

กรณีศึกษาโมดูลตรวจจับแบบคาปาซิทีฟสำหรับไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์
ในการฆ่าเชื้อโควิด-19

A CASE STUDY ON A CAPACITIVE SENSING MODULE FOR
ISOPROPYL ALCOHOL IN COVID-19 DISINFECTION



มนัสนิตย์ ฝ่ายจารี

MANASNIT FAJAREE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2567

KMITL-2024-EN-M-067-285

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A CASE STUDY ON A CAPACITIVE SENSING MODULE FOR
ISOPROPYL ALCOHOL IN COVID-19 DISINFECTION



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2024

KMITL-2024-EN-M-067-285

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2024

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	กรณีศึกษาโมดูลตรวจจับแบบคาปาซิทีฟสำหรับ ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ในการฆ่าเชื้อโควิด-19
นักศึกษา	นายมนัสสินธ์ ฝ่ายจารี
รหัสประจำตัว	62601252
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2567
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร.วิศรุต ศรีรัตน์นะ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการพัฒนาาระบบตรวจรู้สำหรับการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ฆ่าเชื้อที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดในประเทศไทยโดยจะเน้นถึงความเรียบง่าย ต้นทุนต่ำ แต่มีประสิทธิภาพเชื่อถือได้ ชุดอุปกรณ์ตรวจรู้มีโครงสร้างภายในเป็นโลหะตัวนำหนา 3 มิลลิเมตร วางแบบขนาน ระยะห่างระหว่างแผ่นคงที่ 1 มิลลิเมตร จำนวน 2 โมดูล แต่พื้นที่หน้าตัดของแผ่นเพลทของทั้ง 2 โมดูล แตกต่างกัน เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวตรวจรู้ที่พัฒนา ระหว่าง โมดูล A (พื้นที่หน้าตัดของแผ่นเพลท 1 ตารางเซนติเมตร) และ โมดูล B (พื้นที่หน้าตัดของแผ่นเพลท 4 ตารางเซนติเมตร) แบ่งการทดสอบกับแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ความเข้มข้น 65%, 70% และ 75% ตามลำดับ การเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของโมดูลเซนเซอร์ใหม่ที่สร้างขึ้นจะใช้ การแปลงสัญญาณที่กำเนิดจาก Small capacitance to DC converter for capacitive sensor ด้วยความถี่ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นความถี่ที่เหมาะสมที่สุดในการกระตุ้นการเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้า เป็นค่าของรีแอกแตนซ์ตัวเก็บประจุสำหรับแอลกอฮอล์ที่ใช้ในกรณีศึกษา จากผลการทดสอบโมดูลเซนเซอร์ใหม่ทั้งสองรูปแบบพบว่าโมดูลเซนเซอร์ใหม่ที่สร้างขึ้นที่ใช้วัสดุตัวนำพื้นที่หน้าตัดเล็กให้ผลความแม่นยำและความเป็นเชิงเส้น รวมถึงความสามารถในการวัดซ้ำค่าเดิมดีมาก โดยมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 2.72% เมื่อเทียบกับโมดูลเซนเซอร์ที่ใช้วัสดุตัวนำพื้นที่หน้าตัดใหญ่ ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนจะสูงถึง 4.73%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A CASE STUDY ON A CAPACITIVE SENSING MODULE FOR ISOPROPYL ALCOHOL IN COVID-19 DISINFECTION
Student	Mr. Manasnit Fajjaree
Student ID.	62601252
Degree	Master of Engineering
Program	Instrumentation Engineering
Year	2024
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Witsarut Sriratana

ABSTRACT

This paper presents the development of a sensing module for analyzing the concentration of disinfectant alcohol commercially available in Thailand during the Covid-19 epidemic situation to ensure the ingredients and percentage concentration by focusing on simplicity, low cost with reliable performance. Inside the sensing structure, there were 2 modules of metal conductors. Each conductor was 3 mm. thick, placed in parallel with a fixed distance between the module of 1 mm. The cross-sectional areas of the plates of those two modules were different in order to compare the efficiency of the detector developed. The cross-sectional areas of the plates of Module A and B were 4 cm² and 1 cm², respectively. Experiments were performed with 3 concentrations of alcohol, 65%, 70% and 75%, to enhance the concentration detecting performance of the sensing module developed. The signal conditioning was generated from a small capacitance to DC converter for capacitive detection with a frequency of 100 kHz, which was the most suitable frequency for exciting the capacitance change which was the capacitive reactance of the alcohol used in this study. From experiments, it was found that the sensing module with a small cross-sectional conductive material would provide more accurate results in terms of linearity and repeatability. The errors were less than 2.72% compared to the module with a large cross-sectional conductor material which would have an error up to 4.73%.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความเมตตากรุณา คำแนะนำ และความช่วยเหลือต่างๆ จาก รศ.ดร. วิศรุต ศรีรัตนะ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมดูแลการทำวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ ควบคุม และดูแลการทำงานต่างๆด้วยความเอาใจใส่เสมอมา ตลอดจนให้คำแนะนำ การสนับสนุนโอกาสในการเรียนต่อในระดับที่สูงขึ้นรวมถึงกำลังใจในการเรียนและการเขียนวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน ที่ให้ทั้งความรู้ คำแนะนำ ต่างๆ และกำลังใจ รวมถึงเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยและการเรียนรู้

ขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้อง ในภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม และภาควิชาอื่น สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังรวมถึงสถาบันอื่น ที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และกำลังใจที่มีให้กันตลอดการเรียนที่ผ่านมา

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ รวมไปถึงญาติพี่น้อง และคนรัก ที่เข้าใจ สนับสนุน ช่วยเหลือ และให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับ บิดา มารดา และน้องสาว ซึ่งเป็นที่รักเคารพยิ่ง ตลอดจนอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า และขอให้ทุกๆ ท่านจงมีแต่ความสุขตลอดไป

มนัสสินิตย์ ฝ่ายจारी

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....I	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II	II
กิตติกรรมประกาศ.....III	III
สารบัญ.....IV	IV
สารบัญตาราง.....VI	VI
สารบัญรูป.....VII	VII
บทที่ 1 บทนำ.....1	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....2	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....2	2
1.4 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย.....2	2
1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ.....2	2
1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....3	3
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....4	4
2.1 โครงสร้างของตัวเก็บประจุ.....4	4
2.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ.....6	6
2.3 สมบัติไดอิเล็กทริก.....6	6
2.4 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก.....7	7
2.5 พื้นฐานเคมีวิเคราะห์.....9	9
2.6 การวัดความนำไฟฟ้า.....12	12
2.6.1 สารอิเล็กโทรไลต์.....12	12
2.6.2 การตรวจวัดสัญญาณทางไฟฟ้าด้วยหลักการสภาพความต้านทานไฟฟ้า.....14	14
2.7 การวัดค่าความจุไฟฟ้าด้วยวิธีวงจรถูกกำเนิดสัญญาณ.....17	17
2.8 วงจรตรวจจับค่าความจุไฟฟ้า.....19	19
2.9 วงจรขยายแรงดัน.....21	21
2.10 การกระตุ้น.....22	22
2.10.1 การกระตุ้นด้วยสัญญาณไซน์.....22	22
2.10.2 การกระตุ้นด้วยสัญญาณสี่เหลี่ยม.....22	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และส่งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.11 การประยุกต์ใช้งานตัวเก็บประจุกับการใช้งานในการวัดความชื้นอากาศ	23
บทที่ 3 การออกแบบระบบและการดำเนินงาน	24
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและตัวอย่างของสารละลายและขั้นตอนการวิเคราะห์.....	24
3.2 ทฤษฎีและการออกแบบ.....	25
3.3 การวัดของระบบ	26
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	29
4.1 การทดสอบความน่าเชื่อถือ	29
4.2 การทดสอบความเข้มข้นของกลุ่มตัวอย่าง	31
4.3 การทดสอบความเข้มข้นของกลุ่มตัวอย่างที่ต่างยี่ห้อ.....	34
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	36
5.1 สรุปผลการวิจัย	36
5.2 ข้อเสนอแนะ	36
เอกสารอ้างอิง	37
ภาคผนวก.....	39
ภาคผนวก ก	40
ภาคผนวก ข.....	44
ประวัติผู้เขียน.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของของเหลวที่ 25 องศาเซลเซียส.....	8
4.1 ค่าเฉลี่ยของความจุไฟฟ้าจากการทดสอบไอโซโพรพิลที่ความเข้มข้นอ้างอิง 75%	29
4.2 ผลการทดสอบไอโซโพรพิลที่ความเข้มข้นแตกต่างกันจากสามกลุ่มตัวอย่าง	31
4.3 ผลการทดสอบไอโซโพรพิลที่ความเข้มข้นของยี่ห้อที่แตกต่างกันจากสามกลุ่มตัวอย่าง	34



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และส่งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปลูกภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน.....	4
2.2 การทำงานของตัวเก็บประจุกับไฟฟ้ากระแสสลับ	6
2.3 เมื่อสสารไดอิเล็กทริกคั่นกลางระหว่างแผ่นตัวนำคู่ขนาน	8
2.4 การแพร่ไอออนในสารละลาย	10
2.5 ตัวอย่างการอัดกระแสในกระบวนการนอนการาเดอิก	11
2.6 สารอิเล็กโทรไลต์	13
2.7 สารละลายที่แตกตัวเป็นไอออนสารละลายที่นำไฟฟ้า	13
2.8 การวัดค่าความนำไฟฟ้าในของเหลว	15
2.9 การตรวจจับค่าความจุไฟฟ้าด้วยวงจรกำเนิดสัญญาณ	18
2.10 วงจรตรวจจับค่าความจุไฟฟ้า	19
2.11 วงจรขยายแรงดัน	21
2.12 หลักการใช้ตัวเก็บประจุวัดค่าความชื้นในอากาศ	23
3.1 ตัวอย่างและส่วนผสมของสารละลายชนิดไอโซโพรพิลสำหรับการศึกษา	25
3.2 คุณสมบัติและรายละเอียดของเซนเซอร์	25
3.3 โครงสร้างภายในของเซนเซอร์โมดูล.....	26
3.4 ระบบตรวจวัดและวิเคราะห์ความเข้มข้นของ Isopropanol ร่วมกับ Small capacitance to DC converter for capacitive sensor	27
3.5 ตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบแผ่นคู่ขนานที่ใช้ในการทดลองจริง	27
4.1 ความจุไฟฟ้าระหว่าง โมดูล A และ โมดูล B	30
4.2 แรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต ระหว่าง โมดูล A และ โมดูล B	30
4.3 การทดสอบเซนเซอร์ (โมดูล A)	31
4.4 เปรียบเทียบระหว่างความจุไฟฟ้า และความเข้มข้นที่ 65%, 70% และ 75%	32
4.5 เปรียบเทียบระหว่างแรงดันไฟฟ้า และความเข้มข้นที่ 65%, 70% และ 75%	32
4.6 การเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน	33
4.7 การเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน	33
4.8 การเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นที่ยี่ห้อแตกต่างกัน	34
4.9 การเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นที่ยี่ห้อแตกต่างกัน	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากสถานการณ์การระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 การปฏิบัติตัวและกิจกรรมต่างๆ ในสถานที่สาธารณะ ด้วยวิธีการล้างมืออย่างเดียวย่อมจะไม่พอ ดังนั้นการใช้แอลกอฮอล์สเปรย์ทำความสะอาดมือ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในกรณีที่ไม่สามารถล้างมือกับน้ำสะอาดได้เพื่อลดความเสี่ยงของการติดเชื้อไวรัสจากการหยิบจับสัมผัส ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อไวรัสอยู่ระหว่าง 60-90% (V/V) ทั้งนี้หาปริมาณต่ำกว่า 60% (V/V) จะมีความสามารถในการฆ่าเชื้อไวรัสลดลง แต่หากมีปริมาณแอลกอฮอล์มากกว่า 90% (V/V) แอลกอฮอล์จะมีการระเหยอย่างรวดเร็วและมีปริมาณไม่มากพอในการฆ่าเชื้อไวรัสโดยจะเป็นเอทิลแอลกอฮอล์หรือไอโซโพรพิลอย่างใดอย่างหนึ่งหรือสองสารผสมกันก็ได้ จากที่กล่าวมาผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือที่มีแอลกอฮอล์เป็นส่วนประกอบนี้ต้องมีความน่าเชื่อถือมั่นใจว่าผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะสามารถนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบปริมาณความเข้มข้น [1] ของแอลกอฮอล์ดังกล่าวว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการฆ่าเชื้อไวรัสอย่างมีประสิทธิภาพหนึ่งในวิธีการตรวจวัด คือ แก๊สโครมาโทกราฟี วิธีการวัดนี้มีความแม่นยำสูงใช้สารละลายในการทดสอบน้อยแต่ตัวเครื่องมีราคาค่อนข้างแพง

