สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานวิจัยโครงการวิจัยโดยใช้เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปี 2549

เครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลาย

Solution Concentration Measurement System

จัดทำโดย

นายรังสรรค์ เมืองเหลือ

RCH
TK
7848.4
ร3140

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....84522
วัน,เดือน,ปี.....13 ต.ค. 2551

ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b.11995221
i.

รายงานโครงการวิจัยโดยใช้เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปี (2549)

****

1. ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย) **"เครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลาย"**

(ภาษาอังกฤษ) **"Solution Concentration Measurement System "**

2. คณะผู้ดำเนินงานวิจัย

หัวหน้าโครงการ	นายรังสรรค์ เมืองเหลือ **คุณวุฒิ** วศ.ม.(วิศวกรรมไฟฟ้า)
แผนก/ภาควิชา	ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ **กอง/คณะ** คณะวิศวกรรมศาสตร์
กรม/มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กระทรวง/ทบวง	กระทรวงศึกษาธิการ
ที่อยู่	ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทรศัพท์	0-2739-0643 Email : kmrangso@kmitl.ac.th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ในการทดลองทางเคมีเมื่อมีการทดลองหาค่าความเข้มข้นของสารละลายในแต่ละชนิดนั้น จะต้องมีการเตรียมสารละลายโดยวิธีการคำนวณจากสูตรความเข้มข้น เพื่อที่จะให้ได้ความเข้มข้นตามที่ต้องการ จากนั้นก็จะได้ค่าความเข้มข้นตามที่ต้องการโดยที่ผู้ทดลองต้องเปียนหรือกำกับค่าความเข้มข้นที่เตรียมไว้เพื่อทำให้ผู้ทดลองท่านอื่นทราบว่าสารละลายตัวนี้มีค่าความเข้มข้นเท่าใด บางครั้งในการปฏิบัติงานอาจไม่สะดวกและเกิดความไม่เข้าใจกันของผู้ทดลอง ถ้าสามารถออกแบบเครื่องมืออวัดที่บอกความเข้มข้นของสารละลายได้จะช่วยให้การทดลองและการปฏิบัติงานมีความสะดวกและมีความถูกต้องมากขึ้น

จากเหตุผลดังกล่าวทางผู้วิจัยจึงคิดที่จะพัฒนาเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายขึ้นมาเพื่อใช้ในการวัดเข้มข้นของสารละลาย โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. สร้างต้นเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลาย
2. พัฒนาเทคนิคในตรวจสอบสารละลายโดยใช้เทคนิคการวัดค่าความจุไฟฟ้า
3. สร้างบุคลากรทางเครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ความเข้มข้นของสารละลาย

สารละลาย คือ สารเนื้อเดียวที่เกิดจากสารบริสุทธิ์ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปผสมกัน โดยไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี จุดเดือด และจุดหลอมเหลวไม่คงที่ ตัวอย่างเช่น สารละลายน้ำเกลือ ทิงเจอร์ไอโอดีน แอลกอฮอล์70% น้ำเชื่อม เป็นต้น ในทาง เคมี สารละลาย (solution) เป็น ของผสมที่เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งมีสารหนึ่งชนิดหรือมากกว่าเป็น ตัวทำละลาย ละลายอยู่ในสารอีกชนิดหนึ่งซึ่งเป็น ตัวถูกละลาย ตัวอย่าง เช่น ไม่เพียงแต่ ของแข็งละลายในของเหลว เหมือนกับ เกลือ หรือ น้ำตาล ละลายในน้ำ (หรือแม้แต่ ทองคำ ละลายใน ปรอท แล้วเกิดเป็น อะมัลกัม (amalgam)) แต่ ก๊าซ ก็ละลายในของเหลว อย่างเช่น คาร์บอนไดออกไซด์ หรือ ออกซิเจน ละลายในน้ำได้

สารละลายอุดมคติ (ideal solution) คือการที่ปฏิกิริยาระหว่าง โมเลกุล ของตัวทำละลายกระทำซึ่งกันและกันมีค่าเท่ากับปฏิกิริยาระหว่างตัวทำละลายกับตัวถูกละลาย แล้วคุณสมบัติของสารละลายในอุดมคติสามารถคำนวนได้โดยผลรวมเชิงเส้น (linear combination) ของคุณสมบัติของส่วนประกอบของมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวทำละลาย (solvent) ตามความหมายแบบเดิมคือ สารในสารละลายที่มีปริมาณมากกว่าตัวถูกละลาย ถ้าทั้งตัวถูกละลายและตัวทำละลายมีปริมาณเท่ากัน (เช่น สารละลายมี เอทานอล 50% และ น้ำ 50%) คำจำกัดความเกี่ยวกับตัวทำละลายและตัวถูกละลายจะมีความสำคัญน้อยลง แต่โดยทั่วไปสารที่มีปริมาณมากกว่าจะถูกกำหนดให้เป็นตัวทำละลาย

สารละลายแบ่งออกเป็นหลายประเภทดังนี้:

ตัวอย่างของสารละลาย		ตัวถูกละลาย ก๊าซ	ของเหลว	ของแข็ง
ตัวทำละลาย	ก๊าซ	ออกซิเจน และ ก๊าซอื่นในไนโตรเจน (อากาศ)	ไอน้ำ ใน อากาศ (ความชื้น)	กลิ่น ของของแข็งเป็นผลมาจากโมเลกุลของของแข็งกระจายตัวในอากาศ
	ของเหลว	คาร์บอนไดออกไซด์ ในน้ำ (น้ำคาร์บอเนต)	เอทานอล (แอลกอฮอล์) ในน้ำ; ไฮโดรคาร์บอน หลายชนิดใน (ปิโตรเลียม)	ซูโครส (น้ำตาลทราย) ในน้ำ; โซเดียมคลอไรด์ (เกลือแกง) ในน้ำ
	ของแข็ง	ไฮโดรคาร์บอน ละลายในโลหะ ; แพลตินัม ถูกศึกษาให้เป็นตัวกลางในการเก็บ	น้ำ ใน ถ่านปลุกฤทธิ์ (activated charcoal); ความชื้นใน ไม้	เหล็กกล้า, ดูราลูมิน (duralumin) โลหะอื่นโลหะผสม

ความเข้มข้น หมายถึง ปริมาณของตัวถูกละลายที่ละลายอยู่ในสารละลาย โดยการบอกหน่วยของความเข้มข้นมีหลายวิธี ดังนี้

-ร้อยละของตัวถูกละลาย การบอกความเข้มข้นโดยวิธีนี้มี 3 แบบดังนี้

- ร้อยละโดยมวล หมายถึง มวลของตัวถูกละลายที่ละลายอยู่ในสารละลาย 100 หน่วยมวลเดียวกัน การบอกความเข้มข้นโดยวิธีนี้ใช้กันมากถ้าตัวถูกละลายเป็นของแข็ง สัญลักษณ์คือ % w/w

$$\text{ร้อยละโดยมวล} = \frac{\text{มวลของตัวถูกละลาย}}{\text{มวลทั้งหมดของสารละลาย}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ร้อยละโดยปริมาตร หมายถึง ปริมาตรของตัวถูกละลายที่ละลายอยู่ในสารละลาย 100 หน่วยปริมาตร ใช้กับตัวถูกละลายที่เป็นของเหลว สัญลักษณ์คือ % v/v

$$\text{ร้อยละโดยปริมาตร} = \frac{\text{ปริมาตรของตัวถูกละลาย}}{\text{ปริมาตรทั้งหมดของสารละลาย}} \times 100$$

- ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร หมายถึง น้ำหนักของตัวถูกละลายที่ละลายอยู่ในสารละลาย 100 หน่วยปริมาตร สัญลักษณ์ คือ w/v

$$\text{ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร} = \frac{\text{มวลของตัวถูกละลาย}}{\text{ปริมาตรทั้งหมดของสารละลาย}} \times 100$$

- ส่วนในล้านส่วน หมายถึง ส่วนของตัวถูกละลายที่ละลายอยู่ในสารละลาย 1,000,000 ส่วน สัญลักษณ์คือ ppm

$$\text{ppm} = \frac{\text{มวลของตัวถูกละลาย}}{\text{มวลทั้งหมดของสารละลาย}} \times 1{,}000{,}000$$

หรือ

$$\text{ppm} = \frac{\text{ปริมาตรของตัวถูกละลาย}}{\text{ปริมาตรทั้งหมดของสารละลาย}} \times 1{,}000{,}000$$

- โมลาริตี (Molarity) หมายถึง จำนวนโมลของตัวถูกละลายอยู่ในสารละลาย 1 ลูกบาศก์เดซิเมตร ใช้หน่วยเป็นโมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร โมลต่อลิตรหรือโมลาร์(Molar) สัญลักษณ์คือ M

$$M = \frac{\text{มวลเป็นกรัมของตัวถูกละลาย}}{\text{มวลโมเลกุลของตัวถูกละลายXปริมาตรเป็นลิตรของสารละลาย}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โมแลลิตี หมายถึง จำนวนโมลของตัวถูกละลายที่ละลายอยู่ในตัวทำละลายหนัก 1 กิโลกรัม ใช้หน่วยเป็นโมลต่อกิโลกรม หรือ โมแลล(Molal) การบอกความเข้มข้นโดยวิธีนี้ใช้กับพวกที่มีคุณสมบัติที่ขึ้นกับจำนวนของอนุภาคของตัวถูกละลาย สัญลักษณ์คือ m

$$m = \frac{\text{มวลเป็นกรัมของตัวถูกละลาย}}{\text{มวลโมเลกุลของตัวถูกละลาย X มวลเป็นกิโลกรัมของสารละลาย}}$$

ถ้าน้ำเป็นตัวทำละลาย ค่าของโมลาริตีและโมแลลิตีของสารละลายจะใกล้เคียงกัน เพราะความหนาแน่นของน้ำมีค่าประมาณ 1 ที่อุณหภูมิห้อง

- ฟอร์มาลิตี (Formality) หมายถึง จำนวนกรัมสูตรของตัวถูกละลายที่ละลายอยู่ในสารละลาย 1 ลูกบาศก์เดซิเมตร ใช้หน่วยเป็นฟอร์มาล (Formal) ฟอร์มาลิตีและโมลาริตีคล้ายกันมาก เพียงแต่โมลาริตีกับสารประกอบที่มีสูตรโมเลกุล สำหรับสารประกอบที่มีสูตรโมเลกุลนั้น น้ำหนักโมเลกุลก็คือน้ำหนักสูตรนั่นเอง ส่วนฟอร์มาลิตีนิยมใช้กับสารประกอบไอออนิกซึ่งไม่มีสูตรโมเลกุล สัญลักษณ์คือ f

$$f = \frac{\text{มวลเป็นกรัมของตัวถูกละลาย}}{\text{ปริมาตรเป็นลูกบาศก์เดซิเมตรของสารละลาย}}$$

- นอร์มาลิตี (Normality) หมายถึงจำนวนกรัมสมมูลของของตัวถูกละลายที่ละลายอยู่ในสารละลาย 1 ลูกบาศก์ เดซิเมตร ใช่หน่วยเป็นนอร์มาล (Normal) สัญลักษณ์คือ N

$$N = \frac{\text{มวลเป็นกรัมของตัวถูกละลาย}}{\text{ปริมาตรเป็นลูกบาศก์เดซิเมตรของสารละลาย}}$$

- เศษส่วนโมล (Mole Fraction) หมายถึง จำนวนโมลของสารองค์ประกอบนั้นหารด้วยจำนวนโมลของสารอิงค์ประกอบทั้งหมดในสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X_1 = \frac{n_1}{n_1+n_2+n_3+.....+n_i}$$

$$X_2 = \frac{n_2}{n_1+n_2+n_3+.....+n_i}$$

โดยที่ x_i = เศษส่วนโมลของสารองค์ประกอบที่ i

n_i = จำนวนโมลของสารองค์ประกอบยที่ i

ผลบวกของเศษส่วนโมลของสารองค์ประกอบทั้งหมดเท่ากับ 1 เสมอ คือ

$$x_1+x_2+x_3+..... = 1$$

ถ้าต้องการทราบโมลเปอร์เซนต์(Mole percent) ก็ทำได้โดยนำ 100 คูณเข้ากับเศษส่วนโมล

โมลเปอร์เซนต์ = 100X เศษส่วนโมล

ในอุตสาหกรรมการผลิตผลไม้ นิยมบอกค่าความเข้มข้นของน้ำผลไม้ในรูปองศา บริกซ์ ซึ่งเป็นหน่วยของการวัดความเข้มข้นแบบร้อยละโดยมวล ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการวัดคือเครื่องวัดดัชนีหักเหของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
เครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลาย
Solution Concentration Measurement System

ในปัจจุบันนี้การบอกค่าความเข้มข้ นของสารละลายบอกได้เพียงแต่ว่าสารละลายชนิ ดนี้มี ความเป็นกรดและเบสมากน้อยเพียงใดโดยแสดงอยู่ในรูปของค่าpHแต่ ยั งไม่ มี การนำเสนอถึงความเข้มข้น นที่เฉพาะเจาะจงถึงรายละเอียดของความเข้มข้น ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้คิดพัฒนาเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายนี้ขึ้นมาโดยมีหลักการทำงานที่อาศัยคุณสมบัติของค่า Relative Permittivity (Dielectric Constants)ที่เป็นคุณสมบัติเฉพาะของสารเคมีแต่ละชนิด จะได้ข้อมูลตามตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 ค่า Dielectric Constants ของสารเคมีแต่ละชนิด

