

ระบบการวัดระยะไกลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

TELEMETERING SYSTEM BASED-MICROCONTROLLER

ศ.ดร. บุษย์อังกู
SAWIT BOOZAYA-ANGCOOL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2543

ISBN 974-622-762-8

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบการวัดระยะไกลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

TELEMETERING SYSTEM BASED-MICROCONTROLLER



ศวุฒ บูซายังกูร

SWUT BOOZAYA-ANGOOL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2543

ISBN 974-622-762-9

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 35973
วัน, เดือน, ปี..... 3 ก.ค. 2543

TELEMETERING SYSTEM BASED-MICROCONTROLLER

SWUT BOOZAYA-ANGOOL

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2000

ISBN 974-622-762-9

COPYRIGHT 2000

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบการวัดระยะไกลโดยไม่โครคอนโทรลเลอร์
นักศึกษา	นายศวุฒ บุคยอังกูร
รหัสประจำตัว	36061189
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2543
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ

บทคัดย่อ

ระบบการวัดระยะไกลโดยไม่โครคอนโทรลเลอร์ เป็นการออกแบบระบบการวัดสำหรับประยุกต์ใช้ในงานภาคสนาม เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานไม่ต้องอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เลวร้าย ซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย และส่งผลถึงความถูกต้องแม่นยำของเครื่องมือวัด ด้วยวิธีการแยกหัววัดออกจากส่วนประมวลผลสัญญาณ และส่วนแสดงผลหรือบันทึกค่า การส่งสัญญาณจากหัววัดมายังส่วนประมวลผลสัญญาณจะกระทำผ่านสายตัวนำ ส่วนภาคประมวลผลสัญญาณใช้เทคนิคการประมวลผลสัญญาณแบบดิจิทัล โดยนำไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ 89C51 ซึ่งเป็นไอซีคอนโทรลเลอร์เบอร์หนึ่งในกลุ่ม MCS-51 มาควบคุมและบันทึกค่า

Thesis Title	Telemetry System Based-Microcontroller
Student	Mr.Swut Boozaya-angool
Student ID	36061189
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2000
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Dr.Kobchai Dejhan

ABSTRACT

The telemetry system based-microcontroller is a measuring system applicable in the field for preventing operator from dangerous environment and still get precisely measurement by separating the transducer from the signal processing unit. Signal from the transducer to signal processing unit will pass through transmission line. The digital processing technics is used for signal processing unit in controlling and recording based on microcontroller MCS-51

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ รศ.ดร.กอบชัย เศรษฐาญ ซึ่งเป็นผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ในการให้คำปรึกษา และคำแนะนำเกี่ยวกับการทำวิจัยด้วยดีตลอดมา ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ได้วางไว้แต่ต้น และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้กรุณามอบทุน อุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์ ทำให้การจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ มีความสะดวกและคล่องตัวมากยิ่งขึ้น ท้ายนี้ผู้เขียนขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผศ.จิระศักดิ์ ชาญวุฒิชัยธรรม ที่ช่วยอำนวยความสะดวกต่างๆ ในการดำเนินงานจัดทำหนังสือวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสามารถสำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

ศวุฒ บุศยอังกูร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 ความมุ่งหมายของวิทยานิพนธ์	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีระบบเครื่องมือวัด	3
2.1 บทนำ	3
2.2 ระบบเครื่องมือวัด	4
2.3 การทำงานของระบบประมวลสัญญาณค่าแอกคูซิชั่น	7
บทที่ 3 อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์	20
3.1 บทนำ	20
3.2 อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ชนิดพื้นฐาน	23
บทที่ 4 คำสั่งการทำงานของระบบการวัดระยะไกล โดยไมโครคอนโทรลเลอร์	29
4.1 บทนำ	29
4.2 คำสั่ง	29
บทที่ 5 การส่งสัญญาณระยะไกล	45
5.1 บทนำ	45
5.2 การแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า	45

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	54
6.1 บทนำ	54
6.2 การทดลอง	54
6.3 ข้อเสนอแนะ	71
เอกสารอ้างอิง	72
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์	73
ภาคผนวก ก ค่าพีเอสมาตรฐาน	74
ภาคผนวก ข มาตรฐานและวิธีการตรวจสอบน้ำทิ้งจากอาคาร	75
ภาคผนวก ค ข้อมูลทรานส์ดิวเซอร์	77
ประวัติผู้เขียน	83

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางการถอดรหัสของวงจรเลือกสัญญาณ	11
6.1 ตารางแสดงค่าที่เก็บจากท่อปล่อยน้ำทิ้งของโรงงาน	57
6.2 ตารางการเก็บค่าจากบ่อเลี้ยงกุ้ง	60

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 บล็อกโค้ดอะแกรมแสดงส่วนประกอบพื้นฐานของระบบเครื่องมือวัดทั่วไป	3
2.2 บล็อกโค้ดอะแกรมแสดงส่วนประกอบของระบบเครื่องมือวัดรุ่นต้น	5
2.3 บล็อกโค้ดอะแกรมแสดงส่วนประกอบของระบบเครื่องมือวัดรุ่นปัจจุบัน	5
2.4 บล็อกโค้ดอะแกรมแสดงส่วนประกอบของระบบเครื่องมือวัดรุ่นพัฒนาความสามารถสูง	6
2.5 แสดงส่วนประกอบวงจรหลักของระบบประมวลสัญญาณ	8
2.6 แสดงรูปพื้นฐานของวงจรเลือกสัญญาณ	9
2.7 แสดงการทำงานของวงจรเลือกสัญญาณ	10
2.8 แสดงรูปพื้นฐานของวงจรขยายสัญญาณเครื่องมือวัด	12
2.9 แสดงการทำงานของวงจรขยายสัญญาณเครื่องมือวัด	14
2.10 แสดงรูปแบบพื้นฐานของวงจรซัมมิงแอมพลิไฟเลอร์	15
2.11 แสดงรูปแบบพื้นฐานของวงจรมุมและคงค่าสัญญาณ	16
2.12 แสดงการทำงานของวงจรมุมและคงค่าสัญญาณ	18
2.13 แสดงการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล	19
2.14 แสดงวงจรถ้าเน็คแรงดันอ้างอิง	20
3.1 บล็อกโค้ดอะแกรมของอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์	22
3.2 อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์อุณหภูมิ อาร์ทีดี	24
3.3 อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์อุณหภูมิ ไอซีแอลเอ็ม 335	25
3.4 อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ความชื้นสัมพัทธ์	26
3.5 อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ไฮโดรเจนไอออน หรือทรานส์ดิวเซอร์ค่าพีเอช	27
4.1 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก	32
4.2 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมอินเตอร์รัพท์	33
4.3 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อยส่วนแสดงผล	34
4.4 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อยเพื่อตรวจสอบการกดคีย์	35
4.5 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อยส่วนปรับตั้งค่า	37
4.6 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อยส่วนปรับความถูกต้อง	38
4.7 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อยส่วนใช้งานเสริม	39
4.8 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อยการแสดงค่าที่บันทึก	40
4.9 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อยส่วนการพิมพ์	41

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.10 แสดช่วงแอดเครสที่ขยายของส่วนการเก็บค่าของหน่วยความจำใช้งาน	42
4.11 แสดช่วงแอดเครสที่ขยายของส่วนคำสั่งหลัก	43
4.12 แสดช่วงแอดเครสที่ขยายของหน่วยความจำจัดเก็บข้อมูล	44
5.1 ตัวอย่างวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า	46
5.2 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าชนิดเพิ่มระดับกระแสไฟฟ้า	47
5.3 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าชนิดปรับออฟเซต	47
5.4 การแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าแบบโหลดลงกราวด์	51
5.5 วงจรการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีการวางซ้อน	51
5.6 วงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าแบบจิมเมติก	51
5.7 วงจรแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันแบบ โหลดลงกราวด์	52
6.1 วงจรขยายและปรับสัญญาณอุปกรณ์ทรานส์ควิเซอร์พีเอส	55
6.2 รูปขึ้นงานจริงของวงจขยายและปรับสัญญาณอุปกรณ์อาร์ทีดี	63
6.3 วงจรขยายและปรับสัญญาณของอุปกรณ์อาร์ทีดี	63
6.4 รูปขึ้นงานจริงของวงจขยายและปรับสัญญาณอุปกรณ์แอลเอ็ม335แซด	64
6.5 วงจรขยายและปรับสัญญาณของอุปกรณ์แอลเอ็ม335แซด	64
6.6 กราฟแสดงค่าสโโลปของอุปกรณ์แอลเอ็ม335แซด	65
6.7 วงจรขยายและปรับสัญญาณของอุปกรณ์ทรานส์ควิเซอร์ความขึ้นสัมพันธ์	66
6.8 กราฟแสดงค่าการวัดทดสอบค่าความขึ้นสัมพันธ์ในอากาศ	67
6.9 กราฟแสดงค่าการวัดทดสอบค่าอุณหภูมิในอากาศ	67
6.10 วงจรบันทึกค่าและแสดงผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	68
6.11 รูปขึ้นงานจริงของบอร์ดบันทึกค่าและแสดงผล	69
6.12 รูปโครงสร้างของบอร์ดบันทึกค่าและแสดงผล	69

บทที่ 1

ความมุ่งหมายของวิทยานิพนธ์

1.1 บทนำ

ในสภาวะการณ์ปัจจุบันดูเหมือนว่าความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จะมีบทบาทสำคัญอย่างมากในการพัฒนาประเทศ จนทำให้การพัฒนาทางสังคมและสิ่งแวดล้อมลดความสำคัญลงไป ซึ่งในความเป็นจริงแล้วความก้าวหน้าทุกด้านควรจะดำเนินควบคู่กันไป และมีการประสานประโยชน์ซึ่งกันและกัน ดังนั้นผู้ที่สร้างและพัฒนาเทคโนโลยีต้องมีความรับผิดชอบ และควรมีการเอื้อประโยชน์ให้แก่ส่วนอื่นๆ จะเห็นว่าจากการที่ขาดความใส่ใจในเรื่องของสิ่งแวดล้อมดังที่ผ่านมาในอดีต จนปัจจุบันเริ่มจะมีผลกระทบในแง่ต่างๆเกิดขึ้นจนสามารถรับรู้ได้เช่น อากาศเป็นพิษ น้ำเสีย สิ่งที่เกิดขึ้นนั้นควรได้รับการแก้ไขและเฝ้าระวังติดตามผลเพื่อมิให้มีการดำเนินการที่ผิดพลาดขึ้นอีก การระวังป้องกันน่าจะเป็นการดีกว่าการที่จะมาแก้ไขกันภายหลังซึ่งงานในวิทยานิพนธ์นี้เกี่ยวกับการวิเคราะห์ไกล ที่เน้นเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมเช่น อุณหภูมิในเขตเมือง สภาพอากาศและน้ำ อีกทั้งยังพยายามให้เกิดความสะอาดและปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน

วิทยานิพนธ์นี้กล่าวถึงการนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือวัด เพื่อให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เที่ยงตรง แม่นยำ และรวดเร็ว สามารถใช้กับสิ่งที่ต้องการวัดตรวจสอบได้หลายแบบในขณะเวลาใกล้เคียงกัน เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการของผู้ปฏิบัติงานในภาคสนาม โดยการสร้างวงจรรับสัญญาณที่เหมาะสมกับประเภทของหัววัดกับระยะทาง พร้อมทั้งเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาโครงสร้าง การทำงานของระบบเครื่องมือวัดที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม
- 1.2.2 เพื่อศึกษาและสร้างชุดอินเตอร์เฟส ที่ประกอบด้วยวงจรถอดรหัสกับอินพุตพอร์ต เพื่อศึกษาความผิดปกติของสภาพอากาศ และน้ำ ในเขตเมืองเทียบกับค่าในสภาวะปกติ
- 1.2.3 เพื่อนำชิ้นงานไปใช้กับงานตรวจสอบภาคสนาม
- 1.2.4 เพื่อความสะอาดและปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน อีกทั้งเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1.3.1 สร้างวงจรในส่วนประมวลสัญญาณเข้า เพื่อทำหน้าที่รับสัญญาณที่ตรวจวัดจากหัววัดเข้ามา 4 ช่องสัญญาณซึ่งเป็นสัญญาณอะนาลอกแล้วทำการจัดระดับสัญญาณให้เหมาะสม จึงแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรับข้อมูลได้ส่วนต่างๆ ของระบบประกอบด้วยวงจрдังต่อไปนี้

1. วงจรเลือกสัญญาณ
2. วงจรขยายสัญญาณ
3. วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ
4. วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

1.3.2 สร้างวงจรในส่วนการเชื่อมโยงระบบ เพื่อทำหน้าที่เป็นส่วนรับข้อมูลและสัญญาณการควบคุมต่างๆระหว่างส่วนรับสัญญาณเข้า และส่วนควบคุม ซึ่งประกอบด้วยวงจรต่างๆดังนี้

1. วงจรถอดรหัสแอสแอส
2. วงจรรับข้อมูล
3. วงจรควบคุมอุปกรณ์

1.3.3 สร้างวงจรปรับปรุงสัญญาณ เพื่อทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้อยู่ในระดับมาตรฐาน และมีกำลังเพียงพอที่จะส่งไปได้ในระยะทางไม่ต่ำกว่า 100 เมตร ซึ่งวงจรปรับปรุงสัญญาณนี้จะต้องออกแบบให้เหมาะสมกับหัววัดแต่ละประเภท

1.3.4 เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน

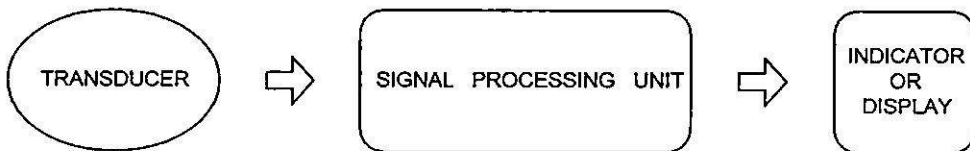
บทที่ 2

ทฤษฎีระบบเครื่องมือวัด

2.1 บทนำ

ระบบเครื่องมือวัดหมายถึง การรวบรวมอุปกรณ์และเครื่องมือวัดต่างๆมาใช้ดำเนินการตรวจสอบค่าความแตกต่างหรือความเปลี่ยนแปลง แล้วแสดงผลในส่วนที่ระบบเครื่องมือวัดกำลังตรวจสอบอยู่ ซึ่งสามารถแบ่งระบบเครื่องมือวัดโดยทั่วไปออกเป็นส่วนใหญ่ๆ ตามลักษณะการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.1 ได้ดังนี้คือ

1. อุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ (Transducer)
2. ระบบประมวลสัญญาณ (Signal Processing Unit)
3. ระบบแสดงผล (Indicator or Display)



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบพื้นฐานของระบบเครื่องมือวัดทั่วไป

2.1.1 อุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนแปลงปริมาณพลังงานทางด้านฟิสิกส์ เช่น ความร้อนเสียง ระดับของเหลว แสง อัตราการไหล ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นระบบที่สามารถนำมาแสดงผลได้ง่าย และเป็นที่ยอมรับในงานด้านอุตสาหกรรมมากกว่าที่จะแสดงผลด้วยวิธีอื่น รวมถึงการบันทึกข้อมูลกระทำได้โดยง่าย อีกทั้งยังสามารถใช้สัญญาณส่งออกไปควบคุมกระบวนการทำงานได้ การเปลี่ยนแปลงปริมาณพลังงานทางด้านฟิสิกส์ให้เป็นสัญญาณทางด้านไฟฟ้าของทรานสดิวเซอร์นั้น สามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะตามการทำงาน คือแอคทีฟทรานสดิวเซอร์ (Active Transducer) และพาสซีฟทรานสดิวเซอร์ (Passive Transducer)

แอคทีฟทรานสดิวเซอร์ คืออุปกรณ์หรือเครื่องมือวัดที่ใช้สำหรับเปลี่ยนปริมาณพลังงานทางด้านฟิสิกส์ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าออกมาโดยตรง โดยสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งออกมานั้นจะอยู่ในรูปแบบของแรงดันไฟฟ้า หรือกระแสไฟฟ้า เครื่องมือวัดชนิดนี้ เช่น เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) , Photo Cell , Piezo Cell

พาสซีฟทรานส์ดิวเซอร์ คืออุปกรณ์หรือเครื่องมือวัดที่ใช้สำหรับเปลี่ยนปริมาณพลังงานทางด้านฟิสิกส์ แล้วให้มีการเปลี่ยนแปลงที่คุณสมบัติทางด้านไฟฟ้าแทนโดยไม่มีสัญญาณ ไฟฟ้าส่งออกมา คุณสมบัติที่เปลี่ยนอาจเป็นค่าความต้านทาน ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า ค่าความจุไฟฟ้า เครื่องมือวัดชนิดนี้ เช่น อุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานตามความสว่างของแสง การวัดระดับโดยใช้การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน การวัดระดับโดยวัดค่าความจุไฟฟ้า การวัดระดับโดยวัดค่าความดันไฟฟ้า หรือ สวิตช์ระดับ

2.1.2 ระบบประมวลสัญญาณ

คือระบบที่ใช้ในการปรับปรุงและเปลี่ยนระดับสัญญาณอินพุต ที่อ่านเข้ามาจากอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ ให้มีรูปแบบสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับการแสดงผลต่อไป เช่นมีการตัดสัญญาณรบกวนที่ส่งเข้ามาด้วยวงจรกรองสัญญาณ หรือขยายสัญญาณให้มากขึ้นด้วยวงจขยายสัญญาณ เป็นต้น ระบบประมวลสัญญาณสามารถแบ่งตามลักษณะการทำงานได้ 2 แบบ หลักๆดังนี้คือ

1. ระบบประมวลสัญญาณแบบอะนาลอก
2. ระบบประมวลสัญญาณแบบดิจิทัล

2.1.3 ระบบแสดงผล

คือระบบที่ใช้แสดงผลข้อมูลจากการตรวจสอบค่าความแตกต่าง หรือการเปลี่ยนแปลงใดๆที่ส่งมาจากระบบประมวลสัญญาณ โดยระบบการแสดงผลนี้อาจรวมถึงความสามารถที่จะบันทึกข้อมูลได้อีกด้วย ส่วนรูปแบบการแสดงผลมีได้หลายรูปแบบ เช่น การแสดงผล แบบกราฟฟิกส์ แบบเวฟฟอร์ม ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้แสดงผล เช่น เอกวาดพลอตเตอร์ ออสซิลอสโคป รวมถึง ไมโครคอมพิวเตอร์ด้วย

2.2 ระบบเครื่องมือวัด

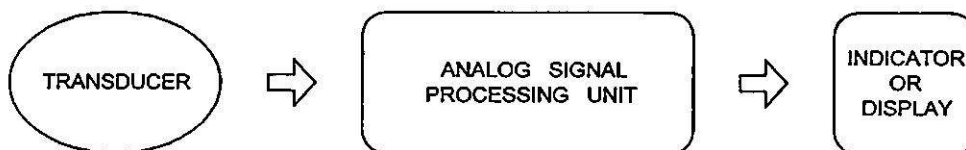
ระบบเครื่องมือวัดได้มีการพัฒนาแบบใหม่ขึ้นมาเรื่อยๆ เพื่อแก้ปัญหาต่างๆที่พบเห็น เช่น ความคลาดเคลื่อนไม่แม่นยำ การใช้งานยุ่งยากไม่สะดวก รวมถึงปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นแต่ยังคงยึดหลักการทํางาน 3 ระบบเหมือนเดิม ซึ่งรูปแบบของระบบเครื่องมือวัดสามารถแบ่งออกตามการพัฒนาได้เป็น 3 ระยะด้วยกันคือ

1. ระบบเครื่องมือวัดรุ่นดั้งเดิม (Classical Instrumentation System)
2. ระบบเครื่องมือวัดรุ่นปัจจุบัน (Modern Instrumentation System)
3. ระบบเครื่องมือวัดรุ่นพัฒนาความสามารถสูง (Intelligent Instrumentation System)

2.2.1 ระบบเครื่องมือวัดรุ่นต้น

เป็นระบบเครื่องมือวัดที่มีวิวัฒนาการที่เป็นต้นฉบับ หรือวิวัฒนาการเริ่มแรกของระบบเครื่องมือวัดโดยใช้ระบบไฟฟ้า ซึ่งจะมีส่วนประกอบใหญ่ๆ สามารถแบ่งตามลักษณะการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ได้ดังนี้

1. อุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ (Transducer)
2. ระบบประมวลสัญญาณแบบอะนาลอก (Analog Signal Processing Unit)
3. ระบบแสดงผล (Indicator or Display)

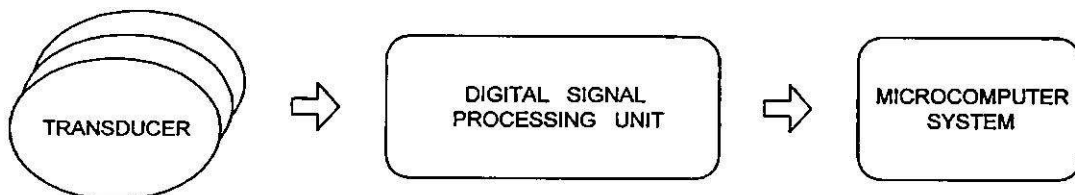


รูปที่ 2.2 บล็อกโคไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบของระบบเครื่องมือวัดรุ่นต้น

2.2.2 ระบบเครื่องมือวัดรุ่นปัจจุบัน

เป็นระบบเครื่องมือวัดที่พัฒนามาจากระบบเครื่องมือวัดรุ่นต้น โดยการเปลี่ยนระบบการประมวลสัญญาณ ซึ่งจากเดิมใช้ระบบประมวลสัญญาณแบบอะนาลอกให้เป็นแบบดิจิทัล ส่วนของการแสดงผลและบันทึกข้อมูลจะใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ทำงานแทนของเดิม ซึ่งมีรูปแบบตามลักษณะการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.3 ได้ดังนี้

1. อุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ (Transducer)
2. ระบบประมวลสัญญาณแบบดิจิทัล (Digital Signal Processing Unit)
3. ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ (Microcomputer System)



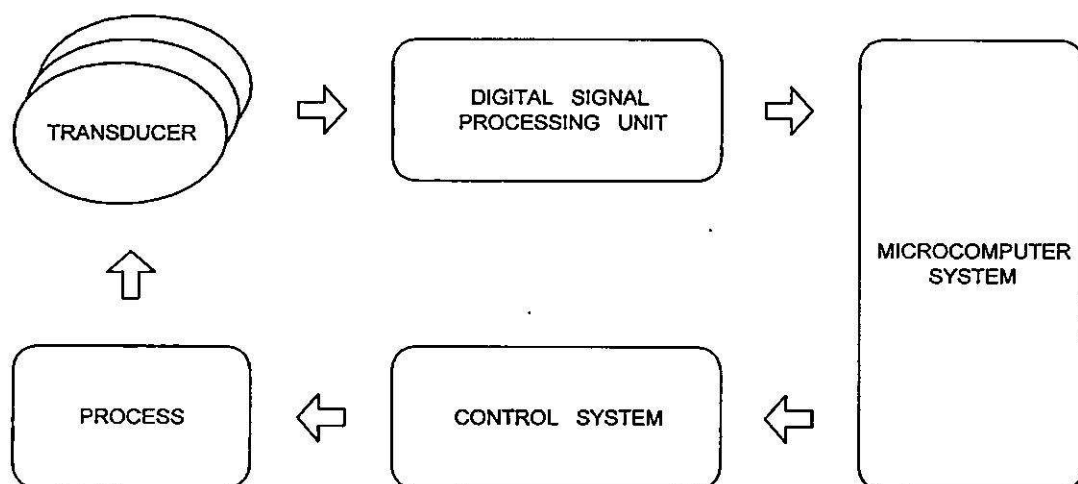
รูปที่ 2.3 บล็อกโคไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบของระบบเครื่องมือวัดรุ่นปัจจุบัน

2.2.3 ระบบเครื่องมือวัดรุ่นพัฒนาความสามารถสูง

เป็นระบบเครื่องมือวัดและควบคุมที่พัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการทำงานได้สูงสุด กล่าวคือ สามารถนำไมโครคอมพิวเตอร์ไปใช้ในการแสดงผลและบันทึกสัญญาณที่ส่งเข้ามาจากทรานสดิวเซอร์ แล้วส่งผ่านระบบประมวลสัญญาณหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ระบบค้ำค้ำเอกคูชิชั้น และไมโครคอมพิวเตอร์ยังสามารถทำการส่งสัญญาณออกไปยังอุปกรณ์ภายนอก โดยผ่านระบบประมวลสัญญาณส่วนควบคุม เพื่อให้สามารถควบคุมการทำงานของกระบวนการต่างๆได้

ระบบเครื่องมือวัดรุ่นพัฒนาความสามารถสูง สามารถแบ่งรูปแบบตามลักษณะการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ได้เป็นส่วนใหญ่ๆดังนี้

1. อุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ (Transducer)
2. ระบบประมวลสัญญาณส่วนเก็บค่าและส่วนควบคุม (Data Acquisition System and Control System)
3. ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ (Microcomputer System)



รูปที่ 2.4 บล็อกโคไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบของระบบเครื่องมือวัดรุ่นพัฒนาความสามารถสูง

การทำงานของระบบประมวลสัญญาณส่วนเก็บค่า (Data Acquisition System) ประกอบด้วยวงจรหลักๆ ดังนี้คือ

1. วงจรเลือกสัญญาณ (Multiplexer)
2. วงจรขยายสัญญาณ (Instrument Amplifier)
3. วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ (Sample and Hold)
4. วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D Converter)

การทำงานของระบบประมวลสัญญาณส่วนควบคุม (Control System) ประกอบด้วย วงจรหลักๆ ดังนี้คือ

1. วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอะนาลอก (D/A Converter)
2. วงจรคงค่าสัญญาณ (Hold)
3. วงจรแยกสัญญาณ (Demultiplexer)
4. วงจรขยายสัญญาณ (Buffer Amplifier)

การทำงานของระบบประมวลสัญญาณส่วนเก็บค่าและส่วนควบคุม (Data Acquisition System and Control System) นี้ จะสามารถทำการสื่อสารข้อมูลนี้ร่วมกับไมโครคอมพิวเตอร์ได้นั้น ต้องมีส่วนเชื่อมต่อโยง (Interface System) อีกส่วนหนึ่งซึ่งประกอบด้วยวงจรหลักๆ ดังนี้

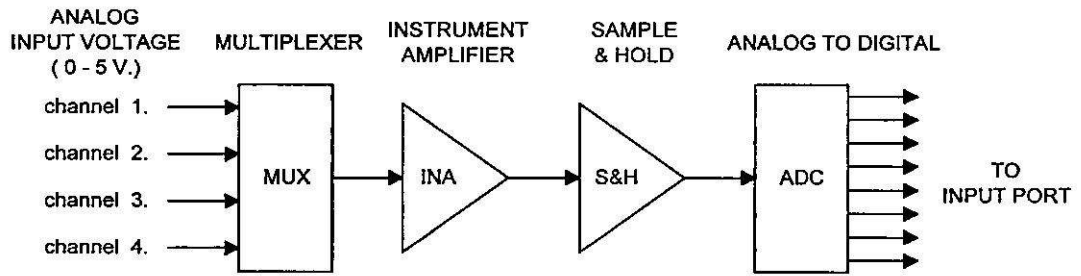
1. วงจรถอดรหัสแอดเดรส (Decoder)
2. วงจรรับข้อมูล (Input Port)
3. วงจรส่งข้อมูล (Output Port)
4. วงจรควบคุมอุปกรณ์ (Control Port)

2.3 การทำงานของระบบประมวลสัญญาณดาต้าเอกูชิชั่น

การทำงานของระบบประมวลสัญญาณดาต้าเอกูชิชั่น ทำหน้าที่รองรับสัญญาณการตรวจวัด จากทรานสดิวเซอร์เข้ามาตามช่องสัญญาณต่างๆ ซึ่งเป็นสัญญาณอะนาลอก โดยผ่านเข้ามาทางหัวต่อสายสัญญาณ (Connector D-Type 9 Pin) จากนั้นจะส่งสัญญาณต่อไปยังระบบประมวลสัญญาณดาต้าเอกูชิชั่น เพื่อให้ไมโครคอมพิวเตอร์สามารถรับค่าที่ส่งเข้ามาและแสดงผลออกมาได้

การทำงานของระบบประมวลสัญญาณแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งประกอบด้วยวงจรหลักๆ ดังนี้

- 2.3.1 วงจรเลือกสัญญาณ
- 2.3.2 วงจรขยายสัญญาณ
- 2.3.3 วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ
- 2.3.4 วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล



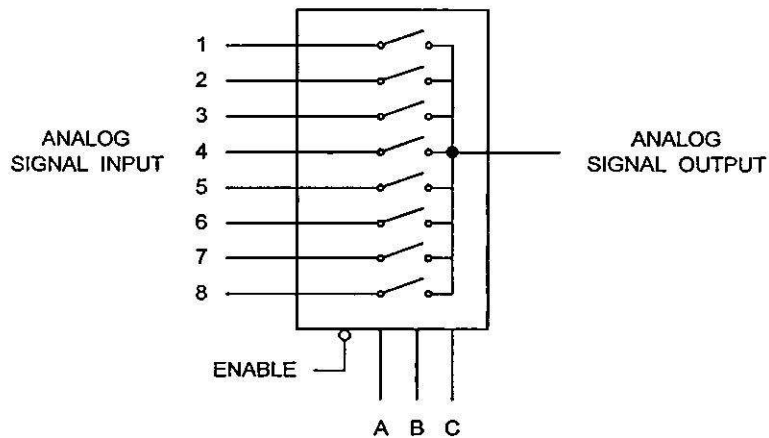
รูปที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบของวงจรหลักของระบบประมวลสัญญาณ

การทำงานของระบบประมวลสัญญาณ เริ่มจากการเลือกค่าสัญญาณที่ส่งเข้ามาจากอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ โดยใช้วงจรเลือกสัญญาณ บางครั้งสัญญาณที่เลือกเข้ามาอาจมีแรงดันของสัญญาณต่ำ หรือมีสัญญาณรบกวนมากเกินไป จึงแก้ปัญหาโดยการใช้วงจรขยายสัญญาณก่อนที่จะส่งสัญญาณนี้ไปยังวงจรมุมและคงค่าสัญญาณ เพื่อให้เก็บรักษาระดับแรงดันของสัญญาณที่ส่งเข้ามาให้มีค่าคงที่ สำหรับนำไปใช้ในวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล เพราะขณะที่วงจรแปลงสัญญาณนี้ทำงาน จะต้องการแรงดันของสัญญาณคงที่ในช่วงเวลาหนึ่ง สัญญาณดิจิทัลที่แปลงแล้วนี้จะส่งไปยังช่องรับข้อมูล (Input Port) ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ในการเชื่อมโยงระหว่างระบบประมวลสัญญาณ กับ ไมโครคอมพิวเตอร์ให้มีการส่งข้อมูลหรือสัญญาณต่างๆระหว่างกันได้

