การวัดอุณหภูมิด้วยคอมพิวเตอร์

นายสัมฤทธิ์ ลิ่มวงศ์สุวรรณ

วัน เดือน ปี 4 ตค.2541
เลขทะเบียน 038634
เลขเรียกหนังสือ T ...

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPUTERISED TEMPERATURE MEASUREMENT

Mr.Sumrid Limvongsuwan

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Bachelor Degree in Chemical Engineering

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การวัดอุณหภูมิด้วยคอมพิวเตอร์
โดย	นายสัมฤทธิ์ ลิ่มวงศ์สุวรรณ
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นายบุญชัย โชติวิริยวาณิชย์

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

_____ประธานกรรมการ
(ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์)

_____กรรมการ
(นายบุญชัย โชติวิริยวาณิชย์)

_____กรรมการ
(นางสาวสุธาสินี แก้วพวงงาม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	การวัดอุณหภูมิด้วยคอมพิวเตอร์
โดย	นายสัมฤทธิ์ ลิ่มวงศ์สุวรรณ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นายบุญชัย โชติวิริยวาณิชย์
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การวัดอุณหภูมิหรือตัวแปรทางฟิสิกส์ในกระบวนการอุตสาหกรรมด้วยคอมพิวเตอร์เป็นวิธีการที่สะดวกและทันสมัย ระบบการวัดดังกล่าวประกอบด้วยสองส่วน ส่วนหนึ่งเป็นอุปกรณ์พิเศษคืออินเตอร์เฟสการ์ดทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณตัวแปรทางฟิสิกส์ให้เป็นสัญญาณที่เหมาะสมกับระบบคอมพิวเตอร์ อีกส่วนหนึ่งคือโปรแกรมที่ใช้สำหรับการวัดนี้ ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ทำงานด้วยการสุ่มสัญญาณข้อมูลจากอุปกรณ์รับรู้แล้วนำมาประมวลผลและแสดงผลเป็นแบบกราฟิก ข้อดีประการหนึ่งคือสามารถเก็บบันทึกข้อมูลดังกล่าวได้ นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาระบบให้สามารถควบคุมการทำงานของกระบวนการได้อีกด้วย ขั้นตอนการทำงานได้ทำอินเตอร์เฟสการ์ดใช้วงจรแบบ 8 บิตมีอัตราการสุ่มข้อมูลสูงสุด 15 เมกะแซมปลิ้งต่อวินาที และพัฒนาโปรแกรมให้ใช้งานกับการ์ดโดยมีระบบเมนูคำสั่ง ระบบภาษาไทย สัญญาณเตือนป้องกันอันตรายจากข้อมูลเกินขอบเขตในโครงงานจากการทดสอบที่สภาวะบรรยากาศและอุณหภูมิไม่เกิน 100 ^{o}C ใช้เทอร์มิสเตอร์เป็นอุปกรณ์รับรู้ทำให้การวัดอุณหภูมิมีความผิดผลาดได้บ้าง(ประมาณ 1 ^{o}C)และสำหรับการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์พร้อมด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะมีความถูกต้องประมาณ $\pm$1 หลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Computerised Temperature Measurement
By	Mr.Sumrid Limvongsuwan
Advisor	Dr.Paisal Nakpipat
Co-Advisor	Mr.Boonchai Chotiviriyavanich
Report for	Bachelor Degree in Chemical Engineering
	Department of Chemical Engineering Faculty of Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

The temperature or physical parameter measurement in industrial process by computer is conventional method. This measurement system has 2 part. Part I, the special hardware is interfacing card. It changes physical parameter signal to optimum computer signal. Part II, the software uses for measurement. It is random signals from sensor, process signals, and monitoring in graphic mode. Another advantage, it be storage data. In the further, it has been developed for process control system. In the working, first step is making 8-bit-curcuit interfacing card. The random rate is 15 mega sampling per second. Next step, programming connect with interfacing card. It has accessories ,e.g. pull-down menu, Thai language system and, data over limit warning. In the experiment data at atmospheric pressure and 100 ^{0}C use thermistor sensor. The results found error from sensor about 1 ^{0}C. In the concluding, developed computer system and programming have corrective about 1 digit.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับความกรุณาจากบุคคลต่างๆ ในการให้คำแนะนำและให้ข้อมูลต่างๆ เพื่อเป็นประโยชน์ในการจัดทำปริญญานิพนธ์และอำนวยความสะดวก ขอขอบคุณ พ่อ แม่ อาจารย์ น้อง และเพื่อนๆ ที่คอยดูแล เอาใจใส่ให้คำปรึกษา และให้กำลังใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AD	แอดเดรสพอร์ต
ADC	Analog to digital convertor
e_{AB}	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลท์)
H	เลขฐาน 16
I	กระแส (แอมป์)
min	ค่าน้อยสุด
max	ค่ามากสุด
R	ค่าความต้านทาน (โอห์ม)
R_t	ค่าความต้านทานของลวดโลหะ ที่อุณหภูมิ T °C (โอห์ม)
R_0	ค่าความต้านทานของลวดโลหะ ที่อุณหภูมิ 0 °C (โอห์ม)
SP	ค่าเป้าหมาย
ΔT	ผลต่างของอุณหภูมิ (เคลวิน)
V	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลท์)
α	ค่าสัมประสิทธิ์ของซีเบ็คเป็นค่าคงที่ (โวลท์ต่อเคลวิน)
α	สัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้า ต่ออุณหภูมิ 1 °C (โอห์ม / โอห์ม / °C)
β	สัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้า ต่ออุณหภูมิ 1 °C (โอห์ม / โอห์ม / °C)
γ	สัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้า ต่ออุณหภูมิ 1 °C (โอห์ม / โอห์ม / °C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ..... ช

บทที่ 1. บทนำ..... 1

บทที่ 2. เครื่องมือวัดอุณหภูมิ..... 3

บทที่ 3. ระบบควบคุมพื้นฐาน..... 17

บทที่ 4. หลักการทำงาน..... 23

บทที่ 5. การทดลอง..... 36

เอกสารอ้างอิง..... 45

ภาคผนวก ก. วิธีใช้งานฮาร์ดแวร์และซอฟแวร์..... 46

ภาคผนวก ข. โปรแกรมหลักภาษาปาสคาล..... 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

เครื่องควบคุม (Controller) ที่ใช้วัดและควบคุมกระบวนการอุตสาหกรรม โดยทั่วไปจะแสดงสัญญาณวัดคุมเป็นตัวเลขเพียงอย่างเดียวและไม่สามารถเก็บบันทึกข้อมูลในตัวเองได้ การเก็บบันทึกต้องใช้เครื่องบันทึกข้อมูล(Recorder)เป็นส่วนเพิ่มเติม เครื่องควบคุมที่สามารถต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้ต้องเป็นเครื่องควบคุมรุ่นพิเศษและต้องใช้โปรแกรมจากผู้ผลิตทำให้มีราคาสูง ในปัจจุบันเครื่องคอมพิวเตอร์มีราคาถูกและมีประสิทธิภาพสูง สามารถนำมาใช้งานแทนอุปกรณ์ควบคุมโดยเพิ่มอินเตอร์เฟสการ์ดเพื่อทำหน้าที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกกับคอมพิวเตอร์และแปลงสัญญาณระหว่างสัญญาณอนาลอกกับสัญญาณดิจิตอล ข้อมูลดิจิตอลที่ได้จากการแปลงสัญญาณจะเป็นฟังก์ชันของแอมปลิจูดเชิงเวลาและแสดงผลที่จอคอมพิวเตอร์

โครงงานนี้จึงเปรียบเสมือนเครื่องควบคุม ที่ใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมโดยอินเตอร์เฟสการ์ดต่อกับสล็อตของคอมพิวเตอร์ ความถี่ในการสุ่มสัญญาณกำหนดโดยโปรแกรม อุปกรณ์แปลงสัญญาณที่ใช้มีความถี่ในการสุ่มตัวอย่างสูงสุดประมาณ 15 เมกะแซมปลิ้งต่อวินาที

เนื่องจากความถี่ของการแปลงสัญญาณทำได้สูงสุดถึง 15 เมกะแซมปลิ้งต่อวินาที จึงไม่จำเป็นต้องส่งข้อมูลทั้งหมดไปให้คอมพิวเตอร์ เนื่องจากการทำงานเป็นแบบเวลาจริงและสัญญาณที่แปลงมามีแอมปลิจูดคงที่ต่อการสุ่ม 1 ครั้งโดยอาจจะมีคลื่นรบกวนบ้างเล็กน้อยประมาณ 1/10000 ข้อมูล ดังนั้นจึงไม่ต้องการเก็บข้อมูลลงหน่วยความจำของการ์ดข้อมูลจะถูกสุ่มตามเวลาที่ตั้งโปรแกรมไว้ สัญญาณอนาลอกจะเป็นสัญญาณมาตรฐาน 4-20 มิลลิแอมป์ เมื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลจะมีค่าอยู่ในช่วง 1 ไบต์ข้อมูล หรือ 8 บิต ในการแสดงผล 1 ไบต์ข้อมูลจะแปลงอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ เช่น 0-100 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น

วัตถุประสงค์

พัฒนาระบบคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลประกอบด้วยฮาร์ดแวร์และซอฟแวร์ เพื่อใช้วัดและบันทึกข้อมูลตัวแปรทางฟิสิกส์จากกระบวนการ รวมทั้งสามารถแสดงผลเชิงตัวเลขและแสดงเป็นกราฟได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบเขต

เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ติดต่อกับอินเตอร์เฟสการ์ดเพื่อวัดสัญญาณจากเซนเซอร์โดยมีการแสดงผลเป็นแบบกราฟิกและสามารถเก็บบันทึกข้อมูล ในการแสดงผลประกอบด้วย แถบเมนูคำสั่ง การแสดงผลภาษาไทย สัญญาณเตือนป้องกันอันตรายจากข้อมูลเกินขอบเขต การแสดงค่าตัวแปรทางฟิสิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

2.1 อุปกรณ์รับรู้ หรือ เซนเซอร์ (Sensor)

เครื่องมือแต่ละชนิดมีอุปกรณ์รับรู้อุณหภูมิ(Temperature sensors) ซึ่งมีหลายชนิดโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเฉพาะของสารคือ จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางฟิสิกส์ที่วัดได้ เมื่ออุณหภูมิที่วัดเปลี่ยนไป และการเปลี่ยนแปลงที่วัดได้จะต้องคงที่แน่นอนสามารถพิสูจน์ได้ แบ่งเป็น

1. อุปกรณ์รับรู้อุณหภูมิที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกล ได้แก่การวัดโดยอาศัยการขยายตัวของสารเช่น เทอร์โมมิเตอร์แบบของเหลวหรือก๊าซขยายตัว (Thermal Filled Thermometers) เทอร์โมมิเตอร์แบบแถบโลหะคู่ (Bimetallic Thermometers)
2. อุปกรณ์รับรู้อุณหภูมิที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้า ได้แก่ เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouples) อาร์ทีดี(RTD) และเทอร์มิสเตอร์(Thermisters)
3. อุปกรณ์รับรู้อุณหภูมิที่อาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงแสงและการแผ่รังสี ได้แก่ ออพติคอลไพโรมิเตอร์
4. อุปกรณ์รับรู้อุณหภูมิที่อาศัยการวัดอุณหภูมิโดยวิธีการทางเคมี ได้แก่ การใช้ดินสอวัดอุณหภูมิ(Crayon) และ แล็คเคอร์

2.2 เทอร์โมคัปเปิล

ในปี ค.ศ. 1821 นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน Thomas Seebeck พบว่าเมื่อนำลวดโลหะ 2 เส้นที่ทำด้วยโลหะต่างชนิดกันมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกัน ถ้าปลายจุดต่อทั้งสองมีอุณหภูมิต่างกันจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเส้นลวดทั้งสองนี้ ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง และถ้าเปิดปลายจุดต่อด้านหนึ่งออกจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นที่ปลายด้านเปิด แรงเคลื่อนไฟฟ้านี้เรียกว่า "ซีเบ็คโวลเตจ" ดังรูปที่ 2.1

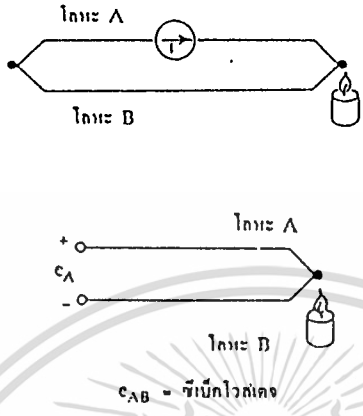
$$e_{AB} = \alpha \Delta T$$

เมื่อ

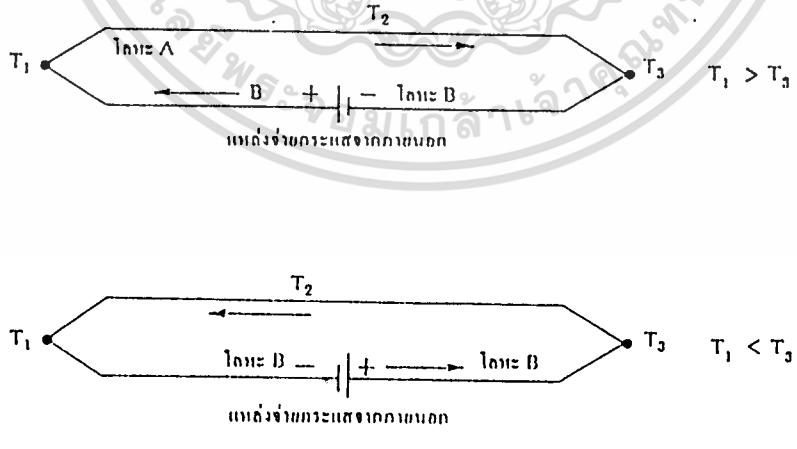
α คือค่าสัมประสิทธิ์ของซีเบ็คเป็นค่าคงที่ (โวลท์ต่อเคลวิน)

ΔT คือผลต่างของอุณหภูมิ (เคลวิน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 วงจรการทดลองของซีเบ็ค (สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ์, 2539)



รูปที่ 2.2 วงจรการทดลองของเพลเทียร์ (สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ์, 2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

e_{AB} คือแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้ (โวลท์)

ต่อมาในปี 1834 นักวิทยาศาสตร์ Jean C.A. Peltier พบว่าเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในวงจรลักษณะเดียวกับที่ซีเบ็คสร้างขึ้น จะทำให้เกิดอุณหภูมิที่ปลายทั้งสองของจุดต่อแตกต่างกัน โดยปลายข้างหนึ่งจะร้อนขึ้นและปลายอีกข้างหนึ่งจะเย็นลง ดังรูปที่ 2.2 เมื่อมีกระแสจากแหล่งจ่ายภายนอกไหลผ่านเข้าไปในวงจร จะทำให้ปลายข้างหนึ่งมีอุณหภูมิสูงขึ้นและปลายอีกด้านหนึ่งมีอุณหภูมิเย็นลง ในทางกลับกันเมื่อเปลี่ยนทิศทางการไหลของกระแสก็จะทำให้อุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสองกลับกันด้วย

จากการค้นพบของซีเบ็คและเพลเทียร์ การศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับเทอร์โมคัปเปิลได้ดำเนินต่อมา จนเป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิใช้อย่างกว้างขวางในวงการอุตสาหกรรม เช่นในปัจจุบัน

2.3 เทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน

นับตั้งแต่พบหลักการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลในปี 1821 เป็นต้นมารายละเอียดในหลักการได้ถูกพัฒนาให้ก้าวหน้าเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมมาโดยตลอด และได้เกิดเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานขึ้นหลายชนิด เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในลักษณะต่างๆ ดังรูปที่ 2.3

2.3.1 เทอร์โมคัปเปิลแบบ S (Platinum 10% Rhodium V.S. Platinum)

ในปี 1886 Le Chatelier ได้ประดิษฐ์เทอร์โมคัปเปิล โดยสายลบทำจาก พลาตินัม และสายบวกทำจาก โลหะผสม 90% ของพลาตินัม + 10% ของโรเดียม สามารถวัดอุณหภูมิได้สูงถึง 1400 °C ซึ่งต่อมาเทอร์โมคัปเปิลแบบนี้ได้กลายเป็นแบบ S มาตรฐานสากลตาม IPTS 68 ระบุว่าสามารถใช้ในการสอบเทียบค่าและเปรียบเทียบเป็นค่ามาตรฐานตั้งแต่จุดแข็งตัวของแอนติโมนี (630.74°C) จนถึงจุดแข็งตัวของทอง (1064.43°C) เทอร์โมคัปเปิลแบบ S นี้สามารถใช้งานในสภาวะที่เป็นออกซิไดซ์และเฉื่อยได้ดีโดยสามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 1400°C หรือกับการใช้งานในระยะเวลาสั้นๆ สามารถทนได้ถึง 1482°C แต่ไม่เหมาะสำหรับสภาวะงานที่เป็นแบบ รีดิวซ์ สูญญากาศ หรือสภาพงานที่มีไอต่อโลหะเช่น ตะกั่ว สังกะสี และไอของอโลหะ เช่น อาเซนิค ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส ซึ่งจะทำให้มีอายุการใช้งานสั้น ถ้าจำเป็นต้องใช้จะต้องป้องกันด้วยครอบป้องกันที่เป็นแบบอโลหะ เช่น อลูมินาบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิสูงๆ เม็ดเกรนของพลาตินัมจะพองตัวและพลาตินัมจะปนเปื้อนได้ง่ายที่อุณหภูมิสูงๆ ทำให้แรงเคลื่อนๆไฟฟ้ามีค่าต่ำลง จากการวิเคราะห์ส่วนผสมภายหลังการใช้งาน 20 ปีส่วนผสมของโรเดียมจะเปลี่ยนสภาพเป็น พาลาเดียม ทำให้คุณสมบัติผิดไป การเปลี่ยนสภาพเช่นนี้จะเกิดกับเทอร์โมคัปเปิลทุกแบบที่มีส่วนผสมของโรเดียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 เทอร์โมคัปเปิลแบบ R (Platinum 13% Rhodium V.S. Platinum)

เทอร์โมคัปเปิลแบบ R สายบวกทำจาก พลาตินัม สายลบทำจาก พลาตินัม 87% + โรเดียม 13% ผลที่ได้จะทำให้แบบ R ให้เอาท์พุทสูงกว่าแบบ S คุณสมบัติเปรียบเทียบกับแบบ S ทนอุณหภูมิสูงสุดได้ 1400°C

2.3.3 เทอร์โมคัปเปิลแบบ B (Platinum 30% Rhodium/Platinum 6% Rhodium)

ผลิตขึ้นครั้งแรกเมื่อปี 1954 ในประเทศเยอรมัน สายบวกทำจากพลาตินัม 70% + โรเดียม 30%, สายลบทำจาก พลาตินัม 94% + โรเดียม 6% เทอร์โมคัปเปิลแบบ B จะให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำกว่าแบบ S และแบบ R แต่คุณสมบัติที่เด่นกว่าคือแข็งแรงและทนทานกว่า สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงสุดได้ถึง 1704°C ในสภาวะที่เป็นออกซิไดซ์หรือเฉื่อยแต่ไม่เหมาะกับการใช้งานในสภาวะรีดิวซ์หรือสูญญากาศ และในงานที่มีไอโลหะและอโลหะเช่นเดียวกับแบบ R และแบบ S เทอร์โมคัปเปิลที่ทำจากธาตุบริสุทธิ์จะให้ความเป็นเชิงเส้นดีแต่ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำ

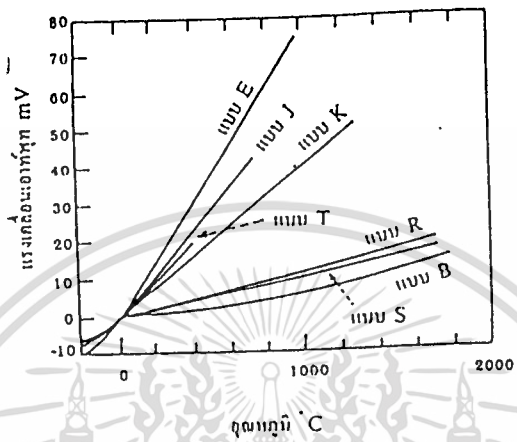
2.3.4 เทอร์โมคัปเปิลแบบ J (Iron V.S. Constantan)

พลาตินัมเป็นธาตุที่มีราคาแพงเพื่อที่จะทำให้เทอร์โมคัปเปิลมีราคาถูกลงได้มีการค้นคว้าหาวัสดุที่มีราคาถูกกว่าเพื่อใช้แทนพลาตินัม วัสดุที่เริ่มทดลองใช้ เช่น เหล็ก นิเกิล นิเกิลบริสุทธิ์จะเปราะมากในสภาวะงานที่เป็นออกซิไดซ์ การทดลองต่อมาพบว่าโลหะผสมระหว่าง 60% ของทองแดง + 40% ของนิเกิล ที่ต่อมาเรียกว่า คอนสแตนแตน สามารถแก้ปัญหานี้ได้ เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้สายบวกทำด้วยเหล็ก และสายลบทำด้วยคอนสแตนแตน ต่อมากลายเป็นแบบมาตรฐานแบบ J คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบ J เหมาะสำหรับสภาพงานที่เป็น สูญญากาศ ออกซิไดซ์ รีดิวซ์ หรือเฉื่อย ที่อุณหภูมิไม่เกิน 760°C ไม่เหมาะสำหรับงานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 °C และที่อุณหภูมิสูงกว่า 538 °C สายที่เป็นเหล็กจะเกิดออกซิไดซ์ด้วยอัตราที่สูงกว่าปกติมาก สำหรับที่อุณหภูมิสูงกว่า 538 °C จะต้องใช้สายเทอร์โมคัปเปิลขนาดใหญ่จะช่วยให้อายุการใช้งานยืนยาวขึ้น จากการทดลองใช้งานภายใน 20 ปีพบว่าส่วนผสมของโลหะเทอร์โมคัปเปิลจะเปลี่ยนไป 0.5% มีแมงกานีสเพิ่มขึ้นในเนื้อเหล็ก

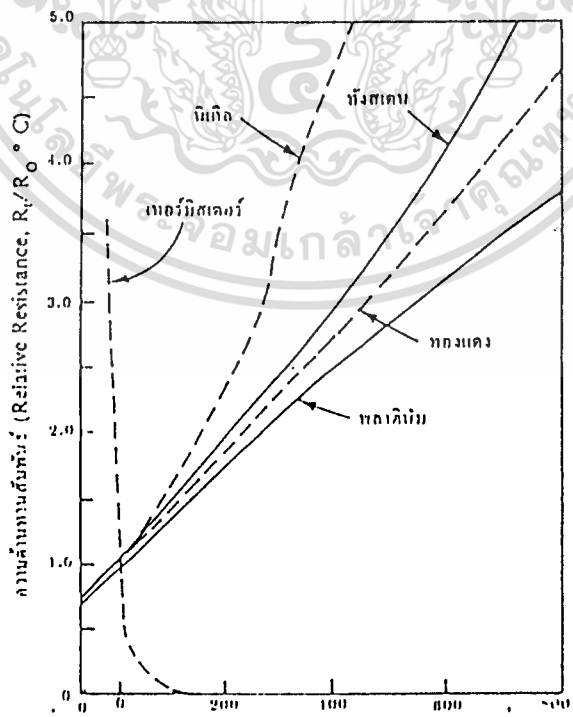
2.3.5 เทอร์โมคัปเปิลแบบ K (Chromel V.S. Alumel)

ต้องการเทอร์โมคัปเปิลสามารถวัดอุณหภูมิได้สูงกว่าแบบ J และมีราคาถูก จึงมีผู้ประดิษฐ์เทอร์โมคัปเปิลแบบใหม่ที่สายบวกทำจากโครเมล(โลหะผสมระหว่าง นิเกิล 10% + โครเมียม 90%) และสายลบทำจากอลูเมล(โลหะผสมระหว่าง นิกเกิล 95% + 5% ของส่วนผสมระหว่าง อลูมิเนียม แมงกานีสและซิลิกอน) ซึ่งต่อมาได้กลายเป็นมาตรฐานแบบ K เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายมากที่สุด สามารถใช้กับสภาวะงานที่เป็นออกซิไดซ์หรือเฉื่อยได้ดีกว่าแบบอื่น สามารถทนอุณหภูมิได้ถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากผลต่างของอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน (สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ์, 2539)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.4 อัตราส่วนความต้านทานของโลหะที่ใช้ทำอาร์ทีดีที่ความต้านทาน 0°C (สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ์, 2539)

1260 °C และที่อุณหภูมิต่ำถึง - 250 °C ในสภาพงานที่ต้องรับการแพร่รังสีโดยตรงจากแหล่งกำเนิดความร้อนแบบ K ก็สามารถใช้งานได้ดีเช่นกัน คุณสมบัติที่เด่นมากของเทอร์โมคัปเปิลแบบ K คือ ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเอาท์พุทสูงกว่าแบบอื่นๆ อายุการใช้งานของเทอร์โมคัปเปิลแบบ K นี้ประมาณ 20 ปี เพราะหลังจากนั้นส่วนผสมจะเปลี่ยนไปโดยจะมีเหล็กเพิ่มขึ้นประมาณ 2% และส่วนผสมบางอย่างเช่น แมงกานีส จะลดปริมาณลง

2.3.6 **เทอร์โมคัปเปิลแบบ** T (Copper V.S. Constantan)

เป็นเทอร์โมคัปเปิลแบบที่เหมาะสำหรับการวัดอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ สายบวกของเทอร์โมคัปเปิลแบบ T ทำจากทองแดง และสายลบทำจากคอนสแตนแตน ในสภาพการใช้งานปรกติสามารถวัดอุณหภูมิได้ต่ำถึง -184°C แต่อุณหภูมิทางบวกวัดได้ต่ำกว่าแบบอื่นๆ คือ ประมาณ 370°C เท่านั้น เพราะที่อุณหภูมิสูงกว่า 370°C อัตราการเกิดออกไซด์ของเทอร์โมคัปเปิลจะเพิ่มมากขึ้น เทอร์โมคัปเปิลแบบ T เป็นแบบที่ทนการกัดกร่อนในบรรยากาศที่มีความชื้นได้ดีเป็นพิเศษ และสามารถใช้งานในสภาวะที่เป็น สูญญากาศ ออกซิไดซ์ บรรยากาศรีดอกซ์ (Redox) หรือบรรยากาศได้ดี ในการใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบ T ที่ต้องสัมผัสกับการแผ่รังสีโดยตรงจะทำให้ส่วนผสมของเทอร์โมคัปเปิลเปลี่ยนไปจึงไม่เหมาะ หลังจากการทดลองใช้งานประมาณ 20 ปี ส่วนผสมของนิเกิล และสังกะสีจะเพิ่มขึ้นประมาณ 10%

