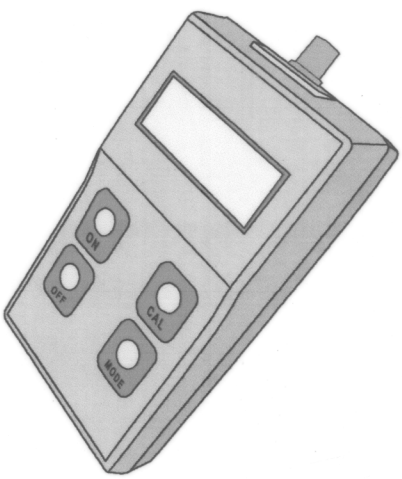
รายงานวิจัย

เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง

pH Meter



รายนามคณะผู้วิจัย

1. นายอุทัย ไทยเจริญ

2. นายสัตยา บุญรัตนชู

3. นายก้องเกียรติ รักษ์วงศ์

4. นายฮัมดัน มะเซ็ง

ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยด้วยเงินรายได้ ส่งผลให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชาคริต ทองอุไร ผู้อำนวยการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และ ดร. มณเทพ เกียรติวีรสกุล รองผู้อำนวยการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นทั้งที่ปรึกษาโครงการวิจัยในการให้คำปรึกษา พร้อมทั้งเอื้ออำนวยความสะดวกในการใช้สถานที่และเครื่องมือของทางศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณบุคลากรศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดการทำงานวิจัยในครั้งนี้

คณะผู้ดำเนินการวิจัย

ชื่องานวิจัย **เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง**

ชื่อคณะผู้วิจัย **นายอุทัย ไทยเจริญ นายสัตยา บุญรัตนชู**
นายก้องเกียรติ รักษ์วงศ์ และ นายฮัมดัน มะเซ็ง

หน่วยงาน **ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง การพัฒนาได้ออกแบบเครื่องโดยคำนึงถึงการซ่อมแซมเมื่อเกิดปัญหากับตัวเครื่องอีกทั้งในเรื่องของราคา ระบบการทำงานของตัวเครื่องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F913 เป็นตัวควบคุม ซึ่งสามารถพัฒนาให้สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต RS-232 เพื่อใช้บันทึกข้อมูลในการวัดค่าพีเอชในตัวอย่าง ทำให้สะดวกต่อการประยุกต์ใช้งาน

ผลของการทดสอบการทำงานของเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่างที่ได้พัฒนาขึ้น สามารถวัดค่าได้อย่างแม่นยำ และสามารถใช้งานได้ง่าย อีกทั้งยังสามารถที่จะกำหนดการสอบเทียบตัวเครื่องกับสารมาตรฐานแบบ หนึ่ง สองหรือสามสารมาตรฐาน

คำสำคัญ : เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง,pH Meter

Research Title **pH Meter**

Name **Mr.Utai Thaicharoen Mr.Sathaya Bunratchoo**

Mr.Kongkiat Rakwong Mr.Humdan Maseng

Organization **Scientific Equipment Center, Prince of Songkla University**

Abstract

This research presented the design and development of a digital pH meter in which the ease of fixing capability and its low cost were considered. The microcontroller was used as a controller in the system and that can communicate with a microcomputer via the serial communication port, RS232, to save the measured pH data. The developed pH meter was tested with the pH standards and the precise measurements were obtained. In addition, the pH meter provided the functions of ease of use and two or three standards calibration.

Keyword : , pH Meter

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	i
บทคัดย่อ	Ii
Abstract	iii
สารบัญ	Iv
รายการตาราง	Vi
รายการภาพประกอบ	Viii
บทที่1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย	1
1.2 การตรวจเอกสาร	2
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	4
บทที่ 2ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 หลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องวัดความเป็นกรดและด่าง	5
2.2 ส่วนประกอบหลักของเครื่อง pH Meter	6
2.3 สรุปท้ายบท	10
บทที่3 การออกแบบเครื่อง pH Meter	
3.1 การออกแบบวงจร Preamp สำหรับ pH Meter	11
3.2 การออกแบบวงจรวัดอุณหภูมิ	13
3.3 การเลือกใช้ ADC	15
3.4 การเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์	15
3.5 ขั้นตอนการประกอบ PCB และออกแบบกล่อง	16
3.6 สรุปท้ายบท	22
บทที่ 4 การทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ	
4.1 การทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ	23
4.2 สรุปท้ายบท	27
บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบ	
5.1 สรุปขั้นตอนของการวิจัย	28

5.2 สรุปผลการทดสอบ 28
5.3 สรุปคุณสมบัติเครื่องวัดค่ามเป็นกรด-ด่าง 28
5.4 ปัญหาและข้อเสนอแนะ 29
5.5 แนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต 29
ภาคผนวก
ก. คู่มือการใช้งานเครื่อง / โปรแกรม 30
ข. เอกสารอ้างอิง 36

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพประกอบที่ 1-1 Block – Diagram โครงสร้างการออกแบบ	2
ภาพประกอบที่ 1-2 โครงการวิจัยต้นแบบเครื่องวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อม	3
ภาพประกอบที่ 2-1 แผนผังดำเนินการพื้นฐาน	6
ภาพประกอบที่ 2-2 ตัวอย่าง pH Meter ของศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์	6
ภาพประกอบที่ 2-3 Diagram การทำงาน	9
ภาพประกอบที่ 3-1 วงจรขยายสัญญาณสำหรับ pH electrode โดยใช้แหล่งจ่ายไฟคู่	11
ภาพประกอบที่ 3-2 วงจรสร้างแหล่งจ่ายไฟลบจากแหล่งจ่ายไฟบวก	11
ภาพประกอบที่ 3-3 วงจรขยายสัญญาณสำหรับ pH electrode โดยใช้แหล่งจ่ายไฟเดียว	12
ภาพประกอบที่ 3-4 การวางอุปกรณ์ในส่วนขยายสัญญาณ	13
ภาพประกอบที่ 3-5 กราฟแสดงค่าความไม่เป็นเชิงเส้นของ NTC Sensor	13
ภาพประกอบที่ 3-6 วงจรชดเชยความเป็นเชิงเส้นของการวัดอุณหภูมิ	14
ภาพประกอบที่ 3-7 กราฟแสดงผลหลังการเพิ่มวงจรชดเชย	14
ภาพประกอบที่ 3-8 ADC แปลงสัญญาณจาก Analog เป็นสัญญาณ Digital	15
ภาพประกอบที่ 3-9 PIC 16F913	16
ภาพประกอบที่ 3-10 กล่องสำเร็จรูป	16
ภาพประกอบที่ 3-11 การติดตั้งระบบคีย์กด	17
ภาพประกอบที่ 3-12 จอแสดงผลของเครื่องวัด pH Meter	17
ภาพประกอบที่ 3-13 ชุดสำเร็จรูปพร้อมใช้งาน	18
ภาพประกอบที่ 3-14 วงจรสมบูรณ์ เครื่อง pH Meter ส่วนควบคุม	18
ภาพประกอบที่ 3-15 วงจร pH Meter ส่วนของ อนาลอก	19
ภาพประกอบที่ 3-16 PCB สองหน้าของเครื่อง pH Meter	20
ภาพประกอบที่ 3-17 PCB ที่ออกแบบพร้อมอุปกรณ์	20
ภาพประกอบที่ 4-1 การทดสอบวงจรโดยรวมกับ pH standard buffer	23
ภาพประกอบที่ 4-2 pH Meter	24
ภาพประกอบที่ 4-3 ผลการทดสอบสารละลายมาตรฐาน pH 4	26
ภาพประกอบที่ 4-4 ผลการทดสอบสารละลายมาตรฐาน pH 7	26
ภาพประกอบที่ 4-5 ผลการทดสอบสารละลายมาตรฐาน pH 10	27
ภาพประกอบที่ 4-6 เครื่องที่ทำการทดสอบกับสารละลายชุดเดียวกัน	27

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพประกอบที่ ค-1 คุณสมบัติโดยรวมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F913	36
ภาพประกอบที่ ค-2 ตัวถังแบบ SOIC	37
ภาพประกอบที่ ค-3 ตารางแสดงคุณสมบัติเทียบกับ เบอร์อื่น ๆ ในตระกูลเดียวกัน	37
ภาพประกอบที่ ค-4 Block Diagram ของ PIC16F913	38
ภาพประกอบที่ ค-5 คุณสมบัติโดยรวมของ MCP3304	39
ภาพประกอบที่ ค-6 รูปแบบการเชื่อมต่อข้อมูลแบบอนุกรมของ MCP3304	40
ภาพประกอบที่ ค-7 คุณสมบัตโดยรวมของ MAX663	41
ภาพประกอบที่ ค-8 คุณสมบัติโดยรวมของ CA3140	42
ภาพประกอบที่ ค-9 คุณสมบัติโดยรวมของ LM358	43

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบระหว่างไฟเลี้ยงเดียว และไฟเลี้ยงคู่	12
ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ	24
ตารางที่ 3 ตารางการทดสอบการวัดซ้ำในการหาค่า Xbar , SD, RSD	25

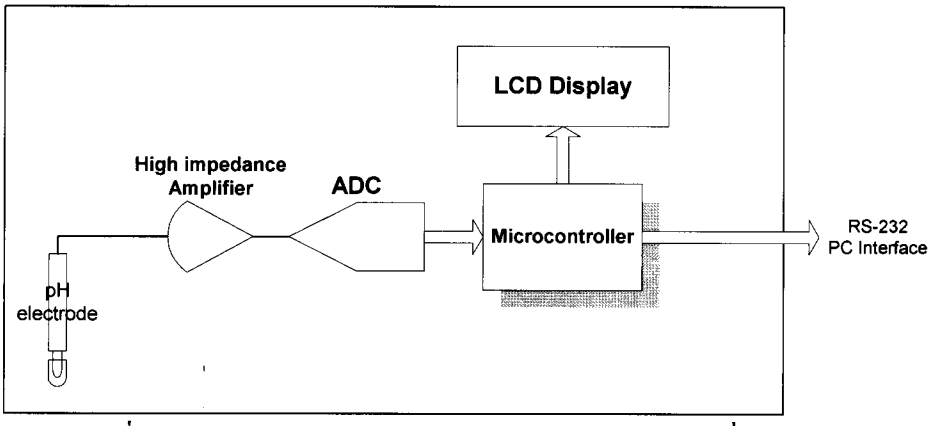
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย

การพัฒนาและขยายตัวอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีในปัจจุบันส่งผลต่อการเติบโตของอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดกลางอย่างรวดเร็ว หนึ่งในอุตสาหกรรมเหล่านี้ก็คืออุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม ซึ่งอุตสาหกรรมเหล่านี้ต้องการใช้น้ำในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก คุณภาพของน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตรวมถึงคุณภาพของน้ำที่เหลือจากกระบวนการผลิตซึ่งต้องผ่านกระบวนการบำบัดก่อนทิ้งลงสู่ระบบต่อไปเป็นสิ่งสำคัญที่จะละเลยไม่ได้ หนึ่งในเครื่องมือตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นคือเครื่องวัดค่า pH หรือ pH meter ซึ่งส่วนใหญ่จะต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาแพง แม้จะสามารถนำเข้าจากประเทศในแถบเอเชียซึ่งมีราคาถูกกว่าการนำเข้าจากยุโรปหรืออเมริกาอยู่บ้างก็ตาม แต่ก็ยังจัดว่ามีราคาสูงอยู่ค่อนข้างมาก สำหรับศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ได้ดำเนินการสร้าง pH meter มาสองรุ่นด้วยกัน ทั้งรุ่นที่เป็นแบบอนาล็อก (analog) และแบบตัวเลข (digital) ซึ่งได้รับการตอบรับจากผู้ใช้งานค่อนข้างดีแต่ก็มีข้อด้อยเรื่องขนาดที่ค่อนข้างใหญ่และค่อนข้างสิ้นเปลืองพลังงานซึ่งไม่สะดวกต่อการพกพาไปใช้งานนอกสถานที่ อย่างไรก็ตามด้วยเทคโนโลยีทางด้านสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ในปัจจุบันที่พัฒนาไปอย่างรวดเร็วทำให้สามารถสร้างอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กประสิทธิภาพสูงราคาถูกและใช้พลังงานต่ำ ซึ่งเหมาะต่อการพัฒนา pH meter แบบพกพาในราคาประหยัดเพื่อช่วยเหลือผู้ประกอบการขนาดเล็กและขนาดกลาง ลดการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ และจัดเป็นนวัตกรรมการผลิตอุปกรณ์ต้นแบบของคนไทยที่ลดค่าใช้จ่ายและมีราคาถูก ประโยชน์ใช้สอยคุ้มค่า และประหยัดพลังงาน

โดยโครงสร้างของการออกแบบเครื่องมือดังกล่าวแสดงดังภาพประกอบที่ 1-1



ภาพประกอบที่ 1-1 Block - Diagram โครงสร้างการออกแบบของเครื่อง pH meter

1.2 การตรวจเอกสาร(โครงการวิจัยที่เกี่ยวข้อง)

1.2.1 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง แบบอนาล็อคและดิจิตอล(รุ่น มงคลสุข)

สมัย ดร.อภินันท์ พงศ์สุพัฒน์ จะมีผู้ร่วมงาน 3 ท่าน ดร.มณเทพ เกียรติวีระสกุล และนายอุทัย ไทยเจริญ ซึ่งจะผลิตขายให้กับผู้สนใจทั่วไปและได้ดำเนินการออกแบบเป็น 2 รุ่น มีรุ่นอนาล็อคตัวกล่องเป็นโลหะค่อนใหญ่และได้ดำเนินการในรุ่นที่ 2 เป็นแบบดิจิตอลแต่ก็ยังมีปัญหาในเรื่องของกล่องบรรจุอีกทั้งจำนวนชั่วโมงการใช้งานของเครื่องจะได้ประมาณ 5 – 6 ชม. ค่อนข้างสิ้นเปลืองแบตเตอรี่รุ่นที่จะพัฒนาขึ้นมาใหม่ก็ศึกษาหลังการทำงานของรุ่นที่ผ่านมาเพื่อมาเทียบเคียงประยุกต์ใช้ให้ทันสมัยกว่าเดิมกอร์ปกับปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ดีขึ้น ทำให้สามารถเลือกอุปกรณ์ในการออกแบบให้ใช้พลังงานน้อยลงตัวเครื่องที่จะถูกออกแบบสามารถใช้แบตเตอรี่ได้ถึง 1000 ชั่วโมงและสามารถต่อระบบคอมพิวเตอร์ได้ วัดค่าแบบ on line พร้อม plot graphได้ส่วนความละเอียดในการวัด 0.01 และขนาดของตัวกล่อง กว้าง 6 ซม.,ยาว 10 ซม.,หนา 4ซม.เป็นอย่างมาก ระบบการปรับ Slope ของเครื่องจะเป็นแบบ Digital ซึ่งสามารถปรับได้ ทั้งสองบัฟเฟอร์และสามบัฟเฟอร์ซึ่งจะขึ้นอยู่กับช่วงการใช้งานเป็นกรด-ด่างหรือทั้งสองช่วง

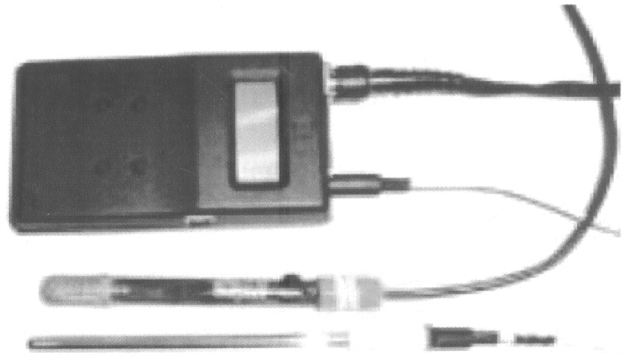
1.2.2 เครื่องวัดความเป็นกรดด่างชนิดแบบพกพา (Pocket pH meter) รหัสผลงาน BE706, ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

โครงการวิจัยเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่างชนิดแบบพกพา ได้วิจัยทั้งส่วนหัววัดและส่วนการแสดงผล ในส่วนหัววัดได้พัฒนาส่วนผสมของแก้วที่ไวต่อโปรตอน วิจัยการขึ้นรูปแก้ว การจัดสร้างและตรวจสอบ combined electrode ในส่วนการแสดงผลได้พัฒนาวงจรอิเลคทรอนิกส์โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุมการทำงานและแสดงผลผ่านหน้าจอ LCD ทำงานโดยแบตเตอรี่เพื่อให้เหมาะต่อการพกพาโดยสามารถวัดค่า pH ได้ละเอียดถึง pH 0.1 ในช่วง pH 0.0 – pH 14.0 แต่ NECTEC ไม่ได้ทำในลักษณะเชิงพานิชย์และอยู่ระหว่างการพัฒนา (สอบถามไปทาง NECTEC ได้