2.3.1 วงจรเลือกสัญญาณ

2.3.1.1 หลักการทำงานของวงจรเลือกสัญญาณ

วงจรเลือกสัญญาณหรืออีกนัยหนึ่งเรียกว่าอะนาลอกมัลติเพลกซ์ คือวงจรที่ทำหน้าที่ในการรับค่าสัญญาณที่ส่งมาจากทรานส์ดิวเซอร์ ซึ่งเป็นสัญญาณอะนาลอกที่มีระดับแรงดัน ไฟฟ้า 0-5 โวลต์ หรือ 0-10 โวลต์ เข้ามาทางอินพุตของวงจร ได้หลายสัญญาณ แล้วทำการเลือกค่าสัญญาณที่ส่งเข้ามาสัญญาณใดสัญญาณหนึ่งนั้น ให้ส่งออกไปทางเอาต์พุตของวงจรเพื่อส่งไปยังวงจรส่วนอื่นๆ ต่อไป โดยมีรูปแบบพื้นฐานของวงจรเลือกสัญญาณ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงรูปแบบพื้นฐานของวงจรถูกเลือกสัญญาณ

จากรูปที่ 2.6 แสดงรูปแบบพื้นฐานของวงจรถูกเลือกสัญญาณ ซึ่งจะประกอบด้วยเอาต์พุตเพียงแต่ 1 เอาต์พุตแต่จะมีอินพุตเข้ามาแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้คือ

1. สัญญาณเข้าแบบอะนาล็อก (Analog Signal Input) เป็นขาที่รับสัญญาณจากอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์สัญญาณเข้ามาอาจมีได้หลายสัญญาณให้เลือก ส่วนใหญ่ที่นิยมใช้งานมีตั้งแต่ 4, 8 และ 16 ช่องสัญญาณ

2. สัญญาณเลือก (Select Output) เป็นขาที่ทำหน้าที่เลือกสัญญาณเข้ามาทางอินพุต ให้ออกไปยังเอาต์พุต (Analog Signal Output) โดยการถอดรหัสสัญญาณ A, B และ C เพื่อควบคุมแถวของอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์ที่ต่อขนานกันนี้ให้มีสวิตช์ตัวใดตัวหนึ่งทำงาน ในช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้น ซึ่งการสั่งให้สวิตช์ใดๆทำงานนั้นจะใช้สัญญาณควบคุมอินเตอร์เฟสกับอินพุตของทีทีแอล (TTL) แล้วสั่งให้สวิตช์ทำงานด้วยระดับแรงดันที่เหมาะสม สำหรับวงจรถูกเลือกสัญญาณในส่วนการถอดรหัสสัญญาณเลือกนี้ จะแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งเป็นวงจรถอดรหัสแบบเลือกสัญญาณ ให้ออกทางเอาต์พุตหนึ่งสัญญาณจากสัญญาณอินพุตที่เข้ามา 8 สัญญาณ

3. สัญญาณปฏิบัติ (Enable) เป็นขาควบคุมให้วงจรถูกเลือกสัญญาณทำงานหรือไม่ทำงาน โดยมีสถานะของอินพุตเป็นลอจิก “0”

2.3.1.2 คุณสมบัติของวงจรถูกเลือกสัญญาณ

1. ค่าผิดพลาดการส่งค่าสัญญาณ (Transfer Error) เป็นค่าผิดพลาดที่อินพุตกับเอาต์พุตของวงจรถูกเลือกสัญญาณเมื่อต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าและโหลด ซึ่งอาจจะอธิบายเป็นเปอร์เซ็นต์ของระดับแรงดันอินพุต ในระบบประมวลสัญญาณ ค่าความผิดพลาดนี้อยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.01 เปอร์เซ็นต์หรือน้อยกว่า ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้อุปกรณ์บัฟเฟอร์ (Buffer) ต่อกับอินพุตอิมพี

แดนซ์ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ ส่วนมากจะมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สูงด้วย

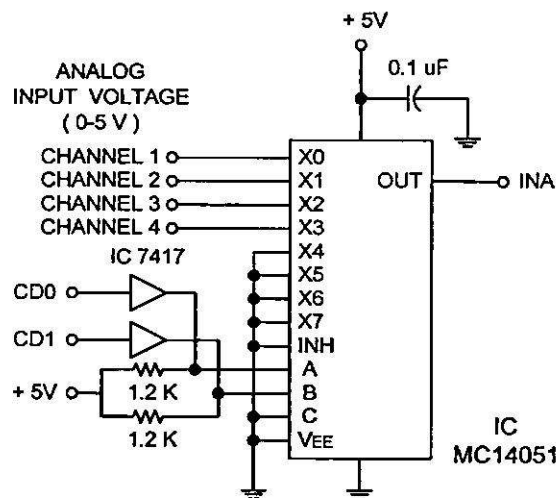
2. การสวิตซ์ซึ่งแบบจากก่อนแตะ (Bread-Before Make) มีการหน่วงเวลาน้อยระหว่างการเปลี่ยนการสัมผัสจากอีกแชนแนลหนึ่งไปยังแชนแนลต่อไป ซึ่งเป็นการแน่นอนว่าช่องสัญญาณอินพุตที่อยู่ติดกันจะไม่ได้สัมผัสร่วมกัน

3. เวลาที่จำกัด (Setting Time) มันเป็นข้อจำกัดสำหรับให้แอมพลิฟายเออร์ยอมรับ เมื่อมันถูกใช้วัดจากเวลาที่แชนแนลถูกสวิตซ์ให้ทำงานใช้เวลาไปมากน้อยเพียงใด

4. ช่วงทำงานที่ถูกด้อย (Throughput Rate) เป็นอัตราเร็วสูงสุดของวงจรเลือกสัญญาณที่สามารถเปลี่ยนตำแหน่งหนึ่งด้วยเวลาที่จำกัด และยังคงได้เอาท์พุตตามพิคคที่แม่นยำ

5. การรบกวนกันข้ามช่องสัญญาณ (Crosstalk) เป็นอัตราส่วนของแรงดันเอาท์พุตต่อแรงดันอินพุต โดยที่ทุกช่องสัญญาณต่อขนานกันและหยุดทำงาน มันจะบอกค่าอัตราลดทอนของสัญญาณที่ผ่านเข้าทางอินพุต ออกทางเอาท์พุต มีหน่วยเป็น dB

ตัวอย่างการออกแบบวงจรเลือกสัญญาณ โดยใช้ไอซีเบอร์ MC14051 ซึ่งสามารถรองรับสัญญาณจากทรานส์ดิวเซอร์ เข้ามาทางอินพุตได้ถึง 8 ช่องสัญญาณ แต่ในที่นี้จะใช้งานเพียง 4 ช่องสัญญาณ โดยสัญญาณที่ส่งเข้ามาอยู่ในรูปแรงดันไฟฟ้า จะมีระดับแรงดันไฟฟ้าที่ 0 - 5 โวลต์ แล้วทำการเลือกว่าจะให้ช่องสัญญาณใดถูกส่งออกไปยังเอาท์พุตเพื่อส่งต่อไปยังวงจรขยายสัญญาณ ดังแสดงได้ในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการทำงานของวงจรเลือกสัญญาณ

สำหรับส่วนที่ควบคุมให้ไอซีเบอร์ MC1405 ทำการเลือกช่องสัญญาณใดๆ ให้ออกทางเอาต์พุตนั้น เริ่มจากที่พอร์ทควบคุม ไอซีเบอร์ 74LS374 จะส่งสัญญาณ CD_0 และ CD_1 มาให้ที่ขา A และ B ของไอซีเบอร์ 7417 เพื่อทำหน้าที่ขั้นก่อนเนื่องจากไอซีเบอร์ MC14051 เป็นไอซีตระกูลซีโมส ส่วนไอซีเบอร์ 74LS374 เป็นไอซีตระกูลทีทีแอล ฉะนั้นจึงต้องคำนึงถึงเรื่องคุณสมบัติแรงดันไฟฟ้าทางอินพุต-เอาต์พุต และแฟนเอาต์ ระหว่างไอซีทั้ง 2 ชนิดด้วยกันนั้นทำการถอดรหัสสัญญาณที่ส่งเข้ามายังขา A, B และ C เพื่อทำการเลือกสัญญาณอินพุตว่าจะให้ส่งสัญญาณในช่องใดออกไปยังเอาต์พุตของไอซีนี ซึ่งจะมีรูปแบบการถอดรหัสสัญญาณแสดงตามตาราง 2.1 นี้ จะเห็นได้ว่าสัญญาณที่ส่งออกมาทางเอาต์พุตนั้น ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่ขา A และ B ส่วนสัญญาณ C นั้น ถูกกำหนดให้เป็นลอจิกค่า "0" เพราะต้องการใช้งานเพียง 4 ช่องสัญญาณ (ที่เอาต์พุต Y เท่ากับ $X_0 - X_3$) เท่านั้น

ตารางที่ 2.1 แสดงรูปแบบการถอดรหัสของวงจรเลือกสัญญาณ

SELECT INPUT			OUTPUT
C	B	A	Y
0	0	0	X_0
0	0	1	X_1
0	1	0	X_2
0	1	1	X_3
1	0	0	X_4
1	0	1	X_5
1	1	0	X_6
1	1	1	X_7

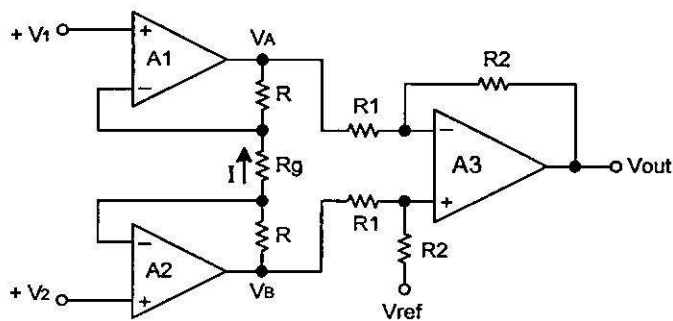
2.3.2 วงจรขยายสัญญาณ

2.3.2.1. วงจรขยายสัญญาณเครื่องมือวัด Instrumentation Amplifier

วงจรขยายสัญญาณ หรือมีชื่อย่อที่เรียกว่า INA เป็นวงจรสำหรับขยายสัญญาณที่ใช้ในระบบเครื่องมือวัด ซึ่งมีใช้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานขยายสัญญาณต่างๆ ไปเหมือนกับออปแอมป์ แต่เป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับใช้งานเฉพาะอย่าง โดย INA เป็นอุปกรณ์แบบลูปปิด มีการกำหนดอัตราขยายที่เที่ยงตรงแน่นอน และมีอัตราขยายให้เลือกใช้เป็นหลายระดับ แต่ออปแอมป์เป็นอุปกรณ์แบบลูปเปิด มีอัตราขยายที่กว้างมาตั้งแต่ที่ออปแอมป์จะสามารถนำไปใช้งานต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง แต่ในส่วนของระบบประมวลสัญญาณแล้ว INA เป็นสิ่งที่ดีและเหมาะสมที่สุด

คุณสมบัติของวงจรขยายสัญญาณเครื่องมือวัด

1. มีความต้านทานอินพุตสูงมากๆ
2. สามารถปรับอัตราขยายได้อย่างเที่ยงตรง ด้วยการปรับค่าความต้านทาน ซึ่งตัวต้านทานที่ใช้ในการเปลี่ยนอัตราขยายนี้ ได้ถูกบรรจุอยู่ในตัวไอซีมาเรียบร้อยแล้ว ซึ่งจะกล่าวถึงการใช้งานในภายหลัง และในขณะเดียวกันถ้าความต้านทานภายในไม่เพียงพอก็สามารถนำความต้านทานจากภายนอกมาต่อเพิ่มสำหรับเลือกอัตราขยายได้
3. มี High Common-Mode Rejection ทำให้ INA นี้มีประโยชน์มากในการค้นหาสัญญาณที่มีขนาดเล็กๆ ที่แทรกตัวอยู่ในสัญญาณรบกวนออกมาใช้งานได้



รูปที่ 2.8 แสดงรูปพื้นฐานของวงจรขยายสัญญาณเครื่องมือวัด

จากรูปที่ 2.8 เป็นพื้นฐานของวงจรขยายสัญญาณเครื่องมือวัด ที่มีลักษณะของอินพุตอิมพีแดนซ์สูงมากๆ เป็นไปตามคุณสมบัติที่ได้อันหนึ่งของ INA จะเห็นว่าแรงดันอินพุตแต่ละตัว (V_1 และ V_2) ถูกต่อเข้ากับขาอินพุตของออปแอมป์ A1 และ A2 ตามลำดับ ส่วนแรงดัน V_{BA} เป็นแรงดันระหว่างเอาต์พุตของออปแอมป์ A1 และ A2 โดยมีสมการของแรงดันดังนี้คือ

$$V_{BA} = (V_2 - V_1) (1 + (2R/R_g)) \quad (2.1)$$

เราสามารถพิสูจน์สมการที่ 2.1 ได้โดยกำหนดให้ค่าความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าระหว่างขาอินพุตของออปแอมป์แต่ละตัว (A1 และ A2) ให้มีค่าเท่ากับ "0" ($V_d=0$) และมีการสมมุติทิศทางกระแสไฟฟ้า (I) ให้เป็นตามรูปที่ 2.8 ซึ่งไหลผ่านความต้านทานทั้ง 3 ตัว (R และ R_g) โดยกระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลเข้าไปภายในตัวออปแอมป์ได้ จึงได้สมการดังต่อไปนี้

$$V_{Rg} = I * Rg \quad (2.2)$$

$$= V_2 - V_1 \quad (2.3)$$

$$V_R = I * R \quad (2.4)$$

$$= V_{Rg} * R / Rg \quad (2.5)$$

$$= ((V_2 - V_1) / Rg) * R \quad (2.6)$$

$$V_{BA} = V_{Rg} + 2V_R \quad (2.7)$$

$$= (V_2 - V_1) + 2R * ((V_2 - V_1) / Rg) \quad (2.8)$$

$$= (V_2 - V_1) * (1 + (2R / Rg)) \quad (2.9)$$

ในส่วนของออปแอมป์ A3 นี้ เป็นการต่อออปแอมป์แบบเกิดผลต่างทางอินพุตแล้วทำการขยายสัญญาณ (Differential Amplifier) ซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงไม่เท่ากับ 0 ($V_{ref} \neq 0V$) จะทำให้ได้แรงดันเอาต์พุต (V_{out}) เป็นไปตามสมการที่ 2.10

$$V_{out} = ((R2 / R1) * V_{BA}) + V_{ref} \quad (2.10)$$

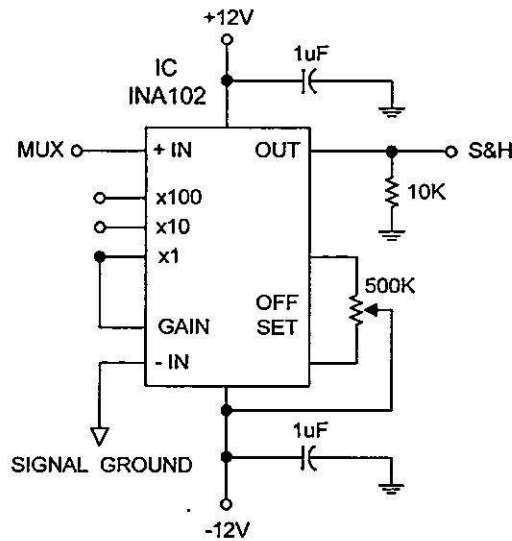
$$= (R2 / R1) * (1 + (2R / Rg)) * (V_2 - V_1) + V_{ref} \quad 2.11$$

$$= Gain * (V_2 - V_1) + V_{ref} \quad (2.12)$$

$$= (Gain * V_{in}) + V_{offset} \quad (2.13)$$

จากสมการที่ได้ พบว่าอัตราขยายสัญญาณ สามารถปรับเปลี่ยนให้เป็นไปตามความต้องการได้ โดยขึ้นอยู่กับค่าความต้านทาน R_g ถ้าเราต้องการเพิ่มอัตราขยายสัญญาณให้มากขึ้น จะต้องทำการปรับเปลี่ยนค่าความต้านทาน R_g ให้มีค่าน้อยลง ส่วนความต้านทาน R_1 และ R_2 จะบรรจุอยู่ในตัว INA เรียบร้อยแล้ว ซึ่งความต้านทานเหล่านี้ไม่สามารถเปลี่ยนค่าได้

ตัวอย่างการออกแบบวงจรขยายสัญญาณเครื่องมือวัด บางครั้งสัญญาณที่ทำการตรวจวัดนั้นมีระดับแรงดันที่น้อยมาก ซึ่งไม่เพียงพอที่จะนำไปป้อนให้กับวงจรเปลี่ยนสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลให้ทำงานได้ จึงต้องมีการขยายระดับสัญญาณด้วยวงจรขยายสัญญาณเครื่องมือวัด เช่น ใช้ไอซีเบอร์ INA102

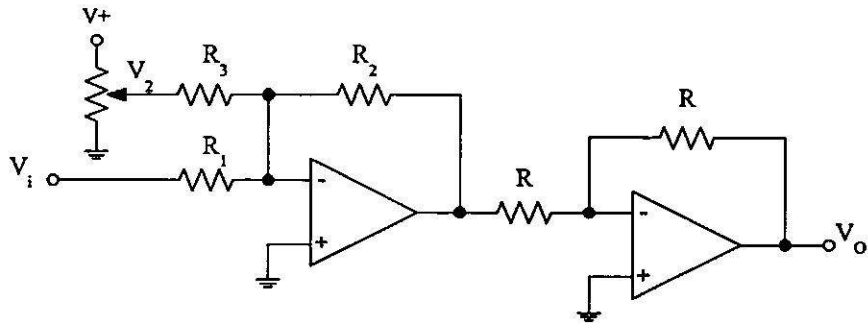


รูปที่ 2.9 แสดงการทำงานของวงจรขยายสัญญาณเครื่องมือวัด

จากรูปที่ 2.9 แสดงวงจการทำงานของวงจรขยายสัญญาณเครื่องมือวัด จะพบว่าวงจร INA รับสัญญาณอินพุตที่ส่งมาจากวงจรเลือกสัญญาณ มาทำการขยายสัญญาณซึ่งมีอัตราขยายให้เลือก 3 ระดับคือ $\times 1$, $\times 10$ และ $\times 100$ โดยการเชื่อมต่อที่ขาสัญญาณตามอัตราขยายที่ต้องการ สำหรับสัญญาณที่ผ่านการขยายแล้วควรมีระดับแรงดันไฟฟ้าที่ 0 - 5 โวลต์เพื่อส่งไปยังวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณต่อไป

2.3.2.2 วงจรขั้วมิงแอมพลิไฟเออร์

เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ บางประเภทมีค่าต่ำไม่มาก ดังนั้นจึงสามารถใช้วงจรขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้าอื่นๆ ตามความเหมาะสมเช่นใช้วงจรขั้วมิงแอมพลิไฟเออร์



รูปที่ 2.10 แสดงรูปแบบพื้นฐานของวงจรขั้วมิงแอมพลิไฟเออร์

สมการที่ใช้คำนวณเพื่อให้ได้แรงดันเอาต์พุต 1-5 โวลต์ดังสมการที่ 6.1

$$V_o = R_2/R_1 * V_i + R_2/R_3 * V_2 \quad (2.14)$$

$$V_o = 4(V_{ph}) + 3.00 \quad (2.15)$$

$$R_2/R_1 = 4 \quad (2.16)$$

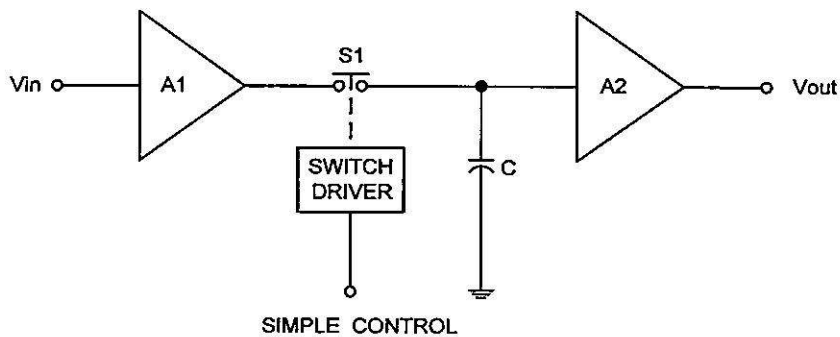
$$R_2/R_3 * (V_2) = 3 \quad (2.17)$$

ให้ $R_1 = 10$ กิโลโอห์ม $R_2 = 40$ กิโลโอห์ม และ $R_3 = 40$ กิโลโอห์ม $V_2 = 3$ โวลต์

2.3.3 วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ

2.3.3.1 หลักการทำงานของวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ

วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ หรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งตามลักษณะการใช้งานว่า วงจรเก็บแรงดันไฟฟ้า ใช้สำหรับเก็บค่าแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณอินพุตที่ส่งเข้ามาในช่วงเวลาอันสั้นด้วยตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่มีคุณภาพสูง และรักษาภาวะของสัญญาณอินพุตนั้นไว้เพื่อให้ค่าสัญญาณที่วัดได้นั้นไม่เปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณอินพุตที่เปลี่ยนตลอดเวลา เพราะในการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกให้เป็นดิจิทัล ต้องการระดับสัญญาณที่จะทำให้การแปลงนั้นให้มีระดับแรงดันที่คงที่ในช่วงเวลาหนึ่ง จึงต้องมีการใช้วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณมาช่วยทำงานในส่วนนี้



รูปที่ 2.11 แสดงรูปแบบพื้นฐานของวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ

จากรูปที่ 2.11 แสดงรูปแบบพื้นฐานของวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณซึ่งจะประกอบด้วย A1 เป็นออปแอมป์กันชน ซึ่งมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สัญญาณทางอินพุตอาจถูกส่งมาจากวงจรเลือกสัญญาณ หรือวงจรขยายสัญญาณเครื่องมือวัด โดยเอาท์พุตของ A1 ต้องสามารถขับตัวเก็บประจุไฟฟ้า ให้ทำงานอย่างเสถียรภาพ และขับกระแสได้อย่างพอเพียง เพื่อชาร์จประจุได้อย่างรวดเร็ว S1 เป็นอิเล็คโทรอนิคสวิตช์ปกติจะใช้เฟต (FET) ซึ่งมันทำงานได้ทั้งเปิดและปิดได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้วงจรขับซึ่งอินเตอร์เฟสกับอินพุตของทีทีแอล C เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่มีคุณภาพสูง การเลือกชนิดของตัวเก็บประจุไฟฟ้าก็มีความสำคัญมากเพราะการดูดกลืน (Dielectric) ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะเป็นตัวก่อให้เกิดความผิดพลาดมากมาย อีกทั้งยังต้องให้มีค่ากระแสรั่วไหลต่ำ และมีคุณสมบัติของการรั่วซึมต่ำ ตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่เหมาะสมในการใช้งานควรเป็นชนิด Polystyrene, Polycarbonate, Polypophylene หรือ Teflon ส่วน Mica และ Polycarbonate ก็พอใช้ได้ แต่ Ceramic จะมีการดูดกลืนสูง จึงไม่สมควรใช้งาน A2 เป็นออปแอมป์ขยายทางเอาท์พุตและเป็นตัวขับแรงดันให้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า เพราะฉะนั้นต้องมีกระแสไบอัสอินพุตที่ต่ำ จากเหตุผลนี้จึงใช้เฟต เป็นตัวขยายทางอินพุตวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณมีลักษณะการทำงานตามสวิตช์ S1 ดังนี้ คือ เมื่อสวิตช์ S1 ปิดวงจร วงจรจะมีความทำงานในส่วนของการสุ่มค่าสัญญาณหมายถึง มีการสุ่ม

รับคำสั่งสัญญาณทางอินพุตเข้ามาเก็บไว้ในตัวเก็บประจุไฟฟ้า และถ้าสวิทช์ S1 เปิดวงจร วงจรนี้ก็จะมีการทำงานในส่วนของวงจรคงค่าสัญญาณหมายถึง มีการรักษาแรงดันที่เก็บไว้ในตัวเก็บประจุไฟฟ้า และจะคลายประจุไฟฟ้าออกไปใช้งานยัง A2 ต่อไป

คุณลักษณะของวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ

จำนวนพารามิเตอร์ที่สำคัญในการปรับปรุงคุณสมบัติของวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณที่สำคัญที่สุดคือ เวลาที่จำกัดของการสุ่มค่าสัญญาณ (Acquisition Time) มีนิยามเหมือนกับเวลาที่จำกัด (Setting Time) ของวงจรเลือกสัญญาณ ช่วงนี้เป็นเวลาที่ต้องการ หลังจากที่ มี คำสั่งให้สุ่มค่าสัญญาณ สำหรับให้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ทำหน้าที่คงค่าสัญญาณ ทำให้การเก็บประจุไฟฟ้าซึ่งเป็นสัญญาณอินพุตที่เข้ามาในเวลานั้น และเก็บไว้ได้โดยไม่มีการผิดพลาด หรือลดลงก่อนที่จะถึงเวลาที่ทำการคลายประจุไฟฟ้านั้น นอกจากนี้ยังมีคุณลักษณะที่สำคัญอื่นๆ คือ

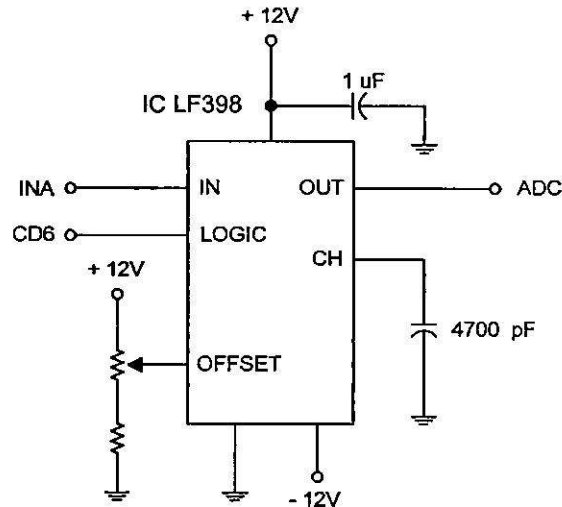
1. การไม่รั่วไหลของแรงดันไฟฟ้าในสภาวะคงค่าสัญญาณ (Hold Mode Droop) คือแรงดันเอาท์พุทที่เปลี่ยนแปลงต่อหน่วยเวลาเมื่อสวิทช์สุ่มค่าสัญญาณเปิดวงจร สาเหตุเนื่องมาจากความไม่มีประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุไฟฟ้า สวิทช์ และกระแสเอาท์พุท

2. การรั่วไหลของแรงดันไฟฟ้าจากทางด้านอินพุต ไปทางด้านเอาท์พุทในสภาวะคงค่าสัญญาณ (Hold Mode Feed Through) เป็นเปอร์เซ็นต์ของสัญญาณอินพุตที่ถ่ายทอดไปยังเอาท์พุทเมื่อสวิทช์สุ่มค่าสัญญาณเปิดวงจร สัญญาณที่รั่วไหลมานี้จะถูกวัดเทียบกับสัญญาณอินพุตในลักษณะสัญญาณไซน์ เฟสของวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณส่วนใหญ่จะมีการเปลี่ยนแปลงในสภาวะสุ่มสัญญาณมาเป็นสภาวะคงค่าสัญญาณ โดยที่ขนาดของแรงดันอินพุตคงที่อยู่ สาเหตุที่เฟสมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการถ่ายประจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไฟฟ้า สังเกตการต่างเฟสจะบอกได้ว่ามีการรั่วไหลมากน้อยเพียงไร

3. ช่วงเวลาหน่วงก่อนเปิดสวิทช์ (Aperture-Delay) เป็นเวลาที่ผ่านไปหลังจากได้รับคำสั่งจนถึงสวิทช์เปิดวงจรจริงๆ โดยทั่วไปจะต้องน้อยกว่าไมโครวินาที

4. การไม่สามารถเปิดสวิทช์ได้ในทันที (Aperture Uncertainty) เป็นเวลาที่เปลี่ยนจากการรับคำสั่งสัญญาณแรกไปรับคำสั่งสัญญาณใหม่ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาหน่วง ซึ่งเป็นขีดจำกัดที่แน่นอน แต่ยังคงทันเวลาของการเปิดสวิทช์ ช่วงเวลานี้จะเป็นเวลาที่ถูกใช้เพื่อหาว่าจะได้เวลาน้อยที่สุดเท่าไรโดยไม่เกิดความผิดพลาด เนื่องจากการรวมกันของสัญญาณอินพุตที่เข้ามาในช่วงเวลาที่สุ่ม

ตัวอย่างการออกแบบวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ ในการออกแบบวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณนี้ แสดงได้ดังรูปที่ 2.12 โดยใช้ไอซีเบอร์ 398 โดยทางอินพุตต่อกับสัญญาณที่ส่งมาจากวงจรขยายสัญญาณเครื่องมือวัด ส่วนทางเอาท์พุทส่งสัญญาณออกไปทางวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล



รูปที่ 2.12 แสดงการทำงานของวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ

การทำงานเริ่มจากสุ่มสัญญาณที่ส่งเข้ามาจากวงจรขยายสัญญาณเครื่องมือวัด เข้ามาทางขาอินพุตไอซีนี้แล้วนำมาเก็บไว้ในตัวเก็บประจุไฟฟ้าขนาด 4700 pF ชนิด Polypophylene เพื่อช่วยคงค่าสัญญาณไว้ให้มีระดับแรงดันคงที่สำหรับใช้ในวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล ส่วนสัญญาณที่ควบคุมให้วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณทำงานหรือไม่ ขึ้นอยู่กับสัญญาณ CD_6 เป็นลอจิก “1” วงจรก็จะอยู่ในสภาวะสุ่มค่าสัญญาณ ซึ่งหมายถึงสัญญาณเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่วงจรขยายสัญญาณเครื่องมือวัด แต่ถ้าสัญญาณ CD_6 เป็นลอจิก “0” วงจรก็จะอยู่ในสภาวะคงค่าสัญญาณ หมายถึงจะรักษาระดับแรงดันของสัญญาณเอาต์พุต ของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลไว้ให้คงที่ ถึงแม้ว่าสัญญาณอินพุตที่วงจรขยายสัญญาณ เครื่องมือวัดจะเปลี่ยนแปลงไปก็ตาม

2.3.4 วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

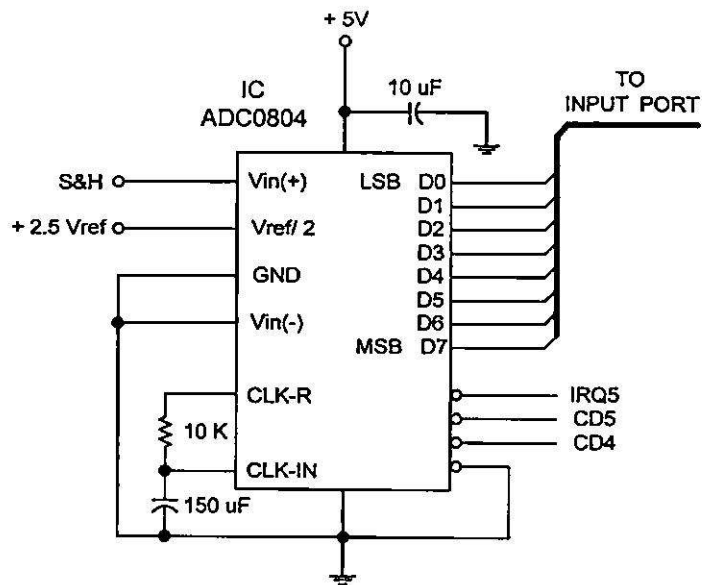
ตัวอย่างการออกแบบวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยใช้ไอซีเบอร์ ADC 0804 สำหรับแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 8 บิต ซึ่งสัญญาณดิจิทัลมีชั้น การเปลี่ยนแปลงได้ทั้งหมด 256 ชั้น และเมื่อสัญญาณอินพุตมีค่า 0 - 5 Vdc ดังนั้นจะได้ค่าระดับแรงดันที่ใช้ในการแปลงสัญญาณมีค่าเท่ากับ $5/256$ หรือ 0.01953 โวลต์ต่อขั้น (V/Step) สำหรับไอซีที่เลือกใช้นี้มีการทำงานเป็นแบบ Successive Approximation ส่วนคุณสมบัติของไอซีเบอร์นี้มีดังนี้คือ ค่าความผิดพลาด ± 1 LSB. และเวลาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณแต่ละครั้ง เท่ากับ 100 μ S สำหรับการสร้างสัญญาณนาฬิกาให้กับวงจรสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$f_{\text{clk}} = 1 \div (1.1 * R * C) \quad (2.18)$$

