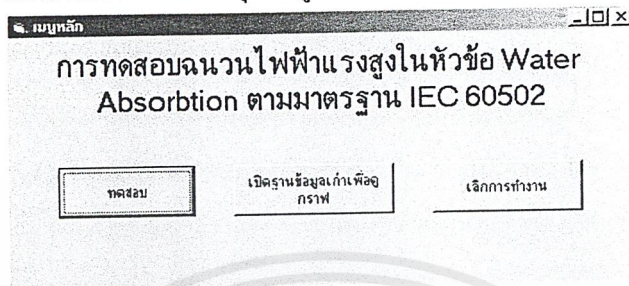
ที่หน้าจอกำหนดข้อมูลเริ่มต้น ตั้งค่าเริ่มต้นต่างๆ กำหนดชื่อและที่อยู่ของไฟล์ที่ต้องการ

จัดเก็บฐานข้อมูล และ ตั้งค่า Com port ให้ถูกต้อง

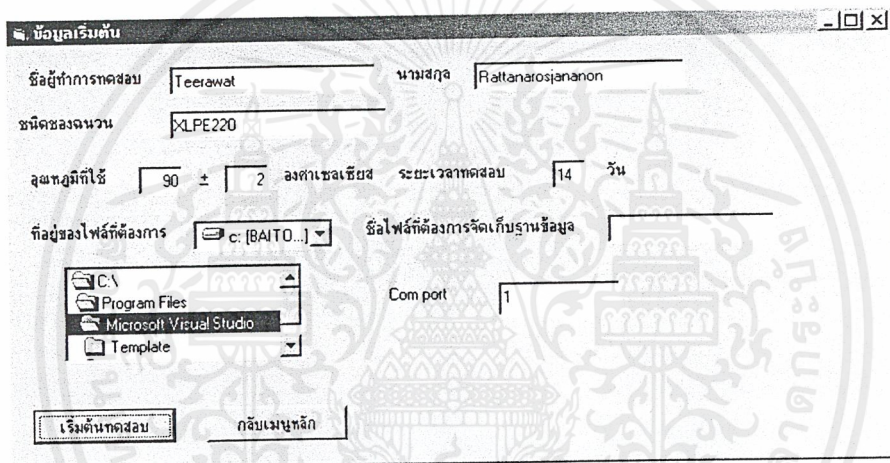
กดปุ่ม เริ่มต้นทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

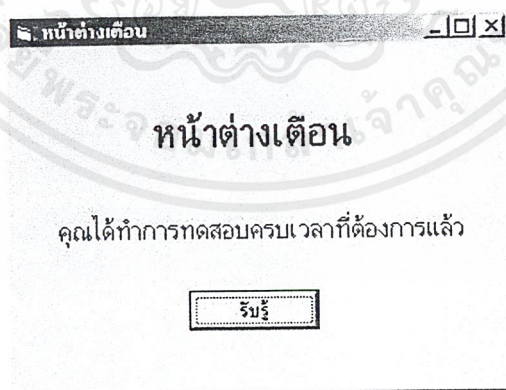
ที่หน้าจอกาฟหากต้องการดูกราฟของวันอื่นๆ ให้กดปุ่ม Next หรือ ปุ่ม Previous
ที่หน้าจอกาฟหากต้องการยกเลิกการทดสอบให้กดปุ่ม ยกเลิกการทดสอบ
เมื่อปรากฏหน้าจอแสดงการเตือนเมื่อครบเวลาการทดสอบขึ้นมาแสดงว่าได้ทำการ
ทดสอบมาครบตามเวลาที่กำหนดไว้แล้วให้กดปุ่มรับรู้



รูปแสดงหน้าจอหลัก



รูปแสดงหน้าจอกำหนดข้อมูลเริ่มต้น



รูปแสดงหน้าต่างเตือนเมื่อทำการทดสอบครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การนำชิ้นงานออก

ดึงเทอร์โมคัปเปิลออกจากบานพับด้านใน และนำมาพักไว้ที่บานพับด้านนอก
สำหรับก้านอิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 2 ก้าน และ โซลินอยด์วาล์ว ให้ทำเช่นเดียวกันกับเทอร์

โมคัปเปิล

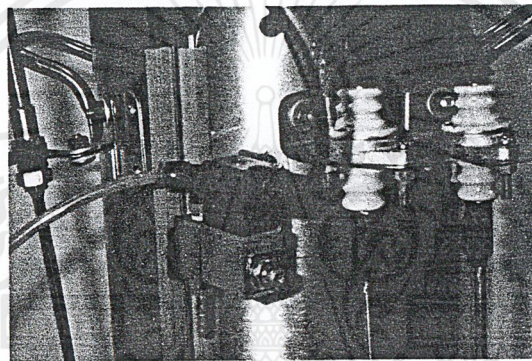
ยกบีกเกอร์พร้อมทั้งชิ้นงานออกจากตัวฉนวน

ใช้ขาคีมเกี่ยวแก้วเกี่ยวฝาปิดแก้วออกมา โดยเกี่ยวที่รูของเทอร์โมคัปเปิลและรูของโซลินอยด์

วาล์ว

นำหลอดแก้วออกมาจากขาจับยึดชิ้นงาน

นำชิ้นงานออกมาจากหลอดแก้ว



รูปแสดงการนำอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ มาพักไว้ที่บานพับด้านนอก



รูปแสดงการใช้ขาคีมเกี่ยวแก้วเกี่ยวฝาปิดแก้ว

5. การเริ่มต้นใช้งานโปรแกรมเพื่อเปิดดูกราฟของฐานข้อมูลเก่า เข้าสู่โปรแกรม

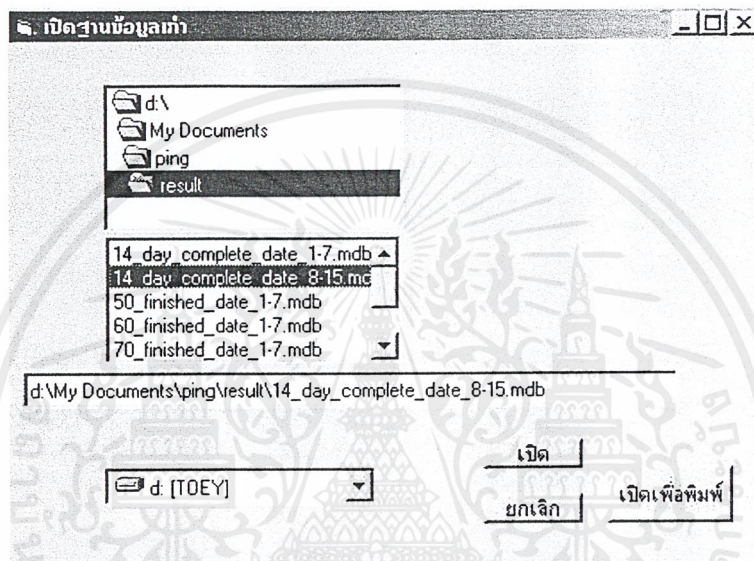
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่หน้าจอหลักกดปุ่ม เปิดฐานข้อมูลเก่าเพื่อดูกราฟ

ที่หน้าจอเปิดฐานข้อมูลเก่ากำหนดที่อยู่และชื่อของไฟล์ที่ต้องการเปิด โดยชื่อของไฟล์ จะเป็นชื่อที่ตั้งไว้ขณะทำการทดสอบ และจะมีคำว่า Date_1-7 หรือ Date_8-15 เพิ่มเข้ามาด้านหลังของชื่อที่ตั้งไว้ ให้กำหนดไฟล์ที่ต้องการดูเป็นไฟล์ที่ลงท้ายด้วยคำว่า Date_1-7 จะสามารถดูได้ทั้ง 15 วัน โดยไม่ต้องเลือกไฟล์ที่ลงท้ายด้วยคำว่า Date_8-15

ที่หน้าจอกราฟหากต้องการดูกราฟของวันอื่นให้กดปุ่ม Next หรือปุ่ม Previous

ที่หน้าจอกราฟหากต้องการออกจากกราฟให้กดปุ่ม ปิด



รูปแสดงหน้าจอเปิดฐานข้อมูลเก่า

6. การเริ่มต้นใช้งานโปรแกรมเพื่อพิมพ์ผลการทดลองในแต่ละวัน

เข้าสู่โปรแกรม

ที่หน้าจอหลัก กดปุ่ม เปิดฐานข้อมูลเก่าเพื่อดูกราฟ

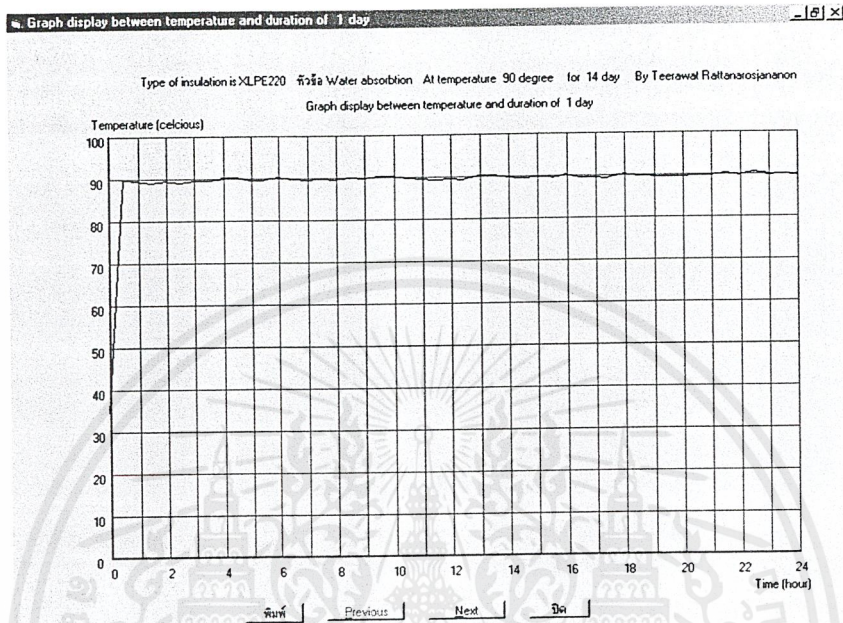
ที่หน้าจอพิมพ์กราฟข้อมูลในแต่ละวันกำหนดที่อยู่และชื่อของไฟล์ที่ต้องการพิมพ์ผลการทดลอง จะเป็นชื่อที่ตั้งไว้ขณะทำการทดสอบ และจะมีคำว่า Date_1-7 หรือ Date_8-15 เพิ่มเข้ามาด้านหลังของชื่อที่ตั้งไว้ ให้กำหนดไฟล์ที่ต้องการดูเป็นไฟล์ที่ลงท้ายด้วยคำว่า Date_1-7 จะสามารถดูได้ทั้ง 15 วัน โดยไม่ต้องเลือกไฟล์ที่ลงท้ายด้วยคำว่า Date_8-15 อีก