ทราบว่ายังคงอยู่ในขั้นตอนวิจัย) ส่วนที่คณะวิจัยจัดทำมุ่งเน้นที่จะดำเนินการผลิตขายให้กับผู้ที่สนใจในราคาที่ไม่สูงมากนักและจะเน้นในเรื่องของการต่อเข้ากับระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้เก็บข้อมูลและสามารถนำไปใช้งานในห้อง LAB ปฏิบัติการที่ต้องการที่จะจัดเก็บข้อมูลด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ส่วนในเรื่องของความแตกต่างดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้างต้น จะเป็นไปในเรื่องส่วนต่อของระบบคอมพิวเตอร์ส่วนในเรื่องของราคาตัวเครื่องต้นทุนต่อเครื่องประมาณ 3,500 บาท ซึ่งไม่รวมในส่วนของ Electrode

1.2.3 *ต้นแบบเครื่องวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อม (pH meter) รหัสผลงาน BE701-43, ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ*

โครงการวิจัยต้นแบบเครื่องวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อม (pH meter) เป็นรุ่นที่พัฒนามาก่อนรุ่น BE706 ลักษณะของเครื่องแสดงดังภาพที่ 1



ภาพประกอบที่ 1-2 : โครงการวิจัยต้นแบบเครื่องวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อม

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.3.1 ทำให้ประชาชนและเจ้าของกิจการอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดกลางในกลุ่มเป้าหมายมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับคุณภาพน้ำจากกระบวนการผลิต โดยใช้ pH meter แบบพกพา

1.3.2 เจ้าของกิจการอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดกลางในกลุ่มเป้าหมาย สามารถใช้ประโยชน์จากชุดอุปกรณ์ pH meter แบบพกพา โดยไม่จำเป็นต้องเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการซึ่งต้องอาศัยเครื่องมือและอุปกรณ์วิเคราะห์อื่น ๆ ที่มีราคาแพงและค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์สูง

1.3.3 เป็นพื้นฐานเพื่อพัฒนาไปสู่การผลิตชุดอุปกรณ์วิเคราะห์ในเชิงพาณิชย์ในอนาคต

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 พัฒนา pH meter แบบพกพาสามารถวัดค่า pH ได้ในช่วง pH 0 ถึง pH 14 ความละเอียด 0.01

1.4.2 พัฒนาโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการบันทึกข้อมูลแบบต่อเนื่องและ plot graph

1.4.3 ตัวเครื่องถูกพัฒนาให้สามารถใช้แบตเตอรี่ได้ถึง 75 ชั่วโมงอย่างต่อเนื่องโดยคำนวณจากค่าความจุของ Alkaline แบตเตอรี่ 600 mAh และกระแสไฟฟ้าที่เครื่องต้องการ 8 mA ส่วนความสามารถของเครื่อง pH meter ที่ออกแบบมาสามารถต่อระบบคอมพิวเตอร์ได้ วัดค่าแบบ on line พร้อม plot graphได้ส่วนความละเอียดในการวัด 0.01 และขนาดของตัวกล่อง กว้าง 6 ซม., ยาว 10 ซม., หนา 4ซม. เป็นอย่างมาก ระบบการปรับ Slope ของเครื่องจะเป็นแบบ Digital ซึ่งสามารถปรับได้ แบบทั้งสองบัฟเฟอร์และสามบัฟเฟอร์โดยสามารถเลือกได้ว่าจะปรับในช่วง กรด- ด่างหรือทั้งสองช่วง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.5.1 ทำให้ประชาชนและเจ้าของกิจการอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดกลางในกลุ่มเป้าหมายมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับคุณภาพน้ำจากกระบวนการผลิต โดยใช้ pH meter แบบพกพา

1.5.2 กลุ่มเป้าหมายคือเจ้าของกิจการอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดกลาง สามารถใช้ประโยชน์จากชุดอุปกรณ์ pH meter แบบพกพา โดยไม่จำเป็นต้องเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการซึ่งต้องอาศัยเครื่องมือและอุปกรณ์วิเคราะห์อื่น ๆ ที่มีราคาแพงและค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์สูง

1.5.3 เป็นพื้นฐานเพื่อพัฒนาไปสู่การผลิตชุดอุปกรณ์วิเคราะห์ในเชิงพาณิชย์ในอนาคต

1.5.4 ได้ชุดอุปกรณ์ pH Meter ต้นแบบในราคาที่สามารถผลิตในเชิงพานิชย์ต่อไปในราคาที่ไม่รวม Electrode ชุดละไม่เกิน 5,000 บาท - ค่า electrode ราคาอยู่ประมาณ 4,000 – 12,000 บาท แล้วแต่คุณภาพของ electrode จึงประมาณราคาชนิดที่มีตัว Sensor อุณหภูมิอยู่ในตัวซึ่งราคาประมาณ 10,000 บาท/ตัว

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 หลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องวัดความเป็นกรดและด่าง

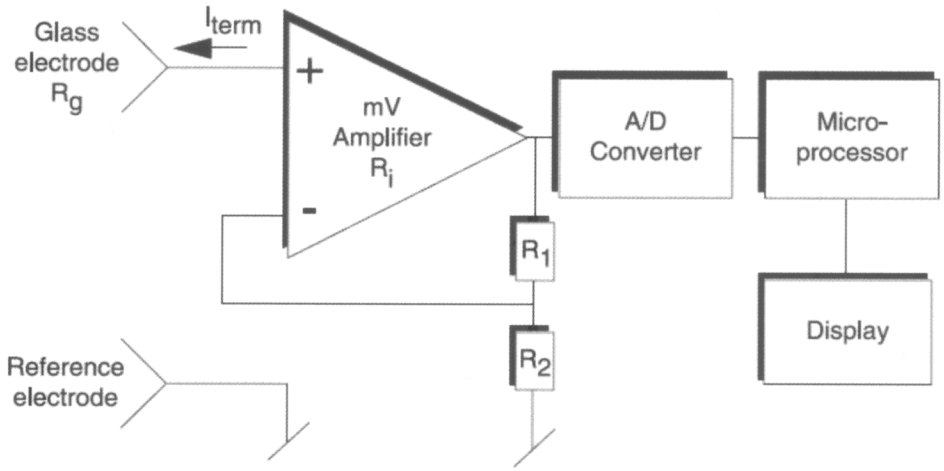
คำว่า pH ได้มาจากการเอาตัวอักษร p ที่มีความหมายว่า power และ H ที่เป็นสัญลักษณ์ของไฮโดรเจนมารวมกัน ซึ่งค่า pH ดังกล่าวเป็นค่าที่แสดงถึงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H^+) หรือไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) ใช้บอกความเป็นกรดหรือเบสของสารละลาย

pH คือค่าที่ถูกวัดด้วยตัวกลางชนิดใดชนิดหนึ่ง กระดาษ litmus คือสิ่งหนึ่งที่ถูกใช้วัดค่า pH กันอย่างกว้างขวาง (ซึ่งเพียงสามารถบอกค่าคร่าวๆออกมาเท่านั้น ซึ่งอาจจะเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการความแม่นยำที่สูงมาก) ส่วนเครื่องมือที่วัดค่าที่สามารถให้ค่าที่มีความแม่นยำมากขึ้น อาจประกอบด้วย pH Meter และ pH Electrode ซึ่งตัวอิเล็กโทรดอาจเป็น Hydrogen ion sensitive glass bulb โดย Glass Membrane จะเลือกปล่อยให้ไอออนไฮโดรเจน(H^+ ions) สามารถแพร่ผ่านทะลุ Glass Membrane เข้าไปใน bulb ได้ แต่อย่างไรก็ตามวัสดุที่ใช้ทำ pH Electrodeไม่จำเป็นต้องเป็นแก้ว การเคลื่อนตัวของไอออนผ่านเมมเบรน (Membrane) จะผลิตแรงดันไฟฟ้า (Voltage: V) โดยจะถูกวัดออกมาเป็น mV ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นค่า pH โดยวงจรทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นค่า mV และ pH จึงขึ้นอยู่กับ ความเข้มข้น (concentration) ของไอออนไฮโดรเจนในของเหลว โดยประสิทธิภาพของ Electrode จะขึ้นอยู่กับ 2 ค่า คือ ค่า Offset และ ค่า Slope

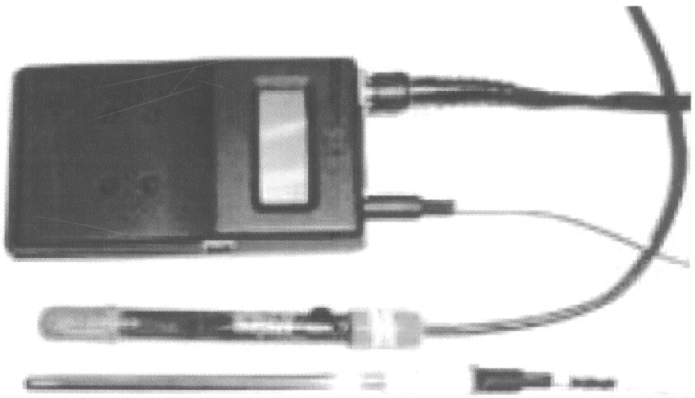
ค่า Offset ในพีเอชอิเล็กโทรด (pH Electrode)

ตามทฤษฎีนั้น เมื่อเราวัดค่าตัวอย่างที่มีค่าพีเอช 7.00 (ด้วยสารละลายบัพเฟอร์ pH 7) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พีเอชอิเล็กโทรด (pH Electrode) จะผลิตค่าแรงดันไฟฟ้าออกมา 0 mV ซึ่ง pH meter จะอ่านค่าออกมาได้เท่ากับ 7.00 โดยค่าความแตกต่างของ 0 mV ที่ พีเอชอิเล็กโทรด ผลิตขึ้นมาเมื่อวัดค่าตัวอย่างที่มีค่าพีเอช 7.00 ในสารละลายมาตรฐานที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งเรียกว่า Offset Error อาจมีค่าสูงได้ถึง $\pm$ 25 mV ซึ่งในทางทฤษฎี ค่า mV ที่อ่านได้ควรจะเท่ากับศูนย์ แต่อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติเป็นไปได้ยากที่พีเอชอิเล็กโทรดจะผลิตค่า mV เท่ากับศูนย์ การที่พีเอชอิเล็กโทรดผลิตค่า mV คลาดเคลื่อนจะทำให้ค่าที่อ่านจาก pH Meter มีค่าผิดพลาดด้วย ซึ่งเหตุผลที่ทำให้ pH Electrode ผลิตค่า mV ที่คลาดเคลื่อนคือความแตกต่างของตัวอย่าง Bulb Composition Wire Geometry Difference และปัจจัยอื่นๆ โดยที่ในทางปฏิบัติจะเป็นไป

ได้ยากมากที่จะทำให้ค่า Offset เป็นศูนย์ ดังนั้น พีเอชมิเตอร์บางรุ่น จึงมีการออกแบบให้สามารถ Calibrate ค่าที่ Offset นี้ได้



ภาพประกอบที่ 2-1 แผนผังดำเนินการพื้นฐาน



ภาพประกอบที่ 2-2 ตัวอย่าง pH Meter ของศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

2.2 ส่วนประกอบหลักของเครื่อง pH Meter

2.2.1 pH ELECTRODE

ชุดของ pH Electrode ประกอบขึ้นด้วย Electrode ที่ทำงานร่วมกันอยู่ 2 ส่วนคือ Indicator หรือ Measuring Electrode (Ion-Selective Glass Membrane electrode) กับอีกส่วนหนึ่งคือ Reference Electrode (Metal Calomel metal electrode) โดย Indicator หรือ Measuring Electrode จะทำหน้าที่อ่านปริมาณความเข้มข้นของ H^+ ที่มีสารละลาย ในขณะที่ Reference Electrode

จะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมตัว ต่อเชื่อมวงจรทางไฟฟ้าให้ Electrode ทั้งชุดนี้ทำงานได้ (หรือในทางทฤษฎีก็คือเป็นตัวคอยให้สัญญาณเปรียบเทียบแก่วงจรที่กำลังทำการอ่านค่าจาก Indicator Electrode อยู่นั่นเอง)

1.) Indicator หรือ Measuring Electrode

Indicator หรือ Measuring Electrode เป็น Electrode ชนิด Ion-Selective Glass Membrane electrode หรือที่เรียกกันโดยทั่ว ๆไปว่า Glass electrode ประกอบขึ้นด้วยหลอดแก้วกลวง ตรงปลายเป็นกระเปาะแก้วเนื้อพิเศษที่ผลิตขึ้นโดยการหลอม SiO_2 กับ Oxide ของ Li หรือ Na และ Ca ในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้มีความจำเพาะต่อการวิเคราะห์ H_2 ได้ดีที่สุด แก้วตรงส่วนปลายกระเปาะนี้บางมาก (มีความหนาอยู่ระหว่าง 50-100 ไมครอน) และทำขึ้นให้มีลักษณะของผิวขรุขระไม่ราบเรียบ ทั้งนี้ก็เพื่อให้ผิวของกระเปาะ มีพื้นที่หน้าสัมผัสที่จะสัมผัสกับสารละลายที่นำมาวัด มีมากที่สุด โดยใช้เนื้อที่ของโครงสร้างในรูปของกระเปาะแก้วที่เล็กที่สุดนั่นเอง ความต้านทานทางไฟฟ้าระหว่างผิวกระเปาะแก้วนี้จะสูงมาก คือจะมีค่าอยู่ระหว่าง 10-800 เมกกะโอห์ม ที่อุณหภูมิห้อง และจะสูงขึ้นอีกได้เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

ภายในหลอดแก้วและกระเปาะแก้ว บรรจุไว้ด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีคุณสมบัติเป็น Buffer เช่น 0.25M ของกรดกำมะถัน หรือกรดเกลือ หรือสารละลายอิ่มตัวของคลอไรด์ซึ่ง buffer ด้วยอะซิเตท หรือซิเตรท หรือบรรจุไว้ด้วย Buffer ที่เหมาะสมอื่นๆ เช่น Buffer ที่มีค่า pH 7 เป็นต้น

จากสารละลายในหลอดแก้ว จะมีลวดนำไฟฟ้าที่ทำด้วย Calomel หรือ Ag-AgCl หรือ ลวดโลหะที่ฉาบไว้ด้วย Platinum สอดเอาไว้ ลวดดังกล่าวนี้ จะทำหน้าที่นำกระแสไฟฟ้าที่ได้จากสารละลายภายใน Electrode ไปส่งต่อให้กับตัวเครื่องอีกทีหนึ่ง

2.) Reference Electrode

มีลักษณะเป็นหลอดแก้วกลวง ภายในบรรจุไว้ด้วยสารละลายเข้มข้นที่มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าได้ดี โดยทั่ว ๆ ไปแล้วสารละลายดังกล่าวนี้นิยมใช้สารละลายโปรแตสเซียมคลอไรด์(KCL)ชนิดความเข้มข้นอิ่มตัว (Saturated) บรรจุเอาไว้ ที่ส่วนปลายของ Reference electrode ด้านที่จะให้สัมผัสกับสารละลายจะมีลักษณะเป็นรูเปิดขนาดเล็ก ๆ ที่จะเป็นช่องทางให้สารละลายที่อยู่ภายในไหลออกไปสู่ภายนอกได้ รูเปิดขนาดเล็ก ๆ ดังกล่าวนี้ถือได้ว่าจุดเชื่อมต่อ (Junction) ระหว่างสารละลายที่อยู่ภายใน Reference electrode กับสารละลายตัวอย่างที่อยู่ภายนอก จุดเชื่อมต่อหรือ Junction นี้ อาจมีได้เป็แบบต่าง ๆ เช่น เป็นชนิด Metal Junction, Liquid-Liquid Junction หรือ Sleeve และ *Double Sleeve Junction* เป็นต้น (ทั้งนี้ก็เพื่อความเหมาะสมที่จะนำไปใช้กับงานวิเคราะห์สารชนิดต่าง ๆ และกับสารละลายแบบต่าง ๆ นั่นเอง)

จากสารละลายภายใน Reference electrode จะมีลวดนำไฟฟ้า ชนิดเดียวกันกับที่ใช้อยู่ใน Glass electrode ต่อเอาไว้ เพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านจากตัวเครื่องลงไปในสารละลายภายใน Electrode และสารละลายตัวอย่างต่อไป