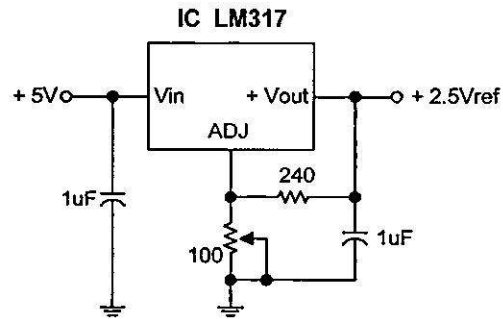
$$= 1 \div (1.1 * 10 * 10^3 * 150 * 10^{-2})$$

$$= 606 \text{ kHz}$$

จากรูปที่ 2.13 แสดงการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล คือทางอินพุตจะรับสัญญาณอะนาลอกระดับแรงดัน 0 - 5 โวลต์ ที่ส่งมาจากวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ และใช้แรงดันอ้างอิง มีค่าเท่ากับ 2.5 Vdc (จากรูปที่ 2.14) ส่วนทางเอาต์พุตจะส่งสัญญาณดิจิทัลขนาด 8 บิต (สัญญาณ $D_0 - D_7$) ออกไปยังช่องรับข้อมูล



รูปที่ 2.13 แสดงการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล



รูปที่ 2.14 แสดงวงจรกำเนิดแรงดันอ้างอิง

การทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลเริ่มจากการรับสัญญาณอะนาลอกเข้ามา แล้วรอจนกว่าสัญญาณควบคุม CD_5 จะเปลี่ยนสถานะจากลอจิก “1” เป็น “0” ส่งเข้ามาที่ขา WR ซึ่งเป็นคำสั่งให้วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลเริ่มทำการแปลงสัญญาณ และเมื่อทำการแปลงสัญญาณเสร็จสิ้นแล้วก็จะส่งสัญญาณออกไปที่ขา INTR (เปลี่ยนสถานะจากลอจิก “1” เป็น “0”) เพื่อบอกให้ระบบรับรู้ และรอสัญญาณควบคุม CD_4 ส่งเข้ามาที่ขา RD ซึ่งเป็นคำสั่งให้ส่งสัญญาณดิจิทัลที่แปลงแล้วออกไปที่ขาข้อมูล ($D_0 - D_7$) และคงค่า (Latch) สัญญาณไว้เพื่อส่งต่อไปยังขาข้อมูล (Data Bus) โดยผ่านทางช่องรับข้อมูล

บทที่ 3

อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์

3.1 บทนำ

องค์ประกอบที่สำคัญในทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ คือระบบการวัดพื้นฐานต่าง ๆ เช่น การวัดอุณหภูมิ ความชื้น ความเป็นกรดด่าง หรือปริมาณของก๊าซต่าง ๆ ซึ่งหากไม่มีอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์นี้แล้ว ความก้าวหน้าในการเก็บข้อมูล และการวิเคราะห์คงเกิดขึ้นได้ยาก เพราะอุปกรณ์เหล่านี้ช่วยให้เกิดความสะดวก และก่อให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงาน เนื่องจากสามารถเปลี่ยนปริมาณทางฟิสิกส์ต่างๆ ไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งสามารถนำไปใช้ ในการวัด การขยายสัญญาณ การส่งต่อสัญญาณ ซึ่งสัญญาณไฟฟ้านี้ช่วยให้เกิดความแม่นยำ และความสม่ำเสมอในการบันทึกข้อมูล ทรานส์ดิวเซอร์จะส่งข้อมูลไปยังวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ในส่วนต่างๆ ซึ่งสามารถนำข้อมูลนั้นมาใช้ได้ในทันที

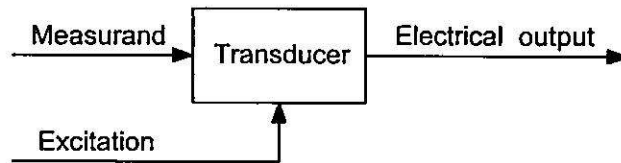
ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ เพื่อเป็นแนวทางในการนำทรานส์ดิวเซอร์ชนิดต่างๆ มาประยุกต์ใช้งาน เริ่มจากการศึกษาระบบการทำงาน หลักการของทรานส์ดิวเซอร์ และคุณสมบัติเฉพาะของทรานส์ดิวเซอร์ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ให้ความหมายของอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์
2. ทราบถึงวิธีการพื้นฐานในการเปลี่ยนรูปสัญญาณของอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ชนิดต่างๆ
3. ทราบถึงข้อจำกัดของอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์แต่ละชนิด

3.1.1 ความหมายของอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์

โดยทั่วไป อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์หมายถึงสิ่งประดิษฐ์ซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานรูปหนึ่งเป็นพลังงานอีกรูปแบบหนึ่ง อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์หมายถึงสิ่งประดิษฐ์เฉพาะด้านส่วนใหญ่เป็นการเปลี่ยนพลังงานกลเป็นสัญญาณไฟฟ้า หรือเปลี่ยนพลังงานอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ, แสง หรือ เสียง เป็นสัญญาณไฟฟ้า อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ควรมีคุณสมบัติดังนี้

1. การรับรู้ถึงค่าต่ำสุด, ค่าปัจจุบัน, ค่าสูงสุด, การเปลี่ยนแปลง และความถี่ของสัญญาณที่ส่งเข้ามา
2. สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้าออกมา ภายหลังจากเกิดกระบวนการต่างๆ ที่เหมาะสม
3. อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ต้องนำสัญญาณที่ตรวจจับได้ไปสู่วงจรรีเลย์ทรอนิกส์เพื่อแปลค่าสัญญาณ และต้องให้ข้อมูลสัญญาณเข้าที่แม่นยำ



รูปที่ 3.1 บล็อกคิโคอะแกรมของอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์

จากรูปที่ 3.1 สัญญาณที่ส่งเข้ามาหมายถึงปริมาณ, คุณภาพ หรือลักษณะ ซึ่งอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์จะทำหน้าที่เปลี่ยนคุณสมบัติต่างๆเหล่านี้ไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า

3.1.2 การแบ่งอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ตามคุณสมบัติทางไฟฟ้า

การแบ่งชนิดทรานส์ดิวเซอร์อาจแบ่งได้จากความสามารถของทรานส์ดิวเซอร์ที่ให้สัญญาณไฟฟ้าออกมาโดยตรง หรือเพียงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่คุณสมบัติทางด้านไฟฟ้าแทน โดยไม่มีสัญญาณไฟฟ้าส่งออกมานอกจากนี้ ทรานส์ดิวเซอร์ยังสามารถแบ่งได้ตามประเภทของการนำไปใช้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณ, คุณภาพ หรือลักษณะของสิ่งที่ต้องการวัด การแบ่งชนิดของทรานส์ดิวเซอร์ให้ชัดเจนลงไปเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก แยกตีบทรานส์ดิวเซอร์ เป็นอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ที่ไม่ต้องการพลังงานจากภายนอกแต่สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้า หรือกระแสไฟฟ้าเมื่อถูกกระตุ้นโดยพลังงานทางฟิสิกส์ พาสซีฟทรานส์ดิวเซอร์ เป็นอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ที่ต้องการพลังงานจากภายนอก และส่งสัญญาณออกในรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานไฟฟ้า หรือความมอดูเลชันของประจุไฟฟ้า

3.1.3 การเลือกอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์

การเลือกใช้อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ นั้นควรเลือกให้เข้ากับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ มีหลักในการพิจารณา 8 ข้อในการเลือกใช้อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์มีดังนี้

1. ย่านการใช้งาน อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ควรมีย่านการใช้งานที่สม่ำเสมอตลอดย่าน
2. ความไว อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ต้องมีความไวเพียงพอในการรับความเปลี่ยนแปลงแล้วให้สัญญาณออกมา
3. การตอบสนองต่อความถี่ และ กำเนิดความถี่ อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์มีความถี่มากเกินความต้องการหรือไม่ อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์สามารถผลิตความถี่ขึ้นได้เองหรือไม่
4. การปรับตามสภาพแวดล้อม อุณหภูมิของอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์, สารกักความร้อน, แรงดัน, แรงกระแทก และปฏิกิริยาสัมพัทธ์ที่มีต่อขนาดและความสูง สิ่งต่างๆเหล่านี้อาจมีผลต่อความถูกต้องเมื่อนำอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ไปใช้งาน

5. ขนาดต่ำสุดที่ตรวจจับได้ อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ที่ดีต้องมีความไวเมื่อเกิดการกระตุ้นเพียงเล็กน้อย และสามารถตรวจวัดค่านั้นได้
6. ความแม่นยำ อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์อาจมีการทำงานซ้ำๆกัน เพื่อคาดเดาค่าความผิดพลาดซึ่งควรจะเกิดขึ้นเท่าๆกันทุกครั้ง
7. ความแข็งแรงในการใช้งาน ความแข็งแรงทางกลและทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ส่งผลต่อขนาดและน้ำหนักซึ่งต้องนำมาพิจารณาประกอบกันว่าควรนำอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์เหล่านั้นมาใช้อย่างไร
8. คุณสมบัติทางไฟฟ้า ต้องใช้ความยาวและเคเบิลชนิดใด สัญญาณจริงต่อสัญญาณรบกวนเป็นอย่างไรเมื่อเชื่อมต่อกับตัวขยายสัญญาณ และความถี่ของการตอบสนองมีข้อจำกัดอย่างไร

3.2 อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ชนิดพื้นฐาน

อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ชนิดพื้นฐานคือ อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ที่นำหลักการพื้นฐานไปใช้ในระบอบที่ต้องการวัดผล อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์จะเปลี่ยนกำลัง หรือปริมาณนั้นๆ ไปเป็นตัวแปรรูปอื่น ตัวอย่างเช่น ทรานส์ดิวเซอร์อุณหภูมิที่ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้า หรือทรานส์ดิวเซอร์ความชื้นที่ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการเก็บประจุไฟฟ้า

3.2.1. ทรานส์ดิวเซอร์อุณหภูมิ อาร์ทีดี

ความต้านทานบางประเภทจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ซึ่งความมากน้อยของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทานประเภทนี้ จะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ความสัมพันธ์อันนี้เป็นแบบคงที่ ปกติการวัดอุณหภูมิสามารถวัดเป็นหลักการพื้นฐานในการวัดอุณหภูมิได้ มีโลหะบางชนิดที่มีคุณสมบัติที่สอดคล้องกับปรากฏการณ์ข้างต้น โลหะชนิดนั้นคือแพลตตินัม แพลตตินัมเหมาะสำหรับทำเป็นตัววัดอุณหภูมิที่ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้า เพราะแพลตตินัมมีช่วงวัดอุณหภูมิที่กว้าง มีความไวในการรับความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเป็น 6 เท่าของทองแดง และมีความเหมาะสมกว่าโลหะประเภทอื่นอีกหลายด้าน เมื่อเปรียบเทียบค่าที่เปลี่ยนแปลงของความต้านทานกับค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ จะพบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงนั้นไม่เป็นเชิงเส้น สามารถผลิตให้เหมาะกับการใช้งาน แม้ว่าแพลตตินัมจะมีราคาแพง แต่ก็จำเป็นที่จะต้องนำไปใช้เพื่อวัดค่าอุณหภูมิ สิ่งสำคัญก็คือความต้านทานที่ผลิตเป็นอุปกรณ์เซนเซอร์อุณหภูมิ จะต้องมิใช่แพลตตินัมเป็นองค์ประกอบ ยังมีเงื่อนไขความเหนียวแน่นทางด้านโครงสร้างอีกที่ต้องคำนึงถึง การรักษาอุณหภูมิให้เหมาะสมในการผลิตจะทำให้ได้เงื่อนไขตามต้องการ อีกปัญหาหนึ่งคือการผลิตแพลตตินัมที่มีคุณสมบัติที่ดีด้วยความเครียดต่ำสุด ความต้านทานที่ใช้เป็นอุปกรณ์เซนเซอร์อุณหภูมิโดยมิใช่แพลตตินัมเป็นส่วนประสมหลักจะมีค่ามาตรฐานกำหนดให้ทราบ เมื่อนำอุปกรณ์เซนเซอร์ไปใช้

งานจะมีเทคนิคในทางปฏิบัติบางอย่างถูกนำมาใช้ เพื่อให้วิธีการวัดนั้นถูกต้องที่สุดซึ่งจะมีผลต่อค่าที่ได้จากการวัดนั้น ซึ่งจะได้อธิบายให้ทราบต่อไป ความสัมพันธ์ของเซนเซอร์ที่ผลิตจากแพลทตินัมต่ออุณหภูมิ สามารถแสดงให้เห็นด้วยสมการที่ 3.1

$$R_t = R_0 (1 + \alpha T) \quad (3.1)$$

R_t = ค่าความต้านทานของลวดโลหะ ที่อุณหภูมิ t °C

R_0 = ค่าความต้านทานของลวดโลหะ ที่อุณหภูมิ 0 °C

α = ค่าสัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ 1 °C ($\Omega / \Omega / ^\circ\text{C}$)

T = อุณหภูมิ (°C)

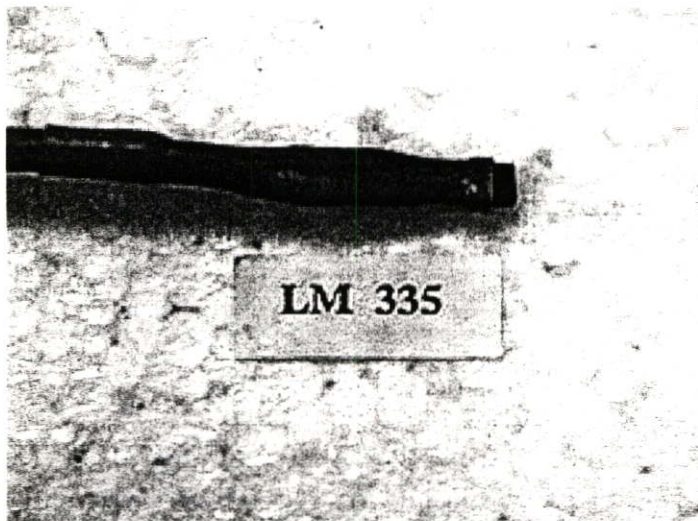


รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์อุณหภูมิ อาร์ทีดี

ค่าของความต้านทานแพลทตินัมที่ใช้เป็นเซนเซอร์อุณหภูมิ ซึ่งผลิตขายในท้องตลาดจะมีตารางมาตรฐานแสดงค่าความต้านทานเทียบกับอุณหภูมิ ตารางนี้ยึดค่าความต้านทาน 100 Ω ที่อุณหภูมิ 0 °C ค่าความต้านทานจะเป็น 0.39 $\Omega / ^\circ\text{C}$ ผู้ที่ใช้ความต้านทานเป็นเซนเซอร์อุณหภูมิที่ทำมาจากแพลทตินัม ควรจะเลือกใช้ให้เหมาะกับวัตถุประสงค์ ปกติจะมีการผลิตเซนเซอร์ชนิดนี้ให้มีย่านการใช้งานกว้าง ไว้ให้เลือกใช้ได้หลายๆแบบ

3.2.2 ทรานส์คิวเซอร์อุณหภูมิ ไอซีแอลเอ็ม 335

ไอซีแอลเอ็ม 335 เป็นวงจรรวม ใช้เป็นอุปกรณ์ทรานส์คิวเซอร์อุณหภูมิในย่านศูนย์องศาเซลเซียสถึงหนึ่งร้อยองศาเซลเซียส ตัวอุปกรณ์ถูกผลิตมาสองลักษณะคือ แบบตัวถังเป็นพลาสติกแอลเอ็ม 335 แซด และแบบตัวถังเป็นโลหะแอลเอ็ม 335 เฮส ทั้งสองมีขาต่อใช้งานภายนอกสามขา ได้แก่ ขาไฟบวก ขากราวด์ และขาปรับแต่ง แรงดันเอาต์พุตจากวงจรรภายในของอุปกรณ์แอลเอ็ม 335 จะแปรโดยตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10 มิลลิโวลต์ต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียสในย่านอุณหภูมิที่ออกแบบมาให้ใช้งานเราสามารถต่อตัวอุปกรณ์ความต้านทานกับขาไฟบวกของแอลเอ็ม 335 เพื่อเป็นการจำกัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอุปกรณ์แอลเอ็ม 335



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ทรานส์คิวเซอร์อุณหภูมิ ไอซีแอลเอ็ม 335

จากค่าไดนามิกอิมพีแดนซ์ที่ขนาดกระแสไฟฟ้า 1 มิลลิแอมป์จะมีค่า 0.6 โอห์ม ดังนั้น อุปกรณ์แอลเอ็ม 335 จึงสามารถใช้งานได้ในช่วงกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ 400 ไมโครแอมป์ถึง 5 มิลลิแอมป์ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ ข้อดีของอุปกรณ์แอลเอ็ม 335 อันหนึ่งคือเอาต์พุตที่ออกมาเป็นเชิงเส้นเพราะส่วนใหญ่แล้วทรานส์คิวเซอร์อุณหภูมิจะให้เอาต์พุตไม่เป็นเชิงเส้นกับอุณหภูมิ สำหรับข้อเสียก็มีเช่นเดียวกับทรานส์คิวเซอร์อุณหภูมิประเภทอื่นๆ คืออุณหภูมิที่สูงขึ้นภายในตัวอุปกรณ์อันเนื่องมาจากมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ผลเสียนี้มีผลต่อค่าแรงดันเอาต์พุต ดังนั้นควรจะให้ อุปกรณ์แอลเอ็ม 335 ทำงานที่ขนาดกระแสไฟฟ้าต่ำสุดเท่าที่จะทำได้ โดยวงจรรภายในอุปกรณ์แอลเอ็ม 335 ยังคงทำงานได้ ซึ่งขนาดกระแสไฟฟ้านั้นมีค่าประมาณ 400 ไมโครแอมป์

3.2.4. อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ความชื้นสัมพัทธ์

อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ความชื้นสัมพัทธ์ทางไฟฟ้าอาศัยหลักการของตัวเก็บประจุไฟฟ้า เมื่อความสามารถในการเก็บประจุไฟฟ้า มีค่าผกผันกับพื้นที่ของเพลท (A) และระยะห่างระหว่างเพลท (d) ดังนั้นค่าต่างๆ ของตัวแปรทั้งสองย่อมก่อให้เกิดความสามารถในการเก็บประจุที่แตกต่างกัน ความสามารถในการเก็บประจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแสดงได้ตามสมการที่ 3.2

$$C = kA\epsilon_0/d \text{ มีหน่วยเป็น ฟารัด (farads)} \quad (3.2)$$

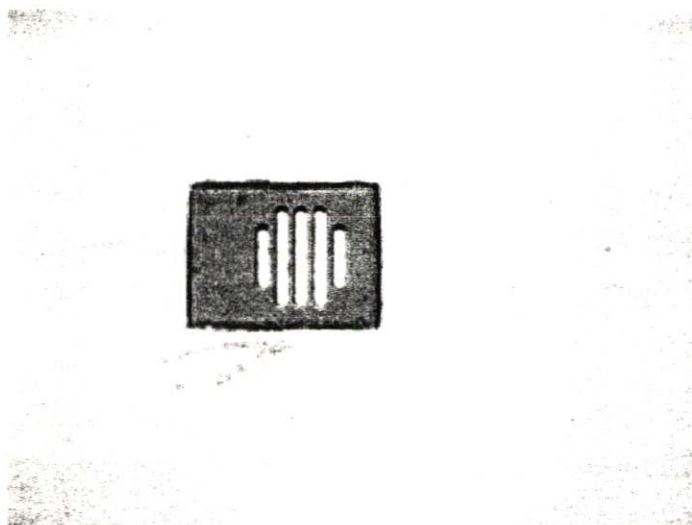
$$C = \text{ตัวเก็บประจุไฟฟ้า (ฟารัด)}$$

$$k = \text{ค่าคงที่ของสารไดอิเล็กตริก}$$

$$A = \text{พื้นที่ของเพลท (ตารางเมตร)}$$

$$\epsilon_0 = 8.854 * 10^{-12} \text{ (ฟารัด ต่อ เมตร)}$$

$$d = \text{ระยะห่างระหว่างเพลท (เมตร)}$$

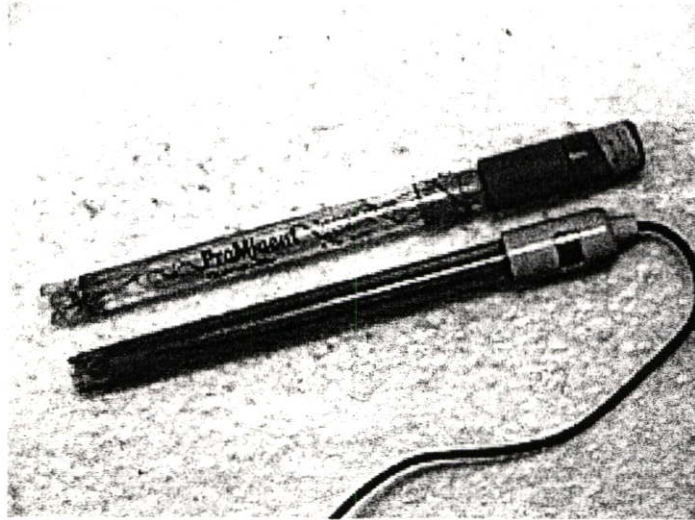


รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ความชื้นสัมพัทธ์

ในทางปฏิบัติความสามารถในการเก็บประจุไฟฟ้าจะเปลี่ยนไปได้ในสองกรณี คือ มีการเปลี่ยนระยะห่างระหว่างเพลท หรือมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของสารไดอิเล็กตริก เช่นสารไดอิเล็กตริกมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความชื้นที่เพิ่มขึ้น ฯลฯ

3.2.4. ทรานส์ดิวเซอร์ไฮโดรเจนไอออน หรือทรานส์ดิวเซอร์ค่าพีเอช

ทรานส์ดิวเซอร์ค่าพีเอชใช้วัดค่ากรดหรือด่าง มักเป็นแท่งแก้วซึ่งเป็นขั้วที่ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าโดยแปรตามปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนของสารละลายและถูกส่งให้วงจรวัดค่าแรงดันไฟฟ้า จากนั้นจึงจะแปลงเป็นค่ากรดหรือด่างอีกครั้งหนึ่ง ที่ทรานส์ดิวเซอร์ประกอบไปด้วยกระเปาะแก้วชนิดพิเศษซึ่งมีความไวต่อไฮโดรเจนไอออน ภายในขั้วจะบรรจุสารละลายบัฟเฟอร์



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ไฮโดรเจนไอออน หรือทรานส์ดิวเซอร์ค่าพีเอช

ที่เรียกว่า บัฟเฟอร์ โซลูชัน ซึ่งมีค่าความเป็นกรดค่าคงที่ (ประมาณพีเอช 7) อยู่ตลอดเวลาสารละลายนี้ได้แก่สารละลายโพตัสเซียมคลอไรด์อิ่มตัว ในสารละลายนี้จะมีขั้วไฟฟ้าจุ่มอยู่ ขั้วไฟฟ้ามักทำด้วยเงิน ซึ่งจะฉาบด้วยเงินคลอไรด์การทำงานของทรานส์ดิวเซอร์เป็นดังนี้ เมื่อทรานส์ดิวเซอร์ถูกจุ่มอยู่ในสารละลายที่จะทำการวัดค่าความเป็นกรดค่าคงที่จะเกิดศักย์ไฟฟ้าขึ้นระหว่างผิวทั้งสองด้านของกระเปาะแก้วซึ่งคั่นระหว่างสารละลาย บัฟเฟอร์ โซลูชัน ภายในหลอดแก้วกับสารละลายภายนอกหลอดแก้วนั้น ศักย์ไฟฟ้านี้จะแปรตามอัตราส่วนของความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนของสารละลายทั้งสอง ถ้าสารละลายทั้งสองมีค่าความเป็นกรดค่าเท่ากัน ศักย์ไฟฟ้านี้จะมีค่าเป็นศูนย์ ถ้าสารละลายที่วัดมีค่าความแตกต่างของพีเอชมากกว่า 7.0 ศักย์ไฟฟ้าจะมีค่าเป็นลบ และในทางตรงกันข้ามถ้าสารละลายมีค่าพีเอชน้อยกว่า 7.0 ศักย์ไฟฟ้าจะมีค่าเป็นบวก ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างในแก้วกับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนจะมีความสัมพันธ์กัน ทรานส์ดิวเซอร์วัดค่าและทรานส์ดิวเซอร์เปรียบเทียบกับค่าเมื่อจุ่มลงในสารละลาย จะทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองซึ่งจะแปรตามค่าพีเอชศักย์ไฟฟ้านี้จะมีค่า 59.1 มิลลิโวลต์ ต่อพีเอช ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส วงจรวัดจะทำหน้าที่ขยายศักย์ไฟฟ้านี้และแปลงค่า เป็นพีเอชเพื่อแสดงค่าออกมา เนื่องจากศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่าง

กระเปาะแก้วในขวดนี้ มีค่าความต้านทานขาออกสูงมาก ดังนั้นถ้าวงจรขยายมีค่าความต้านทานขาเข้าสูงไม่พอ จะทำให้เกิดกระแสไหลในวงจร จากขั้ววัดและขั้วเปรียบเทียบเข้าสู่วงจรจะทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้เกิดความผิดพลาดได้

บทที่ 4

คำสั่งการทำงานของระบบการวัดระยะไกลโดย ไมโครคอนโทรลเลอร์

4.1 บทนำ

ระบบการวัดระยะไกลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สร้างขึ้นนี้ มีส่วนประกอบหลักสองส่วนคือ ชุดอุปกรณ์ทรานส์มิชเชอร์ประเภทต่าง ๆ และวงจรขยายคั้งที่กล่าวมาในบทที่ 3 ส่วนที่สองคือบอร์ดควบคุมซึ่งมีจอแสดงผลและอุปกรณ์บันทึกค่าประกอบรวมอยู่ด้วย สิ่งสำคัญของส่วนที่สองคือไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ 89C51 เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานซึ่งต้องมีการเขียนคำสั่งเพื่อให้อุปกรณ์นี้ทำตามคำสั่งต่าง ๆ ที่เขียนไว้ไปใช้ควบคุมการทำงานอุปกรณ์ร่วมอื่นๆ อีกทีหนึ่ง

4.2 คำสั่ง

โครงสร้างคำสั่งของระบบการวัดระยะไกลนี้มีการทำงานหลักอยู่ 2 ส่วน คือ

4.2.1 ส่วนของโปรแกรมหลักแสดงในรูปที่ 4.1

4.2.2 ส่วนของโปรแกรมอินเตอร์รัฟฟ์แสดงในรูปที่ 4.2

4.2.1.โปรแกรมหลัก

เป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นของอุปกรณ์ที่ใช้ ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล การกำหนดอัตราบอร์คเพื่อติดต่อ สำหรับการรับส่งข้อมูลอนุกรม การกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับส่วนแสดงผลจอแอลซีดี และการกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ที่จะใช้ในโปรแกรม ในรูปที่ 4.1 โปรแกรมหลักจะมีโปรแกรมย่อยต่าง ๆ ดังนี้

1. โปรแกรมย่อยอ่านค่าฐานเวลาจริง ทำหน้าที่อ่านค่าเวลาจากอุปกรณ์เรียลไทม์คล็อก เบอร์ DS1307

2. โปรแกรมย่อยส่วนแสดงผล ทำหน้าที่แสดงสถานะต่าง ๆ ของโปรแกรมพร้อมทั้งเวลาและวันที่ แสดงในรูปที่ 4.3

3. โปรแกรมย่อยอ่านคีย์บอร์ด ทำหน้าที่อ่านค่าจากคีย์ที่กด มีด้วยกันทั้งหมด 9 คีย์ คือ

“SETUP” เพื่อตั้งค่าให้โปรแกรมต่างๆ

“REVIEW” เพื่อแสดงผลค่าที่เก็บไว้ในหน่วยความจำ

“PRINT” เพื่อให้พิมพ์รายงานออกสู่เครื่องพิมพ์

“←” เพื่อเลื่อนตำแหน่งไปทางซ้าย

- “→” เพื่อเลื่อนตำแหน่งไปทางขวา
- “↑” เพื่อเลื่อนตำแหน่งขึ้นบน
- “↓” เพื่อเลื่อนตำแหน่งลงล่าง
- “FNC/ESC” เพื่อทำคำสั่งโปรแกรมหรือเอสเคป
- “Ent” “Enter” เพื่อทำคำสั่งหยุดหรือจบ

4. โปรแกรมย่อยเพื่อตรวจสอบการกดคีย์ การทำงานเป็นขั้นตอนตามรูปที่ 4.4 และมีลำดับขั้นการทำงานต่าง ๆ ดังนี้

ลำดับขั้นที่หนึ่งตั้งค่าของระบบ “SETUP” ทำหน้าที่กำหนดค่าต่าง ๆ ในโปรแกรม มีการทำงานเป็นลำดับตามรูปที่ 4.5 โปรแกรมการทำงานมีดังต่อไปนี้

- ขั้นตอนการแก้ไขข้อมูลของหน่วยงาน “SiteInfo”
 - Name คือ ชื่อของหน่วยงานหรือชื่อของงานที่ใช้ในการบันทึก
 - Number คือ ค่าตัวเลขอาจจะเป็นครั้งที่บันทึก เช่น 15/2543 เป็นต้น
 - Address คือ ที่อยู่ของสถานที่วัดหรือบันทึก
 - Tel คือ เบอร์โทรศัพท์
 - Fax คือ เบอร์แฟกซ์
- ขั้นตอนการกำหนดค่าเวลา “Steptime” ทำหน้าที่กำหนดเวลาในการเก็บค่า หรือเวลาของรอบในการเก็บค่าข้อมูล เช่น ตั้งไว้ที่ 1 วินาที หมายถึงทุกๆ 1 วินาทีจะมีการเก็บค่าไว้ในหน่วยความจำ ครั้งละ 1 การบันทึก (จาก 8 ช่องสัญญาณ)
- ขั้นตอนการปรับความถูกต้อง “Calibrations” มีการทำงานเป็นลำดับตามรูปที่ 4.6 โปรแกรมนี้ใช้ในการ ตั้งค่าต่าง ๆ ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมมีดังต่อไปนี้
 - การกำหนดชื่อในแต่ละ ช่องอินพุต เช่น อินพุตช่องที่หนึ่งชื่อ “Temp1” หรือ “RTD1” เป็นต้น
 - การกำหนดค่าโหมคในแต่ละช่องอินพุต เช่น “Zero/Span” หรือ “Range/Offset”
 โหมคการทำงานคือ
 - โหมคที่ 1 “Zero/Span” เป็นการกำหนดค่าแสดงผล ตามสมการเส้นตรง

$$Y = MX + C \quad (4.1)$$

$$\text{จะได้ Display} = \text{Span} \cdot \text{Vin} + \text{Zero} \quad (4.2)$$