2.3.7 **เทอร์โมคัปเปิลแบบ** E (Chromel V.S. Constantan)

สายบวกทำจากโครเมลและสายลบทำจากคอนสแตนแตนอุณหภูมิใช้งานปกติอยู่ระหว่าง -250°C ถึง 871°C เหมาะกับสภาพงานที่เกิดออกซิไดซ์ได้ง่าย คุณสมบัติด้านอื่นๆ คล้ายกับเทอร์โมคัปเปิลแบบ K

2.3.8 **เทอรโมคัปเปิลแบบไม่มาตรฐาน**

แบบของเทอร์โมคัปเปิลที่กล่าวมาแล้วนั้นเป็นแบบมาตรฐาน แต่ในปัจจุบันได้มีการทดลองนำโลหะอีกหลายชนิด เช่น ทังสเตน รีเนียม เออริเดียม มาประดิษฐ์เทอร์โมคัปเปิลแบบใหม่เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ต่างออกไปจากแบบมาตรฐานที่มีอยู่ ซึ่งจะได้รับการจัดเข้าเป็นแบบมาตรฐานในอนาคตต่อไป เช่น

พลาตินัม 20% โรเดียม 80% - พลาตินัม 5% โรเดียม 95%

พลาตินัม 40% โรเดียม 60% - พลาตินัม 20% โรเดียม 80%

พลาตินัม 13% โรเดียม 87% - พลาตินัม 1% โรเดียม 99%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 อาร์ทีดี

อาร์ทีดีเป็นอุปกรณ์รับรู้ที่นิยมใช้วัดอุณหภูมิ ตั้งแต่จุดเยือกแข็งของออกซิเจน -182.96°C ไปจนถึงจุดแข็งตัวของแอนติโมนี 630.74 °C ดังรูปที่ 2.5

2.4.1 หลักการของอาร์ทีดี

ความต้านทานไฟฟ้าในเส้นลวดโลหะจะเปลี่ยนค่าไปตามสมการดังนี้

$$R_t = R_0(1 + \alpha T) \qquad \text{หรือ} \qquad dR/dT = \alpha R_0$$

เมื่อ

R_t คือค่าความต้านทานของลวดโลหะ ที่อุณหภูมิ T °C (โอห์ม)

R_0 คือค่าความต้านทานของลวดโลหะ ที่อุณหภูมิ 0 °C (โอห์ม)

α คือสัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้า ต่ออุณหภูมิ 1 °C (โอห์ม / โอห์ม / °C)

ซึ่งค่า α มีค่าเปลี่ยนไปตามชนิดของโลหะ เช่น พลาตินัม 0.00392 โอห์ม / โอห์ม / °C จากย่านอุณหภูมิ 0°C ถึง 100 °C นิกเกิล 0.0063 โอห์ม / โอห์ม / °C ทองแดง 0.00425 โอห์ม / โอห์ม / °C

ในทางปฏิบัติค่า α ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแต่ละช่วงจะไม่แปรผันเป็นเส้นตรงในห้องปฏิบัติการมาตรฐานที่ต้องการค่าแน่นอนสามารถทำได้โดยการใช้สมการต่อไปนี้

$$R_t = R_0 (1 + \alpha T + \beta T^2 + \gamma T^4 .....)$$

ค่า α, β และ γ ได้จากการทดลองซึ่งทางบริษัทผู้ผลิตเป็นผู้กำหนดมา เช่น พลาตินัม

$\alpha = 3.985 \times 10^{-3}$

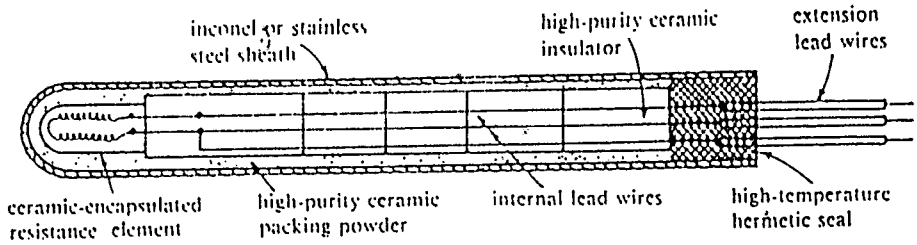
$\beta = -5.856 \times 10^{-7}$

$\gamma = 4.330 \times 10^{-10}$

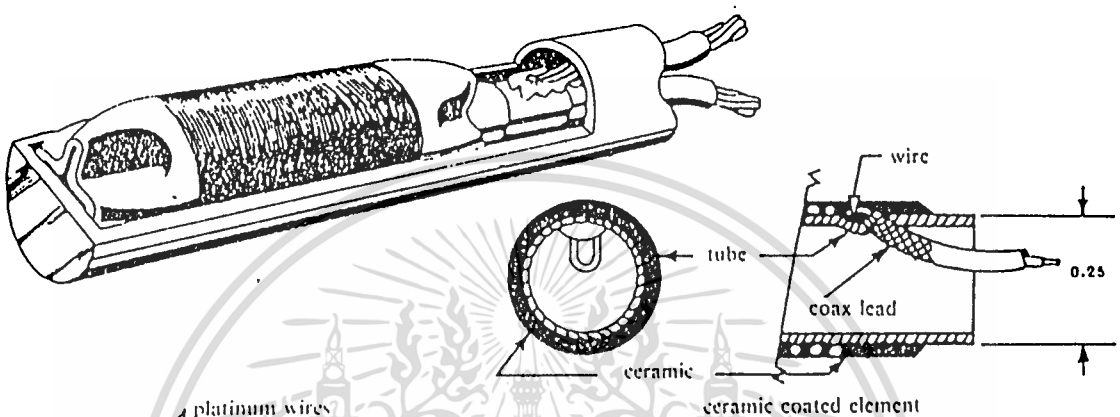
สูตรนี้สามารถใช้ได้ตลอดทั้งย่านการใช้งานที่ต้องการความถูกต้องสูง แต่โดยทั่วไปการคำนวณจะใช้สูตร $R_t = R_0(1 + \alpha T)$ โดยเลือกใช้ค่า α ตามตาราง

ในช่วง 90 ปีที่ผ่านมาสถาบันและสมาคมหลายแห่งที่เกี่ยวข้องกับการผลิตอาร์ทีดีได้กำหนดมาตรฐานต่างๆกันไปสมาคมเหล่านี้ได้แก่ สมาคมผู้ผลิตเครื่องมือวิทยาศาสตร์แห่งสหรัฐ สถาบันมาตรฐานแห่งอังกฤษ และสถาบันมาตรฐานแห่งเยอรมัน แต่ต่อมากลุ่มกำหนดมาตรฐาน IEC ได้กำหนดเส้นโค้งมาตรฐานของอาร์ทีดีแบบพลาตินัมใหม่และเป็นที่ยอมรับของสมาคมทั้งสามดังกล่าว ช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 400°C ค่าผิดพลาดไม่เกิน ± 0.2 °C และที่ช่วงอุณหภูมิ 400 °C ถึง 600 °C ค่าผิดพลาดไม่เกิน ± 0.5 °C กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของอาร์ทีดีที่ทำจากโลหะชนิดต่างๆ

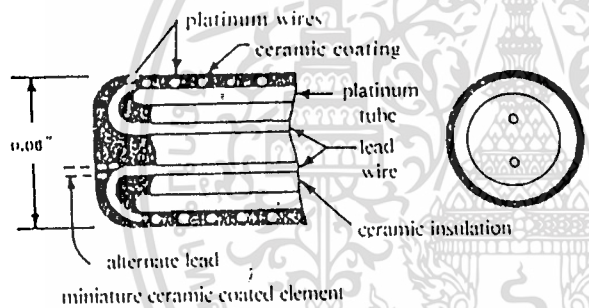
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



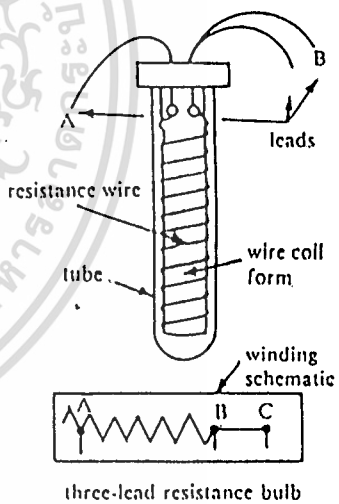
platinum industrial resistance thermometer assembly.



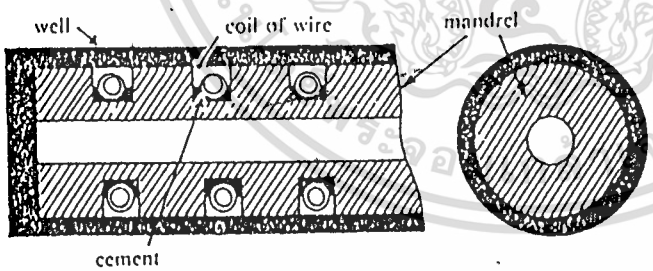
ceramic coated element



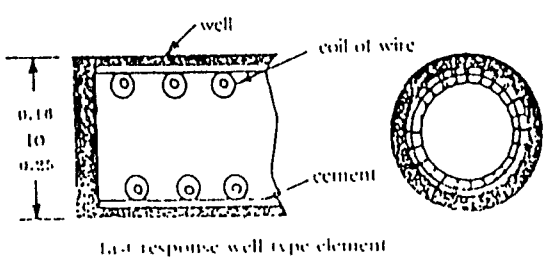
miniature ceramic coated element



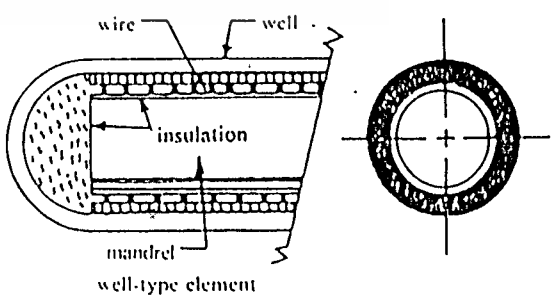
three-lead resistance bulb



rugged well-type element



fast response well type element



well-type element

RTD elements are fabricated to minimize the effects of mechanical shock. (courtesy of rosemont, inc.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.5 โครงสร้างของอาร์ทีดี (สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ์, 2539)

แกนในแนวตั้งบอกว่าความต้านทานที่อุณหภูมิต้องการมีค่าเป็นกี่เท่าของความต้านทานที่ 0 °C ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงได้ถึง 5 เท่าหรือมากกว่า อาร์ทีดีแบบพลาตินัมเป็นแบบที่ใช้กันมากที่สุดในโรงงานอุตสาหกรรมมีค่ามาตรฐาน 100 โอห์ม ที่ 0 °C และเป็นแบบมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไปในช่วงอุณหภูมิสูงถึง 600°C ควรใช้อาร์ทีดีแบบพลาตินัมแบบ 10 โอห์มเพราะจะให้เสถียรภาพดีกว่าแบบ 100 โอห์ม นิเกิลอาร์ทีดีไม่ใช่แบบมาตรฐานเหมือนพลาตินัมเพราะต่างบริษัทก็กำหนดค่าความต้านทานที่ 0 °C ต่างกันออกไปทำให้การเลือกใช้อุปกรณ์ประกอบอื่นๆ เช่น ทรานสมิตเตอร์ เครื่องควบคุม เครื่องบันทึก เฉพาะของบริษัทนั้นๆ บางบริษัทกำหนดค่าความต้านทาน 235.116 โอห์ม ที่ 0 °C นิเกิลอาร์ทีดีวัดอุณหภูมิได้ไม่สูงเท่ากับพลาตินัมย่านการใช้งานอยู่ในช่วง -195 °C - 360 °C ค่าผิดผลาดต่ำกว่าแบบพลาตินัมแต่ให้ความเป็นเชิงเส้นดีกว่าแบบพลาตินัม

อาร์ทีดีแบบทองแดงเป็นแบบที่ให้ความเป็นเชิงเส้นในการรวัดดีที่สุดแต่ย่านการใช้งานแคบประมาณ - 200°C ถึง 150°C และมีค่าความต้านทานจำเพาะต่ำปกติจะมีค่าความต้านทาน 10 โอห์ม ที่ 0°C ค่าผิดผลาด ± 0.25°C อาร์ทีดีแบบทังสเตนมีใช้อยู่บ้างแต่ไม่เป็นที่แพร่หลายเพราะมีเสถียรภาพไม่ดี คุณสมบัติเปลี่ยนไปเมื่อผ่านการใช้งานแล้ว แต่มีข้อดีคือมีความแข็งแรงสูงกว่าแบบอื่นๆ สามารถทนอุณหภูมิได้สูง อาร์ทีดีแบบพลาตินัม 100 โอห์ม จะเปลี่ยนค่าความต้านทานโดยเฉลี่ย 0.385 โอห์ม ต่อ 1 °C ในการใช้งานปกติมีแหล่งจ่ายกระแสคงที่ 1 มิลลิแอมแปร์ เลี้ยงอาร์ทีดีอยู่ ทุกๆ 1 °C ที่เปลี่ยนแปลงจะทำให้เกิดค่าความต่างศักย์เปลี่ยนแปลง 0.385 มิลลิโวลเตจ ซึ่งมากกว่าเทอร์โมคัปเปิลแบบ K ถึง 10 เท่า ดังนั้นที่สัญญาณรบกวนค่าเดียวกันจะมีผลต่ออาร์ทีดีน้อยกว่าเทอร์โมคัปเปิล

2.4.2 ความผิดผลาดอันเกิดจากกระแสเลี้ยงอาร์ทีดี

อาร์ทีดีจำเป็นต้องมีกระแสไฟฟ้าเลี้ยงอยู่จำนวนหนึ่ง ถ้ามีค่ามากขึ้นเอาท์พุทโวลเตจก็จะสูงขึ้น แต่กระแสจำนวนนี้ก็จะสร้างความร้อนขึ้นในตัวอาร์ทีดีเองด้วย

พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้น = I^2R

เมื่อ

I คือกระแสเลี้ยงอาร์ทีดี (แอมป์)

R คือค่าความต้านทานของอาร์ทีดี (โอห์ม)

ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้เกิดค่าผิดผลาดทำให้ความต้านทานสูงขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องจำกัดค่ากระแสนี้มิให้สูงเกินไป โดยปกติอาร์ทีดีแบบพลาตินัมจะเกิดค่าผิดผลาดขึ้น 0.5 °C ต่อค่ากระแสเลี้ยง 1 มิลลิแอมป์ในบรรยากาศปกติกรณีไม่มีการไหล แต่ในสภาวะการทำงานที่ต้องจุ่มลงในของเหลวค่าความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะกระจายลงสู่ของเหลวทำให้ค่าผิดผลาดนี้ต่ำลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับความเร็วในการไหล ความหนาแน่นของตัวกลาง อาจลดลงได้ถึง 0.2 ของค่าความผิดผลาดที่บรรยากาศปกติ

2.4.3 โครงสร้างของอาร์ทีดี

อาร์ทีดี ดังรูปที่ 2.5 ทำด้วยลวดโลหะที่มีความยาวค่าหนึ่งซึ่งทำให้เกิดค่าความต้านทานที่ต้องการที่อุณหภูมิ 0°C ลวดโลหะนี้จะพันอยู่กับแกนที่เป็นฉนวนไฟฟ้าและมีคุณสมบัติที่ทนต่อความร้อนแกนที่ใช้เป็นสารประเภทเซรามิคหรือแก้ว เช่น อลูมินาบริสุทธิ์ สารที่เจือปนอยู่ เช่น ซิลิกาจะทำให้เส้นลวดความต้านทานปนเปื้อน สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นพิเศษในขบวนการผลิตคือ ขณะใช้งานขดลวดนี้ต้องทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและการสั่นสะเทือนได้ ทั้งนี้เพราะเมื่อขดลวดได้รับความร้อนจะขยายตัวเมื่อเย็นลงจะหดตัวแกนที่พันจะต้องมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวสัมพันธ์กับการขยายตัวของขดลวดการพันขดลวดจะทำขณะที่ขดลวดร้อนจนอ่อนตัว หลังจากนั้นต้องผ่านกรรมวิธีการอบร้อนคลายความเครียดที่มีอยู่ในขดลวดด้วยอุณหภูมิอย่างน้อย 500 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สภาพภายนอกของอาร์ทีดีฉนวนที่ใช้เป็นพวกแมกนีเซียมออกไซด์หรืออลูมิเนียมออกไซด์ ช่วงที่มีผลต่อการวัดโดยตรงอยู่ตรงปลายของตัวครอบป้องกันอาจยาว 0.5 ถึง 2.5 นิ้วซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ของขดลวด การเลือกครอบโลหะป้องกัน ฉนวน เทอร์โมเวลล์เหมือนกับเทอร์โมคัปเปิล

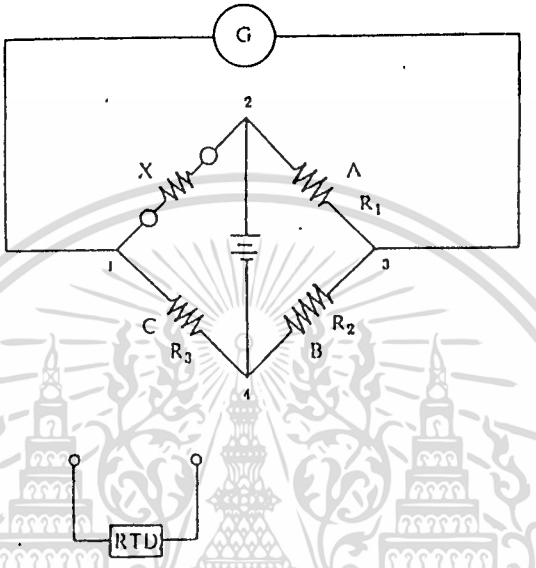
2.4.4 วงจรต่อใช้งานของอาร์ทีดี

วงจรต่อใช้งานพื้นฐานของอาร์ทีดี คือ "วีทสโตน บริดจ์" ดังรูปที่ 2.6 ให้ X คืออาร์ทีดี ซึ่งติดตั้งอยู่ในจุดที่ต้องการวัดอุณหภูมิ รีซิสเตอร์ประกอบอีก 3 ตัวคือ A B และC อยู่ในทรานสมิตเตอร์ในอุณหภูมิบรรยากาศ รีซิสเตอร์ A B และC ที่ใช้เป็นแบบที่มีความถูกต้องสูงค่าการเปลี่ยนค่าความต้านทาน เมื่ออุณหภูมิบรรยากาศเปลี่ยนมีค่าต่ำมาก

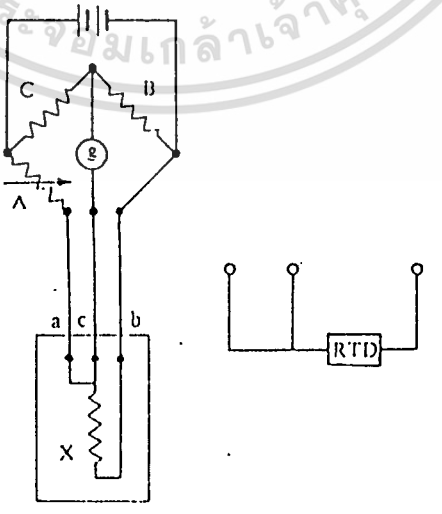
วงจรบริจน์นี้จะอยู่ในสภาวะสมดุลเมื่ออาร์ทีดีอยู่ในอุณหภูมิ 0°C ซึ่งจะทำให้อัตราส่วน X/C = A/B กัลวาโนมิเตอร์จะชี้ที่ 0°C วงจรนี้ใช้ได้เมื่อตัวทรานสมิตเตอร์อยู่ใกล้กับตัวอาร์ทีดีมากๆ เท่านั้นเพราะถ้าสายยาวค่าผิดผลาดจะเกิดขึ้นเนื่องจากความต้านทานของสายตัวนำจากอาร์ทีดีและอุณหภูมิสายนำนี้ ถ้ามีค่ามากขึ้นค่าผิดผลาดก็จะสูงขึ้น วงจรแบบสองสายจึงเหมาะสำหรับการวัดที่ไม่ต้องการความถูกต้องสูงมากนัก

วงจรอาร์ทีดีแบบสามสาย ดังรูปที่ 2.7 เป็นแบบมาตรฐานที่นิยมการใช้งานกันมากที่สุดในวงการอุตสาหกรรมทั่วไป สายทั้งสาม a b และc จากอาร์ทีดีที่ต่อเข้ากับวงจรบริดจ์จะต้องมีขนาดความยาวเท่ากันและอยู่ในบรรยากาศที่มีอุณหภูมิเดียวกันตลอด เพื่อให้ค่าความต้านทานของทั้งสามสายเปลี่ยนแปลงไปในขนาดและทิศทางเดียวกัน เป็นการชดเชยความผิดผลาดอันเกิดจากการลากสายตัวนำยาวในสภาวะงานที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ จากวงจรเมื่อบริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุล วงจรวัดแบบสามสายเป็นแบบที่มีให้ความถูกต้องสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 วงจรต่อใช้งานของอาร์ทีดีแบบพื้นฐาน (สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ์, 2539)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.7 แสดงวงจรต่อใช้งานของอาร์ทีดีแบบสามสาย (สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ์, 2539)

วงจรวัดแบบสี่สาย ดังรูปที่ 2.8 แบบแรกเป็นแบบที่เลื่อนจุดต่อของบริดจ์ไปอยู่ภายนอกสายที่ต่อจากอาร์ทีดีทั้งสี่เส้นจะต้องมีขนาด ความยาว และอยู่ในบรรยากาศที่มีอุณหภูมิเดียวกัน ตลอดเหมือนวงจรการวัดแบบสามสาย แต่วิธีนี้ให้ความถูกต้องสูงกว่า วงจรการวัดแบบสี่สายแบบที่สองใช้ในกรณีที่ต้องการควบคุมความถูกต้องสูงสุด ต้องการทราบค่าอุณหภูมิเป็นจุดๆ ไม่ต้องการวัดค่าแบบต่อเนื่องเช่น ในห้องปฏิบัติการ ลักษณะการต่อวงจรเป็นแบบสามสาย มีสวิทช์สำหรับโยกสลับสายเพื่อหาค่าเฉลี่ย ในการวัดครั้งหนึ่งๆ ต้องทำการอ่านค่า 2 ครั้ง ตามตำแหน่งสวิทช์ค่าความต้านทานของอาร์ทีดีเป็นค่าเฉลี่ยของค่าที่อ่านได้ทั้งสองครั้ง เพื่อลดความคลาดเคลื่อนอันเกิดจากวิธีการวัดแบบสามสาย เนื่องจากค่าความต้านทานของสายอาจไม่เท่ากันได้ เช่นตำแหน่งบนอ่านได้ 250.17 °C และตำแหน่งล่างอ่านได้ 250.16 °C ค่าที่บันทึก 250.165 °C เป็นต้น และสิ่งที่ต้องระมัดระวังในการวัดด้วยวิธีนี้ คือ จุดต่อหรือหน้าสัมผัสทุกจุดจะต้องมั่นใจว่าแน่นสนิท สะอาด ปราศจากออกไซด์ซึ่งจะทำให้ค่าที่อ่านได้ไม่แน่นอน และกัลวาโนมิเตอร์ที่ใช้จะต้องเป็นแบบความต้านทานสูง

2.5 เทอร์มิสเตอร์

เทอร์มิสเตอร์เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเหมือนกับอาร์ทีดี แต่เทอร์มิสเตอร์ใช้คาร์บอนและสารกึ่งตัวนำพวกออกไซด์ของโลหะเช่น นิเกิล โคบอลท์ แมงกานีส เหล็ก ทองแดง เยอรมันเนียม แมกนีเซียม และไททาเนียม โดยปกติทำจาก ออกไซด์ของแมงกานีสกับทองแดง และออกไซด์ของนิเกิลกับทองแดง ที่ให้สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสูงเช่น เทอร์มิสเตอร์บางตัวอาจเปลี่ยนค่าความต้านทาน 156 โอห์ม เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปเพียง 1°C