โดยทั่วไปแล้ว Glass และ Reference Electrode จะแยกกันเป็น Electrode สองตัวที่เป็นอิสระจากกัน โดยเด็ดขาด แต่สำหรับในงานที่ต้องการวัดค่า pH จากสารละลายที่มีปริมาณน้อยมาก ๆ นั้น

เพื่อให้การจุ่มทั้ง Glass และ Reference Electrode ลงไปใน Test Tube หรือ Beaker ที่มีปากเล็ก ๆ พร้อมกันได้ ทั้ง Glass electrode และ Reference Electrode ก็อาจถูกสร้างไว้ให้อยู่ในหลอดแก้วร่วมแกนกัน โดยมีส่วนของ Glass electrode อยู่แกนใน และ Reference electrode หุ้มอยู่ทางรอบนอก Electrodes ลักษณะดังกล่าวนี้เรียกกันว่า COMBINATION ELECTRODE

การทำงานของ Electrodes

ในสารละลายตัวอย่างที่นำมาวัด จะประกอบขึ้นด้วย H^+ และ OH^- ที่แตกตัวกระจัดกระจายอยู่ทั่วไป เมื่อเราจุ่ม Glass และ Reference Electrode (หรือ Combination electrodes) ลงไปในสารละลายนั้น สารละลายนำไฟฟ้า(KCL)ใน Reference Electrode จะไหลผ่าน Junction ออกมาสัมผัสกับสารละลายตัวอย่างอย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอ H^+ ซึ่งเป็นอิออนประจุบวกในสารละลายตัวอย่างจะวิ่งเข้ามาจับตัวกับ CL^- ของ KCL ขณะที่ OH^- จะถูกผลักให้ไปออกันอยู่ที่ผิวนอกของกระเปาะแก้วของ Glass electrode

ภายในกระเปาะแก้วของ Glass electrode ซึ่งบรรจุสารละลายประเภท Buffer ไว้ จะมี H^+ และ OH^- อยู่เช่นกัน H^+ และ OH^- นี้แยกออกจากกัน โดย H^+ จะไปออกันอยู่ผิวด้านในของกระเปาะแก้ว ส่วน OH^- จะถูกผลักไปรวมกันอยู่ที่บริเวณขั้วโลหะของ Glass electrode

จะเห็นได้ว่าหากเราจุ่ม Glass electrode เพียงตัวเดียวโดด ๆ ลงไปในสารละลายตัวอย่างจะไม่เกิดการทำงานใด ๆ ขึ้นได้ เราต้องจุ่ม Reference electrode ควบคู่ลงไปด้วยจึงจะมีการไหลของฟ้าเกิดขึ้น ในที่นี้ Reference electrode จึงทำหน้าที่คล้าย ๆ กับเป็นขั้วลบของวงจรนั่นเอง

ความเข้มข้นของ H^+ ที่วัดได้ จะเป็นตัวชี้สภาพความเข้มข้นของความเป็นกรดหรือด่างของสารละลายตัวอย่างนั้น ๆ ถ้ามี H^+ มาก [OH^-] ก็จะยังผลให้ Electrodes Generate กระแสไฟฟ้าออกมาเป็นบวก + (บวก)สูง เมื่อกระแสไฟฟ้านี้ผ่านตัวต้านทาน (Resistor) ในวงจรของตัวเครื่อง ก็จะได้ความต่างศักย์ไฟฟ้า (Voltage) ออกมาเป็น + (บวก)สูง เข็มของมิเตอร์ที่ใช้สำหรับการแสดงผลในตัวเครื่อง pH meter ก็จะเบี่ยงเบนหรือชี้ไปทางบวกได้มาก (ชี้ค่า pH ต่ำ) ซึ่งจะแสดงสภาพว่ามีความเป็นกรดมากนั่นเอง ในทางตรงกันข้าม ถ้าสารละลายตัวอย่าง H^+ อยู่น้อย [OH^- มีมาก] Electrode ก็จะ Generate กระแสไฟฟ้าออกมาเป็น – (ลบ)สูง เมื่อกระแสไฟฟ้านี้ผ่านวงจรของตัวเครื่องก็จะได้ความต่างศักย์ไฟฟ้า (Voltage) ออกมาเป็น - (ลบ)สูง เข็มของมิเตอร์ก็จะเบี่ยงเบนหรือชี้ไปทางลบได้มากชี้ค่า pH สูง ซึ่งจะแสดงสภาพของความเป็นเบสหรือด่างมากนั่นเอง

สิ่งที่เราสนใจสำหรับ Electrode ก็คือ มันสามารถวัดความเข้มข้นของ H^+ ที่อยู่ในสารละลายแล้วแปลค่าออกมาในรูปของกระแสไฟฟ้า และเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้านี้เข้าไปยังตัวต้านทาน (Resistor) ค่าสูงมาก ๆ ที่อยู่ในวงจรของตัวเครื่อง ก็จะได้ค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้าหรือแรงเคลื่อนทางไฟฟ้าสูง ๆ ออกมาด้วย (ตามสมการ E=IR) จากนั้น ก็สามารถนำไปแปลผลเป็นค่า pH ได้ต่อไป

Electrodes ที่โรงงานต่าง ๆ ผลิตขึ้น จะสามารถ Generate ค่าแรงเคลื่อนทางไฟฟ้าให้กับวงจรของตัวเครื่อง pH meter ได้จริง ๆ โดยประมาณดังนี้คือ

ในสารละลายที่เป็นกลาง (pH=7) จะ Generate ค่าโดยประมาณ 0 mV

ในสารละลายที่เป็นกรด (pH<7) จะ Generate ค่าโดยประมาณ +0 ถึง +420 mV

ในสารละลายที่เป็นด่าง (pH>7) จะ Generate ค่าโดยประมาณ -0 ถึง -420 mV

และในความเข้มข้นของ H^+ ต่างกันทุก ๆ 10 เท่าจะ Generate ให้ได้ค่า millivolt ออกมาได้แตกต่างกันประมาณ 60 mV ซึ่งที่ความเข้มข้นต่างกันทุก ๆ 10 เท่านี้เอง ที่ค่าของ pH จะต่างกัน = 1 pH Unit ด้วยพอดี ซึ่งนั่นก็คือ

ที่สารละลาย pH 7: Electrode จะ Generate ค่าโดยประมาณ 0 mV

ที่สารละลาย pH 6: Electrode จะ Generate ค่าโดยประมาณ +60 mV

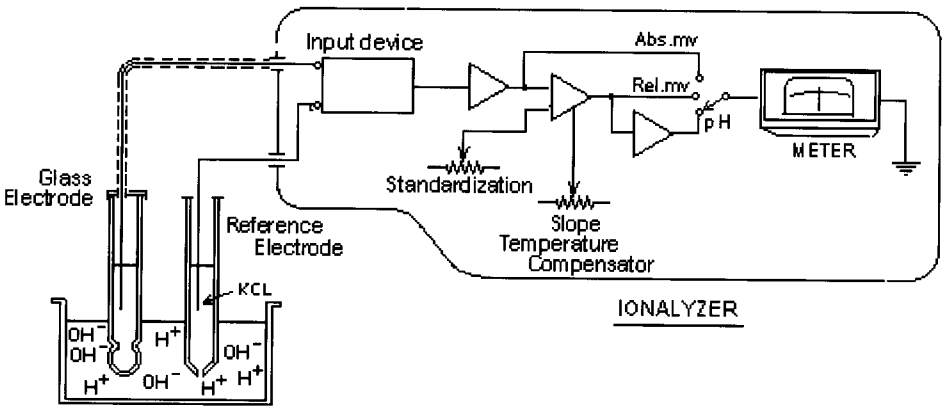
ที่สารละลาย pH 8: Electrode จะ Generate ค่าโดยประมาณ -60 mV

ค่าที่แสดงข้างต้นนี้ เป็นค่าโดยประมาณ เนื่องจากในทางปฏิบัติ คุณภาพของ Electrodes แต่ล่ะตัว และอุณหภูมิของสารละลายที่ทำการวัด จะมีผลทำให้ค่านี้เบี่ยงเบนออกไปได้บ้างเล็กน้อย

เมื่อได้รับสัญญาณเป็นแรงเคลื่อนทางไฟฟ้าในระดับ millivolt จาก electrode แล้ววงจรอิเล็กทรอนิกส์ในตัวเครื่อง pH meter จึงนำไปขยาย ปรับแต่ง และเลือกนำไปแสดงผลตามแต่ที่ผู้ใช้จะต้องการให้อยู่ในหน่วยใดต่อไป

2.2.2 ตัวเครื่อง pH Meter : โดยการต่อเชื่อมสัญญาณจากชุด Electrodes เข้ากับตัวเครื่อง Ionalyzer, เมื่อจุ่มชุด Electrode ลงในสารละลายมาตรฐาน หรือสารละลายที่ต้องการวิเคราะห์ Electrode จะส่งผลที่อ่านได้จากความเข้มข้นของประจุไฟฟ้าในสารละลาย ส่งให้กับ Ionalyzer ในรูปของกระแสไฟฟ้าได้ทันที

ภาพประกอบที่ 2- 3: Diagram การทำงานของเครื่อง pH meter



เมื่อได้สัญญาณในรูปของกระแสไฟฟ้าจาก Electrode เข้ามาแล้ว วงจรส่วนหน้าของ Ionalyzer จะแปลงสัญญาณนี้ให้อยู่ในรูปของ Voltage ทันที จากนั้นจึงนำไปขยายให้เป็นสัญญานที่แรงขึ้นอีกทีหนึ่ง

ก่อนที่จะส่งไปปรับแต่งในวงจรถัดไป ซึ่งในเครื่อง Ion-Analyzer โดยทั่ว ๆไปจะมีการปรับแต่งค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1.) ปรับจุดตั้งต้นของการวัด

กล่าวคือ ในขณะที่ input ของมันมีค่าอยู่ ณ ค่าใดค่าหนึ่งนั้น เรา สามารถปรับให้มันชี้แสดงบอกเป็นค่าใด ๆ ก็ได้บนหน้าปัด ตามแต่เราจะต้องการ การเบี่ยงเบนเนื่องจาก การวัดค่าสารละลายอื่นๆหลังจากการปรับจุดตั้งต้นนี้แล้ว จะเบี่ยงเบนออกไปจากจุดตั้งต้นนี้เสมอ ปุ่มปรับตัวนี้มีชื่อเรียกทางวงจรไฟฟ้าว่า 'OFF SET' (หรือ Standardize ใน Ion-Analyzer)

3.) ปรับกำลังการขยายของสัญญาณ

ค่า Voltage ที่ได้จากการใช้ Electrode วัดสารละลาย 2 ครั้งที่ 2 ความเข้มข้น (ซึ่งผลต่างก็คือ 1 หน่วยของความแตกต่าง หรือ 1 Relative) นั้น เราสามารถนำมาขยายค่า (คูณ) ให้มากขึ้นหรือน้อยลงก็ได้ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสม หรือให้ได้ค่าตามแต่ที่จะต้องการสำหรับการแสดงผลทาง Out-put ต่อไป ตัวปรับตัวนี้มีชื่อทางวงจรไฟฟ้าว่า Gain หรือ Span (หรือใช้ชื่อเป็น Slope Control ในเครื่อง Ion-Analyzer)

2.2.3 การแสดงผล

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการแสดงผลของเครื่อง Ion-Analyzer ก็คือโวลท์มิเตอร์นั่นเอง อาจเป็นมิเตอร์แบบเข็มหรือตัวเลขก็ได้ ที่ทำการจัดแบ่ง Scale และ Range ไว้ให้เหมาะสมแก่การใช้งาน ซึ่งโดยทั่วทั่วไปแล้ว มักจะจัดแบ่งไว้ให้อ่านค่าได้ในหน่วยต่างๆ ดังนี้

1. อ่านค่าเป็น Absolute millivolt ซึ่งก็คือค่า *millivolts* (mV) ที่ได้จาก Electrode โดยตรงที่ยังไม่ได้ผ่านการปรับแต่งค่าใดๆทั้งสิ้น

2. อ่านค่าเป็น Relative *millivolts* ซึ่งเป็นค่า *millivolts* ที่ผ่านการปรับแต่ง OFF-SET หรือ GAIN ไว้แล้ว

2.3 สรุปท้ายบท

จากหลักการ การวัดค่าความเข้มข้นของ ไฮโดรเจนไอออนโดยการวัดพีเอชของสารละลายที่เป็นกรดหรือด่างในห้องปฏิบัติการทั่ว ๆไปวัดโดยโพเทนทีโอมิเตอร์ (potentiometer) หรือเครื่องวัดศักย์หรือแรงเคลื่อนไฟฟ้า ต่อไปในบทที่ 3

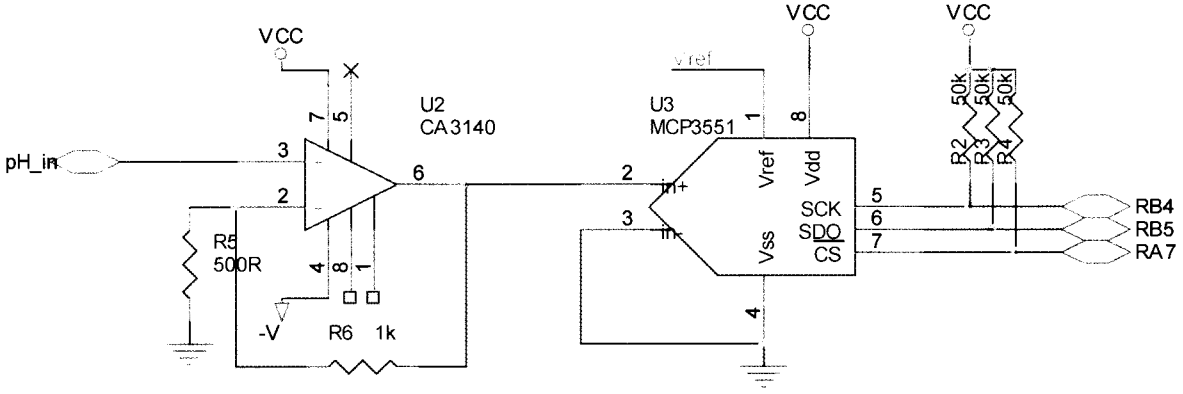
บทที่ 3

การออกแบบเครื่อง pH METER

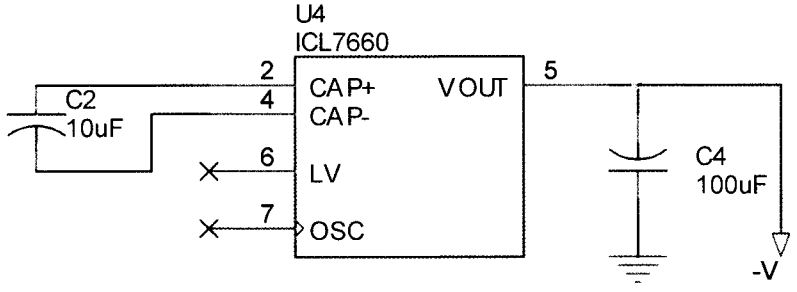
3.1 การออกแบบวงจร Preamp สำหรับ pH electrode

3.1.1 ออกแบบโดยใช้แหล่งจ่ายไฟแบบคู่

การออกแบบวงจรแบบนี้จะต้องใช้แหล่งจ่ายไฟให้แก่ Op-amp สองชุดคือแหล่งจ่ายไฟบวกและแหล่งจ่ายไฟลบดังแสดงในภาพประกอบที่ 3-1 แต่เนื่องด้วยเครื่องมือได้ถูกออกแบบให้ใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานหลักดังนั้นจึงต้องสร้างแหล่งจ่ายไฟลบจากแหล่งไฟบวกที่มีอยู่แล้วดังวงจรในภาพที่ 3-2 ข้อดีของวงจรนี้คือไม่ต้องใช้วงจร offset และสามารถใช้กับ pH electrode ที่เป็นแบบ ground ร่วมระหว่างตัว pH กับ NTC ข้อเสียคือต้องเพิ่มวงจรจ่ายไฟลบซึ่งสิ้นเปลืองอุปกรณ์และพลังงาน รวมทั้งยังต้องใช้ ADC (Analog to Digital Converter) แบบ differential input สำหรับการวัดค่า pH