- เมื่อ
- “Display” คือค่าที่ใช้ในการบันทึกและแสดงผล
 - “Span” คือค่าที่ตั้งค่าใน โปรแกรม “Zero/Span”
 - “Zero” คือค่าที่ตั้งค่าใน โปรแกรม “Zero/Span”

“ V_{in} ” คือค่าแรงดันอินพุตที่เข้ามายังวงจรแปลงสัญญาณ
 อนุบาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล มีค่า (0V-5V)
 -โหมดที่ 2 “ Range/Offset ” มีการแสดงผลดังนี้

$$\text{Display} = [[(\text{DSP}_{\max} - \text{DSP}_{\min}) / (V_{\max} - V_{\min})] \bullet (V_{in} - V_{\min})] + \text{DSP}_{\min} \quad (4.3)$$

เมื่อ “ Display ” คือค่าที่ใช้ในการบันทึกและแสดงผล
 “ DSP_{\max} ” คือค่าที่ตั้งใน โปรแกรม “ Range/Offset ”
 เพื่อให้ “ Display ” แสดงผลสูงสุด
 “ DSP_{\min} ” คือค่าที่ตั้งใน โปรแกรม “ Range/Offset ”
 เพื่อให้ “ Display ” แสดงผลต่ำสุด
 “ V_{\max} ” คือค่าที่ตั้งใน โปรแกรม “ Range/Offset ”
 เมื่อ “ V_{in} ” เข้ามาสูงสุดเพื่อให้ “ Display ” แสดงผลสูงสุดตามที่ตั้งไว้
 ใน “ DSP_{\max} ”
 “ V_{\min} ” คือค่าที่ตั้งใน โปรแกรม “ Range/Offset ”
 เมื่อ “ V_{in} ” เข้ามาต่ำสุดเพื่อให้ “ Display ” แสดงผลต่ำสุดตามที่ตั้งไว้
 ใน “ DSP_{\min} ”
 “ V_{in} ” คือค่าแรงดันอินพุตที่เข้ามายังวงจรแปลงสัญญาณ
 อนุบาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล มีค่า (0V-5V)

- การกำหนดค่า “ Zero/Span ” ในแต่ละช่องอินพุต เช่น Zero = 1.00 , Span = 0.005

- กำหนดค่า “ Range/Offset ” ในแต่ละช่องอินพุต เช่น $V_{\min} = 1.00 \text{ V}$, $V_{\max} = 3.00 \text{ V}$

$\text{DSP}_{\min} = 0.00$, $\text{DSP}_{\max} = 100.00$

- การกำหนดหน่วยของแต่ละช่องอินพุต เช่น อุณหภูมิกำหนดหน่วยเป็น $^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$ หรือ $^{\circ}\text{K}$

● ขั้นตอนการกำหนดค่าในส่วนใช้งานเสริม “ Utility ” มีการทำงานเป็นลำดับตามรูปที่ 4.7
 ลำดับขั้นการทำงานมีดังนี้

- การกำหนดค่าเวลาให้แก่ฐานเวลาจริง

- การกำหนดค่า วัน/เดือน/ปี ให้แก่ฐานเวลาจริง

- การกำหนดค่าอัตราบอร์คติดต่อการรับส่งข้อมูลอนุกรม

- การกำหนดค่า “ default ”

ลำดับขั้นที่สองการแสดงค่าที่บันทึกไว้ “ REVIEW ” มีการทำงานเป็นลำดับตามรูปที่ 4.8
 ลำดับขั้นการทำงานมีดังนี้

- การแสดงผลค่าที่วัดได้ปัจจุบัน

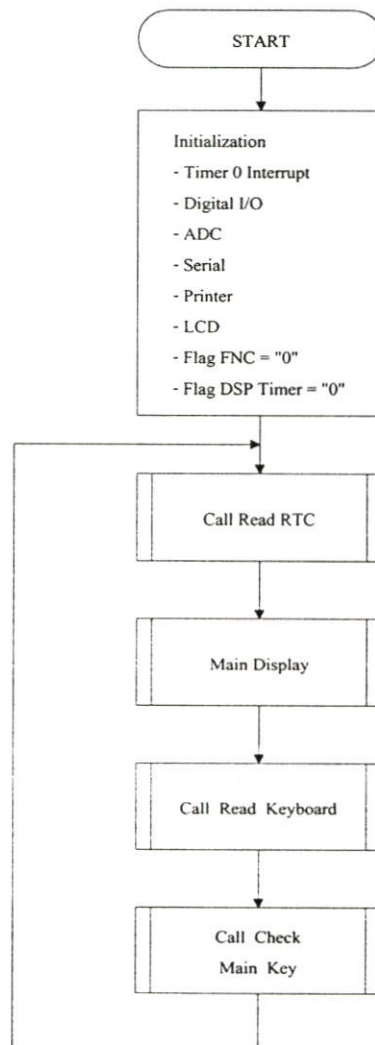
- การแสดงผลค่าที่ได้บันทึกไว้แล้ว

ลำดับขั้นที่สามการสั่งพิมพ์ “ PRINT ” มีการทำงานเป็นลำดับตามรูปที่ 4.9 ลำดับขั้นการทำงานมีดังนี้

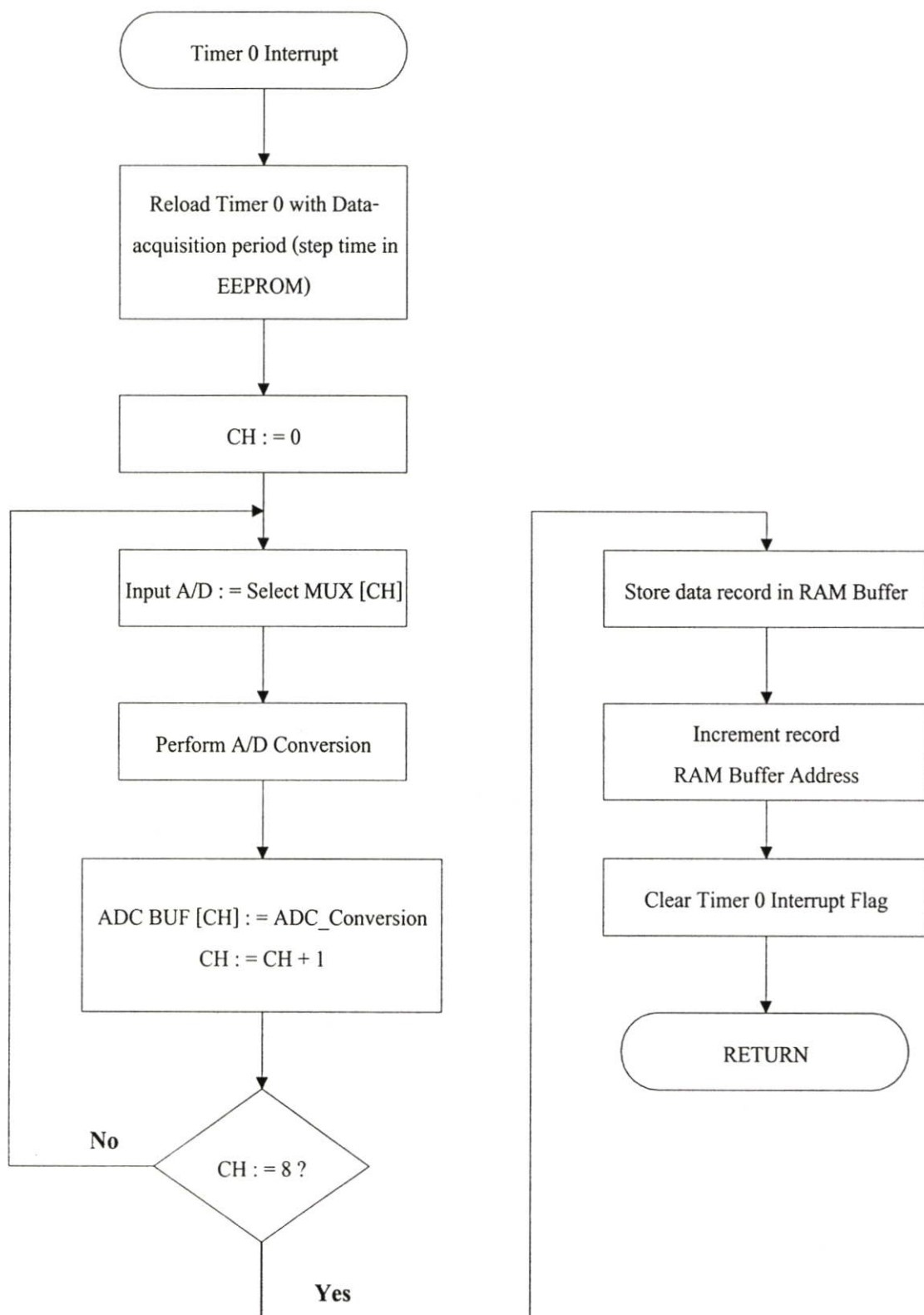
- การสั่งพิมพ์รายงานค่าที่วัดได้ปัจจุบัน
- การสั่งพิมพ์รายงานค่าที่ได้บันทึกไว้แล้ว
- การสั่งพิมพ์รายงานค่า ตามตำแหน่งที่ตั้งไว้

4.4.2. โปรแกรมอินเทอร์รัพท์

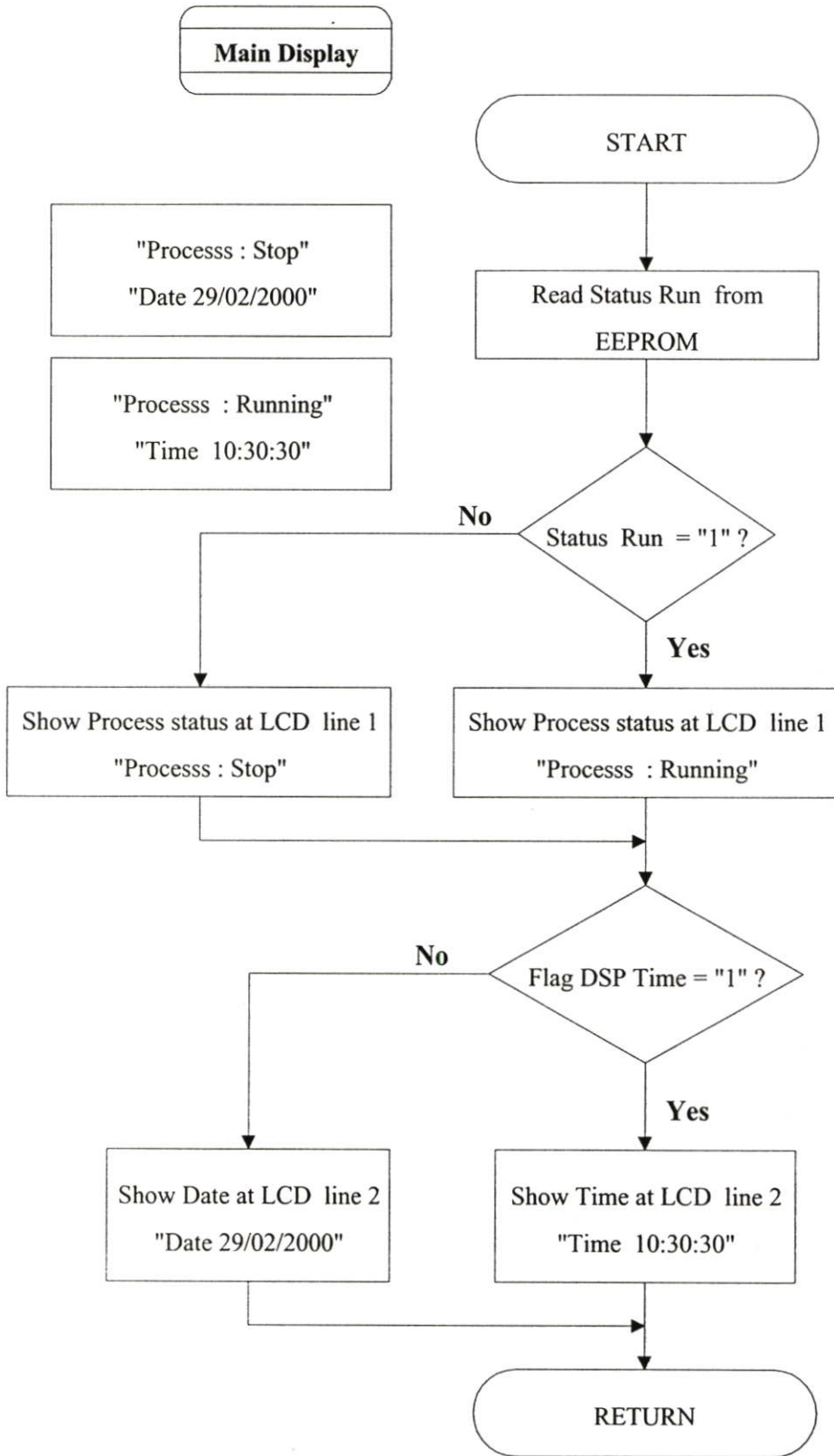
มีการทำงานเป็นลำดับตามรูปที่ 4.2 ซึ่งทำหน้าที่อ่านค่าจากวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล จากทั้ง 8 ช่องสัญญาณอินพุต เพื่อไปบันทึกไว้ยังหน่วยความจำซึ่งสามารถกำหนดวงรอบการบันทึกได้ใน โปรแกรมย่อยกำหนดค่าเวลา “Steptime” ซึ่งเป็นค่า “Reload” ของไทมเมอร์ศูนย์นั่นเอง



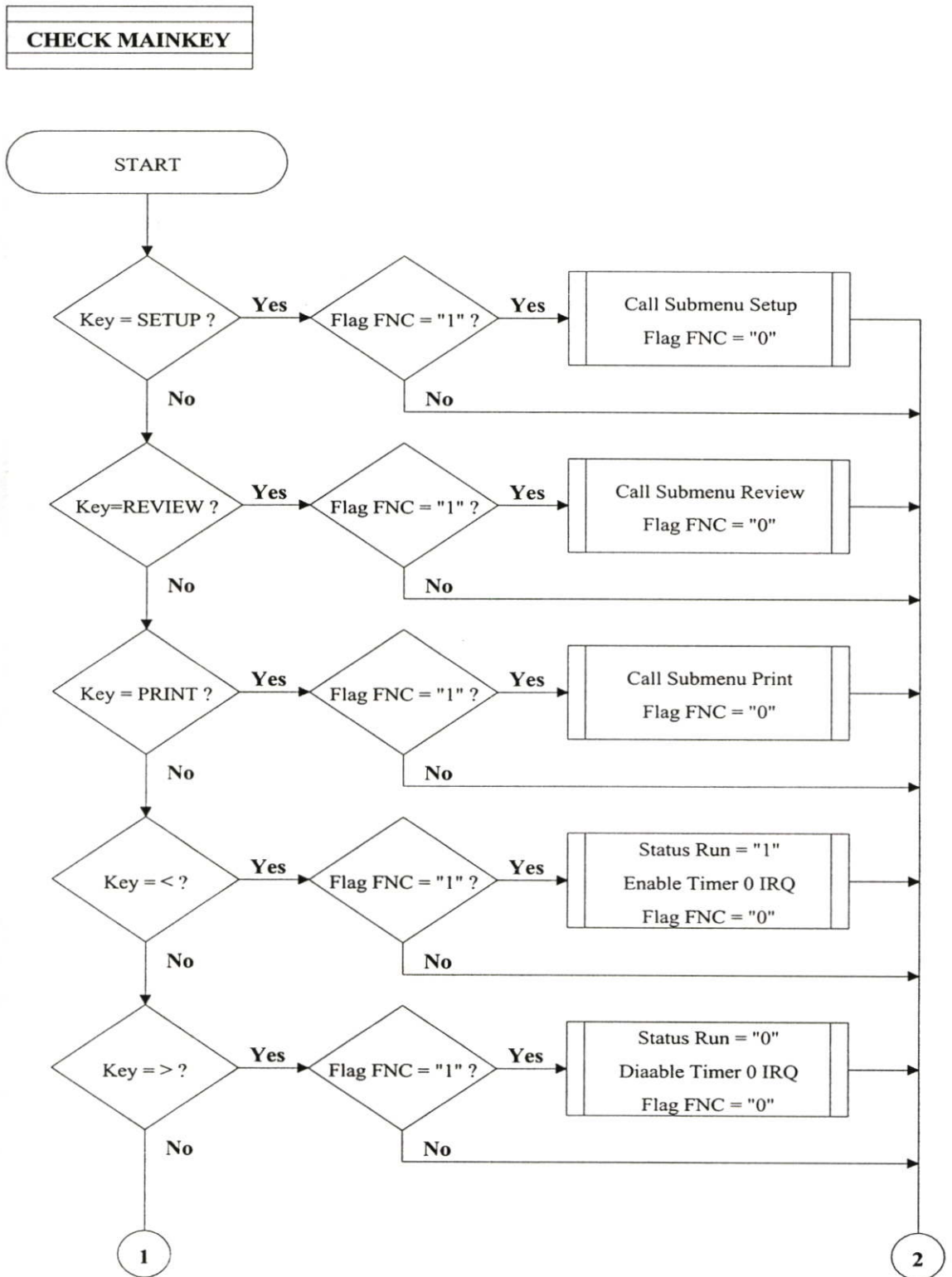
รูปที่ 4.1 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก



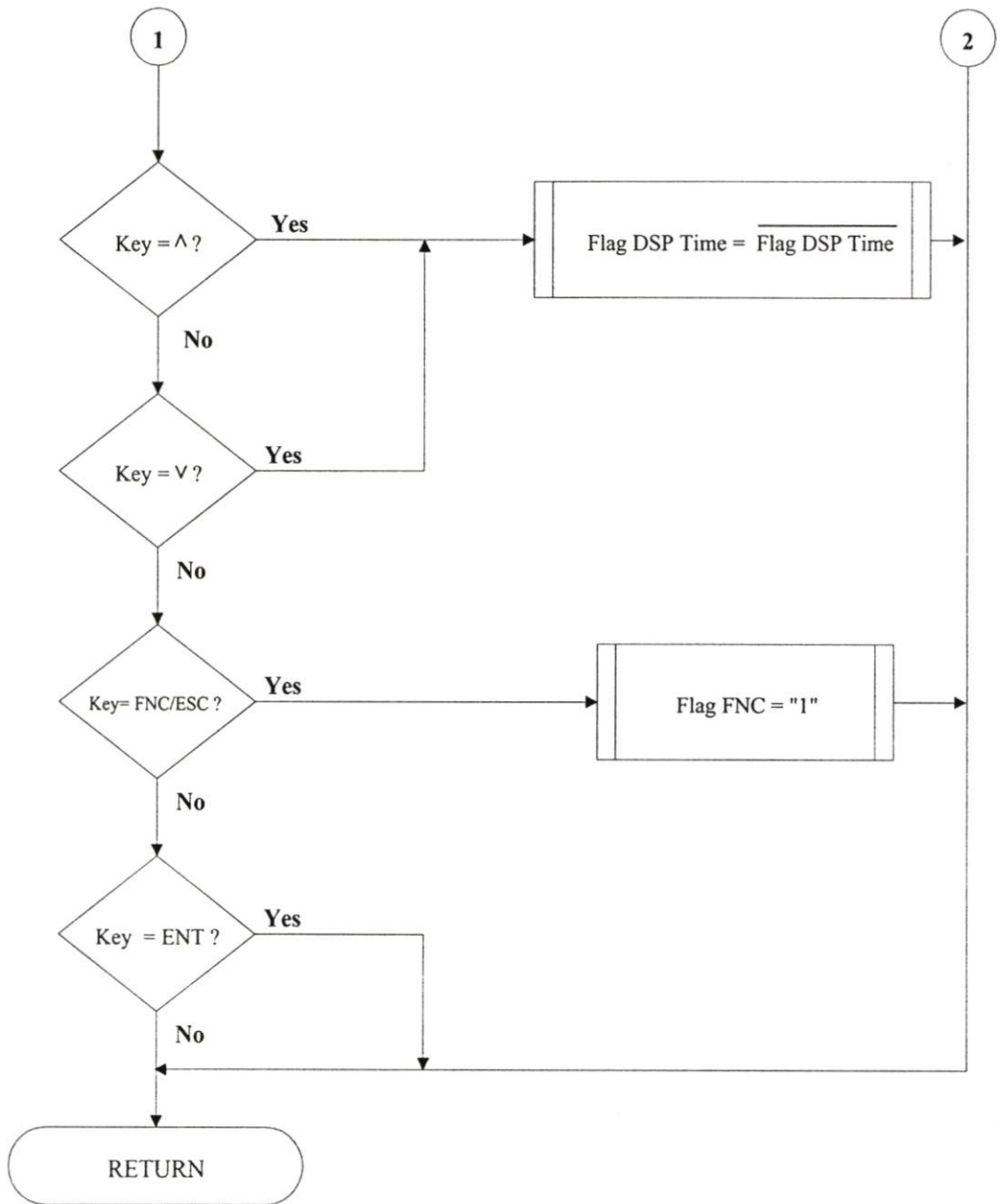
รูปที่ 4.2 โพล์วชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมอินเตอร์รัพท์



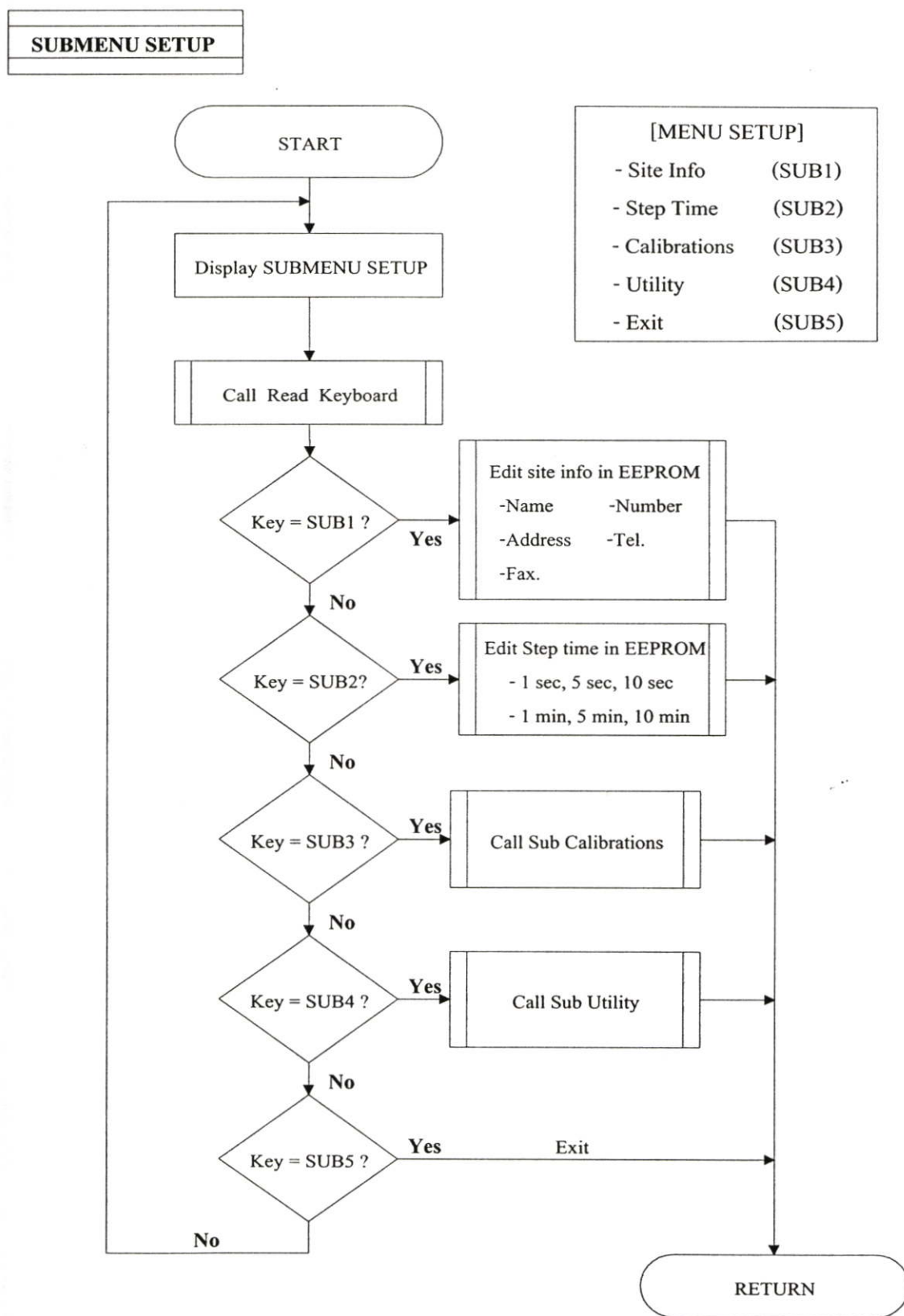
รูปที่ 4.3 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อยส่วนแสดงผล



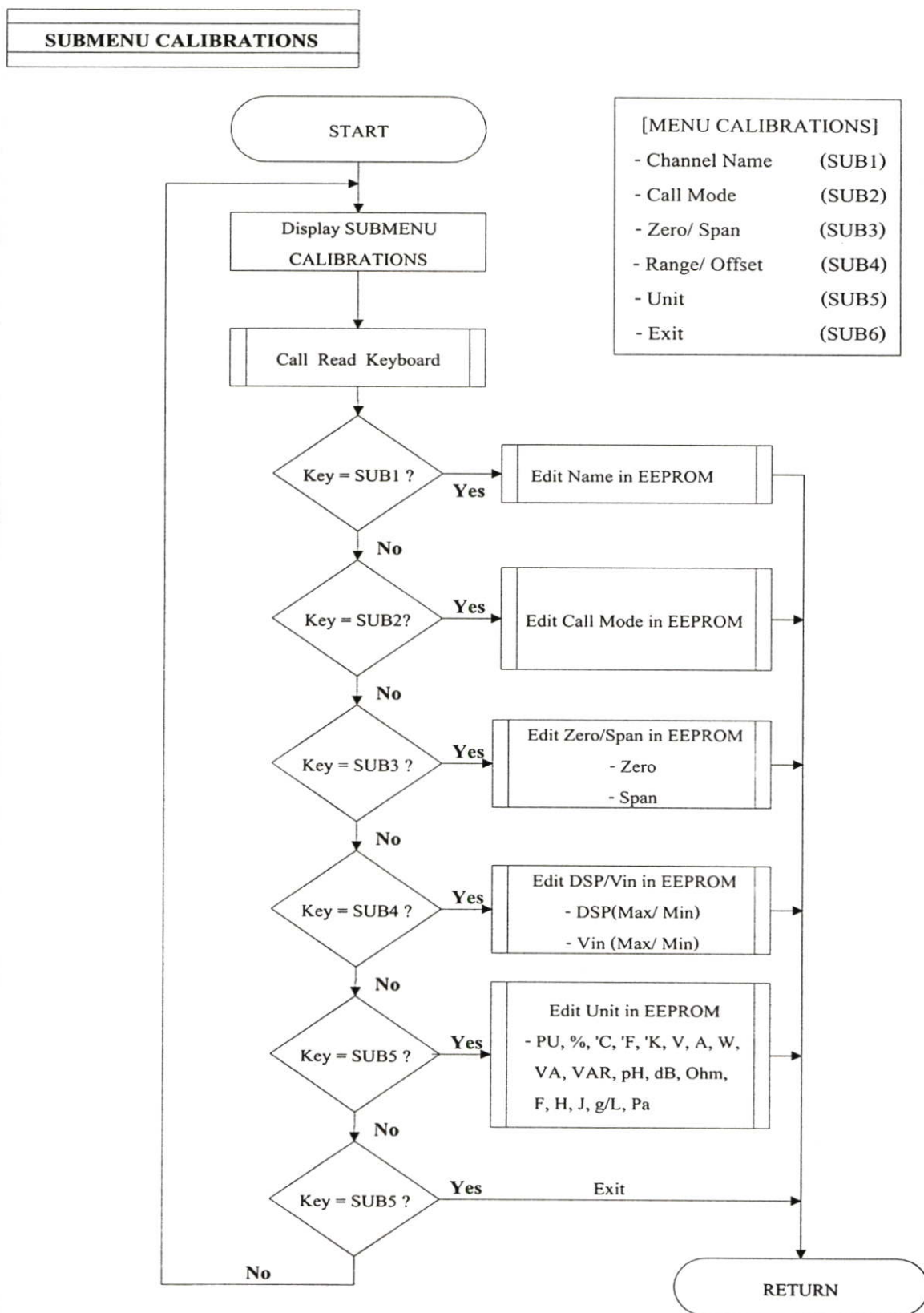
รูปที่ 4.4 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อยเพื่อตรวจสอบการกดคีย์