ที่หน้าจอพิมพ์กราฟข้อมูลในแต่ละวัน หากต้องการพิมพ์กราฟให้กดปุ่ม พิมพ์

ที่หน้าจอพิมพ์กราฟข้อมูลในแต่ละวัน หากต้องการพิมพ์กราฟของวันอื่น ให้กดปุ่ม Next

หรือปุ่ม Previous

ที่หน้าจอพิมพ์กราฟข้อมูลในแต่ละวัน หากต้องการออกจากกราฟให้กดปุ่ม ปิด



รูปแสดงหน้าจอพิมพ์กราฟข้อมูลในแต่ละวัน

7. การติดตั้งโปรแกรมควบคุมหม้อต้ม

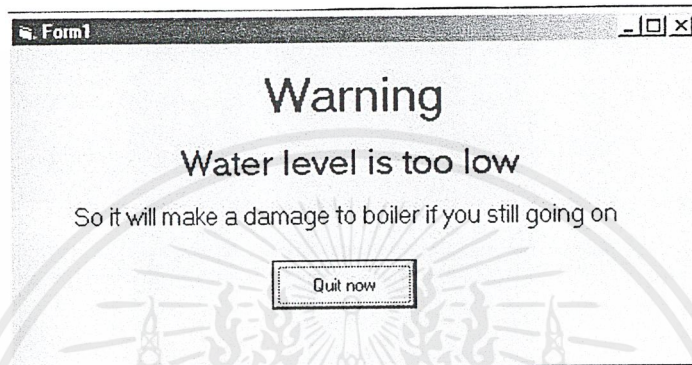
เสียบไฟล์ทั้งหมดจากแผ่น Setup ลงไปเก็บไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องการลงโปรแกรม ดับเบิลคลิกที่ไอคอน Setup แล้วทำตามโปรแกรมติดตั้งไปเรื่อยๆ จนจบการติดตั้ง

! ข้อควรระวัง !

หากปรากฏหน้าจอแสดงการเตือนเมื่อระดับน้ำต่ำกว่าปกติซึ่งจะเกิดขึ้นใน 2 กรณีคือ

- น้ำที่ใช้มีค่าความนำไฟฟ้าน้อยเกินไปจนทำให้ก้านอิเล็กโทรดต่อถึงกันทางไฟฟ้าไม่ได้
- ระดับน้ำต่ำเกินไปจนทำให้ก้านอิเล็กโทรดขาดสัมผัสอยู่ตลอดเวลา

ให้กดปุ่ม Quit now เพื่อรับรู้ (เพราะไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการยุติการทำงานไปแล้ว) แล้วให้กดปุ่ม Reset ที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วจึงค่อยเริ่มการทดสอบครั้งต่อไป



รูปแสดงหน้าต่างเตือนเมื่อระดับน้ำผิดปกติ

หากมีปัญหาไฟดับก่อนที่จะเริ่มทำการทดสอบใหม่ ให้กดปุ่ม Reset ที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วจึงค่อยเริ่มการทดสอบครั้งต่อไป

หากปรากฏว่าอุณหภูมิที่หน้าจอ LCD คลาดเคลื่อนกับอุณหภูมิที่หน้าจอคอมพิวเตอร์มากๆ ให้ตรวจสอบดูว่าต่อ Com port ถูกต้องกับที่ตั้งค่าไว้หรือไม่ แล้วให้ทำการกดปุ่ม Reset ที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วจึงค่อยเริ่มการทดสอบครั้งต่อไป

หากมีปัญหาใดๆ ให้กดปุ่ม Reset ที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วจึงค่อยเริ่มการทดสอบครั้งต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐาน IEC

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.)

อนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ กรุงเทพฯ

บีกเกอร์แก้ว , แท่งแก้วต้นทนความร้อน และ หลอดแก้วทนความร้อน

บริษัทวิทยาศาสตร์ จำกัด

43 – 45 และ 51 อาคาร 8 ถนนราชดำเนินกลาง แขวงวัดบวรนิเวศน์ เขตพระนคร กรุงเทพฯ

10200 โทร. 282-4981-6 , 282-8940-3

ศึกษาภัณฑ์พาณิชย์ ราชดำเนิน

69 อาคาร 9 ถนนราชดำเนินกลาง แขวงวัดบวรนิเวศน์ เขตพระนคร กรุงเทพฯ 10200 โทร.

629-1910

ฝาแก้วปิดบีกเกอร์

ร้านกระจกหน้าปากซอย โรงพยาบาลเพชรเกษม ตรงข้ามห้างโลตัส บางแค

ที่ทำตัวจับยึดชิ้นงาน

ห้องปฏิบัติการเป่าแก้ว

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล.

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

บริษัท ศิลาณีเสิร์ช จำกัด

1108/41 ถนนสุขุมวิท แขวงพระโขนง เขตคลองเตย กรุงเทพฯ 10110 โทร. 712-2850-2

แฟกซ์. 381-1447

ไอซีเบอร์ XTR101AP

ขอได้ที่ บริษัท Texas instruments (www.ti.com)

ก้านอิเล็กทรอนิกส์

บริษัท นัฐพงษ์ เซลล์แอนด์เซอร์วิส จำกัด

119 , 119/1 ถนนอัยยรักษ์ แขวงวังบูรพาภิรมย์ เขตพระนคร กรุงเทพฯ 10200 โทร.

0-2225-0094 แฟกซ์. (662) 2252528 , 2264020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฮาร์ดแวร์ และ เทอร์โมคัปเปิล

บริษัท เทคโนโลยีอินสตรูเมนต์ จำกัด

212/47-48 หมู่ 6 ถนนพัฒนาการ แขวงประเวศ เขตประเวศ กรุงเทพฯ 10250 โทร. 02-722-2233 แฟกซ์. 02-321-1322 , 02-722-2211

โซลินอยด์วาล์ว

คลองถม กรุงเทพฯ

ฉนวนกันความร้อน

บริษัท กล้วยน้ำไทการช่าง

4180/6 ถนนพระราม 4 แขวงพระโขนง เขตคลองเตย กรุงเทพฯ โทร. 249-5620 , 249-4732 , 279-5235 , 671-6844-5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Source code โปรแกรมภาษา Visual basic ของโปรแกรมควบคุมหม้อต้ม

ฟอร์ม main_menu

```
Private Sub to_test_Click()          look_initial_form.Show          day = 1
Unload main_menu                    End Sub                          Load test_initial_form
test_initial_form.Show              Private Sub to_quit_Click()      Load look_initial_form
End Sub                              End                              End Sub
Private Sub to_look_Click()          End Sub
Unload main_menu                    Private Sub Form_Load()
```