ในงานวิจัยนี้ให้ความสำคัญกับเป็นการพัฒนาโพรบเซนเซอร์จากงานวิจัยการออกแบบเซ็นเซอร์ค่าความจุสำหรับการวัดความเข้มข้นของสารละลายแอลกอฮอล์ชนิดไอโซโพรพิล โดยการพัฒนาให้มีพื้นที่สัมผัสสารละลายให้มีขนาดเล็กลง ต้นทุนต่ำและมีความน่าเชื่อถือได้

มีทั้งหมด 2 โมดูล คือ โมดูล A และ โมดูล B ต่อร่วมกับระบบวงจรแปลงค่าความจุไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับเซนเซอร์แบบตัวเก็บประจุที่ความถี่ 100 เฮิรตซ์ ในการกระตุ้นการเปลี่ยนค่าความจุเป็นค่าของรีแอกแตนซ์ตัวเก็บประจุ ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีวิเคราะห์แอลกอฮอล์ชนิดไอโซโพรพิล ที่ความเข้มข้น 65% 70% และ 75% ด้วยหลักการของค่าความจุไฟฟ้า รวมถึงความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์และระบบดังกล่าว

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการพัฒนาและออกแบบประดิษฐ์โมดูลวัดโดยใช้ทฤษฎีของคาปาซิทีฟ
2. เพื่อศึกษาศึกษาการออกแบบระบบนำโมดูลไปต่อร่วมกับวงจรแปลงค่าความจุเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
3. เพื่อศึกษาความน่าเชื่อถือและแม่นยำของโมดูลที่สร้างขึ้น โดยทำการทดสอบกับสารละลายแอลกอฮอล์ชนิดไอโซโพรพิลที่ความเข้มข้น 65%, 70% และ 75%

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาการออกแบบและปรับปรุงการขนาดของโมดูลวัดแบบคาปาซิทีฟให้มีขนาดที่เล็กลง และต่อร่วมกับวงจรแปลงค่าความจุเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้สามารถตรวจจับความเข้มข้นของสารละลายแอลกอฮอล์ประเภทไอโซโพรพิลที่แตกต่างกัน 65%, 70% และ 75% โดยคำนึงถึงราคาที่ไม่แพง โดยมีความเที่ยงตรงและน่าเชื่อถือของอุปกรณ์และระบบ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. การจัดทำโครงการจะเริ่มต้นจากการศึกษาข้อมูลของความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่สามารถฆ่าเชื้อไวรัสโคโรนา 2019
2. ทำการศึกษาออกแบบและทดลองของโมดูลที่สร้างขึ้น 2 รูปแบบ มีพื้นที่หน้าตัด 4 ตารางเซนติเมตร และ 1 ตารางเซนติเมตร แล้วนำไปต่อร่วมกับวงจรแปลงค่าความจุเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อวัดประสิทธิภาพของระบบและตรวจจับความเข้มข้นของสารละลายแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 75%
3. จากนั้นจะได้โมดูลที่มีความเที่ยงตรงและน่าเชื่อถือ จึงนำไปตรวจจับความเข้มข้นของสารละลายกับแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันที่ 65%, 70% และ 75% ยี่ห้อเดียวกัน
4. จากนั้นได้โมดูลที่มีความเที่ยงตรงและน่าเชื่อถือ จึงนำไปตรวจจับความเข้มข้นของสารละลายกับแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันที่ 65%, 70% และ 75% ต่างยี่ห้อ
5. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถประยุกต์ใช้งานของโมดูลที่สร้างขึ้นให้สามารถตรวจสอบคุณลักษณะของแอลกอฮอล์ชนิดไอโซโพรพิลได้
2. สามารถประยุกต์ใช้งานของโมดูลที่สร้างขึ้น ตรวจสอบคุณลักษณะและจำแนกความเข้มข้นของแอลกอฮอล์รวมทั้งสามารถลดต้นทุนการตรวจสอบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท โดยเนื้อหาแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้
 บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ ขอบเขตของการวิจัย ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับ และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ตัวเก็บประจุไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของความจุไฟฟ้า

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบ กระบวนการสร้าง และทดสอบโมดูลเพื่อวัดลักษณะทางไฟฟ้าของเซนเซอร์แบบตัวเก็บประจุต่อร่วมกับวงจรแปลงค่าความจุเป็นแรงดันไฟฟ้า

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดลองและผลการทำงานของระบบ

บทที่ 5 กล่าวถึงบทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในส่วนท้ายของวิทยานิพนธ์จะเป็นภาคผนวกซึ่งนำเสนอการตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้ในการอ่านค่าความจุไฟฟ้าที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดลอง รวมทั้งรายละเอียดของบทความวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ภาคผนวก ก ตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้ในการอ่านค่าความจุไฟฟ้า

ภาคผนวก ข บทความวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่และตีพิมพ์

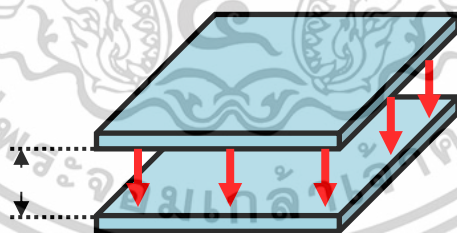
บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่นำมาสร้างใช้เป็นโมดูลจากทฤษฎีทางฟิสิกส์ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า ซึ่งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติเป็นที่กักเก็บพลังงานไฟฟ้า สามารถต้านการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า และขีดขวางการไหลผ่านของกระแสไฟตรงบางครั้งเรียกตัวเก็บประจุนี้ว่าคอนเดนเซอร์ รวมถึงวงจรของการเปลี่ยนแปลงค่าความจุเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

2.1 โครงสร้างของตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุทั่วไปไม่ว่าจะมีรูปร่างแบบใดจะประกอบไปด้วยตัวนำ 2 อันเรียกว่า แผ่นเพลท ซึ่งแต่ละแผ่นจะมีค่าความจุต่างชนิดกัน ขนาดเท่ากันเท่ากับจำนวนประจุไฟฟ้า ระหว่างแผ่นเพลทนั้นมีความต่างศักย์ (ที่ผ่านมาความต่างศักย์แทนด้วยสัญลักษณ์ ΔV สำหรับตัวเก็บประจุแทนด้วย C) ซึ่งจะเท่ากับความต่างศักย์ระหว่างจุดใด ๆ บนแผ่นเพลทหนึ่งกับจุดใด ๆ บนแผ่นเพลทหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน

โดยตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนานมีแผ่นเพลทที่วางอยู่ 2 แผ่น แต่ละแผ่นมีพื้นที่หน้าตัดและวางห่างกันที่ระยะห่างแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งระยะห่างยังมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับแผ่นเพลทจะถือว่าสนามไฟฟ้าบริเวณระหว่างแผ่นเพลทมีค่าคงที่ เมื่อระหว่างแผ่นเพลทมีความเป็นฉนวนประเภทสารไดอิเล็กทริก นอกจากจะป้องกันไม่ให้แผ่นเพลทสัมผัสกันแล้วยังป้องกันไม่ให้เคลื่อนที่เข้าหากัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยแรงดึงดูดของแผ่นเพลท และระหว่างแผ่นเพลทเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าจะเกิดความต่างศักย์คงที่ระหว่างแผ่นและระหว่างแผ่นเพลทของตัวเก็บประจุด้วย ซึ่งค่าความจุของตัวประกอบแบบแผ่นขนานหาได้จากการหาค่าความต่างศักย์ (V) ในเทอมของประจุ (Q) โดยการหาผ่านของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตามสมการดังนี้ [2]

$$E = \frac{V}{d} \quad (2.1)$$

และเมื่อสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสองสม่ำเสมอจะได้ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสอง

$$E = \frac{\sigma d}{\epsilon_0} \quad (2.2)$$

จาก $\sigma = \frac{Q}{A}$ จะได้

$$E = \frac{Qd}{A\epsilon_0} \quad (2.3)$$

ประจุสุทธิที่จะได้บนแผ่นตัวนำ Q คือ

$$Q = \frac{A\epsilon_0}{d} V_{ab} = CV_{ab} \quad (2.4)$$

ดังนั้นจะได้ความจุของแผ่นตัวนำขนาน

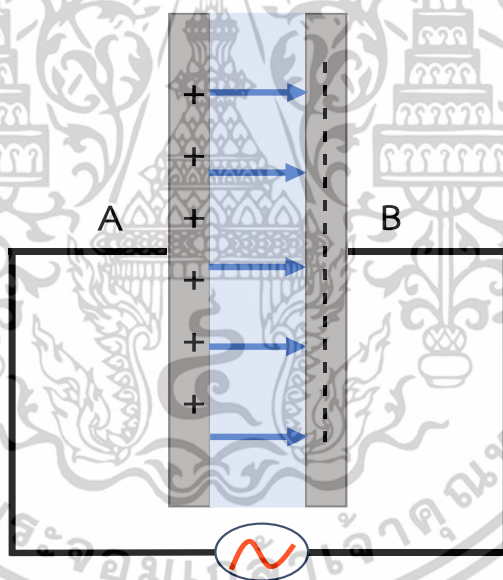
$$C = \frac{A\epsilon_0}{d} \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ

1. การทำงานของตัวเก็บประจุกับไฟฟ้ากระแสตรง โดยตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะทำการเก็บประจุและคายประจุ เมื่อทำงานกับไฟฟ้ากระแสตรง

2. การทำงานของตัวเก็บประจุกับไฟฟ้ากระแสสลับ เมื่อนำตัวเก็บประจุไฟฟ้าไปต่อกับไฟฟ้ากระแสสลับจะทำหน้าที่คือในครึ่งไซเคิลแรกตัวเก็บประจุจะทำการเก็บประจุไฟฟ้า ทำให้มีกระแสไหลจากขั้วบวกไปยังแผ่นโลหะฝั่ง A ทำการเก็บประจุไฟฟ้า ผ่านโลหะแผ่น B ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ไปครบวงจรที่แหล่งจ่ายในครึ่งไซเคิลหลัง และเมื่อไฟฟ้ากระแสสลับมีการกลับเฟส ตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่เก็บประจุไฟฟ้าไว้ก็จะคายประจุไฟฟ้าออกมา แล้วทำการเก็บประจุไฟฟ้าใหม่ในทิศทางตรงข้าม การทำงานจะสลับกัน ไปมาตลอดเวลาตามไซเคิลของไฟฟ้ากระแสสลับ เช่นเดียวกับลักษณะการทำงานของหลอดไฟจะสว่างตลอดทั้งในครึ่งไซเคิลแรก และครึ่งไซเคิลหลังไฟฟ้ากระแสสลับจะไหลผ่านตัวเก็บประจุไฟฟ้าได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความถี่ของกระแสไฟฟ้ากระแสสลับและค่าของตัวเก็บประจุ [3-4]