เทอร์มิสเตอร์มี 2 แบบคือ

1. แบบ Negative Temperature Coefficeint (NTC) ใช้ในการวัดอุณหภูมิ

$$R \propto 1/T$$

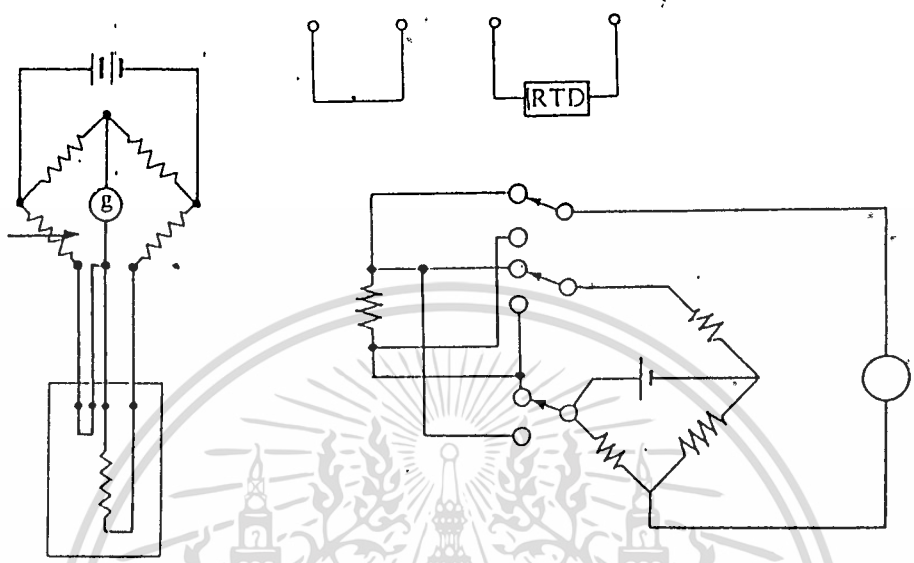
2. แบบ Positive Temperature Coefficeint (PTC)

$$R \propto T$$

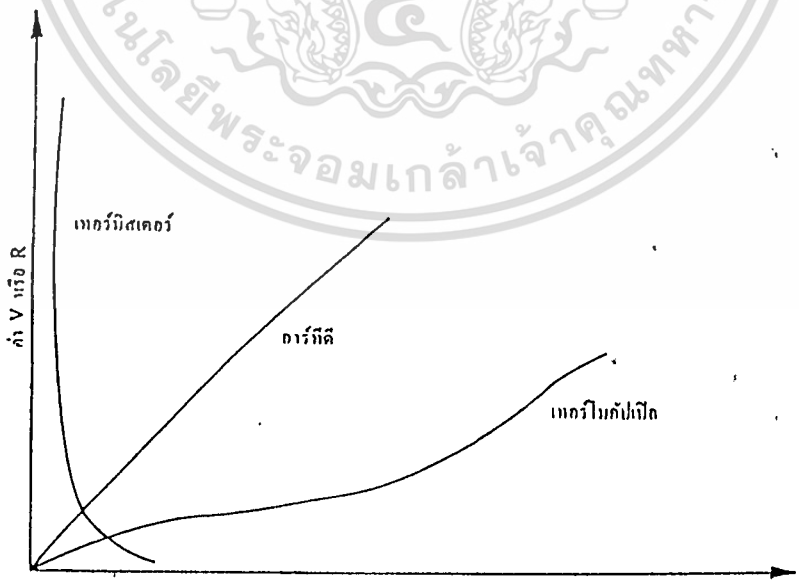
เนื่องจากเซมิคอนดัคเตอร์ทั่วไปทนอุณหภูมิไม่สูงนักจึงทำให้เทอร์มิสเตอร์มีขีดจำกัดในการวัดอุณหภูมิ (ไม่เกิน 150°C) เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC การเปลี่ยนค่าความต้านทานจะกลับแบบอาร์ทีดี คือ จะลดค่าความต้านทานลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งเป็นคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ การที่เทอร์มิสเตอร์มีสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสูง ทำให้ช่วงการวัดอุณหภูมิแคบ โดยทั่วไปจะใช้วัดอยู่ในย่านต่ำกว่า 100°C แต่ก็มีบางแบบที่ใช้วัดได้ถึง 450°C โดยเฉพาะใน

ย่านอุณหภูมิต่ำๆ เทอร์มิสเตอร์ก็สามารถใช้งานได้ดีเช่น ในย่านอุณหภูมิต่ำกว่า 100°C ข้อสำคัญ คือ เทอร์มิสเตอร์มีความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานต่ออุณหภูมิ ไม่เป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 2.9 ทำให้ต้องเลือกการใช้งานในบางช่วงที่ความสัมพันธ์อันนี้ค่อนข้างเป็นเส้นตรง จึงทำให้เส้นโค้งมาตรฐานของเทอร์มิสเตอร์ ไม่มีมาตรฐานเหมือน อาร์ทีดี หรือเทอร์โมคัปเปิล ต้องใช้ตามคู่มือที่ทางบริษัทให้มากับเทอร์มิสเตอร์ตัวนั้นและต้องสอบเทียบค่าเป็นวงจรอีเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ให้ทำงานได้ถูกต้องตลอด แม้ว่าอุณหภูมิบรรยากาศจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ในวงจรข้างอิง สำหรับเทอร์โมคัปเปิล แบบอีเล็กทรอนิกส์ก็ใช้เทอร์มิสเตอร์เป็นตัวชดเชยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 วงจรต่อใช้งานของอาร์ทีดีแบบสี่สาย (สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ์, 2539)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น การลอกเลียนแบบไม่ว่าส่วนใดส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดของเอกสารนี้ เพื่อการค้า หรือการนำไปใช้

รูปที่ 2.9 คุณสมบัติของเทอร์มิสเตอร์เปรียบเทียบกับอาร์ทีดี และเทอร์โมคัปเปิล (สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ์, 2539)

บทที่ 3
ระบบควบคุมพื้นฐาน

3.1 บทนำ

คำจำกัดความสั้นๆ ของคำว่า **การควบคุม** คือการกระทำใดๆ เพื่อให้เกิดสภาวะทางฟิสิกส์อาจแสดงได้เป็นเพียงสถานะ หรืออาจแสดงเป็นจำนวนตัวเลข

3.1.1 องค์ประกอบสำคัญของการควบคุม

โดยทั่วๆ ไปแล้ว องค์ประกอบหลักในการควบคุมจะประกอบด้ย

1. กระบวนการ หมายถึง วิธีการทางฟิสิกส์ที่เราต้องควบคุมให้มีสภาวะตามต้องการ ขณะที่สภาวะการทำงาน หรือ และ สภาพแวดล้อมอาจจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ตัวแปรทางฟิสิกส์ ซึ่งแสดงสภาวะทางฟิสิกส์ของกระบวนการ เราเรียกว่า ตัวแปรกระบวนการ เราสามารถเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการได้ โดยการปรับค่า ตัวแปรปรับกระบวนการ นอกจากนี้ ค่าตัวแปรกระบวนการจะเปลี่ยนแปลงไป ถ้าเกิดสิ่งรบกวนกระบวนการ ซึ่งหมายถึง การเปลี่ยนแปลงของสภาวะการทำงานและสภาพแวดล้อมของกระบวนการ เราสามารถจำแนกสิ่งรบกวนกระบวนการได้เป็น 2 ประเภท คือ การเปลี่ยนแปลงของพลังงานหรือวัตถุขาเข้า และการเปลี่ยนแปลงพลังงาน หรือวัตถุขาออก
2. อุปกรณ์วัด เป็นอุปกรณ์ที่ให้สัญญาณขาออกซึ่งมีขนาดสัมพันธ์ กับขนาดตัวแปรทางฟิสิกส์ของสิ่งที่เราต้องการวัด โดยทั่วไปแล้วเราต้องการให้ความสัมพันธ์ดังกล่าว เป็นสมการเชิงเส้น
3. อุปกรณ์ควบคุม หมายถึง สิ่งที่ทำหน้าที่ออกคำสั่ง หรือกำเนิดสัญญาณควบคุม ตามกฎเกณฑ์การควบคุม ที่ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้า คำสั่งหรือสัญญาณควบคุมนี้ อาจจะเป็นฟังก์ชันกับเวลา หรือฟังก์ชันกับสัญญาณขาเข้าที่ได้รับจากอุปกรณ์วัด
4. อุปกรณ์ปรับกระบวนการ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปรับสภาวะของกระบวนการด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรปรับกระบวนการ ตามคำสั่ง หรือสัญญาณควบคุมที่ได้รับ เช่น เซอร์โววาล์ว

ในการควบคุมส่วนใหญ่คำสั่งหรือสัญญาณควบคุมจะมีขนาดหรือพลังงานน้อยๆ ส่วนตัวแปรปรับกระบวนการจะมีขนาดหรือพลังงานมาก ปัจจุบันเทคโนโลยีโดยเฉพาะทางด้าน

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กทรอนิกส์ได้รับการพัฒนาอย่างมากมาย ทำให้เครื่องควบคุมอัตโนมัติมีประสิทธิภาพในการใช้งานสูงกว่ามนุษย์มาก

3.1.2 ชนิดการควบคุมอัตโนมัติ

กฎเกณฑ์การจำแนกชนิดของการควบคุมอัตโนมัติมีหลายกฎเกณฑ์ อาจจะแบ่งตามลักษณะงาน หรือแบ่งตามลักษณะสมบัติของค่าเป้าหมาย จึงเป็นการยากที่จะกล่าวว่าการควบคุมอัตโนมัติมีกี่ชนิด

3.2 ชนิดการควบคุมตามหลักปรัชญาพื้นฐานของการออกแบบ

ในการควบคุมกระบวนการเป้าหมายคือ การรักษาค่าตัวแปรกระบวนการให้ใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการหรือค่าเป้าหมาย ซึ่งอาจจะมีค่าคงที่หรือเปลี่ยนแปลงขณะที่ระบบควบคุมกำลังทำงานตัวแปรกระบวนการอาจจะมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากค่าเป้าหมาย ถ้าสภาวะการทำงานหรือสภาพแวดล้อมเกิดเปลี่ยนแปลงไป การกำจัดความคลาดเคลื่อนทำได้โดยการปรับค่าตัวแปรกระบวนการ หลักการพื้นฐานในการปรับค่าตัวแปรปรับกระบวนการสองประเภทคือ หลักการป้อนกลับและหลักการป้อนล่วงหน้า ดังนั้นชนิดของการควบคุมจึงแบ่งได้เป็นสองชนิด ดังนี้

3.2.1 การควบคุมแบบป้อนกลับ

ตัวแปรปรับกระบวนการถูกกำหนดโดยตัวแปรกระบวนการที่เราต้องการควบคุม หลักการสำคัญของการควบคุมแบบนี้ เริ่มจากการวัดค่าตัวแปรกระบวนการ นำไปเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย ระบบจะเริ่มทำงานก็ต่อเมื่อค่าตัวแปรกระบวนการที่วัดได้มีค่าต่างจากค่าเป้าหมาย โดยที่ผลต่างของการเปรียบเทียบ หรือความคลาดเคลื่อน จะถูกนำไปคำนวณหาสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมป้อนกลับไปปรับกระบวนการการทำงานจะกระทำซ้ำๆ จนตัวแปรกระบวนการมีค่าเท่ากับค่าเป้าหมาย การควบคุมแบบป้อนกลับเป็นแบบที่พบบ่อยที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโรงงานอุตสาหกรรม ตัวควบคุมที่ใช้ในการควบคุมเป็นแบบ เปิด-ปิด หรือ พีไอดี

3.2.2 การควบคุมแบบป้อนล่วงหน้า

ตัวแปรปรับกระบวนการไม่ขึ้นอยู่กับตัวแปรกระบวนการแต่จะถูกกำหนดด้วยสิ่งรบกวนกระบวนการ หลักสำคัญของการควบคุมแบบนี้ เริ่มจากการวัดหาค่าสิ่งรบกวนกระบวนการแล้วนำค่าที่วัดได้ไปคำนวณหาสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมป้อนล่วงหน้าไปปรับกระบวนการต้านกับกับสิ่งรบกวน ก่อนที่ตัวแปรกระบวนการจะเปลี่ยนแปลงไป ในการออกแบบระบบควบคุมแบบป้อนล่วงหน้า จำเป็นต้องทราบอย่างชัดเจนว่าตัวแปรปรับกระบวนการสัมพันธ์อย่างไรกับสิ่งรบกวนกระบวนการ ค่าเป้าหมายและค่าสัญญาณวัด โดยปกติมักจะทราบเพียงความสัมพันธ์คร่าวๆ ในทางปฏิบัติระบบควบคุมแบบป้อนล่วงหน้ามักจะใช้งานร่วมกับระบบการควบคุมแบบป้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นระบบควบคุมแบบผสม ตัวควบคุมที่ใช้ระบบควบคุมแบบป้อนล่วงหน้าจะเป็นเครื่องคำนวณพิเศษหรือคอมพิวเตอร์

3.3 ชนิดการควบคุมตามความซับซ้อนของระบบ

3.3.1 การควบคุมแบบง่าย

หมายถึงระบบควบคุมที่ประกอบด้วยตัวควบคุมตัวเดียวควบคุมกระบวนการเพียงกระบวนการเดียว สัญญาณวัด สัญญาณควบคุม ตัวแปรปรับกระบวนการ และตัวแปรกระบวนการเพียงอย่างละหนึ่งตัว ลักษณะแบบนี้จะเป็นการควบคุมแบบ วงเดียว หลักการควบคุมที่ใช้จะเป็นแบบป้อนกลับ ในการควบคุมจริงๆมักจะเพิ่มอุปกรณ์ประกอบเพื่อเพิ่มความสะดวกและปลอดภัยในการทำงาน โดยทั่วไปในงานควบคุมทางอุตสาหกรรม ค่าเป้าหมายของระบบควบคุมแบบป้อนกลับมักจะมีค่าคงที่ แต่ในงานบางประเภทค่าเป้าหมายจะไม่คงที่ เช่น ค่าเป้าหมายเปลี่ยนตามโปรแกรมที่ตั้งไว้ และค่าเป้าหมายขึ้นอยู่กับปริมาณที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

3.3.2 การควบคุมเชิงซ้อน

หมายถึงระบบควบคุมที่ต้องใช้ตัวควบคุมมากกว่าหนึ่งตัว หรืออุปกรณ์วัดมากกว่าหนึ่งตัว หรืออุปกรณ์ปรับกระบวนการมากกว่าหนึ่งตัว ทำงานประสานกันเพื่อควบคุมกระบวนการเพียงกระบวนการเดียวหรือหลายกระบวนการ โดยปกติเราจะเรียกการควบคุมแบบนี้ว่า การควบคุมแบบผสม กรณีที่เป็นการควบคุมแบบกระบวนการเดียว เราจะใช้การควบคุมแบบซับซ้อนก็ต่อเมื่อการควบคุมแบบง่ายๆ แบบวงเดียวให้ผลไม่เป็นที่พอใจ กรณีที่เป็นการควบคุมหลายกระบวนการ เราจะใช้การควบคุมแบบซับซ้อนก็ต่อเมื่อต้องการควบคุมความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของแต่ละกระบวนการ รูปแบบของการควบคุมแบบซับซ้อนแบ่งได้ดังนี้

3.3.2.1 การควบคุมแบบวงอันดับ

เราจะใช้การควบคุมแบบนี้เมื่อเราต้องการผลการควบคุมที่ดีกว่าการควบคุมแบบวงเดียวในการควบคุมแบบง่ายๆ ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณขาออกกับสัญญาณขาเข้าของอุปกรณ์ปรับกระบวนการ อาจเปลี่ยนแปลงได้เมื่อเกิดสิ่งรบกวน การควบคุมแบบวงอันดับประกอบด้วยวงการควบคุมสองวง คือวงควบคุมหลัก ทำหน้าที่เหมือนกับการควบคุมแบบง่ายๆ ส่วนวงการควบคุมรอง จะเป็นส่วนที่เราเพิ่มเติมขึ้นเพื่อปรับปรุงการทำงานของอุปกรณ์ปรับกระบวนการ ให้ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออกคงที่ แม้ว่าจะเกิดสิ่งรบกวน ตัวควบคุมที่ใช้ในวงทั้งสองจะเป็นแบบพีไอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

338034

3.3.2.2 การควบคุมแบบป้อนล่วงหน้าและป้อนกลับ

การควบคุมแบบนี้เราจะใช้ได้ก็ต่อเมื่อการควบคุมแบบง่ายๆ ใช้ไม่ได้ผล หรือเมื่อเราต้องการคุณภาพการควบคุมที่ดีมากๆ หลักการควบคุมแบบ ป้อนล่วงหน้า เป็นการกำจัดผลของสิ่งรบกวนกระบวนการ ก่อนที่ตัวแปรกระบวนการจะเปลี่ยนแปลง ในการออกแบบระบบควบคุมแบบป้อนล่วงหน้า เราต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกระบวนการกับสัญญาณควบคุม ค่าเป้าหมาย และสิ่งรบกวน อย่างชัดเจน แต่ในความเป็นจริงเรามักจะทราบแต่ความสัมพันธ์คร่าวๆ เท่านั้น ทางปฏิบัติเราจึงต้องเพิ่ม การควบคุมแบบป้อนกลับ เพื่อทำหน้าที่หาค่าเป้าหมายที่เหมาะสมสำหรับ การควบคุมแบบป้อนล่วงหน้า ตัวควบคุมที่ใช้จะเป็นแบบพีไอดี และ การป้อนล่วงหน้าด้วยคอมพิวเตอร์

3.3.2.3 การควบคุมแบบสัดส่วนการไหล

ใช้การควบคุมแบบนี้ก็ต่อเมื่อต้องการควบคุมอัตราส่วนของปริมาณวัตถุป้อนหลายๆ ชนิดให้มีค่าคงที่ตลอดเวลา ในทางปฏิบัติเรามักจะกำหนดวัตถุป้อนชนิดหนึ่งเป็นวัตถุป้อนหลัก อัตราการไหลของวัตถุป้อนหลักอาจจะไม่ถูกควบคุม หรืออาจจะถูกควบคุมก็ได้ แล้วแต่ชนิดของงาน ส่วนอัตราไหลของวัตถุป้อนอื่นๆ ที่เหลือทุกตัวจะถูกควบคุมให้มีอัตราไหลเป็นอัตราส่วนที่แน่นอน กับอัตราไหลของวัตถุป้อนหลักตลอดเวลา

3.3.2.4 การควบคุมแบบเลือกสัญญาณ

เป็นการควบคุมเพื่อกำจัดไม่ให้ค่าตัวแปรกระบวนการมีค่าเกินกว่า หรือต่ำกว่า ค่าที่กำหนดไว้เพื่อความปลอดภัยของอุปกรณ์ ลักษณะเฉพาะของการควบคุมแบบนี้ คือ การใช้สวิตช์เลือกค่าสูงสุด หรือ สวิตช์เลือกค่าต่ำสุด

3.3.2.5 การควบคุมแบบแบ่งช่วงสัญญาณ

การควบคุมแบบนี้จะใช้ก็ต่อเมื่อ เราจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ปรับกระบวนการ หลายตัวทำหน้าที่ประสานกันในการปรับกระบวนการเพียงกระบวนการเดียว ลักษณะพิเศษของการควบคุมแบบนี้ คือ ในระบบควบคุมจะมีอุปกรณ์วัดตัวเดียว สัญญาณวัดเดียว และอุปกรณ์ปรับกระบวนการหลายตัว ส่วนตัวควบคุมอาจจะมีหลายตัว หรือตัวเดียวก็ได้

3.3.2.6 การควบคุมแบบอะแดบทีฟ

การควบคุมแบบนี้ จะใช้ต่อเมื่อลักษณะสมบัติของกระบวนการ รวมทั้งอุปกรณ์ปรับกระบวนการและอุปกรณ์วัด เป็นแบบไม่เชิงเส้นมากๆ หรือเปลี่ยนแปลงตามเวลา การใช้ระบบควบคุมที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดมาควบคุมกรณีนี้ได้ลำบาก ระบบควบคุมแบบนี้ เป็นระบบที่สามารถปรับค่าตัวแปรของตัวควบคุมได้เองโดยอัตโนมัติ เพื่อให้การควบคุมเหมาะสมเสมอ แม้ลักษณะสมบัติของกระบวนการจะเปลี่ยนแปลงไป ส่วนสำคัญของการควบคุมจะประกอบด้วย ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุม ทำหน้าที่คอยควบคุมระบบ และส่วนคำนวณและปรับตั้งตัวแปร ทำหน้าที่คำนวณหาตัวแปรที่เหมาะสมส่งไปปรับตั้งตัวควบคุม การทำงานแบ่งได้เป็นสองช่วงคือ ช่วงแรกเป็นการคำนวณหาและปรับตั้งตัวแปรของตัวควบคุม ช่วงนี้สัญญาณควบคุมจะมีค่าคงที่ และช่วงที่สองตัวควบคุมจะทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการ สัญญาณควบคุมอาจเปลี่ยนแปลงตามความเหมาะสม

3.3.2.7 การควบคุมแบบค่าเหมาะสม

เป็นการควบคุมที่มีเป้าหมายที่วัตถุประสงค์หลักของการผลิต คือ กำไรที่ได้จากการขายผลิตผล การควบคุมแบบนี้เราต้องทราบว่า อะไร เป็นตัวกำหนดกำไร และ สิ่งนั้นสัมพันธ์กับปริมาณที่จะวัดได้ในกระบวนการอย่างไร การทำงานของการควบคุมแบบนี้จะเริ่มจากการคำนวณหาค่าที่เหมาะสมในการผลิตด้วยคอมพิวเตอร์ การคำนวณนี้จะอาศัยข้อมูลและหลักการทางเศรษฐศาสตร์ แล้วค่าที่เหมาะสมที่คำนวณได้จะถูกส่งไปเป็นเป้าหมายของระบบย่อยต่างๆ ในโรงงาน

3.4 การควบคุมชนิดอื่นๆ

ชนิดของการควบคุมต่อไปนี้จะเป็นการควบคุมแบบที่เราไม่สามารถจัดแบ่งได้ตามข้อ 2 และ 3 ได้

3.4.1 การควบคุมแบบลำดับ

หมายถึง การควบคุมการทำงานที่ประกอบด้วยหลายๆ ขั้นตอนย่อย ให้ลำดับก่อนหลังของแต่ละขั้นตอนย่อย เป็นไปตามที่เรากำหนด ช่วงเวลาทำงานของแต่ละขั้นตอนย่อย ให้ลำดับก่อนหลังของแต่ละขั้นตอนย่อยเป็นไปตามที่เรากำหนด ช่วงเวลาทำงานของแต่ละขั้นตอนย่อยอาจถูกกำหนดแน่นอน หรืออาจเปลี่ยนแปลงตามสถานะการณ์ สถานะการณ์ดังกล่าวทราบได้โดย อาศัยอุปกรณ์วัดที่ให้สัญญาณออกแค่สองสถานะ คือ เปิด หรือปิด ตัวควบคุมสำหรับการควบคุมแบบนี้ แรกเริ่มเดิมทีเป็นวงจรที่ประกอบด้วยรีเลย์ ในยุคปัจจุบันได้มีการนำเอา ระบบควบคุมโดยไมโครคอมพิวเตอร์ มาทำงานทดแทน

3.4.2 การควบคุมแบบคอมพิวเตอร์

หมายถึง การควบคุมที่ใช้คอมพิวเตอร์แบบดิจิตอล ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม การควบคุมแบบนี้มีข้อดีที่ ความแม่นยำ ความสามารถทำการคำนวณที่ซับซ้อน ความสะดวกในการดัดแปลงโครงสร้างของระบบควบคุม ความสามารถในการจัดการ และจัดเก็บข้อมูลจำนวนมากๆ ยุคก่อนที่เราจะนำเอาคอมพิวเตอร์มาใช้ในงานควบคุม การควบคุมทางอุตสาหกรรมมักถูกจำกัดให้ใช้การควบคุมแบบป้อนกลับง่ายๆ การนำเอาคอมพิวเตอร์มาใช้งานในยุคปัจจุบันทำให้เราสามารถทำการควบคุมแบบซับซ้อนได้สะดวกยิ่งขึ้น จนอาจกล่าวได้ว่า การนำเอาคอมพิวเตอร์มาใช้งาน เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกก้าวหนึ่งในการพัฒนาระบบควบคุมทางอุตสาหกรรม ลักษณะการนำคอมพิวเตอร์มาใช้งานพอจะแบ่งได้เป็นสองประเภท ดังนี้

3.4.2.1 คอมพิวเตอร์ในการควบคุมแบบต่อเนื่อง

หมายถึงการควบคุมแบบต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วในข้อ 2 และ 3 แรกเริ่มคอมพิวเตอร์มักจะถูกใช้งานเป็นตัวช่วยการทำงานของพนักงาน หรือเป็นตัวกำหนดค่าเป้าหมายให้ตัวควบคุมแบบอนาลอก ต่อมา ได้มีการใช้คอมพิวเตอร์ทำงานแทนตัวควบคุมอนาล็อก โดยที่คอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่ควบคุมวงการควบคุมโดยตรง

3.4.2.2 คอมพิวเตอร์ใช้ในการควบคุมแบบลำดับ

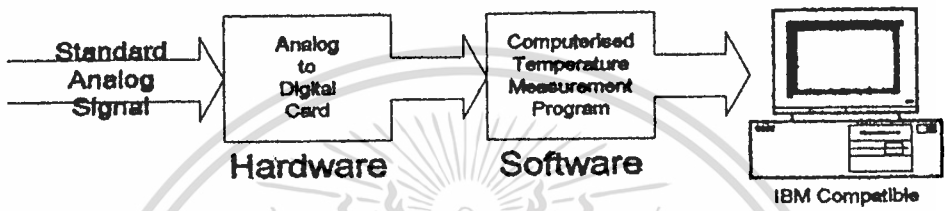
ในยุคต้นๆ การควบคุมแบบวงอันดับใช้วงจรรีเลย์ เป็นตัวควบคุม ต่อมาได้มีการนำเอาคอมพิวเตอร์มาทำงานวงจรรีเลย์ คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานควบคุมแบบนี้มักจะเป็นการควบคุมขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
หลักการทำงานโครงงาน

4.1 หลักการทำงานพื้นฐาน

สามารถเขียนสรุปหลักการได้เป็นบล็อคไดอะแกรมคร่าวๆ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 หลักการทำงานพื้นฐาน

จากบล็อคไดอะแกรมสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ฮาร์ดแวร์ และซอฟแวร์ โดยฮาร์ดแวร์คือการ์ดที่จะสามารถแปลงค่าสัญญาณจากอนาลอกไปเป็นสัญญาณแบบดิจิตอลและติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ได้ โดยค่าที่แปลงได้จากอนาลอกเป็นดิจิตอลจะได้ข้อมูลเป็นค่าแอมปลิจูดในเชิงเวลา หลังจากนั้นคอมพิวเตอร์จะนำค่าแอมปลิจูดที่ได้ไปเปลี่ยนให้มีค่าที่กำหนดไว้และนำค่าที่ได้ไปแสดงผลที่จอของคอมพิวเตอร์ โดยในบทนี้จะอธิบายส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟแวร์ โดยซอฟแวร์จะเป็นขั้นตอนการทำงาน