ฟอร์ม test_initial_form

```
Private Sub command_test_Click()          **** Protect again ****
**** Save standard table to some filename ****          dat = "date 1"
If text_filename.Text = "" Then          makedata
    destinate1 = "c:\my                  editdata
documents\ping\database\test_date_1-7.mdb"          **** Start to copy ****
    destinate2 = "c:\my                  locate = "c:\my
documents\ping\database\test_date_8-15.mdb"          documents\ping\database\ping1.mdb"
Else          destinate = destinate2
    destinate1 = Dir1.Path & "\" & text_filename.Text          FileCopy locate, destinate
& "_date_1-7.mdb"          **** Store initial condition to public variable ****
    destinate2 = Dir1.Path & "\" & text_filename.Text          comport = Val(text_comport.Text)
& "_date_8-15.mdb"          nam = text_name.Text
End If          sur = text_surname.Text
**** Protect file copy error ****          insu = text_insulator.Text
destinate = "c:\my                      temp = Val(text_temperature.Text)
documents\ping\database\ping1.mdb"
dat = "date 8"          temp_sib = Left(text_temperature.Text, 1)
makedata          temp_nuay = Right(text_temperature.Text, 1)
editdata
**** Start to copy ****          noi = (((90 - temp) * (135 - 106)) / (90 - 50)) + 106
locate = "c:\my          mark = (((90 - temp) * (150 - 122)) / (90 - 50)) +
documents\ping\database\ping.mdb"          122
destinate = destinate1          noi_noi = (((90 - temp) * (110 - 84)) / (90 - 50)) +
FileCopy locate, destinate          84
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

clea = Val(text_clearance.Text)
dur = Val(text_duration.Text)
makedata
fieldinitial
destinate = destinate2
dat = "date 8"
makedata
fieldinitial
'*** Connect to temperature and voltage table ***
link_t_v
'*** Set day now for use in test_form ***
day_now = 1
'*** Set initial of serial port connection ***
MSComm1.Settings = "9600,N,8,1"
MSComm1.CommPort = comport
MSComm1.InputLen = 1
MSComm1.PortOpen = True
MSComm1.RThreshold = 1

ฟอร์ม test_form
Dim x_new, y_new, x_old, y_old As Single
Dim laeead, rim_right, rim_left, rad As Single
Dim x, xo, y As Single
Dim slide_sen, chung As Single
Dim real_temp, real_time, real_time_sec,
real_time_min As Single
Dim y_laeead, x_laeead, start, k As Integer
Dim hex_value As Single
Dim nub, vain, io, vtc As Single

Private Sub Text1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    MSComm1.Output = Chr$(KeyAscii)
End Sub

Private Sub mscomm1_oncomm()
'***Store initial condition to file ***
destinate = destinate1
dat = "date 1"
'*** Send bit start to microprocessor ***
Unload test_initial_form
Load test_form
test_form.Show
End Sub
Private Sub command_back_Click()
'*** Go to main menu ***
Unload test_initial_form
Unload main_menu
Load main_menu
main_menu.Show
End Sub
Private Sub Drive1_Change()
Dir1.Path = Drive1.Drive
End Sub

'Text1.Text = Text1.Text & MSComm1.Input
'nub = nub + 1
'If nub = 3 Then
'hex_value = Val(Text1.Text)
'hex_value_before = hex_value
'If jum_nun < 20 Then
    Text1.Text = MSComm1.Input
If Text1.Text <> "" Then
    If Asc(Text1.Text) <> 254 Then '%%%'
'If Text1.Text <> "" Then
        hex_value = (Asc(Text1.Text) + 50)

        vain = (hex_value / 256) * 2.2
        io = (vain / 119.4) * 1000 'mA

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

vtc = (io - 4) / (0.016 + (40 / 12.1)) 'mV
v_ruam = v_ruam + vain
jum_nun = jum_nun + 1

rs_t_v.MoveLast
If vtc > 0.05 Then
Do
rs_t_v.MovePrevious
Loop Until rs_t_v.Fields("voltage") <= vtc
tbase = rs_t_v.Fields("temperature")
vbase = rs_t_v.Fields("voltage")
rs_t_v.MoveNext
vnext = rs_t_v.Fields("voltage")
tadd = ((vtc - vbase) / (vnext - vbase))
temperature = tbase + tadd
temp_ruam = temp_ruam + temperature
Text4.Text = Format(temperature, "###.##")
'End If
End If
Text1.Text = ""

Else '%%%'
Unload test_form '%%%'
'test_form.Hide '%%%'
Load out_of_water_form '%%%'
out_of_water_form.Show '%%%'
End If '%%%'
End If
'nub = 0
'End If
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
Text2.Text = Str(noi) & " " & Str(mark)

*** Protect over flow ***

If HScroll1.Max <= 32767 - laeead Then
HScroll1.Min = -32767
*** For average temperature ***
If jum_nun <> 0 Then
temperature = (temp_ruam / jum_nun)
End If
*** For draw graph ***
x_old = x_new
y_old = y_new
x_new = x_new + laeead
y_new = (39767 - (temperature * 50))
Picture2.Line (x_old, y_old)-(x_new, y_new)
'Picture2.Circle (a, b), rad
real_temp = temperature
text_temperature_now.Text = "Temperature at
this time is " & Format(temperature, "###.##") &
degree of celcius"
real_time = (((x_new - 32767) - rim_left) * 1) /
0.8
real_time_sec = (real_time Mod 3600) Mod 60
'!!!!!!!!!!!!!!(real_time Mod 10)
real_time_min = (real_time Mod 3600) \ 60
real_time_hour = (real_time \ 3600)
'!!!!!!!!!!!!!!(real_time \ 10)
text_duration_now.Text = "This duration is " &
Str(day_now - 1) & " day " & Str(real_time_hour) & "
hour : " & Str(real_time_min) & " min : " &
Str(real_time_sec) & " sec "
*** For check hour and edit value to file ***
'If real_time_hour <= (dur + 1) Then '!!!!!!!!!!!!!!
'really is save until dur
If real_time_sec Mod 5 = 0 Then

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

If (real_time_sec = 0) And (real_time_min = 0)
Then
    real_time_hour = (real_time_hour - 1)
End If
'*** For set hour ***
select_hour
rsdate_edit.Edit
rsdate_edit.Fields(real_hour) = real_temp
rsdate_edit.Update
rsdate_edit.MoveNext
If rsdate_edit.EOF = True Then
    rsdate_edit.MoveFirst
End If
End If
'End If
'*** For check duration and add day ***
If real_time_hour = 24 And real_time_sec > 0 Then
'!!!!!!!!!!!!!!
    Timer1.Enabled = False
    Unload test_form
    If day_now = dur Then
        Load warning_form
        warning_form.Show
    End If
    day_now = day_now + 1
    If day_now <= 16 Then
        Unload look_form
        look_form.Hide
        Load test_form
        test_form.Show
    Else
        MsgBox "You are going to test for too much
duration ", vbInformation + vbOKOnly, "Warning"
        MSComm1.Output = Chr$(Asc("r"))
    End If
End If
End If
'*** Add line follow picture2.width ***
If (x_new - 32767) > (Picture2.Width - rim_right)
Then
    Line2.X2 = (x_new + rim_right)
    For i% = 0 To 26
        Line3(i%).X2 = (x_new + rim_right)
    Next i%
    Picture2.Width = x_new - 32767 + rim_right
End If
If Picture2.Width > Picture1.Width Then
    HScroll1.Enabled = True
    If start < 3 Then
        start = start + 1
    End If
    HScroll1.Max = Picture2.Width - Picture1.Width
- 32767
    Else
        HScroll1.Enabled = False
    End If
    HScroll1.Refresh
'*** Give Hscroll1.value follow dragging mouse ***
If (HScroll1.Value = HScroll1.Max - laeed) Or
(start = 1) Then '****new*****
    HScroll1.Value = HScroll1.Max
Else
    If HScroll1.Enabled = True Then
        HScroll1.Value = -Picture2.Left
    End If
End If
End If
v_ruam = 0
jum_nun = 0
temp_ruam = 0
End Sub

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Private Sub Form_Load()
    **** Initial temperature reader ****
    'Text1.Text = ""
    nub = 0
    v_ruam = 0
    jum_nun = 0
    temp_ruam = 0
    **** Set initial of serial port connection ****
    MSComm1.Settings = "9600,N,8,1"
    MSComm1.CommPort = comport
    MSComm1.InputLen = 1
    MSComm1.PortOpen = True
    MSComm1.RThreshold = 1
    Timer2.Enabled = True
    **** Set destinate and date to editdata ****
    select_day_now
    editdata
    rdate_edit.MoveFirst
    **** Set command previous and next ****
    command_next.Enabled = False
    If day_now = 1 Then
        command_previous.Enabled = False
    Else
        command_previous.Enabled = True
    End If
    **** Set initial condition of drawing graph ****
    x_new = 33767
    y_new = (39767 - (temperature * 50))
    laeead = 0.8
    rim_right = 1500
    rim_left = 1000
    rad = 20
    chung = 30
    x = (0.8 * 60 * 30)
    xo = 33767 + (0.8 * 60 * 30)

    **** Draw line and text for show value in y axis ****
    text_temp_value(26).Visible = False
    distance_of_text% = 450
    temp_value% = 130
    distance_of_line% = 500
    For y_axis% = 0 To 26
        Line3(y_axis%).X1 = 1000
        Line3(y_axis%).X2 = 12000 *****
        Line3(y_axis%).BorderColor = &HFF&
        Line3(y_axis%).Y1 = distance_of_line%
        Line3(y_axis%).Y2 = distance_of_line%
        distance_of_line% = distance_of_line% + 250
        text_temp_value(y_axis%).BackColor =
        &HC0C0FF
        text_temp_value(y_axis%).Alignment = 2
        text_temp_value(y_axis%).BorderStyle = 0
        text_temp_value(y_axis%).Height = 100
        text_temp_value(y_axis%).Width = 400
        text_temp_value(y_axis%).Left = 300
        text_temp_value(y_axis%).Top =
        distance_of_text%
        distance_of_text% = distance_of_text% + 250
        text_temp_value(y_axis%).Text = temp_value%
        temp_value% = temp_value% - 5
    Next y_axis%
    **** Did not display laeead and different of line ****
    For m% = 1 To 25 Step 2
        text_temp_value(m%).Visible = False
        Line3(m%).BorderStyle = 5
        Line3(m%).Visible = False
        Line3(m%).BorderWidth = 1
        Line3(m% - 1).BorderWidth = 1
        Line3(m% - 1).BorderStyle = 1
    Next m%
    **** Draw text for show value in x axis ****

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

For x_axis% = 0 To 51
    text_time_value(x_axis%).BackColor =
    &HC0C0FF
    text_time_value(x_axis%).Alignment = 2
    text_time_value(x_axis%).BorderStyle = 0
    text_time_value(x_axis%).Height = 100
    text_time_value(x_axis%).Width = 1200
    text_time_value(x_axis%).Top = 7200
    **** Did not display zero ***
    If Str(((x_axis% + 1) * 30) \ 60) <> 0 Then 'hour
        If Str(((x_axis% + 1) * 30) Mod 60) <> 0 Then
' minute
            text_time_value(x_axis%).Text =
Str(((x_axis% + 1) * 30) \ 60) & " hour" &
Str(((x_axis% + 1) * 30) Mod 60) & " min"
            Else
                text_time_value(x_axis%).Text =
Str(((x_axis% + 1) * 30) \ 60) & " hour"
            End If
        Else
            text_time_value(x_axis%).Text =
Str(((x_axis% + 1) * 30) Mod 60) & " min"
        End If
        text_time_value(x_axis%).Left = (1000 + (0.8 *
60 * 30) * (x_axis% + 1)) -
(text_time_value(x_axis%).Width / 2)
    Next x_axis%
    **** Draw line in x axis ***
    For x_axis% = 0 To 99
        Line4(x_axis%).BorderColor = &HFF&
        Line4(x_axis%).Y1 = 500
        Line4(x_axis%).Y2 = 7000
        Line4(x_axis%).X1 = 1000 + ((0.8 * 60 * 15) *
(x_axis% + 1))
        Line4(x_axis%).X2 = Line4(x_axis%).X1
    Next x_axis%
    **** Did not display laeed and different of line ***
    For m% = 0 To 99 Step 2
        Line4(m% + 1).BorderWidth = 1
        Line4(m% + 1).BorderStyle = 1
        Line4(m%).BorderWidth = 1
        Line4(m%).BorderStyle = 5
        Line4(m%).Visible = False
    Next m%
    End Sub
    Private Sub command_previous_Click()
        previous_from_test = 3
        test_form.Hide
        day = day_now
        day = day - 1
        Unload look_form
        Load look_form
        look_form.Show
    End Sub
    'Private Sub command_stop_timer_Click()
    'Timer1.Enabled = False
    'End Sub
    'Private Sub command_start_timer_Click()
    'Timer1.Enabled = True
    'End Sub
    Private Sub command_y_laeed_Click()
    If y_laeed = 0 Then
        For m% = 1 To 25 Step 2
            Line3(m%).Visible = True
        Next m%
        y_laeed = y_laeed + 1
    Else
        For m% = 1 To 25 Step 2
            Line3(m%).Visible = False
        Next m%

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

y_laeead = y_laeead - 1
End If
End Sub
Private Sub command_x_laeead_Click()
If x_laeead = 0 Then
    For m% = 0 To 99 Step 2
        Line4(m%).Visible = True
    Next m%
    x_laeead = x_laeead + 1
Else
    For m% = 0 To 99 Step 2
        Line4(m%).Visible = False
    Next m%
    x_laeead = x_laeead - 1
End If
End Sub
Private Sub command_quit_Click()
MSComm1.Output = Chr$(Asc("r"))
    nub = 0
    v_ruam = 0
    jum_nun = 0
    temp_ruam = 0
Unload test_form
Load main_menu
main_menu.Show
End Sub
Private Sub Form_Activate()
test_form.Caption = "Graph display between
temperature and duration of " & Str(dur) & " day"
text_insulator.Text = "Type of insulation is " & insu
text_temperature.Text = "At temperature " &
Str(temp) & " degree of celcius "
text_duration.Text = "for " & Str(dur) & " day"
text_name_surname.Text = "By " & nam & " " & sur
End Sub

```

```

Private Sub Form_Resize()
**** Initial condition for draw graph ***
test_form.ScaleLeft = 32767
test_form.ScaleTop = 32767
Picture1.ScaleLeft = 32767
Picture2.ScaleLeft = 32767
Picture1.ScaleTop = 32767
Picture2.ScaleTop = 32767
Picture1.Move 32767, 32767, ScaleWidth -
VScroll1.Width, ScaleHeight - HScroll1.Height
Picture2.Move 32767, 32767
If Picture2.Width < Picture1.Width Then
    Picture2.Width = Picture1.Width
    HScroll1.Max = 32767 - laeead
End If
If Picture2.Height < Picture1.Height Then
    Picture2.Height = Picture1.Height
End If
HScroll1.Left = 32767
HScroll1.Top = ScaleHeight - HScroll1.Height +
32767
HScroll1.Width = Picture1.Width
VScroll1.Top = 32767
VScroll1.Left = ScaleWidth - VScroll1.Width +
32767
VScroll1.Height = Picture1.Height
HScroll1.Min = -32767
VScroll1.Min = -32767
HScroll1.Value = -32767
VScroll1.Value = -32767
If Picture2.Width > Picture1.Width Then
    HScroll1.Enabled = True
    HScroll1.Max = Picture2.Width - Picture1.Width
- 32767
Else