รูปที่ 2.2 การทำงานของตัวเก็บประจุกับไฟฟ้ากระแสสลับ

2.3 สมบัติไดโอดีลทริก

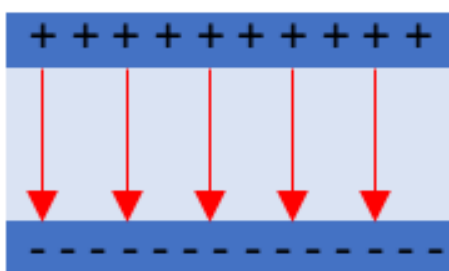
สารที่มีสมบัติเป็นไดโอดีลทริก คือสารที่มีสมบัติเป็นฉนวนที่สามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้ และค่าคงที่ไดโอดีลทริกเป็นค่าที่บอกความสามารถในการเก็บประจุของสารไดโอดีลทริกนั้นๆ หรือบอกให้ทราบว่าค่าความจุของตัวเก็บประจุที่ใช้สารไดโอดีลทริกนั้นๆ จะเพิ่มเป็นกี่เท่าตัวของตัวเก็บประจุ

สุญญากาศ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้สารทุกชนิดจะประกอบด้วยส่วนย่อยที่เรียกว่าโมเลกุล ซึ่งโมเลกุลปกติประกอบด้วยกลุ่มโปรตอนและกลุ่มอิเล็กตรอนโดยมีจุดศูนย์กลางมวลร่วมกัน และอยู่ภายใต้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล และแรงยึดเหนี่ยวภายในอะตอม เมื่อมีแรงจากสนามไฟฟ้ามากระทำกับโมเลกุลจะทำให้โมเลกุลเกิดการแยกประจุ โดยกลุ่มประจุบวกจะถูกผลักไปในทิศทางตามสนามไฟฟ้า และกลุ่มประจุลบจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางสวนทางกับสนามไฟฟ้า ดังนั้นโมเลกุลทุกโมเลกุลของสารก็จะก่อตัวเป็นโมเมนต์ขั้วคู่ (Dipole moment) เล็กๆ และชี้ในทิศทางเดียวกับทิศของสนามไฟฟ้าที่ให้เข้าไป ซึ่งสารไดอิเล็กทริกประเภทนี้เป็น สารประเภทโมเลกุลไม่มีขั้ว (Non-polar molecule) นอกจากนี้ยังมีสารไดอิเล็กทริกบางชนิดที่มีโมเลกุล ก่อตัวเป็นโมเมนต์ขั้วคู่อยู่แล้วแต่ทิศทางของขั้วคู่ไฟฟ้า (Electric dipole) ชี้ในทิศทางไม่เป็นระเบียบและเมื่อมีแรงจากสนามไฟฟ้าภายนอกมากระทำต่อโมเลกุล จะทำให้ขั้วคู่เล็กๆเหล่านี้เรียงตัวในทิศทางเดียวกันอย่างเป็นระเบียบ ซึ่งเรียกโมเลกุลประเภทนี้ว่าโมเลกุลมีขั้ว (Polar molecule) และเรียกโมเมนต์ประเภทนี้ว่าขั้วคู่ถาวร (Permanent dipole) [5]

2.4 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก

ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเป็นสมบัติในสนามไฟฟ้าสถิต (Dielectric in static electric fields) คือเมื่อให้สนามไฟฟ้าแก่สนามไดอิเล็กทริกในอุดมคติ จะไม่มีการนำพาของประจุในช่วงพิสัยยาวเกิดขึ้น จะมีก็เพียงการจัดเรียงประจุกันใหม่อย่างจำกัดเท่านั้น จึงต้องอาศัยโมเมนต์ขั้ว (Dipole moment) และเรียกว่าการเกิดขั้วหรือการโพลาไรเซชัน (Polarization) การเกิดโพลาไรเซชันระดับอะตอม (ซึ่งมีอยู่ในวัสดุทุกชนิด) นั้นเป็นการกระจัดเรียงของอิเล็กตรอนในอะตอมที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของนิวเคลียสสำหรับในวัสดุไอออนิกจะมีการเกิดโพลาไรเซชันแบบไอออนิกเกี่ยวข้องกับการกระจัดสัมพันธ์ของแคตไอออนและแอนไอออนเพิ่มเติมเข้ามาอีก โดยสนามไฟฟ้าที่ใช้จะไปทำการจัดวางทิศทางของโมเลกุลภายในวัสดุเสียใหม่ ส่วนการเกิดโพลาไรเซชันแบบประจุอวกาศ (Space charge polarization) นั้นจะเกี่ยวข้องกับการขนส่งของพาหะ นำประจุที่เป็นไปอย่างจำกัดจนกระทั่งพาหะเหล่านี้มาหยุดอยู่ที่บริเวณกำแพงพลังงานศักย์ ซึ่งอาจจะเป็นขอบเกรนหรือขอบเฟส (phase boundary) ก็ได้โดยบริเวณการเกิดโพลาไรเซชันแบบต่างๆ นั้นได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เมื่อสสารไดอิเล็กทริกคั่นกลางระหว่างแผ่นตัวนำคู่ขนาน

ดังนั้นจะได้ความจุของแผ่นตัวนำขนานที่มีสสารไดอิเล็กทริกคั่นอยู่

$$C = \frac{A\epsilon_r\epsilon_0}{d} \quad (2.6)$$

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของของเหลวที่ 25 องศาเซลเซียส

Matter	Dielectric constant
Water	78.5
Sorbitol solution (70%w/w)	62.0
Syrup USP	56.0
Glycerol	42.5
Methanol	32.6
Propylene glycol	32.1
Ethanol	24.3
Acetone	20.7
Isopropyl alcohol	18.3
Benzyl alcohol	13.1
Polyethylene glycol 400	12.4

ที่มา : <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0645/dielectric-constant>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 พื้นฐานเคมีวิเคราะห์ [6]

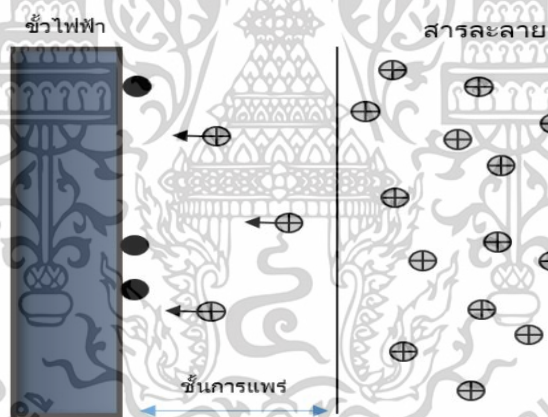
การวิเคราะห์สามารถจำแนกได้ดังนี้จำแนกตามวัตถุประสงค์จะสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ได้แก่ การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative Analysis) เป็นการวิเคราะห์เพื่อให้ทราบชนิดของสารชนิดใดๆ เป็นส่วนประกอบและการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitatively Analysis) เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณสารที่แน่นอนซึ่งนอกจากการวิเคราะห์โดยจำแนกจากวัตถุประสงค์แล้วยังสามารถวิเคราะห์และจำแนกตามหลักการหรือลักษณะของเครื่องมือได้ดังนี้ การวิเคราะห์พื้นฐานเป็นการวิเคราะห์ที่มีการใช้กันมาเป็นเวลานานและใช้อุปกรณ์ง่ายๆ ในห้องปฏิบัติการทั่วไปได้ โดยสามารถจำแนกตามคุณสมบัติทางกายภาพในขั้นตอนสุดท้ายของการตรวจวัดตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์โดยน้ำหนักและการวิเคราะห์โดยปริมาตรและการวิเคราะห์โดยเครื่องมือเป็นการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือที่มีความเฉพาะทางขั้นสูง เทคนิคการวิเคราะห์ทางไฟฟ้าใช้การวัดกระแสเรียกว่า Conductivity

โดยเซลล์เคมีไฟฟ้าในการวิเคราะห์เป็นส่วนประกอบของการทำการวิเคราะห์โดยใช้หลักการเคมีไฟฟ้าทั้งหมด 3 ส่วน คือ ส่วนของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ส่วนของขั้วไฟฟ้าและส่วนของอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้า โดยส่วนที่ 1 และ 2 มักจะถูกเรียกรวมว่าเป็นเซลล์เคมีไฟฟ้า ในส่วนเซลล์เคมีไฟฟ้า 1 เซลล์ ต้องประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าอย่างน้อย 2 ขั้วจุ่มอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งอาจเป็นสารอิเล็กโทรไลต์เดียวกันหรือแตกต่างกันก็ได้ โดยขั้วไฟฟ้า 1 ขั้วในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นเพียงครึ่งเซลล์ (Half-Cell) ของเซลล์เคมีไฟฟ้า โดยแต่ครึ่งเซลล์ต้องเกิดปฏิกิริยารับหรือให้อิเล็กตรอน (ปฏิกิริยารีดอกซ์) ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์มีขั้วไฟฟ้าเป็นตัวนำในการรับส่งอิเล็กตรอนนั้น เพื่อให้รู้ถึงหน้าที่ของแต่ละขั้วไฟฟ้าโดยครึ่งเซลล์ที่มีปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ให้อิเล็กตรอน) เรียกเป็นขั้วแอโนดและขั้วไฟฟ้าของอีกครึ่งเซลล์ที่มีปฏิกิริยารีดักชัน (รับอิเล็กตรอน) เกิดขึ้นเป็นขั้วแคโทด โดยเซลล์ไฟฟ้าเคมีสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด ตามหน้าที่ของเซลล์คือเซลล์กัลวานิกหรือเซลล์โวลตาอิก และเซลล์อิเล็กโทรไลต์ โดยเซลล์กัลวานิกหรือเซลล์โวลตาอิก เป็นเซลล์ซึ่งทำหน้าที่ให้พลังงานไฟฟ้าอันเป็นผลของการเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสองของเซลล์อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ โดยเกิดการไหลของอิเล็กตรอนจากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทดโดยผ่านตัวนำไฟฟ้าภายนอก เช่น เซลล์อิเล็กโทรไลต์เป็นเซลล์ที่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจากภายนอกในการทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีของสารอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งการใช้ประโยชน์จากเซลล์อิเล็กโทรไลต์ในทางการค้ำนั้น เป็นการแยกหรือสังเคราะห์โลหะที่ต้องการ เช่น การสังเคราะห์โลหะอลูมิเนียม การเกาะของโลหะเงินหรือทองบนขั้วไฟฟ้าเป็นต้น ในด้านของการวิเคราะห์เซลล์อิเล็กโทรไลต์ถูกใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารที่ต้องการ โดยเทคนิคการวิเคราะห์แบบต่างๆ เช่น โวลแทมเมตรีและอิเล็กโทรแกรวิเมตรีเป็นต้น การวิเคราะห์ไม่ว่าจะเป็นเซลล์กัลวานิกและเซลล์อิเล็กโทรไลต์ การเกิดปฏิกิริยาการรับส่งอิเล็กตรอน (ปฏิกิริยารีดอกซ์) ในสารละลาย ซึ่งทำให้เกิดการไหลของกระแสในวงจรได้ ต้องเกิดขึ้นที่ผิวของขั้วไฟฟ้าเท่านั้น โดยไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสารละลายอิเล็กโทรไลต์ต้องมีการเคลื่อนย้ายหรือถูกนำพามายังผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า ก่อนที่จะเกิดกระบวนการส่งผ่านประจุหรืออิเล็กตรอนข้ามรอยต่อระหว่างสารละลายกับผิวหน้าของขั้วไฟฟ้านั้น