ภาพประกอบที่ 3-1 วงจรขยายสัญญาณสำหรับ pH electrode โดยใช้แหล่งจ่ายไฟคู่

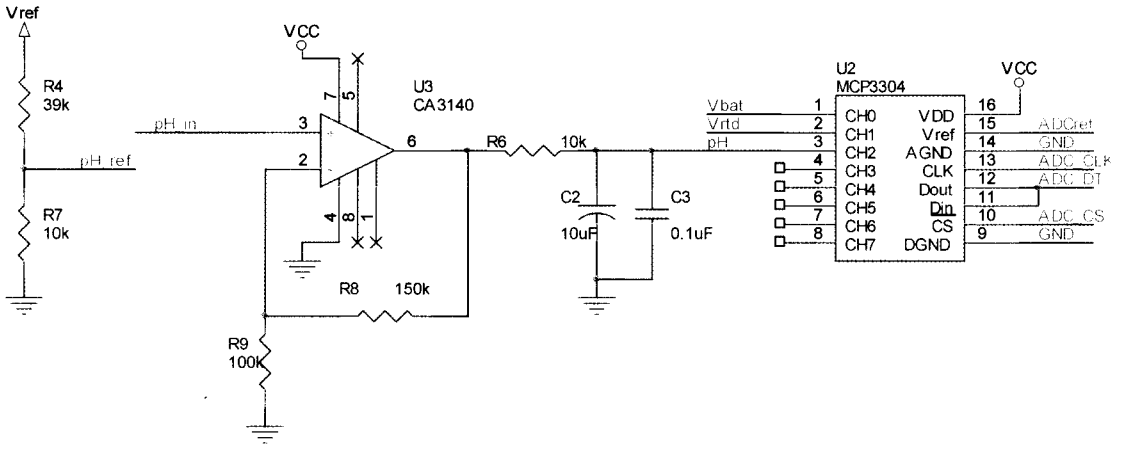


ภาพประกอบที่ 3-2 วงจรสร้างแหล่งจ่ายไฟลบจากแหล่งจ่ายไฟบวก

3.1.2 ออกแบบโดยใช้แหล่งจ่ายไฟแบบเดี่ยว

การออกแบบวงจรขยายแบบนี้ข้อดีคือใช้อุปกรณ์น้อยซึ่งมีผลต่อการใช้พลังงานโดยรวมและสามารถใช้ ADC แบบ non-differential input ได้ ข้อเสียคือจะไม่สามารถใช้กับ pH electrode แบบ

ground ร่วมได้หรือหากใช้ก็จะไม่สามารถเลือกใช้ NTC ที่ติดมากับตัว pH electrode ได้ ดังแสดงใน ภาพประกอบที่ 3-3



ภาพประกอบที่ 3-3 วงจรขยายสัญญาณสำหรับ pH electrode โดยใช้แหล่งจ่ายไฟเดี่ยว

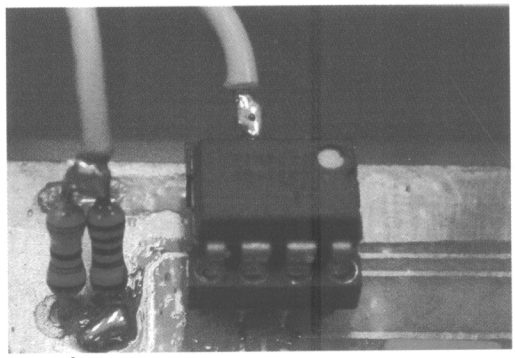
หลังจากเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระหว่างวงจรขยายทั้งสองรูปแบบแล้ว เลือกใช้วงจรขยายแบบแหล่งจ่ายไฟเดี่ยวเพื่อลดอุปกรณ์ซึ่งจะมีผลต่ออัตราการใช้พลังงานที่ต่ำและต้นทุนที่ถูกลง จากวงจรในภาพประกอบที่ 3-3 R6 และ C2 จะเป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter) และ C3 จะช่วยในการกรองความถี่สูงที่ปนมาออกอีกครั้งเนื่องจาก C3 จะเป็นตัวเก็บประจุที่ค่าต่ำและตอบสนองต่อความถี่วิทยุได้ดีโดยออกแบบวงจรกรองความถี่ได้จากสมการ $f_o = \frac{1}{2\pi RC}$ แทนค่า RC ใน สมการจะได้ความถี่ตัดผ่านเท่ากับ 1.6 Hz ในวงจรใช้ Vref เท่ากับ 2.5 volt แรงดัน pH_ref จะ offset ขึ้นมา +510 mV เนื่องจาก 1 pH มีแรงดันประมาณ 60 mV ดังนั้นต้อง offset แรงดันขึ้นมาอย่างน้อย 60 * 7 = 420 mV

ตาราง 1 เปรียบเทียบไฟเลี้ยงระหว่างไฟเลี้ยงเดียว และไฟเลี้ยงคู่

	ไฟเลี้ยงคู่	ไฟเลี้ยงเดียว
แหล่งจ่ายไฟลบ	ต้องการ	ไม่ต้องการ
จำนวนอุปกรณ์ประกอบในวงจร	มากกว่า	น้อยกว่า
พลังงานที่ใช้	มากว่า	น้อยกว่า
NTC แบบ ground	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้

เนื่องจาก pH electrode มีค่าความต้านทานที่สูงมากดังนั้นการเลือกใช้ Op-amp ที่มี input impedance ที่สูงจึงเป็นเรื่องสำคัญมากดังนั้น Op-amp ที่เลือกใช้จึงเป็นเบอร์ CA3140 ซึ่งเป็น Op-amp ที่มี input impedance ที่สูงถึง 1.5 TΩ และราคาไม่แพงสามารถหาซื้อได้ภายในประเทศ ขั้นตอนต่อไปเป็นการวางอุปกรณ์ลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ในส่วนของวงจรขยายสัญญาณสำหรับ pH electrode รูปแบบการวาง

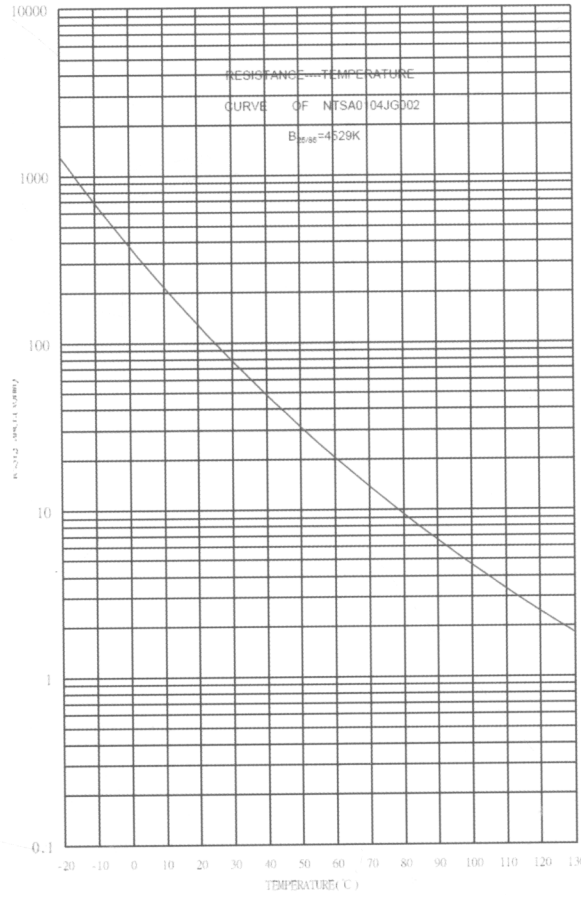
ตำแหน่งของอุปกรณ์เป็นสิ่งสำคัญมากเนื่องจากเป็นวงจรขยายสัญญาณแบบ High input impedance ดังนั้นขา non inverting ของ Op-amp จะต้องลอยไว้กลางอากาศดังแสดงในภาพที่ 3-4



ภาพประกอบที่ 3-4 การวางอุปกรณ์ในส่วนวงจรขยายสัญญาณ

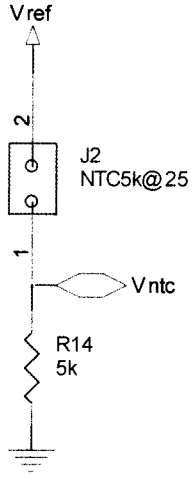
3.2 การออกแบบวงจรวัดอุณหภูมิ

โดยทั่วไปแล้ว pH electrode แบบหัววัดร่วมจะมี sensor วัดอุณหภูมิแบบ NTC Thermistors (Negative Temperature Coefficient Thermistors) ซึ่งจะให้ค่าความต้านทานที่ต่ำลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นดังกราฟ



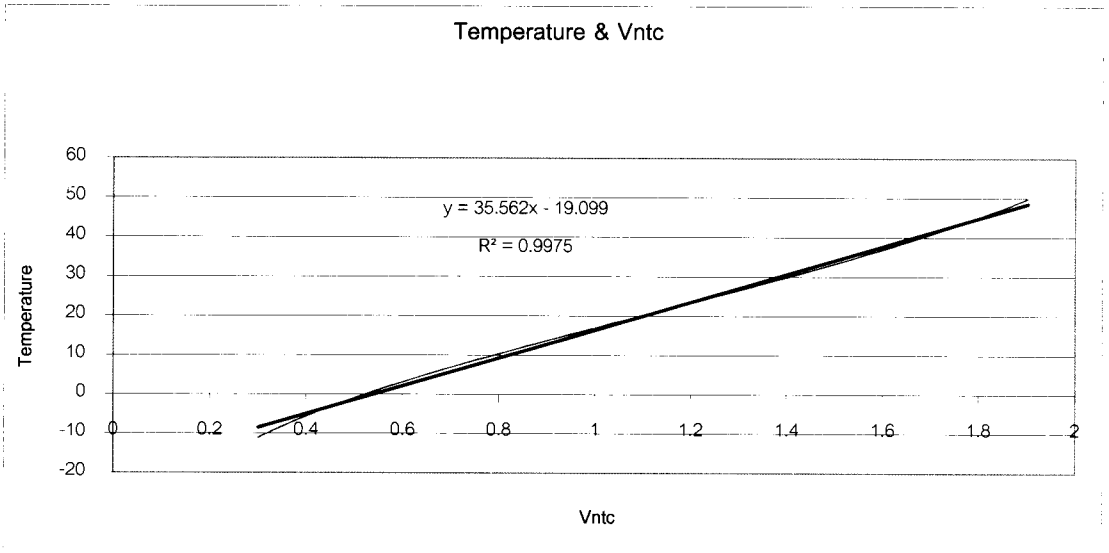
ภาพประกอบที่ 3-5 กราฟแสดงค่าความไม่เป็นเชิงเส้นของ NTC Sensor

จากกราฟในแกน Y แกนของค่าความต้านทาน และแกน X เป็นแกนของอุณหภูมิ ส่วนวิธีการทำให้ Thermistors มีค่าความต้านทานเป็นเชิงเส้นเทียบกับอุณหภูมิทำได้โดยการนำตัวต้านทานมาต่อขนานกับ Thermistors แต่วิธีการนี้จะต้องใช้วงจรกระแสคงที่ช่วยเพื่อให้ค่าแรงดันที่อ่านได้มีความเป็นเชิงเส้นด้วย วิธีที่ง่ายกว่านั้นคือการใช้วงจรแบ่งแรงดันดังรูป



ภาพประกอบที่ 3-6 วงจรชดเชยความเป็นเชิงเส้นของการวัดอุณหภูมิ

เมื่อ Vref = 2.5V ดังนั้น Vntc = 2.5*5000/(5000+Rntc) จะได้กราฟระหว่าง Vntc กับอุณหภูมิดังรูป

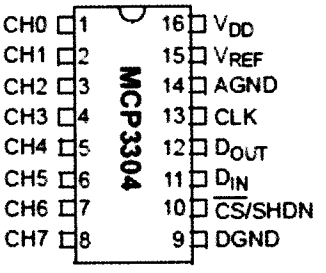


ภาพประกอบที่ 3-7 กราฟแสดงผลหลังการเพิ่มวงจรชดเชย

จะเห็นว่าแรงดันที่วัดได้เทียบกับอุณหภูมิมีความเป็นเชิงเส้นมากขึ้น (ดูจาก R^2 = 0.9975) ด้วยวิธีการนี้ไม่จำเป็นต้องใช้วงจรกระแสคงที่ แต่ต้องการวงจรคงค่าแรงดันแทน ซึ่งมีอยู่แล้วสำหรับใช้เป็นแรงดันอ้างอิงของ pH electrode

3.3 การเลือกใช้ ADC

ADC ที่ใช้จะต้องมีความละเอียดในการแปลงที่เพียงพอต่อความละเอียดในการวัดที่ความละเอียดของ pH 0.01 ดังนั้น ADC จะต้องมีความละเอียดในการแปลงอย่างต่ำเท่ากับ 14/0.01 หรือ 1400 ระดับ คิดเป็น 11 bits (2048 ระดับ) แต่เพื่อความถูกต้องของข้อมูลดังนั้นจึงเลือก ADC ที่มีความละเอียดในการแปลงที่ 12 bits (4096 ระดับ) เลือกใช้ MCP3304 เป็นผลิตภัณฑ์ของ Microchip ความละเอียดอยู่ที่ 13 bits (1 bit สำหรับเครื่องหมายบวกหรือลบ) วงจรการใช้งานแสดงดังภาพประกอบที่ 3-3 (U2) ข้อดีของ MCP3304 คือ สามารถแปลงสัญญาณได้ได้รวดเร็วเพียงพอต่อการใช้งานสำหรับวัดค่า pH (100ksps) และ MCP3304 ยังสามารถวัดสัญญาณได้ถึง 8 ช่องสัญญาณซึ่งเพียงพอต่อการวัด pH, อุณหภูมิ และระดับพลังงานของแบตเตอรี่



ภาพประกอบที่ 3-8 ADC แปลงสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital

3.4 การเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

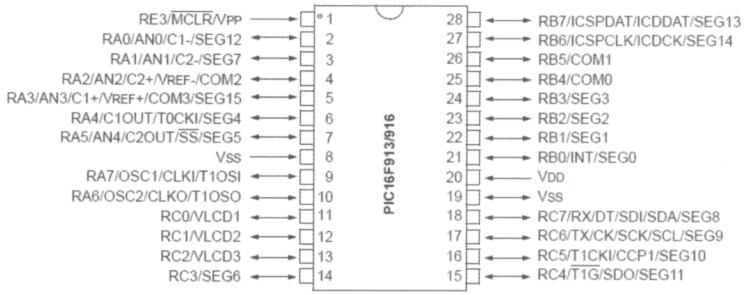
เลือกใช้ PIC16F913 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ของ Microchip

คุณสมบัติที่สำคัญของ PIC16F913

- 24 I/O pins with individual direction control
- High sink/source current: 25 mA
- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during SLEEP via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Capture, Compare, PWM (CCP) module: - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
- Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
- PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit, 5-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with

- SPI™ (Master/Slave) and I2C™ (Slave)

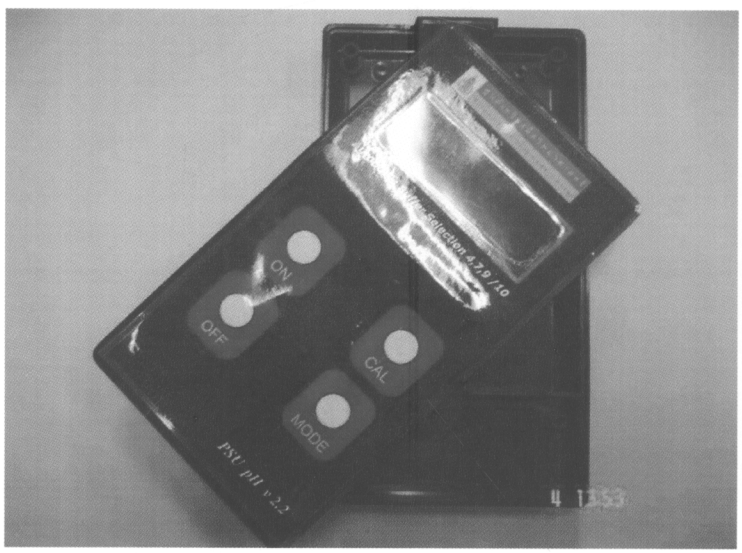
28-pin PDIP, SOIC, SSOP



ภาพประกอบที่ 3-9 PIC 16F913

3.5 ขั้นตอนการประกอบ PCB และออกแบบกล่อง

ขั้นตอนแรกก่อนการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะต้องคำนึงขนาดกล่องและรูปแบบที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานจึงจะกำหนดขนาดของบอร์ดวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ และในขนาดเดียวกันก็ออกแบบในส่วนของสติกเกอร์และวางตำแหน่งปุ่มกดการใช้งานของเครื่อง pH Meter ภาพประกอบที่ 3-10 โดยได้ออกแบบปุ่มกด เพียงแค่ 4 ปุ่มเท่านั้น คือ ON สำหรับเปิดเครื่อง OFF สำหรับปิดเครื่องหรือยกเลิกการทำงาน CAL สำหรับทำการ Calibrate เครื่อง MODE สำหรับเลือกแสดงค่า pH หรือ mV