```

```

HScroll1.Enabled = False
End If
If Picture2.Height > Picture1.Height Then
    VScroll1.Enabled = True
    VScroll1.Max = Picture2.Height -
Picture1.Height - 32767
Else
    VScroll1.Enabled = False
End If
*** Set change scrolls 1/10 of distance. ***
If HScroll1.Max > 10 And VScroll1.Max > 10 Then
    HScroll1.LargeChange = HScroll1.Max / 10
    VScroll1.LargeChange = VScroll1.Max / 10
Else
    HScroll1.LargeChange = 1000
    VScroll1.LargeChange = 1000
End If
HScroll1.Refresh
VScroll1.Refresh
End Sub
Private Sub vscroll1_change()
Picture2.Top = -VScroll1.Value
End Sub
Private Sub vscroll1_scroll()
Picture2.Top = -VScroll1.Value
End Sub
Private Sub hscroll1_change()
Picture2.Left = -HScroll1.Value
End Sub
Private Sub hscroll1_scroll()
Picture2.Left = -HScroll1.Value
End Sub
Private Sub Timer2_Timer()
MComm1.Output = Chr$(dur)
Timer3.Enabled = True
Timer2.Enabled = False
End Sub
Private Sub Timer3_Timer()
MComm1.Output = Chr$(Asc(temp_sib))
Timer4.Enabled = True
Timer3.Enabled = False
End Sub
Private Sub Timer4_Timer()
MComm1.Output = Chr$(Asc(temp_nuay))
Timer6.Enabled = True
Timer4.Enabled = False
End Sub
Private Sub Timer5_Timer()
MComm1.Output = Chr$(Asc("s"))
Timer5.Enabled = False
End Sub
Private Sub Timer6_Timer()
MComm1.Output = Chr$(noi - 90)
Timer7.Enabled = True
Timer6.Enabled = False
End Sub
Private Sub timer7_timer()
MComm1.Output = Chr$(mark - 100)
Timer8.Enabled = True
Timer7.Enabled = False
End Sub
Private Sub timer8_timer()
MComm1.Output = Chr$(noi_noi - 50)
Timer5.Enabled = True
Timer8.Enabled = False
End Sub

```

ฟอร์ม look_intial_form

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Private Sub command_open_Click()
    previous_from_test = 0
    If InStr(File1.FileName, "date_1-7") > 0 Then
        Load print_form
        print_form.Show
        destinate1 = Dir1.Path & "\ " & File1.FileName
        destinate2 = Left$(destinate1, (Len(destinate1)
- 7)) & "8-15.mdb"
        Unload look_initial_form
    Else
        MsgBox "This file did not support this program !
please select new file", vbInformation +
vbOKOnly, "Warning"
    End If
    End Sub
Private Sub Dir1_Change()
    File1.Path = Dir1.Path
    End Sub
Private Sub Drive1_Change()
    Dir1.Path = Drive1.Drive
    End Sub
Private Sub File1_Click()
    Text1.Text = Dir1.Path & "\ " & File1.FileName
    End Sub
Private Sub Form_Load()
    Text1.Text = "*.mdb"
    File1.Pattern = "*.mdb"
    End Sub
Private Sub Command1_Click()
    If InStr(File1.FileName, "date_1-7") > 0 Then
        destinate1 = Dir1.Path & "\ " & File1.FileName
        destinate2 = Left$(destinate1, (Len(destinate1)
- 7)) & "8-15.mdb"
    End Sub

```

ฟอร์ม look_form

```

Dim a, b, c, d As Single
Dim j, r, l As Single
Dim laead, rim_right, rim_left, rad As Single
Dim x, xo, y As Single
Dim slide_sen, chung As Single
Dim real_temp, real_time, real_time_sec,
real_time_min As Single
Dim n, p, start, k As Integer
Private Sub draw_graph()
    a = 33767
    b = 39767
    Picture2.Cls
    For hour_field% = 0 To 23 Step 1
        rsdate.MoveFirst
        real_time_hour = hour_field%
        select_hour
    End Sub

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

For sec% = 5 To 3600 Step 5
    HScroll1.Min = -32767
    c = a
    d = b
    a = a + laeedad
    b = (39767 - (rsdate.Fields(real_hour) * 50))
    Picture2.Line (c, d)-(a, b)
    rsdate.MoveNext
Next sec%
Next hour_field%
End Sub
Private Sub command_next_Click()
    day = day + 1
    If previous_from_test = 3 Then
        If day = day_now Then
            Unload look_form
            previous_from_test = 2
            test_form.Show
        Else
            Unload look_form
            Load look_form
            look_form.Show
        End If
    Else
        Unload look_form
        Load look_form
        look_form.Show
    End If
End Sub
Private Sub command_previous_Click()
    day = day - 1
    Unload look_form
    Load look_form
    look_form.Show
End Sub
Private Sub command_quit_Click()
    Unload look_form
    Unload test_form
    **** Set initial of serial port connection ****
    MSComm1.Settings = "9600,N,8,1"
    MSComm1.CommPort = comport
    MSComm1.InputLen = 1
    MSComm1.PortOpen = True
    MSComm1.RThreshold = 1
    **** Send bit start to micropro ****
    MSComm1.Output = Chr$(Asc("r"))
    Load main_menu
    main_menu.Show
End Sub
Private Sub command_y_laeed_Click()
    If n = 0 Then
        For m% = 1 To 25 Step 2
            Line3(m%).Visible = True
        Next m%
        n = n + 1
    Else
        For m% = 1 To 25 Step 2
            Line3(m%).Visible = False
        Next m%
        n = n - 1
    End If
End Sub
Private Sub command_x_laeed_Click()
    If p = 0 Then
        For m% = 0 To 99 Step 2
            Line4(m%).Visible = True
        Next m%
        p = p + 1
    Else
        For m% = 0 To 99 Step 2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Line4(m%).Visible = False
Next m%
p = p - 1
End If
End Sub
Private Sub command_close_Click()
Unload look_form
Load look_initial_form
look_initial_form.Show
End Sub
Private Sub Form_Activate()
look_form.Caption = "Graph display between
temperature and duration of " & Str(day) & " day"
rsinitial.MoveFirst
text_insulator.Text = "Type of insulation is " &
rsinitial.Fields("type of insulation")
text_temperature.Text = "At temperature " &
Str(rsinitial.Fields("temperature")) & " degree of
celcius "
text_duration.Text = "for " &
Str(rsinitial.Fields("duration")) & " day"
text_name_surname.Text = "By " &
rsinitial.Fields("name") & " " &
rsinitial.Fields("surname")
End Sub
Private Sub Form_Load()
select_day
If day <= 15 Then
makedata
End If
look_form.Caption = "Graph display between
temperature and duration of " & Str(day) & " day"
If day = 1 Then
command_previous.Enabled = False
Else
command_previous.Enabled = True
End If
If previous_from_test = 0 Then
If day = 15 Then
command_next.Enabled = False
Else
command_next.Enabled = True
End If
Else
If day = 15 Or day = day_now Then
command_next.Enabled = False
Else
command_next.Enabled = True
End If
End If
If previous_from_test = 3 Then
command_quit.Visible = True
command_close.Visible = False
Else
command_quit.Visible = False
command_close.Visible = True
End If
look_form.ScaleHeight = 8595
look_form.ScaleWidth = 11880
look_form.ScaleLeft = 32767
look_form.ScaleTop = 32767
Picture1.ScaleLeft = 32767
Picture2.ScaleLeft = 32767
Picture1.ScaleTop = 32767
Picture2.ScaleTop = 32767
Picture1.Move 32767, 32767, ScaleWidth -
VScroll1.Width, ScaleHeight - HScroll1.Height

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Picture2.Move 32767, 32767
Picture2.Width = 81000 '*****
Picture2.Height = (ScaleHeight - HScroll1.Height)
+ 100
a = 33767
b = 39767
laeead = 0.8 * 5
rim_right = 100
rim_left = 1000
rad = 20
chung = 30
x = (0.8 * 60 * 30)
xo = 33767 + (0.8 * 60 * 30)
Text5(26).Visible = False
j = 33217
r = 130
l = 33267
For i% = 0 To 26
Line3(i%).X1 = 33767
Line3(i%).X2 = 33767 + 70000 *****
Line3(i%).BorderColor = &HFF&
Line3(i%).Y1 = l
Line3(i%).Y2 = l
l = l + 250
Text5(i%).BackColor = &HC0C0FF
Text5(i%).Alignment = 2
Text5(i%).BorderStyle = 0
Text5(i%).Height = 100
Text5(i%).Width = 400
Text5(i%).Left = 33067
Text5(i%).Top = j
j = j + 250
Text5(i%).Text = r
r = r - 5
Next i%

For m% = 1 To 25 Step 2
Text5(m%).Visible = False
Line3(m%).BorderStyle = 5
Line3(m%).Visible = False
Line3(m%).BorderWidth = 1
Line3(m% - 1).BorderWidth = 1
Line3(m% - 1).BorderStyle = 1
Next m%
For o% = 0 To 51
Text6(o%).BackColor = &HC0C0FF
Text6(o%).Alignment = 2
Text6(o%).BorderStyle = 0
Text6(o%).Height = 100
Text6(o%).Width = 1200
Text6(o%).Top = 39967
'don't display zero
If Str(((o% + 1) * 30) \ 60) <> 0 Then 'hour
If Str(((o% + 1) * 30) Mod 60) <> 0 Then '
minute
Text6(o%).Text = Str(((o% + 1) * 30) \ 60) &
"hour" + Str(((o% + 1) * 30) Mod 60) & "min"
Else
Text6(o%).Text = Str(((o% + 1) * 30) \ 60) &
"hour"
End If
Else
Text6(o%).Text = Str(((o% + 1) * 30) Mod 60)
& "min"
End If
Text6(o%).Left = (33767 + (0.8 * 60 * 30) * (o%
+ 1)) - (Text6(o%).Width / 2)
Next o%
For o% = 0 To 99
Line4(o%).BorderColor = &HFF&
Line4(o%).Y1 = 33267