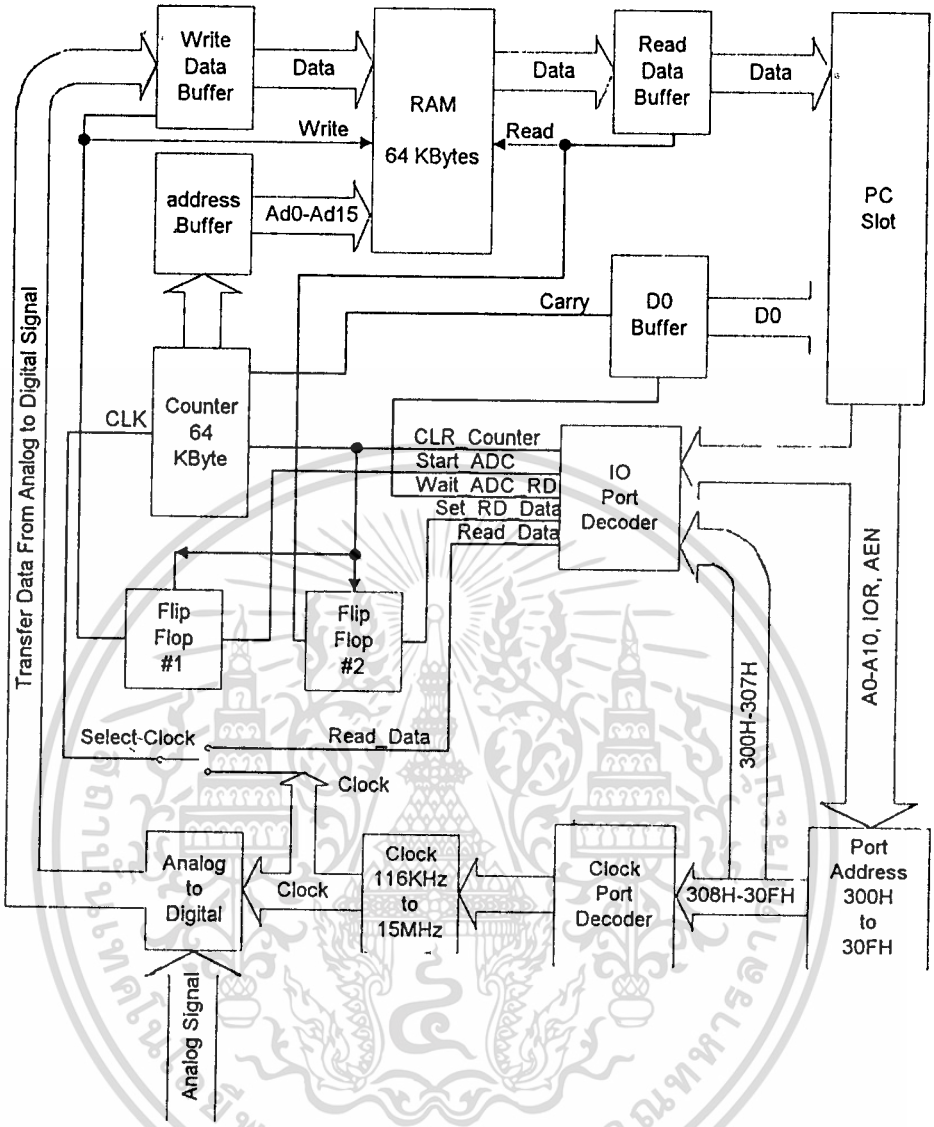
4.2 หลักการทำงานของการ์ด

จากบล็อคไดอะแกรมของฮาร์ดแวร์ในรูปที่ 4.1 มาทำการแยกเป็นบล็อคเพื่อจะได้รู้การทำงานของส่วนต่าง ๆ อธิบายได้เป็นบล็อคไดอะแกรมดังรูปที่ 4.2 จากบล็อคไดอะแกรมหลักการทำงานของวงจร พอที่จะอธิบายหน้าที่การทำงานของแต่ละบล็อคได้คร่าวๆดังนี้โดยเริ่มจาก

4.2.1 สล๊อตคอมพิวเตอร์(PC Slot)

โดยทั่วไปสล๊อตของคอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับการ์ด ส่วนใหญ่คอมพิวเตอร์จะมีพอร์ท(Port) ว่างอยู่ช่วงหนึ่ง ใช้พอร์ทที่ว่างอยู่นี้นำมาถอดรหัส เพื่อให้ควบคุมการทำงานของส่วนต่างๆของการ์ดได้ ในที่นี้ใช้พอร์ทหมายเลข 0300H-030FH ในการถอดรหัสค่าต่างๆ โดยใช้แอดเดรส A0-A10 ของคอมพิวเตอร์เป็นตำแหน่งในการควบคุมพอร์ทโดยใช้ร่วมกับขา IOR และ AEN ของคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 บล็อคไดอะแกรมหลักการทำงานของวงจรเอดีซี (J. Raffell, 1991)

4.2.2 การอ้างตำแหน่งพอร์ท(Port Address)

พอร์ทแอดเดรสตำแหน่ง 0300H-030FH จะถูกแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆคือ พอร์ทแอดเดรสตำแหน่ง 0300H-0307H และ พอร์ทแอดเดรสตำแหน่ง 0308H-030FH โดย พอร์ทแอดเดรสตำแหน่ง 0300H-0307H ใช้ในการอ่านข้อมูลและเขียนข้อมูลเพื่อควบคุมการทำงานต่างๆ และพอร์ทแอดเดรสตำแหน่ง 0308H-030FH จะใช้ในการเลือกสัญญาณคล็อกโดยสามารถเลือกสัญญาณคล็อกได้ทั้งหมด 8 พอร์ทแอดเดรสด้วยกัน

4.2.3 พอร์ทเลือกความถี่ของสัญญาณคล็อก(Clock Port Decoder)

ทำหน้าที่เลือกความถี่ของสัญญาณคล็อกเพื่อป้อนให้กับเอดี ซีและตัวนับโดยเลือกได้ทั้งหมด 8 ความถี่โดยจะใช้พอร์ทแอดเดรสตำแหน่ง 0308H-030FH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 อินพุท/เอาท์พุท พอร์ท (I/O Port Decoder)

เป็นพอร์ทที่ใช้ควบคุมการติดต่อระหว่างฮาร์ดแวร์กับคอมพิวเตอร์ โดยอินพุท/เอาท์พุทพอร์ท จะสร้างเอาท์พุทมา 8 เส้น แต่จะเลือกใช้เพียง 5 เส้นเท่านั้นโดยมีสัญญาณจากขาต่าง ๆ ดังนี้

4.2.4.1. เคลียร์ตัวนับ(CLR_Counter)

จะเป็นตัวเคลียร์ส่วนของตัวนับ(Counter) เพื่อให้เริ่มนับที่ตำแหน่งแอดเดรส 0000H-FFFFH และเคลียร์ ฟลิบ-ฟลอบ(Flip-Flop) ทั้ง 2 ตัว ให้มีสภาวะเป็นศูนย์

4.2.4.2 เลือกการเขียนข้อมูล(Start_ADC)

ทำหน้าที่เปิดบัฟเฟอร์การเขียนข้อมูลที่บล็อคของตัวป้องกันการเขียนข้อมูล(Write Data Buffer) และทำหน้าที่เขียนข้อมูลที่แปลงได้จากเอดีซี ไปเก็บไว้ในหน่วยความจำให้เต็ม 64 กิโลไบต์

4.2.4.3 รอการเขียนข้อมูล(Wait_ADC_RD)

ทำหน้าที่รอการเขียนข้อมูลจากเอดีซี ว่ามีการเขียนข้อมูลเต็มหน่วยความจำหรือยังโดยใช้ร่วมกับตัวนับ โดยถ้าตัวนับทำการนับจนถึง 64 กิโลไบต์ แล้วตัวนับจะส่งแคร์รี่ออกมาเป็นสัญญาณคล็อก 1 ลูก เพื่อบอกให้คอมพิวเตอร์รู้ว่ามีการเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำเต็ม 64 กิโลไบต์ โดยจะส่งสัญญาณเส้นนี้มาตลอดเวลาเพื่อคอยตรวจสอบว่ามีการเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำเต็มหรือยัง เมื่อข้อมูลเต็ม 64 กิโลไบต์แล้วคอมพิวเตอร์จะหยุดส่งสัญญาณเส้นนี้ทันที

4.2.4.4 เลือกการอ่านข้อมูล(Set_RD_Data)

เป็นตัวเลือกการอ่านข้อมูลโดยอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำเพื่อนำไปเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์และเป็นตัวเปิดเกทให้กับตัวป้องกันการอ่านข้อมูล(Read Data Buffer) โดยจะส่งสัญญาณคล็อกมาแค่ลูกเดียว

4.2.4.5 การอ่านข้อมูล(Read_Data)

ทำหน้าที่เป็นสัญญาณคล็อกให้กับตัวนับเพื่ออ้างตำแหน่งแอดเดรสในการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของการ์ดไปเก็บไว้ในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์

4.2.5 ตัวผลิตสัญญาณคล็อก(Clock_Generator)

เป็นตัวกำเนิดสัญญาณคล็อกโดยจะได้ความถี่ของสัญญาณคล็อกจากออสซิเลเตอร์ ซึ่งผลิตความถี่ 30 เม็กกะเฮิรตซ์ โดยผ่านวงจรนับ 8 บิท จะได้สัญญาณคล็อกจำนวน 8 ความถี่คือ ความถี่สูงสุดของสัญญาณคล็อกประมาณ 15 เม็กกะเฮิรตซ์ และค่อยๆหาร 2 ไปเรื่อยๆจนได้ความถี่ที่ต่ำสุดประมาณ 117 กิโลเฮิรตซ์ สาเหตุที่ต้องมีการเลือกสัญญาณคล็อกหลายความถี่เพราะว่าถ้าสัญญาณอินพุทที่มีความถี่ต่ำๆจะไม่สามารถแปลงข้อมูลจากอนาลอกเป็นดิจิตอลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครบ 1 คาบ เพราะมีหน่วยความจำในการเก็บข้อมูลจำกัด (ประมาณ 64 กิโลไบต์) โดยข้อมูลที่ได้อาจจะยังไม่ครบ 1 คาบ หน่วยความจำอาจจะเต็มแล้ว เราจึงต้องมีการเลือกสัญญาณคล็อกเพื่อใช้ในการสุ่มค่าอินพุทและสัญญาณคล็อกที่ได้ก็จะนำไปเป็นสัญญาณคล็อกให้กับตัวนับเพื่อใช้ในการอ้างตำแหน่งแอดเดรสด้วย

4.2.6 อุปกรณ์แปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล(Analog to Digital Converter ; ADC)

เอดีซีจะมีหน้าที่แปลงสัญญาณจากอนาลอกไปเป็นดิจิตอลโดยส่งข้อมูลที่แปลงได้ไปเก็บไว้ที่หน่วยความจำ โดยจะมีการแปลงค่าตลอดเวลา

4.2.7 ตัวป้องกันการเขียนข้อมูล(Write Data Buffer)

ตัวป้องกันการเขียนข้อมูลทำหน้าที่เป็นตัวกันชนระหว่างเอดีซีกับหน่วยความจำ โดยมี ฟลิบ-ฟลอบ 1 เป็นตัวเปิดเกทให้กับตัวป้องกันการเขียนข้อมูลเพื่อเป็นการถ่ายเทข้อมูลจากเอดีซีไปสู่หน่วยความจำ

4.2.8 ตัวเลือกสัญญาณคล็อก(Select Clock)

ตัวเลือกสัญญาณคล็อกจะเป็นตัวเลือกสัญญาณคล็อกระหว่างสัญญาณคล็อกของตัวผลิตสัญญาณคล็อกกับสัญญาณคล็อกของข้อมูลจากอินพุท/เอาท์พุท พอร์ท

4.2.9 ฟลิบ-ฟลอบ 1 (Flip-Flop 1)

ฟลิบ-ฟลอบ 1 ทำหน้าที่เป็นตัวจำสภาวะให้กับสัญญาณการเขียนข้อมูลซึ่งมาจากอินพุท/เอาท์พุท พอร์ทและทำหน้าที่เปิดเกทของตัวป้องกันการเขียนข้อมูลเพื่อให้ข้อมูลจากเอดีซีผ่านไปสู่หน่วยความจำและเป็นสัญญาณการเขียนข้อมูลให้กับหน่วยความจำ

4.2.10 ฟลิบ-ฟลอบ 2 (Flip-Flop 2)

ฟลิบ-ฟลอบ 2 ทำหน้าที่เป็นตัวจำสภาวะให้กับสัญญาณการอ่านข้อมูล ซึ่งมาจากอินพุท/เอาท์พุท พอร์ทและทำหน้าที่เปิดเกทของตัวป้องกันการอ่านข้อมูลเพื่ออ่านข้อมูลจากหน่วยความจำไปเก็บไว้ที่คอมพิวเตอร์โดยผ่านทางสล็อตของคอมพิวเตอร์

4.2.11 ตัวนับ(Counter)

ตัวนับจะทำหน้าที่เป็นตัวนับเพื่ออ้างตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำทั้งการอ่านข้อมูลและการเขียนข้อมูล

เริ่มต้นต้องทำการเลือกสัญญาณคล็อกเพื่อใช้ในการสุ่มข้อมูลให้เหมาะสมกับสัญญาณอินพุทโดยจะใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวเลือกความถี่ของสัญญาณคล็อกจะถอดรหัสได้ทั้งหมด 8 พอร์ท โดยจะใช้ขาต่าง ๆ ของคอมพิวเตอร์เป็นตัวถอดรหัสโดยมีขาที่นำมาถอดรหัสดังนี้คือ ขาแอดเดรส A0-A10 , สัญญาณ IOR และ AEN และจะได้สัญญาณคล็อกในความถี่ต่าง ๆ ตามตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 หมายเลขพอร์ทที่ใช้เลือกความถี่สัญญาณคล็อก

หมายเลขพอร์ท	ความถี่
0308H	15 MHz
0309H	7.5 MHz
030AH	3.75 MHz
030BH	1.875 MHz
030CH	937.5 KHz
030DH	468.75 KHz
030EH	234.375 KHz
030FH	117.1875 KHz

ต้องเลือกความถี่ของสัญญาณคล็อกมา 1 ค่า เพื่อใช้เป็นสัญญาณคล็อกของตัวนับ และเป็นสัญญาณคล็อกให้กับการสุ่มข้อมูลของเอดีซี และคอมพิวเตอร์จะอ้างตำแหน่งพอร์ทที่ใช้ควบคุมการเขียนและอ่านข้อมูลได้อีก 8 พอร์ท แต่เราจะใช้เพียง 5 พอร์ท ซึ่งอยู่ในส่วนของอินพุท/เอาท์พุท พอร์ท ดังนี้

ตารางที่ 4.2 หมายเลขพอร์ทที่ใช้เลือกสัญญาณควบคุม

หมายเลขพอร์ท	สัญญาณ
0300H	เคลียร์ตัวนับ
0301H	เขียนข้อมูล
0302H	รอการเขียนข้อมูล
0303H	เลือกการอ่านข้อมูล
0304H	อ่านข้อมูล

หลักการทำงานเริ่มจากเมื่อคอมพิวเตอร์ได้ความถี่ของสัญญาณคล็อก 1 ค่า แล้วคอมพิวเตอร์ก็จะส่งสัญญาณเคลียร์ตัวนับมาที่พอร์ทแอดเดรส 0300H เพื่อทำการเคลียร์ตัวนับเพื่อให้มีค่าเริ่มต้นที่แอดเดรส "0000H" และให้ฟลิบ-ฟลอบทั้ง 2 ตัวมีสภาวะเป็น "1" จึงไม่มีการเปิดเกทการอ่านข้อมูลและเขียนข้อมูลของหน่วยความจำ

จากนั้นคอมพิวเตอร์ก็จะส่งสัญญาณการเขียนข้อมูลออกมาที่พอร์ทแอดเดรส 0301H เพื่อไป ทริก ฟลิบ-ฟลอบ 1 ทำให้ ฟลิบ-ฟลอบ 1 เปลี่ยนสถานะจาก "1" ไปเป็น "0" เพื่อไปเปิดเกทให้ตัวป้องกันการเขียนข้อมูล ทำให้มีข้อมูลจากเอดีซี ซึ่งแปลงจากอนาลอกไปเป็นดิจิตอลผ่านไปสู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำ ขณะเดียวกันก็จะเปิดสัญญาณการเขียนข้อมูลของหน่วยความจำด้วยแต่ต้องรอตัวนับเริ่มนับเสียก่อน

ในขณะเดียวกันตัวเลือกสัญญาณคล็อกจะถูกเลือกมาที่สัญญาณคล็อกทำให้มีสัญญาณคล็อกลูกแรกผ่านเข้ามาที่ตัวนับทำให้ตัวนับเริ่มนับที่ตำแหน่งแอดเดรส "0001H" เพื่ออ้างตำแหน่งแอดเดรสในการเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำข้อมูลที่แปลงจากเอทูดีในตำแหน่งแรกก็ถูกเขียนลงหน่วยความจำและคอมพิวเตอร์ก็จะส่งสัญญาณรอการเขียนข้อมูลมาที่พอร์ทแอดเดรส "0032H" เพื่อเช็คดูว่าขา D0 ของคอมพิวเตอร์เป็น "1" หรือยัง ถ้ายังก็ให้ตัวนับทำการนับต่อไป

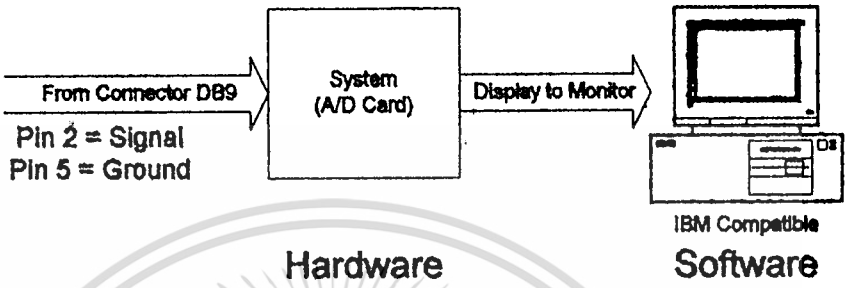
เมื่อสัญญาณคล็อกลูกที่ 2 เข้ามาตัวนับก็จะเพิ่มค่าอีก 1 ค่าเพื่ออ้างตำแหน่งแอดเดรส 0002H และข้อมูลที่แปลงจาก เอดีซี ในตำแหน่งที่ 2 ก็จะถูกเขียนลงไปอีกค่าหนึ่งตามการสุ่มของสัญญาณคล็อก และคอมพิวเตอร์ก็จะส่งสัญญาณรอการเขียนข้อมูลมาที่พอร์ทแอดเดรส "0032H" เพื่อตรวจดูว่าขา D0 ของคอมพิวเตอร์เป็น "1" หรือยัง ถ้ายังก็ให้ตัวนับทำการนับต่อไป

จนกระทั่งสัญญาณคล็อกลูกที่ 64 กิโลไบต์เข้ามาทำให้ตัวนับ นับไปจนถึงตำแหน่งที่ 64 กิโลไบต์ และมีการเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำเต็ม 64 กิโลไบต์แล้ว ตัวนับก็จะหยุดนับโดยอัตโนมัติ เพื่อกันมิให้มีการเขียนข้อมูลเกิน 64 กิโลไบต์เพราะมันจะไปทับกับข้อมูลเดิมที่มีอยู่แล้ว เมื่อตัวนับนับค่ามาจนถึงตำแหน่งที่ 64 กิโลไบต์ แล้วจะทำการหยุดตัวเองพร้อมกับส่งสัญญาณมา 1 ลูก ขณะเดียวกันคอมพิวเตอร์ก็จะส่งสัญญาณรอการเขียนข้อมูลมาที่พอร์ทแอดเดรส "0032H" เพื่อเช็คดูว่าขา D0 ของคอมพิวเตอร์เป็น "1" หรือยัง และเนื่องจากมีการส่งสัญญาณมา 1 ลูก ทำให้ขา D0 ของ คอมพิวเตอร์มีค่า "1" ทำให้คอมพิวเตอร์รู้ว่าขณะนี้ได้เขียนข้อมูลลงหน่วยความจำเต็ม 64 กิโลไบต์แล้วเมื่อคอมพิวเตอร์รู้ว่าหน่วยความจำเต็ม 64 กิโลไบต์แล้วคอมพิวเตอร์ก็จะส่งสัญญาณเคลียร์ตัวนับออกมาที่พอร์ทแอดเดรส "0300H" เพื่อเคลียร์ฟลิบ-ฟลอบทั้ง 2 ตัว และเคลียร์ตัวนับด้วย

จากนั้นคอมพิวเตอร์ก็จะเริ่มส่งสัญญาณเลือกการอ่านข้อมูลมาที่พอร์ทแอดเดรส "0303H" เพื่อเลือกการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำไปสู่คอมพิวเตอร์ เมื่อส่งสัญญาณการอ่านข้อมูลมาทำให้ ฟลิบ-ฟลอบ 2 เปิดเกทมีสัญญาณ "0" ไปที่ขา Wait_ADC_RD ของหน่วยความจำและเปิดเกทของตัวป้องกันการอ่านข้อมูล และ คอมพิวเตอร์ก็จะส่งสัญญาณการอ่านข้อมูลมาที่พอร์ทแอดเดรส "0304H" ขณะเดียวกันตัวเลือกสัญญาณคล็อกก็จะไปปิดขาการอ่านข้อมูลเพื่อให้สัญญาณการอ่านข้อมูลเป็นสัญญาณคล็อกให้กับตัวนับ เมื่อส่งสัญญาณการอ่านข้อมูลมา 1 ครั้ง ตัวนับก็จะนับ 1 ครั้ง ทำให้แอดเดรสเลื่อนไป 1 ตำแหน่ง เพื่ออ่านข้อมูลจากหน่วยความจำไปสู่คอมพิวเตอร์ 1 ค่า จากนั้นคอมพิวเตอร์ก็จะส่งสัญญาณการอ่านข้อมูลมาอีก 1 ครั้งทำให้ตัวนับเพิ่มไปอีก 1 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และข้อมูลในตำแหน่งที่ 2 ก็จะถูกอ่านไปสู่คอมพิวเตอร์ และมีการส่งสัญญาณการอ่านข้อมูลมาตลอดทำให้มีการอ่านข้อมูลมาเก็บไว้ที่หน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ รูปที่ 4.3 ซึ่งเป็นการ์ดเพื่อใช้ติดต่อกับคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.3 การ์ดเอดีซี

จากรูปที่ 4.3 จะอธิบายส่วนของการ์ดเอดีซี ซึ่งเป็นฮาร์ดแวร์ทั้งหมดดังต่อไปนี้

4.3 ระบบการ์ดเอดีซี

จากรูปจะเห็นได้ว่ามีการ์ดอยู่ 1 การ์ดโดยมีสัญญาณอินพุทต่อมาที่ตัวเชื่อมและจะส่งสัญญาณผ่านมาให้การ์ดโดยการ์ดจะเป็นตัวแปลงข้อมูลอนาลอกเป็นดิจิตอลจากนั้นก็จะได้ส่งข้อมูลที่แปลงได้ไปให้คอมพิวเตอร์ต่อไปโดยในการ์ดจะแบ่งเป็น 5 ส่วนใหญ่ ๆ ดังรูปที่ 4.4

จากรูปที่ 4.4 มีทั้งหมด 5 บล็อคคือ เอทูดี(Analog to Digital) หน่วยความจำ(Memory) วงจรผลิตสัญญาณคล็อก(Clock Generator) วงจรถอดรหัส(Decoder) วงจรนับ(Counter) จะอธิบายทีละบล็อคได้ดังนี้คือ

4.3.1 เอทูดี(Analog to Digital)

ในส่วนของบล็อคนี้จะทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณจากอนาลอกไปเป็นดิจิตอลโดยใช้สัญญาณคล็อกของวงจรผลิตสัญญาณคล็อกเป็นสัญญาณคล็อกในการสุ่มข้อมูลและข้อมูลที่ได้จะถูกส่งต่อไปให้บล็อคหน่วยความจำ

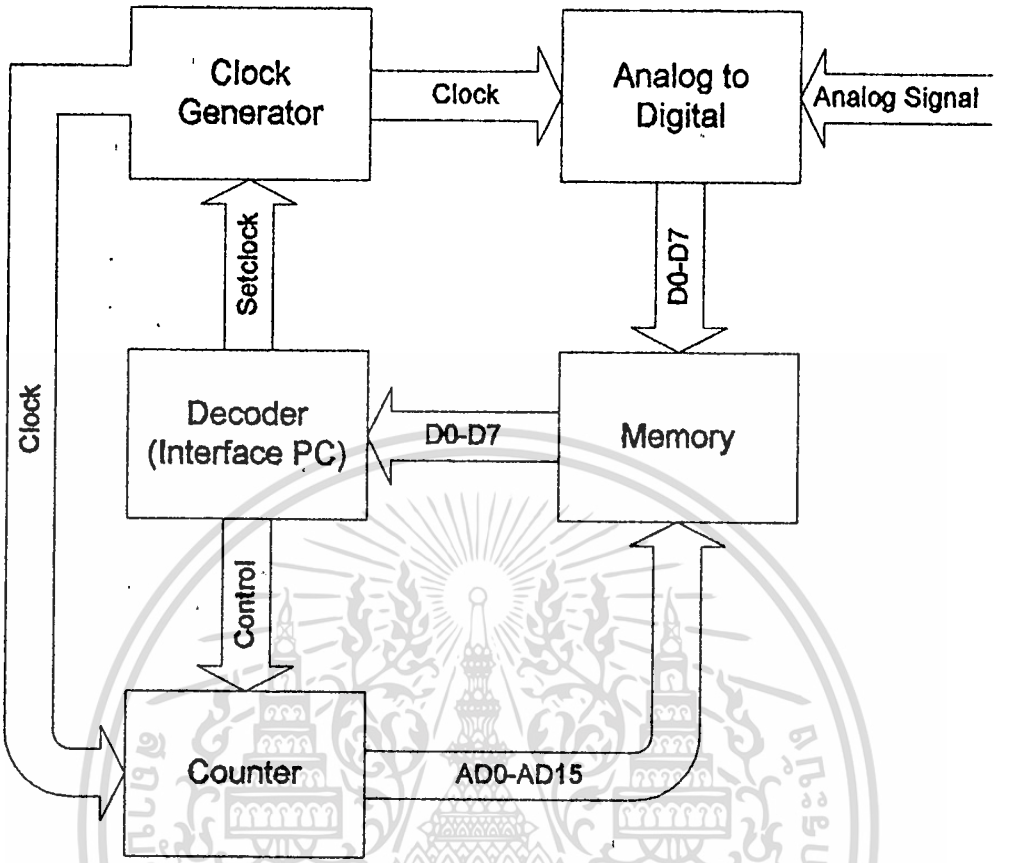
4.3.2 หน่วยความจำ(Memory)

จะทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่แปลงได้จากสัญญาณอนาลอกไปเป็นดิจิตอลโดยจะมีวงจรนับเป็นตัวกำหนดตำแหน่งแอดเดรสในการเก็บข้อมูล

4.3.3 วงจรผลิตสัญญาณคล็อก(Clock Generator)