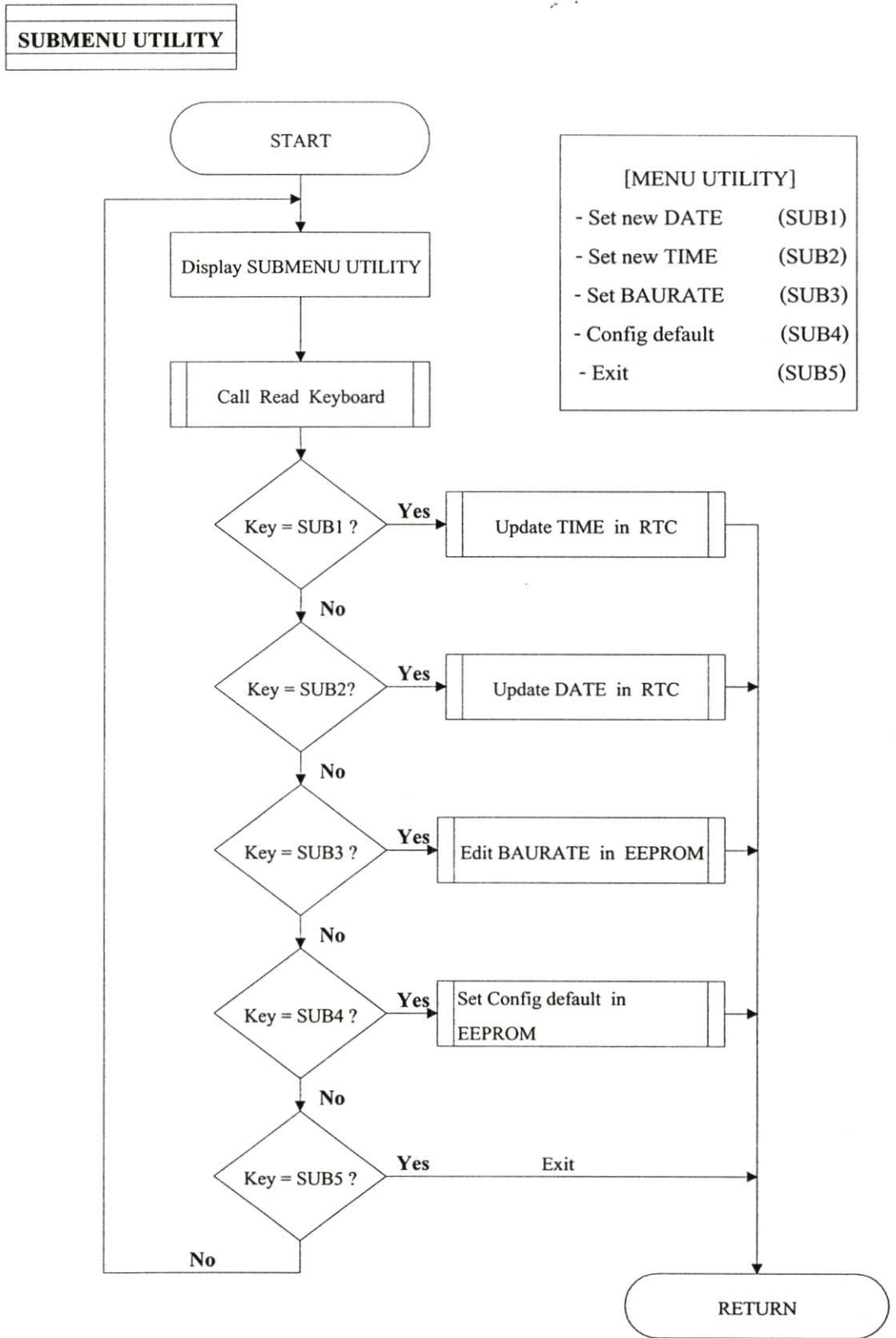
รูปที่ 4.4 (ต่อ) โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อยเพื่อตรวจสอบกดคีย์



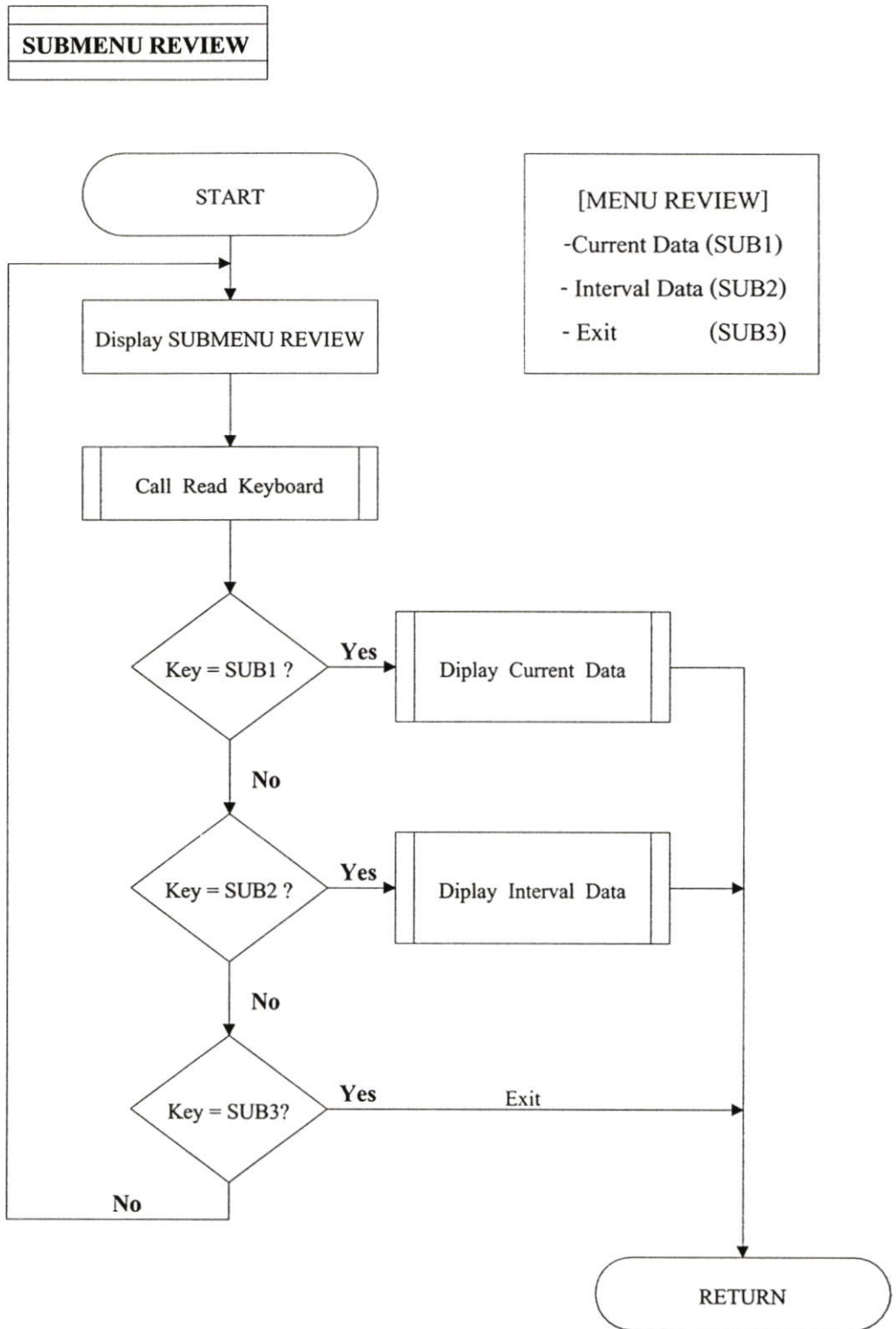
รูปที่ 4.5 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อยส่วนปรับตั้งค่า



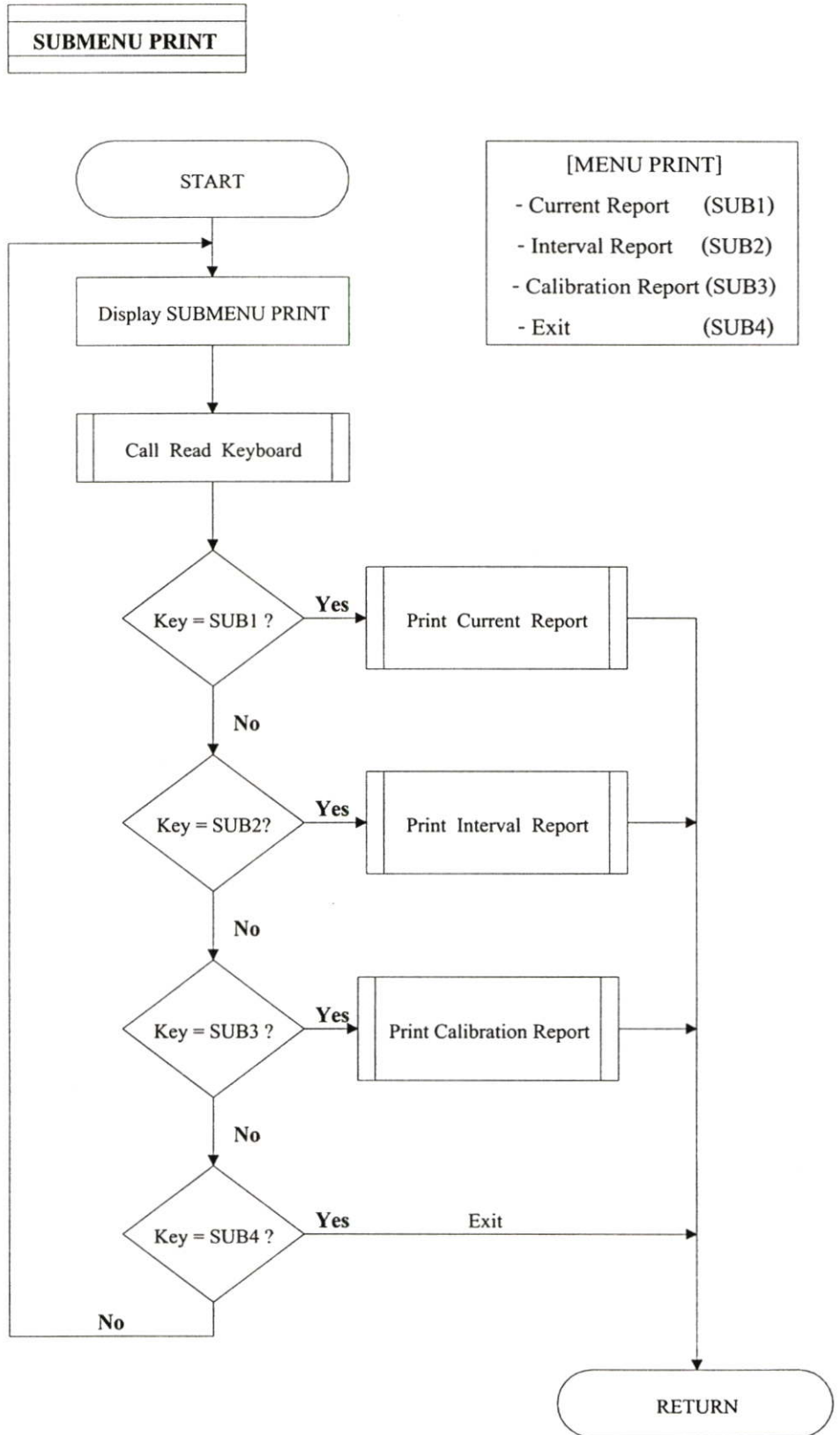
รูปที่ 4.6 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อยส่วนปรับความถูกต้อง



รูปที่ 4.7 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อยส่วนใช้งานเสริม

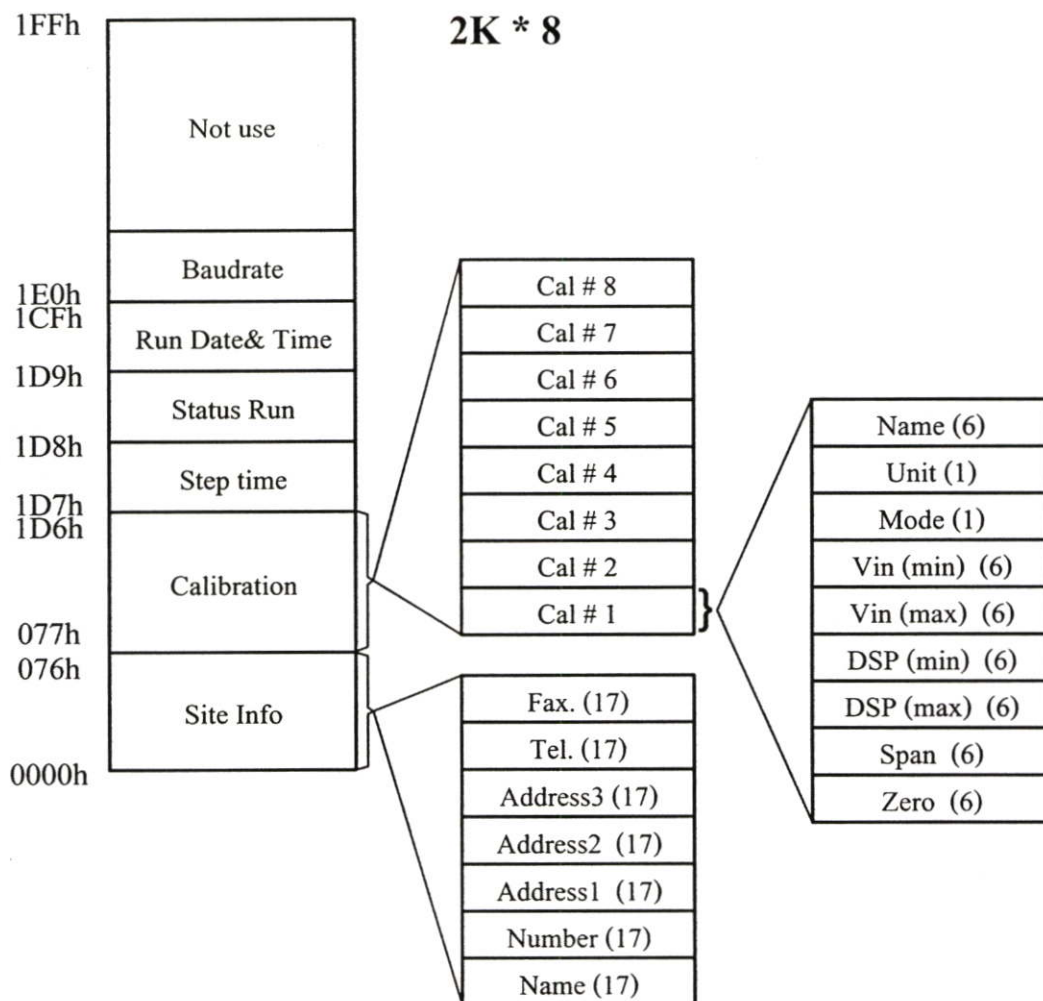


รูปที่ 4.8 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อยการแสดงค่าที่บันทึกไว้



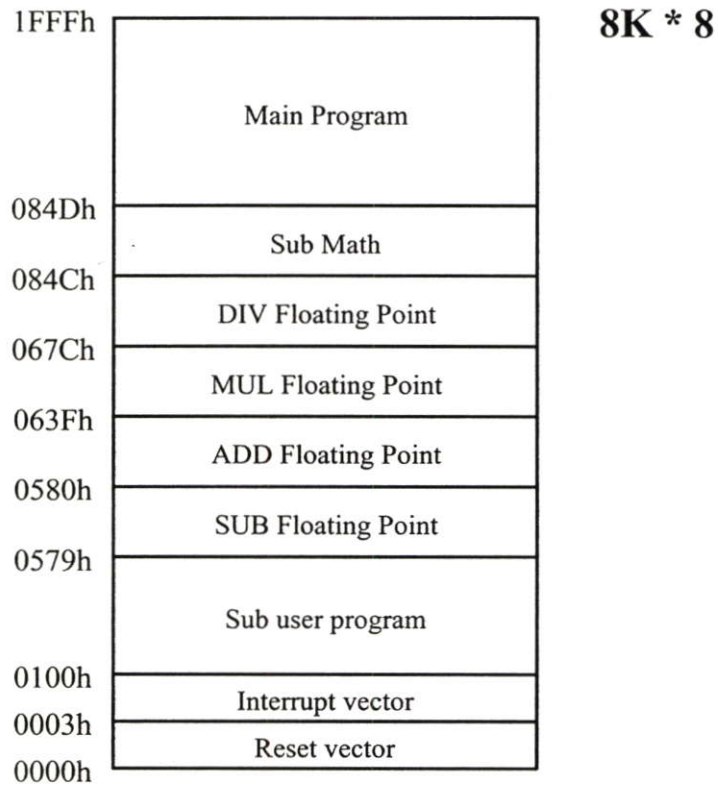
รูปที่ 4.9 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อยส่วนการพิมพ์

EEPROM Memory



รูปที่ 4.10 แสดงช่วงแอดเดรสที่ขยายของส่วนการเก็บค่าของหน่วยความจำใช้งาน

Program Memory



รูปที่ 4.11 แสดงช่วงแอดเดรสที่ขยายของส่วนคำสั่งหลัก

บทที่ 5

การส่งสัญญาณระยะไกล

5.1 บทนำ

การส่งสัญญาณระยะไกลในระบบเครื่องมือวัดมีสองรูปแบบคือ แบบอะนาล็อกและแบบดิจิทัล การส่งสัญญาณแบบอะนาล็อกที่นิยมใช้กันคือรูปกระแส ใช้สัญญาณมาตรฐาน 4-20 มิลลิแอมป์ สำหรับแบบดิจิทัลส่วนใหญ่เป็นการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมใช้มาตรฐาน อาร์เอส-485 เป็นต้น ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะการส่งสัญญาณแบบรูปกระแสเท่านั้น

5.2 การแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า

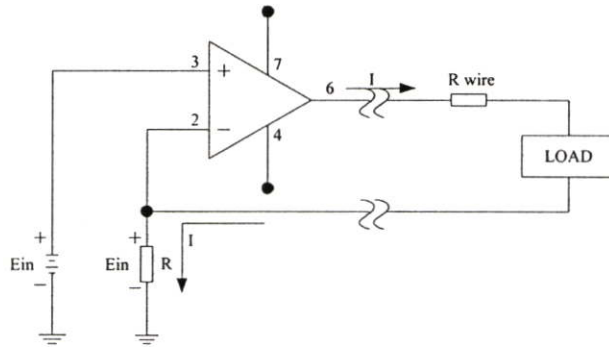
การแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า จะใช้อุปกรณ์ออปแอมป์มาใช้งานเป็นวงจรสนับสนุนการส่งสัญญาณ เนื่องจากเอาต์พุตที่ออกมาจากวงจรขยายสัญญาณเครื่องมือวัดจะอยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้าซึ่งไม่สามารถส่งสัญญาณเอาต์พุตไปได้ไกล เพราะจะเกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมในสายส่งสัญญาณ ส่งผลให้ที่ปลายทางไม่ได้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าในระดับที่ถูกต้อง เพื่อแก้ปัญหาจึงใช้วิธีการส่งสัญญาณในรูปของกระแสไฟฟ้า เพราะกระแสที่ส่งไปในสายนั้นจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงแม้ว่าค่าความต้านทานในสายจะเพิ่มขึ้นตามความยาวสาย การแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ แบบโหลดลอย และแบบโหลด ลงกราวด์

5.2.1 การแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าแบบโหลดลอย

เป็นวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับโหลด มีดีข้อคือเมื่อโหลดไม่ต่ออยู่กับกราวด์ วงจรชนิดนี้จะช่วยลดการเกิดสัญญาณรบกวนจากรูปที่ 5.1 เป็นวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าแบบง่าย ๆ การต่อวงจรเป็นชนิดป้อนกลับแบบลบ โดยที่โหลดความต้านทานจะต่ออยู่ระหว่างลูป กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหนดนั้นสามารถหาได้จากสมการที่ 5.1

$$I = e_m / R \quad (5.1)$$

เนื่องจากความต้านทานภายในของออปแอมป์มีค่าสูงมาก จึงไม่มีกระแสไหลผ่านขาสัญญาณอินพุตของออปแอมป์ ส่งผลให้ระหว่างขาอินพุตทั้งสองไม่มีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเสมือนเป็นกราวด์เทียมจึงได้ว่า e_m ไปปรากฏที่ขา 2 ของออปแอมป์ด้วยฉะนั้น e_m จึงไปตกคร่อมความต้านทาน (R)



รูปที่ 5.1 ตัวอย่างวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า

ผลที่เกิดกับวงจรการแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าแบบโวลดลอยนี้คือ

กรณีที่ 1 จุดที่ควรระวังในการใช้วงจรนี้คือ ความต้านทานในลูปสายส่ง ($R_{\text{wire}} + R_{\text{load}}$) จะต้องมีผลกระทบบกกับกระแสไฟฟ้า ทั้งนี้เนื่องจากแรงดันเอาต์พุตของออปแอมป์จะมีผลกระทบจากค่าความต้านทานในลูปตามสมการที่ 5.2 เราต้องพยายามทำให้ R_{loop} มีค่าน้อยเพื่อไม่ให้แรงดันเอาต์พุตของออปแอมป์เกินจุดอิ่มตัว

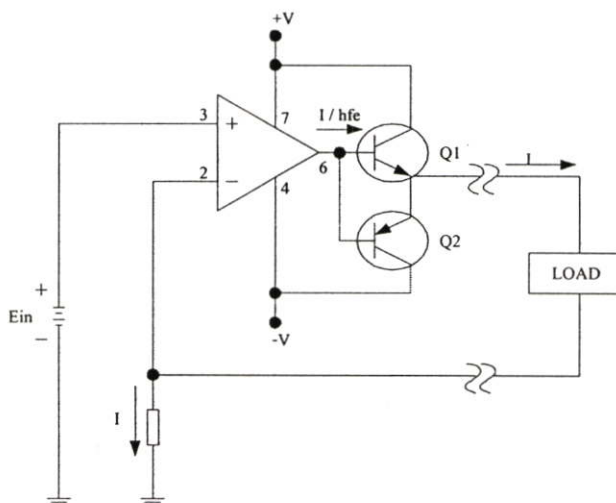
$$V_{\text{out}} = (1 + R_{\text{loop}} / R) e_{\text{in}} < V_{\text{sat}} \quad (5.2)$$

กรณีที่ 2 เมื่อต้องการให้ออปแอมป์สามารถส่งกระแสไฟฟ้าได้สูงๆ จะต้องทำการเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรด้วยการนำทรานซิสเตอร์มาเป็นตัวช่วยขับกระแส แทนการขับด้วยออปแอมป์โดยตรงดังรูปที่ 5.2 โดยต่อเข้ากับลูปป้อนกลับแบบลบ อุปกรณ์ออปแอมป์จะมีการปรับแก้ออฟเซตไบอัสและนอนลิเนียร์ของตัวเอง ถ้าสัญญาณที่เข้ามามีทั้งบวกและลบ เราก็สามารถเพิ่มทรานซิสเตอร์ Q_2 ที่เป็นชนิดพีเอ็นพีเข้าไปในวงจร

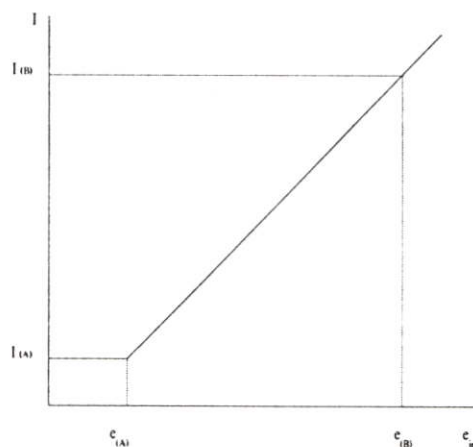
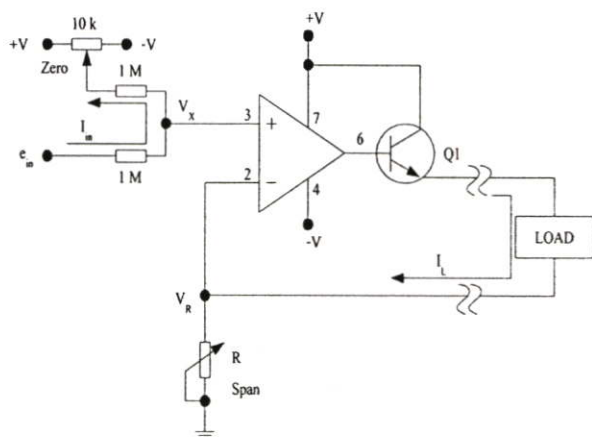
กรณีที่ 3 จะสังเกตเห็นว่ากระแสไฟฟ้าที่กลับมาจากโวลดเป็นกระแสไฟฟ้าเดียวกับที่ส่งไป แต่มีทิศตรงกันข้าม และโวลดที่ใช้นั้นต้องเป็นโวลดแบบลอยเท่านั้น วงจรไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้โวลดที่ต่อลงกราวด์ได้เลย จึงเป็นข้อดีที่จะไม่มีสัญญาณรบกวนจากภายนอกเข้ามาในระบบ

กรณีที่ 4 เป็นเหตุการณ์ที่เกิดจากโวลดคือ ถ้าโวลดเปิดจะทำให้ลูปป้อนกลับแบบลบขาดจากกันส่งผลให้ออปแอมป์เข้าสู่สภาวะอิ่มตัว แต่ถ้าโวลดลัดวงจรออปแอมป์ก็จะกลายเป็นบัฟเฟอร์ ซึ่งผิดวัตถุประสงค์

กรณีที่ 5 วงจรตามรูปที่ 5.2 นั้นมีคุณสมบัติคือ ถ้าแรงดันอินพุต e_{in} เท่ากับ 0 กระแสก็เท่ากับ 0 ด้วย แต่ถ้าเราต้องการให้กระแสที่ออกมาเป็นค่าที่เป็นมาตรฐาน 4 ถึง 20 มิลลิแอมป์ เราก็สามารถทำได้โดยใช้คุณสมบัติของวงจรรวมสัญญาณดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.2 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าชนิดเพิ่มระดับกระแสไฟฟ้า



(ก)

(ข)

รูปที่ 5.3 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าชนิดปรับออฟเซต

(ก) รูปวงจร (ข) กราฟคุณสมบัติ

จากทรานเฟอร์เคอฟจะได้สมการเส้นตรงคือ

$$R = [e(B) - e(A) / 2[I(B) - I(A)]] \quad (5.3)$$

และ

$$e_{ref} = 2RI(B) - e(B) \quad (5.4)$$

หาสมการจากวงจร

$$V_x = V_r$$

$$I_L = V_x / R$$

คิดรูป ของ e_{in} กับ e_{ref} จะได้ว่า

$$e_{in} - I_{in}(1 \text{ M}\Omega) - I_{in}(1 \text{ M}\Omega) - e_{ref} = 0$$

หา I_{in}

$$I_{in} = (e_{in} - e_{ref}) / 2 \text{ M}\Omega \quad (5.5)$$

คิดรูป จาก e_{in} ถึง V_x จะได้ว่า

$$0 = e_{in} - I_{in}(1 \text{ M}\Omega) - V_x$$

$$V_x = e_{in} - (e_{in} - e_{ref})(1 \text{ M}\Omega) / 2 \text{ M}\Omega$$

$$V_x = (e_{in} + e_{ref}) / 2 \quad (5.6)$$

แทนค่าหา I_L จะได้ว่า

$$I_L = (e_{in} + e_{ref}) / 2R \quad (5.7)$$

แทนลงในสมการที่ได้จากทรานเฟอร์เครฟ

ที่จุด A

$$I(A) = [e(A) + e_{ref}] / 2R$$

ที่จุด B

$$I(B) = [e(B) + e_{ref}] / 2R$$

จากสมการที่จุด A และจุด B สามารถหาค่า R ได้ คือ

$$2R[I(B) - I(A)] = e(B) - e(A)$$

หรือ

$$R = [e(B) - e(A)] / 2[I(B) - I(A)] \quad (5.8)$$

และ

$$V_{ref} = 2RI(B) - e(B) \quad (5.9)$$

5.2.2 การแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าแบบโวลตดลงกรวด์

ถ้าเราต้องการขับกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดที่ต่อกับกรวด์ ดังรูปที่ 5.4 ค่าความต้านทาน R_1, R_2, R_3 และ R_4 จะให้มีค่าเท่ากันหมด เพื่อให้อัตราขยายของวงจรเท่ากับ 1 โดยที่ให้ R_5 ต่อระหว่างเอาต์พุตของออปแอมป์กับโหลดและ R_4 ต่ออยู่หน้าโวลตดกับขา 3 ของออปแอมป์ ในการวิเคราะห์การทำงานของวงจร เราควรจะคำนวณหาแรงดันเอาต์พุต (V_{out}) ก่อน โดยใช้ทฤษฎีการวางซ้อน 3 ครั้ง โดยพิจารณาจากรูปที่ 5.5 จะได้สมการคือ

$$V_{out} = V_L + e_1 - e_2 \quad (5.10)$$

พิจารณาหา V_{R5} จากรูปที่ 5.4 จะได้

$$\begin{aligned} V_{R5} &= V_{out} - V_L \\ &= (V_L - e_2 - e_1) - V_L \\ &= e_2 - e_1 \end{aligned}$$

กระแสที่ไหลผ่าน R_w คือ

$$\begin{aligned} I_{R5} &= V_{R5} / R_5 \\ I_{R5} &= I_L \\ I_L &= (e_2 - e_1) / R_5 \end{aligned} \quad (5.11)$$

ซึ่งกระแสที่ไหลผ่านโหลดจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่าง e_2 และ e_1 โดยที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ด้วย R_s

ข้อควรระวังของวงจรนี้

กรณีที่ 1 คือแรงดันเอาต์พุต (V_{out}) จะต้องไม่เกินแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) เหมือนกับวงจรการแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าแบบโหลดลอย

$$V_{sat} > R_{load} + e_2 - e_1 \quad (5.12)$$

กรณีที่ 2 ถ้าต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการขับกระแสไฟฟ้าให้สูงขึ้น สามารถทำได้โดยใช้ทรานซิสเตอร์มาเป็นตัวขับกระแสไฟฟ้าแทนเช่นเดียวกับแบบวงจรการแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าแบบโหลดลอยซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 5.6

กรณีที่ 3 วงจรนี้สามารถขับกระแสไฟฟ้าเป็นช่วงได้ เช่นถ้าต้องการให้ขับกระแสไฟฟ้าช่วง 4 ถึง 20 มิลลิแอมป์ และมีสัญญาณอินพุต 0 ถึง 5 โวลต์ เราก็สามารถเพิ่มวงจรให้ขับความแตกต่างของอินพุตได้

สมการที่ใช้คำนวณคือ

$$I_L = (e_{in} - e_L) / R_s$$

ที่ $e_{in} = 0$ โวลต์ $I_L = 4$ มิลลิแอมป์

$$4 \text{ (mA)} = 0 - e_L / R_s$$

ที่ $e_{in} = 5$ โวลต์ $I_L = 20$ มิลลิแอมป์

$$20 \text{ (mA)} = (5 \text{ (V)} - e_L) / R_s$$

หาค่า R_s จาก

$$20 \text{ (mA)} = (5 \text{ (V)} - 4 \text{ (V)} \times R_s) / R_s$$

$$20 \text{ (mA)} = 4 \text{ (V)} + (5 \text{ (V)} / R_s)$$

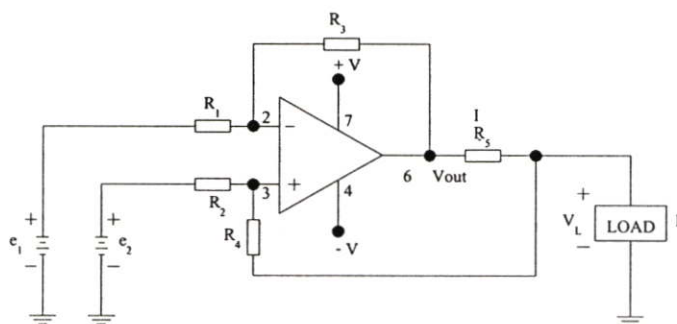
$$R_s = 5 / 16$$

$$R_s = 312.5 \quad \text{โอห์ม}$$

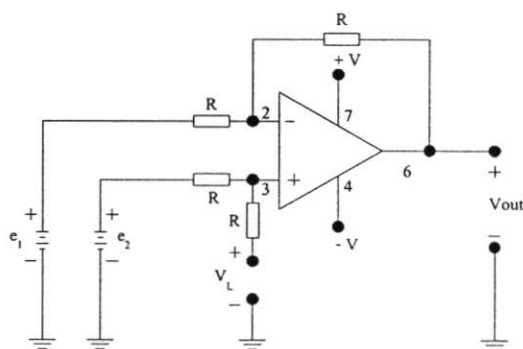
นำค่า R ที่ได้แทนในสมการเพื่อหาค่า e

$$e_1 = -4 \text{ mA} \times 312.5$$

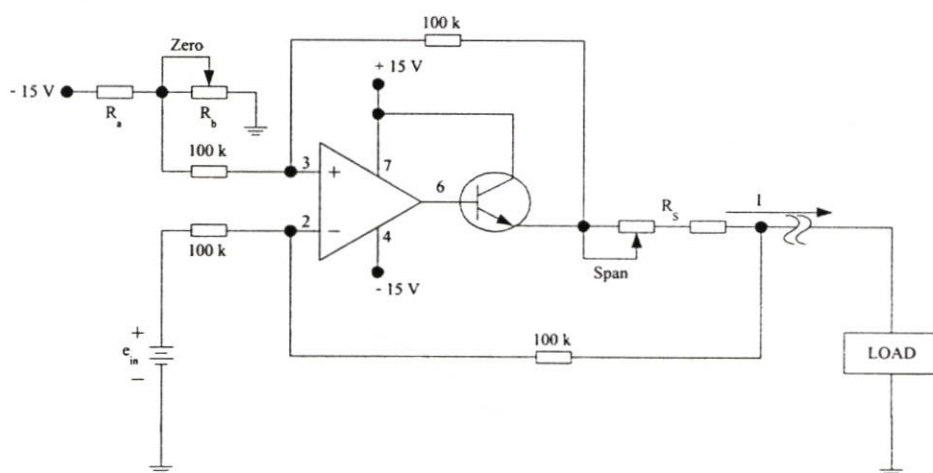
$$e_2 = -1.25 \quad \text{โวลต์}$$



รูปที่ 5.4 การแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าแบบโหนดลงกราวด์