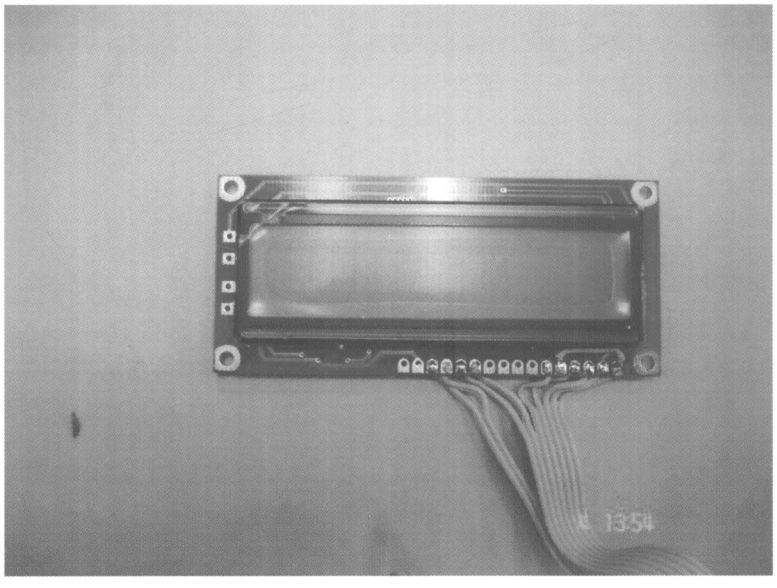


ภาพประกอบที่ 3-10 กล่องสำเร็จรูปที่ออกแบบ

การประกอบส่วนปุ่มกด จะต้องเจาะกล่องพลาสติกสำหรับใส่สวิชท์ จำนวน 4 ช่องโดยจะทำการยึดชุดปุ่มกดด้วยกาวซิลิโคนที่ใช้สำหรับยึดพลาสติกกับฝาครอบด้านหน้า ดังภาพประกอบที่ 3-11 หลังจากนั้น

จึงจะเดินสายปุ่มกดเข้ากับ PCB สวิชท์ที่ใช้เป็นแบบ Tact Switch ซึ่งจะมีความคงทนกว่า Membrane Switch แต่ยุ่งยากกว่าในการประกอบ

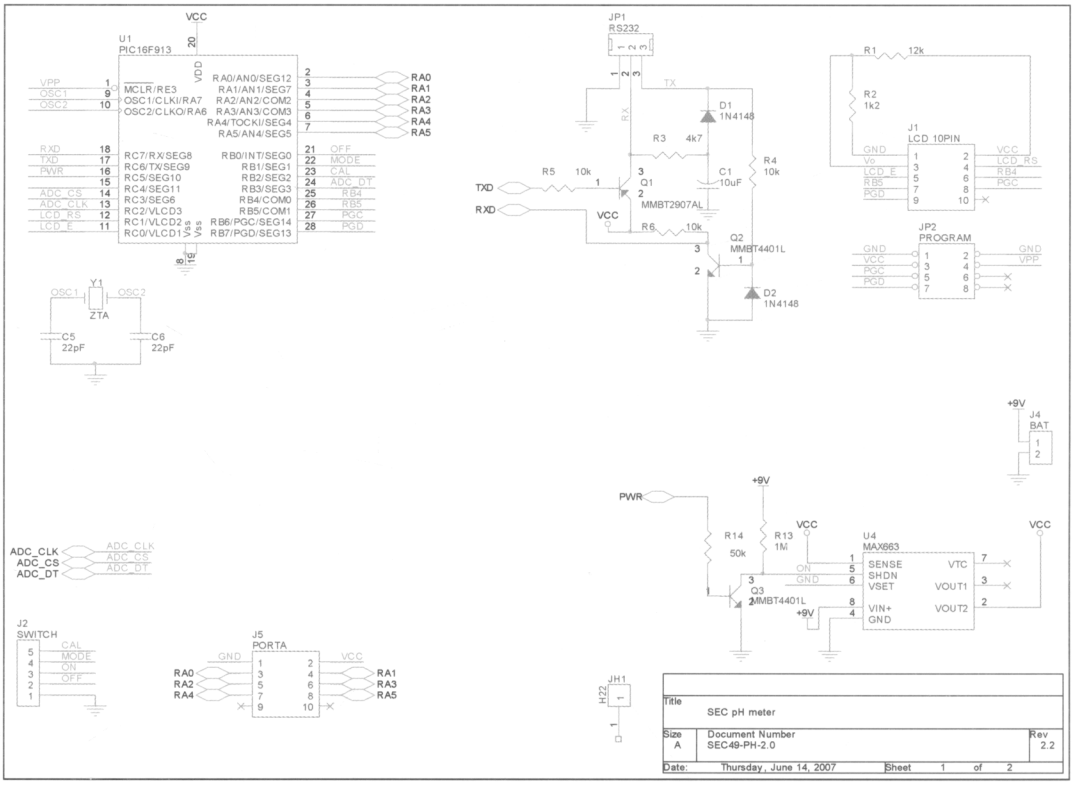
ดังภาพประกอบที่ 3-11 การติดตั้งคีย์กด



ภาพประกอบที่ 3-12 จอแสดงผลของเครื่องวัด pH Meter

ในส่วนของจอแสดงผลเลือกใช้จอแสดงผลแบบ LCD ขนาด 16 ตัวอักษร แต่จะมีความกว้างกว่ากล่องพลาสติกเล็กน้อย ดังนั้นจะต้องตัดขอบด้านข้างของ LCD ออกเล็กน้อย เพื่อให้สามารถวาง LCD เข้ากับตัวกล่องได้

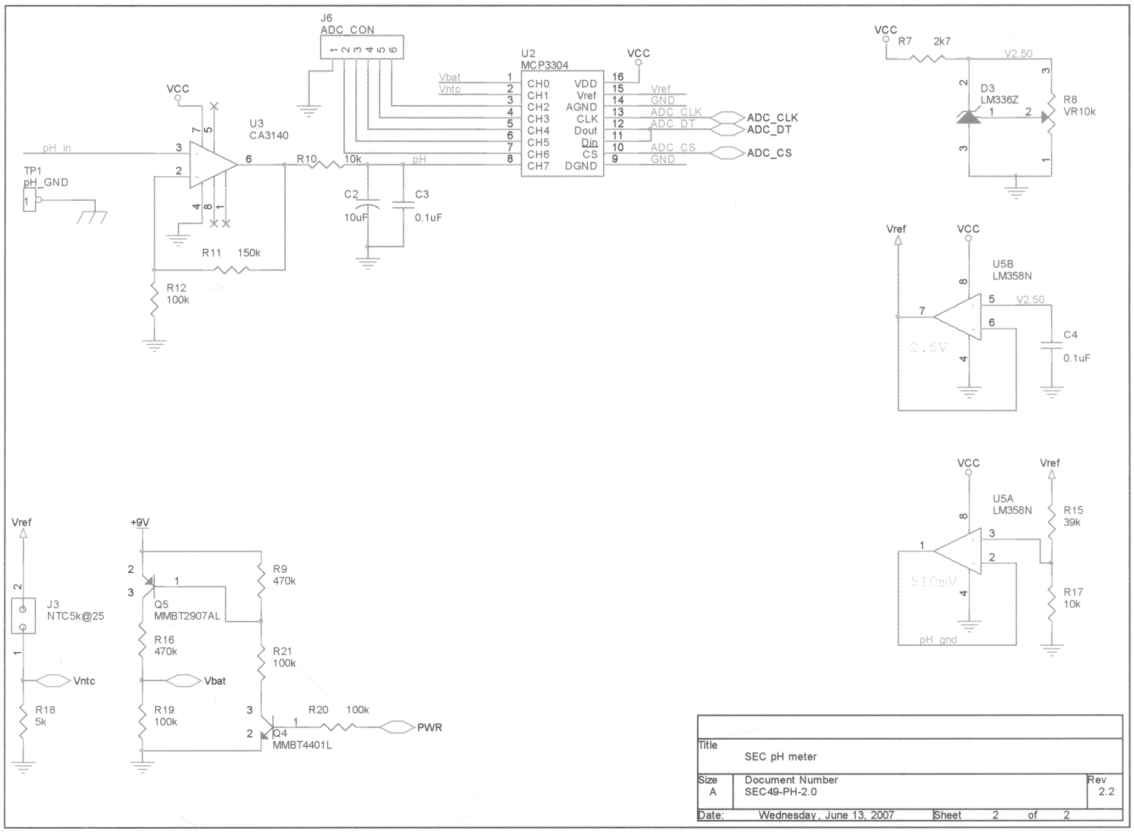
ภาพประกอบที่ 3-13 ชุดสำเร็จพร้อมใช้งาน



ภาพประกอบที่ 3-14 วงจรสมบูรณ์ เครื่อง pH Meter

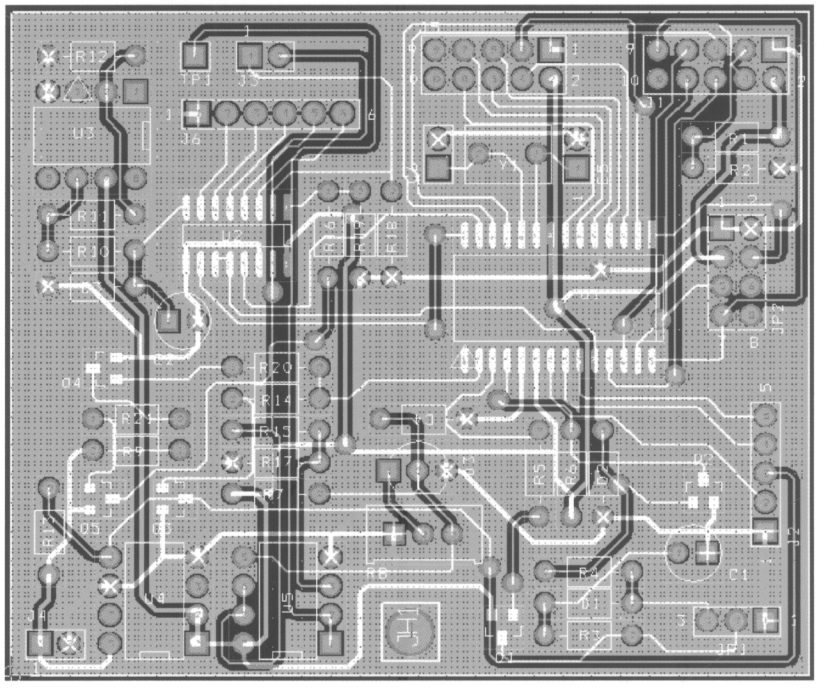
จากวงจรควบคุมสามารถอธิบายการทำงานของวงจรได้ดังนี้ U1 PIC16F913 ทำหน้าที่เป็นตัวประมวณผลหลักของวงจร สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน RS-232 พอร์ต

โดยการใช้เพียงทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 ทำหน้าที่แปลงระดับแรงดัน TTL เป็น ระดับแรงดันสำหรับ RS-232 และ MAX663 (U4) ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันจากเบตเตอรี่ 9 โวลต์ให้คงที่ ที่ 5 โวลต์ ซึ่ง MAX663 มีข้อดีคือใช้กระแสสงบค่อนข้างต่ำมากเหมาะสำหรับอุปกรณ์พกพาซึ่งต้องใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า

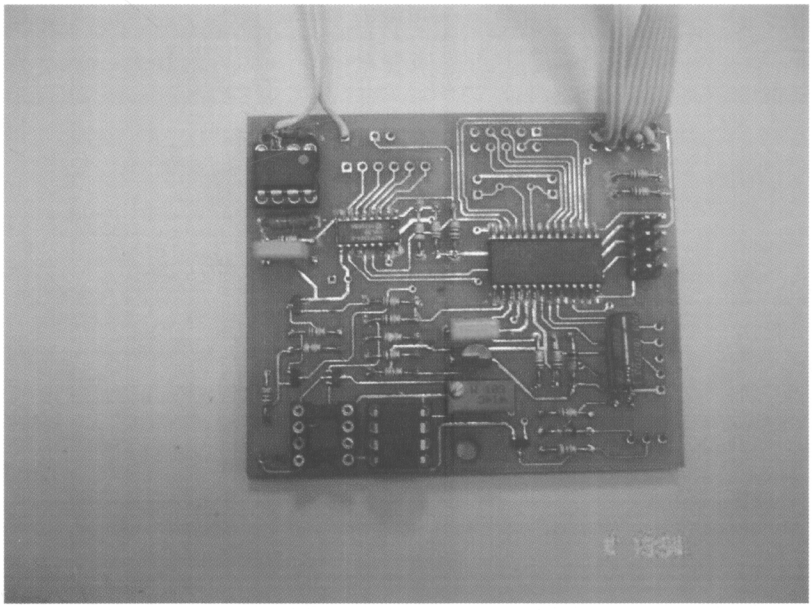


ภาพประกอบที่ 3-15 วงจร pH Meter ในส่วนอะนาลอก

การทำงานของวงจรในส่วนนี้จะประกอบไปด้วยวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ U2 MCP3304 สัญญาณมิลลิโวลต์จาก pH อิเลคโทรด จะถูกปรับปรุงสัญญาณให้ดีขึ้นด้วย U3 CA3140 ซึ่งเป็น op-amp แบบ High input impedance และ U5 เป็น Dual op-amp ใช้เป็น buffer เพื่อรักษาระดับแรงดันอ้างอิงแก่ วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล และระดับแรงดันอ้างอิงแก่ pH อิเลคโทรด



ภาพประกอบที่ 3-16 PCB สองหน้าของเครื่อง pH Meter

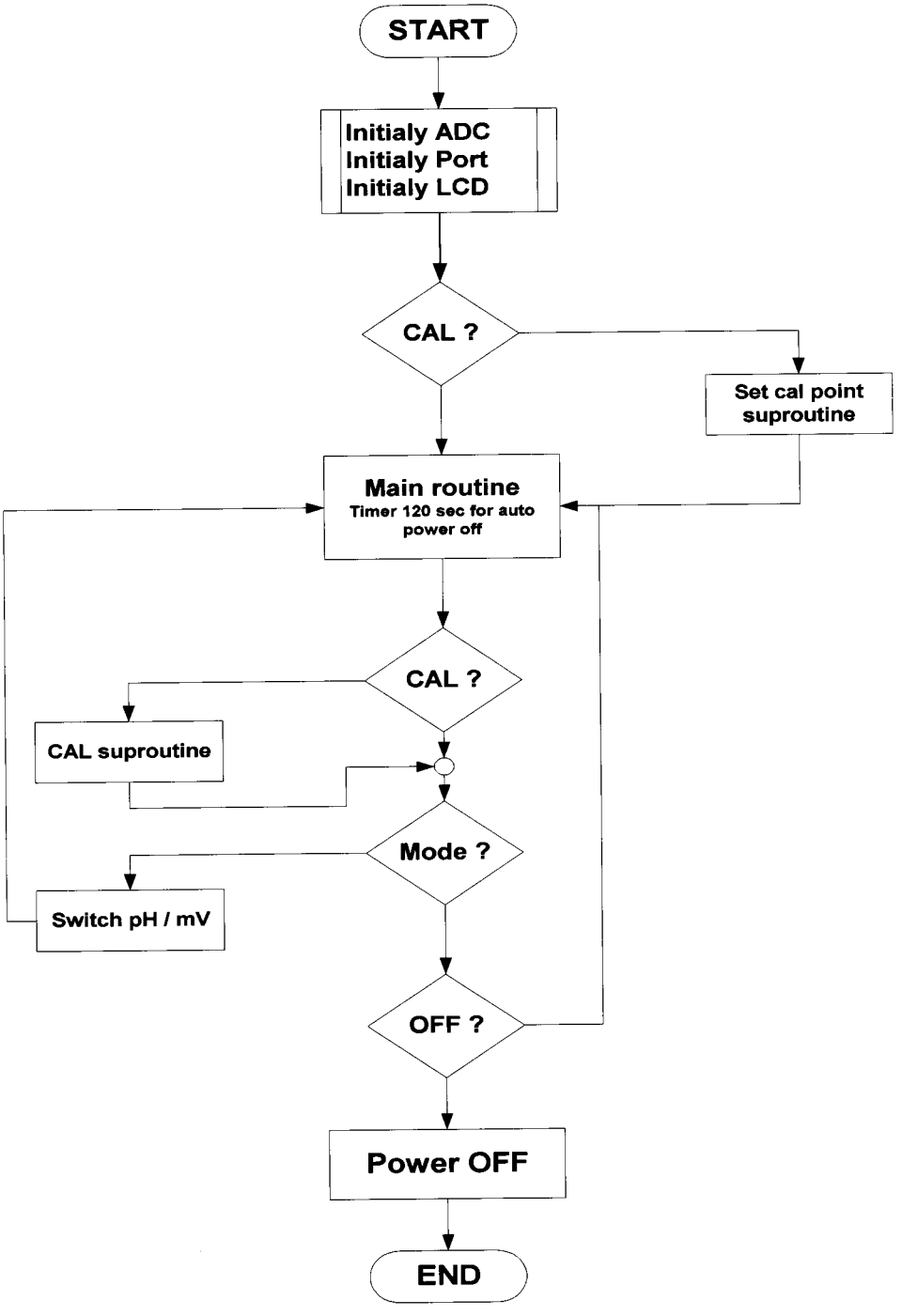


ภาพประกอบที่ 3-17 PCB ที่ได้ออกแบบพร้อมอุปกรณ์

จากภาพประกอบที่ 3-14 อุปกรณ์ส่วนใหญ่ที่ใช้สร้างเครื่อง pH Meter จะเป็นแบบ **Surface-mount** ซึ่งจะทำให้สามารถออกแบบ PCB ให้มีขนาดเล็กและสะดวกในการประกอบ