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Line4(o%).Y2 = 39767
Line4(o%).X1 = 33767 + ((0.8 * 60 * 15) * (o% +
1))
Line4(o%).X2 = Line4(o%).X1
Next o%
For m% = 0 To 99 Step 2
Line4(m% + 1).BorderWidth = 1
Line4(m% + 1).BorderStyle = 1
Line4(m%).BorderWidth = 1
Line4(m%).BorderStyle = 5
Line4(m%).Visible = False
Next m%
draw_graph
End Sub
Private Sub Form_Resize()
'look_form.ScaleHeight = 8595
'look_form.ScaleWidth = 11880
look_form.ScaleLeft = 32767
look_form.ScaleTop = 32767
Picture1.ScaleLeft = 32767
Picture2.ScaleLeft = 32767
Picture1.ScaleTop = 32767
Picture2.ScaleTop = 32767
Picture1.Move 32767, 32767, ScaleWidth -
VScroll1.Width, ScaleHeight - HScroll1.Height
Picture2.Move 32767, 32767
If Picture2.Width < Picture1.Width Then
    Picture2.Width = Picture1.Width
    HScroll1.Max = 32767 - laeead
End If
If Picture2.Height < Picture1.Height Then
    Picture2.Height = Picture1.Height
End If
HScroll1.Left = 32767
HScroll1.Top = ScaleHeight - HScroll1.Height +
32767
HScroll1.Width = Picture1.Width
VScroll1.Top = 32767
VScroll1.Left = ScaleWidth - VScroll1.Width +
32767
VScroll1.Height = Picture1.Height
HScroll1.Min = -32767
VScroll1.Min = -32767
HScroll1.Value = -32767
VScroll1.Value = -32767
HScroll1.Max = Picture2.Width - Picture1.Width -
32767
If Picture2.Height > Picture1.Height Then
    VScroll1.Max = Picture2.Height -
Picture1.Height - 32767
End If
'set change scrolls 1/10 of distance.
If HScroll1.Max > 10 And VScroll1.Max > 10 Then
    HScroll1.LargeChange = HScroll1.Max / 10
    VScroll1.LargeChange = VScroll1.Max / 10
Else
    HScroll1.LargeChange = 1000
    VScroll1.LargeChange = 1000
End If
HScroll1.Enabled = True
If (Picture1.Height < Picture2.Height) Then
    VScroll1.Enabled = True
Else
    VScroll1.Enabled = False
End If
HScroll1.Refresh
VScroll1.Refresh
End Sub
Private Sub hscroll1_change()

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Picture2.Left = -HScroll1.Value
End Sub
Private Sub hscroll1_scroll()
Picture2.Left = -HScroll1.Value
End Sub
Private Sub vscroll1_change()

```

```

Picture2.Top = -VScroll1.Value
End Sub
Private Sub vscroll1_scroll()
Picture2.Top = -VScroll1.Value
End Sub

```

ฟอร์ม print_form

```

Dim a, b, c, d As Single
Dim j, r, l As Single
Dim laeead, rim_right, rim_left, rad As Single
Dim x, xo, y As Single
Dim slide_sen, chung As Single
Dim real_temp, real_time, real_time_sec,
real_time_min As Single
Dim n, p, start, k As Integer
Private Sub draw_graph()
Picture2.Cls
For hour_field% = 0 To 23 Step 1
rsdate.MoveFirst
real_time_hour = hour_field%
select_hour
For sec% = 5 To 3600 Step 5
If sec% = 5 Then
temp_5! = rsdate.Fields(real_hour)
'Line3(hour_field%).X1 = (500 +
(hour_field% * 450))
'Line3(hour_field%).X2 = (500 +
((hour_field% + 1) * 450))
'Line3(hour_field%).Y1 = (8000 -
(rsdate.Fields(real_hour) * 75))
End If
If sec% = 1800 Then
temp_30! = rsdate.Fields(real_hour)
'Line3(hour_field%).Y2 = (8000 -
(rsdate.Fields(real_hour) * 75))
End If
If sec% = 3600 Then
temp_60! = rsdate.Fields(real_hour)
'Line3(hour_field%).Y2 = (8000 -
(rsdate.Fields(real_hour) * 75))
End If
If sec% = 3600 Then
temp_60! = rsdate.Fields(real_hour)
End If
rsdate.MoveNext
Next sec%
Line3(hour_field%).X1 = ((500 + 920) +
(hour_field% * 410))
Line3(hour_field%).X2 = ((725 + 920) +
(hour_field% * 410))
Line4(hour_field%).X1 = Line3(hour_field%).X2
Line4(hour_field%).X2 = ((950 + 920) +
(hour_field% * 410))
If hour_field% = 0 Then
Line3(hour_field%).Y1 = ((8000 - 500) -
(temp_5! * 65))
Else
Line3(hour_field%).Y1 = Line4(hour_field% -
1).Y2
End If
Line3(hour_field%).Y2 = ((8000 - 500) -
(temp_30! * 65))
Line4(hour_field%).Y1 = Line3(hour_field%).Y2
Line4(hour_field%).Y2 = ((8000 - 500) -
(temp_60! * 65))

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Next hour_field%
End Sub
Private Sub command_next_Click()
day = day + 1
Unload print_form
Load print_form
print_form.Show
End Sub
Private Sub command_previous_Click()
day = day - 1
Unload print_form
Load print_form
print_form.Show
End Sub
Private Sub Form_Activate()
print_form.Caption = "Graph display between
temperature and duration of " & Str(day) & " day"
rsinitial.MoveFirst
text_insulator.Text = "Type of insulation is " &
rsinitial.Fields("type of insulation")
text_temperature.Text = "At temperature " &
Str(rsinitial.Fields("temperature")) & " degree "
text_duration.Text = "for " &
Str(rsinitial.Fields("duration")) & " day"
text_name_surname.Text = "By " &
rsinitial.Fields("name") & " " &
rsinitial.Fields("surname")
End Sub
Private Sub Form_Load()
select_day
If day <= 15 Then
makedata
End If
print_form.Caption = "Graph display between
temperature and duration of " & Str(day) & " day"
Text6.Text = "Graph display between temperature
and duration of " & Str(day) & " day"
If day = 1 Then
command_previous.Enabled = False
Else
command_previous.Enabled = True
End If
If day = 15 Then
command_next.Enabled = False
Else
command_next.Enabled = True
End If
text_insulator.BackColor = &HC0C0FF
text_temperature.BackColor = &HC0C0FF
text_name_surname.BackColor = &HC0C0FF
text_duration.BackColor = &HC0C0FF
Text5.BackColor = &HC0C0FF
Text6.BackColor = &HC0C0FF
Picture2.BackColor = &HC0C0FF
print_form.ScaleLeft = 0
print_form.ScaleTop = 0
Picture1.ScaleLeft = 0
Picture2.ScaleLeft = 0
Picture1.ScaleTop = 0
Picture2.ScaleTop = 0
Picture1.Move 960, 0, ScaleWidth, ScaleHeight
Picture2.Move 960, 0, ScaleWidth, ScaleHeight
For i% = 0 To 10
Text1(i%).BackColor = &HC0C0FF
Text1(i%).Alignment = 2
Text1(i%).BorderStyle = 0
Text1(i%).Height = 100
Text1(i%).Width = 350
Text1(i%).Top = ((500 - 50 + 500) + (i% * 650))
Text1(i%).Left = (100 + 960)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Next hour_field%
End Sub
Private Sub command_next_Click()
day = day + 1
Unload print_form
Load print_form
print_form.Show
End Sub
Private Sub command_previous_Click()
day = day - 1
Unload print_form
Load print_form
print_form.Show
End Sub
Private Sub Form_Activate()
print_form.Caption = "Graph display between
temperature and duration of " & Str(day) & " day"
rsinitial.MoveFirst
text_insulator.Text = "Type of insulation is " &
rsinitial.Fields("type of insulation")
text_temperature.Text = "At temperature " &
Str(rsinitial.Fields("temperature")) & " degree "
text_duration.Text = "for " &
Str(rsinitial.Fields("duration")) & " day"
text_name_surname.Text = "By " &
rsinitial.Fields("name") & " " &
rsinitial.Fields("surname")
End Sub
Private Sub Form_Load()
select_day
If day <= 15 Then
makedata
End If
print_form.Caption = "Graph display between
temperature and duration of " & Str(day) & " day"
Text6.Text = "Graph display between temperature
and duration of " & Str(day) & " day"
If day = 1 Then
command_previous.Enabled = False
Else
command_previous.Enabled = True
End If
If day = 15 Then
command_next.Enabled = False
Else
command_next.Enabled = True
End If
text_insulator.BackColor = &HC0C0FF
text_temperature.BackColor = &HC0C0FF
text_name_surname.BackColor = &HC0C0FF
text_duration.BackColor = &HC0C0FF
Text5.BackColor = &HC0C0FF
Text6.BackColor = &HC0C0FF
Picture2.BackColor = &HC0C0FF
print_form.ScaleLeft = 0
print_form.ScaleTop = 0
Picture1.ScaleLeft = 0
Picture2.ScaleLeft = 0
Picture1.ScaleTop = 0
Picture2.ScaleTop = 0
Picture1.Move 960, 0, ScaleWidth, ScaleHeight
Picture2.Move 960, 0, ScaleWidth, ScaleHeight
For i% = 0 To 10
Text1(i%).BackColor = &HC0C0FF
Text1(i%).Alignment = 2
Text1(i%).BorderStyle = 0
Text1(i%).Height = 100
Text1(i%).Width = 350
Text1(i%).Top = ((500 - 50 + 500) + (i% * 650))
Text1(i%).Left = (100 + 960)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Text1(i%).Text = Str(100 - (i% * 10))
Line1(i%).BorderColor = &HFF&
Line1(i%).X1 = (500 + 960)
Line1(i%).X2 = (11300)
Line1(i%).Y1 = (500 + 500 + (i% * 650))
Line1(i%).Y2 = (500 + 500 + (i% * 650))
Next i%
For i% = 0 To 24
Line2(i%).BorderColor = &HFF&
Line2(i%).X1 = ((500 + 960) + (i% * 410))
Line2(i%).X2 = ((500 + 960) + (i% * 410))
Line2(i%).Y1 = (500 + 500)
Line2(i%).Y2 = (8000 - 500)
Next i%
Line2(0).BorderWidth = 2
Line1(10).BorderWidth = 2
For i% = 0 To 12
Text2(i%).BackColor = &HC0C0FF
Text2(i%).Alignment = 2
Text2(i%).BorderStyle = 0
Text2(i%).Height = 100
Text2(i%).Width = 300
Text2(i%).Top = (8100 - 500)
Text2(i%).Left = ((500 + 960 - 150) + (i% * (900 - 80)))
Text2(i%).Text = Str(i% * 2)
Next i%
Text3.BackColor = &HC0C0FF
Text3.Alignment = 2
Text3.BorderStyle = 0
Text3.Height = 100
Text3.Width = 1800
Text3.Top = (200 + 500)
Text3.Left = (150 + 960)
Text3.Text = "Temperature (celcius)"

Text4.BackColor = &HC0C0FF
Text4.Alignment = 2
Text4.BorderStyle = 0
Text4.Height = 100
Text4.Width = 850
Text4.Top = (8350 - 500)
Text4.Left = (10600)
Text4.Text = "Time (hour)"

draw_graph
End Sub

Private Sub Command1_Click()
Printer.CurrentY = Printer.CurrentY + 500
'Printer.Print " "
Printer.CurrentY = Printer.CurrentY + 100
Printer.ScaleTop = 500
Printer.EndDoc
print_form.PrintForm
End Sub