เป็นตัวกำเนิดสัญญาณคล็อกให้แก่วงจรนับและเอทูดี โดยสัญญาณคล็อกของวงจรผลิตสัญญาณคล็อกนี้จะผลิตสัญญาณคล็อกได้ทั้งหมด 8 ความถี่เพื่อใช้สำหรับเลือกความถี่ในการสุ่มสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การ์ดอนาลอกเป็นดิจิตอล

4.3.4 วงจรถอดรหัส(Decoder)

เป็นตัวถอดรหัสต่างๆเพื่อควบคุมวงจรนับ หน่วยความจำและเลือกความถี่ของวงจรผลิตสัญญาณคล็อก และวงจรถอดรหัสนี้จะใช้ควบคุมการอ่านและเขียนข้อมูลจากหน่วยความจำเพื่อส่งข้อมูลที่ได้ไปให้คอมพิวเตอร์ต่อไป

4.3.5 วงจรนับ(Counter)

ใช้สำหรับการอ้างตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำ โดยการนับแต่ละครั้งจะถูกควบคุมโดยสัญญาณคล็อกของวงจรผลิตสัญญาณคล็อกและวงจรถอดรหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

4.4.1 การเขียนโปรแกรมติดต่อกับการ์ด

โปรแกรมจะติดต่อกับการ์ดผ่านพอร์ตอินพุต/เอ้าพุต มีขั้นตอนดังนี้

1. เริ่มจากการตั้งค่าเคลียร์พอร์ตตัวนับ 300H
2. เลือกสัญญาณคล็อกจากพอร์ต 308H - 30FH ดังตารางที่ 4.1
3. เลือกสัญญาณเขียนข้อมูลจากพอร์ต 301H
4. ตรวจสัญญาณรอการเขียนข้อมูลเข้าหน่วยความจำการ์ดจากพอร์ต 302H มีค่าเท่ากับ 1
5. ตั้งค่าเคลียร์พอร์ตตัวนับ 300H
6. เลือกว่าจะทำการอ่านข้อมูลผ่านพอร์ต 303H
7. วนลูบอ่านข้อมูลจากพอร์ต 304H
8. นำข้อมูลไปใช้งาน

ดังโปรแกรมภาษาปาสคาลทดสอบอ่านค่าแล้วเก็บลงแฟ้มข้อมูลดังนี้

```
1) Program TestPort;
2) Const        P1 : Word = $300;
3) Var F : File Of Byte;
4)    I  : Word;
5)    B : Byte;
6)    S : String;
7) Begin
8)    If Paramcount > 0 then
9)       S:=Paramstr(Paramcount)
10)   Else
11)      S:='temp.txt';
12)   Assign(F,S); { เปิดแฟ้ม }
13)   Rewrite(F);
14)   I:=Port[P1];  {clear counter}
15)   I:=Port[P1+8]; {set clock}
16)   I:=Port[P1+1]; {start adc}
17)   While (1 and Port[P1+2]) = 0 do { ตรวจว่าเขียนข้อมูลเสร็จแล้วถ้ายังวนลูปรอ }
18)   Begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
19)     If Keypressed Then
20)     Begin
21)     Readkey;
22)     Write('wait');
23)     End;
24)  End;
25)  I:=Port[P1]; { cleat counter }
26)  I:=Port[P1+3]; { set read data }
27)  For I:=0 To 65535 do { วนลูปอ่านค่า 64 KB }
28)  Begin
29)    B:=Port[P1+4];
30)    Write(F,B); { เขียนข้อมูลลงแฟ้ม }
31)  End;
32)  Close(F); { ปิดแฟ้ม }
33) End.
```

4.4.2 การแปลงข้อมูลเป็นค่าใช้งาน

เนื่องจากค่าข้อมูลที่รับเข้ามามีค่า 8 บิตแต่ค่าที่ใช้แสดงผลบนกราฟเส้นเป็นค่าอื่นๆ เช่น ค่าสัญญาณมาตรฐาน 4-20 มิลลิแอมป์ ค่าช่วงอุณหภูมิ 0-1000 องศา ค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ 0 - 100% เป็นต้นจึงต้องทำการแปลงตามสมการดังนี้

Y = Slope x (X - X1) +Y1

Slope = (Y2-Y1) / (X2 - X1)

เมื่อ

X คือ ค่าข้อมูล 8 บิตที่รับเข้ามา

X1,X2 คือ ค่าขอบเขตข้อมูลที่มีค่ามากสุดและน้อยสุด

Y คือ ค่าที่ต้องการแสดงผล

Y1,Y2 คือ ค่าขอบเขตที่ต้องการแสดงผลที่มีค่ามากที่สุดและน้อยสุด

เนื่องจากค่าข้อมูล 8 บิตจะแปลงตามค่าความต่างศักย์ของการ์ด 0 - 6 โวลท์และสัญญาณเข้ามาเป็นมิลลิแอมป์จึงต้องใส่ตัวความต้านทานคร่อมสายสัญญาณเข้าการ์ด โดยค่าความต้านทานมีผลต่อช่วงขอบเขตข้อมูล ถ้าค่าความต้านทานมากจะมีค่าความกว้างช่วงมากแต่มีขอบเขต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำกัดคือ อยู่ในช่วงไม่เกิน 0 - 6 โวลท์ ทำให้ค่าข้อมูลอยู่ระหว่าง 0 - 255 ในเลขฐาน 10 หรือมีค่า 0000 0000 - 1111 1111 ในเลขฐาน 2 ดังโปรแกรมย่อยดังนี้

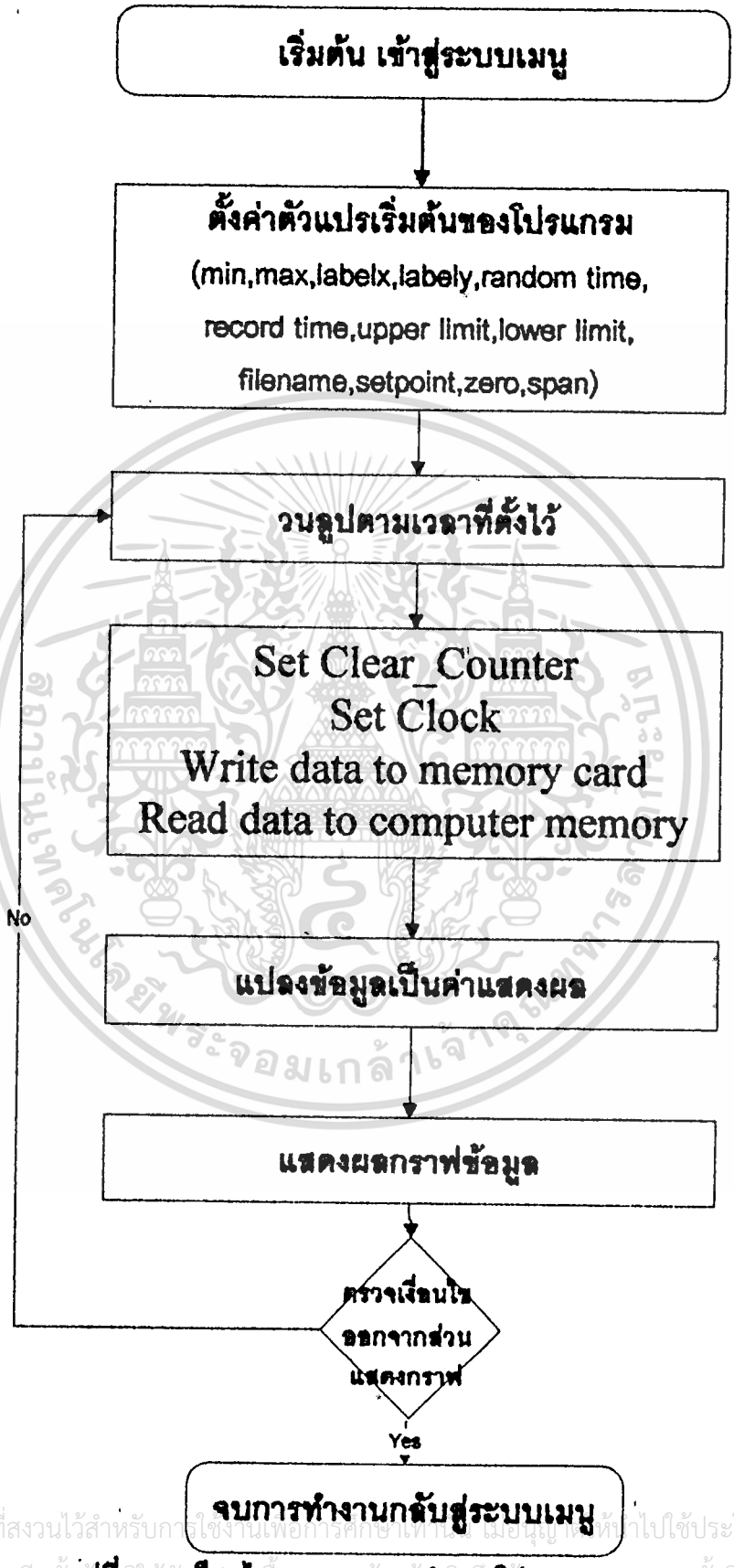
```
X2:=255;
X1:=0;
Y2:=1000;
Y1:=0;

Function Convert(I : Real):Real;
Var Slope : Real;
Begin
        Slope:=(Y2-Y1)/(X2-X1);
        Convert:=Slope*(I - X1)+Y1;
End;
```

4.5 บล็อคไดอะแกรมแสดงการทำงาน

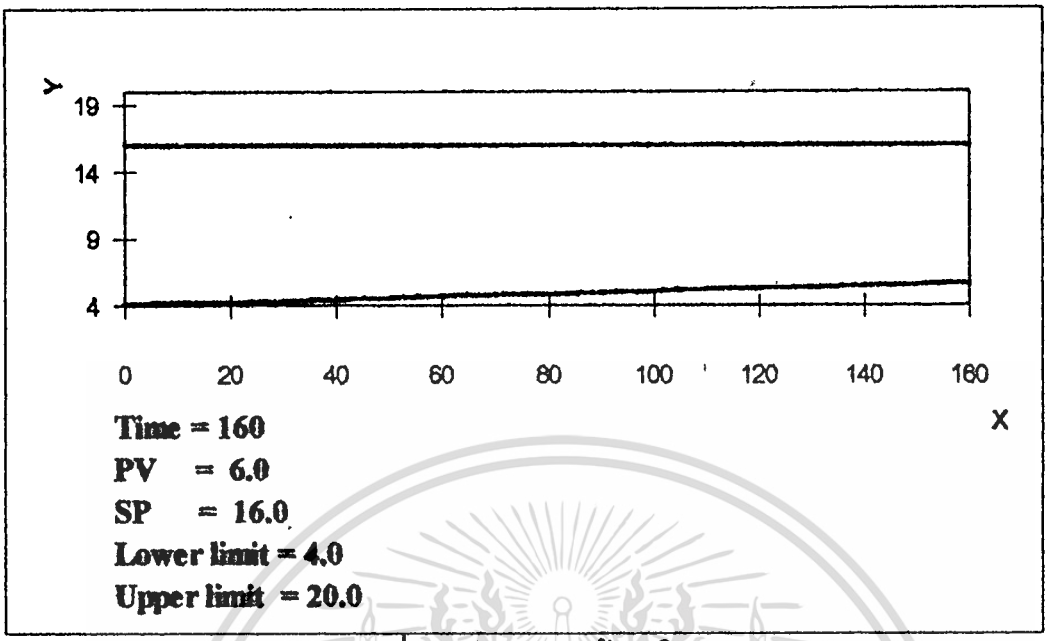
บล็อคไดอะแกรมสามารถแสดงได้ดังรูป 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 บล็อคไดอะแกรมการทำงานโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างหน้าจอโปรแกรม

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างการตั้งค่าต่าง ๆจากระบบเมนูของซอฟแวร์ คือ

ตัวแปร	min	max	time	SP	label X	label Y	upper	lower
ค่าที่ตั้ง	4	20	100	16	X	Y	20	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การทดลอง

5.1 การทดลองการทำงานของฮาร์ดแวร์

เพื่อทดสอบการทำงานและคุณสมบัติของฮาร์ดแวร์

อุปกรณ์

1. การ์ดเอดีซี	1 การ์ด
2. เครื่องคอมพิวเตอร์ ส่วนบุคคล	1 เครื่อง
3. ตัวเชื่อมการ์ดกับสายสัญญาณ	1 ตัว
4. ตัวความต้านทานขนาด 100 และ 150 โอห์ม	1 ตัว
5. เครื่อง Process interface 38-200	1 เครื่อง

วิธีการทดลอง

1. ติดตั้งการ์ดเอดีซีบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเพื่อเป็นอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

2. ใช้แหล่งจ่ายกระแสมาตรฐานเชิงอุตสาหกรรม (4-20 มิลลิแอมป์)ในเครื่อง Process interface เป็นแหล่งจ่ายกระแสจำลองการทำงานของอุปกรณ์รับรู้

5.1.1 การอ่านข้อมูล

เป็นการทดลองดูการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่อ่านจากการ์ด โดยทดลองเป็นขั้นตอนดังนี้

วิธีการทดลองโดยไม่มีอินพุทจากภายนอกการ์ด

1. สายสัญญาณรับข้อมูลจากการ์ดปล่อยว่างไว้ (ความต้านทานอินฟินิตี้)
2. เรียกใช้โปรแกรม TestPort; จากบทที่ 4
3. อ่านข้อมูลจากแฟ้ม Temp.txt อ่านค่าความถี่ของข้อมูลที่ซ้ำกัน เก็บข้อมูลและวิเคราะห์
4. ต่อสายสัญญาณรับข้อมูลจากการ์ดเข้าด้วยกัน (ไม่มีความต้านทาน)
5. ทำซ้ำข้อ 3. - 4.
6. ต่อสายสัญญาณรับข้อมูลผ่านการ์ดผ่านตัวความทาน 100 โอห์ม 150 โอห์ม 250 โอห์ม ตามลำดับ
8. ทำซ้ำข้อ 3. - 4.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

1. กรณีความต้านอินพีนิตี้ ข้อมูลที่อ่านได้มีค่า 255 ทุกค่า 64 KB

2. กรณีไม่มีความต้านทาน ข้อมูลที่อ่านได้มีค่า 127 และ 255 ในอัตราส่วน 1 : 1000

3. กรณีมีความต้านทานข้อมูลที่อ่านได้มีค่าระหว่าง 128 - 130 ทุกค่าความต้านทาน

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองข้อ 1 - 2 สรุปว่าข้อมูลจากการแปลงสัญญาณมีค่าอยู่ระหว่าง 127 - 255 จากผลการทดลองข้อ 3 สรุปว่ากระแสไฟฟ้าในคอมพิวเตอร์มีผลต่อข้อมูลที่อ่านได้

วิธีทดลองโดยมีอินพุตจากภายนอกการ์ด

1. ต่อสายสัญญาณรับข้อมูลผ่านการ์ดผ่านตัวความทาน 100 โอห์ม 150 โอห์ม 250 โอห์ม ตามลำดับ

2. ต่อสายสัญญาณรับข้อมูลเข้ากับเครื่อง Process interface ส่วน current source (4-20 มิลลิแอมป์) โดยสายสัญญาณรับข้อมูลขาที่ 2 เข้ากับขั้วบวกและสายสัญญาณรับข้อมูลขาที่ 5 เข้ากับขั้วลบ

3. เรียกโปรแกรม TestPort; โดยให้วนลูปอ่านค่าจากการ์ดและแสดงผลที่หน้าจอ โดยการแก้ไขโปรแกรมตามบรรทัดเป็นดังนี้

13) Rewrite(F); Repeat

30) Write(F,B); Write(B:3,Chr(B));

31) End; Until Keypressed;

4. อ่านค่าข้อมูลที่กระแสต่างๆ บันทึกค่าสูงสุดและต่ำสุดของแต่ละความต้านทาน

ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองค่ากระแสสูงสุดและต่ำสุดที่ความต้านทานต่าง ๆ

	ข้อมูลค่าต่ำสุด	ข้อมูลค่าสูงสุด
1. ค่าความต้านทาน 100 โอห์ม	137-138	185-186
2. ค่าความต้านทาน 150 โอห์ม	137-138	216
3. ค่าความต้านทาน 250 โอห์ม	136	233

สรุปผลการทดลอง

ถ้าเพิ่มความต้านทานจะเป็นการเพิ่มช่วงของข้อมูลที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ มาตรฐานความต้านทานควรใช้ที่ 250 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณหาความไวในการเปลี่ยนแปลง

ที่ความต้านทาน 250 โอห์ม

ความไว = (233 - 136) / (20 - 4) = 6.0625 : 1 มิลลิแอมป์

ที่ความต้านทาน 150 โอห์ม

ความไว = 4.90 : 1 มิลลิแอมป์

ที่ความต้านทาน 100 โอห์ม

ความไว = 3 : 1 มิลลิแอมป์

5.2 การทดลองซอฟแวร์

เพื่อทดสอบการใช้ทำงานของซอฟแวร์ร่วมกับฮาร์ดแวร์

อุปกรณ์

1. การ์ดเอดีซี 1 การ์ด
2. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล 1 เครื่อง
3. ตัวเชื่อมการ์ดกับสายสัญญาณ 1 ตัว
4. ตัวความต้านทานขนาด 100 และ 150 โอห์ม 1 ตัว
5. เครื่อง Process interface 38-200 1 เครื่อง

วิธีการทดลอง

1. ติดตั้งการ์ดเอดีซีบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเพื่อเป็นอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

2. ใช้แหล่งจ่ายกระแสมาตรฐานเชิงอุตสาหกรรม (4-20 มิลลิแอมป์)ในเครื่อง Process interface เป็นแหล่งจ่ายกระแสจำลองการทำงานของอุปกรณ์รับรู้

5.2.1 ทดสอบการแสดงผล

วิธีทดลองโดยมีอินพุตจากภายนอกการ์ด

1. ต่อสายสัญญาณรับข้อมูลผ่านการ์ดผ่านตัวความทาน 100 โอห์ม 150 โอห์ม 250 โอห์ม ตามลำดับ
2. ต่อแหล่งจ่ายกระแส 4 - 20 มิลลิแอมป์
3. เรียกโปรแกรม Project
4. ตั้งค่าต่างๆจากระบบเมนูของซอฟแวร์ ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 การตั้งค่าโปรแกรม

ตัวแปร	min	max	time	SP	label X	label Y	upper	lower
ค่าที่ตั้ง	4	20	100	16	100 ms	mA	19	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ตั้ง zero และ span ของซอฟแวร์โดยเริ่มต้นแสดงผลปรับค่าปุ่ม current source ไปที่ 4 มิลลิแอมป์ แล้วกดปุ่ม '[' บนแป้นพิมพ์ และปรับไปที่ 20 มิลลิแอมป์ แล้วกดปุ่ม ']' เพื่อตั้งค่า zero และ span ตามลำดับ

6. อ่านค่าข้อมูลจากกราฟหลังการแปลงข้อมูลดูการเปลี่ยนแปลงของแต่ละความต้านทาน

ผลการทดลอง

ข้อมูลที่อ่านได้จากกราฟที่ความต้านทานต่างๆมีค่าการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงแคบๆเมื่อทำการตั้งค่า zero และ span แล้วกราฟที่ได้มีช่วงกว้างขึ้น

สรุปผลการทดลอง

ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความต้านทาน ถ้าเพิ่มความต้านทานจะทำให้ช่วงขอบเขตข้อมูลกว้างขึ้นแต่มีขอบเขตระหว่าง 127 - 255 ไบต์ข้อมูล ค่าความต้านทานที่ใส่คำนวณจากสมการ

$$V = IR$$

เมื่อ V = ความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลท์) I = กระแสไฟฟ้า (แอมป์) R = ความต้านทาน (โอห์ม)

เพื่อหาค่าความต้านทานได้ใกล้เคียงกับ ค่าสูงสุดที่ 255 เนื่องจากตัวความต้านทานมีค่าความต้านทานบางค่ามาตรฐานจึงใช้ตัวความต้านทานที่ 250 โอห์ม

5.3 การทดลองวัดอุณหภูมิ

อุปกรณ์

1. การ์ดเอดีซี	1 การ์ด
2. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล	1 เครื่อง
3. ตัวเชื่อมการ์ดกับสายสัญญาณ	1 ตัว
4. ตัวความต้านทานขนาด 250 โอห์ม	1 ตัว
5. เครื่อง Process interface 38-200	1 เครื่อง
6. เทอร์มิสเตอร์	1 ตัว
7. เครื่อง Thermistor temperature transmitter 38-441	1 เครื่อง
8. เครื่อง Digital display module	1 เครื่อง
9. บีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร	1 ใบ
10. เครื่อง Hotplate-magnetic stirror	1 เครื่อง

วิธีการทดลอง

1. ต่อสายอุปกรณ์ดังรูปที่ 5.1

2.นำน้ำใส่บีกเกอร์ประมาณ 500 มิลลิลิตร

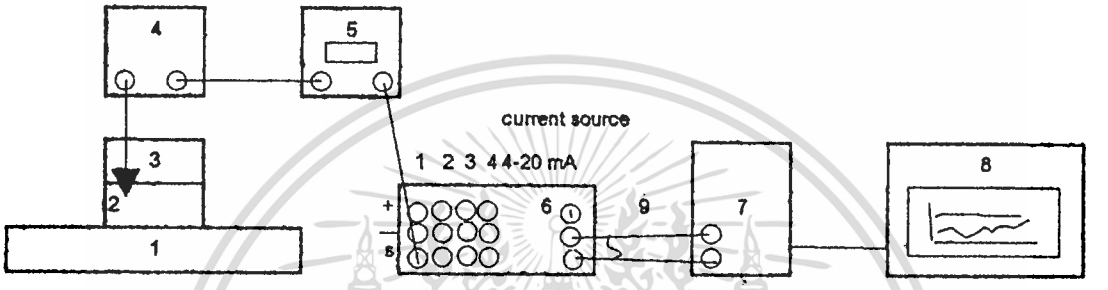
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รวมทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เรียกโปรแกรม Project

4. ตั้งค่าต่างๆจากระบบเมนูของซอฟแวร์ ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 การตั้งค่าโปรแกรม

ตัวแปร	min	max	time	SP	label X	label Y	upper	lower
ค่าที่ตั้ง	4	20	500	16	100 ms	mA	19	8



1. Hotplate-magnetic stirror
2. Thermister
3. ปีกเกอร์
4. Thermistor temperature transmitter 38-441
5. Digital display module 38-490
6. Process interface 38-200
7. การ์ดเอดีซี
8. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
9. ตัวความต้านทาน 250 โอห์ม

รูปที่ 5.1 การต่อสายอุปกรณ์เข้ากับแหล่งจ่ายกระแส

5. ตั้ง zero และ span ของซอฟแวร์โดยเริ่มต้นแสดงผลปรับค่าปุ่ม current source ไปที่ 4 มิลลิแอมป์ แล้วกดปุ่ม '[' บนแป้นพิมพ์ และปรับไปที่ 20 มิลลิแอมป์ แล้วกดปุ่ม ']' เพื่อตั้งค่า zero และ span ตามลำดับ

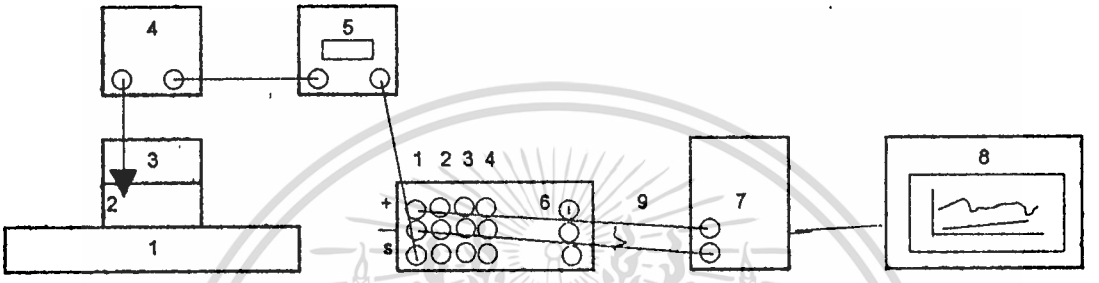
6.เปลี่ยนสายข้อมูลอินพุตจาก current source ต่อกับช่องสัญญาณ process connections 4-20 mA (4 connections) ช่องสัญญาณที่ 1 อ่านค่า PV จากกราฟ และค่ามิลลิแอมป์จาก digital display module มีเท่ากันหรือไม่ถ้าไม่เท่าให้ตั้งค่า span ใหม่โดยกด 'z' ค่า zero ใส่ค่าเดิม ค่า span ใส่ค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงจนกว่าเท่ากันหรือใกล้เคียง(โดยความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเกิดจากไฟเลี้ยงของการ์ดจากเครื่องคอมพิวเตอร์) แล้วบันทึกค่า zero และ span ดังรูปที่ 5.2

7. การตั้งค่า min และ max ให้กราฟเป็นค่าอุณหภูมิ โดยใช้วิธีอ่านค่า 3 จุดโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์อ่านค่าอุณหภูมิและใช้ซอฟแวร์อ่านค่ากระแสมิลลิแอมป์ เพื่อหาค่าอุณหภูมิที่ 4 และ 20 มิลลิแอมป์ ดังตารางที่ 5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. วางบีกเกอร์น้ำบน Hotplate-magnetic stirror แล้วเดินเครื่อง บันทึกค่ากระแสจาก digital display module ค่าอุณหภูมิจากบีกเกอร์และจากกราฟ ทุก 30 วินาทีจนถึง 10 นาที และอ่านค่าทุก 1 นาทีจนอุณหภูมิถึง 80 °C ดังตารางที่ 5.4

9. นำค่าที่ได้มาวาดกราฟระหว่างเวลากับอุณหภูมิและกระแส



1. Hotplate-magnetic stirror
2. Thermister
3. บีกเกอร์
4. Thermistor temperature transmitter 38-441
5. Digital display module 38-490
6. Process interface 38-200
7. การ์ดเอดีซี
8. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
9. ตัวความต้านทาน 250 โอห์ม