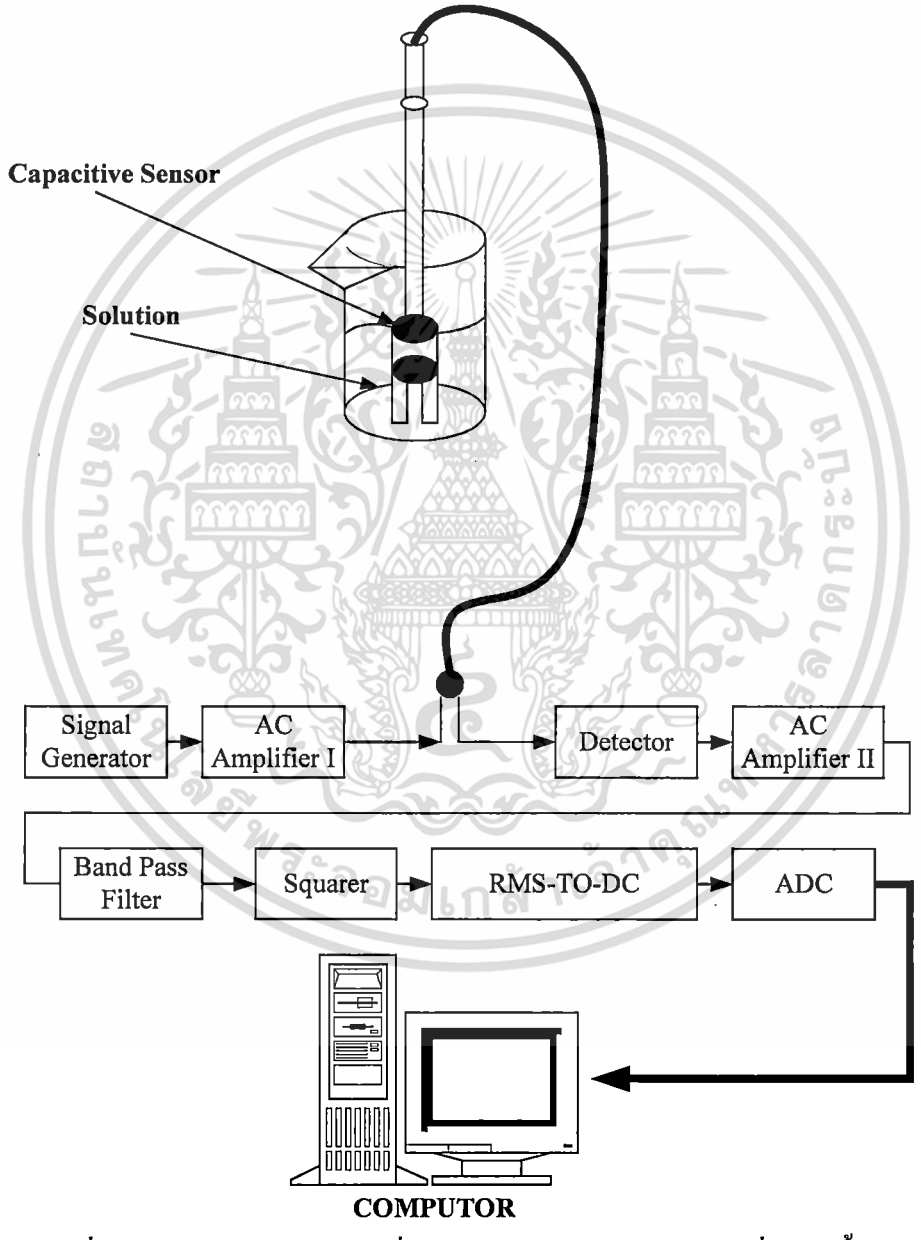
สาร (Materials)	อุณหภูมิ (Temperature °C)	ค่า Dielectric Constants
Acetone	22	21.4
Amonia	20	15.5
Benzene	20	2.3
Elthanol	25	24.3
Methyl Alcohol	20	33.1
Urea	22	3.5
Vinyl Ether	20	3.9
Water	20	80

จากข้ อมูลตารางเบื้องต้นถ้ากำหนดให้ ค่ าอื่นๆภายในเซนเซอร์แบบเก็บประจุไฟฟ้า (Capacitive Sensors) คงที่หมดยกเว้นค่า DielectricConstants เอาท์พุ ทของเซนเซอร์ก็จะเปลี่ ยนแปลงตามสารเคมีแต่ละชนิ ดที่ใช้เป็น Dielectric แต่จากตารางจะเป็นค่า Dielectric Constants ของสารเคมีที่ความเข้มข้นค่าใดค่าหนึ่ง เท่านั้น ถ้าค่าความเข้มข้นเปลี่ยนแปลงไป จะทำให้ค่า Dielectric Constants เปลี่ยนแปลงไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้จะเป็นสารเคมีชนิดเดียวกันก็ตามจากหลักการดังกล่าว สามารถที่จะนำมาทดสอบหาความเข้มข้นของสารเคมี และนำไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือวัดความเข้มข้นของสารเคมีโดยสารเคมีที่ใช้ทดสอบคือ Isopropyl Alcohol ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 40% - 70%V/V (Volume/Volume) แล้ววัดผลที่ได้ทางเอาท์พุทในรูปแรงดันไฟฟ้าตามความเข้มข้นที่เปลี่ยนไป

เครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายที่พัฒนาขึ้นจะประกอบด้วยส่วนต่างๆดังรูปที่ 3.1



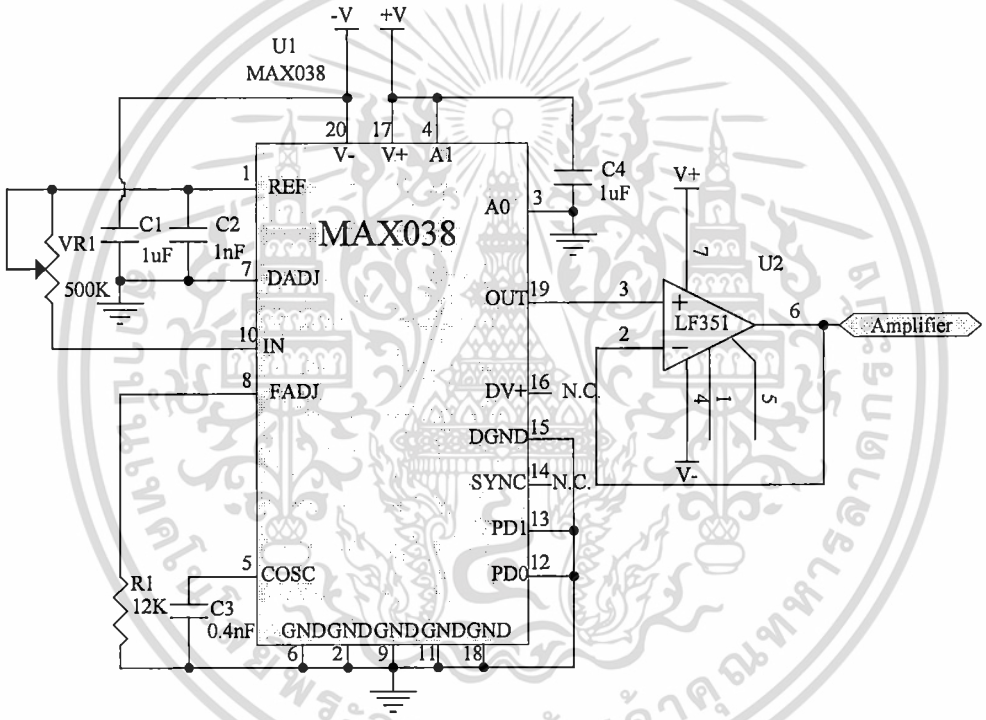
รูปที่ 3.1 บล็อคไดอะแกรมของเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายที่พัฒนาขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.1 สำหรับรายละเอียดของเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายที่พัฒนาขึ้นในแต่ละส่วน สามารถแสดงได้ดังนี้

3.1 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ความถี่ 500 กิโลเฮิร์ต

วงจรนี้เป็นวงจรสร้างสัญญาณไซน์ความถี่ 500 กิโลเฮิร์ตที่แรงดันเอาท์พุท 2 โวลท์ พีค-ทู-พีค (Vp-p) เพื่อป้อนให้กับวงจรขยายสัญญาณ(Amplifier Circuit) โดยลักษณะของวงจรสร้างสัญญาณไซน์ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ 500 กิโลเฮิรต์

จากวงจรในรูป 3.2 จะใช้ไอซี MAX 308 ในการกำเนิดความถี่ ไอซี MAX 038 เป็นไอซีกำเนิดสัญญาณความถี่สูง (High-Frequency Waveform Generator) โดยสามารถสร้างสัญญาณความถี่สูงในรูปแบบสัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle Wave) สัญญาณฟันเลื่อย (Sawtooth Wave) สัญญาณไซน์ (Sine Wave) และสัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave) และการกำหนดชนิดของสัญญาณสามารถกำหนดได้โดยขา A0 (ขา3) และ ขา A1 (ขา4) ดังแสดงในตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 การเลือกชนิดของสัญญาณเอาท์พุทของไอซี MAX 038