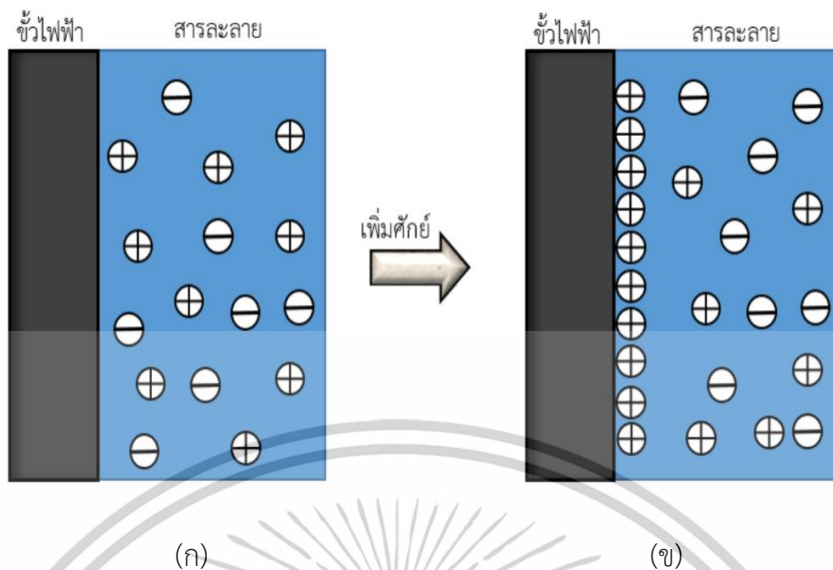
การนำพาไอออนในสารละลายโดยไอออนของสารอิเล็กโทรไลต์ในสารละลายถูกพาไปยังผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าด้วย 3 กลไกด้วยกันได้แก่ ไมเกรชันเป็นการเคลื่อนที่ของไอออนภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นในสารละลายนั้นโดยไอออนบวกเคลื่อนที่เข้าหาขั้วลบและไอออนลบเคลื่อนที่เข้าหาขั้วบวก โดยความเร็วของการที่ไอออนเคลื่อนที่เข้าหาหรือเคลื่อนที่ออกจากผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า อาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามศักย์ที่ผิวของขั้วไฟฟ้านั้น ซึ่งมีผลทำให้การไหลของกระแสในวงจรของเซลล์นั้นเพิ่มหรือลดไปด้วยกลไกต่อมาคือ การแพร่ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เป็นการเคลื่อนที่ของไอออนหรือโมเลกุลในสารละลายจากบริเวณที่มีความเข้มข้นไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำจนกว่าจะไม่เกิดความแตกต่างของความเข้มข้น โดยอัตราความเร็วของการแพร่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นที่ต่างกันและกลไกสุดท้ายคือ คอนเวกชันหรือการพาคือการที่ไอออนในสารละลายถูกพาเข้าหา หรือออกจากผิวหน้าของขั้วไฟฟ้างแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 การแพร่ไอออนในสารละลาย

ที่มา : (ศิวักร ศอกจะบก และคณะ, 2560) [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการอัดกระแสในกระบวนการนอนการาเดอิก (Faradaic process)

ที่มา : (ศิวกกร ศอกจะบก และคณะ, 2560) [8]

- (ก) สภาพปกติของสารละลาย เมื่อศักย์ขั้วไฟฟ้ามีค่าเท่ากับค่าๆ หนึ่ง
- (ข) สภาพภายหลังการเพิ่มศักย์ไฟฟ้า เมื่อขั้วไฟฟ้ามีค่าศักย์เท่ากับค่าๆ หนึ่งที่เพิ่มขึ้นจากเดิม ประจุไอออนจะวิ่งเข้าหาขั้วไฟฟ้ามากขึ้น

ในส่วนของกระบวนการที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้านั้น ถ้าไอออนหรือประจุที่ตรงผิวหน้าขั้วไฟฟ้าสามารถข้ามรอยต่อระหว่างสารละลายกับผิวหน้าขั้วไฟฟ้าได้จะมีปฏิกิริยาของการรับและให้อิเล็กตรอนเกิดขึ้น (ปฏิกิริยารีดอกซ์) ซึ่งจะนำไปตามกฎของฟาราเดย์ โดยเรียกกระบวนการที่เกิดขึ้นนี้ว่า “กระบวนการฟาราเดอิก” (Faradaic Process) ผลลัพธ์ของการเกิดกระบวนการฟาราเดอิกที่ขั้วไฟฟ้าทำให้เกิดการไหลของกระแสในวงจรของเซลล์เคมีไฟฟ้านั้น เรียกว่า กระแสฟาราเดอิก (Faradaic Current) ถ้าไอออนหรือประจุที่ถูกพาไปที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า เพียงแต่ถูกดูดซับไว้ที่บริเวณรอยต่อของสารละลายกับขั้วไฟฟ้าไม่มีปฏิกิริยารีดอกซ์เกิดขึ้น โดยประจุที่ถูกดูดซับไว้ มีการเรียงตัวตรงบริเวณรายต่อนั้น ในระหว่างของการเกิดการเรียงตัวมีการเปลี่ยนแปลงของกระแสหรือศักย์ไฟฟ้าขึ้นแต่ก็เป็นเพียงชั่วขณะที่การเรียงยังไม่ยุติกระแสชั่วขณะที่เกิดขึ้น เรียกว่า กระแสนอนฟาราเดอิก (Nonfaradaic Current) สำหรับเซลล์ไฟฟ้าเคมีหนึ่งๆ กระบวนการที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าจะเป็นฟาราเดอิกหรือนอนฟาราเดอิก ไม่ได้ขึ้นกับการจัดเซลล์หรือชนิดของเซลล์เคมีไฟฟ้า แต่ขึ้นกับสถานะของการวิเคราะห์ว่ามีอุณหภูมิหรือพลังงานจลน์ที่เหมาะสมกับการที่จะเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ตรงผิวหน้าขั้วไฟฟ้านั้นได้หรือไม่เพียงใด

ขั้วไฟฟ้า (Electrodes) เป็นส่วนประกอบของแต่ละเครื่องเซลล์เคมีไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าต่อเชื่อมกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์และอุปกรณ์วัดสัญญาณไฟฟ้า ในการวิเคราะห์เพื่อให้ครบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรไฟฟ้าจำเป็นต้องมีขั้วไฟฟ้าอย่างน้อย 2 ขั้ว คือ ขั้วแอโนด และขั้วแคโทด การทำเคมีวิเคราะห์เชิงไฟฟ้าด้วยเทคนิควิธีวิเคราะห์ต่างๆ โดยขั้วไฟฟ้าจะถูกใช้เป็นเพียงขั้วที่ต่อเพื่อให้ครบวงจรไฟฟ้าเท่านั้น โดยมักจะถูกต่อไว้ทางด้านแอโนด และเรียกขั้วไฟฟ้านี้ว่า ขั้วอ้างอิง(Reference Electrode) ลักษณะเฉพาะของขั้วไฟฟ้าอ้างอิง คือ ค่าศักย์ของขั้วไฟฟ้าจะมีค่าเฉพาะที่ไม่แปรตามการไหลของกระแสในวงจร โดยการเปลี่ยนแปลงใดๆในสารละลายอันเป็นผลการเกิดปฏิกิริยาจากสารตัวอย่าง จะมิผลต่อค่าศักย์ของขั้วไฟฟ้า ซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วแคโทดของเซลล์ และเรียกชื่อว่า ขั้วไฟฟ้าใช้งาน (Working Electrode) หรือขั้วไฟฟ้าชี้บอก (Indicating Electrode) ในบางเทคนิควิธีการวิเคราะห์จำเป็นต้องมีขั้วไฟฟ้าต่อเข้ากับวงจรไฟฟ้า 3 ขั้ว เช่นในทางเทคนิคการวิเคราะห์โวลแทมเมตรี เรียกขั้วไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นมาว่าขั้วไฟฟ้าช่วย (Auxiliary Electrode) หรือขั้วไฟฟ้าร่วม (Counter Electrode) โดยหน้าที่เฉพาะของขั้วไฟฟ้าช่วย คือ เป็นผู้ช่วยในการส่งผ่านอิเล็กตรอน หรือกระแสไปยังขั้วไฟฟ้าใช้งาน โดยไม่ต้องผ่านขั้วไฟฟ้าอ้างอิงของวงจร การที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสาม ได้แก่ ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ขั้วไฟฟ้าใช้งาน และขั้วไฟฟ้าช่วย ทำหน้าที่ในวงจรเซลล์ไฟฟ้าได้ต่างกัน เนื่องจากส่วนประกอบที่ใช้ในการทำขั้วไฟฟ้าไม่เหมือนกัน เนื่องจากขั้วไฟฟ้าเป็นตัวนำไฟฟ้าที่เชื่อมต่อระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์และอุปกรณ์วัดสัญญาณไฟฟ้า ด้านของขั้วไฟฟ้าที่ต่อกับอุปกรณ์วัดสัญญาณมักเป็นลวดตัวนำเพื่อส่งต่ออิเล็กตรอนเพื่อไปที่อุปกรณ์วัด โดยอีกด้านที่จุ่มในสารละลายอิเล็กโทรไลต์มีส่วนประกอบที่แตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์การใช้งาน

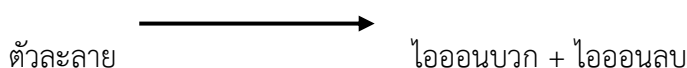
2.6 การวัดความนำไฟฟ้า [7]

2.6.1 สารอิเล็กโทรไลต์

สารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) เป็นสารประกอบที่สามารถนำไฟฟ้าได้ เมื่อหลอมเหลวแล้วแตกตัวเป็นไอออนหรือละลายอยู่ในสารละลายที่แตกตัวเป็นไอออนสารละลายที่นำไฟฟ้าได้นั้นเรียกว่า “สารละลายอิเล็กโทรไลต์” ดังแสดงในรูปที่ 2.6 สารละลายอิเล็กโทรไลต์แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดได้แก่

1. สารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่ (Strong Electrolyte)

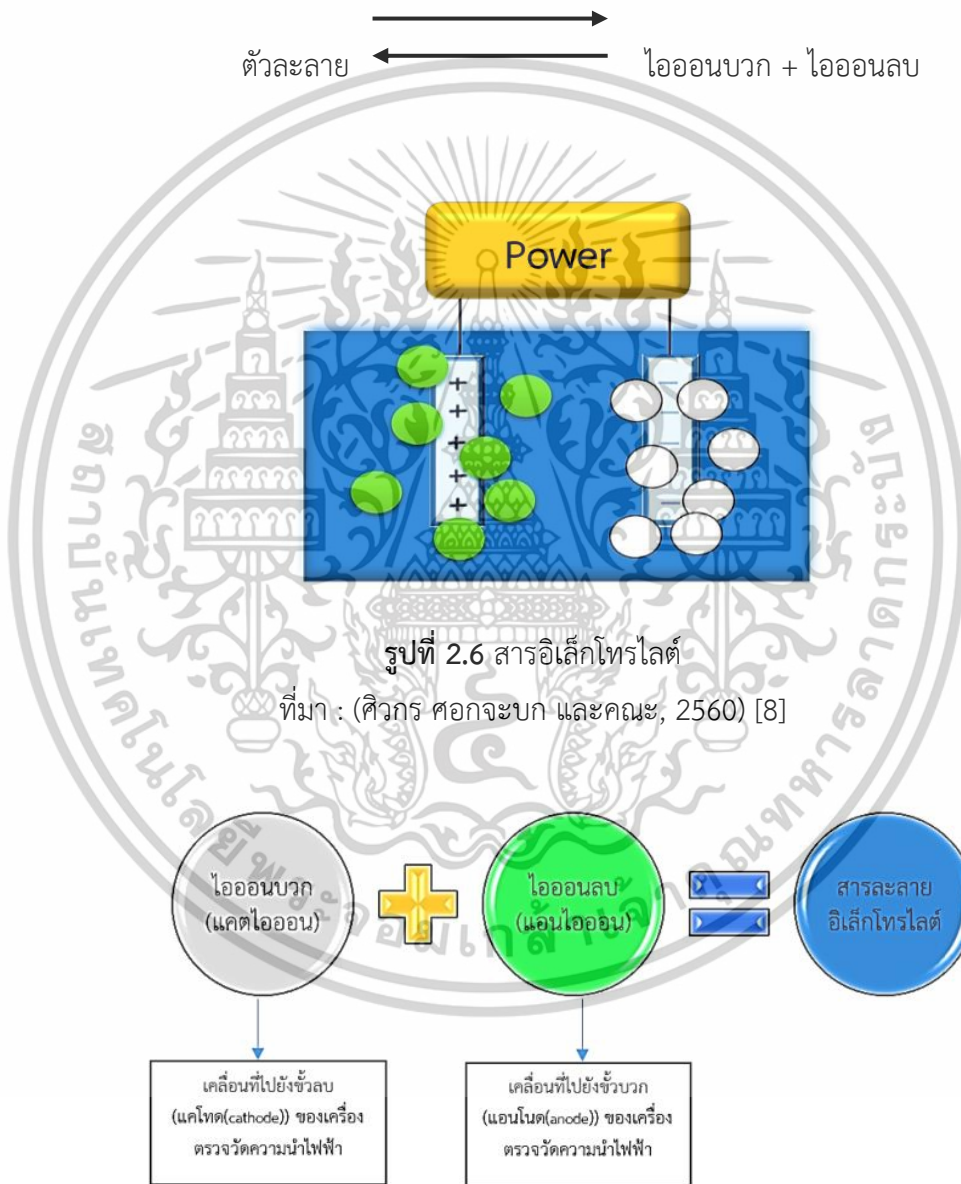
สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้หมดหรือเกือบหมดในน้ำหรือในสารละลายเจือจางทำให้ในสารละลายนั้นมีไอออนจำนวนมากจึงนำไฟฟ้าได้ดี เมื่อเขียนเป็นสมการแสดงการแตกตัวของสารอิเล็กโทรไลต์แก่จะเป็นสมการที่ปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่านั้นหรือเกิดปฏิกิริยาจากซ้ายไปขวาเท่านั้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สารอิเล็กโทรไลต์อ่อน (Weak Electrolyte)