รูปที่ 5.2 การต่อสายอุปกรณ์เข้ากับเซนเซอร์

ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.4 ผลจากการตั้งค่าต่าง ๆ

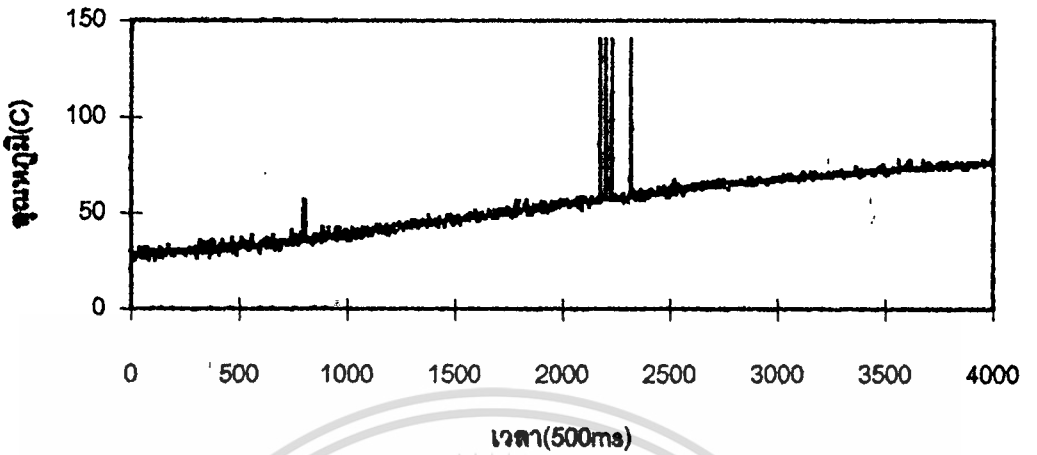
ตัวแปร	ค่าตัวแปร
Zero, Span	(148, 228)
อุณหภูมิและกระแสอ้างอิง	(25.5 °C, 7.8 mA)
อุณหภูมิและกระแสจุดที่ 1	(30 °C, 8.5 mA)
อุณหภูมิและกระแสจุดที่ 2	(27.5 °C, 8.1 mA)
ความชันเฉลี่ย	(6.54 °C/mA)
อุณหภูมิที่ 4 และ 20 mA	(0.648 °C, 105.288 °C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองที่ 5.3 จากการบันทึกผล

เวลา (นาที)	1.Digital display module (mA)	2.Thermometer (°C)	3.Program (°C)	4.Error 2.-3.	5.% 4.*100/2.	6.cal 1.	7.Error 6.-3.	8.% 7.*100/6.
0.00	8.30	28.20	28.12	0.08	0.28	28.77	0.65	2.25
0.50	8.40	29.00	29.42	-0.42	-1.44	29.42	0.00	0.00
1.00	8.50	29.80	29.42	0.38	1.27	30.07	0.65	2.16
1.50	8.60	30.00	29.42	0.58	1.93	30.73	1.31	4.26
2.00	8.65	31.00	30.73	0.27	0.87	31.05	0.32	1.03
2.50	8.80	31.50	32.04	-0.64	-1.71	32.04	0.00	0.00
3.00	8.90	32.50	32.70	-0.20	0.61	32.69	-0.01	-0.03
3.50	9.10	33.50	33.35	0.14	0.41	34.00	0.65	1.91
4.00	9.20	34.50	34.66	-0.16	-0.46	34.65	-0.01	-0.02
4.50	9.40	35.50	35.96	-0.46	-1.29	35.96	0.00	0.00
5.00	9.60	36.50	36.62	-0.12	-0.32	37.27	0.65	1.74
5.50	9.80	37.80	37.93	-0.13	-0.34	38.58	0.65	1.68
6.00	9.90	39.00	39.24	-0.24	-0.61	39.23	-0.01	-0.02
6.50	10.20	40.20	40.55	-0.35	-0.87	41.19	0.64	1.55
7.00	10.30	41.00	41.85	-0.85	-2.07	41.85	0.00	0.00
7.50	10.50	42.20	42.50	-0.30	-0.71	43.15	0.65	1.50
8.00	10.70	43.50	43.16	0.34	0.78	44.46	1.30	2.92
8.50	10.90	44.80	44.47	0.33	0.73	45.77	1.30	2.84
9.00	11.10	46.00	46.43	-0.43	-0.93	47.08	0.65	1.38
9.50	11.30	47.20	47.74	-0.54	-1.14	48.39	0.65	1.34
10.00	11.50	48.50	48.39	0.11	0.22	49.69	1.30	2.60
11.00	11.90	51.00	51.66	-0.66	-1.29	52.31	0.65	1.24
12.00	12.30	53.00	54.26	-1.26	-2.41	54.93	0.65	1.18
13.00	12.60	56.00	56.89	-0.89	-1.58	56.89	0.00	0.00
14.00	13.00	58.00	58.20	-0.20	-0.34	59.50	1.30	2.18
15.00	13.35	60.00	60.82	-0.82	-1.36	61.79	0.97	1.56
16.00	13.65	62.00	62.13	-0.13	-0.20	63.75	1.62	2.54
17.00	14.00	64.00	64.74	-0.74	-1.15	66.04	1.30	1.96
18.00	14.30	66.50	66.71	-0.21	-0.31	68.01	1.30	1.91
19.00	14.50	68.00	68.66	-0.66	-0.97	69.31	0.65	0.93
20.00	14.75	70.00	69.97	0.03	0.04	70.95	0.98	1.38
21.00	15.00	71.50	71.94	-0.44	-0.61	72.58	0.64	0.88
22.00	15.20	73.20	73.25	-0.05	-0.06	73.89	0.64	0.86
23.00	15.40	74.50	74.55	-0.05	-0.06	75.20	0.65	0.86
24.00	15.50	75.50	75.86	-0.36	-0.47	75.85	-0.01	-0.01
25.00	15.70	76.70	77.17	-0.47	-0.61	77.16	-0.01	-0.01
26.00	15.80	77.70	77.82	-0.12	-0.15	77.82	0.00	0.00
27.00	15.90	79.00	79.12	-0.12	-0.15	78.47	-0.65	-0.82
28.00	16.20	80.00	79.78	0.22	0.27	80.43	0.65	0.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 ผลการทดลองจากการทดลองที่ 5.3 จากแฟ้มข้อมูล

จากรูปที่ 5.3 ผลการทดลองที่เก็บบันทึกลงแฟ้มจะพบว่ามีค่าผิดผลาดเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนจากไฟเลี้ยงของการ์ดเอดีซีทำให้สัญญาณที่อ่านได้มีค่ามากกว่าข้อมูลข้างเคียงมาก

สรุปผลการทดลองที่ 5.3

จากรูปที่ 5.4 สรุปผลการทดลองพบว่าค่าเส้นกราฟทั้ง 3 เส้นมีค่าใกล้เคียงกันมากความถูกต้องในการอ่านข้อมูลจากกราฟขึ้นอยู่กับการตั้งค่าเริ่มต้นหาค่า min และ max และค่า zero และ span

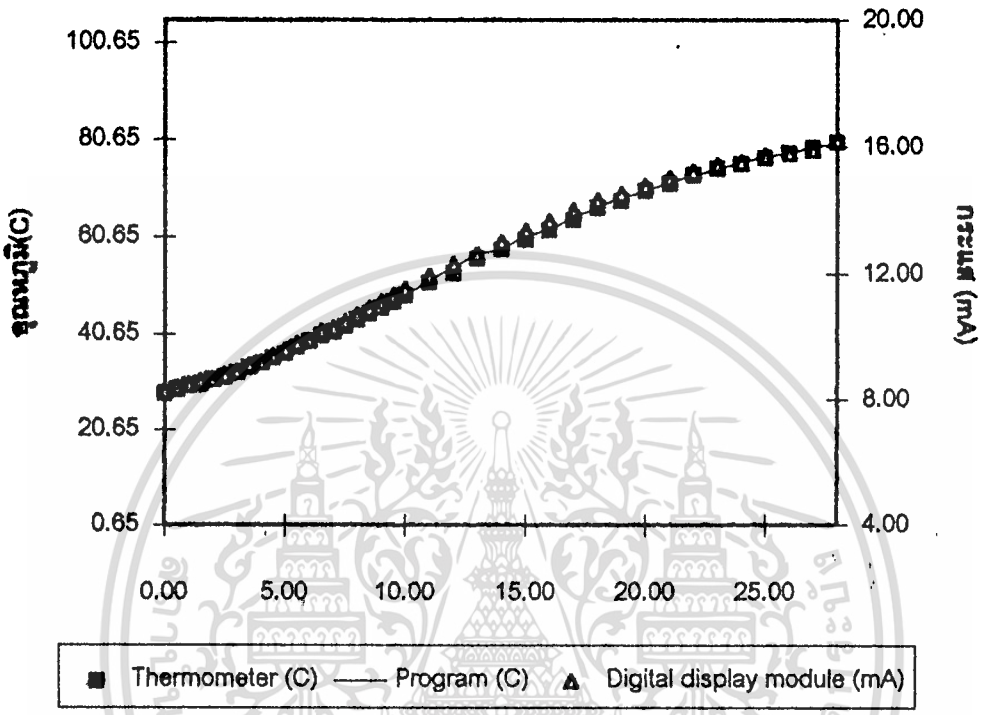
5.4 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองที่ 5.2 พบว่าโปรแกรมสามารถแสดงข้อมูลได้ถูกต้องแม่นยำ สำหรับการทดลองที่ 5.3 พบว่าโปรแกรมแสดงข้อมูลผิดผลาดไป เนื่องจากอุปกรณ์รับรู้ที่ใช้เป็นเทอร์มิสเตอร์ให้แรงดันแปรผันกับอุณหภูมิที่ไม่เป็นเส้นตรงดังนั้นจึงมีค่าคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น

5.5 ข้อเสนอแนะ

โปรแกรมนี้เป็นการรับสัญญาณอนาลอกมาตรฐานจากอุปกรณ์รับรู้และนำมาแสดงผลเป็นเส้นกราฟและบันทึกข้อมูล ในส่วนการทำงานยังขาดส่วนส่งสัญญาณควบคุมตัวแปรปรับกระบวนการโดยต้องใช้วงจรแปลงสัญญาณจากคอมพิวเตอร์เป็นสัญญาณมาตรฐานการวัดและควบคุมในอุตสาหกรรม (4-20 มิลลิแอมป์) ดังนั้นสามารถพัฒนาให้เป็นระบบวัดคุมที่สมบูรณ์ และโปรแกรมนี้สามารถใช้กับตัวแปรทางฟิสิกส์อื่นๆนอกเหนือจากอุณหภูมิได้ เช่น ความดัน อัตราการไหล และอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 เปรียบเทียบผลการทดลองตารางที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

นุกูล กระจาย. การเขียนโปรแกรมกราฟิกส์และเกมคอมพิวเตอร์ด้วยเทอร์โบปาสคาล. ซีเอ็ดยูเคชั่น: กรุงเทพมหานคร, 2536

นุกูล กระจาย. การเขียนโปรแกรมและประมวลผลข้อมูลด้วยเทอร์โบปาสคาล. ซีเอ็ดยูเคชั่น: กรุงเทพมหานคร, 2535

วีรวัฒน์ ปัณฑวังกูร และสราวุฒิ เอ็งอุทัยวัฒน์. การเขียนโปรแกรมใช้งาน EGA/VGA. ซีเอ็ดยูเคชั่น: กรุงเทพมหานคร, 2536

สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ์. หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น): กรุงเทพมหานคร, 2539

สุรศักดิ์ สงวนพงษ์. เทคนิคการเขียนโปรแกรมขั้นสูง แอดวานซ์เทอร์โบปาสคาล version 4.0. ซีเอ็ดยูเคชั่น: กรุงเทพมหานคร, 2535

สุเธียร เกียรติสุนทร. พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุมในกระบวนการอุตสาหกรรม 3. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น): กรุงเทพมหานคร, 2539

J. Raffell. Multi-function measurement card. Elektor Electronics 17, 185, Jan 1991: pp 14-19

Steven Holzner and Peter Norton. แอดวานซ์แอสเซมบลี. แปลโดย กิตติ องค์คุณารักษ์. ซีเอ็ดยูเคชั่น: กรุงเทพมหานคร, 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
วิธีใช้งานฮาร์ดแวร์และซอฟแวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีใช้งานฮาร์ดแวร์

1. ติดตั้งการ์ดลงบน ISA สล็อตบนเมนบอร์ดของเครื่องคอมพิวเตอร์
2. สายสัญญาณรับค่าเป็น -6 ถึง +6 โวลท์ โดยขาสัญญาณที่ 2 เป็นสายบวกและขาสัญญาณที่ 5 เป็นสายลบ มีวงจรป้องกันกันการป้อนแรงดันเกินในช่วง -10 ถึง +10 โวลท์
3. ในกรณีที่ใช้งานเป็นการป้อนกระแสให้ต่อตัวความต้านทานคร่อมระหว่างขาสัญญาณที่ 2 และ 5

วิธีใช้งานซอฟแวร์

1. เรียกใช้งานโปรแกรม Prompt>Project.exe ในกรณีที่ต้องการทดสอบคุณสมบัติของการ์ดตามโปรแกรม Testport ให้เรียกใช้งานโปรแกรม Prompt>Project.exe /d
2. อธิบายคำสั่งบนเมนู

    2.1 File-แฟ้ม ดำเนินการเกี่ยวกับ File/แฟ้ม ข้อมูล

        2.1.1 Open-เปิด เปิดแฟ้มข้อมูล

        2.1.2 Close-ปิด ปิดแฟ้มข้อมูล

        2.1.3 Save-บันทึก บันทึกข้อมูลลงแฟ้ม

        2.1.4 Quit-จบการทำงาน-F10 ออกจากโปรแกรม

    2.2 System-ตั้งค่าระบบ ดำเนินการเกี่ยวกับการตั้งค่าระบบของโปรแกรม

        2.2.1 Zero/Span-ตั้งค่าศูนย์ ตั้งค่า zero-span ของการ์ดให้โปรแกรม

        2.2.2 Compute Y-หาค่าแกนY คำนวณค่า Ymin-Ymax บนกราฟที่ 4-20 mA

        2.2.3 Set point-ค่าเป้าหมาย ตั้งค่าเป้าหมาย

        2.2.4 Time-ตั้งค่าเวลา ตั้งค่าเวลาในการสุ่มข้อมูลและบันทึกข้อมูล

    2.3 Graph-กราฟ ดำเนินการเกี่ยวกับกราฟ

        2.3.1 Start-เริ่มต้น เริ่มต้นแสดงผล

        2.3.2 Label-ตั้งค่าฉลาก ตั้งค่า Label บนแกน X และ Y

        2.3.3 YminYMax-ตั้งค่าแกนY ตั้งค่าช่วงบนแกน Y

        2.3.4 Replay-แสดงซ้ำ แสดงผลซ้ำตามชื่อแฟ้มอีกครั้งหนึ่ง

    2.4 Warn-สัญญาณเตือน ดำเนินการเกี่ยวกับการเตือน

        2.4.1 Limit-ตั้งค่าขอบเขต ตั้งค่าขอบเขตบนและล่าง

        2.4.2 Sound-ตั้งค่าสัญญาณ เลือกสัญญาณเตือน (1-8) สัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 Other-อื่นๆ

2.5.1. About-เกี่ยวกับ ชื่อโปรแกรมและVersion

2.5.2. Eng-ไทย เปลี่ยนภาษาเป็นภาษา English หรือภาษาไทย

2.5.3. Help-ตัวช่วย

3. ขั้นตอนการใช้งาน

3.1 ตั้งค่า Zero/Span โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0-255 โดย Zero มีค่าเท่ากับกระแสที่ 4 mA และ Span มีค่าเท่ากับกระแสที่ 20 mA ถ้าตั้งค่า Zero-Span ไม่ถูกต้องค่ากระแสจะไม่ใช่ที่ 4-20 mA

3.2 ตั้งค่าแกนY เป็นการตั้งค่าขอบเขตแกน Y โดย Ymin เป็นค่า Y ต่ำสุดที่จะแสดงผล และ Ymax เป็นค่า Y สูงสุดที่จะแสดงผล โดยทั่วไปควรตั้งให้เป็นค่าที่สอดคล้องกับ Zero-Span โดย Zero เป็น Ymin และ Span เป็น Ymax เช่น

สมมติ Zero ที่ 4 mA = 136 และ Span ที่ 20 mA = 239

ถ้าต้องการใช้งานแกน Y เป็น %

Ymin ที่ 4 mA = 0 และ Ymax ที่ 20 mA = 100

ถ้าต้องการใช้งานแกน Y เป็น อุณหภูมิองศาเซลเซียส

Ymin ที่ 4 mA = 0.65 และ Ymax ที่ 20 mA = 105.6 เป็นต้น

หมายเหตุ ในการคำนวณหาค่า Ymin-Ymax ถ้าไม่รู้ค่าความสัมพันธ์ของกระแส กับค่าแกน Y ที่ต้องการตั้ง สามารถใช้ compute Y ช่วยในการหาค่า Ymin Ymax โดยต้องรู้ความสัมพันธ์อย่างน้อย 3-5 ค่า เพื่อประมาณความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น เพื่อคำนวณหาค่า Ymin-Ymax เฉลี่ย โดยมีข้อมูลอ้างอิง 1 จุดและข้อมูลประกอบอีก 2-4 จุด

3.3 Set point-ตั้งค่าเป้าหมาย ในกรณีที่มีค่าเป้าหมายให้ตั้งค่าไว้อ้างอิงได้ ควรมีค่าอยู่ระหว่าง Ymin-Ymax

3.4 Limit-ตั้งค่าขอบเขต ในกรณีที่มีขอบเขตข้อมูลที่เป็นอันตราย เช่น ช่วง Y = 0-100% ถ้าข้อมูลที่อ่านได้ อยู่นอกช่วง 20-80 จะเป็นอันตราย ให้ตั้งค่าที่ upper = 75 และที่ lower = 25 เพื่อส่งสัญญาณเตือนว่าข้อมูลจะออกนอกช่วงให้ระวัง โดยสัญญาณเตือนจะเลือกได้ 8 สัญญาณเสียง และสัญญาณจะหยุดเมื่อข้อมูลอยู่ในช่วงที่กำหนด ในกรณีที่ไม่ต้องการใช้ให้ตั้งค่าไว้นอกช่วง Ymin-Ymax

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 Time-ตั้งค่าเวลา การตั้งเวลาในการสุ่ม การสุ่มข้อมูลจะเป็นวงรอบการสุ่มในหน่วย ms การตั้งเวลาในการบันทึกข้อมูล จะเป็นการตั้งค่าว่ามีการสุ่มข้อมูลมากี่รอบแล้วค่อยบันทึก โดยปรกติตั้งไว้ที่ 1 คือบันทึกทุกรอบ

3.6 Start-เริ่มต้น เริ่มการใช้งาน ในกรณีมี mouse ตำแหน่งของ mouse จะบอกค่า X,Y ที่ตำแหน่งนั้นๆ ถ้าไม่ต้องการดูกราฟกดปุ่ม g หรือ t ถ้าต้องการตั้งค่า zero กดปุ่ม [ถ้าต้องการตั้งค่า Span กดปุ่ม] ถ้าต้องการหยุดดูชั่วคราว กดปุ่ม Space bar ถ้าต้องการออกจากส่วนนี้ กดปุ่ม Space bar และ Enter

3.7 ถ้าต้องการดูข้อมูลที่วาดกราฟอีกครั้งเลือก Replay

3.8 ถ้าต้องการบันทึกข้อมูลเลือก Save

3.9 ถ้าต้องการปิดแฟ้มและไม่ออกจากโปรแกรมเลือก Close

3.10 ถ้าต้องการเปิดแฟ้มข้อมูลเก่าเพื่อแสดงซ้ำเลือก Open

3.11 จบการทำงาน

หมายเหตุ ถ้าลืมบันทึกข้อมูลแฟ้มชั่วคราวคือ 'Temp.txt'

คุณสมบัติของโปรแกรม

1. โปรแกรมภาษาปาสคาลสามารถคอมไพล์ด้วย เทอร์โบปาสคาลรุ่น 7.0 หรือ บอร์แลนด์ปาสคาล รุ่น 7.0 โดยสามารถเลือกคอมไพล์ได้ทั้งแบบ real mode และ protect mode ถ้าเลือก protect mode จะสามารถทำงานโดยใช้หน่วยความจำขยายได้และทำงานได้เร็วกว่า real mode
2. แฟ้มที่ใช้ในการเรียกใช้งาน project.exe help.pro normal.fon italic.fon egavgi.bgi
3. การติดตั้งโปรแกรมสามารถติดตั้งบนเครื่องคอมพิวเตอร์ PC 386-SX ขึ้นไป Recommend 486-DX Ram 4 MB ติดตั้งบนฮาร์ดไดร์
4. ถ้าเป็นแบบคอมไพล์ด้วย protect mode ต้องเรียกใช้โปรแกรม Himem.sys ใน config.sys

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
โปรแกรมหลักภาษาปาสคาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{$M 60000,0,300000}
Program Project;
Uses graph,Tfont,Crt,Keyboard,GridT2,Mouse,Point,SaveFile;
Const
  Gray50 : FillPatternType = ($AA, $55, $AA,$55, $AA, $55, $AA,
$55);
  p100  : FillPatternType = ($ff,$ff,$ff,$ff,$aa,$55,$55,$aa);
  CSt   : String[80] =
                                                          ';
  Helpfile = 'Help.Pro';
Type TMenuData = Object
          Min,Max,Setpoint : Real;
          LabelX,LabelY   : String;
          Upper,Lowwer    : Real;
          Time            : Real;
          TimeRec         : LongInt;
          Filename        : String;
          End;
Var  aFont : FontHandle; { Thai Font Driver }
   MenuBar : Array[1..5,1..5] Of String; { Menu Bar String }
   Thai   : Boolean; { Change Menu langauge }
   Quit   : Boolean; { Check Exit Program }
   { Variable in Menu Bar }
   aMData  : TMenuData;
   { Mouse Variable }
   MX,MY   : Word; { Mouse true coordinate }
   SX,SY   : Word; { Mouse Screen 24x71 coordinate }
   MC,MS   : Word; { Mouse Choice and Sub }
   GX,GY   : Real; { Mouse Graph Point }
   T       : Text; { Text File }
var dataf : text;
  g_t   : boolean;
  Rat   : Boolean;
  lines : LongInt;
  CS    : LongInt;
Const { Thai Menu }
   TMenuBar : Array[1..5,1..5] Of String = (
        (' แฟ้ม    ',' ตั้งค่าระบบ ',' กราฟ ',' ลักษณะเดียวกัน ','
อื่นๆ '),
        (' เปิด    ',' ตั้งค่าศูนย์ ',' เริ่มต้น ',' ตั้งค่าขอบเขต ',' เกี่ยว
กับ '),
        (' ปิด    ',' หาค่าแกนY ',' ตั้งค่าลอการิทึม ',' ตั้งค่าลักษณะ
',' ไทย/Eng '),
        (' บันทึก  ',' ค่าเป้าหมาย ',' ตั้งค่าแกนY ',' ',' ตัวช่วย '),
        (' จบการทำงาน ',' ตั้งค่าเวลา ',' แสดงซ้ำ ',' ',' '));
{ English Menu }
EMenuBar : Array[1..5,1..5] Of String = (
        (' File ',' System ',' Graph ',' Warn ',' Other '),
        (' Open  ',' Zero/Span ',' Start  ',' Limit ',' About '),
        (' Close ',' Computs Y ',' Label  ',' Sound ',' Eng/ไทย '),
        (' Save  ',' Set Point ',' YMinMax ','      ',' Help '),
        (' Quit  ',' Time     ',' Replay ','      ','      '));
{ Column Coordinate }
MenuBarPoint : Array[1..5] Of Byte =
          (0,14,28,42,56);
{ Row Coordinate }
MenuSubPoint : Array[1..6] Of Byte =
          (0,2,4,6,8,10);
{ No. submenu in each menu choice }
MenuSub : Array[1..5] Of Byte = (5,5,5,3,4);
z       : Array[1..2] Of Real = (0,255);
Const IndexMax = 10;
Type
  PlotArray = Array[0..1000,1..2] Of Real;
  DataWorld = Object
     WorldX1 ,WorldY1  : Real;
     WorldX2 ,WorldY2  : Real;
     Xmin    ,Ymin     : Real;
     Xmax    ,Ymax     : Real;
     ScaleX  ,ScaleY   : Real;
     X1,X2 : Integer;
     Y1,Y2 : Integer;
     RatioX,RatioY : Real;
     PX,PY         : Byte;
     End;
  DataArray = Array[1..IndexMax] Of DataWorld;
  WorldPtr  = ^WorldHandle;
  WorldHandle =
       Object(PointHandle)
         aData          : DataArray;
         WorldMax       : Byte;
         WinX1  ,WinY1  : Integer;
         WinX2  ,WinY2  : Integer;
         aPlot          : PlotArray;
         Index          : Byte;
         Count          : Integer;
         Constructor Init(InitX,InitY : Integer);
         Destructor Done; Virtual;
         Procedure Diagram( WorldPlot : PlotArray); Virtual;
         Procedure GraphLine( WorldPlot : PlotArray); Virtual;
         Procedure Table( Plot : Real;
                  InitX,InitY  : Integer;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                InitString      : String); Virtual;
      Procedure DefineWin( InitWin : Byte;
                InitWinX1,InitWinY1 : Integer;
                InitWinX2,InitWinY2 : Integer); Virtual;
      Procedure DefineWorld( InitWorld : Byte;
                InitWorldX1,InitWorldY1 : Real;
                InitWorldX2,InitWorldY2 : Real); Virtual;
      Procedure FindWorld( World : Byte;
                WorldPlot : PlotArray;
                F       : Word;
                N       : Word;
                InitScaleX    : Real;
                InitScaleY    : Real); Virtual;
      Procedure DrawAxis( World       : Byte;
                XDensity,YDensity : Integer;
                Left,Top,Right,Bottom : Integer;
                XAxis,YAxis       : Integer;
                Arrow             : Boolean;
                F,N               : Word); Virtual;
      Procedure Polygon( WorldPlot      : PlotArray;
                First,Last        : Integer;
                Code              : Byte;
                Scale             : Integer;
                Lines             : Integer); Virtual;
      Procedure ChooseWorld( InitWorld : Byte); Virtual;
    End;

Function Convert(A : Real):Real;
Var Slope : Real;
Begin
  If Z[1]=Z[2] Then Z[2]:=Z[1]+1;
  Slope:=(aMData.Min-aMData.Max)/(Z[1]-Z[2]);
  Convert:=aMData.Min+((A-Z[1])*Slope);
End;