A0	A1	ชนิดของสัญญาณ
x	1	สัญญาณไซน์
0	0	สัญญาณสี่เหลี่ยม
1	0	สัญญาณสามเหลี่ยม

ไอซี MAX 038 สามารถผลิตความถี่ได้ในช่วง 0.1 เฮิร์ต ถึง 20 เมกกะเฮิร์ต สำหรับในวงจรดังรูปที่ 3.2 ค่าความถี่ของวงจรควบคุมโดย VR1 และ C3 โดยความถี่ของเอาท์พุทของวงจรสามารถคำนวณจากสมการที่ (3.1)

$$F_o = V_{in} / [R_{in} \times C_F] \qquad (3.1)$$

จากวงจรดังรูปที่ 3.2 $C_F = C_3$, Vin = 5 V , Rin = VR_1 ต้องการความถี่เอาท์พุทสูงสุด 1 เมกกะเฮิร์ต ∴ จากสมการที่ (3.1) จะได้

$$1 \times 10^6 = 5 / [VR_1 \times C_3] \qquad (3.2)$$

$$VR_1 \times C_3 = 5 / 1 \times 10^6 = 5 \times 10^{-6} \qquad (3.3)$$

แต่เนื่องจากดาต้าชีท (Datasheet) กำหนด VR_1 ควรอยู่ในช่วง 12.5 KΩ-500KΩ ∴ ที่ความถี่สูงสุดจะต้องปรับ VR_1 ต่ำสุดมาอยู่ที่ 12.5 KΩ ∴ หาค่า C_3 ได้ดังสมการ (3.4)

$$C_3 = 5 \times 10^{-6} / 12.5 \times 10^{-3} = 0.4 \times 10^{-9} = 0.4\text{nF} \qquad (3.4)$$

เลือก VR_1= 500 KΩ ∴ ความถี่เอาท์พุทของวงจรเมื่อปรับค่า VR_1 สูงสุด 500 KΩ ได้ดังนี้

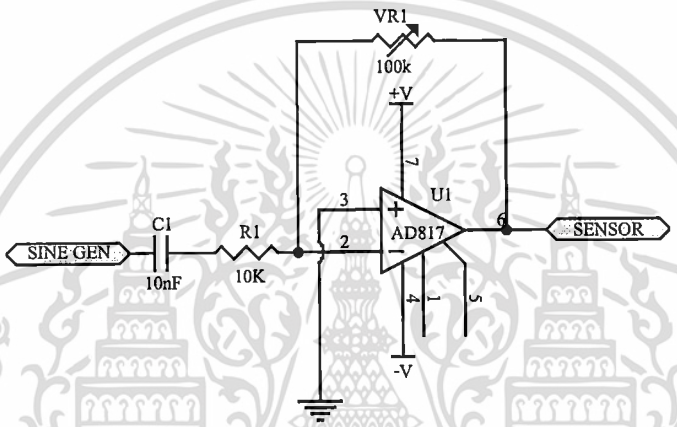
$$F_o = 5 / (500 \times 10^3 \times 0.4 \times 10^{-9}) = 25000 \text{ Hz} \qquad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

∴ วงจรในรูปที่ 3.2 สามารถผลิตความถี่ 25 กิโลเฮิร์ต ถึง 1 เมกกะเฮิร์ตโดยในการใช้งานจริงเราจะทำการปรับ VR_1 ให้ความถี่เอาท์พุทประมาณ 500 กิโลเฮิร์ต

3.2 วงจรขยายสัญญาณ1 (Amplifier Circuit I)

วงจรขยายสัญญาณจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณโดยลักษณะของวงจรขยายสัญญาณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3



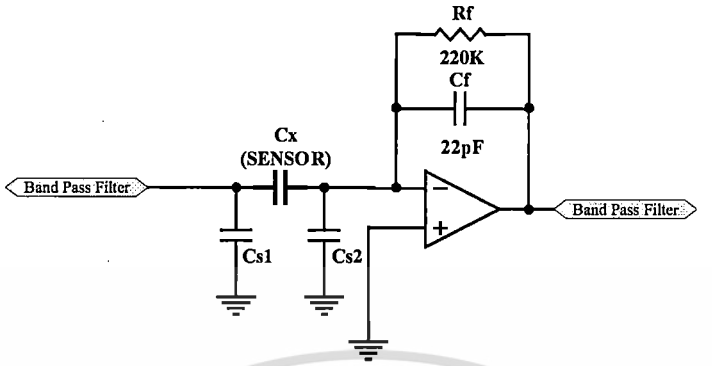
รูปที่ 3.3 วงจรขยายสัญญาณ

จากรูปที่ 3.3 IC AD817 ซึ่งต่อเป็นวงจรอินเวอร์ติ้งแอมป์โดยมี R_1 และ VR_1 เป็นตัวกำหนดเกณฑ์การขยายของวงจรโดยจากวงจรรูปที่ 3.3 จะปรับอัตราขยายให้เท่ากับ ≈ 6 เท่า เพื่อให้ได้แรงดันที่เอาท์พุทของวงจรเท่ากับ 12 โวลท์ พีค-ทู-พีค(Vp-p) เพื่อป้อนให้กับเซนเซอร์ที่เราต้องการวัดค่าความจุไฟฟ้าซึ่งจะผ่านการจัดรูปแบบในการวัดโดยวงจรมัลติเพล็กซ์สัญญาณ 3.1

3.3 วงจรตรวจจับสัญญาณ (Detector Circuit)

วงจรตรวจับสัญญาณทำหน้าที่ในการตรวจจับสัญญาณที่ผ่านเซนเซอร์โดยลักษณะของวงจรตรวจับสัญญาณจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4วงจรตรวจจับสัญญาณ

จากวงจรในรูปที่ 3.4 เราสามารถหาค่าแรงดันเอาท์พุทของวงจรได้จากสมการที่ 3.6

$$Vo = -\frac{j\omega CxRf}{j\omega CfRf + 1} * Vi \qquad (3.6)$$

เมื่อ ω คือ ความถี่เชิงมุม (เรเดียนต่อวินาที)

Vi คือ แรงดันที่ป้อนให้กับเซนเซอร์ (โวลท์)

Vo คือ แรงดันเอาท์พุท (โวลท์)

Rf คือ ค่าความต้านทานป้อนกลับ(Feedback Resistor)(โอห์ม)

Cf คือ ค่าคาร์ปาซิแตนที่ใช้ในการป้อนกลับ (Feedback Capacitor) (ฟารัด)

Cx คือ ค่าคาร์ปาซิแตนซ์ของเซนเซอร์ (ฟารัด)

จากสมการที่ (6) ถ้า $1/\omega Cf << Rf$ เราสามารถหา Vo ได้ดังสมสมการที่ (3.7)