แตกตัวให้อิออนได้น้อยหรือแตกตัวได้ไม่หมดในการละลายจึงแสดงว่าอิเล็กโทรไลต์อ่อนนั้นมีโมเลกุลของสารละลายบางส่วนเท่านั้นแตกตัวเป็นอิออนได้ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะยังคงอยู่ในรูปแบบโมเลกุลจึงนำไฟฟ้าได้น้อย ดังแสดงในรูปที่ 2.7 เมื่อเขียนสมการการแตกตัวของสารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อน จะเป็นสมการย้อนกลับได้ดังนี้



รูปที่ 2.6 สารอิเล็กโทรไลต์

ที่มา : (ศิวักร ศอกจะบก และคณะ, 2560) [8]

รูปที่ 2.7 สารละลายที่แตกตัวเป็นอิออนสารละลายที่นำไฟฟ้า

ที่มา : (ศิวักร ศอกจะบก และคณะ, 2560) [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 การตรวจวัดสัญญาณทางไฟฟ้าด้วยหลักการสภาพความต้านทานไฟฟ้า

การตรวจวัดสัญญาณทางไฟฟ้าด้วยหลักการทางสภาพความต้านทานไฟฟ้า (Electrical Resistivity) เป็นการวัดการต้านทานการไหลของไฟฟ้าตัวนำไฟฟ้าที่มีความต้านทานต่ำนั้น จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้มากกว่าตัวนำที่มีความต้านทานสูงและเมื่อมีการไหลผ่านของตัวนำด้วยการผ่านของศักย์ไฟฟ้า เมื่ออุณหภูมิคงที่ไหลผ่านตัวนำจะแปรผันตรงกับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ปลายทั้งสองข้างของตัวนำโดยงานวิจัยนี้จะทำการควบคุมอุณหภูมิ ขณะทดลองที่ 25 องศาเซลเซียส

ค่าความต้านทานของตัวนำจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักดังนี้

1. ชนิดของวัสดุที่นำมาใช้ในการทำตัวต้านทาน
2. อุณหภูมิของวัสดุ

$$R_t = R_0(I + \alpha\Delta t) \quad (2.7)$$

เมื่อ R_t เป็นความต้านทานของตัวนำ ณ อุณหภูมิองศาเซลเซียส

R_0 เป็นความต้านทานของตัวนำ ณ อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส

Δt เป็นอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป (องศาเซลเซียส)

α เป็นสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงของความต้านทานตามอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

3. พื้นที่หน้าตัดและความยาวของตัวนำค่าความต้านทานจะแปรผันตรงกับความยาวของตัวนำบนพื้นที่หน้าตัดของตัวนำโดยได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (2.8)$$

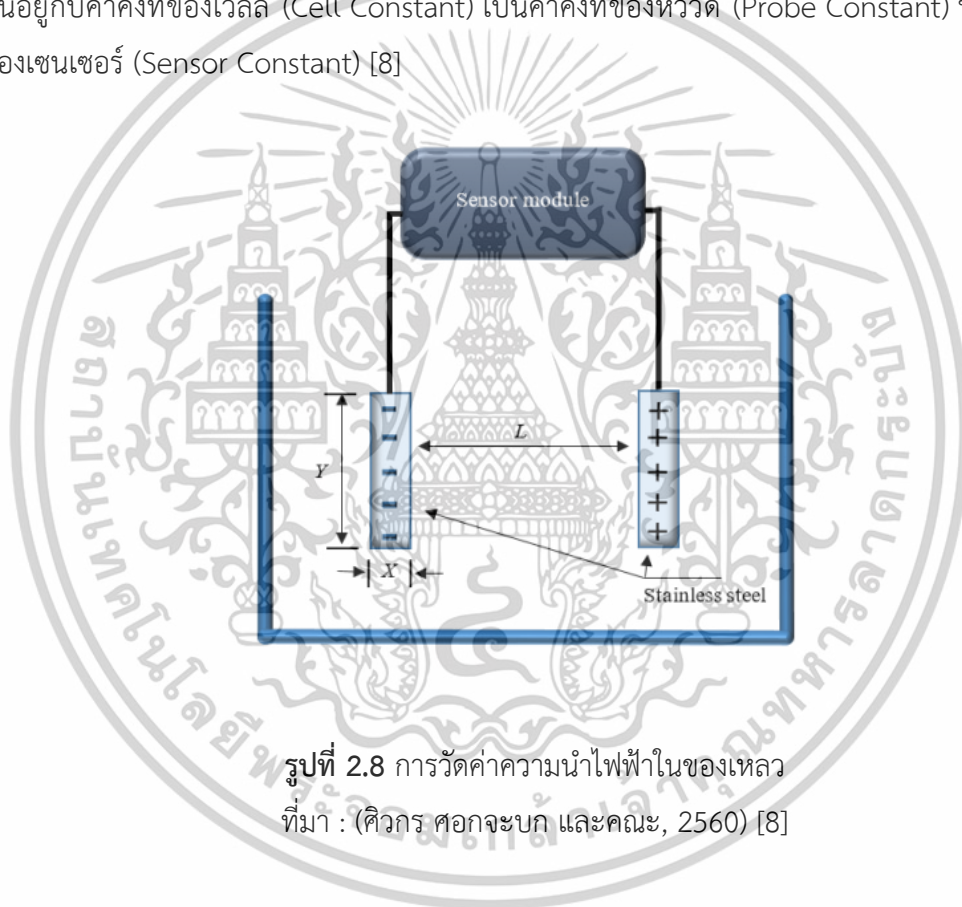
เมื่อ L เป็นความยาวของตัวนำ (cm)

A เป็นพื้นที่หน้าตัดของตัวนำ (cm²)

ρ สภาพความต้านทาน ($\Omega \cdot \text{cm}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการวัดความนำไฟฟ้าเป็นการวัดความสามารถในการนำไฟฟ้าของสารละลายโลหะหรือแก๊ส โดยทั่วไปแล้วโลหะเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เนื่องจากอิเล็กตรอนในโลหะสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ไอออนบวกและไอออนลบในสารละลายจะเป็นตัวนำไฟฟ้าเมื่อจุ่มขั้วไฟฟ้า (Electrode or Probe) 2 ขั้วลงในสารละลายดังแสดงดังรูปที่ 2.8 จากนั้นผ่านความต่างศักย์ไฟฟ้าค่าหนึ่งกับขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 ขั้ว แล้ววัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น กระบวนการที่เกิดขึ้นจะพบว่าไอออนบวกจะเคลื่อนที่ไปยังไอออนลบ และส่วนไอออนลบจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วบวก สารละลายจึงจัดเป็นตัวนำไฟฟ้า สารละลายนี้ประกอบไปด้วยไอออนจำนวนมากค่าความนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น โดยค่าความนำไฟฟ้าจะเป็นการวัดสภาพการนำไฟฟ้าทั้งหมดของไอออนในสารละลาย ไม่ใช่การวัดค่าไอออนใดไอออนหนึ่งของสารละลาย โดยจะขึ้นอยู่กับค่าคงที่ของเซลล์ (Cell Constant) เป็นค่าคงที่ของหัววัด (Probe Constant) หรือค่าคงที่ของเซนเซอร์ (Sensor Constant) [8]



รูปที่ 2.8 การวัดค่าความนำไฟฟ้าในของเหลว
ที่มา : (ศิวกกร สอกจะบก และคณะ, 2560) [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะของวงจรวัดค่าความจุไฟฟ้าชนิดต่างๆ แบ่งได้เป็น 7 ข้อดังนี้ [10]

1. หน้าที่ของการทำงาน (Function)

วงจรกำเนิดสัญญาณ RC จะมีความถี่เอาต์พุตเป็นสัดส่วนกับ $1/RC$ ในหน่วยความถี่เชิงมุมต่อวินาที โดยคาบเวลาของสัญญาณจะขึ้นกับ RC วงจรตีมอดูเลตแบบซินโครนัสสองแบบคือ ซินโครนัสแบบซิงเกิลเอนด์ (Single End) และซินโครนัสแบบบริดจ์ (Bridge) โดยทั้งสองแบบมีการทำงานที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการเชื่อมต่อของวงจรรขยายสัญญาณอินพุต ส่วนแรงดันเอาต์พุตของวงจรแบบซิงเกิลเอนด์จะเป็นฟังก์ชันของค่าความจุไฟฟ้าอ้างอิง $C1$ และค่าความจุไฟฟ้าที่ตรวจสอบ $C2$

สำหรับตัวตีมอดูเลตแบบซินโครนัสชนิดบริดจ์ แรงดันเอาต์พุตจะเป็นสัดส่วนกับค่า $C1-C2$ หรือ $(C1-C2)/(C1+C2)$ ในกรณีอื่นๆ ฟังก์ชันของวงจรจะเลือกให้เหมาะสมกับค่าความจุไฟฟ้าที่ทำการวัด ทั้งในแบบที่มีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างแผ่นเพลทและแบบที่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ของแผ่นเพลท

2. ความไวต่อค่าความจุไฟฟ้าแฝง (Sensitive to stray capacity)

เซนเซอร์แบบแผ่นเพลทจะมีความจุไฟฟ้าอยู่ในระดับ pF ซึ่งในการเชื่อมต่อเซนเซอร์แบบแผ่นเพลทเข้ากับสายโคแอก 60 pF/m นั้นควรมีการห่อหุ้มบริเวณที่มีการเชื่อมต่อทุกๆ จุดเพื่อเป็นการป้องกันการปะปนเข้ามาของความจุไฟฟ้าแฝงอื่นๆ จากภายนอก โดยการป้องกันด้วยการห่อหุ้มสายสัญญาณแบบนี้มักจะใช้กับวงจรมอดูเลตแบบซิงโครนัส แต่สำหรับวงจรประเภทที่อาศัยการกำเนิดสัญญาณ การป้องกันค่าความจุไฟฟ้าแฝงอาจทำได้ลำบาก