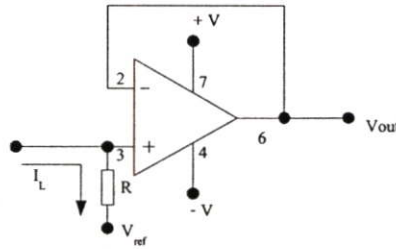
รูปที่ 5.5 วงจรการวิเคราะห์หัดด้วยทฤษฎีการวางซ้อน



รูปที่ 5.6 วงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าแบบซิมเมตริก

5.3 การแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า

หลังจากที่ได้แปลงแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในรูปกระแสไฟฟ้า เพื่อส่งค่าสัญญาณมาแล้วที่ปลายทาง หรือโหลดนั้นเราสามารถนำค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมโหลดเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน มาแปลงกลับเพื่อให้ได้เอาต์พุตเหมือนกับอินพุตที่ส่งจากวงจรขยายสัญญาณเครื่องมือวัด ด้วยวงจรง่าย ๆ ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 วงจรแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันแบบ โหลดลงกราวด์

สมการของการแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้าหาได้จากสมการ

$$V_o = R I_L + V_{ref} \quad (5.13)$$

ในกรณีที่เรต้องการให้แรงดันเอาต์พุต (V_o) เป็น 0 ถึง 5 โวลต์ โดยมีกระแสโหลด (I_L) เท่ากับ 4 ถึง 20 มิลลิแอมป์ นั้นเราสามารถหาค่าความต้านทานและแรงดันอ้างอิงได้โดย

สมมุติให้ $V_o = 0$ โวลต์ $I_L = 4$ มิลลิแอมป์ จะได้

$$0 = 4R + V_{ref}$$

สมมุติให้ $V_o = 5$ โวลต์ $I_L = 20$ มิลลิแอมป์ จะได้

$$5 (v) = 20 (mA)R + V_{ref}$$

รวมสมการทั้งสองเข้าด้วยกันเพื่อหาค่าความต้านทาน

$$5 (v) = 20 (mA)R - 4(mA)R$$

$$R = 5 (v) / 16(mA)$$

$$= 312.5 \quad \text{โอห์ม}$$

นำค่า R ที่ได้ไปแทนในสมการเพื่อหาค่า V_{ref} จะได้

$$\begin{aligned}V_{ref} &= -4 \text{ (mA)} \times 312.5 \\ &= -1.25 \quad \text{โวลต์}\end{aligned}$$

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

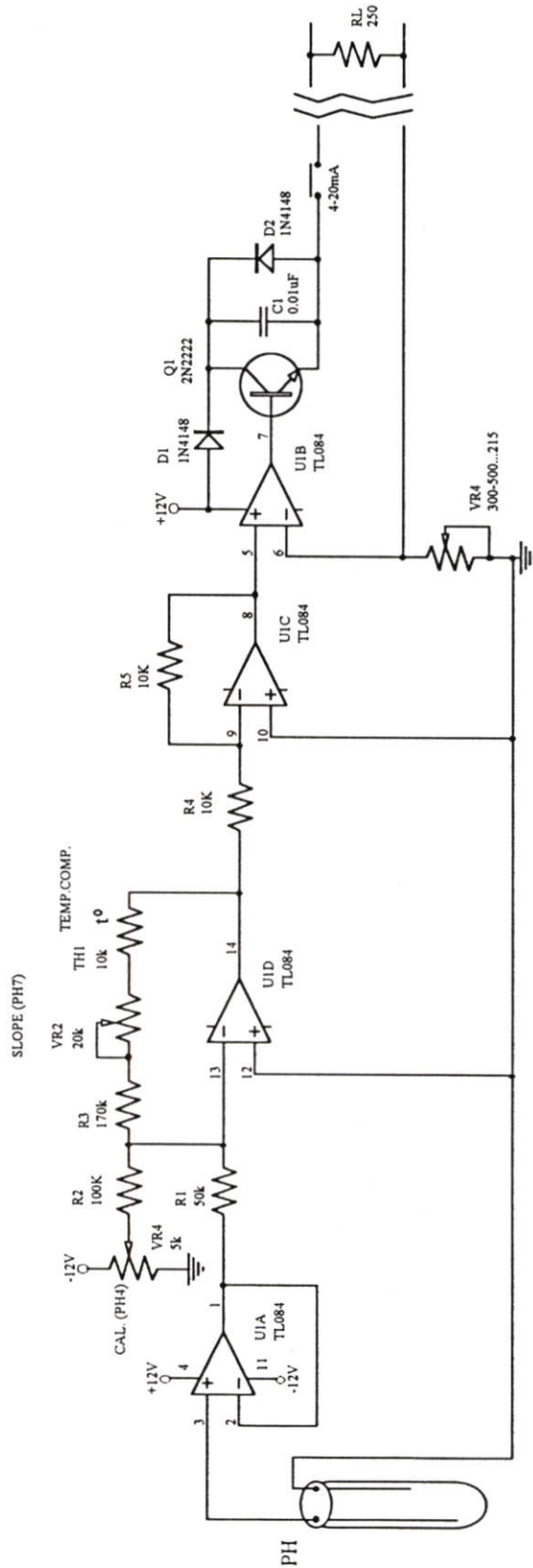
6.1 บทนำ

ระบบการวัดระยะไกลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์นี้มีส่วนประกอบหลัก ตามทฤษฎี 3 ส่วนคือ หนึ่งส่วนทรานส์ดิวเซอร์และปรับสัญญาณมาตรฐาน สองส่วนจัดการสัญญาณและประมวลผลสัญญาณ สามส่วนแสดงผลและบันทึกค่า การเพิ่มระยะในการวัดทำระหว่างส่วนที่หนึ่งกับส่วน ที่สอง การวัดเพื่อทดสอบการทำงานและความถูกต้องของระบบ กระทำจากสามตัวทดสอบคือ วัดค่าอุณหภูมิของอากาศคู่กับการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ วัดค่าอุณหภูมิของน้ำคู่กับการวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ การวัดและเก็บค่าของระบบการวัดระยะไกลจะกระทำไปเกือบพร้อมกันทุกตัวทดสอบตามลำดับ และทำการวัดจนเพื่อเก็บค่าที่ทำการวัดตามระยะเวลาที่กำหนด สัญญาณที่ได้จากทรานส์ดิวเซอร์แต่ละประเภทจะถูกขยายให้ได้ขนาดที่เหมาะสมแล้วแปลงให้อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้าในช่วงมาตรฐาน 4 มิลลิแอมป์ ที่ปลายทางก่อนเข้าส่วนจัดการสัญญาณและประมวลผล การส่งสัญญาณในรูปของกระแสไฟฟ้า ทำให้ส่งสัญญาณไปได้ไกล ส่วนจัดการสัญญาณและประมวลผลสัญญาณจะได้รับสัญญาณในรูปของกระแสไฟฟ้าจากอุปกรณ์ ทรานส์ดิวเซอร์เหมือนกันทุกอุปกรณ์ แต่จะมีความแตกต่างของกระแสไฟฟ้าที่เข้ามาตรงความมากน้อยของกระแสไฟฟ้าซึ่งเปลี่ยนแปลงตามความมากน้อยของสิ่งที่ทำการวัด และเวลาที่สัญญาณในรูปของกระแสไฟฟ้าเข้ามาซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามประเภทของทรานส์ดิวเซอร์

6.2 การทดลอง

6.2.1 การทดลองวัดค่าความเป็นกรดหรือด่างของน้ำ

การทดลองวัดค่าโดยระบบการวัดระยะไกลที่ทำขึ้นนี้ ระยะทางจากจุดที่วางอุปกรณ์ ทรานส์ดิวเซอร์ถึงจุดที่ตั้งส่วนบันทึกค่า มีระยะทาง 150 เมตร ทรานส์ดิวเซอร์เป็นประเภท คอมไบน์เนชันพีเอสอีเล็กโตรด ก่อนนำอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ไปวางในที่ที่ต้องการวัดทดสอบ ได้ทำการสอบเทียบค่ากับสารละลาย พีเอส 4 พีเอส 7 และพีเอส 10 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นการปรับเทียบก่อนทำการวัดทดสอบจริง สัญญาณที่ได้จากทรานส์ดิวเซอร์ก่อนเข้าวงจรชิกเนลคอนดิชันเนอร์เป็นดังนี้ ที่พีเอส 4 มีค่า +174 มิลลิโวลต์ ที่พีเอส 7 มีค่า 0 มิลลิโวลต์ ที่พีเอส 10 มีค่า -174 มิลลิโวลต์ และเมื่อผ่านวงจรชิกเนลคอนดิชันเนอร์สัญญาณที่ได้ในรูปของกระแสไฟฟ้าก่อนเข้าที่พอร์ทของส่วนแสดงผลและบันทึกค่าเป็นดังนี้ พีเอส 4 มีค่า 15.44 มิลลิแอมป์ พีเอส 7 มีค่า 12 มิลลิแอมป์ และพีเอส 10 มีค่า 8.56 มิลลิแอมป์ รูปแบบวงจรการขยายและปรับสัญญาณ (ชิกเนลคอนดิชันเนอร์) ของทรานส์ดิวเซอร์พีเอสในน้ำดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 วงจรขยายและปรับสัญญาณอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์พีเอช

โดยปกติทรานส์ดีวเซอร์พีเอสแบบกลาสอีเล็กโตรดจะให้ค่าเอาต์พุตออกเป็นมิลลิโวลต์ กล่าวคือ 59.2 มิลลิโวลต์ ± 10 มิลลิโวลต์ต่อพีเอส ที่ 25 องศาเซลเซียส

พีเอส	ค่าแรงดันไฟฟ้าเป็นมิลลิโวลต์	พีเอส	ค่าแรงดันไฟฟ้าเป็นมิลลิโวลต์
14	- 414.4	6	59.2
13	- 355.2	5	118.4
12	- 296.0	4	177.6
11	- 236.8	3	236.8
10	- 177.6	2	296.0
9	- 118.4	1	355.2
8	- 59.2	0	414.4
7	0 ± 10		

ค่าดังกล่าวอาจจะสูงหรือต่ำกว่าค่าปกติ ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของกลาสอีเล็กโตรดแต่ละตัว วงจรส่วนขยายและปรับสัญญาณอุปกรณ์ทรานส์ดีวเซอร์พีเอสประกอบด้วยวงจรหลักสองส่วนดังรูปที่ 6.1 เมื่อได้สัญญาณในระดับที่ต้องการแล้วจะทำการแปลงแรงดันไฟฟ้าให้เป็นกระแสไฟฟ้าเพื่อให้ส่งสัญญาณผ่านสายสัญญาณไปได้ไกลๆ อาศัยหลักการกระแสลูปโดยจะใช้วงจรโวลต์เตจคูเคอร์เรนท์คอนเวอเตอร์ หรือวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า โดยให้แรงดันไฟฟ้า V_i มีค่า 1-5 โวลต์และให้เอาต์พุต 4-20 มิลลิแอมป์ ส่วน R_1 จะให้มีค่า 250 โอห์ม เพื่อว่าจะให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม R_1 มีค่าตั้งแต่ 1-5 โวลต์ ตามกฎที่ว่า แรงดันไฟฟ้าเท่ากับกระแสไฟฟ้าคูณด้วยความต้านทานไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า 1 โวลต์ = กระแสไฟฟ้า 4 มิลลิแอมป์ * ความต้านทานไฟฟ้า 250 โอห์ม และแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ = กระแสไฟฟ้า 20 มิลลิแอมป์ * ความต้านทานไฟฟ้า 250 โอห์ม อุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ที่ต่ออยู่เพื่อช่วยจ่ายกระแสไฟฟ้าแทนออปแอมป์ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า C_1 มีค่า 0.01 ไมโครฟารัด ช่วยบายพาสสัญญาณรบกวนให้ลดน้อยลง ไดโอด D_1 และไดโอด D_2 ช่วยป้องกันแรงดันกลับด้าน ผลการวัดทดสอบซึ่งได้จากการใช้ระบบการวัดระยะไกลดังตารางที่ 6.1 และตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.1 ตารางแสดงค่าที่เก็บจากท่อปล่อยน้ำทิ้งของโรงงาน

เวลา	อุณหภูมิ	pH	เวลา	อุณหภูมิ	pH	เวลา	อุณหภูมิ	pH
9.00	26.67 °C	8.57	11.00	26.70 °C	8.79	13.00	26.83 °C	9.06
9.05	26.67 °C	8.57	11.05	26.70 °C	8.79	13.05	26.83 °C	9.06
9.10	26.67 °C	8.57	11.10	26.73 °C	8.79	13.10	26.83 °C	9.06
9.15	26.67 °C	8.57	11.15	26.73 °C	8.79	13.15	26.83 °C	9.06
9.20	26.67 °C	8.57	11.20	26.73 °C	8.79	13.20	26.86 °C	9.06
9.25	26.67 °C	8.57	11.25	26.73 °C	8.79	13.25	26.86 °C	9.06
9.30	26.67 °C	8.57	11.30	26.73 °C	8.84	13.30	26.86 °C	9.06
9.35	26.67 °C	8.57	11.35	26.73 °C	8.84	13.35	26.86 °C	9.06
9.40	26.67 °C	8.57	11.40	26.73 °C	8.84	13.40	26.86 °C	9.06
9.45	26.67 °C	8.57	11.45	26.73 °C	8.84	13.45	26.86 °C	9.06
9.50	26.68 °C	8.57	11.50	26.73 °C	8.84	13.50	26.86 °C	9.06
9.55	26.68 °C	8.66	11.55	26.77 °C	8.84	13.55	26.86 °C	9.06
10.00	26.68 °C	8.66	12.00	26.77 °C	8.84	14.00	26.86 °C	9.06
10.05	26.68 °C	8.66	12.05	26.77 °C	8.84	14.05	26.86 °C	9.06
10.10	26.68 °C	8.66	12.10	26.77 °C	8.84	14.10	26.89 °C	9.06
10.15	26.68 °C	8.66	12.15	26.77 °C	8.84	14.15	26.89 °C	9.06
10.20	26.68 °C	8.66	12.20	26.79 °C	8.84	14.20	26.89 °C	9.06
10.25	26.68 °C	8.79	12.25	26.79 °C	8.84	14.25	26.89 °C	9.06
10.30	26.68 °C	8.79	12.30	26.79 °C	8.84	14.30	26.89 °C	9.06
10.35	26.70 °C	8.79	12.35	26.79 °C	8.92	14.35	26.89 °C	9.06
10.40	26.70 °C	8.79	12.40	26.79 °C	8.92	14.40	26.89 °C	9.06
10.45	26.70 °C	8.79	12.45	26.79 °C	8.92	14.45	26.89 °C	9.06
10.50	26.70 °C	8.79	12.50	26.83 °C	8.92	14.50	26.89 °C	9.06
10.55	26.70 °C	8.79	12.55	26.83 °C	8.92	14.55	26.89 °C	9.06

ตารางที่ 6.1 (ต่อ) ตารางแสดงค่าที่เก็บจากท่อปล่อยน้ำทิ้งของโรงงาน

เวลา	อุณหภูมิ	pH	เวลา	อุณหภูมิ	pH	เวลา	อุณหภูมิ	pH
15.00	26.89 °C	9.06	17.00	27.14 °C	9.05	19.00	27.24 °C	8.94
15.05	26.95 °C	9.06	17.05	27.14 °C	9.05	19.05	27.24 °C	8.94
15.10	26.95 °C	9.06	17.10	27.14 °C	9.01	19.10	27.24 °C	8.94
15.15	26.95 °C	9.06	17.15	27.14 °C	9.01	19.15	27.24 °C	8.94
15.20	26.95 °C	9.06	17.20	27.14 °C	9.01	19.20	27.24 °C	8.94
15.25	26.95 °C	9.06	17.25	27.14 °C	9.01	19.25	27.24 °C	8.94
15.30	26.95 °C	9.05	17.30	27.14 °C	9.01	19.30	27.25 °C	8.94
15.35	26.95 °C	9.05	17.35	27.14 °C	9.01	19.35	27.25 °C	8.94
15.40	26.95 °C	9.05	17.40	27.14 °C	9.01	19.40	27.25 °C	8.94
15.45	26.95 °C	9.05	17.45	27.22 °C	9.01	19.45	27.25 °C	8.81
15.50	26.95 °C	9.05	17.50	27.22 °C	9.01	19.50	27.25 °C	8.81
15.55	27.06 °C	9.05	17.55	27.22 °C	9.01	19.55	27.25 °C	8.81
16.00	27.06 °C	9.05	18.00	27.22 °C	9.01	20.00	27.25 °C	8.81
16.05	27.06 °C	9.05	18.05	27.22 °C	9.01	20.05	27.25 °C	8.81
16.10	27.06 °C	9.05	18.10	27.22 °C	9.01	20.10	27.21 °C	8.81
16.15	27.06 °C	9.05	18.15	27.22 °C	9.01	20.15	27.21 °C	8.81
16.20	27.06 °C	9.05	18.20	27.22 °C	9.01	20.20	27.21 °C	8.81
16.25	27.06 °C	9.05	18.25	27.22 °C	9.01	20.25	27.21 °C	8.81
16.30	27.06 °C	9.05	18.30	27.22 °C	9.01	20.30	27.21 °C	8.81
16.35	27.06 °C	9.05	18.35	27.22 °C	9.01	20.35	27.21 °C	8.81
16.40	27.06 °C	9.05	18.40	27.22 °C	10.94	20.40	27.21 °C	8.81
16.45	27.06 °C	9.05	18.45	27.22 °C	10.94	20.45	27.21 °C	8.79
16.50	27.14 °C	9.05	18.50	27.24 °C	10.94	20.50	27.21 °C	8.79
16.55	27.14 °C	9.05	18.55	27.24 °C	10.94	20.55	27.21 °C	8.79

ตารางที่ 6.1 (ต่อ) ตารางแสดงค่าที่เก็บจากท่อปล่อยน้ำทิ้งของโรงงาน

เวลา	อุณหภูมิ	pH	เวลา	อุณหภูมิ	pH	เวลา	อุณหภูมิ	pH
21.00	27.21 °C	8.79	22.00	27.19 °C	8.73	23.00	27.02 °C	8.68
21.05	27.21 °C	8.73	22.05	27.19 °C	8.73	23.05	27.02 °C	8.68
21.10	27.21 °C	8.73	22.10	27.19 °C	8.68	23.10	27.02 °C	8.68
21.15	27.21 °C	8.73	22.15	27.19 °C	8.68	23.15	27.02 °C	8.68
21.20	27.21 °C	8.73	22.20	27.19 °C	.68	23.20	27.02 °C	8.68
21.25	27.21 °C	8.73	22.25	27.02 °C	8.68	23.25	27.02 °C	8.68
21.30	27.19 °C	8.73	22.30	27.02 °C	8.68	23.30	26.97 °C	8.68
21.35	27.19 °C	8.73	22.35	27.02 °C	8.68	23.35	26.97 °C	8.68
21.40	27.19 °C	8.73	22.40	27.02 °C	8.68	23.40	26.97 °C	8.68
21.45	27.19 °C	8.73	22.45	27.02 °C	8.68	23.45	26.97 °C	8.68
21.50	27.19 °C	8.73	22.50	27.02 °C	8.68	23.50	26.97 °C	8.68
21.55	27.19 °C	8.73	22.55	27.02 °C	8.68	23.55	26.97 °C	8.68

ตารางที่ 6.1 เป็นการออกเก็บค่า โดยใช้ระบบการวัดระยะไกลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ สถานที่สะพานทำน้ำ อยู่ระหว่างทางไปวัดกู่ จังหวัดปทุมธานี อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ติดตั้งบริเวณปลายท่อปล่อยน้ำทิ้งของโรงงานผลิตน้ำอัดลม การวางอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์วางต่ำกว่าระดับผิวน้ำ 1 เมตร วางสายนำสัญญาณมาตามคลองริมแม่น้ำเจ้าพระยา จนถึงอุปกรณ์บันทึกค่าห่างกันเป็นระยะทาง 226 เมตร มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ควรมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง พีเอช 5 ถึง พีเอช 9

ตารางที่ 6.2 เป็นการออกเก็บค่า สถานที่คือบ่อเลี้ยงกุ้งแนวหลังป่าชายเลน อำเภอแหลมสิงห์ จังหวัดจันทบุรี การวางอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ วางในบ่อเลี้ยงต่ำกว่าระดับผิวน้ำ 1 เมตร ห่างจากแนวขอบบ่อ 10 เมตร ขนาดบ่อเลี้ยงกว้าง 20 เมตร ยาว 50 เมตร ความลึกจากผิวน้ำถึงก้นบ่อประมาณ 3 เมตร จุดวางอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ ถึงกระดอบเก็บอาหารกู่จุดที่วางอุปกรณ์บันทึกค่าห่างกันเป็นระยะทาง 162 เมตร ค่าพีเอชของน้ำที่ทำการเลี้ยงกุ้ง ได้คมีค่าอยู่ระหว่าง 7.5 พีเอช ถึง 8.5 พีเอช ถ้าค่าพีเอชสูงกว่า 8.5 พีเอช กุ้งที่ทำการเลี้ยงจะเกิดการเครียดและตาย ถ้าค่าพีเอชต่ำกว่า 7.5 พีเอช กุ้งที่ทำการเลี้ยงจะเกิดการเครียดและตายเช่นกัน แต่จะตายง่ายกว่าที่ค่าพีเอชสูงกว่า 8.5 พีเอช

ตารางที่ 6.2 ตารางการเก็บค่าจากบ่อเลี้ยงกุ้ง

เวลา	อุณหภูมิ	pH	เวลา	อุณหภูมิ	PH	เวลา	อุณหภูมิ	pH
6.00	25.87°C	7.64	8.00	25.87°C	7.67	10.00	25.87°C	7.69
6.05	25.87°C	7.64	8.05	25.87°C	7.67	10.05	25.88°C	7.69
6.10	25.87°C	7.64	8.10	25.87°C	7.67	10.10	25.88°C	7.69
6.15	25.87°C	7.64	8.15	25.87°C	7.67	10.15	25.88°C	7.69
6.20	25.87°C	7.64	8.20	25.87°C	7.67	10.20	25.88°C	7.69
6.25	25.87°C	7.64	8.25	25.87°C	7.67	10.25	25.88°C	7.69
6.30	25.87°C	7.64	8.30	25.87°C	7.67	10.30	25.88°C	7.69
6.35	25.87°C	7.64	8.35	25.87°C	7.67	10.35	25.88°C	7.69
6.40	25.87°C	7.65	8.40	25.87°C	7.67	10.40	25.88°C	7.69
6.45	25.87°C	7.65	8.45	25.87°C	7.68	10.45	25.88°C	7.69
6.50	25.87°C	7.65	8.50	25.87°C	7.68	10.50	25.88°C	7.69
6.55	25.87°C	7.65	8.55	25.87°C	7.68	10.55	25.88°C	7.69
7.00	25.87°C	7.65	9.00	25.87°C	7.68	11.00	25.88°C	7.69
7.05	25.87°C	7.65	9.05	25.87°C	7.68	11.05	25.88°C	7.71
7.10	25.87°C	7.65	9.10	25.87°C	7.68	11.10	25.88°C	7.71
7.15	25.87°C	7.65	9.15	25.87°C	7.68	11.15	25.88°C	7.71
7.20	25.87°C	7.66	9.20	25.87°C	7.68	11.20	25.88°C	7.71
7.25	25.87°C	7.66	9.25	25.87°C	7.68	11.25	25.88°C	7.71
7.30	25.87°C	7.66	9.30	25.87°C	7.68	11.30	25.88°C	7.71
7.35	25.87°C	7.66	9.35	25.87°C	7.68	11.35	25.88°C	7.71
7.40	25.87°C	7.66	9.40	25.87°C	7.68	11.40	25.89°C	7.71
7.45	25.87°C	7.66	9.45	25.87°C	7.68	11.45	25.89°C	7.71
7.50	25.87°C	7.66	9.50	25.87°C	7.68	11.50	25.89°C	7.71
7.55	25.87°C	7.67	9.55	25.87°C	7.69	11.55	25.89°C	7.71

ตารางที่ 6.2 (ต่อ) ตารางการเก็บค่าจากบ่อเลี้ยงกุ้ง

เวลา	อุณหภูมิ	pH	เวลา	อุณหภูมิ	pH	เวลา	อุณหภูมิ	pH
12.00	25.89°C	7.71	14.00	26.00°C	7.70	16.00	26.05°C	7.68
12.05	25.89°C	7.71	14.05	26.00°C	7.69	16.05	26.05°C	7.68
12.10	25.89°C	7.71	14.10	26.01°C	7.69	16.10	26.05°C	7.68
12.15	25.90°C	7.71	14.15	26.01°C	7.69	16.15	26.06°C	7.68
12.20	25.90°C	7.71	14.20	26.01°C	7.69	16.20	26.06°C	7.68
12.25	25.90°C	7.71	14.25	26.01°C	7.69	16.25	26.06°C	7.68
12.30	25.90°C	7.70	14.30	26.01°C	7.69	16.30	26.06°C	7.68
6.35	25.90°C	7.70	14.35	26.01°C	7.69	16.35	26.06°C	7.68
12.40	25.90°C	7.70	14.40	26.03°C	7.69	16.40	26.06°C	7.68
12.45	25.90°C	7.70	14.45	26.03°C	7.69	16.45	26.06°C	7.68
12.50	25.90°C	7.70	14.50	26.03°C	7.69	16.50	26.06°C	7.68
12.55	25.90°C	7.70	14.55	26.03°C	7.69	16.55	26.07°C	7.68
13.00	25.90°C	7.70	15.00	26.03°C	7.69	17.00	26.07°C	7.68
13.05	25.90°C	7.70	15.05	26.03°C	7.69	17.05	26.07°C	7.68
13.10	25.90°C	7.70	15.10	26.03°C	7.69	17.10	26.07°C	7.68
13.15	26.00°C	7.70	15.15	26.04°C	7.68	17.15	26.07°C	7.68
13.20	26.00°C	7.70	15.20	26.04°C	7.68	17.20	26.07°C	7.68
13.25	26.00°C	7.70	15.25	26.04°C	7.68	17.25	26.06°C	7.68
13.30	26.00°C	7.70	15.30	26.04°C	7.68	17.30	26.06°C	7.68
13.35	26.00°C	7.70	15.35	26.04°C	7.68	17.35	26.06°C	7.68
13.40	26.00°C	7.70	15.40	26.04°C	7.68	17.40	26.06°C	7.68
13.45	26.00°C	7.70	15.45	26.04°C	7.68	17.45	26.06°C	7.68
13.50	26.00°C	7.70	15.50	26.05°C	7.68	17.50	26.06°C	7.68
13.55	26.00°C	7.70	15.55	26.05°C	7.68	17.55	26.06°C	7.68

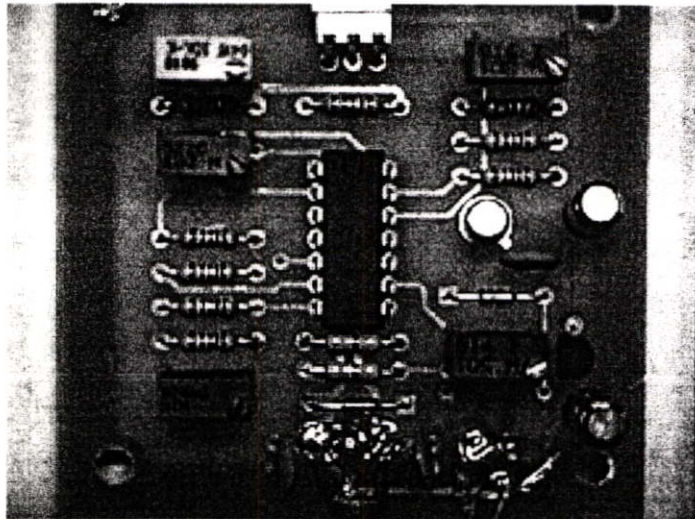
ตารางที่ 6.2 (ต่อ) ตารางการเก็บค่าจากบ่อเลี้ยงกุ้ง

เวลา	อุณหภูมิ	pH	เวลา	อุณหภูมิ	pH	เวลา	อุณหภูมิ	pH
18.00	26.06°C	7.68	20.00	26.06°C	7.66	22.00	26.05°C	7.65
18.05	26.06°C	7.68	20.05	26.06°C	7.66	22.05	26.05°C	7.65
18.10	26.06°C	7.68	20.10	26.06°C	7.66	22.10	26.05°C	7.65
18.15	26.06°C	7.68	20.15	26.06°C	7.67	22.15	26.05°C	7.65
18.20	26.06°C	7.68	20.20	26.06°C	7.67	22.20	26.05°C	7.65
18.25	26.07°C	7.68	20.25	26.06°C	7.67	22.25	26.05°C	7.65
18.30	26.07°C	7.68	20.30	26.06°C	7.67	22.30	26.05°C	7.65
18.35	26.07°C	7.68	20.35	26.06°C	7.67	22.35	26.05°C	7.65
18.40	26.07°C	7.68	20.40	26.06°C	7.67	22.40	26.05°C	7.65
18.45	26.07°C	7.68	20.45	26.06°C	7.67	22.45	26.05°C	7.65
18.50	26.07°C	7.68	20.50	26.06°C	7.67	22.50	26.05°C	7.65
18.55	26.07°C	7.68	20.55	26.06°C	7.67	22.55	26.03°C	7.65
19.00	26.07°C	7.68	21.00	26.06°C	7.67	23.00	26.03°C	7.65
19.05	26.07°C	7.68	21.05	26.06°C	7.67	23.05	26.03°C	7.65
19.10	26.06°C	7.68	21.10	26.06°C	7.67	23.10	26.03°C	7.65
19.15	26.06°C	7.68	21.15	26.06°C	7.67	23.15	26.03°C	7.65
19.20	26.06°C	7.68	21.20	26.06°C	7.66	23.20	26.03°C	7.64
19.25	26.06°C	7.68	21.25	26.05°C	7.66	23.25	26.03°C	7.64
19.30	26.06°C	7.68	21.30	26.05°C	7.66	23.30	26.03°C	7.64
19.35	26.06°C	7.68	21.35	26.05°C	7.66	23.35	26.03°C	7.64
19.40	26.06°C	7.68	21.40	26.05°C	7.66	23.40	26.03°C	7.64
19.45	26.06°C	7.68	21.45	26.05°C	7.66	23.45	26.00°C	7.64
19.50	26.06°C	7.66	21.50	26.05°C	7.66	23.50	26.00°C	7.64
19.55	26.06°C	7.66	21.55	26.05°C	7.65	23.55	26.00°C	7.64