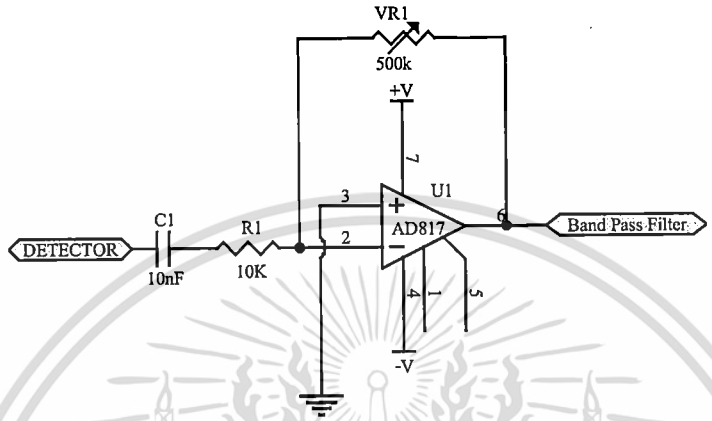
$$Vo = -\frac{Cx}{Cf}Vi \qquad (3.7)$$

จากสมการที่ (3.7) แรงดันเอาท์พุทของวงจรจะขึ้นอยู่กับค่าของ Cx และ Cf เอาท์พุทของวงจรตรวจจับสัญญาณจะถูกนำไปขยายโดยวงจรขยายสัญญาณต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วงจรขยายสัญญาณ2 (Amplifier Circuit II)

วงจรขยายสัญญาณจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณจากวงจรตรวจจับสัญญาณโดยลักษณะของวงจรขยายสัญญาณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.5

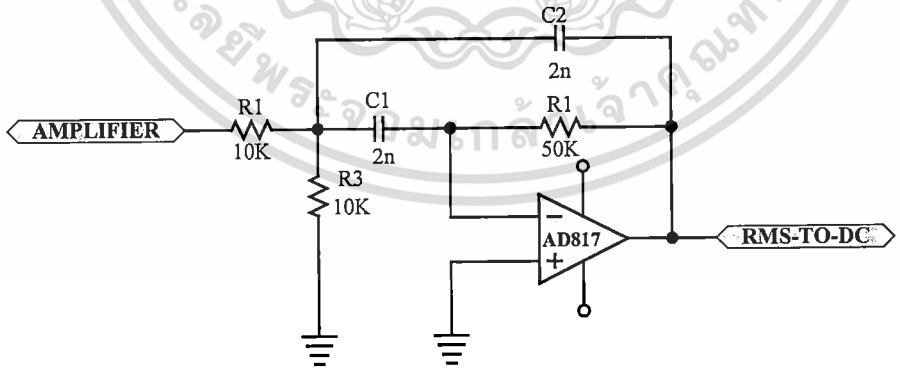


รูปที่ 3.5 วงจรขยายสัญญาณ

จากรูปที่ 3.5 IC AD817 ซึ่งต่อเป็นวงจรอินเวอร์ติ้งแอมป์โดยมี R_1 และ VR_1 เป็นตัวกำหนดเกณฑ์การขยายของวงจร โดยจากวงจรรูปที่ 3.12 จะปรับอัตราขยายให้เท่ากับ ≈ 50 เท่า เพื่อ ขยายสัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับสัญญาณก่อนที่จะป้อนให้กับวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ (Band Pass Filter) ต่อไป

3.5 วงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ (Band Pass Filter Circuit)

สำหรับวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ที่ใช้ในวงจรวัดค่าความจุไฟฟ้านั้นจะตั้งความถี่ไว้ที่ประมาณ 500 กิโลเฮิรต์ เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน โดยลักษณะของวงจรจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.6



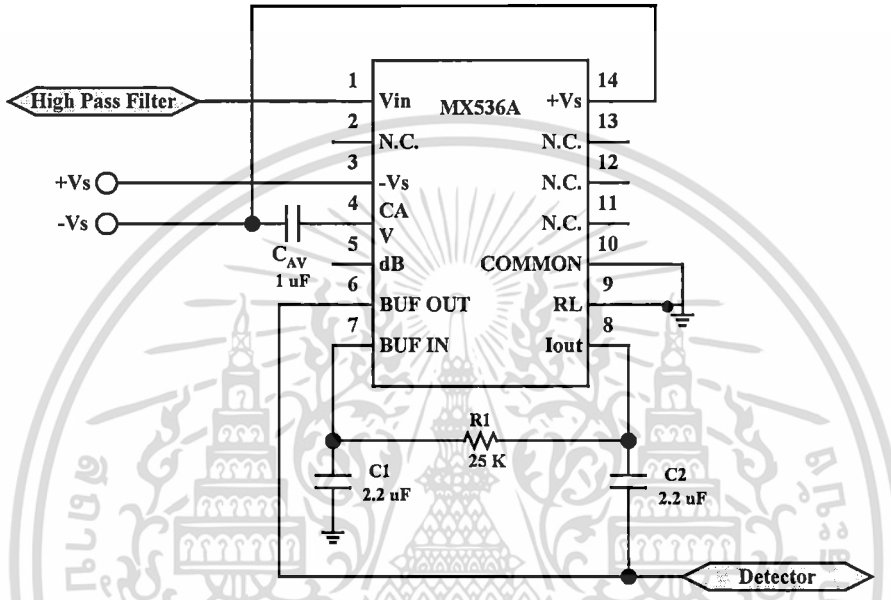
รูปที่ 3.6 วงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ 500 กิโลเฮิรต์

เอาท์พุทจากวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์จะถูกส่งไปยังวงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซีต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 วงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซี (RMS-TO-DC Circuit)

สำหรับวงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซีชุดที่ 1 ในระบบนี้จะใช้ไอซีสำเร็จรูปของบริษัท MAXIM เบอร์ MX536A ซึ่งรองรับแรงดันอินพุทได้ในช่วง 0 – 7 โวลท์อาร์เอ็มเอส (V_{RMS})สำหรับลักษณะของวงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซีโดย MX536A จะมีลักษณะดังรูปที่ 3.7



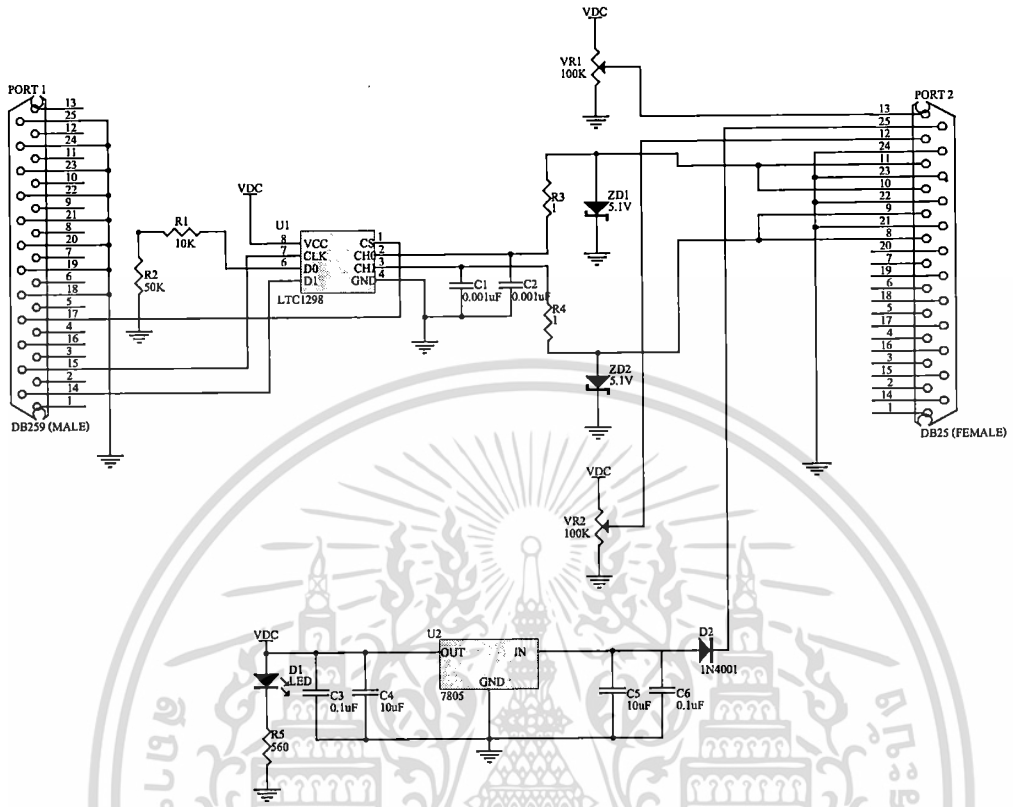
รูปที่ 3.7 วงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซี

เอาท์พุทจากวงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซีจะถูกส่งไปยังวงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอลเพื่อทำการบันทึกข้อมูลของการวัดต่อไป

3.7 วงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (A TO D Converter)

สำหรับวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลจะใช้บอร์ดของบริษัท ETT รุ่น ET–AD12 ซึ่งเป็นบอร์ดแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลขนาด 12 บิท ใช้เชื่อมต่อกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ทางพอร์ทเครื่องพิมพ์ (Printer Port) โดยมีลักษณะและคุณสมบัติของวงจรดังรูปที่ 3.8 และตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 วงจรภายในของบอร์ดแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลรุ่น ET–AD12

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของบอร์ดแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลรุ่น ET–AD12

คุณสมบัติของของบอร์ด ET-AD12	
CONVERTION TIME	60µS
SAMPLING RATE	11.1 KHz
INPUT CHANNEL	2 CHANNEL
GAIN ERROR	+/- 2 LSB
ANALOG INPUT RANGE	-0.05 V TO +5.05 V
+VCC SUPPLY	+9 VDC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

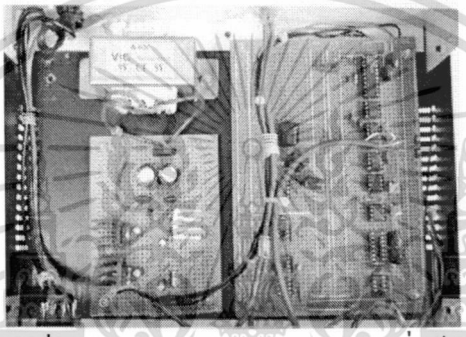
บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

สำหรับในส่วนของการทดลองและผลการทดลองจะแยกเป็นส่วนต่างๆ ดังนี้

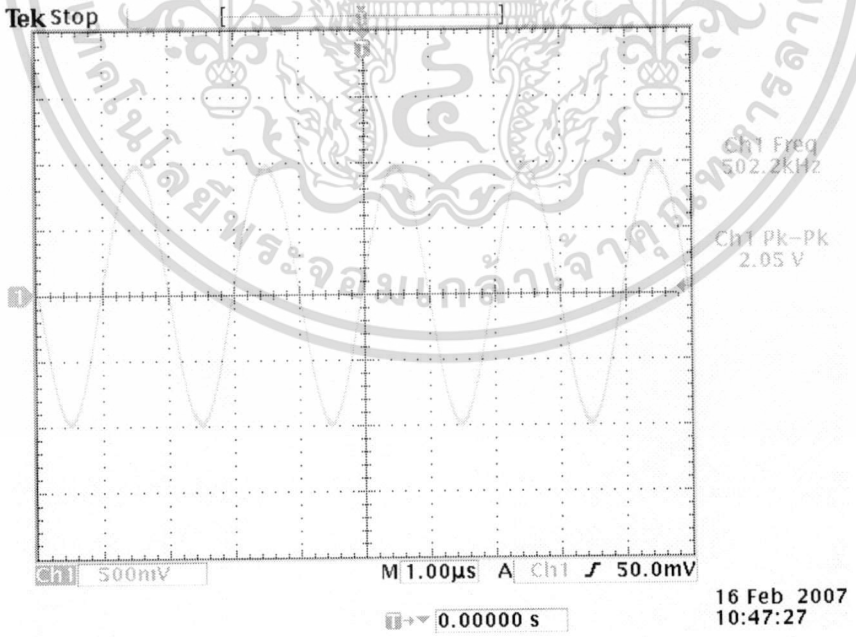
4.1 การทดสอบ ส่วนประกอบต่างๆ ของวงจรวัดค่าความจุไฟฟ้า

จากวงจรที่เราออกแบบขึ้น เรานำมาต่อจริงเพื่อทำการทดสอบ โดยลักษณะขอเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายที่พัฒนาขึ้นจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลักษณะของวงเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายที่สร้างขึ้นสำหรับการทดลอง

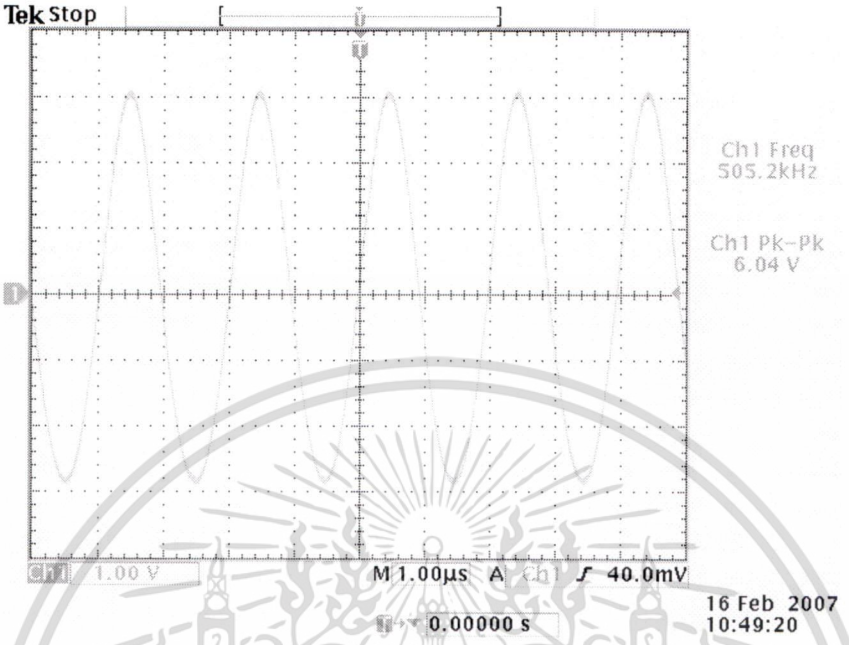
สำหรับการทดสอบสัญญาณในแต่ละส่วนขอเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายที่พัฒนาขึ้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 ถึงรูปที่ 4.7 ดังนี้



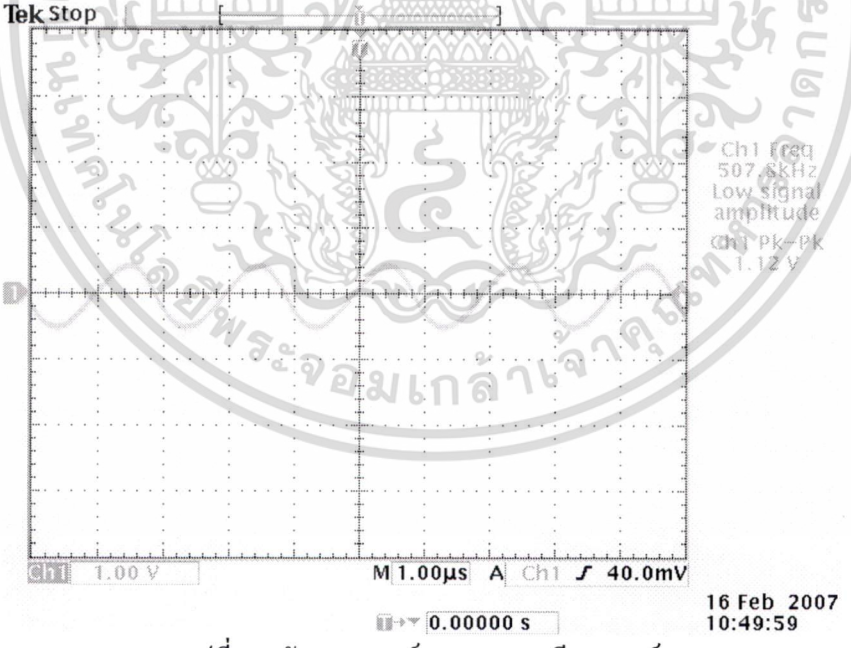
รูปที่ 4.2 สัญญาณเอาท์พุทของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ 500 กิโลเฮิรต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