Private Sub Command2_Click()
Unload print_form
Load look_initial_form
look_initial_form.Show
End Sub

Private Sub Form_Resize()
print_form.ScaleLeft = 0
print_form.ScaleTop = 0
Picture1.ScaleLeft = 0
Picture2.ScaleLeft = 0
Picture1.ScaleTop = 0
Picture2.ScaleTop = 0
Picture1.Move 0, 0, ScaleWidth, ScaleHeight
Picture2.Move 0, 0
Picture2.Width = Picture1.Width
Picture2.Height = Picture1.Height
End Sub

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟอร์ม warning_form

```
Private Sub command_you_know_Click()  
Unload test_form  
'*** Set initial of serial port connection ***  
MSComm1.Settings = "9600,N,8,1"  
MSComm1.CommPort = comport  
MSComm1.InputLen = 1  
MSComm1.PortOpen = True  
MSComm1.RThreshold = 1  
'*** Send bit stop to micropro ***  
MSComm1.Output = Chr$(Asc("r"))  
End  
End Sub
```

ฟอร์ม out_of_water_form

```
Private Sub Command1_Click()  
Unload test_form  
'*** Set initial of serial port connection ***  
MSComm1.Settings = "9600,N,8,1"  
MSComm1.CommPort = comport  
MSComm1.InputLen = 1  
MSComm1.PortOpen = True  
MSComm1.RThreshold = 1  
'*** Send bit stop to micropro ***  
MSComm1.Output = Chr$(Asc("r"))  
End  
End Sub  
Private Sub Form_Load()  
tee! = 0  
out_of_water_form.Hide  
End Sub  
Private Sub Timer1_Timer()  
tee! = tee! + 1  
If tee! > 30 Then  
out_of_water_form.Show  
Timer1.Enabled = False  
End If  
End Sub
```

โมดูล module1

```
Public db, db_edit, t_v As Database  
Public rsdate, rsdate_edit, rs_t_v As Recordset  
Public rsinitial, rsinitial_edit As Recordset  
Public locate, destinate As String  
Public destinate1, destinate2 As String  
Public dat As String  
Public nam, sur, insu As String  
Public real_hour As String  
Public day As Single  
Public previous_from_test As Single  
Public day_now As Single  
Public temp, clea As Integer  
Public dur As Integer  
Public real_time_hour As Single  
Public vtc, temperature As Single  
Public tbase, vbase, vnext, tadd As Single  
Public comport As Integer  
Public v_ruam, jum_nun, temp_ruam As Single  
Public temp_sib, temp_nuay As String  
Public noi, mark, noi_noi As Long  
Public Sub link_t_v()  
Set t_v = OpenDatabase("c:\my  
documents\ping\database\reference.mdb")
```

Set rs_t_v = t_v.OpenRecordset("temp_voltage", dbOpenDynaset)	real_hour = "hour 2"
End Sub	Case 3
Public Sub makedata()	real_hour = "hour 3"
Set db = OpenDatabase(destinate)	Case 4
Set rsdate = db.OpenRecordset(dat, dbOpenDynaset)	real_hour = "hour 4"
Set rsinitial = db.OpenRecordset("initial", dbOpenDynaset)	Case 5
End Sub	real_hour = "hour 5"
Public Sub editdata()	Case 6
Set db_edit = OpenDatabase(destinate)	real_hour = "hour 6"
Set rsdate_edit = db_edit.OpenRecordset(dat, dbOpenDynaset)	Case 7
Set rsinitial_edit = db_edit.OpenRecordset("initial", dbOpenDynaset)	real_hour = "hour 7"
End Sub	Case 8
Public Sub fieldinitial()	real_hour = "hour 8"
rsinitial.MoveFirst	Case 9
rsinitial.Edit	real_hour = "hour 9"
rsinitial.Fields("name") = nam	Case 10
rsinitial.Fields("surname") = sur	real_hour = "hour 10"
rsinitial.Fields("type of insulation") = insu	Case 11
rsinitial.Fields("temperature") = temp	real_hour = "hour 11"
rsinitial.Fields("clearance of temp") = clea	Case 12
rsinitial.Fields("duration") = dur	real_hour = "hour 12"
rsinitial.Update	Case 13
End Sub	real_hour = "hour 13"
Public Sub select_hour()	Case 14
Select Case real_time_hour	real_hour = "hour 14"
Case 0	Case 15
real_hour = "hour 0"	real_hour = "hour 15"
Case 1	Case 16
real_hour = "hour 1"	real_hour = "hour 16"
Case 2	Case 17
	real_hour = "hour 17"
	Case 18
	real_hour = "hour 18"
	Case 19
	real_hour = "hour 19"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Case 20	Case 8
real_hour = "hour 20"	dat = "date 8"
Case 21	destinate = destinate2
real_hour = "hour 21"	Case 9
Case 22	dat = "date 9"
real_hour = "hour 22"	destinate = destinate2
Case 23	Case 10
real_hour = "hour 23"	dat = "date 10"
Case 24	destinate = destinate2
real_hour = "hour 24"	Case 11
End Select	dat = "date 11"
End Sub	destinate = destinate2
Public Sub select_day()	Case 12
Select Case day	dat = "date 12"
Case 1	destinate = destinate2
dat = "date 1"	Case 13
destinate = destinate1	dat = "date 13"
Case 2	destinate = destinate2
dat = "date 2"	Case 14
destinate = destinate1	dat = "date 14"
Case 3	destinate = destinate2
dat = "date 3"	Case 15
destinate = destinate1	dat = "date 15"
Case 4	destinate = destinate2
dat = "date 4"	End Select
destinate = destinate1	End Sub
Case 5	Public Sub select_day_now()
dat = "date 5"	Select Case day_now
destinate = destinate1	Case 1
Case 6	dat = "date 1"
dat = "date 6"	destinate = destinate1
destinate = destinate1	Case 2
Case 7	dat = "date 2"
dat = "date 7"	destinate = destinate1
destinate = destinate1	Case 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dat = "date 3"
destinate = destinate1