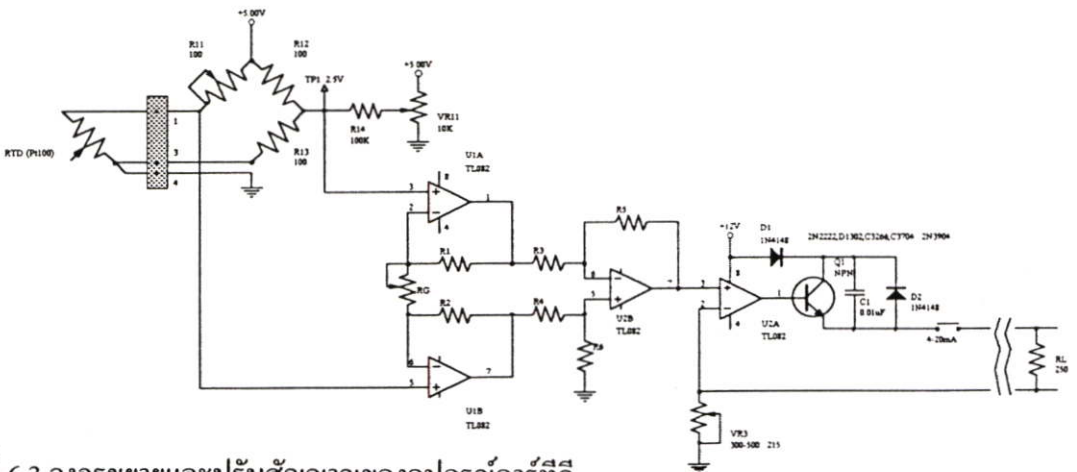
ขณะทำการวัดค่าความเป็นกรดหรือด่างของน้ำต้องทำการวัดค่าอุณหภูมิเพื่อนำค่าอุณหภูมิมาปรับชดเชยความถูกต้องของการวัดค่าพีเอช อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ที่ใช้คือ เทอร์มิสเตอร์มีคุณสมบัติดังนี้ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีความต้านทานไฟฟ้า 10 กิโลโอห์ม 10 เปอร์เซ็นต์ ค่าอุณหภูมิของน้ำขณะทำการวัดค่าพีเอชของน้ำดังตารางที่ 6.1 และ ตารางที่ 6.2

6.2.2 การทดลองวัดค่าอุณหภูมิ

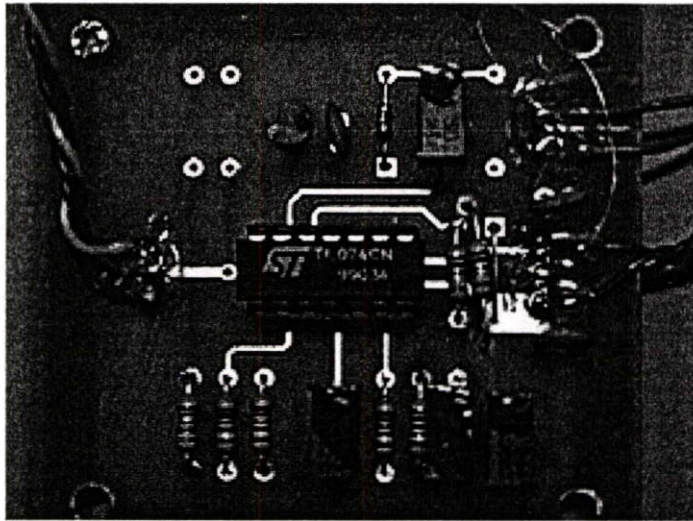
การวัดเพื่อบันทึกค่าอุณหภูมิเป็นสิ่งที่ต้องกระทำควบคู่ไปกับการวัดค่าทางฟิสิกส์รูปอื่นเพื่อใช้เป็นที่อ้างอิงในการเปรียบเทียบกับกรวัดครั้งต่อไป อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ที่ใช้มีสองประเภทคือ อาร์ทีดี และไอซีแอลเอม 335เซค มีรูปแบบวงจรการขยายและปรับสัญญาณ (ซิกเนลคอนดิชันเนอร์) ดังรูปที่ 6.2 และรูปที่ 6.3 การวัดค่าอุณหภูมิต้องกระทำ ณ จุดเดียวกับที่วางอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์จับค่าความเป็นกรดหรือด่าง



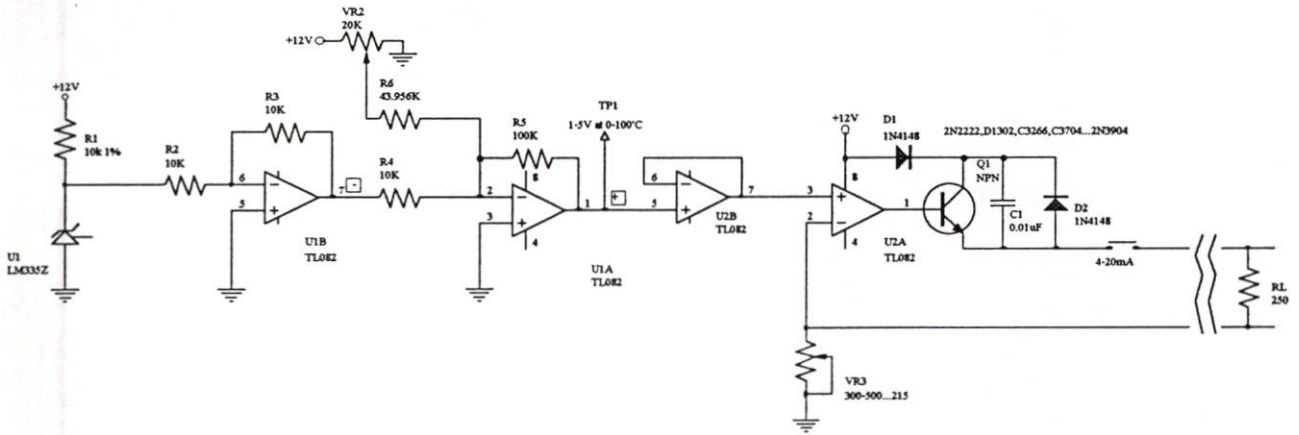
รูปที่ 6.2 รูปชิ้นงานจริงของวงจรขยายและปรับสัญญาณอุปกรณ์อาร์ทีดี



รูปที่ 6.3 วงจรขยายและปรับสัญญาณของอุปกรณ์อาร์ทีดี



รูปที่ 6.4 รูปชิ้นงานจริงของวงจรรขยายและปรับสัญญาณอุปกรณ์แอลเอม 335 แซด



รูปที่ 6.5 วงจรรขยายและปรับสัญญาณของอุปกรณ์แอลเอม 335 แซด

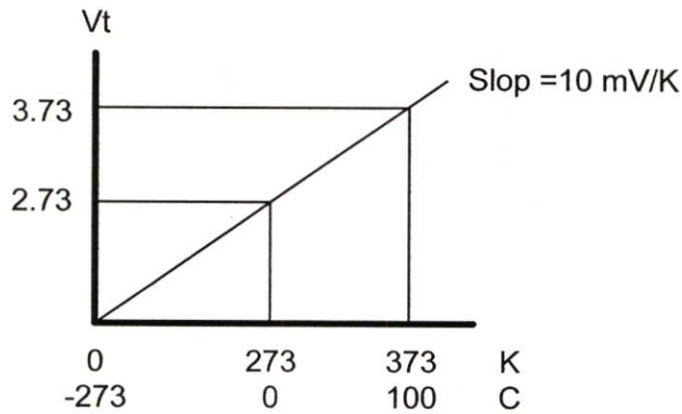
ตามคุณสมบัติของไอซีแอลเอม 335 แซด จะมีความไว 10 มิลลิโวลต์ ต่อ 1 องศาเซลวิน และสามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -10 องศาเซลเซียสถึง 100 องศาเซลเซียส ทำงานในย่านกระแสไฟฟ้า 400 มิลลิแอมป์ถึง 5 มิลลิแอมป์ได้ จากรูปวงจรที่ 6.3

$$V_t = (10 \text{ mV}/^\circ\text{K}) * (T_{in} \text{ } ^\circ\text{K}) \quad (6.5)$$

$$V_t = (10 \text{ mV}/^\circ\text{K}) * (273^\circ\text{K}) \quad (6.6)$$

$$V_t = 2.73 \text{ V} \quad (6.7)$$

$$\therefore V_t = (10 \text{ mV}/^\circ\text{C}) * (T_{in} \text{ } ^\circ\text{C}) + 2.73 \quad (6.8)$$



รูปที่ 6.6 กราฟแสดงค่าสโลปของอุปกรณ์แอลเอม 335 แชนด์

$$m(\text{Slop}) = (5 - 1)/(3.73 - 2.73) = 4 = V_o/V_t \quad (6.9)$$

$$V_o = ((-R_f/R_1)(-V_t)) - ((R_f/R_2)E_{dc}) \quad (6.10)$$

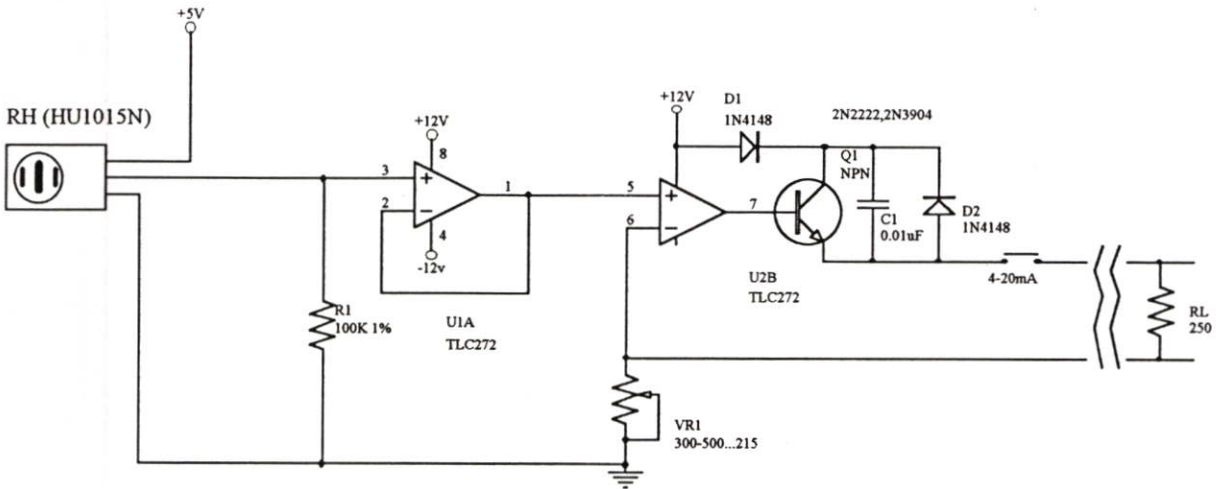
$$V_o = ((R_f/R_1)(V_t)) - ((R_f/R_2)E_{dc}) \quad (6.11)$$

$$R_f/R_1 = 4 \quad (-R_f/R_2)E_{dc} = 9.92 \quad R_f = 40 \text{ กิโลโอห์ม} \quad R_1 = 10 \text{ กิโลโอห์ม}$$

เลือก $R_2 = 20$ กิโลโอห์ม ได้ $E_{dc} = 4.92$ โวลต์ และถ้า $R_2 = 10$ กิโลโอห์ม $E_{dc} = 2.48$ โวลต์

6.2.3 การทดลองวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

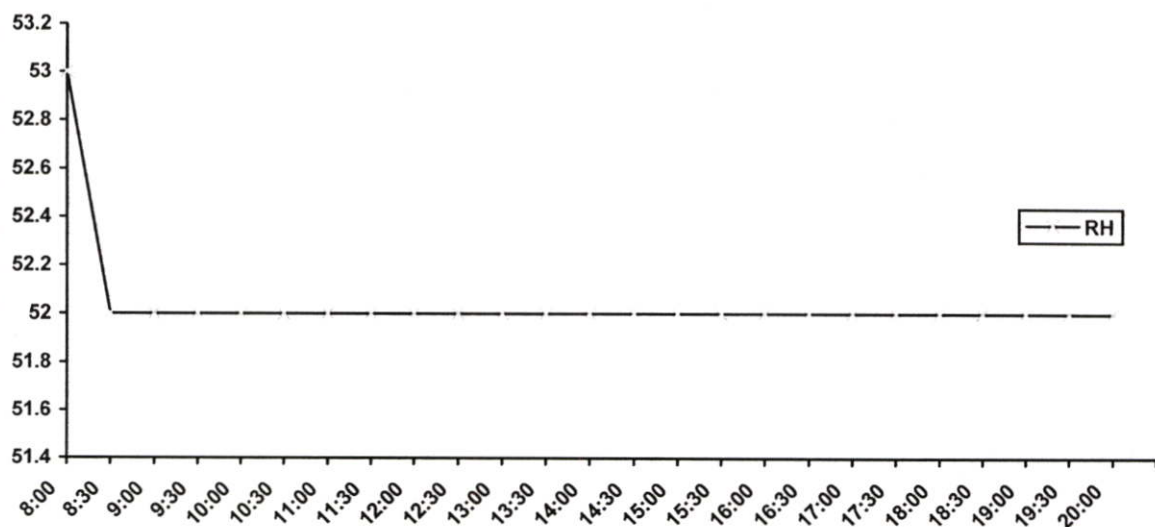
การทดลองวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์นี้ได้ทำการทดลองวัดเก็บค่าจากบริเวณใกล้เคียงกับที่ทำการวัดความเป็นกรดหรือด่างของน้ำ ทรานส์ดีวเซอร์ความชื้นพัทธ์ที่ใช้มีคุณสมบัติดังนี้ ย่านการทำงาน 10 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์อาร์เอส อุณหภูมิใช้งาน -40 ถึง 85 องศาเซลเซียส ขณะทำการวัดเก็บค่าความชื้นได้ทำการวัดเก็บค่าอุณหภูมิของอากาศควบคู่กัน อุปกรณ์ทรานส์ดีวเซอร์อุณหภูมิของอากาศใช้ อาร์ทีดีรุ่นพีที 100 วงจรขยายและปรับสัญญาณของอุปกรณ์ทรานส์ดีวเซอร์ความชื้นสัมพัทธ์ ดังรูปที่ 6.7



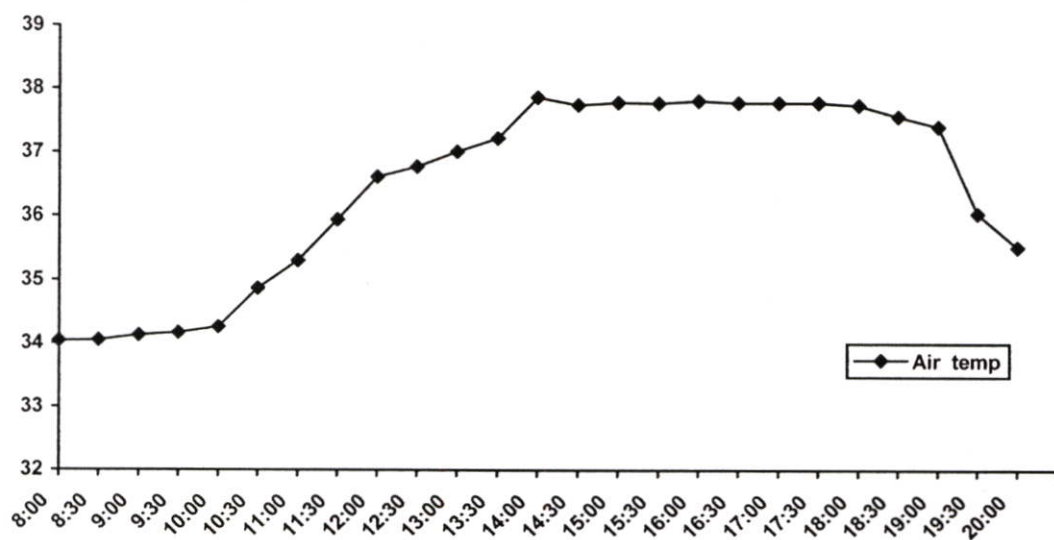
รูปที่ 6.7 วงจรขยายและปรับสัญญาณของอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ความชื้นสัมพัทธ์

วงจรขยายและปรับสัญญาณของอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ความชื้นสัมพัทธ์ประกอบด้วยวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า หรือวงจร โวลต์เคอูเคอร์เรนท์คอนเวอร์เตอร์เพียงวงจรเดียวเพราะอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ความชื้นสัมพัทธ์เป็นวงจรสำเร็จรูปให้แรงดันไฟฟ้าออกมาในช่วง 1 ถึง 3 โวลต์ จึงสามารถต่อเข้ากับวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง ผลการวัดเก็บค่าความชื้นสัมพัทธ์ ในอากาศพร้อมการวัดค่าอุณหภูมิ จากระบบวัดระยะไกลทำการวัดทดสอบ 12 ชั่วโมงมีผลดัง รูปที่ 6.8 และรูปที่ 6.9

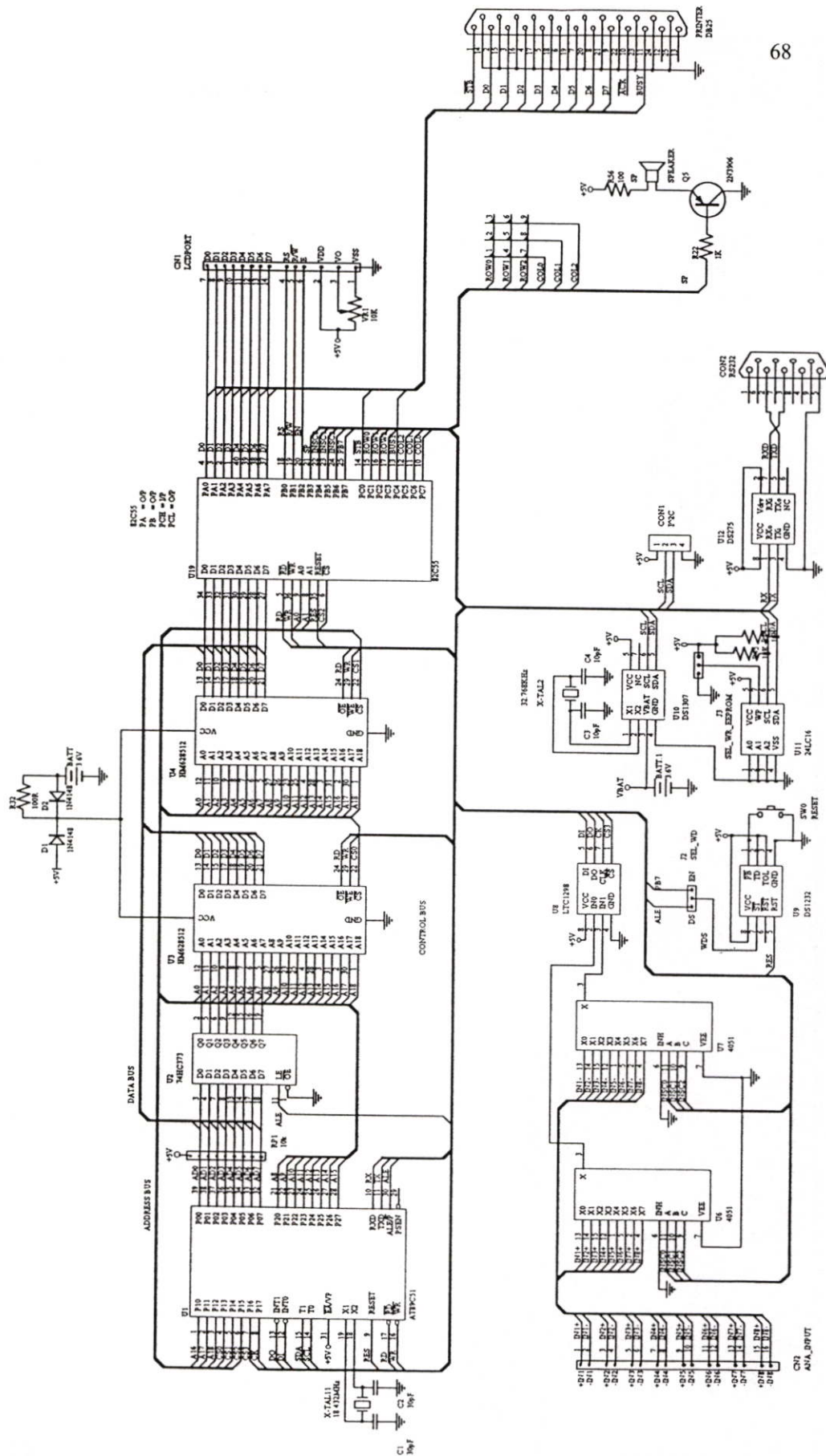
สัญญาณจากอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ทั้งหมดจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้าแล้วจึงส่งสัญญาณในรูปกระแสไฟฟ้านั้นมาเข้าที่พอร์ทของส่วนแสดงผลและบันทึกค่าซึ่งมีไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 89C51 เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานในการนำค่าที่วัดได้มาแสดง หรือนำค่าที่วัดไปเก็บไว้ในหน่วยความจำเพื่อใช้ในการประมวลผลและเก็บเป็นหลักฐานต่อไป รูปวงจรไฟฟ้าของส่วนบันทึกค่าและแสดงผลดังรูปที่ 6.9 และรูปโครงสร้างของบอร์ดอยู่ในรูปที่ 6.10



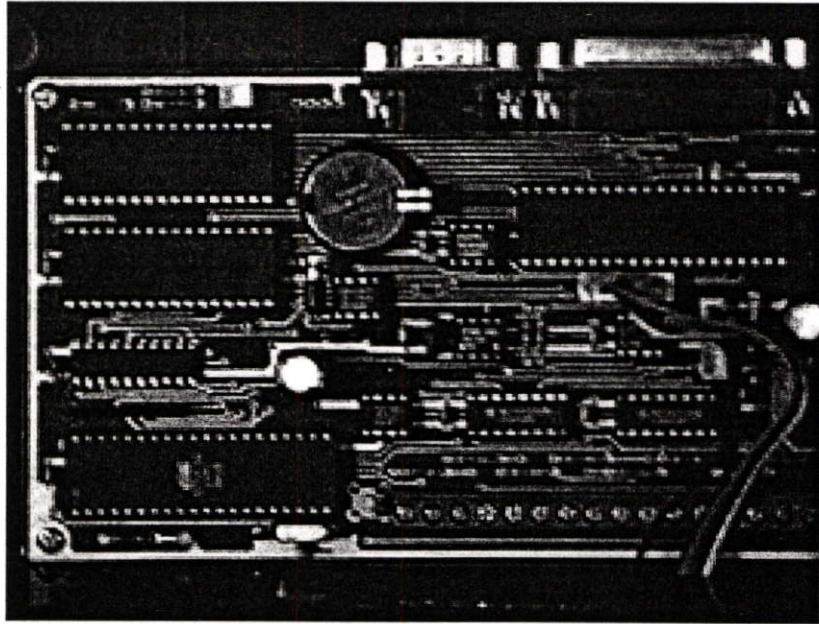
รูปที่ 6.8 กราฟแสดงค่าการวัดทดสอบค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ



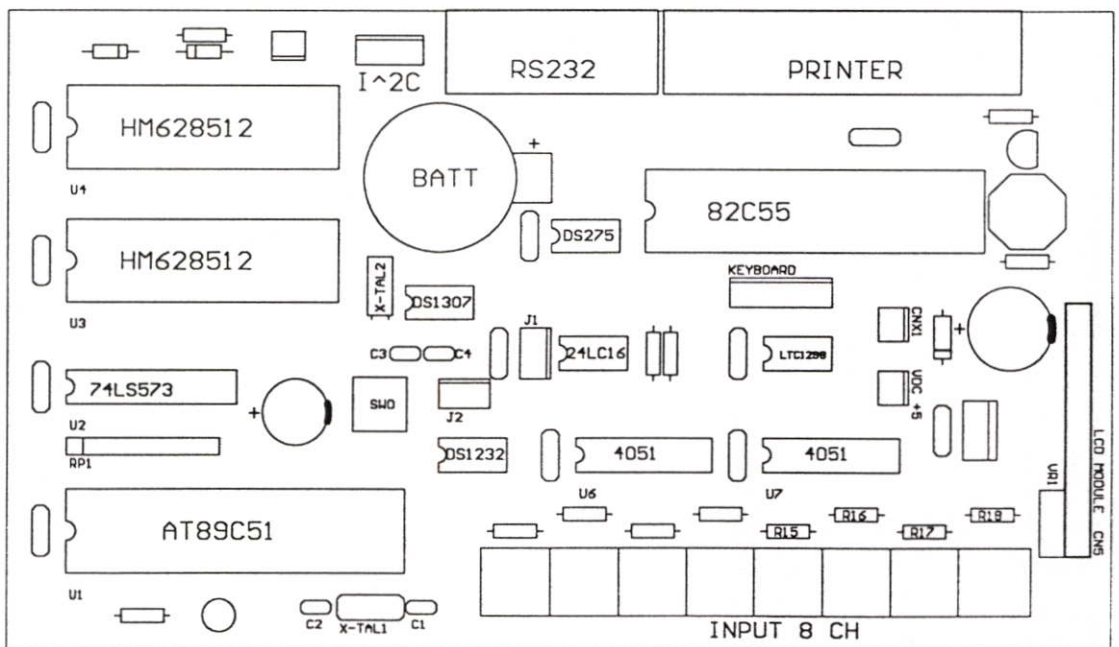
รูปที่ 6.9 กราฟแสดงค่าการวัดทดสอบค่าอุณหภูมิในอากาศ



รูปที่ 6.10 วงจรบันทึกค่าและแสดงผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 6.11 รูปชิ้นงานจริงของบอร์ดบันทึกค่าและแสดงผล



รูปที่ 6.12 รูปโครงสร้างของบอร์ดบันทึกค่าและแสดงผล

6.2.4 คุณสมบัติของบอร์ดบันทึกค่าและแสดงผลการวัดค่ามีดังนี้

1. สามารถรับสัญญาณจากอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ได้ 8 ช่องสัญญาณ
2. การแปลงสัญญาณจากอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลใช้อุปกรณ์เทวดิ 12 บิต
3. มีช่องพอร์ตอาร์เอส232 อัตราบอร์ค1200, 2400, 4800, 9600

4. กระแสไฟฟ้าที่ใช้ขณะทำงาน 27.38 มิลลิแอมแปร์
5. อัตราในการสุ่มค่า 11.1 กิโลเฮิร์ตส์
6. เวลาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณคอนแอชัน ไทม์ = 90 ไมโครวินาที
7. มีหน่วยความจำ 1 เมกะไบต์
8. มีอุปกรณ์เรียวไทม์คล็อก
9. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 89C51 เป็นคอนโทรลเลอร์ในกลุ่มเอ็มบีเอส1
10. รับอินพุตเป็นกระแสไฟฟ้า

6.2.5 เมนูหลักมีด้วยกัน 3 เมนู ได้แก่

6.2.5.1. เมนูเซ็ทอัฟ

สามารถที่จะเข้าสู่เมนูหลักเซ็ทอัฟได้โดยการกดคีย์ [FNC] แล้วตามด้วยคีย์ [SETUP] จะปรากฏเมนูย่อยดังนี้

1. Site info คือทำหน้าที่กำหนดค่าของชื่อหน่วยงาน เลขที่ ที่อยู่ เบอร์โทรศัพท์และแฟล็ก ซึ่งสามารถใช้ คีย์ [^] และ [v] เพื่อเลือกที่จะแก้ไข ถ้าต้องการแก้ไขให้เลื่อนพ้อยเตอร์ไปชี้ที่ต้องการจะแก้ไขแล้วกดคีย์ [ENT]

สรุป

คีย์ [^],[v] ทำหน้าที่เลือกหรือเลื่อนตำแหน่ง ไปยังที่ต้องการ

คีย์ [ENT] ทำหน้าที่ตกลงเลือกฟังก์ชันนั้นเพื่อเข้าสู่ Edit value

คีย์ [ESC] ทำหน้าที่ยกเลิกกลับไปยังฟังก์ชันก่อนหน้านั้นเมื่อเลือกแล้วจะเข้าสู่การแก้ไขค่าต่างๆ โดยจะเรียกว่า Edit value ซึ่งจะมี คีย์ ใช้งานดังนี้

[<] ทำหน้าที่เป็น Backspace

[>] ทำหน้าที่ Shift ไปทางขวา

[^] ทำหน้าที่เปลี่ยนตัวอักษร

[v] ทำหน้าที่เปลี่ยนตัวอักษร

[ENT] ทำหน้าที่ตกลงยอมรับการแก้ไขเพื่อเก็บข้อมูลแล้วออกมา Edit value

[ESC] ทำหน้าที่ยกเลิก โดยจะไม่เก็บข้อมูลหลังจากออกจาก Edit value

2. Calibration เป็นเมนูย่อยทำหน้าที่เซ็ทค่าของ I/P อะนาล็อก โดยจะมีเมนูย่อยอีกคือ Zero/Span ทำหน้าที่กำหนดค่า Zero และ Span ของอินพุทอะนาล็อกเพื่อจะ display ค่าของแต่ละอินพุท ถ้าเลือกฟังก์ชันนี้จะมีเมนูให้เลือกดังนี้

Zero ทำหน้าที่กำหนดค่า Zero ของ ช่องสัญญาณต่างๆ 8 ช่องสัญญาณเมื่อเลือก [^]และ[v] เพื่อเลือกช่องสัญญาณเมื่อได้ช่องสัญญาณ ที่ต้องการกด [ENT] แล้วเข้าสู่ Edit value

Span ทำหน้าที่กำหนดค่า Span ของ 8 ช่องสัญญาณเมื่อเลือก [^] และ [v] เพื่อเลือกช่องสัญญาณตามด้วย [ENT] จะเข้าสู่ Edit value

Unit ทำหน้าที่กำหนดหน่วยที่จะแสดงผลของแต่ละช่องสัญญาณ โดยเลือกช่องสัญญาณด้วยคีย์ [^] และ [v] ตามด้วยคีย์ [ENT] ช่องสัญญาณที่ต้องการจะเข้าสู่ Editvalue

6.2.5.2. เมนูแสดงผล

สามารถที่จะเข้าเมนูนี้ได้โดยกดคีย์ [ENC] แล้วตามด้วยคีย์ [REVIEW] จะมีเมนูย่อยดังนี้

1. Current data ทำหน้าที่แสดงค่าของแต่ละช่องสัญญาณ โดยค่าที่แสดงจะเป็นดังนี้
ค่าที่แสดง = $\text{Span} * \text{Vin} + \text{Zero Unit}$; Span คือค่าที่กำหนดไว้ของแต่ละช่องสัญญาณ