3.6 การพัฒนาโปรแกรม

จาก Flow chart การทำงานโดยการกำหนดค่าเริ่มต้น ในส่วนของ Analog to Digital converter เพื่อตั้งค่าเริ่มต้นให้แก่ Port ต่าง ๆ เป็นการตั้งค่าเริ่มต้นของของชุด จอแสดงผล หากกดปุ่ม Cal เครื่องจะเข้าสู่เมนูการตั้งค่า จำนวนจุดของการ Cal หากไม่มีการกดปุ่ม Cal จะกลับเข้าสู่โหมด โปรแกรมหลักซึ่งจอภาพจะแสดงผล



ภาพประกอบที่ 3.18 Flow chart การทำงานของโปรแกรมการทำงาน

3.7 สรุปท้ายบท

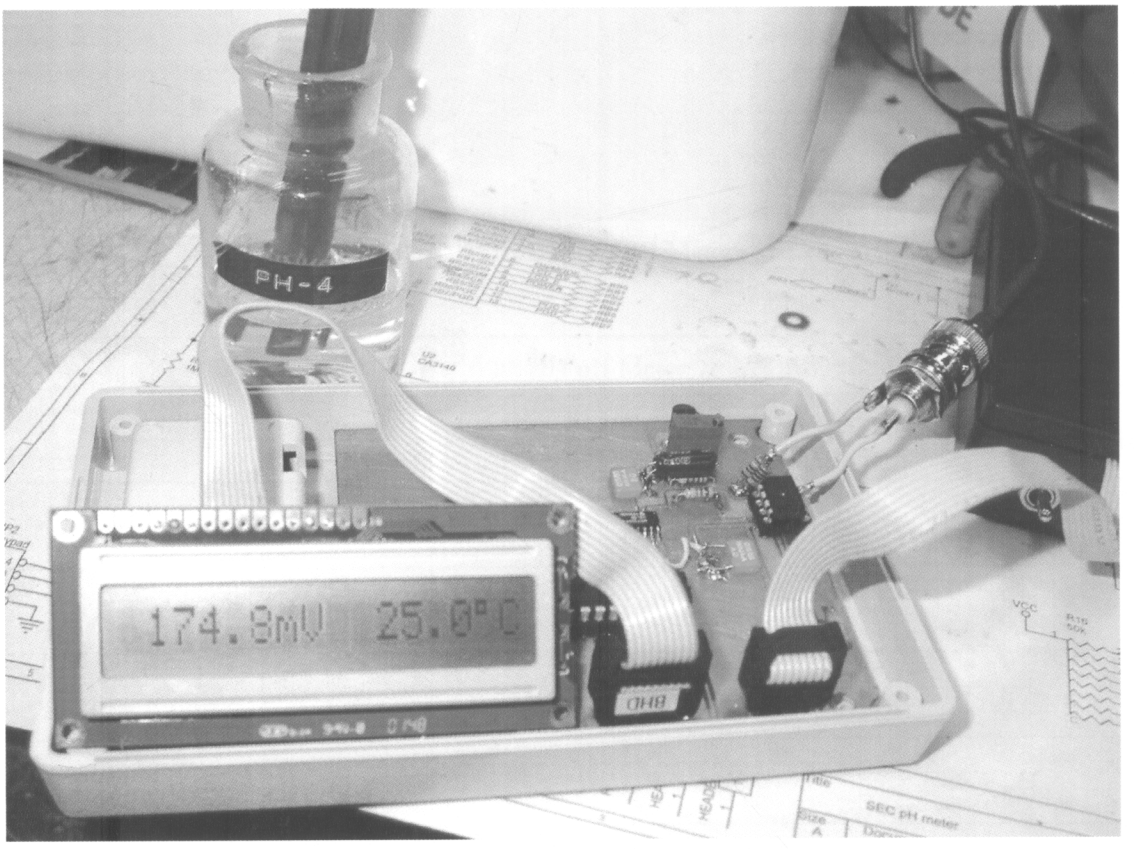
เนื้อหาในภาพรวมของบทนี้ได้กล่าวถึง หลักการและวิธีการทางเทคนิคที่ใช้ในการออกแบบ โดยคำนึงถึงการประหยัดพลังงานเป็นหลัก อย่างไรก็ตามได้พยายามเลือกแนวทางที่สามารถสร้างได้ง่ายหรือสร้างได้เองเพื่อประโยชน์ในการสร้างขึ้นใช้งานของผู้สนใจต่อไปในอนาคต ในบทถัดไป บทที่ 4 จะกล่าวถึงการทดสอบการใช้งานจริง ส่วนคู่มือการใช้เครื่องได้กล่าวไว้ในภาคผนวก ท้ายรายงาน

บทที่ 4

การทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ

4.1 การทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการทดสอบการทำงานของวงจรก่อนที่จะสั่งทำ PCB ในขั้นตอนนี้การทำ PCB จะใช้ Press N-Peel ซึ่งสามารถสั่งพิมพ์ลายวงจรโดยเครื่องพิมพ์เลเซอร์ได้โดยตรง ภาพต้นแบบสำหรับการทดสอบแสดงดังภาพที่ 5 จากผลการทดสอบโดยวัดเทียบกับ pH standard buffer สามารถอ่านค่า pH buffer 4 ได้ 174.8 mV, pH buffer 7 ได้ 2.3 mV และ pH buffer 10 ได้ –172.0 mV ค่าที่อ่านได้เป็นที่ยอมรับได้เนื่องจาก pH 4 จะให้แรงดันประมาณ 180 mV, pH 10 จะให้แรงดัน –180 mV และ pH 7 จะให้แรงดันใกล้เคียง 0 mV ซึ่งหลังจากทำการทำ Calibration แล้วจะสามารถอ่านค่า pH ได้ถูกต้องแม่นยำขึ้น



ภาพประกอบที่ 4-1: การทดสอบวงจรโดยรวมกับ pH standard buffer

หลังจากเครื่องต้นแบบได้ถูกพัฒนาเสร็จสมบูรณ์ทั้งส่วนของตัวเครื่อง pH Meter PCB โปรแกรมควบคุมภายในเครื่อง และ ในขั้นตอนการทดสอบการทำงานได้ใช้สารมาตรฐาน pH 4, pH 7 pH 10 ทดสอบในการ Calibration ตัวเครื่อง

ภาพประกอบที่ 4-2: pH Meter

ตารางที่ 2

เครื่องที่ใช้ในการทดสอบ	ค่าที่ตัวเครื่อง pH Meter วัดได้จากสารละลายมาตรฐาน			
	pH 4	pH 7	pH 10	สารละลาย unknown
เครื่องที่ 1	4.05	7.04	10.08	9.04
เครื่องที่ 2	4.04	6.94	10.07	9.04
sension 1	3.95	7.01	9.95	8.98
sension 3	3.89	6.99	9.95	8.90

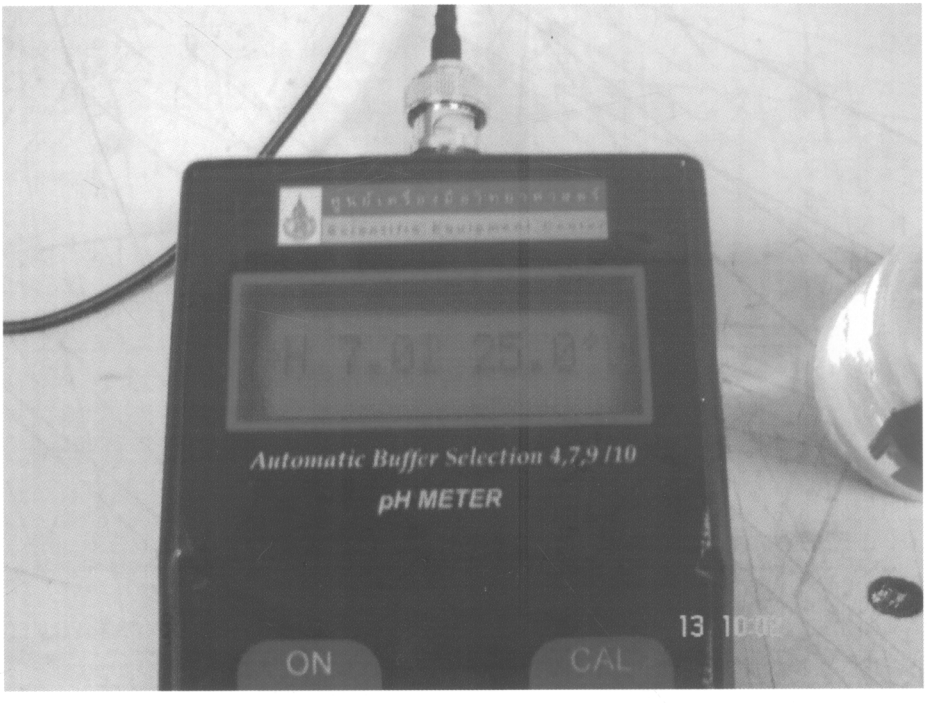
โดยทำการวัดสารละลายตัวอย่างจำนวน 4 ครั้งต่อเนื่องกัน และบันทึกค่าที่ได้จากการวัดได้ด้วยเครื่อง pH Meter ที่พัฒนาขึ้นมาโดยเทียบกับเครื่องที่มีเครื่องหมายทางการค้า

ตารางที่ 3

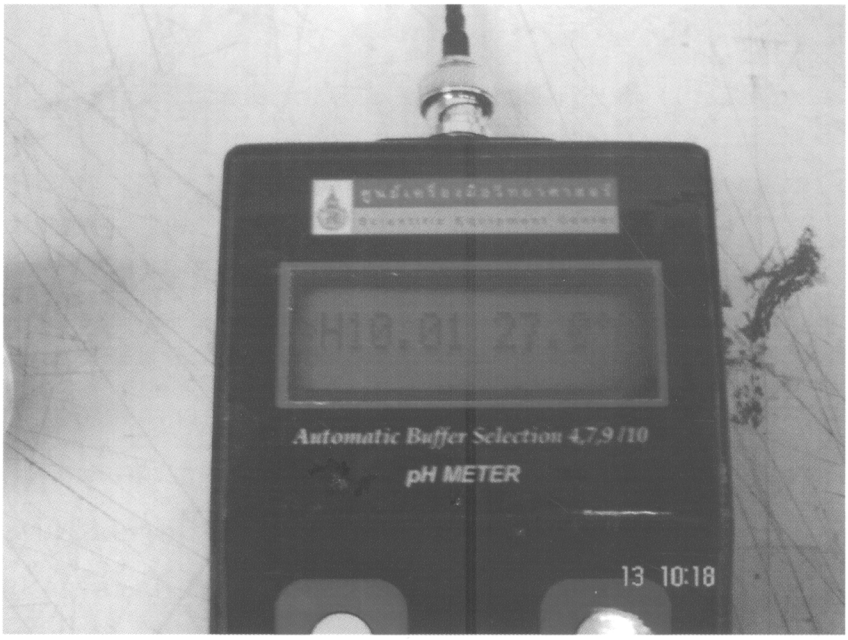
	pH4	pH7	pH10
1	4.05	7.04	10.08
2	4.04	7.05	10.04
3	4.00	7.03	10.06
4	3.98	7.03	10.02
5	3.99	6.98	10.07
6	4.01	7.00	10.01
7	4.03	6.79	9.95
8	4.05	7.05	10.04
9	4.00	7.01	9.98
10	4.02	7.04	9.98
Xbar	4.02	7.02	10.02
SD	0.02	0.03	0.04
RSD	0.62	0.41	0.43

จากตารางข้างต้นแสดงการทดสอบความเที่ยงของตัวเครื่องของการวัดซ้ำ โดยการทดสอบซ้ำ ๆ ในสารมาตรฐาน เมื่อได้ค่าของการวัดจากสารละลายสามารถนำมาคำนวณหาค่า SD และ RSD ได้ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของการวัด

ภาพประกอบที่ 4-3 ผลการทดสอบสารละลายมาตรฐาน pH 4



ภาพประกอบที่ 4-4 ผลการทดสอบสารละลายมาตรฐาน pH 7



ภาพประกอบที่ 4-5 ผลการทดสอบสารละลายมาตรฐาน pH 10

ภาพประกอบที่ 4-6 เครื่องที่ใช้ในการทดสอบทั้งสามเครื่องที่สารละลายชุดเดียวกัน

4.2 สรุปท้ายบท

จากผลการทดสอบการใช้งานจริง ได้ผลการทดสอบเป็นที่น่าพอใจทั้งผลวัดจากเครื่องหมายทางการค้าไม่มีผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในบทที่ 5 จะกล่าวถึงบทสรุปของการออกแบบและทดสอบเครื่อง pH Meter รวมถึงปัญหาและข้อเสนอแนะ

บทที่ 5

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

5.1 สรุปขั้นตอนของการวิจัย

การพัฒนาเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่างชนิดแบบพกพาเริ่มจากปัญหาในเรื่องของการซ่อมแซมอีกทั้งราคาที่มีขายตามท้องตลาดราคาค่อนสูง จึงเป็นที่มาของการออกแบบเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่างแบบอัตโนมัติขึ้นโดยสามารถใช้งานในรูปแบบของการนำค่าของอุณหภูมิมาชดเชยในการวัดค่าได้ด้วย ระบบควบคุมการทำงานโดยอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

5.2 สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่างแบบอัตโนมัติได้ผลการทดสอบในการวัดค่าสารมาตรฐานได้เป็นอย่างดี สามารถวัดค่าได้ไม่ต่างกับเครื่องที่มีเครื่องหมายทางการค่า อีกทั้งสามารถเลือกค่าในการสอบเทียบเป็นแบบ หนึ่งสารมาตรฐาน สองมาตรฐานหรือสามสารมาตรฐานจากการตั้งค่า และสามารถเลือกสารมาตรฐานโดยอัตโนมัติ

5.3 สรุปคุณสมบัติเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง

1) สามารถวัดค่าความเป็นกรด-ด่างได้ตั้งแต่ pH0-pH14
2) สามารถเลือกค่าสอบเทียบกับสารมาตรฐานแบบ 1,2 หรือ 3 จุด
3) สามารถเลือกค่าแสดงผลที่จอภาพเป็นแบบค่า pH หรือค่า mV
4) จอแสดงผลเป็นแบบ LCD Dot Matrix Display และแสดงค่าโดยมีจุดทศนิยมสองตำแหน่ง
5) ใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 9 volt. ระบบการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ใช้ค่าพลังต่ำ และสามารถตัดวงจรการใช้งานกรณีที่เปิดเครื่องทิ้งไว้โดยไม่มีการใช้งานใน 2 นาที ซึ่งจะเป็นการปิดเครื่อง pH meter เพื่อประหยัดพลังงานจากแบตเตอรี่

5.4 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ปัญหา

1) การสร้างตัวแผ่น PCB ตัวอย่างต้องหากล่องที่มีความเหมาะสมต่อการพกพาและในการติดตั้งสวิทช์กดก็มีปัญหาในการยึด
2) ส่วนของสติกเกอร์ก็เป็นปัญหาเนื่องจากกล่องพลาสติกมีลักษณะเรียบมันไม่สามารถติดสติกเกอร์กับตัวกล่องแบบถาวรไม่ได้
3) ส่วนของหัววัดอุณหภูมิไม่สามารถหาขนาดที่มีความเหมาะสมกับตัวเครื่องได้