Case 4

dat = "date 4"
destinate = destinate1

Case 5

dat = "date 5"
destinate = destinate1

Case 6

dat = "date 6"
destinate = destinate1

Case 7

dat = "date 7"
destinate = destinate1

Case 8

dat = "date 8"
destinate = destinate2

Case 9

dat = "date 9"
destinate = destinate2

Case 10

dat = "date 10"
destinate = destinate2

Case 11

dat = "date 11"
destinate = destinate2

Case 12

dat = "date 12"
destinate = destinate2

Case 13

dat = "date 13"
destinate = destinate2

Case 14

dat = "date 14"
destinate = destinate2

Case 15

dat = "date 15"
destinate = destinate2

End Select

End Sub



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Source code โปรแกรมภาษาAssembly สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์

```

;r2 : address of data to write in real time clock      call    delay
;r0 : address of data in it                          mov     p2,#11111111b ;clear status keypad
;r1 : loop of number of data to want to recieve      and    1 - wire
;r6 : loop of recieve and send                      mov     p3,#00011111b ;clear status lcd, r-
;r7 : delay                                           2r,p3.2-p3.4
;define port and pin name                            clr     lcd_rw
    lcd_en bit    p2.6                                mov     21h,#00h      ;set old sec in 0
    lcd_rs bit    p2.5                                ;mov    52h,#00010100b ;set duration for test
    lcd_rw bit    p2.4                                ;mov    58h,#00001001b ;set temp luk sib
                                                    ;mov    59h,#00000000b ;set temp luk nuay
lcd_addr      equ    030h                            mov     5ah,#00h
lcd_dataequ   031h                            mov     5bh,#00h
adde_s equ    11010000b ; adde is                mov     5ch,#00h
address of ds1307
sda_s equ    p1.4                            mov     5dh,#00h
scl_s equ    p1.3                            mov     5eh,#0bh
adde_a equ    10010000b ;address of              mov     63h,#09h
pcf8591
con_a equ    01000000b ;control byte of          mov     21h,#00h
pcf8591
con1_a equ    01000001b ;control byte of          mov     6fh,#00h
pcf8591a to d channel 1
sda_a equ    p1.6                            mov     6ah,#00h
scl_a equ    p1.5                            ;mov    6ch,#00h
                                                    ;mov    6dh,#0ffh
                                                    ;mov    6eh,#0ffh
                                                    mov     72h,#00h
                                                    mov     70h,#00h
                                                    mov     71h,#00h
org    0000h
begin:
setmode:mov   a,pcon                          ;clear smod
mov   p1,#11101110b ;clear status all device   anl   a,#01111111b
mov   p0,#00000000b ;clear databus           mov   pcon,a
call  delay                                    mov   tmod,#20h      ;timer 1 mode
setb  p1.0                                    2
call  delay                                    ;timer 0 mode
clr   p1.0                                    1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	mov	scon,#40h	;set mode	mov	a,#50d
	mov	th1,#0fah	;set reload	add	a,72h
value				mov	72h,a
	mov	tl1,#0fah		mov	a,58h
	setb	tr1	;start timer 1	clr	c
	setb	tr0	;start timer 0	subb	a,#30h
	setb	ren		mov	58h,a
	mov	20h,#0ffh	;for do not	mov	6bh,a
drive heater				mov	a,59h
	call	dac		clr	c
	jnb	ri,\$;for initial condition of	subb	a,#30h
testing				mov	59h,a
	clr	ri		mov	a,58h
	mov	52h,sbuf		mov	b,#0ah
	jnb	ri,\$		mul	ab
	clr	ri		add	a,59h
	mov	58h,sbuf		mov	58h,a
	jnb	ri,\$		start: jnb	ri,\$
	clr	ri		clr	ri
	mov	59h,sbuf		mov	a,#'s'
	jnb	ri,\$		cjne	a,sbuf,start
	clr	ri		data_to_send_to_rtc: mov	
	mov	70h,sbuf		33h,#00000000b	;set second
	mov	a,#90d			mov
	add	a,70h		34h,#00000000b	;set minute
	mov	70h,a			mov
	jnb	ri,\$		35h,#00000000b	;set hour
	clr	ri			mov
	mov	71h,sbuf		36h,#00000001b	;set day
	mov	a,#100d			mov
	add	a,71h		37h,#00000000b	;set date
	mov	71h,a			mov
	jnb	ri,\$		38h,#00000001b	;set month
	clr	ri			mov
	mov	72h,sbuf		39h,#00000001b	;set year

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov                                     jz     half
3ah,#1000000b ;set control byte       jc     half
check_half_half:mov                    a,58h
main:  call    write_data                clr   c
      call    init_lcd                   subb  a,#20d
main_1: call    read_data                 clr   c
      call    adc                         subb  a,69h
      call    drive_heater                jz    half_half
      call    dac                         jc    half_half
      call    adc1                        mov   20h,#00h
      call    send_hex_temp ;for display  jmp   drive_return
      call    check_temp_0                half_half: mov  a,72h
      call    loop ;lcd display           mov   20h,a
      call    check_water                 jmp   drive_return
      call    check_reset ;with get digital half:  mov  a,70h ;**
value  mov   20h,a
      jmp   main_1                        drive_return: ret
;***** check drive heater *****
;***** drive heater *****
drive_heater: mov  a,54h ;
          mov  b,#0ah ;
          mul  ab ;
          add  a,55h ;
          mov  69h,a ;
          clr  c ;
          subb a,58h ;
          jc  check_half ;***** delay *****
          mov  a,71h ;*****
          mov  20h,a
          jmp  drive_return
          delay_100ms: mov  r7,#150
          delay_100ms_1: mov  r6,#0e6h
          delay_100ms_2: nop
check_half: mov  a,58h
          clr  c
          subb a,#02h
          clr  c
          subb a,69h
;***** delay 1 sec *****

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

delay_1_sec:  mov    r5,#10
delay_1_sec_1: call   delay_100ms
                djnz   r5,delay_1_sec_1
                ret
;***** check temperature *****
check_temp_0: djnz   5eh,check_temp
                djnz   63h,add_in
                mov    5eh,#01h
                mov    63h,#01h
                jmp    return_temp
add_in:        mov    68h,#0ah
                call   average
                mov    a,5fh
                add    a,64h
                mov    64h,a
                mov    a,60h
                add    a,65h
                mov    65h,a
                mov    a,61h
                add    a,66h
                mov    66h,a
                mov    a,62h
                add    a,67h
                mov    67h,a
                mov    5eh,#0bh
                jmp    return_temp
check_temp:    mov    dptr,#4000h
check_temp_1: mov    a,53h
                anl    a,#11000000b
                jz     temp_is_0
                mov    a,#00h
                movc   a,@a+dptr
                cjne   a,53h,add_dptr ;53h is
a2d value
                mov    a,#01h
temp_is_0:     mov    54h,#00h
                mov    55h,#00h
                mov    56h,#00h
                mov    57h,#00h
add_temp:     mov    a,54h
                add    a,5ah
                mov    5ah,a
                mov    a,55h
                add    a,5bh
                mov    5bh,a
                mov    a,56h
                add    a,5ch
                mov    5ch,a
                mov    a,57h
                add    a,5dh
                mov    5dh,a
return_temp:   ret
add_dptr:     mov    r0,#05h
add_dptr_1:   inc    dptr
                djnz   r0,add_dptr_1
                jmp    check_temp_1
;***** average *****
average:      mov    a,5ah

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov    b,68h
div    ab
mov    5fh,a
mov    a,#0ah
mul    ab
add    a,5bh
mov    b,68h
div    ab
mov    60h,a
check_more_9:  clr    c
mov    a,#0ah
subb   a,60h
jz     sol_is_10
jc     more_10
jmp    cal_on
sol_is_10:  inc    5fh
mov    60h,#00h
jmp    cal_on
more_10:   inc    5fh
clr    c
mov    a,60h
subb   a,#0ah
mov    60h,a
cal_on:   mov    a,#0ah
mul    ab
add    a,5ch
mov    b,68h
div    ab
mov    61h,a
check_more_9_1:  clr    c
mov    a,#0ah
subb   a,61h
jz     sol_is_10_1
jc     more_10_1
jmp    cal_on_1
sol_is_10_1:  inc    60h
mov    a,60h
cjne   a,#0ah,go_on_1
inc    5fh
mov    60h,#00h
go_on_1:  mov    61h,#00h
jmp    cal_on_1
more_10_1:  inc    60h
mov    a,60h
cjne   a,#0ah,go_on_11
inc    5fh
mov    60h,#00h
go_on_11:  clr    c
mov    a,61h
subb   a,#0ah
mov    61h,a
cal_on_1:  mov    a,#0ah
mul    ab
add    a,5dh
mov    b,68h
div    ab
mov    62h,a
check_more_9_2:  clr    c
mov    a,#0ah
subb   a,62h
jz     sol_is_10_2
jc     more_10_2
jmp    cal_on_2
sol_is_10_2:  inc    61h
mov    a,61h
cjne   a,#0ah,go_on_2
inc    60h
mov    a,60h
cjne   a,#0ah,go_on_before_2
inc    5fh

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        mov     60h,#00h                call    send_s
go_on_before_2: mov 61h,#00h                jc     write_data_end
go_on_2:     mov 62h,#00h                inc     r0
        jmp    cal_on_2                 djnz   r1,write_data_2
more_10_2:   inc 61h
        mov    a,61h                    write_data_end: call  stop_s
        cjne  a,#0ah,go_on_22           ret
        inc   60h                        ;***** read data loop *****
        mov    a,60h                    read_data:    call  start_s        ;send
        cjne  a,#0ah,go_on_before_22   start condition
        mov    a,#adde_s                mov     a,#adde_s        ;set a
        inc   5fh                        as address bit ( to write mode)
        mov    60h,#00h                call    send_s          ;send
go_on_before_22:mov 61h,#00h            address of ds1307
go_on_22:   clr  c                        jc     read_data_end    ;jump
        mov    a,62h                    if have error
        subb  a,#0ah                    mov    a,#00h          ;lock
        mov    62h,a                    position to address 00h
cal_on_2:   mov 5ah,#00h                call    send_s          ;send
        mov    5bh,#00h                address of register byte
        mov    5ch,#00h                jc     read_data_end
        mov    5dh,#00h                call    stop_s
        ;mov   5eh,#0bh                call    start_s        ;send
        ret                               repeat start
;***** write data loop *****
write_data: call start_s                mov     a,#adde_s
        mov    a,#adde_s                address bit as read mode
        call   send_s                    call    send_s
        jc    write_data_end            jc     read_data_end
        mov    a,#00h                    mov     r0,#3bh        ;for
        call   send_s                    keep data
        jc    write_data_end            mov     r1,#07h
        mov    r0,#33h                    ;because data have 7 data
        mov    r1,#08h                    read_all:call  recieve_s    ;recieve data
write_data_2: mov a,@r0                output in a

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov @r0,a ;*****keep ;add a,#30h
for the future***** ;call send_to_pc
inc r0 ;mov a,b
clr sda_s ;add a,#30h
call clkpulse_s ;call send_to_pc
setb sda_s ret
djnz r1,read_all ;***** a to d converter *****
call recieve_s ;for control water level channal 2
mov @r0,a adc: jnb scl_a,adc_end ;jump
setb sda_s ;send if bus busy
ack bit jnb sda_a,adc_end ;jump
call clkpulse_s ;clock if bus busy
for send ack bit call start_a ;send
read_data_end: call stop_s ;send start condition
stop condition mov a,#adde_a ;set a
ret as address bit
;***** send to pc ***** call send_a ;send
;a : is data to be send address of pcf8591
send_to_pc: clr ti jc adc_end
mov sbuf,a ;jump if have error
jnb ti,$ mov a,#con_a
clr ti ;set a as control bit
ret call send_a ;send
;***** send hex value of temp to pc ***** control bit
send_hex_temp: mov a,53h jc adc_end
;clr c call start_a ;send
subb a,#50d repeat start
call send_to_pc mov a,#adde_a
;mov b,#100 setb acc.0 ;set
;div ab address bit as read mode
;add a,#30h call send_a
;call send_to_pc jc adc_end
;mov a,b call recieve_a
;mov b,#10 ;recieve data
;div ab

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov    32h,a          ;give
digital data in r0
;*****
setb   sda_a          ;send
ack bit
call   clkpulse_a    ;clock
for send ack bit
adc_end:  clr    c
call   stop_a        ;send
stop condition
ret

;***** a to d_1 converter *****
;control temperature channal 1
adc1:    jnb    scl_a,adc1_end ;jump
if bus busy
jnb     sda_a,adc1_end ;jump
if bus busy
call    start_a      ;send
start condition
mov     a,#adde_a    ;set a
as address bit
call    send_a       ;send address
of pcf8591
jc     adc1_end      ;jump
if have error
mov     a,#con1_a    ;set a
as control bit
call    send_a       ;send control
bit
jc     adc1_end
call    start_a      ;send repeat
start
mov     a,#adde_a
setb   acc.0        ;set address bit
as read mode

call    send_a       ;give
jc     adc1_end
call    recieve_a    ;recieve data
mov     53h,a
setb   sda_a        ;send ack bit
call   clkpulse_a   ;clock for send
ack bit
adc1_end:  clr    c
call   stop_a       ;send
stop condition
ret

;***** digital to analog *****
;sbuff is digital to convert to analog
dac:     jnb    sda_a,dac_end
jnb     scl_a,dac_end
call    start_a
mov     a,#adde_a
call    send_a
jc     dac_end
mov     a,#con_a
call    send_a
jc     dac_end
mov     a,20h
call    send_a