Function RConvert(A : Real):Real;
Var Slope : Real;
Begin
  Slope:=(Z[1]-Z[2])/(aMData.Min-aMData.Max);
  RConvert:=(A-aMData.Min)*Slope+Z[1];
End;

Constructor WorldHandle.Init(InitX,InitY : Integer);
Begin
  PointHandle.Init(InitX,InitY);
  aFont.Init;
  aFont.ReadFont;
  WorldMax:=0;
End;

Destructor WorldHandle.Done;
Begin
  PointHandle.Done;
End;

Procedure WorldHandle.Diagram( WorldPlot : PlotArray);
Begin
End;

Procedure WorldHandle.GraphLine( WorldPlot : PlotArray);
Begin
End;

Procedure WorldHandle.Table( Plot : Real;
                InitX,InitY : Integer;
                InitString      : String);
Begin
  aFont.SetFontStyle(Horizondir,false,2,thickspace);
  aFont.OutTheXY(InitX,InitY,InitString+RealToStr(Plot,2));
  aFont.SetFontStyle(Horizondir,false,1,thinspace);
End;

Procedure WorldHandle.DefineWin( InitWin : Byte;
                InitWinX1,InitWinY1 : Integer;
                InitWinX2,InitWinY2 : Integer);
Begin
  Index:=InitWin;
  WinX1:=InitWinX1;
  WinX2:=InitWinX2;
  WinY1:=InitWinY1;
  WinY2:=InitWinY2;
Graph.Rectangle(WinX1-1,WinY1-1,WinX2 + 1,WinY2 + 1);
Graph.Bar(WinX1,WinY1,WinX2,WinY2);
SetFillPattern(gray50,Lightgray);
FloodFill( (WinX1+WinX2) Div 2,
      (WinY1+WinY2) Div 2,GetMaxColor);
End;

Procedure WorldHandle.DefineWorld( InitWorld : Byte;
                InitWorldX1,InitWorldY1 : Real;
                InitWorldX2,InitWorldY2 : Real);
Begin
  If InitWorld > WorldMax Then WorldMax:=InitWorld;
{   If Index = InitWorld Then }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Begin
    aData[InitWorld].WorldX1:=InitWorldX1;
    aData[InitWorld].WorldX2:=InitWorldX2;
    aData[InitWorld].WorldY1:=InitWorldY1;
    aData[InitWorld].WorldY2:=InitWorldY2;
  End;
End;

Procedure WorldHandle.FindWorld( World : Byte;
                    WorldPlot : PlotArray;
                    F       : Word;
                    N       : Word;
                    InitScaleX   : Real;
                    InitScaleY   : Real);
Var I : Integer;

Begin
  aData[World].Xmin:=aData[World].WorldX1;
  aData[World].Xmax:=aData[World].WorldX2;
  aData[World].Ymin:=aData[World].WorldY1;
  aData[World].Ymax:=aData[World].WorldY2;
  aData[World].ScaleX:=InitScaleX;
  aData[World].ScaleY:=InitScaleY;
End;

Procedure WorldHandle.DrawAxis( World     : Byte;
                    XDensity,YDensity : Integer;
                    Left,Top,Right,Bottom : Integer;
                    XAxis,YAxis       : Integer;
                    Arrow             : Boolean;
                    F,N               : Word);

  Procedure Axis((Left,Top,Right,Bottom : Integer));
  {Var X1,X2,Y1,Y2 : Integer;}
  Const LAr = 3;
  Begin
    aData[World].X1:=WinX1+Left;
    aData[World].X2:=WinX2-Right;
    aData[World].Y1:=WinY1+Top;
    aData[World].Y2:=WinY2-Bottom;
    aFont.SetFontStyle(VerticalDir,FontNormal,2,ThickSpace);
    aFont.OutTheXY( aData[World].X2,
              aData[World].Y2-20,aMData.LabelX);
    aFont.SetFontStyle(VerticalDir,FontNormal,2,ThickSpace);
    aFont.OutTheXY( aData[World].X1-(Left Div 2),
              aData[World].Y1-20,aMData.LabelY);
    aFont.SetFontStyle(VerticalDir,FontNormal,1,ThickSpace);
    SetLineStyle(YAxis,0,1);

Line(aData[World].X1,aData[World].Y1,aData[World].X1,aData[World].Y2);
    If Arrow Then
    Begin
      Line(aData[World].X1,aData[World].Y1,aData[World].X1-2,aData[World].Y1+2);

Line(aData[World].X1,aData[World].Y1,aData[World].X1+2,aData[World].Y1+2);
    End;
    SetLineStyle(XAxis,0,1);

Line(aData[World].X1,aData[World].Y2,aData[World].X2,aData[World].Y2);
    If Arrow Then
    Begin
      Line(aData[World].X2,aData[World].Y2,aData[World].X2-2,aData[World].Y2-2);
      Line(aData[World].X2,aData[World].Y2,aData[World].X2-2,aData[World].Y2+2);
    End;

    SetLineStyle(0,0,1);
    With aData[World] do rectangle(X1,Y1,X2,Y2);
    End;

  Procedure Density(XDensity,YDensity : Integer);
  Var Ix,Iy : Integer;
  Const Step = 8;
  Begin
    If XDensity > 0 Then
    For Ix:=0 To XDensity Do
    Begin
      If aPlot[N,1] <= aData[World].WorldX2 Then
      aFont.OutTheXY( Left-S+
              Trunc(((aData[World].X2-aData[World].X1)/XDensity)
              *Ix),
              aData[World].Y2+8,
              RealToStr(aData[World].WorldX1+Ix*(aData[World].WorldX1+aData[World].WorldX2)
              /Xdensity,aData[World].Px))
      Else
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        aFont.OutThaiXY( Left-S+
                Trunc(((aData[World].X2-
aData[World].X1)/XDensity)
                *lx),
                aData[World].Y2+S,
                RealToStr(aPlot[F,1]+lx*abs(aPlot[F,1]-
aPlot[N,1])/Xdensity,aData[World].Px));
      End;
      aFont.SetFontStyle(HorizonDir,FontNormal,1,ThinSpace);
      If YDensity > 0 Then
      For ly:=0 To YDensity Do
      Begin
        aFont.OutThaiXY( -Left+aData[World].X1*World,
                aData[World].Y2-(S*2)-
                Trunc((aData[World].Y2-
aData[World].Y1)/YDensity)
                *ly,

RealToStr(aData[World].WorldY1+ly*(aData[World].WorldY2-
aData[World].WorldY1)/Ydensity,
                aData[World].Py));
      End;
    (* End Version Test *)
    End;

    Procedure DLines(XDensity,YDensity : Integer);
    Var lx,ly : Integer;
    Const S{tep} = 8;
    Begin
     If XDensity > 0 Then
     For lx:=0 To XDensity Do
     Begin
       Line( aData[World].X1+
          Trunc(((aData[World].X2-
aData[World].X1)/XDensity)*lx),
          aData[World].Y2+S,
          aData[World].X1+
          Trunc(((aData[World].X2-
aData[World].X1)/XDensity)*lx),
          aData[World].Y2-S)
     End;
     If YDensity > 0 Then
     For ly:=0 To YDensity Do
     Begin
       Line( aData[World].X1-S,
          aData[World].Y2-
          Trunc(((aData[World].Y2-
aData[World].Y1)/YDensity)*ly),
          aData[World].X1+S,
          aData[World].Y2-
          Trunc(((aData[World].Y2-
aData[World].Y1)/YDensity)*ly));
      End;
     End;

   Begin
With aData[World] Do
SetViewPort(0,0,GetMaxX,GetMaxY,ClipOn);
     Axis;
     DLines(XDensity,YDensity);
     Density(XDensity,YDensity);
With aData[World] Do
SetViewPort(WinX1,WinY1,WinX2,WinY2,ClipOn);
     End;

   Procedure WorldHandle.Polygon( WorldPlot          :
PlotArray;
                First,Last      : Integer;
                Code            : Byte;
                Scale           : Integer;
                Lines           : Integer);
  Var I : Integer;
    Tx,Ty : Integer;
  Begin
    If Last > 1000 then Last:=1000;
    If (First < Abs(Last)) And
      (First > 0) And
      (Abs(last) - First >=2 ) Then
    Begin
      aData[Index].RatioX:=(aData[Index].X1-
aData[Index].X2)/(aData[Index].Xmin-aData[Index].Xmax);
      aData[Index].RatioY:=(aData[Index].Y1-
aData[Index].Y2)/(aData[Index].Ymin-aData[Index].Ymax);

SetViewPort(aData[Index].X1,aData[Index].Y1,aData[Index].X2,a
Data[Index].Y2,ClipOff);
      SetLineStyle(Lines,1,3);
      Tx:=Trunc(WorldPlot[First,1]*aData[Index].RatioX);
      Ty:=Trunc(WorldPlot[First,2]*aData[Index].RatioY);
      For I:=First To Last-1 Do
      Begin
(*        Line(
Trunc(WorldPlot[I,1]*aData[Index].RatioX){+aData[Index].X1}-Tx,
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            Trunc({Ty}aData[Index].Y2-
WorldPlot[I,2]*aData[Index].RatioY(*ScaleY})-aData[Index].y1,

Trunc(WorldPlot[I+1,1]*aData[Index].RatioX){+aData[Index].X1}-
Tx,
            Trunc({Ty}aData[Index].Y2-
WorldPlot[I+1,2]*aData[Index].RatioY{*ScaleY})-aData[Index].y1);
*)
Line(
Trunc(WorldPlot[I,1]*aData[Index].RatioX){+aData[Index].X1}-Tx,
   Trunc({Ty}aData[Index].Y2-(WorldPlot[I,2]-
aData[Index].WorldY1)*aData[Index].RatioY{*ScaleY})-
aData[Index].y1,

Trunc(WorldPlot[I+1,1]*aData[Index].RatioX){+aData[Index].X1}-
Tx,
   Trunc({Ty}aData[Index].Y2-(WorldPlot[I+1,2]-
aData[Index].WorldY1)*aData[Index].RatioY{*ScaleY})-
aData[Index].y1);

      End;
      SetLineStyle(0,0,1);
    End;
  End;

  Procedure WorldHandle.ChooseWorld( InitWorld : Byte);
  Begin
    If InitWorld <= WorldMax Then
      Index:=InitWorld
    Else
      Index:=Index;
  End;

  Procedure _setport;
  var I,J : byte;
  begin
    I:=port[$300];
    I:=port[$300+6];
    I:=port[$300+1];
    I:=port[$300+3];
  end;

  Procedure sec200;
  { Delay 100/1000 sec }
  Begin
    Delay(100);
  End;

Procedure Debug_Mode;
Const P1:Word = $300;
Var F : File Of Byte;
  I : Word;
  B : Byte;
  S : String;
  C : Char;
Begin
  Writeln('Debug mode');
  Writeln('Pressed any key...');
  Readkey;
  S:='debug.mod';
  Assign(F,S);
  Rewrite(F);

  Writeln('Clear counter');
  Writeln('Pressed any key...');
  Readkey;
  I:=Port[P1];   { clear counter }

  Writeln('Set clock');
  Write('Select clock frequency (1..8):');
  C:=Readkey;Writeln(C);
  If Not (C in ['1'..'8']) Then
    C:='1';
  I:=Port[P1+7+Ord(C)-Ord(0)]; { set clock }

  Writeln('Start ADC');
  Writeln('Pressed any key...');
  Readkey;
  I:=Port[P1+1]; { start adc }

  Writeln('Data ready');
  Writeln('Pressed any key...');
  Readkey;
  While (1 and Port[P1+2]) = 0 Do { data ready }
  Begin
    If KeyPressed Then
    Begin
      Readkey;
      Write('Wait');
    End;
  End;
  I:=Port[P1]; { clear counter }