ข้อเสนอแนะ

1) ก่อนการออกแบบจะต้องจัดหารูปแบบของตัวกล่องและสติกเกอร์ให้เหมาะสมและจะต้องคำนึงถึงความสวยงามและรูปแบบที่เหมาะสม
2) หากเป็นไปได้ควรออกแบบกล่องพลาสติกชนิดที่เหมาะกับการใช้งานเนื่องจากจะต้องคำนึงถึงหลายส่วนทั้งการวางรูปแบบของสวิทช์กดและจอแสดงผล โดยการสั่งฉีดกล่องตามแบบ
3) ส่วนของด้านหน้าของควบคุมก็ควรทำการสกรีนลงบนตัวกล่อง

5.5 แนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

เนื่องจากเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่างที่สร้างขึ้นสามารถเลือกค่าการแสดงผลเป็นแบบมิลลิโวลท์หรือค่า pH ดังนั้น หากต้องการนำข้อมูลมาประมวลผลต่อด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อเก็บค่าข้อมูลในการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง เพื่อทดแทนการจดค่า ก็สามารถพัฒนาต่อได้ โดยการพัฒนาโปรแกรมใช้ในการบันทึกได้

ภาคผนวก

ก. คู่มือการใช้งานเครื่อง pH Meter

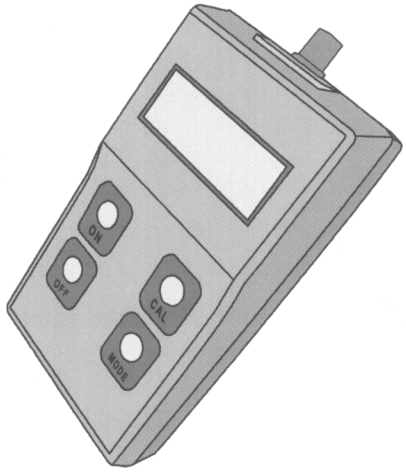
ฝ่ายซ่อมบำรุงรักษาและพัฒนาเครื่องมือ
ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา
โทร. 074-286904-7 โทรสาร 74-212813
sec-all@groups.psu.ac.th

Maintenance and Support Facility
Scientific Equipment Center
Prince of Songkla University
Kor Hong, Hat Yai, Songkhla 90110
Tel. 074-286904-7 Fax. 074-212813
sec-all@groups.psu.ac.th

คู่มือการใช้งาน

pH Meter

PSU pH v2.2



ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์

สารบัญ

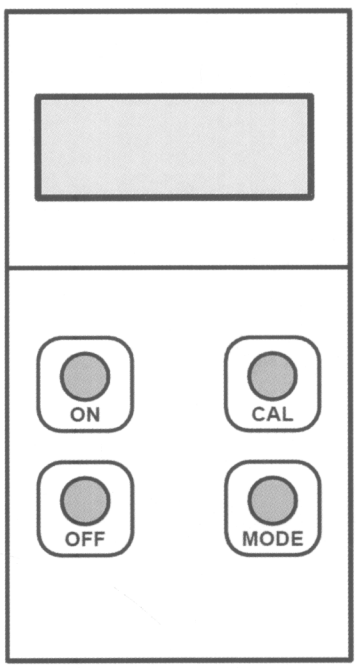
1. คุณสมบัติ 1
2. หน้าจอและปุ่มต่างๆ 2
3. วิธีการติดตั้ง Electrode 3
4. วิธีการติดตั้งแบตเตอรี่ 4
5. วิธีการสอบเทียบ 5
   5.1 การตั้งค่าจำนวนจุดสอบเทียบ
   5.2 การสอบเทียบ
6. วิธีการวัดค่า pH 6
7. วิธีการปิดเครื่อง 7
8. วิธีการบำรุงรักษาเบื้องต้น 8

1. คุณสมบัติ

pH	
Range	0 to 14 pH
Resolution	0.01 pH
Calibration	1 - 3 จุด

ตัวเครื่อง	
Battery	9VDC 1 ก้อน
Energy Saving Mode	มี

2. ปุ่มต่างๆ



ปุ่ม ON สำหรับเปิดเครื่อง

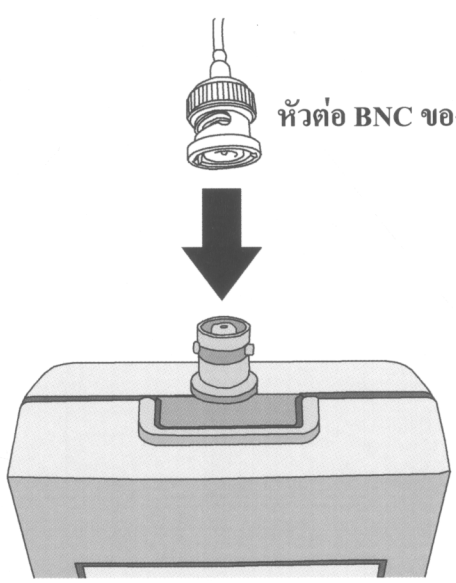
ปุ่ม OFF สำหรับปิดเครื่อง (กดค้างไว้ 5 วินาที)

ปุ่ม CAL สำหรับสอบเทียบเครื่อง

ปุ่ม MODE สำหรับเลือกรูปแบบการแสดงผลของหน้าจอเป็นค่า pH หรือ mV

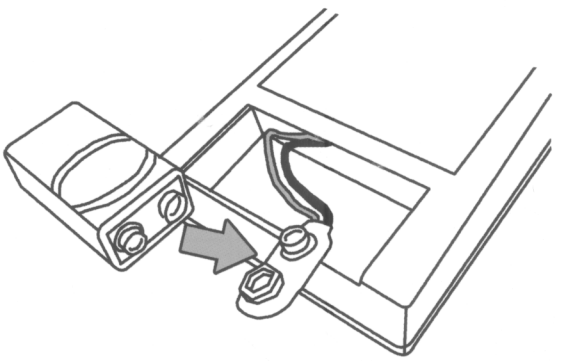
3. วิธีการติดตั้ง Electrode

1. นำปลายสายด้านที่เป็นหัวต่อ BNC ของ Electrode ต่อเข้ากับตัวเครื่อง pH Meter ดังภาพ
2. หมุนหัวต่อล็อกให้แน่น เพื่อให้สาย Electrode ไม่หลุดออกจากตัวเครื่อง



4. วิธีการติดตั้งแบตเตอรี่

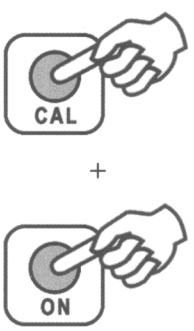
1. ช่องสำหรับใส่แบตเตอรี่อยู่ที่ด้านหลังของตัวเครื่อง
2. เมื่อใช้งานเครื่องจนแบตเตอรี่ไม่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้แล้ว ท่านสามารถเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้เอง โดยใช้แบตเตอรี่ขนาด 9 VDC จำนวน 1 ก้อน



5. วิธีการสอบเทียบ

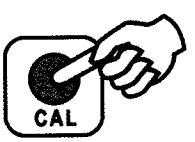
5.1 การตั้งค่าจำนวนจุดสอบเทียบ

เครื่อง pH Meter รุ่นนี้สามารถตั้งค่า “จำนวนจุดสอบเทียบ” ได้ตั้งแต่ 1 ถึง 3 จุด โดยมีวิธีการตั้งค่าดังนี้

	1. กดปุ่ม CAL ค้างไว้ พร้อมด้วยกดปุ่ม ON เพื่อเข้าสู่หน้าจอการตั้งค่า
	2. ตั้งค่า “จำนวนจุดสอบเทียบ” โดยการกดปุ่ม CAL ไปเรื่อยๆ จนได้ค่าที่ต้องการ

5.2 การสอบเทียบ

หมายเหตุ ต้องเตรียมสารละลายมาตรฐานที่ต้องการจะสอบเทียบให้อยู่ในอุณหภูมิห้องก่อนทำการสอบเทียบ

	1. เปิดเครื่องโดยกดปุ่ม ON
	2. ทำความสะอาด Electrode โดยการรินน้ำกลั่นที่ปลายของ Electrode จนแน่ใจว่าไม่มีสารใดๆตกค้าง แล้วจึงเช็ดให้แห้งโดยกระดาษหรือผ้าที่ไม่มีขุย
	3. จุ่ม Electrode ลงในสารละลายมาตรฐาน แล้วกดปุ่ม CAL เครื่องจะทำการอ่านค่า pH ของสารละลายมาตรฐานและจะแสดงผลค่า pH มาตรฐานที่วัดได้บนหน้าจอโดยอัตโนมัติ
	4. ทำซ้ำข้อ 2 – 3 ตาม “จำนวนจุดสอบเทียบ” ที่ได้ตั้งค่าไว้
	5. เมื่อวัดค่า pH ของสารละลายมาตรฐานครบแล้ว ให้กดปุ่ม CAL อีกครั้งเพื่อสิ้นสุดการสอบเทียบ

6. วิธีการวัดค่า pH

หมายเหตุ เพื่อให้การวัดค่า pH มีความถูกต้องยิ่งขึ้น ควรทำการสอบเทียบทุกครั้งก่อนการวัดค่าจริง และควรวัดค่าเมื่ออุณหภูมิของสารละลายมีค่าเท่ากับอุณหภูมิห้อง

1. เปิดเครื่องโดยกดปุ่ม ON

2. จุ่ม Electrode ลงในสารละลายที่ต้องการวัดค่า pH

3. เครื่องจะแสดงค่า pH ที่วัดได้บนหน้าจอ

7. วิธีการปิดเครื่อง

ปิดเครื่องโดยกดปุ่ม OFF ค้างไว้ประมาณ 5 วินาที

Datasheet

1. PIC16F913

MICROCHIP PIC16F917/916/914/913

28/40/44-Pin Flash-Based, 8-Bit CMOS Microcontrollers with LCD Driver and nanoWatt Technology

High-Performance RISC CPU:

- Only 35 instructions to learn:
  - All single-cycle instructions except branches
- Operating speed:
  - DC – 20 MHz oscillator/clock input
  - DC – 200 ns instruction cycle
- Program Memory Read (PMR) capability
- Interrupt capability
- 8-level deep hardware stack
- Direct, Indirect and Relative Addressing modes

Special Microcontroller Features:

- Precision Internal Oscillator:
  - Factory calibrated to ±1%
  - Software selectable frequency range of 8 MHz to 32 kHz
  - Software tunable
  - Two-Speed Start-up mode
  - Crystal fail detect for critical applications
  - Clock mode switching during operation for power savings
- Power-saving Sleep mode
- Wide operating voltage range (2.0V-5.5V)
- Industrial and Extended temperature range
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Brown-out Reset (BOR) with software control option
- Enhanced Low-Current Watchdog Timer (WDT) with on-chip oscillator (software selectable nominal 268 seconds with full prescaler) with software enable
- Multiplexed Master Clear with pull-up/input pin
- Programmable code protection
- High-Endurance Flash/EEPROM cell:
  - 100,000 write Flash endurance
  - 1,000,000 write EEPROM endurance
  - Flash/Data EEPROM retention: > 40 years

Low-Power Features:

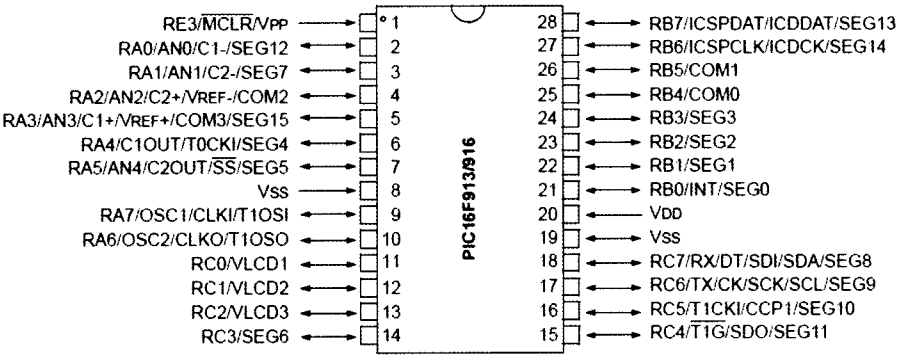
- Standby Current:
  - <100 nA @ 2.0V, typical
- Operating Current:
  - 8.5 µA @ 32 kHz, 2.0V, typical
  - 100 µA @ 1 MHz, 2.0V, typical
- Watchdog Timer Current:
  - 1 µA @ 2.0V, typical

Peripheral Features:

- Liquid Crystal Display module:
  - Up to 60 pixel drive capability on 28-pin devices
  - Up to 96 pixel drive capability on 40-pin devices
  - Four commons
- Up to 35 I/O pins and 1 input-only pin:
  - High-current source/sink for direct LED drive
  - Interrupt-on-pin change
  - Individually programmable weak pull-ups
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- Analog comparator module with:
  - Two analog comparators
  - Programmable on-chip voltage reference (CV_{REF}) module (% of V_{DD})
  - Comparator inputs and outputs externally accessible
- A/D Converter:
  - 10-bit resolution and up to 8 channels
- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler
- Enhanced Timer1:
  - 16-bit timer/counter with prescaler
  - External Gate Input mode
  - Option to use OSC1 and OSC2 as Timer1 oscillator if INTOSCIO or LP mode is selected
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Addressable Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (AUSART)
- Up to 2 Capture, Compare, PWM modules:
  - 16-bit Capture, max. resolution 12.5 ns
  - 16-bit Compare, max. resolution 200 ns
  - 10-bit PWM, max. frequency 20 kHz
- Synchronous Serial Port (SSP) with I^2C™

ภาพประกอบที่ ค-1 คุณสมบัติโดยรวมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F913

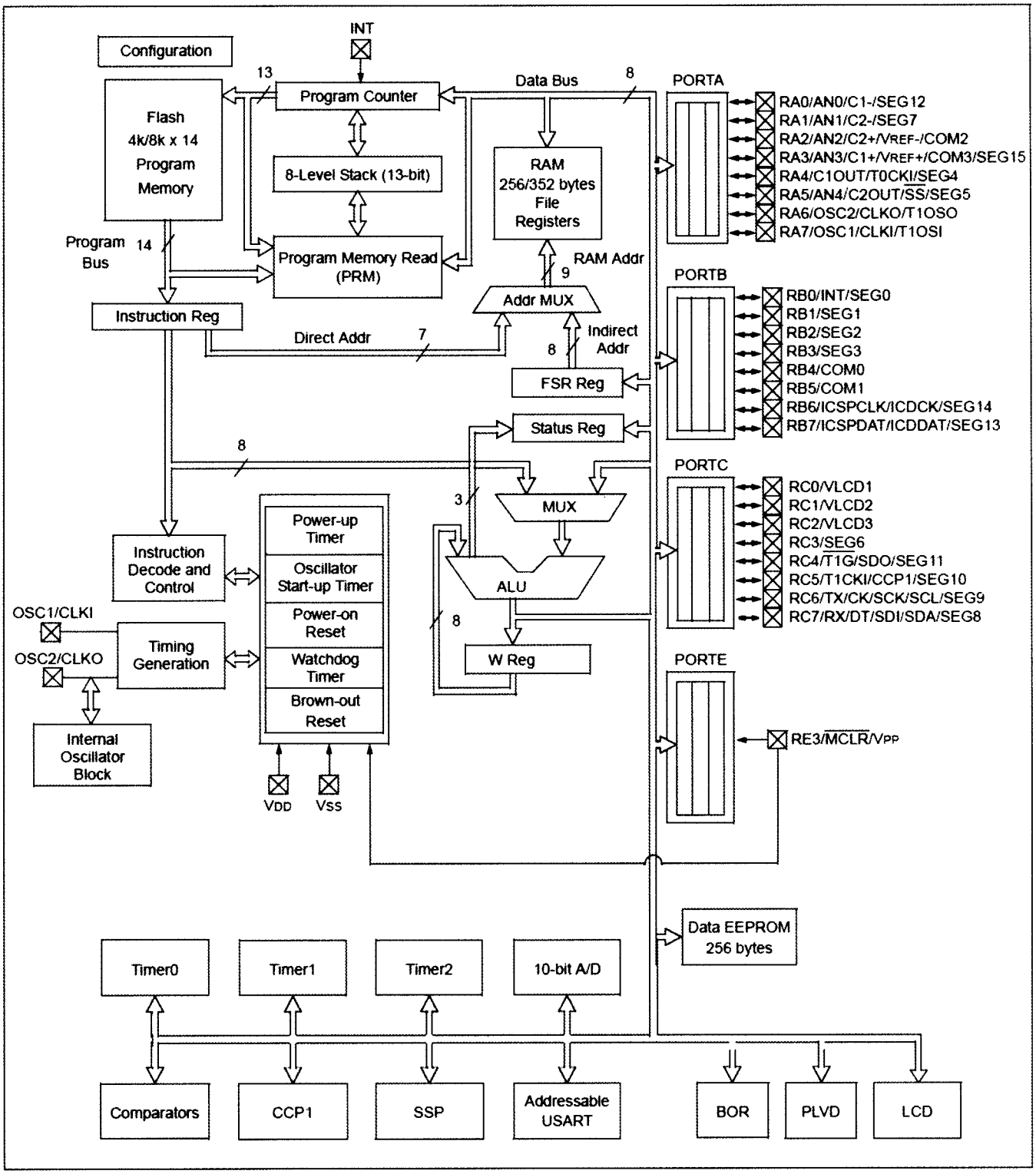
28-pin PDIP, SOIC, SSOP



ภาพประกอบที่ ค-2 ตัวถังแบบ SOIC

Device	Program Memory	Data Memory		I/O	10-bit A/D (ch)	LCD (segment drivers)	CCP	Timers 8/16-bit
	Flash (words/bytes)	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					
PIC16F913	4K/7K	256	256	24	5	16	1	2/1
PIC16F914	4K/7K	256	256	35	8	24	2	2/1
PIC16F916	8K/14K	352	256	24	5	16	1	2/1
PIC16F917	8K/14K	352	256	35	8	24	2	2/1