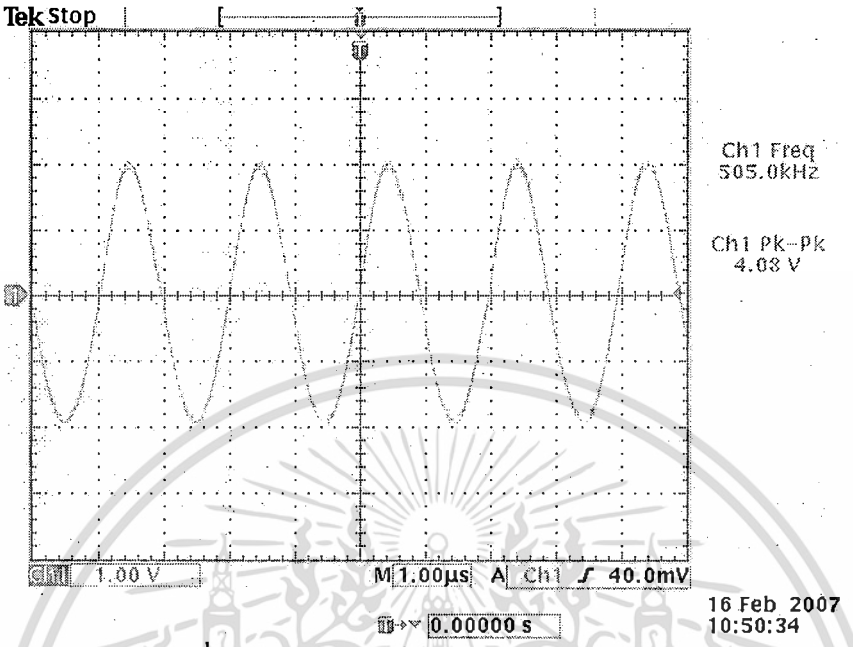


รูปที่ 4.3 สัญญาณเอาท์พุทของวงจรขยายสัญญาณ

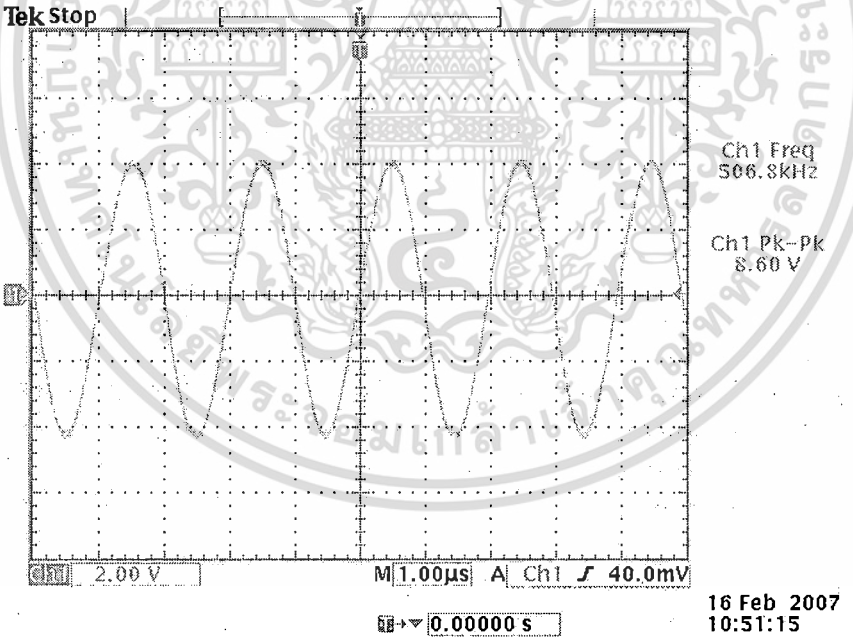


รูปที่ 4.4 สัญญาณเอาท์พุทของวงจรดีเทคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
84522

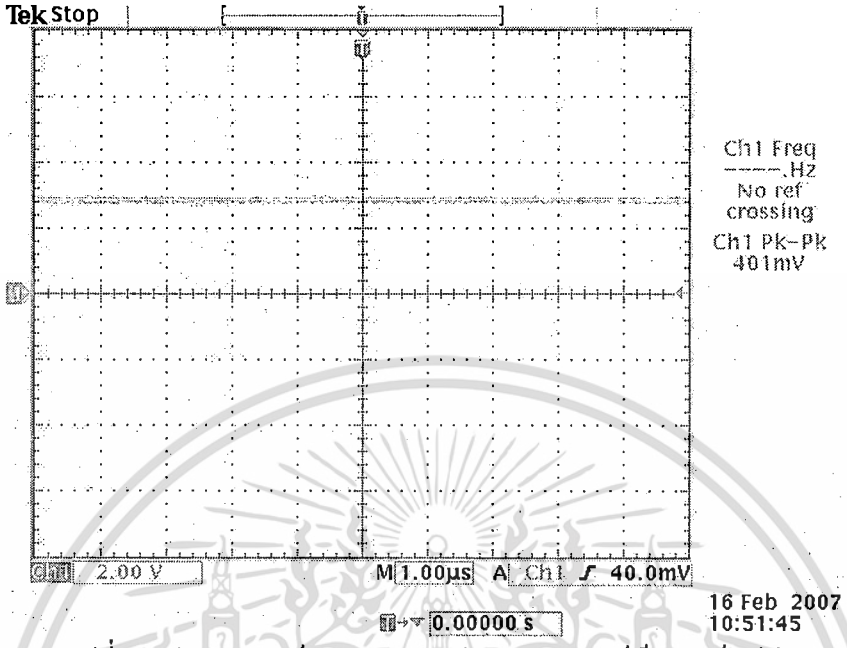


รูปที่ 4.5 สัญญาณเอาท์พุทของวงจรขยายสัญญาณ



รูปที่ 4.6 สัญญาณเอาท์พุทของวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ 500 กิโลเฮิรต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

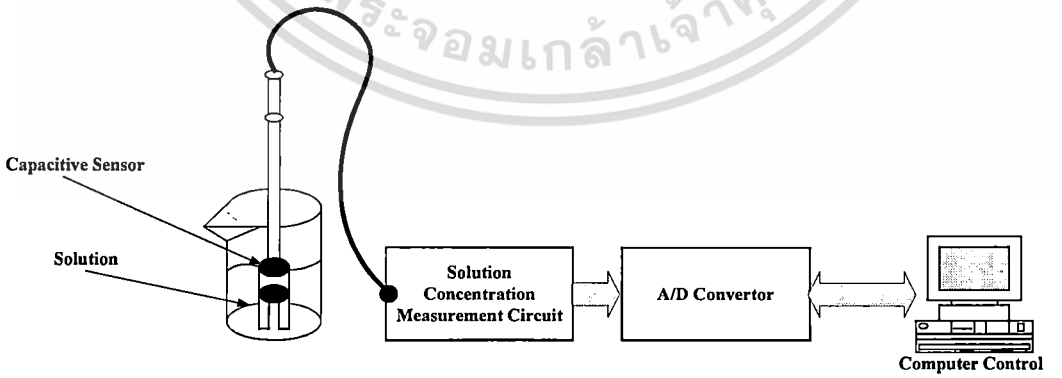


รูปที่ 4.7 สัญญาณเอาท์พุทของวงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซี

จากการทดสอบวงจรในส่วนต่างๆ ผลปรากฏว่าวงจรในแต่ละส่วนของวงจรวัดค่าความจุไฟฟ้าสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้

4.2 การทดสอบระบบกับสารละลายที่จัดเตรียมไว้

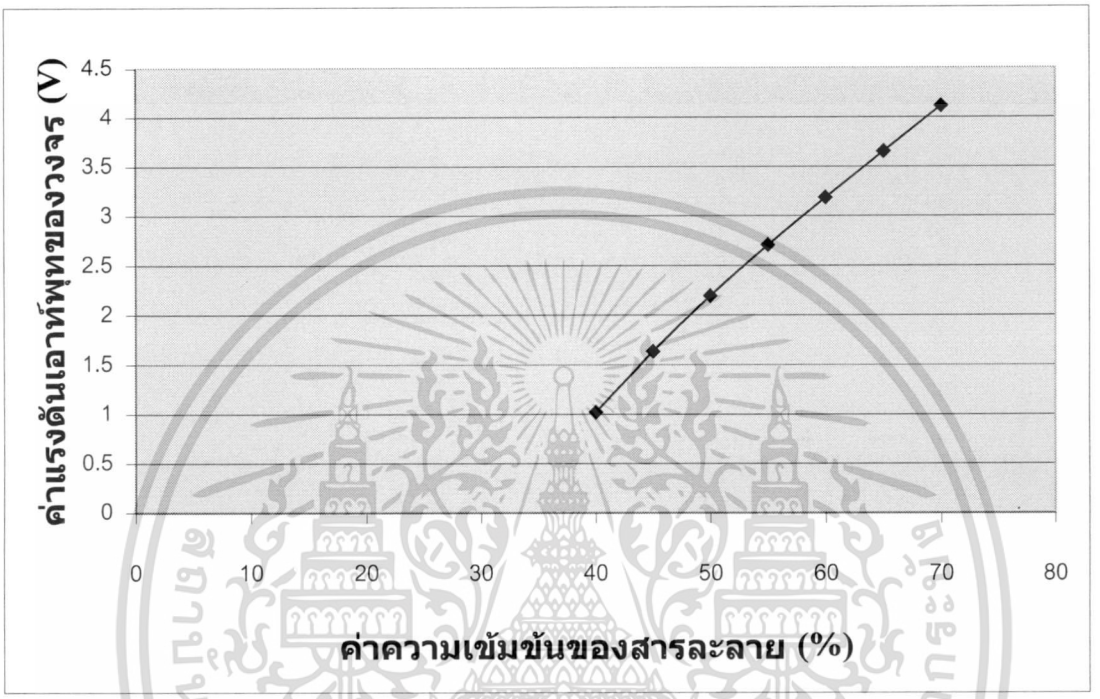
ในการทดลองนี้เราจะทำการเตรียมสารที่ใช้ทดสอบคือ Isopropyl Alcohol ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 40% - 70%V/V (Volume/Volume) แล้วนำเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายที่พัฒนาขึ้นมาทำการวัดสารละลายที่ได้จัดเตรียมไว้ดังในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 การจัดระบบสำหรับการทดสอบเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายที่พัฒนาขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.8 เราจะทำการเปลี่ยนระดับความเข้มของสารละลายแล้วทำการวัดระดับแรงดันเอาท์พุทของวงจรโดยเราสามารถพล็อตค่าแรงดันเอาท์พุทต่อความเข้มข้นของสารละลายได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ค่าแรงดันเอาท์พุทต่อความเข้มข้นของสารละลาย

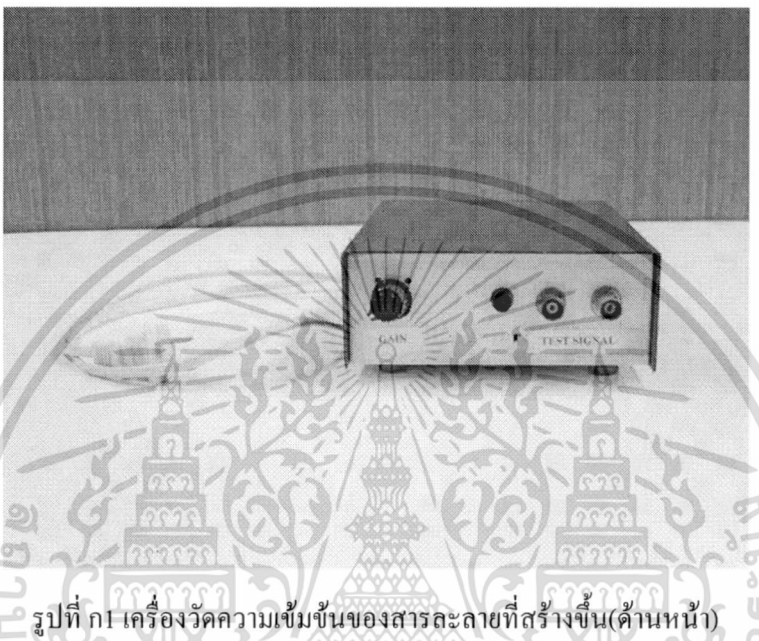
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

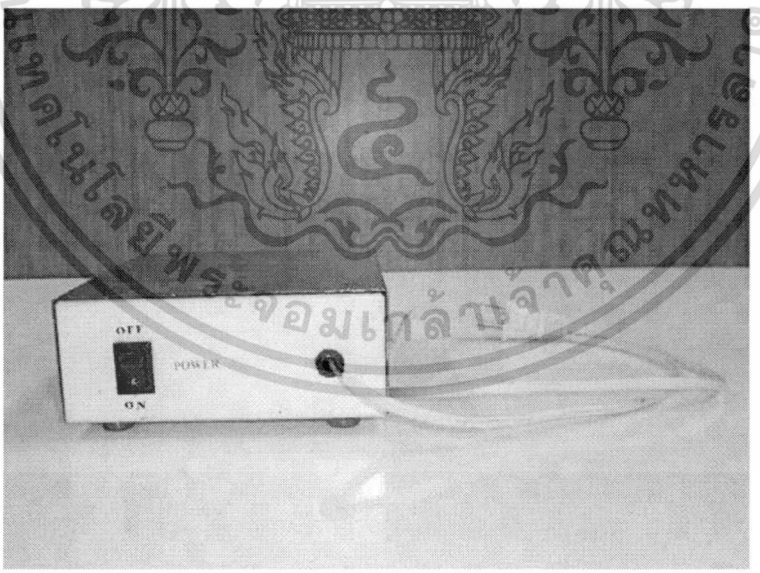
[1] Larry K. Baxter. "Capacitive Sensors : Design and Applications". IEEE Press Series on Electronics Technology. 1997.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
เครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายที่สร้างขึ้น



รูปที่ ก1 เครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายที่สร้างขึ้น(ด้านหน้า)



รูปที่ ก2 เครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายที่สร้างขึ้น(ด้านหลัง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้