Zero คือค่าที่กำหนดของแต่ละช่องสัญญาณ

Vin คือแรงดันที่อินพุต 0-5 v. ของแต่ละช่องสัญญาณ

Unit คือค่าที่กำหนดหน่วยไว้ในแต่ละช่องสัญญาณ

กดคีย์ [^] และคีย์ [v] เพื่อเปลี่ยนช่องสัญญาณ

กดคีย์ [ESC] เพื่อออกจากการแสดงผล

2. Internal data ทำหน้าที่แสดงค่าที่เก็บไว้แล้วในหน่วยความจำ

6.2.5.3. เมนูพิมพ์รายงาน (PRINT)

ทำหน้าที่พิมพ์รายงานออกทางเครื่องพิมพ์ มีเมนูย่อยดังนี้

1. Current report ทำหน้าที่พิมพ์ทุกช่องสัญญาณของค่าปัจจุบัน

2. Interval report ทำหน้าที่พิมพ์ข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำ

3. Setup report ทำหน้าที่พิมพ์ค่า Setup ต่างๆ ตลอดจน Zero และ Span ของแต่ละช่องสัญญาณ

6.3 ข้อเสนอแนะ

-ระบบการวัดระยะไกลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์นี้สามารถปรับให้ใช้รับสัญญาณอินพุตเป็นแรงดันไฟฟ้าได้ ถ้านำมาใช้ในการวัดระยะทางสั้นๆ เพื่อสะดวกในการใช้งาน

-ความละเอียดของการแสดงผลสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการแก้ไขส่วนโปรแกรมให้มีความละเอียดของทศนิยมถึงสี่ตำแหน่ง

-ข้อจำกัดในเรื่องของเวลาจัดเก็บค่าในส่วนหน่วยความจำสามารถทำได้ถึง 45 วันเมื่อเก็บค่าทุกๆ 1 นาที และถ้าเก็บค่าทุกๆ 1 วินาทีจะสามารถจัดเก็บค่าได้นาน 7 วัน แต่ระบบการวัดระยะไกลนี้ถูกจำกัดความสามารถที่แหล่งจ่ายพลังงานเพราะออกแบบมาใช้งานนอกสถานที่จึงใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายพลังงาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Albert D.Helfrick and William D.Cooper, "Modern Electronic Instruments and Measurement Techniques," Prentice - Hall, 1990
- [2] Larry D.Jones and A.Foster Chin, "Electronic Instrument and Measurements," Prentice - Hall, 1991
- [3] Kurt C. Rolle, "Thermodynamics and Hest Power," Macmillan Publishing Company 1994
- [4] Douglas V.Hall, "Microprocessor and interfacing Progamming and hardware," McGRAW-HILL, 1990
- [5] "CMOS logic Databook," National Semiconductor 1988
- [6] "Burr - Brown Integrated Circuits Data Book," Data Conversion Products 1994

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] กอบชัย เดชหาญ, ศวุฒ นุษย์อังกฤษ “ระบบการวัดระยะไกลโดยไม่โครคอนโทรลเลอร์” ตีพิมพ์ใน หนังสือการประชุมทางวิชาการ ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 35
- [2] กอบชัย เดชหาญ, จิระศักดิ์ ชาญวุฒิชรรณ, ศวุฒ นุษย์อังกฤษ “เทคนิคการประมวลผลใช้กับ เครื่องบันทึกข้อมูลระบบดิจิทัล โดยใช้ไลต์ส 1-2-3,” ตีพิมพ์ใน วิศวกรรมลาดกระบัง

ภาคผนวก ก.
ค่าพีเอชมาตรฐาน

Temp.C	pH values					
	1	2	3	4	5	6
95		4.35	7.12	8.77		
90	2.00	4.3	7.09	8.79		
80	2.00	4.22	7.04	8.83		
70	1.99	4.16	7.00	8.88		
60	1.98	4.10	6.98	8.93		
55	1.98	4.08	6.98	8.93		
50	1.98	4.06	6.97	8.99	9.35	10.10
45	1.98	4.04	6.97	9.03	9.48	10.28
40	1.98	4.03	6.97	9.06	9.61	10.64
35	1.99	4.02	6.98	9.11	9.74	10.64
30	1.99	4.01	6.99	9.16	9.87	10.82
25	2.00	4.01	7.00	9.21	10.00	11.00
20	2.00	4.00	7.02	9.26	10.13	11.18
15	2.00	4.00	7.04	9.32	10.26	11.36
10	2.01	4.00	7.06	9.38	10.39	11.54
5	2.02	4.01	7.09	9.45	10.52	11.72
0	2.03	4.01	7.12	9.52	10.65	11.9

1. น้ำส้มสายชู
2. เบียร์
3. น้ำสะอาด
4. น้ำประปานทอง
5. น้ำสนุ่
6. แอมโมเนีย

ภาคผนวก ข.
มาตรฐานและวิธีการตรวจสอบน้ำทิ้งจากอาคาร

1. ประเภทมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคาร

คุณภาพน้ำทิ้ง	หน่วย	ประเภทมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคาร				หมายเหตุ
		ก	ข	ค	ง	
1. ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	5 - 9	5 - 9	5 - 9	5 - 9	
2. บีโอดี (BOD)	มก./ล	≤ 20	≤ 30	≤ 60	≤ 90	เป็นบีโอดีของตัวอย่างน้ำที่ปล่อยให้ตกตะกอน 30 นาที
3. ปริมาณของแข็ง (Solids)						
3.1 ปริมาณสารแขวนลอย	มก./ล	≤ 30	≤ 40	≤ 50	≤ 60	
3.2 ปริมาณตะกอนหนัก	มก./ล	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	
3.3 ปริมาณสารละลาย	มก./ล	≤ 500	≤ 500	≤ 500	≤ 500	เพิ่มขึ้นจากปริมาณสารละลายในน้ำใช้ตามปกติไม่เกิน 500 มก./ล
4. ซัลไฟด์ (Sulfide)	มก./ล	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 3.0	≤ 4.0	
5. ไนโตรเจน (Nitrogen)						
5.1 ที เค เอ็น	มก./ล	-	-	≤ 40	≤ 40	
5.2 ออร์แกนิกไนโตรเจน	มก./ล	≤ 10	≤ 10	≤ 15	≤ 15	
5.3 แอมโมเนีย-ไนโตรเจน	มก./ล	-	-	≤ 25	≤ 25	
6. น้ำมันและไขมัน	มก./ล	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	

แหล่งที่มาของข้อมูล : ประกาศสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคาร (30 ตค. 32) ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 107 ตอนที่ 18 ลงวันที่ 30 มค. 33

2. ประกาศอาคารตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคาร

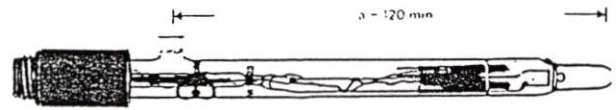
ประเภทอาคาร	ขนาดอาคาร	ประเภทมาตรฐาน
1. อาคารชุดตามกฎหมายว่าด้วยอาคารชุด	≤ 00 ห้อง	ค
	101 – 500 ห้อง	ข
	> 500 ห้อง	ก
2. โรงแรมตามกฎหมายว่าด้วยโรงแรม	≤ 60 ห้อง	ค
	61 – 200 ห้อง	ข
	> 200 ห้อง	ก
3. สถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาลหรือสถานพยาบาลของทางราชการ	10 – 30 เตียง	ข
	> 30 เตียง	ก
4. อาคารที่สร้างขึ้นในที่ดินของผู้ที่ได้รับอนุญาตให้จัดสรรที่ดินตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมการจัดสรรที่ดิน	≤ 20 หลัง	ง
	21 – 100 หลัง	ค
	101 – 500 หลัง	ข
	> 500 หลัง	ก
5. อาคาร โรงเรียน มหาวิทยาลัย วิทยาลัย หรือ สถาบันการศึกษาอื่นทั้งของรัฐบาลและเอกชน	5,000 – 25,000 ตรม.	ข
	> 25,000 ตรม.	ก
6. อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ หรือองค์การระหว่างประเทศและของเอกชน	5,000 – 10,000 ตรม.	ค
	10,001 – 55,000 ตรม.	ข
	> 55,000 ตรม.	ก
7. ศูนย์การค้าหรือห้างสรรพสินค้า	5,000 – 25,000 ตรม.	ข
	> 25,000 ตรม.	ก
8. ตลาดตามกฎหมายว่าด้วยสาธารณสุข	500 – 1,000 ตรม.	ง
	1,001 – 1,500 ตรม.	ค
	1,501 – 2,500 ตรม.	ข
	> 2,500 ตรม.	ก
9. กภัตาคารหรือร้านอาหาร	50 – 100 ตรม.	ง
	101 – 500 ตรม.	ค
	501 – 2,500 ตรม.	ข
	> 2,500 ตรม.	ก
10. หอพักตามกฎหมายว่าด้วยหอพัก	10 – 50 ห้อง	ง
	51 – 250 ห้อง	ค
	> 250 ห้อง	ข
11. สถานบริการประเภท สถานอาบน้ำ นวด หรืออบตัว ซึ่งมีผู้บริการให้แก่ลูกค้าตามกฎหมายว่าด้วยสถานบริการ	1,000 – 5,000 ตรม.	ค
	> 5,000 ตรม.	ข
12. แพลลาตามกฎหมายว่าด้วยการจัดระเบียบกิจการแพลลา	> 300 ตรม.	ข

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลทรานส์ดิวเซอร์

Combined EQUITHAL -pH electrode with shock-proof cylindrical membrane.

For accurate pH values and quick response, even when there is a large temperature difference between the sample solution and the electrode.
Electrolyte : 3 mol/l KCl,



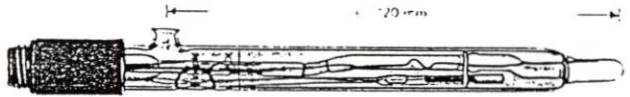
Standard combined pH electrode with shock-proof cylindrical membrane and ARGENTHAL high-temperature reference system.

Electrolyte: 3 mol/l KCl,



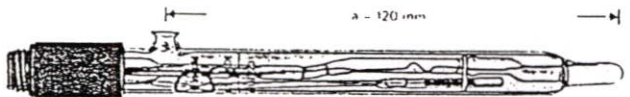
Standard combined pH electrode with shock-proof cylindrical membrane and high-temperature ARGENTHAL reference system with special electrolyte for media containing proteins.

Electrolyte: FRISCOLYT-B,



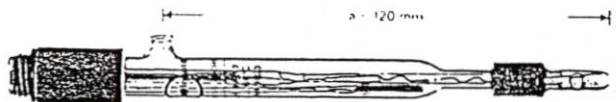
Combined pH electrode with a specially HF resistant glass membrane for HF concentrations up to 1 g/l (pH 3, 20 °C)

High temperature ARGENTHAL reference system.
Electrolyte: 3 mol/l KCl,



Combined pH electrode with Teflon ground joint (sleeve) diaphragm.

Specially qualified for, poorly ionised media (distilled water), emulsions, suspensions.
Electrolyte: 3 mol/l KCl,

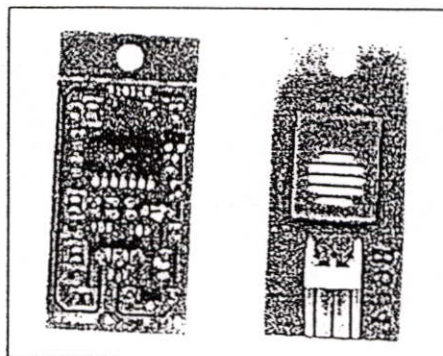


HUMIDITY SENSOR UNIT

HU10 SERIES

HU1012N

HU1015N



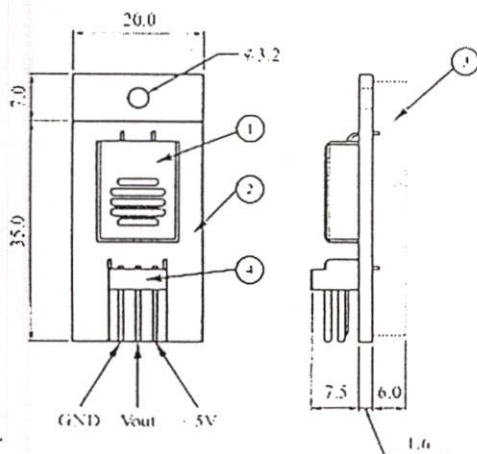
Characteristics

- Easy to use, because sensor and active circuit is on the same board
- Including temperature compensation circuit
- Available to measure wide range of humidity
- Excellent for long time working
- Everywhere you can attach small and light
- We achieved excellent cost performance
- Please select two type as below
 - HU1012 sensor: normal type
 - HU1015 sensor: high quality type
(water residence, heat residence)

Application

- Humidity monitor
- Humidity controller
- Air-conditioner
- Humidifier/ dehumidifier
- Automatic ventilator
- Management humidity of industrial process
- Management humidity of agricultural house

Dimensions



Active condition

	HU1012N	HU1015N
Input voltage (DC)	5 ± 0.2V	
Operating temperature range	0 ~ 50°C	
Operating humidity range	10 ~ 90%RH	10 ~ 100%RH
Storage temperature range	-30 ~ 50°C	-40 ~ 85°C

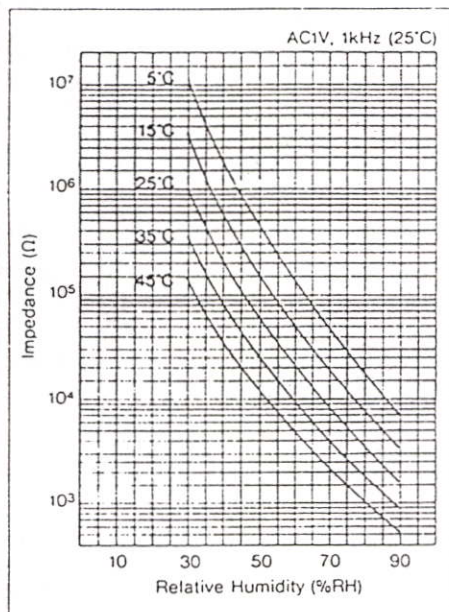
Specification

	HU1012N	HU1015N
Humidity sensor	HS12P	HS15P
Maximum operating current	2mA	
Output voltage range (DC)	1.0 ~ 3.0V	
Output precision	25~90%RH (25°C) $\leq 5\%RH$ Beyond above range $\leq 10\%RH$	
Temperature dependence	$\leq 5\%RH$	5 ~ 45°C (30~80%RH)
90% response time	1分	5分

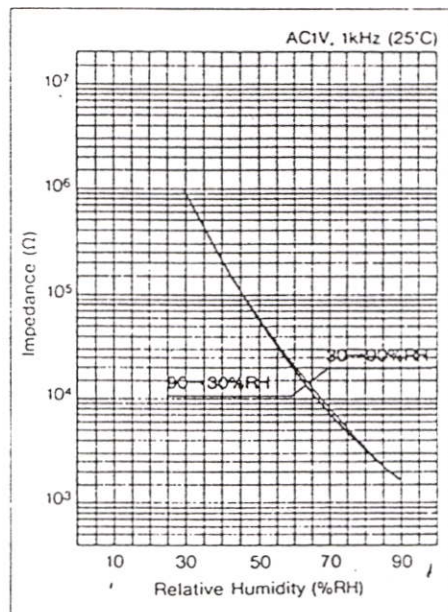
No.	Name	HU1012N	HU1015N
1	Humidity sensor	HS12P	HS15P
2	Printing Board	Material: glass epoxy t = 1.6mm	
3	Area for putting component		
4	Connector	AMP (Japan). Ltd. Type 171826-3 2.5mm pitch, 3 pin	

CHARACTERISTICS HS15-SERIES

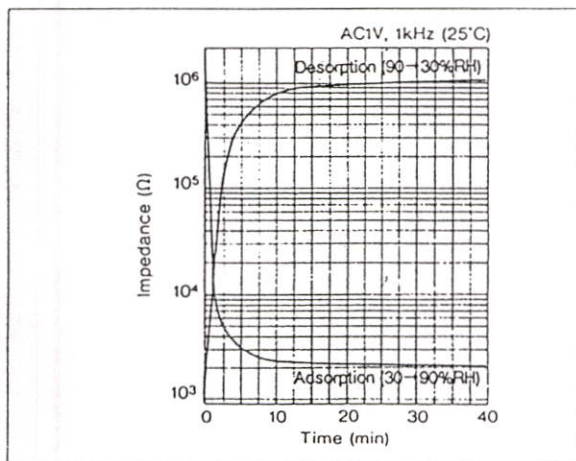
□ Humidity Sensing Performance



□ Humidity Hysteresis



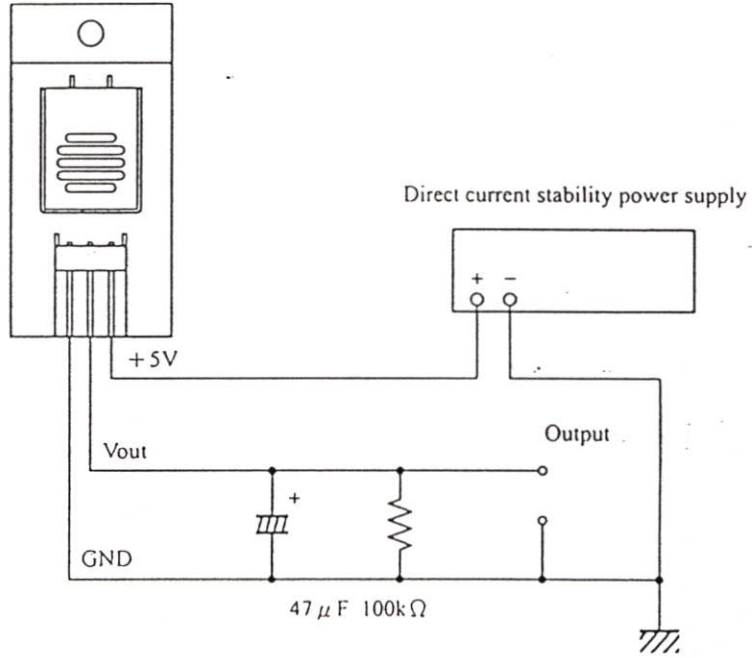
□ Humidity Response Characteristics



[Note]

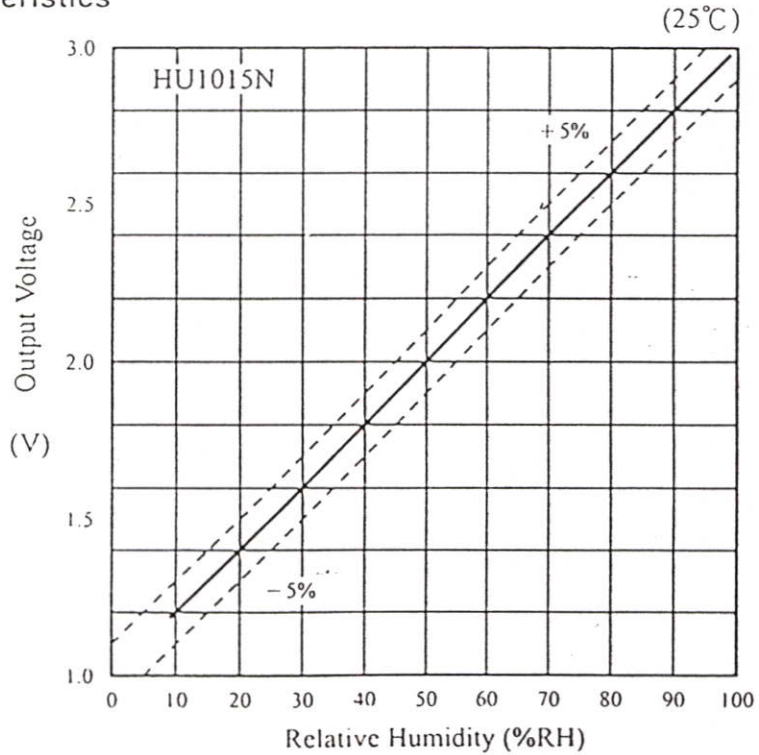
- If the porous filter of the case is clogged, the response characteristics will be degraded. Use a wide window type if used in a place with much moisture, dust, etc.
- If any DC voltage is mixed in the supply voltage, polarization will occur and this will cause the characteristics to be deteriorated. To avoid this, be sure to use an AC power supply.

Measuring Circuit



[Caution] You must connect another resistor and capacitor as above

Output Characteristics



WARNING

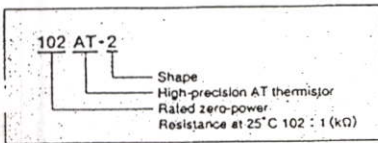
- Please use within the range of specification
- Don't disassemble or change the component

HIGH PRECISION THERMISTOR

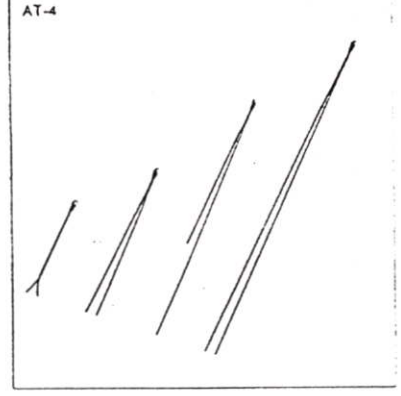
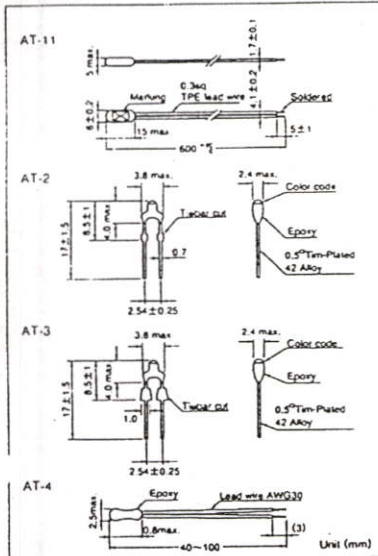
AT THERMISTOR

The AT thermistor is a high-precision thermal sensing device featuring an extremely small B-value tolerance and resistance. When used as a temperature gauge, the AT thermistor requires no adjustment between the control circuit and the sensor. This insures a temperature precision of $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$. Temperature indicators and control instruments are now available for use with the thermistor.

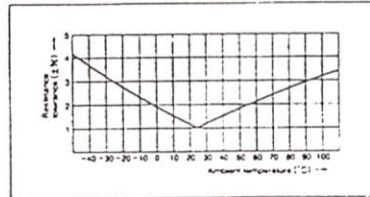
Part number



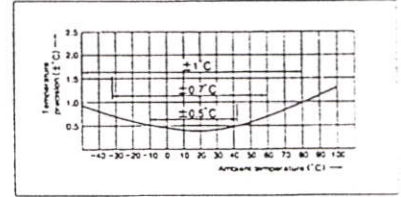
Dimensions



Resistance tolerance



Interchange precision



Specifications

Part No	R ₂₅ **	B-value**	Dissipation factor (mW/C)	Thermal time constant(s)**	Rated power at 25°C(mW)	Operating temp. range(°C)	Color code
102AT-2	1.0kΩ±1%	3100K±1%	2	15	10	-50~90	Black
202AT-2	2.0kΩ±1%	3162K±1%	2	15	10	-50~90	Red
502AT-2	5.0kΩ±1%	3324K±1%	2	15	10	-50~110	Yellow
103AT-2	10.0kΩ±1%	3435K±1%	2	15	10	-50~110	White
203AT-2	20.0kΩ±1%	4013K±1%	2	15	10	-50~110	None
503AT-2	50.0kΩ±3%	4060K±1%	2	15	10	-50~110	None
103AT-3	10.0kΩ±1%	3435K±1%	2	15	10	-50~110	White
103AT-4	10.0kΩ±1%	3435K±1%	2	10	10	-30~90	None
102AT-11	1.0kΩ±1%	3100K±1%	3	75	15	-50~90	None
202AT-11	2.0kΩ±1%	3162K±1%	3	75	15	-50~90	None
502AT-11	5.0kΩ±1%	3324K±1%	3	75	15	-50~105	None
103AT-11	10.0kΩ±1%	3435K±1%	3	75	15	-50~105	None

*1 R₂₅: Rated zero-power resistance value at 25°C.
 *2 B value: determined by rated zero-power resistance at 25°C and 85°C.
 *3 Time when thermistor temperature reaches 63.2% of the temperature difference. The value is measured in the air.

Resistance-Temperature

Temperature (°C)	Type						Temperature (°C)	Type					
	102AT	202AT	502AT	103AT	203AT	503AT		102AT	202AT	502AT	103AT	203AT	503AT
-50	24.46	55.66	154.6	329.5	1253	3168	35	0.7229	1.424	3.508	6.940	13.06	32.48
-45	18.68	42.17	116.5	247.7	890.5	2257	40	0.6189	1.211	2.961	5.827	10.65	26.43
-40	14.43	32.34	88.91	188.5	642.0	1632	45	0.5316	1.033	2.509	4.911	8.716	21.59
-35	11.23	24.96	68.19	144.1	465.8	1186	50	0.4587	0.8854	2.137	4.160	7.181	17.75
-30	8.834	19.48	52.87	111.3	342.5	872.8	55	0.3967	0.7620	1.826	3.536	5.941	14.64
-25	6.998	15.29	41.21	86.43	253.6	646.3	60	0.3446	0.6587	1.567	3.020	4.943	12.15
-20	5.594	12.11	32.44	67.77	190.0	484.3	65	0.3000	0.5713	1.350	2.588	4.127	10.13
-15	4.501	9.655	25.66	53.41	143.2	364.6	70	0.2622	0.4975	1.168	2.228	3.464	8.482
-10	3.651	7.763	20.48	42.47	109.1	277.5	75	0.2285	0.4343	1.014	1.924	2.916	7.129
-5	2.979	6.277	16.43	33.90	83.75	212.3	80	0.1999	0.3807	0.8835	1.668	2.468	6.022
0	2.449	5.114	13.29	27.28	64.88	164.0	85	0.1751	0.3346	0.7722	1.451	2.096	5.105
5	2.024	4.188	10.80	22.05	50.53	127.5	90	0.1536	0.2949	0.6771	1.266	1.788	4.345
10	1.684	3.454	8.840	17.96	39.71	99.99	95			0.5961	1.108	1.530	3.712
15	1.408	2.862	7.267	14.69	31.36	78.77	100			0.5265	0.9731	1.315	3.185
20	1.184	2.387	6.013	12.09	24.96	62.56	105			0.4654	0.8572	1.134	2.741
25	1.000	2.000	5.000	10.00	20.00	50.00	110			0.4128	0.7576	0.9807	2.369
30	0.8486	1.684	4.179	8.313	16.12	40.20							

Unit: (mm)

THERMISTOR

"Thermistor" is the generic name given to thermally sensitive resistors.

Negative temperature coefficient thermistor is generally called as thermistor. Thermistor is a semiconducting ceramic resistor produced by sintering the materials at high temperature, and uses metal oxide as its main component.

Depending on the manufacturing method and the structure, there are many shapes and characteristics of thermistors, thus allowing wide range of applications such as temperature measurement, temperature compensation, etc.

The thermistor resistance values, other than those especially noted, are classified at a standard temperature of 25°C

B constant is value calculated from the resistance values at 25°C and 85°C.

Resistance-Temperature Characteristics

The resistance of a temperature is solely a function of its absolute temperature. Since electrical power being dissipated within a temperature might heat above its ambient temperature and thereby reduce its resistance, it is necessary to test for resistance with temperature. The resistance so measured is called R_T , which means the resistance at essentially zero-power.

The mathematical expression which relates the resistance and the absolute temperature of a thermistor is as follows:

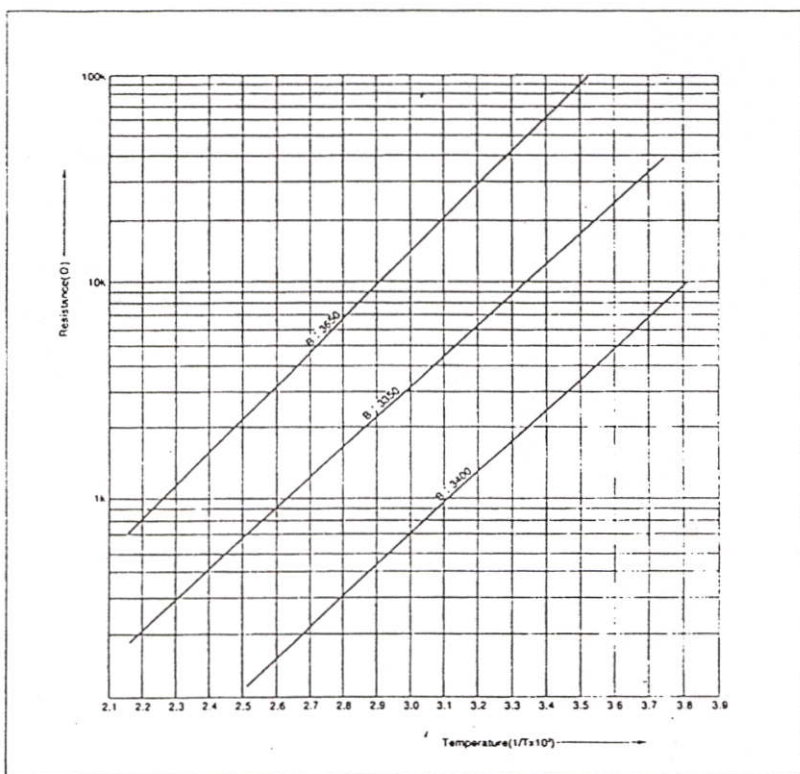
$$R_t = R_0 \exp\left[B\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right]$$

Where: R_t is the resistance at absolute temperature T_1
 R_0 is the resistance at absolute temperature T_2
 B is a constant which depends on the material used to make the thermistor

Unless otherwise specified, all values of B are determined from measurements made at 25°C and 85°C.

The temperature coefficient of resistance of a thermistor α is expressed in the following equation:

$$\alpha = -\frac{B}{T^2} \times 100 (\%/^{\circ}\text{C})$$



Dissipation factor

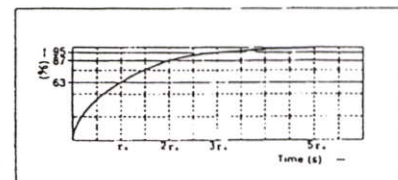
Dissipation factor (δ) is power in milliwatts required to raise thermistor temperature 1°C. Measured with thermistor suspended by its leads in a specified environment.

$$\delta = \frac{P}{\Delta T} \text{ (mW/}^{\circ}\text{C)}$$

P : Power (mW)
 ΔT : Raise temperature ($^{\circ}\text{C}$)

Thermal time constant

Thermal Time constant (τ_s) is the time required by a thermistor to change 63% of the difference between its initial and final temperature. Measured with thermistor suspended by its leads in specified environment.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นายศุภม บุษขอังกร
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 5 กรกฎาคม พ.ศ.2504
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม
สถานที่สำเร็จการศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
ปีที่สำเร็จการศึกษา	ปีการศึกษา 2532
ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์	ระบบการวัดระยะไกลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์
อาชีพปัจจุบัน	อาจารย์ระดับ 6 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