ภาพประกอบที่ ค-3 ตารางแสดงคุณสมบัติเทียบกับ เบอร์อื่นๆ ในตระกูลเดียวกัน



ภาพประกอบที่ ค-4 Block Diagram ของ PIC16F913

2. MCP3304

MICROCHIP

MCP3302/04

13-Bit Differential Input, Low Power A/D Converter with SPI™ Serial Interface

Features

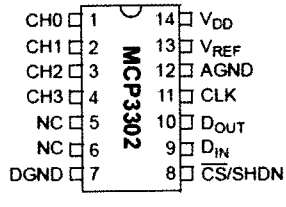
- Full Differential Inputs
- MCP3302: 2 Differential or 4 Single ended Inputs
- MCP3304: 4 Differential or 8 Single ended Inputs
- ±1 LSB max DNL
- ±1 LSB max INL (MCP3302/04-B)
- ±2 LSB max INL (MCP3302/04-C)
- Single supply operation: 2.7V to 5.5V
- 100 ksps sampling rate with 5V supply voltage
- 50 ksps sampling rate with 2.7V supply voltage
- 50 nA typical standby current, 1 µA max
- 450 µA max active current at 5V
- Industrial temp range: -40°C to +85°C
- 14 and 16-pin PDIP, SOIC and TSSOP packages
- MXDEV™ Evaluation kit available

Applications

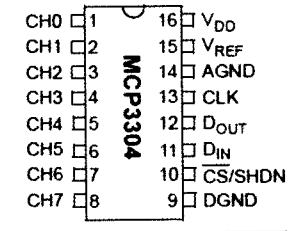
- Remote Sensors
- Battery Operated Systems
- Transducer Interface

Package Types

PDIP, SOIC, TSSOP



PDIP, SOIC



General Description

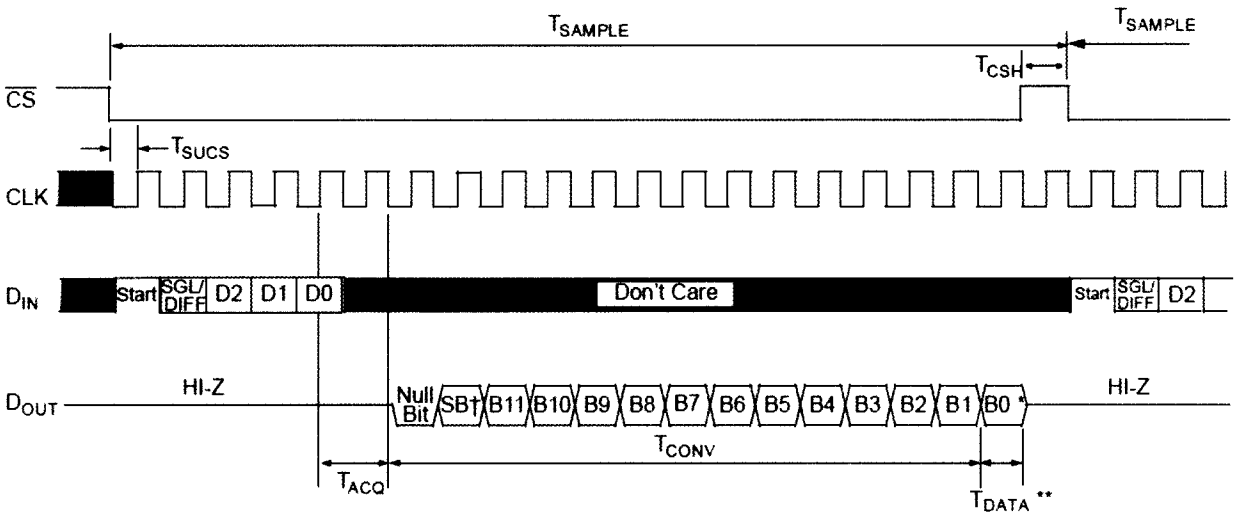
The Microchip Technology Inc. MCP3302/04 13-bit A/D converters feature full differential inputs and low power consumption in a small package that is ideal for battery powered systems and remote data acquisition applications. The MCP3302 is programmable to provide two differential input pairs or four single ended inputs. The MCP3304 is programmable and provides four differential input pairs or eight single ended inputs.

Incorporating a successive approximation architecture with on-board sample and hold circuitry, these 13-bit A/D converters are specified to have ±1 LSB Differential Nonlinearity (DNL); ±1 LSB Integral Nonlinearity (INL) for B-grade and ±2 LSB for C-grade devices. The industry-standard SPI™ serial interface enables 13-bit A/D converter capability to be added to any PICmicro® microcontroller.

The MCP3302/04 devices feature low current design that permits operation with typical standby and active currents of only 50 nA and 300 µA, respectively. The devices operate over a broad voltage range of 2.7V to 5.5V and are capable of conversion rates of up to 100 ksps. The reference voltage can be varied from 400 mV to 5V, yielding input-referred resolution between 98 µV and 1.22 mV.

The MCP3302 is available in 14-pin PDIP, 150 mil SOIC and TSSOP packages. The MCP3304 is available in 16-pin PDIP and 150 mil SOIC packages. The full differential inputs of these devices enable a wide variety of signals to be used in applications such as remote data acquisition, portable instrumentation and battery operated applications.

ภาพประกอบที่ ค-5 คุณสมบัติโดยรวมของ MCP3304



* After completing the data transfer, if further clocks are applied with $\overline{CS}$ low, the A/D Converter will output LSB first data, followed by zeros indefinitely. See Figure 7-3 below.

** T_{DATA}: during this time, the bias current and the comparator power down while the reference input becomes a high impedance node, leaving the CLK running to clock out the LSB-first data or zeros.

† When operating in single ended mode, the sign bit will always be transmitted as a '0'.

ภาพประกอบที่ ค-6 รูปแบบการเชื่อมต่อข้อมูลแบบอนุกรมของ MCP3304

3. MAX663

19-0921; Rev 1; 7/96

MAXIM

Dual Mode™ 5V/Programmable Micropower Voltage Regulators

General Description

The MAX663/664/666 CMOS voltage regulators have a maximum quiescent current of 12μA. They can be used either as 5 volt, fixed output regulators with no additional components, or can be adjusted from 1.3V to 16V using two external resistors. Fixed or adjustable operation is automatically selected via the V_{SET} input. The MAX66X series, ideally suited for battery powered systems, has an input voltage range of 2 to 16.5V, an output current capability of 40mA, and can operate with low input-output differentials. Other features include current limiting and low power shut down.

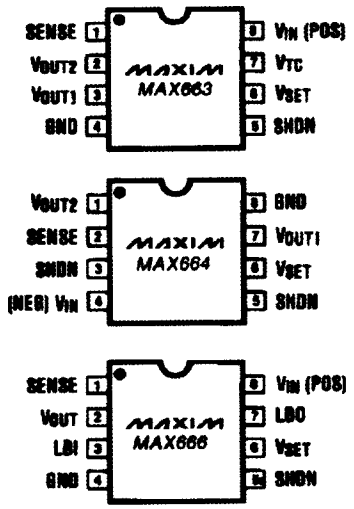
The MAX663 positive regulator and MAX664 negative regulator are both pin and electrically compatible with the ICL7663 and ICL7664 and can plug-in replace these devices, improving performance and eliminating the need for external resistors in 5V applications. The MAX666 has a positive output and includes on-chip low-battery detection circuitry.

Applications

Handheld Instruments
LCD Display Systems
Pagers
Remote Data Acquisition and Telemetry
Radio Controlled Devices
Long-life Battery Powered Systems

Pin Configuration

Top View



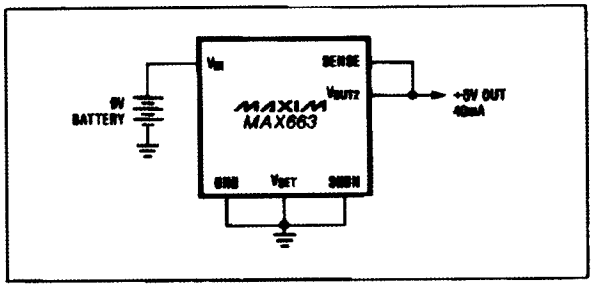
Features

- Dual Mode Operation: Fixed +5V or Adjustable from +1.3V to +16V
- Low Power CMOS: 12μA Max Quiescent Current
- 40mA Output Current, with Current Limiting
- Pin-Compatible Upgrade of ICL7663 and ICL7664
- +2V to +16.5V Operating Range
- Low Battery Detector (MAX666)
- No Output Over-Shoot on Power Up

Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX663C/D	0°C to +70°C	Dice
MAX663CPA	0°C to +70°C	8 Lead Plastic DIP
MAX663CSA	0°C to +70°C	8 Lead Small Outline
MAX663EPA	-40°C to +85°C	8 Lead Plastic DIP
MAX663ESA	-40°C to +85°C	8 Lead Small Outline
MAX663MJA	-55°C to +125°C	8 Lead CERDIP
MAX664C/D	0°C to +70°C	Dice
MAX664CPA	0°C to +70°C	8 Lead Plastic DIP
MAX664CSA	0°C to +70°C	8 Lead Small Outline
MAX664EPA	-40°C to +85°C	8 Lead Plastic DIP
MAX664ESA	-40°C to +85°C	8 Lead Small Outline
MAX664MJA	-55°C to +125°C	8 Lead CERDIP
MAX666C/D	0°C to +70°C	Dice
MAX666CPA	0°C to +70°C	8 Lead Plastic DIP
MAX666CSA	0°C to +70°C	8 Lead Small Outline
MAX666EPA	-40°C to +85°C	8 Lead Plastic DIP
MAX666ESA	-40°C to +85°C	8 Lead Small Outline
MAX666MJA	-55°C to +125°C	8 Lead CERDIP

Typical Operating Circuit



ภาพประกอบที่ ค-7 คุณสมบัติโดยรวมของ MAX663

intersil

4.5MHz, BiMOS Operational Amplifier with MOSFET Input/Bipolar Output

The CA3140A and CA3140 are integrated circuit operational amplifiers that combine the advantages of high voltage PMOS transistors with high voltage bipolar transistors on a single monolithic chip.

The CA3140A and CA3140 BiMOS operational amplifiers feature gate protected MOSFET (PMOS) transistors in the input circuit to provide very high input impedance, very low input current, and high speed performance. The CA3140A and CA3140 operate at supply voltage from 4V to 36V (either single or dual supply). These operational amplifiers are internally phase compensated to achieve stable operation in unity gain follower operation, and additionally, have access terminal for a supplementary external capacitor if additional frequency roll-off is desired. Terminals are also provided for use in applications requiring input offset voltage nulling. The use of PMOS field effect transistors in the input stage results in common mode input voltage capability down to 0.5V below the negative supply terminal, an important attribute for single supply applications. The output stage uses bipolar transistors and includes built-in protection against damage from load terminal short circuiting to either supply rail or to ground.

The CA3140A and CA3140 are intended for operation at supply voltages up to 36V (±18V).

Features

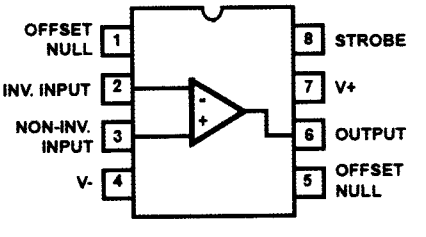
- MOSFET Input Stage
  - Very High Input Impedance (Z_{IN}) -1.5TΩ (Typ)
  - Very Low Input Current (I_I) -10pA (Typ) at ±15V
  - Wide Common Mode Input Voltage Range (V_{ICR}) - Can Swung 0.5V Below Negative Supply Voltage Rail
  - Output Swing Complements Input Common Mode Range
- Directly Replaces Industry Type 741 in Most Applicatic
- Pb-Free Plus Anneal Available (RoHS Compliant)

Applications

- Ground-Referenced Single Supply Amplifiers in Automobile and Portable Instrumentation
- Sample and Hold Amplifiers
- Long Duration Timers/Multivibrators (μseconds-Minutes-Hours)
- Photocurrent Instrumentation
- Peak Detectors
- Active Filters
- Comparators
- Interface in 5V TTL Systems and Other Low Supply Voltage Systems
- All Standard Operational Amplifier Applications
- Function Generators
- Tone Controls
- Power Supplies
- Portable Instruments
- Intrusion Alarm Systems

Pinout

CA3140 (PDIP, SOIC)
TOP VIEW



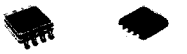
ภาพประกอบที่ ค-8 คุณสมบัติโดยรวมของ CA3140

LM158,A-LM258,A
LM358,A

LOW POWER DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

- INTERNALLY FREQUENCY COMPENSATED
- LARGE DC VOLTAGE GAIN: 100dB
- WIDE BANDWIDTH (unity gain): 1.1MHz (temperature compensated)
- VERY LOW SUPPLY CURRENT/OP (500µA) ESSENTIALLY INDEPENDENT OF SUPPLY VOLTAGE
- LOW INPUT BIAS CURRENT: 20nA (temperature compensated)
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE: 2mV
- LOW INPUT OFFSET CURRENT: 2nA
- INPUT COMMON-MODE VOLTAGE RANGE INCLUDES GROUND
- DIFFERENTIAL INPUT VOLTAGE RANGE EQUAL TO THE POWER SUPPLY VOLTAGE
- LARGE OUTPUT VOLTAGE SWING 0V TO (Vcc - 1.5V)

N
DIP8
(Plastic Package)



D & S
SO8 & miniSO8
(Plastic Micropackage)

P
TSSOP8
(Thin Shrink Small Outline Package)

DESCRIPTION

These circuits consist of two independent, high gain, internally frequency compensated which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. The low power supply drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op-amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, these circuits can be directly supplied with the standard +5V which is used in logic systems and will easily provide the required interface electronics without requiring any additional power supply.

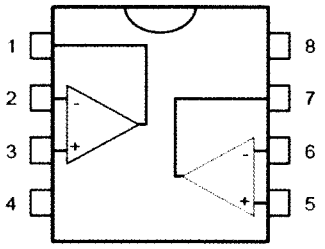
Inthe linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.

ORDER CODE

Part Number	Temperature Range	Package			
		N	S	D	P
LM158,A	-55°C, +125°C	•		•	•
LM258,A	-40°C, +105°C	•		•	•
LM358,A	0°C, +70°C	•	•	•	•
Example : LM258N					

N = Dual in Line Package (DIP)
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)
S = Small Outline Package (miniSO) only available in Tape & Reel (DT)
P = Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP) - only available in Tape &Reel (PT)

PIN CONNECTIONS (top view)



1 - Output 1
2 - Inverting input
3 - Non-inverting input
4 - V_{CC}^-
5 - Non-inverting input 2
6 - Inverting input 2
7 - Output 2
8 - V_{CC}^+

ภาพประกอบที่ ค-9 คุณสมบัติโดยรวมของ LM358

บรรณานุกรม

http://www.ponpe.com/index.php?option=com_content&task=view&id=59&Itemid=113
บริษัทโปรโทรนิกส์ อินเตอร์เทรดจำกัด ที่ตั้ง 33/35 หมู่ 10 ต.ลาดสวาย อ.ลำลูกกา จ.ปทุมธานี 12150
Tel:02-1523373-4,02-1523433,02-1523680 Fax :02-1523511 ©2006 ponpe.com, All rights reserved.
ponpe.com

Anderson, O.S. : Analytical Procedures and instrumentation. In. "Fundamental of Clinical Chemistry ". Tietz, N.W., Eds. W.B. Saunder Company,Philadelphia, P.135-153, 1976.