3. ความไวต่อสัญญาณรบกวน (Sensitivity to noise)

ปัญหาอย่างหนึ่งของวงจรวัดค่าความจุไฟฟ้าที่อาศัยการกำเนิดสัญญาณ คือความถี่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีสัญญาณรบกวนจากภายนอกเข้ามาในวงจร ซึ่งเกิดจากประจุไฟฟ้าของวงจรอื่นในบริเวณข้างเคียง โดยปกติแล้วปัญหาในเรื่องสัญญาณรบกวนนี้สามารถแก้ไขได้โดยการห่อหุ้มจุดเชื่อมต่อและใช้สายสัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

4. ความต้องการในการแปลงสัญญาณแอนาล็อกเป็นดิจิตอล (Needs ADC)

ในการแปลงความถี่ของสัญญาณไปเป็นสัญญาณดิจิตอลแบบอย่างง่ายนั้น ทำได้โดยการกำหนดคาบเวลาแล้วทำการนับพัลส์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่กำหนด ดังนั้นในการประยุกต์ใช้งานกับไมโครคอมพิวเตอร์การแปลงสัญญาณแอนาล็อกเป็นดิจิตอลอาจไม่มีความจำเป็น เพราะสามารถใช้เพียงวงจรกำเนิดสัญญาณ RC ก็เพียงพอแล้วแต่ในส่วนของวงจรมอดูเลตแบบซิงโครนัส การแปลงสัญญาณแอนาล็อกเป็นดิจิตอลยังมีความจำเป็นเพราะต้องมีการแปลงแรงดันเอาต์พุตไปเป็นสัญญาณดิจิตอลอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. วงจรกรองผ่านแถบความถี่ (Bandpass filter available)

ในวงจรตีมอดูเลตแบบซิงโครนัส การลดสัญญาณรบกวนในวงจรสามารถทำได้โดยเพิ่มวงจรกรองผ่านแถบความถี่ที่สามารถจูนได้ โดยแถบความถี่ที่ใช้งานจะอยู่ในช่วงของความถี่อ้างอิง แต่วิธีการนี้ไม่สามารถใช้ได้กับวงจรกำเนิดสัญญาณ RC

6. ขนาดของวงจร (Circuit size)

เนื่องจากส่วนประกอบในวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่มีขนาดเล็กกว่าวงจรตีมอดูเลตแบบซิงโครนัสมาก จึงสะดวกในการสร้างเป็นวงจรในแผ่น PCB ทั่วไป แต่ในการออกแบบเป็นวงจรรวมวิธีการตีมอดูเลตแบบซิงโครนัสจะสามารถสร้างได้ง่ายกว่าในพื้นที่ประมาณ 1-2 ตารางมิลลิเมตร

7. ความไวต่อความต้านทานแบบขนาน (Sensitive to shunt resistor)

ในการประยุกต์ใช้งานที่วงจรมีการสัมผัสกับสิ่งปนเปื้อนหรือความชื้นมากๆ เส้นลายวงจรบนแผ่นวงจรพิมพ์สามารถส่งผลกระทบต่อการทำงานของวงจร คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดในการออกแบบวงจร คือความไวต่อความต้านทานแบบขนานหรือตัวนำแบบขนาน การป้องกันที่ถูกต้องสามารถจัดการกับปัญหาเหล่านี้ได้ โดยเฉพาะการหักล้างกันของค่าความจุไฟฟ้าแฝง แต่วิธีนี้จะใช้ไม่ได้กับวงจรวัดค่าความจุไฟฟ้าบางแบบ

2.7 การวัดค่าความจุไฟฟ้าด้วยวิธีวงจรถูกกำเนิดสัญญาณ (Oscillator, OSC)

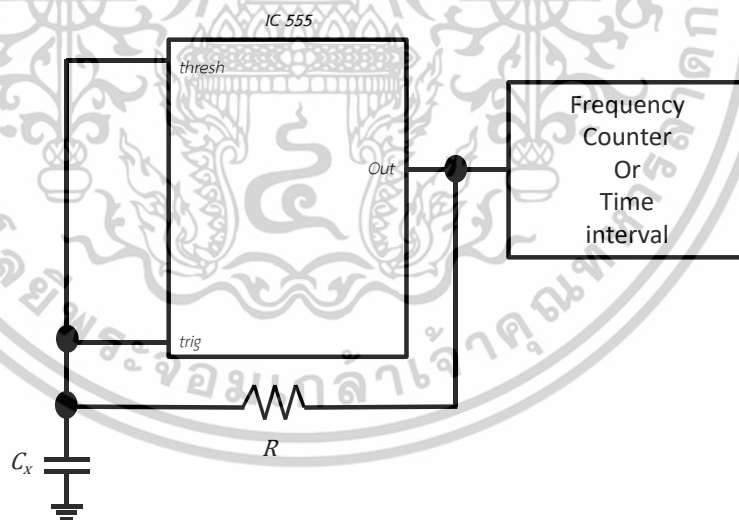
เนื่องจากวิธีการวัดสัญญาณไฟตรงไม่สามารถวัดตัวเก็บประจุที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าต่ำมากๆ ได้ถ้าไม่มีอัตราขยายความต้านทานอินพุตสูงๆ ซึ่งการวัดค่าของตัวเก็บประจุขนาด 10 พิโกฟารัด ที่ระดับของสัญญาณ 1 เฮอร์ท ต้องมีการชดเชยอัตราขยายกระแสในช่วง 0.01 พิโกแอมป์แปร์ นอกจากนี้วิธีการวัดสัญญาณไฟตรงจะไม่ทนต่อสัญญาณรบกวนต่างๆ เป็นสัญญาณรบกวนในสายเคเบิล (Cable Noise) แร่งดันเทอร์โมคัปเปิ้ล (Thermocouple) เป็นต้น ซึ่งจะเห็นว่าวงจรที่ใช้ความถี่สูงสัญญาณรบกวนจะเกิดขึ้นได้มากกว่า ตัวอย่างเช่นตัวเก็บประจุที่ไม่ทราบค่าของรีแอคทีฟอิมพีแดนซ์สามารถทำการวัดค่าได้โดยการจูนอุปกรณ์ในวงจรถูกกำเนิดสัญญาณ เนื่องจากมีวงจรถูกกำเนิดสัญญาณหลายชนิดที่มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน แต่ในทางปฏิบัติในการออกแบบวงจรถูกกำเนิดสัญญาณ LC มีความถี่เป็นสัดส่วนกับ $1/LC$ การวัดค่าความจุไฟฟ้าโดยใช้วงจรถูกกำเนิดสัญญาณ RC เป็นการวัดค่าความจุไฟฟ้าให้อยู่ในรูปของความถี่ (Frequency) หรือความกว้างของพัลส์ (Pulse Width) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างอย่างง่ายของไอซีสำเร็จรูปเบอร์ 555 ที่นำมาสร้างเป็นวงจรถูกกำเนิดสัญญาณ RC [11] ที่มีค่าดีวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) คงที่เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความถี่เอาต์พุตตั้งสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f = \frac{1}{1.38RRC_x} \quad (2.9)$$

จากวงจรในแสดงดังรูปที่ 2.9 จะเห็นได้ว่าไม่มีผลของค่าความจุไฟฟ้าแฝง โดยปกติสัญญาณแรงดันเอาต์พุตของไอซีเบอร์ 555 จะแกว่งไม่ถึงระดับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟของวงจร (Power Supply) และจะสูญเสียเสถียรภาพเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

การต่อวงจรในลักษณะนี้จะทำให้วงจรมีการทำงานเหมือนกับวงจรชmittทริกเกอร์ (Schmitt Trigger) โดยวงจรชmittทริกเกอร์นั้นเป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่การป้อนกลับแบบบวกด้วยการนำสัญญาณเอาต์พุตของวงจรที่ใช้งาน จึงทำให้เกิดค่าของความแตกต่างเกิดขึ้นระหว่างสัญญาณทางด้านเอาต์พุตทั้งสองสภาวะ วงจรกำเนิดสัญญาณในแสดงดังรูปที่ 2.9 นั้น จะใช้แหล่งจ่ายไฟสร้างแรงดันอ้างอิงขนาด $1/3$ และ $2/3$ ของแรงดันแหล่งจ่ายไฟให้กับตัวเปรียบเทียบแรงดันที่อยู่ภายในไอซี เพื่อกำหนดจุดทริกให้กับไอซี ถ้าความต้านทาน R มีขนาดใหญ่พอเอาต์พุตที่ได้ก็จะเที่ยงตรงแม่นยำมากขึ้น และแม้แหล่งจ่ายไฟมีค่าเปลี่ยนแปลงความถี่เอาต์พุตก็จะได้ไม่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงไปของแหล่งจ่ายไฟ โดยเอาต์พุตจะถูกแปลงเป็นดิจิตอลโดยใช้การนับความถี่หรือการนับช่วงเวลา ซึ่งมักจะใช้คริสตัลควบคุมเวลาพื้นฐานเพื่อความแม่นยำโดยค่าความกว้างของพัลส์มีค่าเป็นเชิงเส้นกับค่าความจุไฟฟ้าที่ต้องการวัด



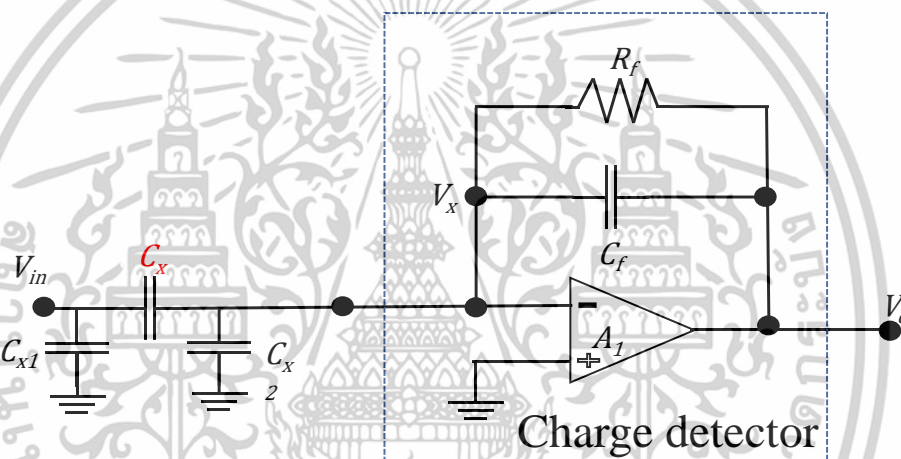
รูปที่ 2.9 การตรวจจับค่าความจุไฟฟ้าด้วยวงจรถ่ายสัญญาณ

แสดงดังรูปที่ 2.9 เป็นวงจรถ่ายสัญญาณจากไอซีสร้างสัญญาณความถี่เบอร์ 555 ที่มีค่าดิวิตีไซเคิล 50 % และสร้างสัญญาณความถี่เชิงเส้นได้เช่นเดียวกับไอซีเบอร์ 7555 ซึ่งเป็นไอซีวงจรรวมแบบซีมอสโดยปกติสัญญาณเอาต์พุตของไอซีเบอร์ 555 จะสวิงได้ไม่ถึงค่าสูงสุดของแหล่งจ่ายไฟ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวงจรและจะสูญเสียเสถียรภาพเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง การทำงานของวงจรเป็นแบบเกาซึ่งอาศัยการป้อนกลับแบบลบของ R และ C ขมิตริกเกอร์ ซึ่งวงจรขมิตริกเกอร์เป็นวงจรที่มีความแม่นยำสูงและถูกกำหนดค่าของการทริกไว้ที่ $1/3$ และ $2/3$ ของแหล่งจ่ายไฟของวงจร