dac_end:  clr    c
call    stop_a
ret

;***** check water *****
check_water: jmp    check_min_equal
check_water_con: setb  p0.6
call    delay
setb   p1.0
call    delay
clr    p1.0
call    delay

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

call    delay_1_sec                clr    p1.0
call    delay_1_sec                call   delay
call    adc                        call   delay_1_sec
call    adc                        call   delay_1_sec
call    adc1                       jmp
call    adc1                       check_water_high
mov     a,32h                      check_water_exit: mov   6fh,3ch
anl    a,#11111100b                ret
jz     water_less                  ;***** check for minute is equal *****
mov     a,53h                      ;6fh : old sec
anl    a,#11111100b                ;6eh : new sec
jz     water_less                  check_min_equal:  mov   a,3ch
mov     6ah,#00h                   cjne
check_water_high: clr p0.7         a,6fh,min_not_equal
clr    p0.6                        jmp    min_is_equal
call   delay                       min_not_equal: jmp  check_water_con
setb   p1.0                        min_is_equal:  jmp
call   delay                       check_water_exit
clr    p1.0                        ;***** check reset *****
call   delay                       check_reset:  mov   a,#50d
call   delay_1_sec                 cjne   a,6ah,check_reset_1
call   delay_1_sec                 mov    a,#0feh
mov    6eh,#01h                   call   send_to_pc
call   adc                        call   delay_1_sec
call   adc                        mov    a,#0feh
call   adc1                       call   send_to_pc
call   adc1                       call   delay_1_sec
call   delay_1_sec                 jmp    check_reset_2
jmp    check_water_exit           check_reset_1: jnb   ri,check_reset_exit
water_less: inc 6ah                clr    ri
                setb  p0.7         mov    a,'#r'
                clr   p0.6         cjne   a,sbuf,check_reset_exit
                call  delay         check_reset_2: mov   20h,#0ffh ;for do
                setb  p1.0         not drive heater
                call  delay         call   dac

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        call    lcd_clr                ;      sda is low ( 0 ) if sending complete : scl is
        call    lcd_off                low
        jmp     begin
check_reset_exit:
return:      ret
;***** send of pcf8591 *****
send_a: mov   r6,#08h                ;8 bit to send
send_a_1: rlc   a                    ;rotate data to
send
        mov   sda_a,c                ;put bit on pin
        call  clkpulse_a             ;built clock
pulse
        djnz  r6,send_a_1
        setb  sda_a                  ;for check ack bit in
soon
        mov   sda_a,c                ;put bit on pin
        call  clkpulse_a             ;built clock
        call  delay
        setb  scl_s                  ;for change of data line
while clock line still high
        djnz  r6,send_a_1
        setb  sda_a                  ;for check ack bit in
soon
        call  delay
        setb  scl_a                  ;for change of data line
while clock line still high
        call  delay
        jnb   sda_a,send_a_2 ;jump if slave
send ack bit
        clr   scl_a                  ;for output from
this routine is low as other routine
        call  delay
        setb  c                      ;set error bit
        ret
send_a_2: clr  scl_a
        call  delay
        clr   c
        ret
;***** recieve data of pcf8591 *****
recieve_a: mov  r6,#08h
recieve_a_1: setb  scl_a              ;to start data
(bit) recieve from slave
        call  delay
        mov   c,sda_a
        rlc   a                      ;rotate bit data to acc
        clr   scl_a
        call  delay
        djnz  r6,recieve_a_1
;***** send of real time clock *****
;input a as data to transfer
;      sda_scl is clear
;output c is high ( 1 ) if have error

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        clr     c           ;for safe must set c as
low
        ret
;*** recieve data of real time clock *****
;output : a contain recieve data
recieve_s:mov   r6,#08h
recieve_s_1:   setb    scl_s   ;to start data
(bit) recieve from slave
        call   delay
        mov    c,sda_s
        rlc   a           ;rotate bit data to acc
        clr   scl_s
        call  delay
        djnz  r6,recieve_s_1
        clr   c           ;for safe must set c as
low
        ret
;***** start condition of pcf8591 *****
start_a: setb   sda_a
        setb   scl_a
        call   delay
        clr   sda_a
        call   delay
        clr   scl_a
        ret
;*** start condition of real time clock *****
;output sda,scl clear
start_s: setb   sda_s
        setb   scl_s
        call   delay
        clr   sda_s
        call   delay
        clr   scl_s
        ret
;***** stop condition of pcf8591 *****
stop_a: clr    sda_a
        setb   scl_a
        call   delay
        setb   sda_a
        call   delay
        ret
;**** stop condition of real time clock ****
;output sda scl is high
stop_s: clr    sda_s
        setb   scl_s
        call   delay
        setb   sda_s
        call   delay
        ret
;***** build clock pulse of pcf8591 *****
clkpulse_a:call delay
        setb   scl_a
        call   delay
        clr   scl_a
        ret
;*** build clock pulse of real time clock *****
clkpulse_s:call delay
        setb   scl_s
        call   delay
        clr   scl_s
        ret
;***** show time *****
show_time: mov   22h,3fh ;send date

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

call    change_bcd_to_ascii      check_100:  mov    a,54h
mov     42h,23h                  cjne   a,#00h,not_100
mov     43h,24h                  mov    a,55h
mov     44h,#':'                  cjne   a,#00h,not_100
mov     22h,3dh ;send hour      mov    46h,#'1'
call    change_bcd_to_ascii      jmp    show_temp_1
mov     45h,23h                  not_100:mov 46h,#' '
mov     46h,24h                  mov    5ah,64h
mov     47h,#':'                  mov    5bh,65h
mov     22h,3ch ;send minute    mov    5ch,66h
call    change_bcd_to_ascii      mov    5dh,67h
mov     48h,23h                  mov    68h,#08h
mov     49h,24h                  call   average
mov     4ah,#':'                  mov    54h,5fh
mov     22h,3bh ;send second    mov    55h,60h
mov     21h,3bh                  mov    56h,61h
call    change_bcd_to_ascii      mov    57h,62h
mov     4bh,23h                  call   drive_heater
mov     4ch,24h                  call   dac
mov     4dh,#'P'                  show_temp_1: mov  a,54h
mov     4eh,#'i'                  add   a,#30h
mov     4fh,#'n'                  mov   54h,a
mov     50h,#'g'                  mov   a,55h
mov     51h,#'!'                  add   a,#30h
mov     6eh,#02h                  mov   55h,a
ret                                mov   a,56h
;***** show temp *****      add   a,#30h
show_temp:  mov    a,6eh          mov   56h,a
           cjne   a,#01h,show_temp_11
           jmp    show_time      add   a,#30h
show_temp_11: mov  a,53h        mov   57h,a
           anl   a,#11000000b    mov   42h,#'**
           jnz   check_100      mov   43h,#'**
           mov   46h,#' '        mov   44h,#'**
           jmp   show_temp_1     mov   45h,#'**

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov 47h,54h
mov 48h,55h
mov 49h,#'.'
mov 4ah,56h
mov 4bh,57h
mov 4ch,#60h
mov 4dh,#'C'
mov 4eh,#'**'
mov 4fh,#'**'
mov 50h,#'**'
mov 51h,#'**'
mov 21h,3bh
mov 64h,#00h
mov 65h,#00h
mov 66h,#00h
mov 67h,#00h
mov 5eh,#0bh
mov 63h,#09h
ret
;***** warning *****
warning:mov 42h,#' '
mov 43h,#' '
mov 44h,#'T'
mov 45h,#'i'
mov 46h,#'m'
mov 47h,#'e'
mov 48h,#' '
mov 49h,#'u'
mov 4ah,#'p'
mov 4bh,#' '
mov 4ch,#'n'
mov 4dh,#'o'
mov 4eh,#'w'
mov 4fh,#'!'
mov 50h,#' '

mov 51h,#' '
mov 21h,3bh
ret
;***** lcd display *****
loop: jmp check_sec_equal
loop_con:mov a,3fh ;move min to a for test
cjne a,52h,loop_continue
mov a,3bh ;move sec to a
mov b,#03
div ab
mov a,b
jz time
cjne a,#01h,temp
call warning
jmp loop_lcd_r_shf
loop_continue: mov a,3bh
mov b,#02
div ab
mov a,b
jz time
temp: call show_temp
; call check_water
jmp loop_lcd_r_shf
time: call show_time
loop_lcd_r_shf: call lcd_r_shf ;right
shift lcd display
call lcd_delay
call lcd_clr
mov lcd_addr,#000h ;set
address 00h
call set_addr_lcd
call lcd_on
mov lcd_data,42h
call wrchar_lcd
mov lcd_data,43h

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

call    wrchar_lcd                check_sec_equal:    mov    a,3bh
mov     lcd_data,44h                cjne   a,21h,sec_not_equal
call    wrchar_lcd                jmp     sec_is_equal
mov     lcd_data,45h                sec_not_equal:     jmp     loop_con
call    wrchar_lcd                sec_is_equal:      jmp     loop_end
mov     lcd_data,46h                ;***** change bcd to ascii *****
call    wrchar_lcd                change_bcd_to_ascii:
mov     lcd_data,47h                push   acc
call    wrchar_lcd                push   b
mov     lcd_data,48h                mov    a,22h
call    wrchar_lcd                mov    b,a
mov     lcd_data,49h                anl    a,#11110000b
call    wrchar_lcd                swap   a
mov     lcd_addr,#40h              add    a,#30h
call    set_addr_lcd              mov    23h,a
mov     lcd_data,4ah                mov    a,b
call    wrchar_lcd                anl    a,#00001111b
mov     lcd_data,4bh                add    a,#30h
call    wrchar_lcd                mov    24h,a
mov     lcd_data,4ch                pop    acc
call    wrchar_lcd                pop    b
mov     lcd_data,4dh                ret
call    wrchar_lcd                ;write character to show on lcd
mov     lcd_data,4eh                ;i/p:  lcd_data
call    wrchar_lcd                wrchar_lcd:        setb   lcd_rs
mov     lcd_data,4fh                mov    p0,lcd_data
call    wrchar_lcd                call   lcd_clk
mov     lcd_data,50h                call   lcd_on
call    wrchar_lcd                ret
mov     lcd_data,51h                ;lcd display on
call    wrchar_lcd                lcd_on:  clr    lcd_rs
loop_end: call    lcd_home                mov    p0,#00001100b
ret                                call   lcd_clk
;***** check for second is equal *****
;21h : old sec                                ret
;set lcd address

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;i/p: lcd_addr                                ret
set_addr_lcd:  clr    lcd_rs                    ;lcd clear display
               mov    a,lcd_addr              lcd_clr:  clr    lcd_rs
               setb   acc.7                    mov    p0,#00000001b
               mov    p0,a                    call    lcd_clk
               call   lcd_clk                  ret
               ret                            ;lcd only display off
;lcd right shift display                       lcd_off:  clr    lcd_rs
lcd_r_shf:     clr    lcd_rs                    mov    p0,#00001000b
               mov    p0,#00011100b          call    lcd_clk
               call   lcd_clk                  ret
               ret                            ;lcd clock
;initialize lcd                               lcd_clk:  setb   lcd_en
init_lcd:     call   lcd_delay                  call    lcd_delay
               clr    lcd_rs                    clr    lcd_en
               mov    p0,#00111000b ;8 bit mode call    lcd_delay
               call   lcd_clk ;pulse lcd        ret
clock                                                ;lcd delay
               call   lcd_off ;let only display off
               call   lcd_clr                    lcd_delay:  mov    r7,#002
               mov    p0,#00000110b          lcd_delay_1:  mov    r6,#0e6h
               call   lcd_clk                    lcd_delay_2:  nop
               call   lcd_home ;return home      nop
               call   lcd_home ;return home      djnz   r6,lcd_delay_2
display                                                djnz   r7,lcd_delay_1
               ret                                ret
;lcd return home                               ,***** finish *****
lcd_home:     clr    lcd_rs                    finish:
               mov    p0,#00000010b          end
               call   lcd_clk

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 1
สุรศักดิ์ อยู่สวัสดิ์ และ อุเทน คำน่าน , สำนักพิมพ์ โกลบอลวิชั่น, 2540
2. คู่มืออิเล็กทรอนิกส์
ชัยวัฒน์ ลิ่มพรจิตรวิไล, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2538
3. เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51
ชัยวัฒน์ ลิ่มพรจิตรวิไล และ วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล , บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอร์ริเมนต์ จำกัด
4. Temperature sensor & Heater Catalog
แผนกระบบอุณหภูมิ , บริษัท เทคโนโลยีอินสตรูเมนต์ จำกัด
5. Visual basic 6 ฉบับโปรแกรมเมอร์
กิตติศักดิ์ วัฒนะกุล และ จำลอง ครุอุสาหะ , บริษัท เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์ จำกัด
6. Visual Basic 4.0 Professional
สุทธิศักดิ์ พงศรนาพาณิช , บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
7. สอนเขียน Visual Basic 6.0 ให้เป็น Project
อ. โชติพันธุ์ หล่อเลิศสุนทร และ อ. จูฑะพันธุ์ หล่อเลิศสุนทร, บริษัท Soft Express & Publishing
8. Data sheet TCA 785 , XTR 101AP , PCF 8591 , 89C51RD+