  Writeln('Set read data');
```

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Writeln('Pressed any key...');
    Readkey;
    I:=Port[P1+3]; {set read data }

    Writeln('Read data from sdc memory 64kB');
    Writeln('Pressed any key...');
    Readkey;
    For I:=0 To 65535 do { read data 64 kB }
    Begin
      B:=Port[P1+4]; { read data from memory card }
      Write(F,B);
      Write(B:3,Chr(B));
      If KeyPressed Then
      Begin
        Readkey;
        Write('Wait');
      End;
    End;
    Close(F);

    Writeln('Quit debug mode');
    Writeln('Pressed any key...');
    Readkey;
    Writeln('File save : '+S);
  End;

  Procedure Init_Graph;
  { Initial Graphics }
  Var Gd,Gm : Integer;
  Begin
    Gd:=Detect;
    DetectGraph(Gd,Gm);
    InitGraph(Gd,Gm,'');
    If GraphResult <> GrOk Then
    Begin
      Writeln('>>halted on graphics error.',GraphErrorMsg(Gd));
      Halt(1);
    End;
  End;

  Procedure ShowSubMenuItem(Item,Sub : Byte;Reverse :
Boolean);
  { Show Submenu (sub) from menu (item) }
  Var TempC : Byte;
      I     : Byte;
  Begin
    Case Sub Of
      2..5 : Begin
               aFont.SetFontStyle(Horizondir,False,1,thinspace);
               aFont.OutTextXY( {0+(Item-
1)*Length(MenuBar[Item])*2=}
                                MenuBarPoint[Item]+2,
                                1+(Sub-1)*2,
                                MenuBar[Sub,Item],Reverse);
             End;
      1    : Begin
               TempC:=GetColor;
               SetColor(GetBKColor);
               aFont.SetFontStyle(Horizondir,False,1,thinspace);
               For I:=2 To 5 do
               aFont.OutTextXY( {0+(Item-
1)*Length(MenuBar[Item])*2=}
                                MenuBarPoint[Item]+2,
                                1+(I-1)*2,
                                MenuBar[I,Item],Reverse);

               SetColor(TempC);
             End;
    End;
  End;

  Procedure ShowMenuBarItem(Item : Byte;Reverse : Boolean);
  { Show menu bar (item) }
  Var TempC : Byte;
      I     : Byte;
  Begin
    Case Item Of
      1..5 : Begin
               aFont.SetFontStyle(Horizondir,False,1,thinspace);
               aFont.OutTextXY( {0+(Item-
1)*Length(MenuBar[Item])*2=}
                                MenuBarPoint[Item]+2,
                                1,MenuBar[1,Item],Reverse);
             End;
      0    : Begin
               TempC:=GetColor;
               SetColor(GetBKColor);
               aFont.SetFontStyle(Horizondir,False,1,thinspace);
               For I:=1 To 5 do
               aFont.OutTextXY( {0+(Item-
1)*Length(MenuBar[Item])*2=}
                                MenuBarPoint[I]+2,
                                1,MenuBar[1,I],Reverse);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            SetColor(TempC);
          End;
      End;
    End;

    Procedure BarMenu(Reverse:Boolean);
    { show all Menu Item }
    Var K : Word;
    Begin
      SetColor(White);
      For K :=1 To 5 Do
      Begin
        ShowMenuBarItem(K,Reverse);
      End;
    End;

    Procedure SubMenu(Item : Byte;Reverse:Boolean);
    { show all submenu in (Item) menu }
    Var K : Word;
    Begin
      Begin
        SetColor(white);
        For K:=2 To MenuSub[Item] Do
          ShowSubMenuItem(Item,K,Reverse);
      End;
    End;

    Procedure Swapmenu(Thai:Boolean);
    { swap menu thai/eng }
    Var I,J : Byte;
    Begin
      For I:=1 To 5 Do
      For J:=1 To 5 do
      If Thai Then
        MenuBar[I,J]:=TMenuBar[I,J]
      Else
        MenuBar[I,J]:=EMenuBar[I,J];
    End;

    Procedure MakeSound(I : LongInt);
    Const ASound : Array[1..8] Of Word =
  (200,250,300,350,400,450,500,550);
    Begin
      CS:=I;
      Sound(ASound[CS]);
      Sec200;
      NoSound;
    End;

    Procedure CSound;
    Var I : LongInt;
    Begin
      If Thai Then
      Begin
        GErrorMsg:='กรุณาใส่หมายเลข(1-8) :';
        GWriteln('กรุณาเลือกสัญญาณเสียง(1-8) :');
      End
      Else
      Begin
        GErrorMsg:='Input no. sound :';
        GWriteln('Choose sound station (1-8):');
      End;
      GReadln(I);
      If (I >=1) And (I<=8) Then MakeSound(I);
      If Thai Then
        GWriteln('เลือกสัญญาณเสียงที่ :'+IntToStr(CS))
      Else
        GWriteln('Choose sound :'+IntToStr(CS));
    End;

    Procedure Zero;
    Var R : Real;
    Begin
      If Thai Then
      Begin
        GErrorMsg:='ใส่หมายเลข ตั้งค่าศูนย์';
        GWriteln('กรุณาตั้งค่าศูนย์ :'+RealToStr(Z[1],2));
      End
      Else
      Begin
        GErrorMsg:='Input Zero Z[1]:';
        GWriteln(GerrorMsg+RealToStr(Z[1],2));
      End;
      GReadlnR(Z[1]);
      If Thai Then
      Begin
        GErrorMsg:='ใส่หมายเลข ตั้งค่าช่วง';
        GWriteln('กรุณาตั้งค่าช่วง :'+RealToStr(Z[2],2));
      End
      Else
      Begin
        GErrorMsg:='Input Zero Z[2]:';
        GWriteln(GErrorMsg+RealToStr(Z[2],2));
      End;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    GReadInR(Z[2]);
    If Z[1]>Z[2] Then
    Begin
      R:=Z[1];
      Z[1]:=Z[2];
      Z[2]:=R;
    End
    Else
      If Z[1]=Z[2] Then Z[2]:=Z[1]+1;
    If That Then
    Begin
      GWriteln('ค่าจุดเริ่ม : '+RealToStr(Z[1],2));
      GWriteln('ค่าช่วง : '+RealToStr(Z[2],2));
    End
    Else
    Begin
      GWriteln('Zero : '+RealToStr(Z[1],2));
      GWriteln('Span : '+RealToStr(Z[2],2));
    End;
  End;

  Procedure Replay;
  var sworld    : worldhandle;
    f       : file;
    a       : plotarray;
    I,j,k,l,m : integer;
    ch      : char;
    B       : Byte;
    R       : Real;
    St      : String;

    Procedure InitData;
    Begin
      Assign(dataf,aMData.Filename);
      Reset(dataf);
      Lines:=1;
      Readln( dataf,St);
    End;

    Procedure Readdata( Var L : Longint;
                Var X1,Y1,X2,Y2 : Real);
    Var TempR : Real;
    Begin
      Readln(Dataf,L,X1,Y1,TempR,X2,Y2);
    End;
  Begin
    Cleardevice;
    Setcolor(getmaxcolor);
    InitData;
    g_t:=true;
    aWorld.Count:=1000;
    For I:=1 To aWorld.Count Do
    Begin
      aWorld.aPlot[I,1]:=0;
      aWorld.aPlot[I,2]:=0;
      a[I,1]:=0;
      a[I,2]:=0;
    End;
    J:=1;
    L:=100;
    I:=0;
    While Not Eof(Dataf) Do
    Begin
      I:=I+1;

ReadData(Lines,aWorld.aPlot[I,1],aWorld.aPlot[I,2],a[I,1],a[I,2]);
      For M:=1 To I Do
        aWorld.aPlot[M,2]:=Convert(aWorld.aPlot[M,2]);
      Delay(Trunc(aMData.Time));
      aWorld.aData[1].px:=0;
      aWorld.aData[1].py:=1;
      aWorld.aData[2].px:=0;
      aWorld.aData[2].py:=1;
      SetViewPort(0,0,639,479,ClipOn);
      aWorld.Init(8,0);
      aWorld.DefineWin(1,10,10,getmaxx-10,getmaxy-10);
      SetColor(Black);
      With aWorld Do
SetViewPort(WinX1,WinY1,WinX2,WinY2,ClipOff);
      aWorld.DefineWorld(1,0,aMData.Min,L,aMdata.Max);
      aWorld.DefineWorld(2,0,aMData.Min,L,aMData.Max);
      If I > L Then J:=I-L;
      If g_t Then
        aWorld.DrawAxis(1,10,10,100,50,50,150,0,0,true,J,I{+J-
1});
      If g_t Then
        aWorld.DrawAxis(2,10,0,100,50,50,150,0,0,true,J,I{+J-1});
      aWorld.FindWorld(1,aWorld.aPlot,J,I{+J-1},1,1);
      aWorld.FindWorld(2,a,J,I{+J-1},1,1);
      SetColor(Blue);
      setcolor(getmaxcolor);
      aWorld.Table(aWorld.aPlot[I,1]{+J-1},10,325,'Time = ');
      SetColor(Blue);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        aWorld.Table(aworld.aplot[I,2]{+J-1},10,350,'PV   = ');
        SetColor(Red);
        aWorld.Table(a[I,2]{+J-1},10,375,'SP   = ');
        SetColor(Green);
        aWorld.Table(aMData.Lowwer{+J-1},10,400,'Lower limit = ');
        Setcolor(Magenta);
        aWorld.Table(aMData.Upper{+J-1},10,425, 'Upper limit = ');
        If aWorld.aPlot[I,2] <= aMData.Lowwer Then
        Begin
          SetColor(Green);
          MakeSound(CS);
        End
        Else If aWorld.aPlot[I,2] >= aMData.Upper Then
        Begin
          SetColor(Magenta);
          MakeSound(CS);
        End
        Else Setcolor(blue);
        aWorld.ChooseWorld(1);
        If g_t then
          aWorld.Polygon(aWorld.aPlot,J,I{+J-1},0,0,0);
        SetColor(Red);
        aWorld.ChooseWorld(2);
        If g_t then
          aWorld.Polygon(a,J,I{+J-1},0,0,0);
        If I = aworld.count then
        begin
          for I:=1 to aworld.count-1 do
          begin
            aWorld.aplot[I,1]:=aworld.aplot[I+1,1];
            aworld.aplot[I,2]:=aworld.aplot[I+1,2];
            a[I,1]:=a[I+1,1];
            a[I,2]:=a[I+1,2];
          end;
{       I:=aWorld.Count;
        If Not Eof(Dataf) Then

ReadData(Lines,aWorld.aPlot[I,1],aWorld.aPlot[I,2],a[I,1],a[I,2]);
          aWorld.aPlot[I,1]:=Convert(aWorld.aPlot[I,2]);}
        End;
        SetColor(White);
        For M:=1 To I Do
          aWorld.aPlot[M,2]:=RConvert(aWorld.aPlot[M,2]);
        If Rat Then
        Begin
          MouseShow;

MouseSetHMinMax(aWorld.aData[1].X1,aWorld.aData[1].X2);

MouseSetVMinMax(aWorld.aData[1].Y1,aWorld.aData[1].Y2);
          MouseCoords(MX,MY);
          If aWorld.aData[1].RatioX <> 0 Then
            GX:=(( MX-
aWorld.aData[1].X1)/aWorld.aData[1].RatioX)+
                J{aWorld.aData[1].WorldX1}
          Else GX:=0;
          If aWorld.aData[1].RatioY <> 0 Then
            GY:=(( aWorld.aData[1].Y2 -
MY)/aWorld.aData[1].RatioY)+
                aWorld.aData[1].worldY1
          Else GY:=0;

          SetViewPort(aWorld.WinX1,aWorld.WinY1,
                aWorld.WinX2,aWorld.WinY2,ClipOn);
          OutTextXY(1,1, CSt);
          OutTextXY(1,1, ' X:='+RealToStr(GX,2)+
                ',Y:='+RealToStr(GY,2));
        End;
        If KeyPressed then
        Begin
        Ch:=Readkey;
        Case Ch Of
          ' ' : Begin
                Setcolor(GetMaxColor);
                aWorld.Table(Lines{+J-1},1,1, 'Stop');
                Ch:=readkey;
                If Ch = #13 then
                Begin
                  Close(Dataf);
                  ClearDevice;
                  Exit;
                End;
              End;
{         'f' : Begin
                I:=1000;
              End;}
        'g','f' : g_t:=not g_t;
        '+' : If L < aWorld.Count Then L:=L+5;
        '-' : If L > 5        Then L:=L-5;
        End;
        If Eof(Dataf) Then Close(Dataf);
      End;
      SetViewPort(0,0,Getmaxx,getmaxy,clipon);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  End;
  Readkey;
  ClearDevice;
End;

Procedure SetPoint;
Begin
  If Thai Then
  Begin
    GErrorMsg:='กรุณาใส่ตัวเลข ค่าเป้าหมาย:';
    GWriteln(GErrorMsg+RealToStr(aMData.setpoint,2));
    GReadinR(aMData.setpoint);
  End
  Else
  Begin
    GErrorMsg:='Input set point number:';
    GWriteln(GErrorMsg+RealToStr(aMData.setpoint,2));
    GReadinR(aMData.setpoint);
  End; {Else If}
End;

Procedure Start;
var aworld : worldhandle;
  f      : file;
  a      : plotarray;
  I,J,K,L,M : Integer;
  ch     : char;
  B      ; Byte;
  R      : Real;

  Procedure InitData;
  Begin
    Assign(dataf,aMData.Filename);
    rewrite(dataf);
    close(dataf);
    append(dataf);
    Lines:=1;
    writeln( dataf,'Lines'
          +' '+'aWorld.aPlot[I,1]'
          +' '+'aWorld.aPlot[I,2]'
          +' '+'Convert'
          +' '+'a[I,1]'
          +' '+'a[I,2]');
  End;
  Procedure AddData(st : string);
  Begin
    Append(dataf);
    writeln(dataf,st);
    close(dataf);
  End;

Begin
  Cleardevice;
  Setcolor(getmaxcolor);
  _Setport;
  InitData;
  g_t:=true;
  aWorld.Count:=1000;
  For I:=1 To aWorld.Count Do
  Begin
    aWorld.aPlot[I,1]:=I;
    B:=port[$304];
    aWorld.aPlot[I,2]:={ConVert(B)}B;
  End;
  For I:=1 To aWorld.Count Do
  Begin
    a[I,1]:=I;
    a[I,2]:=aMData.SetPoint;
  End;
  J:=1;
  L:=100;
  For I:=1 to aWorld.Count Do
  Begin
    a[I,2]:=aMData.SetPoint;
    B:=port[$304];
    aWorld.aPlot[I,2]:={ConVert}(B);
    For M:=1 To I Do
      aWorld.aPlot[M,2]:=Convert(aWorld.aPlot[M,2]);
    Delay(Trunc(aMData.Time));
    aWorld.aData[1].px:=0;
    aWorld.aData[1].py:=1;
    aWorld.aData[2].px:=0;
    aWorld.aData[2].py:=1;
    SetViewPort(0,0,639,479,ClipOn);
    aWorld.Init(8,0);
    aWorld.DefineWin(1,10,10,getmaxx-10,getmaxy-10);
    SetColor(Black);
    With aWorld Do
SetViewPort(WinX1,WinY1,WinX2,WinY2,ClipOff);
    aWorld.DefineWorld(1,0,aMData.Min,L,aMdata.Max);
    aWorld.DefineWorld(2,0,aMData.Min,L,aMData.Max);
    If I > L Then J:=I-L;
    _setport;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    If g_t Then
      aWorld.DrawAxis(1,10,10,100,50,50,150,0,0,true,J,I{+J-
1});
    If g_t Then
      aWorld.DrawAxis(2,10,0,100,50,50,150,0,0,true,J,I{+J-1});
    aWorld.FindWorld(1,aWorld.aPlot,J,I{+J-1},1,1);
    aWorld.FindWorld(2,a,J,I{+J-1},1,1);
    SetColor(Blue);
    setcolor(getmaxcolor);
    aWorld.Table(aWorld.aPlot[I,1]{+J-1},10,325,'Time = ');
    SetColor(Blue);
    aWorld.Table(aworld.aplot[I,2]{+J-1},10,350,'PV   = ');
    SetColor(Red);
    aWorld.Table(a[I,2]{+J-1},10,375,'SP   = ');
    SetColor(Green);
    aWorld.Table(aMData.Lowwer{+J-1},10,400,'Lower limit = ');
    Setcolor(Magenta);
    aWorld.Table(aMData.Upper{+J-1},10,425, 'Upper limit = ');
    If aWorld.aPlot[I,2] <= aMData.Lowwer Then
    Begin
      SetColor(Green);
      MakeSound(CS);
    End
    Else If aWorld.aPlot[I,2] >= aMData.Upper Then
    Begin
      SetColor(Magenta);
      MakeSound(CS);
    End
    Else Setcolor(blue);
    aWorld.ChooseWorld(1);
    If g_t then
      aWorld.Polygon(aWorld.aPlot,J,I{+J-1},0,0,0);
    SetColor(Red);
    aWorld.ChooseWorld(2);
    If I = aworld.count then
    begin
      for I:=1 to aworld.count-1 do
      begin
        aWorld.aplot[I,1]:=aworld.aplot[I+1,1];
        aworld.aplot[I,2]:=aworld.aplot[I+1,2];
        a[I,1]:=a[I+1,1];
        a[I,2]:=a[I+1,2];
      end;
      aworld.aplot[aworld.count,1]:=aworld.aplot[aworld.count-
1,1]+1;
      aworld.aplot[aworld.count,2]:=Convert(port[$304]);
      a[aworld.count,1]:=a[aworld.count-1,1]+1;
      a[aworld.count,2]:={cos(DtoR(Random(I)))}aMData.SetPoint;
    end;
    If g_t then
    aWorld.Polygon(a,J,I{+J-1},0,0,0);
    SetColor(White);
    Inc(Lines,1);
    For M:=1 To I Do
      aWorld.aPlot[M,2]:=RConvert(aWorld.aPlot[M,2]);

    If (Lines Mod aMData.TimeRec) = 0 Then
    AddData( IntToStr(Lines)
        +' '+RealToStr(aWorld.aPlot[I,1],2)
        +' '+RealToStr(aWorld.aPlot[I,2],2)
        +' '+RealToStr(Convert(aWorld.aPlot[I,2]),2)
        +' '+RealToStr(a[I,1],2)
        +' '+RealToStr(a[I,2],2));

    If Rat Then
    Begin
      MouseShow;

MouseSetHMinMax(aWorld.aData[1].X1,aWorld.aData[1].X2);

MouseSetVMinMax(aWorld.aData[1].Y1,aWorld.aData[1].Y2);
      MouseCoords(MX,MY);
      If aWorld.aData[1].RatioX <> 0 Then
        GX:=(( MX-
aWorld.aData[1].X1)/aWorld.aData[1].RatioX)+
          J{aWorld.aData[1].WorldX1)
      Else GX:=0;
      If aWorld.aData[1].RatioY <> 0 Then
        GY:=(( aWorld.aData[1].Y2 -
MY)/aWorld.aData[1].RatioY)+
            aWorld.aData[1].worldY1
      Else GY:=0;

      SetViewPort(aWorld.WinX1,aWorld.WinY1,
            aWorld.WinX2,aWorld.WinY2,ClipOn);
      OutTextXY(1,1, CS);
      OutTextXY(1,1, ' X:='+RealToStr(GX,2)+
            ',Y:='+RealToStr(GY,2));
    End;
    If KeyPressed Then
    Begin
      Ch:=Readkey;
      Case Ch Of
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{          #13 : I:=aWorld.Count-1;}
          ' ' : Begin
                  Setcolor(GetMaxColor);
                  aWorld.Table(Lines[+J-1],1,1, 'Stop');
{                  setviewport(0,0,getmaxx,getmaxy,clipon);
                  Barmenu(false);}
                  Ch:=readkey;
                  If Ch = #13 then
                  Begin
{                   CloseGraph;
                    RestoreCRtmode;}
{                   With aworld.adata[1] do
AddData(IntToStr(X1)+' '+IntToStr(Y1)+' '
                    +IntToStr(X2)+' '+IntToStr(Y2)+' ');  }
                    ClearDevice;
                    Exit;
                  End;
                End;
          'g','t' : g_t:=not g_t;
          '+' : If L < aWorld.Count Then L:=L+5;
          '-' : If L > 5        Then L:=L-5;
          '[' : Z[1]:=B;
          ']' : Z[2]:=B;
          'z' : Begin
                  Zero;
                  Readkey;
                End;
          's' : Setpoint;
        End;
      End;
      SetViewPort(0,0,Getmaxx,getmaxy,clipon);
    End;
  End;

  Procedure Title;
  Var I  : Integer;
    PCh : Char;
    PFont : FontHandle;
  Begin
    ClearDevice;
    SetViewPort(0,0,GetmaxX,GetmaxY,ClipOn);
    PFont.Init;
    PFont.ReadFont;
    SetColor(7);
    PFont.SetFontStyle( Horizondir,false,3,ThickSpace);
    PFont.OutthaiXY(1,1 ,'  COMPUTERISED');
    PFont.OutthaiXY(1,40,'  TEMPERATURE');
    PFont.OutthaiXY(1,80,'  MEASUREMENT');
    PCh:=Readkey;
    ClearViewPort;
    ClearDevice;
  End;

  Procedure DoMenuChoice(Item,Sub: Byte);
  { do menu choice (item) and (sub) }

    Procedure Open;
    Var Filename : String;
    Begin
      If Thai Then
      Begin
        GErrorMsg:='กรุณาใส่ชื่อแฟ้ม :';
        GWriteln('กรุณาใส่ชื่อแฟ้ม :');
      End
      Else
      Begin
        GErrorMsg:='Input filename :';
        GWriteln('Input filename');
      End;
      GReadlnS(Filename);
      If FileFind2(Filename) Then
      Begin
        aMData.Filename:=Filename;
        If Thai Then
          GWriteln('เปิดแฟ้ม '+Filename)
        Else
          GWriteln(Filename+' open');
      End
      Else
      Begin
        If Thai Then
          GWriteln('ไม่พบแฟ้ม')
        Else
          GWriteln('File not found');
      End;
    End;

  Procedure Save;
  Var S  : String;
    Ch : Char;
    F  : File;
    st8: String;
    st3: String;
    I  : Byte;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Begin
      If Thai Then
      Begin
        GErrormsg:='กรุณาใส่ ชื่อแฟ้ม.ชื่อสกุล :';
        Gwriteln('กรุณาใส่ชื่อแฟ้มชื่อใหม่ :'+aMData.Filename);
      End
      Else
      Begin
        GErrormsg:='Input filename.ext :';
        Gwriteln('Input new filename :'+aMData.Filename);
      End;
      GreadlnS(S);
      I:=Pos('.',S);
      st8:=Copy(S,1,I-1);
      st3:=Copy(S,I+1,Length(S)-I);
      If (Length(st8)>0) and (Length(st8)<=8) and
(Length(st3)<=3) Then
      Begin
      If FileFind2(S) Then
      Begin
        If Thai Then'
          GWriteln('จะบันทึกทับแฟ้มเก่าหรือไม่ '+S+' (Y/n)?')
        Else
          GWriteln('Overwrite '+S+' (Y/n)?');
        Ch:=Upcase(ReadKey);
        If Ch = 'Y' Then
        Begin
          Assign(F,S);
          Erase(F);
          If FileFind2 (aMData.Filename) Then
          Begin
          Assign(F,aMData.Filename);
          Rename(F,S);
          End;
          aMData.Filename:=S;
          If Thai Then
            GWriteln('บันทึกแฟ้ม '+aMData.Filename)
          Else
            GWriteln(aMData.Filename+' save');
        End;
      End
      Else
        Begin
          If FileFind2(aMData.Filename) Then
          Begin
          Assign(F,aMData.Filename);
          Rename(F,S);
          End;
          aMData.Filename:=S;
          If Thai Then
            GWriteln('บันทึกแฟ้ม '+aMData.Filename)
          Else
            GWriteln(aMData.Filename+' save');
        End;
      End
      Else
      Begin
        If Thai Then
          GWriteln('ชื่อแฟ้มไม่ถูกต้อง :'+S)
        Else
          GWriteln('Error Filename :'+S);
      End;
      End;

      Procedure MClose;
      Var Ch : Char;
      Begin
        If Thai Then
        GWriteln('คุณต้องการบันทึกแฟ้ม '+aMData.Filename+'
ไหม?')
        Else
          GWriteln('Do you save '+aMData.Filename+' ?');
        Ch:=UpCase(Readkey);
        If Ch='Y' Then Save;
        If Thai Then
          GWriteln('ปิดแฟ้ม '+aMData.Filename)
        Else
          GWriteln(aMData.Filename+' Close');
        aMData.Filename:='Temp.txt';
      End;


      Procedure Help;
      Var I : Integer;
        J : Longint;
        HTxt : Text;
        HF  : String;
        Hch  : char;


        Procedure HelpText(L : Integer);
        Var LT : String;
          I  : Integer;
        Begin
          ClearTextWindow;
          Assign(HTxt,Helpfile);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Reset(HTxt);
    For I:=1 To L-1 Do
      Readln(Hbxt,LT);
    For I:=L To L+10 Do
    Begin
      If Not Eof(HTxt) Then
      Begin
        Readln(Hbxt,Lt);
        GWriteln(Lt);
      End
      Else
        Gwrite('End.');
    End;
    Close(Hbxt);
  End;

Begin
  HF:=Helpfile;
  J:=1;
  If FileFind2(HF) then
  Begin
    Repeat
      HelpText(J);
      Readfunckey(Hch);
      If FuncKey Then
        Case HCh Of
          up_key : If J>1 then J:=J-1 else J:=1;
          dn_key : J:=J+1;
        End
      Else
        Hch:='q';
    Until Hch='q'
  End
  Else
    Gwriteln('file '+HF+' not found.');
End;

Procedure ComputeY;
Var I : Integer;
  a : Array[1..5,1..5] Of Real; {mA Y Slope 4 20}
  P : LongInt;

  Procedure CalY(I : Integer;S : Real);
  Begin
    a[4,I]:=a[2,1]-(S*(a[1,1]-4));
    a[5,I]:  a[2,1] (S*(a[1,1] 20));
  End;

Function Slope(I : Integer):Real;
Var TempR : Real;
Begin
  TempR:=a[1,I]-a[1,1];
  If TempR<>0 Then
  Begin
    Slope:=(a[2,I]-a[2,1])/TempR
  End
  Else
  Begin
    Slope:=0;
    If Thai Then
      GWriteln('ข้อมูลไม่ถูกต้อง')
    Else
      GWriteln('Data Error');
  End;
End;

Begin
  If Thai Then
  Begin
    GWriteln('การคำนวณหาค่า Ymin Ymax');
    { Ref }
    GWriteln('กรุณาใส่ข้อมูลอ้างอิง (mA,Y)');
    GErrorMsg:='กรุณาใส่ค่ากระแส (mA) :';
    GReadlnR(a[1,1]);
    GErrorMsg:='กรุณาใส่ค่า Y :';
    GReadlnR(a[2,1]);
  End
  Else
  Begin
    GWriteln('Computing Ymin Ymax');
    { Ref }
    GWriteln('Input reference (mA,Y)');
    GErrorMsg:='Input current (mA) :';
    GReadlnR(a[1,1]);
    GErrorMsg:='Input Y :';
    GReadlnR(a[2,1]);
  End;
  a[3,1]:=0;
  { data }
  If Thai Then
  Begin
    GWriteln('กรุณาใส่จำนวนข้อมูล (2-4) ตั้งไว้อัตโนมัติ=2:');
    GErrorMsg:='กรุณาใส่จำนวนข้อมูล (2-4) ตั้งไว้
อัตโนมัติ=2:';
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                ',20 mA = '+RealToStr(a[5,I],2));
        End;
        {Average}
        For I:=2 To P+1 Do
        Begin
          If a[3,I] <> 0 Then a[3,1]:=a[3,1]+a[3,I]
          Else P:=P-1;
        End;
        If P<>0 Then
        Begin
          a[3,1]:=a[3,1]/P;
          CalY(1,a[3,1]);
          If Thai Then
            GWriteln(' ค่าความชันเฉลี่ย (Y/mA) = '+RealToStr(a[3,1],
2)+
                ',4  mA = '+RealToStr(a[4,1],2)+
                ',20 mA = '+RealToStr(a[5,1],2))
          Else
            GWriteln(' Avg. Slope (Y/mA) = '+RealToStr(a[3,1],2)+
                ',4  mA = '+RealToStr(a[4,1],2)+
                ',20 mA = '+RealToStr(a[5,1],2));
        End;
      End;

    Var TempR : Real;

    Begin { DoMenuChoice }
      SetColor(Green);
      Case Item Of
      1{File}: Case Sub Of          {แฟ้ม}
          2{Open} : Begin           {เปิด}
                Open;
              End;
          3{Close}: Begin           {ปิด}
                MClose;
              End;
          4{Save} : Begin           {บันทึก}
                Save;
              End;
          5{Quit} : Begin           {จบการทำงาน}
                Quit:=True;
              End;
        End;
      2{System}: Case Sub Of        {ตั้งค่าระบบ}
          2{Zero}:Begin             {ตั้งค่าศูนย์}
                Zero;
              End;
          3{ComY}:Begin             {หาค่าแกนY}
                ComputeY;
              End;
          4{Sp } :Begin             {ตั้งค่าเป้าหมาย}
                SetPoint;
              End;
          5{Time}:Begin             {ตั้งค่าเวลา}
            { Time Cycle Delay }
            If Thai Then
            Begin
              GErrorMsg:='กรุณาใส่ตัวเลข ค่ารอบเวลาสุ่ม
                                                  (ms):';
              GWriteln(GErrorMsg+RealToStr(aMData.time,2));
              GReadlnR(aMData.time);
            End
            Else
            Begin
              GErrorMsg:='Input time cycle number (ms):';
              GWriteln(GErrorMsg+RealToStr(aMData.time,2));
              GReadlnR(aMData.time);
            End;
            { Time Rec }
            If Thai Then
            Begin
              GErrorMsg:='กรุณาใส่ รอบการบันทึกต่อครั้งการ
                                                  สุ่ม :';
              GWriteln(GErrorMsg+IntToStr(aMData.TimeRec));
              GReadln(aMData.timeRec);
            End
            Else
            Begin
              GErrorMsg:='Input record time per time cycle :';
              GWriteln(GErrorMsg+IntToStr(aMData.TimeRec));
              GReadln(aMData.timeRec);
            End;
            { check }
            If aMData.timeRec <= 0 Then
                                  aMdata.TimeRec:=1;

            End;
          End;
      3{Graph}: Case Sub Of             {ตั้งค่ากราฟ}
          2{Start}  : Begin             {เริ่มต้น}
                MouseHide;
                Start;
                MouseSetHMinMax(0,GetMaxX);
                MouseSetVMinMax(0,GetMaxY);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MouseHide;
              End;
        3(LabelX,Y) : Begin          (ตั้งค่าฉลาก)
              { X Label }
              If Thai Then
              Begin
               GErrorMsg:='กรุณาตั้งค่าฉลากแกน X:';
               GWriteln(GErrorMsg+aMData.LabelX);
               GReadlnS(aMData.LabelX);
              End
              Else
              Begin
               GErrorMsg:='Input Label X string:';
               GWriteln(GErrorMsg+aMData.LabelX);
               GReadlnS(aMData.LabelX);
              End;
              { Y Label }
              If Thai Then
              Begin
               GErrorMsg:='กรุณาตั้งค่าฉลากแกน Y:';
               GWriteln(GErrorMsg+aMData.LabelY);
               GReadlnS(aMData.LabelY);
              End
              Else
              Begin
               GErrorMsg:='Input Label Y string:';
               GWriteln(GErrorMsg+aMData.LabelY);
               GReadlnS(aMData.LabelY);
              End;

              If Thai Then
               GWriteln(' ฉลากแกน X :'+aMData.LabelX+
                     ' ฉลากแกน Y :'+aMData.LabelY)
              Else
               GWriteln(' Label X :'+aMData.LabelX+
                     ' Label Y :'+aMData.LabelY);
              End;
        4(Y-Min,Max): Begin          (ตั้งค่าแกนY)
              If Thai Then
              Begin
               { Y Min }
               GErrorMsg:='กรุณาใส่ค่าแกน Y ต่ำสุด:';
               GWriteln(GErrorMsg+RealToStr
(aMData.Min,2));
               GReadlnR(aMData.Min);
               { Y Max }
               GErrorMsg:='กรุณาใส่ค่าแกน Y สูงสุด:';
               GWriteln(GErrorMsg+RealToStr
                                        (aMData.Max,2));
               GReadlnR(aMData.Max);
              End
              Else
              Begin
               { Y Min }
               GErrorMsg:='Input minimum number:';
               GWriteln(GErrorMsg+RealToStr
                                        (aMData.Min,2));
               GReadlnR(aMData.Min);
               { Y Max }
               GErrorMsg:='Input maximum number:';
               GWriteln(GErrorMsg+RealToStr
                                        (aMData.Max,2));
               GReadlnR(aMData.Max);
              End;

              { Check Min,Max }
              If aMData.Max < aMData.Min Then
              Begin
               TempR:=aMData.Max;
               aMData.Max:=aMData.Min;
               aMData.Min:=TempR;
              End
              Else
              If aMData.Max = aMData.Min Then
              Begin
               aMData.Max:=aMData.Min*10;
              End;

              If Thai Then
               GWriteln(' ค่าต่ำสุด:'+RealToStr
                                        (aMData.Min,2)+
                     ' ค่าสูงสุด:'+RealToStr
                                        (aMData.Max,2))
              Else
               GWriteln(' Min:'+RealToStr(aMData.Min,2)+
                     ' Max:'+RealToStr(aMData.Max,2));
              End;
        5(Replay)  : Replay;         (แสดงซ้ำ)
              End;
        4(Warn): Case Sub Of
        2(Limit)  : Begin
              If Thai Then
              Begin
               { Upper limit }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    GErrorMsg:='กรุณาใส่ค่าขอบเขตเตือน ค่าบน
:';
GWriteln(GErrorMsg+RealToStr(aMData.upper,2));
                    GReadlnR(aMData.upper);
                    { lower limit }
                    GErrorMsg:='กรุณาใส่ค่าขอบเขตเตือน ค่าล่าง
:';
                    GWriteln(GErrorMsg+RealToStr
(aMData.lowwer,2));
                    GReadlnR(aMData.lowwer);
                   End
                   Else
                   Begin
                    { Upper limit }
                    GErrorMsg:='Input upper limit number:';
GWriteln(GErrorMsg+RealToStr(aMData.upper,2));
                    GReadlnR(aMData.upper);
                    { lower limit }
                    GErrorMsg:='Input lower limit number:';
                    GWriteln(GErrorMsg+RealToStr
(aMData.lowwer,2));
                    GReadlnR(aMData.lowwer);
                   End;

                   { Check Lower,Upper }
                   If aMData.Upper < aMData.lowwer Then
                   Begin
                     TempR:=aMData.Upper;
                     aMData.Upper:=aMData.lowwer;
                     aMData.Lowwer:=TempR;
                   End
                   Else
                   If aMData.Upper = aMData.lowwer Then
                   Begin
                     aMData.Upper:=aMData.Lowwer*10;
                   End;

                   If Thai Then
                    GWriteln( ' ค่าบน: '+RealToStr
(aMData.Lowwer,2)+
                          ' ค่าล่าง: '+RealToStr(aMData.Upper,2))
                   Else
                    GWriteln( ' Lower :'+RealToStr
(aMData.Lowwer,2)+
                          ' Upper :'+RealToStr(aMData.Upper,2));
                    End;
                3(Sound) : Begin
                     CSound;
                    End;
                4() : Begin
                    End;
               End;
            5(Other): Case Sub Of
                2(About): Begin
                    If Thai Then
                     GWriteln('การวัดอุณหภูมิด้วยคอมพิวเตอร์
Version 2.1')
                    Else
                     GWriteln('Computerised Temperature
Measurement Version 2.1');
                    End;
                3(T/E) : Begin
                    Thai:=Not Thai;
                    ShowMenuBarItem(0,False);
                    ShowSubMenuItem(5,1,False);
                    SwapMenu(Thai);
                    End;
                4(Help) : Begin
                     ClearTextWindow;
                     Help;
                    End;
                End;
            End;
          End;

          Procedure Main;
          { Main }
          Var Choice : Byte; { Menu X }
              Sub    : Byte; { Menu Y }
              Ch     : Char; { Read Keyboard }

          Procedure Init_MData;
          Begin
            With aMData Do
            Begin
              Min:=0;
              Max:=1000;
              SetPoint:=500;
              Upper:=800;
              Lowwer:=200;
              LabelX:='X';
              LabelY:='Y';
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            Time:=1000;
            TimeRec:=1;
            Filename:='Temp.txt';
          End;
        End;

    Begin
      If ParamStr(1) = '/d' Then
      Begin
        Writeln('debug mode');
        Debug_Mode;
        Exit;
      End
      Else
      If ParamCount >= 1 Then
      Begin
        Writeln('/d for debug mode');
        Exit;
      End
      Else
        Writeln('Normal Mode');
      Init_Graph; { Enter Graphics Mode }
      Title;
      aFont.Init; { Initial Font Driver }
      aFont.Readfont;
      Init_MData;
      CS:=1;
      Rat:=MouseInit;  { Initial Mouse Driver }
      MouseShow;  { Mouse show }
      SetColor(15);
      Choice:=1;  { Initial Menu X=1 }
      Sub:=1;     { Initial Menu Y=1 }
      Thai:=False; { Initial Englisg Menu }
      Quit:=False; { Initial Quit program = False }
      SwapMenu(Thai); { Input menu langauge to menu string }
      Repeat          { Loop }
      MouseShow;
      SetViewPort(0,0,GetMaxX,GetMaxY,ClipOn); { Area Output }
      BarMenu(false);                  { Show Menu bar }
      If Sub <> 1 Then SubMenu(Choice,False);  { show sub menu if
sub <>1 }
      sec200;                    { Delay }
      aFont.SetReverseColor(Black); { SetColor Font }
      SetColor(Red);
      ShowMenuBarItem(Choice,False); { Show Menu X use }
      ShowSubMenuItem(Choice,Sub,False); { Show Menu Y use }
      sec200;              { Delay }
      If Not KeyPressed Then { Check input from keyboard }
      Begin
        If Rat Then
        Begin
        MouseCoords(MX,MY); { get mouse coordinate MX,MY }
        SX:=Trunc((MX*70)/GetMaxX); { screen mouse x }
        SY:=Trunc((MY*24)/GetMaxY); { screen mouse y }

        { check mouse Choice }
        If (SX>MenuBarPoint[1])  And (SX<MenuBarPoint[2]) Then
MC:=1 Else
        If (SX>MenuBarPoint[2])  And (SX<MenuBarPoint[3]) Then
MC:=2 Else
        If (SX>MenuBarPoint[3])  And (SX<MenuBarPoint[4]) Then
MC:=3 Else
        If (SX>MenuBarPoint[4])  And (SX<MenuBarPoint[5]) Then
MC:=4 Else
        If (SX>MenuBarPoint[5])  And (SX<71) Then MC:=5;
        { check mouse sub }
        If (SY>=MenuSubPoint[1])  And (SY<MenuSubPoint[2]) Then
MS:=1 Else
        If (SY>=MenuSubPoint[2])  And (SY<MenuSubPoint[3]) Then
MS:=2 Else
        If (SY>=MenuSubPoint[3])  And (SY<MenuSubPoint[4]) Then
MS:=3 Else
        If (SY>=MenuSubPoint[4])  And (SY<MenuSubPoint[5]) Then
MS:=4 Else
        If (SY>=MenuSubPoint[5])  And (SY<MenuSubPoint[6]) Then
MS:=5;
        If MS > MenuSub[MC] Then MS:=MenuSub[MC];
        ShowSubMenuItem(Choice,1,True);
        Choice:=MC;Sub:=MS;
        If MouseLPressed Then DoMenuChoice(Choice,Sub);
        End;
      End
      Else
      Begin
        ReadFuncKey(Ch);
        Case Funckey Of
          True  : Case Ch Of
                Rt_Key : Begin
                        ShowSubMenuItem(Choice,1,True);
                        If Choice=5 Then Choice:=1 Else Inc(Choice)
                End;
                Lt_Key : Begin
                        ShowSubMenuItem(Choice,1,True);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    If Choice=1 Then Choice:=5 Else Dec
(Choice);
                End;
            Dn_Key : Begin
                    If Sub >= MenuSub[Choice] Then
                      Sub:=2
                    Else
                      Inc(Sub);
                End;
            Up_Key : Begin
                    If Sub<=2 Then
                      Sub:=MenuSub[Choice]
                    Else
                      Dec(Sub);
                End;
            F10_Key : Quit:=True;
            End;
        False : Case Ch Of
            Esc_Key : Begin
                    If Sub=1 Then Quit:=True;
                    Sub:=1;
                    ShowSubMenuItem(Choice,Sub,True);
                  End;
            Return_Key : DoMenuChoice(Choice,Sub);
            Else
              Ch:=Ch;
            End;
      End;
    End;
    until Quit;
    CloseGraph;
  End;

Begin
  Main;
End.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้