2.8 วงจรตรวจจับค่าความจุไฟฟ้า

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ระบบจะใช้นิยามวงจรรองความถี่ต่ำผ่าน ประกอบด้วยออปแอมป์ A_1 ตัวต้านทาน R_f และตัวเก็บประจุ C_f โดยตัวเก็บประจุ C_x นั้นคือค่าความจุไฟฟ้าที่ได้มาจากโมดูลเซนเซอร์ที่สร้างขึ้นโดยใช้แรงดันเป็นสัญญาณคลื่นรูปไซน์เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 วงจรตรวจจับค่าความจุไฟฟ้า

เมื่อ C_{x1} และ C_{x2} มีค่า 10 ไมโครฟารัด (μF)

C_f มีค่า 10 พิโกฟารัด (pF)

R_f มีค่า 500 กิโลโอห์ม ($\text{k}\Omega$)

A_1 คือออปแอมป์ LF351

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรในรูปที่ 2.10 สามารถหาความสัมพันธ์ของแรงดัน V_{in} กับ V_C ได้ดังนี้

$$\frac{V_x - V_{in}}{X_{C_x}} + \frac{V_x - V_C}{X_{C_f}} + \frac{V_x - V_C}{R_f} = 0 \quad (2.10)$$

จากสมการที่ (2.10) เราสามารถหาค่าแรงดัน V_C ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$V_C = - \left(\frac{X_{C_f} R_f}{R_f + X_{C_f}} \right) \left(\frac{V_{in}}{X_{C_x}} \right) \quad (2.11)$$

เมื่อ $X_{C_x} = \frac{1}{j\omega C_x}$ และ $X_{C_f} = \frac{1}{j\omega C_f}$ (ซึ่ง ω คือความถี่เชิงมุมของแรงดัน V_{in} เมื่อแทนค่า X_{C_x} และ X_{C_f} ลงในสมการที่ (2.11) จะได้

$$V_C = - \left(\frac{j\omega C_x R_f}{j\omega C_f R_f + 1} \right) V_{in} \quad (2.12)$$

กำหนดให้ $\omega C_f R_f \gg 1$ ในสมการที่ (2.12) จะได้ดังนี้

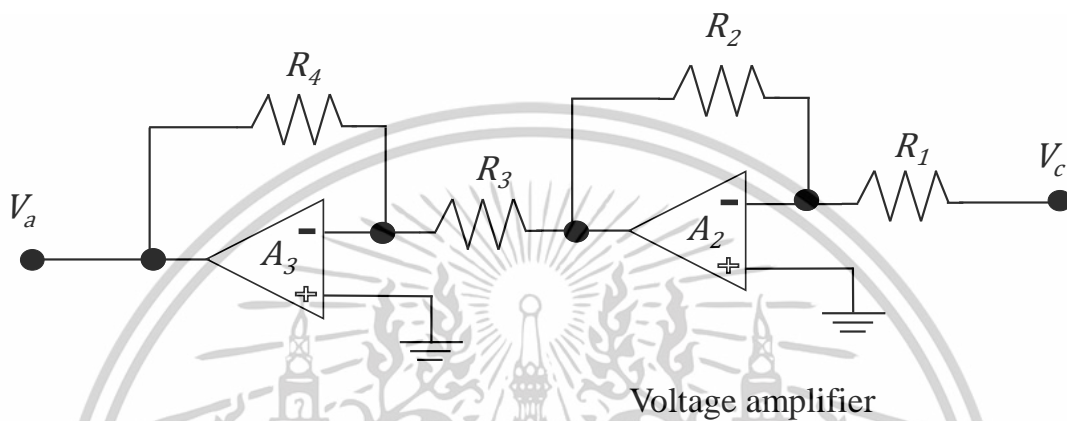
$$V_C = - \left(\frac{C_x}{C_f} \right) V_{in} \quad (2.13)$$

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่าแรงดัน V_C ได้จากวงจรตรงจับค่าความจุไฟฟ้ามีค่าเป็นสัดส่วนกับค่าความจุไฟฟ้า C_x ที่เราจะทำการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 วงจรขยายแรงดัน

เนื่องจากแรงดันขาออก V_c ที่ได้จากวงจรตรวจจับค่ามีค่าความจุทางด้านเอาต์พุตน้อยเกินไป จึงได้มีการนำไปต่อร่วมกับวงจรขยายแรงดันเพื่อให้มีค่าที่เหมาะสม โดยใช้วงจรขยายแรงดันดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 วงจรขยายแรงดัน

จากรูปที่ 2.11 แรงดันเอาต์พุต V_a ของวงจรขยายแรงดันมีค่าดังสมการดังต่อไปนี้

$$V_a = \left(\frac{R_2 R_4}{R_1 R_3}\right) V_c \tag{2.14}$$

และเมื่อแทนค่า V_c จากสมการที่ (2.13) ลงในสมการที่ (2.14) จะได้

$$V_a = -\left(\frac{R_2 R_4}{R_1 R_3}\right) \left(\frac{C_x}{C_f}\right) V_{in} \tag{2.15}$$

จากสมการที่ (2.15) จะเห็นได้ว่าแรงดัน V_o มีค่าเป็นสัดส่วนกับค่าความจุไฟฟ้าของ C_x เช่นกัน ดังนั้นระบบวงจรแปลงค่าความจุเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในวิทยานิพนธ์นี้เป็นการนำเทคนิควงจรรองความถี่ต่ำผ่านซึ่งได้สัญญาณไม่สูงนัก จึงได้ทำการขยายสัญญาณด้วยวงจรขยายเพื่อให้ได้สัญญาณที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 การกระตุ้น (Excitation)

2.10.1 การกระตุ้นด้วยสัญญาณไซน์ (Sine Wave)

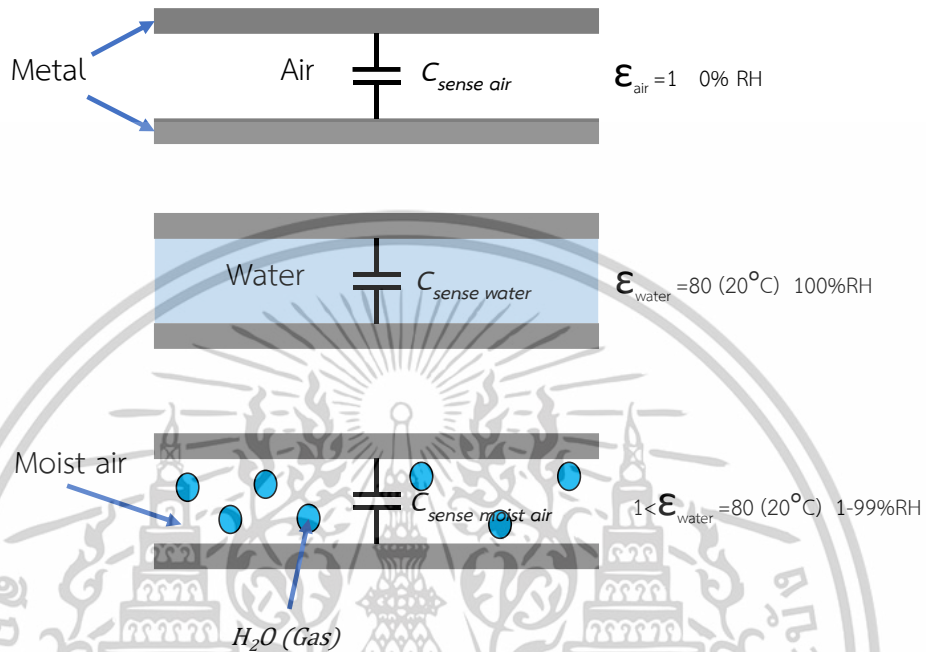
การกระตุ้นด้วยสัญญาณไซน์จะเป็นประโยชน์สำหรับระบบที่ต้องการความถี่สูงๆ (มากกว่า 1 MHz) ตัวอย่างเช่นระบบซึ่งจะต้องวัดค่าความจุไฟฟ้าที่มีค่าต่ำมาก สัญญาณไซน์ยังมีความจำเป็นต่อวงจรที่ต้องการความแม่นยำสูง โดยเมื่อเปรียบเทียบกับกระตุ้นด้วยคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีปัญหาของวงจรขยายคือค่าอัตราสลับจะลดลง และการกระตุ้นด้วยสัญญาณไซน์ยังเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ที่ต้องการค่าอัตราขยายสูงๆ อีกด้วย ซึ่งถ้าใช้การกระตุ้นด้วยสัญญาณไซน์จะทำให้การปรับแต่งค่าอัตราขยายทำได้ง่ายขึ้น แต่เป็นเรื่องยากที่สร้างสัญญาณไซน์จากวงจรถูกกำเนิดสัญญาณให้มีรูปไซน์ตามที่ต้องการ และในส่วนของดีมอลดูเลตสัญญาณไซน์ด้วยตัวคูณแบบแอนาล็อกหรือแบบอื่นๆ ก็ยังมีราคาแพงและมีความแม่นยำไม่มากเมื่อเทียบกับวงจรสร้างสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม

2.10.2 การกระตุ้นด้วยสัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave)

สัญญาณสี่เหลี่ยมจะถูกใช้ในระบบที่ใช้ซีมอสซึ่งเป็นเกทแบบลอจิก เนื่องจากให้ความแม่นยำของสัญญาณ และง่ายที่สร้างวงจรถูกกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมไว้บนชิปเดียวกันกับวงจรอื่น เพราะใช้พื้นที่น้อย นอกจากนั้นวงจรถูกกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมยังเหมาะกับระบบซึ่งมีอัตราขยายต่ำ เช่นเครื่องตรวจจับการเคลื่อนไหวที่มีความเป็นเชิงเส้นที่กว้าง

2.11 การประยุกต์ใช้งานตัวเก็บประจุกับการใช้งานในการวัดความชื้นอากาศ [12]

การนำใช้ตัวเก็บประจุวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (%RH) นี้แสดงกระบวนการดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 หลักการใช้ตัวเก็บประจุวัดค่าความชื้นในอากาศ

จะเห็นจากการเปรียบเทียบค่า relative permittivity ของอากาศแห้งและน้ำ ซึ่งสามารถเทียบเคียงได้กับค่า 0 %RH และค่า 100 %RH ตามลำดับ (ที่ทุกๆ อุณหภูมิถ้าค่า relative permittivity มีค่าเท่ากับ 100 %RH ไอน้ำในอากาศจะถูกควบแน่นให้อยู่ในสถานะเป็นของเหลว) ดังนั้นอากาศที่มีความชื้นระหว่าง 0 %RH ถึง 100 %RH จึงมีผลทำให้ค่าของตัวเก็บประจุนี้มีค่าแตกต่างกันในลักษณะเชิงเส้นได้ ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศให้เป็นค่าทางไฟฟ้าได้โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบระบบ และการดำเนินงานวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาให้ความสำคัญกับเป็นการพัฒนาโมดูลเซนเซอร์จากงานวิจัยการออกแบบ เซ็นเซอร์ค่าความจุ สำหรับการวัดความเข้มข้นของสารละลาย โดยการพัฒนาให้มีพื้นที่สัมผัส สารละลายให้มีขนาดเล็กลง มีทั้งหมด 2 โมดูล คือ โมดูล A และ โมดูล B และต่อร่วมกับระบบวงจร แปลงค่าความจุไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟตรงสำหรับเซนเซอร์แบบตัวเก็บประจุ ที่ความถี่ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ ในการกระตุ้นการเปลี่ยนค่าความจุเป็นค่าของรีแอกแตนซ์ตัวเก็บประจุ ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้มี จุดประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีวิเคราะห์แอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 65%, 70% และ 75% ด้วยหลักการ ของค่าความจุไฟฟ้า

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและตัวอย่างของสารละลายและขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ตัวอย่างของสารละลายแอลกอฮอล์ชนิดไอโซโพรพิลทั้งหมด 3 ยี่ห้อ ดังแสดงในรูปที่ 3.1
2. เครื่องกำเนิดสัญญาณ GW-INSTEK SFG-1013
3. มัลติมิเตอร์สำหรับวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า
4. ปีกเกอร์แก้ว ขนาด 50 มิลลิลิตร
5. ออสซิลโลสโคปสำหรับวัดสัญญาณ DS1052E
6. ไฮโดรมอเตอร์วัดความถ่วงจำเพาะ
7. ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino uno R3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ยี่ห้อที่ 1



ยี่ห้อที่ 2



ยี่ห้อที่ 3

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างและส่วนผสมของสารละลายชนิดไอโซโพรพิลสำหรับการศึกษา

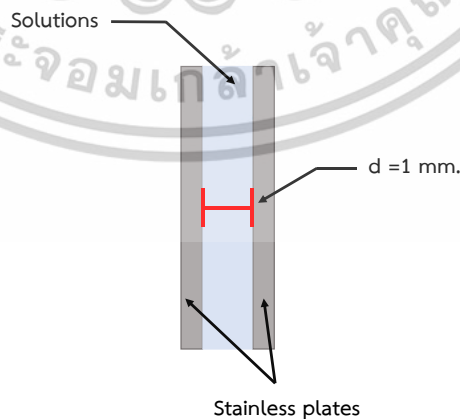
ยี่ห้อที่ 1 ยี่ห้อ Double A Care ที่ความเข้มข้น 75%

ยี่ห้อที่ 2 ยี่ห้อ Latorria ที่ความเข้มข้น 75%

ยี่ห้อที่ 3 ยี่ห้อ Klean&Klean ที่ความเข้มข้น 75%

3.2 ทฤษฎีและการออกแบบ

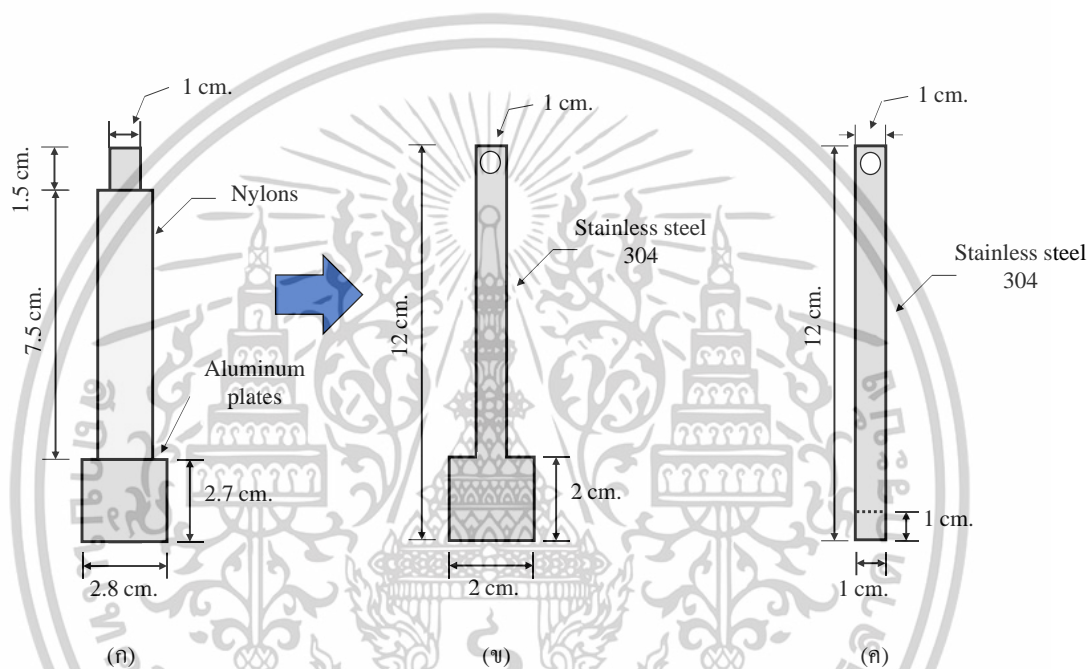
ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของแอลกอฮอล์เป็นสารไดอิเล็กทริกชนิดหนึ่งที่มีผลต่อการแปรผันตรงของค่าความจุ ในการศึกษานี้ได้ทำการพัฒนาโมดูลเซนเซอร์ ทั้งหมด 2 โมดูล ได้รับการออกแบบตามอุดมคติ [9] ลักษณะของตัวเก็บประจุโดยใช้โลหะวางคู่ขนานกัน โดยวางระยะห่างของเพลทเท่ากับ 1 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 คุณลักษณะและรายละเอียดของเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มประสิทธิภาพของเซนเซอร์เพื่อมุ่งเน้นการวัดและวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของไอโซโทปอัลลอยด์สำหรับฆ่าเชื้อ โควิด-19 โดยเฉพาะนั้น เป็นการพัฒนาต่อยอดจากงานวิจัย Design of Capacitive Sensor for Concentration Measurement เพื่อให้มีความเหมาะสมกับตัวแปรมากยิ่งขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.3 (ก) ส่วนงานวิจัยนี้ได้นำเสนอรูปแบบและขนาดพื้นที่หน้าตัดของแผ่นเพลทตัวนำที่มีความแตกต่างจากของเดิม โดยแยกเป็น โมดูล A ที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 4 ตารางเซนติเมตร และ โมดูล B ที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางเซนติเมตร ตามรูปที่ 3.3 (ข) และ (ค) ตามลำดับ โดยใช้วัสดุของแผ่นเพลทเป็นสแตนเลส 304 หนา 3 มิลลิเมตรที่มีการตอบสนองดีกว่าทองแดงที่ให้ความต้านทานลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น



รูปที่ 3.3 โครงสร้างภายในของเซนเซอร์โมดูล

(ก) เซนเซอร์ โมดูล รูปแบบเดิม

(ข) เซนเซอร์ใหม่ (โมดูล A)

(ค) เซนเซอร์ใหม่ (โมดูล B)

3.3 การวัดของระบบ

การทดสอบระบบการวัดที่ประกอบด้วย เซนเซอร์ใหม่และ Signal conditioning ที่กำเนิดจาก Small capacitance to DC converter for capacitive Sensor ดำเนินการโดยกระตุ้นแรงดันไฟฟ้าขนาด 2.5 โวลต์ รูปแบบรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ และปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกับการวัดคือ อุณหภูมิ ความดัน และความชื้นในงานนี้ควบคุมอุณหภูมิแวดล้อม 25 °C สัญญาณเอาต์พุตของระบบจะส่งผ่านไปยังวงจรตรวจจับค่าความจุไฟฟ้าและแปลงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าในรูปของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้า สัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้จะถูกขยายให้มีความเหมาะสมกับการทำงานของระบบ ตามความสัมพันธ์ของตัวแปรในสมการที่ (2.15) โดยพิจารณาสัดส่วนระหว่างแรงดันไฟฟ้า V_o กับค่าความจุไฟฟ้า C_x เป็นหลัก

เมื่อ V_a คือ แรงดันทางด้านเอาต์พุต (V)

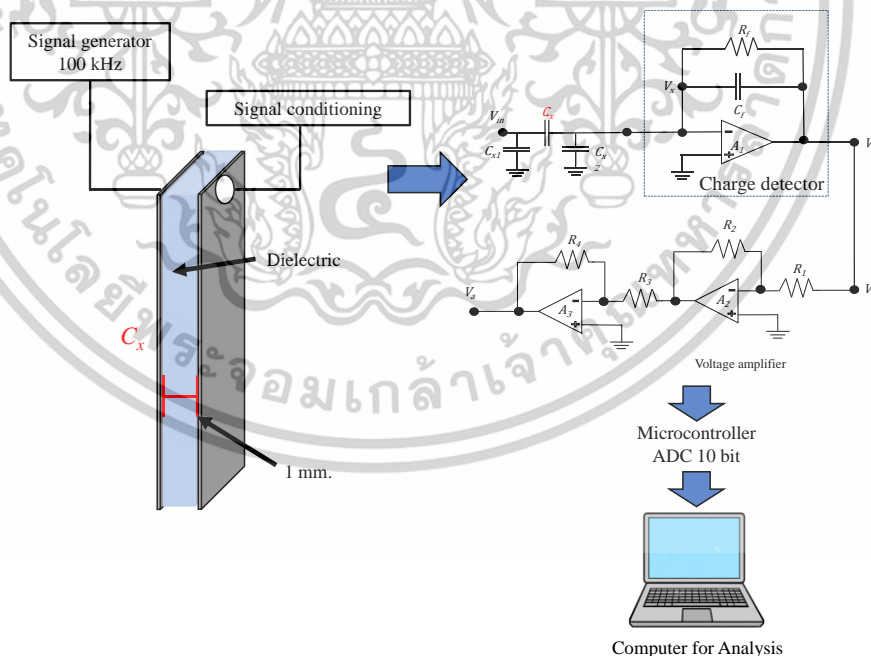
R_1, R_2, R_3 และ R_4 คือตัวต้านทานมีค่า 100 กิโลโอห์ม (k Ω)

C_x คือ ความจุไฟฟ้าของเซนเซอร์โมดูลที่สร้างขึ้น

C_f คือ ความจุไฟฟ้ามีค่า 10 พิโกฟารัด (pF)

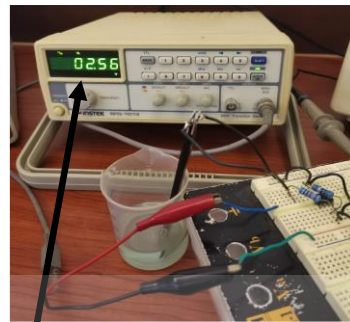
V_{in} คือ เอาต์พุตที่ออกจากเครื่องกำเนิดสัญญาณคลื่นรูปไซน์ที่ความถี่ 100 กิโลเฮิรท์ และแรงดัน 2.5 โวลต์

รูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 แสดงระบบตรวจวัดและวิเคราะห์ความเข้มข้นของไอโซโพลฟิลที่ใช้ร่วมกันระหว่างโมดูลเซนเซอร์ใหม่กับวงจร Small capacitance to DC converter for capacitive Sensor สัญญาณทางไฟฟ้าแบบเรียลไทม์จากเซนเซอร์ใหม่จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล (Digital signal) ด้วยหลักการของ ADC converter ก่อนที่จะเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) และส่งไปสัญญาณไปประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของไอโซโพลฟิลต่อไป

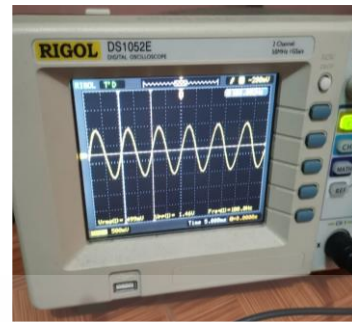


รูปที่ 3.4 ระบบตรวจวัดและวิเคราะห์ความเข้มข้นของไอโซโพลฟิลร่วมกับ Small capacitance to DC converter for capacitive Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

Signal generator
100 kHz ,2.5 Vp-p



New Sensor module (Module A)

(ค)

รูปที่ 3.5 ตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบแผ่นคู่ขนานที่ใช้ในการทดลองจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง จากการสร้างโมดูลเซนเซอร์ที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 การทดลองหลัก แบ่งการทดลองออกเป็น 3 กรณี คือ กรณีแรกเป็นการทดสอบประสิทธิภาพความแม่นยำและความน่าเชื่อถือ เปรียบเทียบระหว่างโมดูล A และ โมดูล B โดยใช้ความเข้มข้นที่ 75% ของไอโซโพรพิลเป็นค่าอ้างอิง ส่วนกรณีที่ 2 เป็นการทดสอบความเข้มข้นที่แตกต่างกันของไอโซโพรพิลที่ความเข้มข้น 65%, 70% และ 75% ตามลำดับ โดยกำหนดกลุ่มตัวอย่างเป็นไอโซโพรพิลยี่ห้อเดียวกันแต่นำมาจากต่างพื้นที่กันจำนวนสามกลุ่มตัวอย่าง และกรณีสุดท้ายเป็นการทดสอบความเข้มข้นคล้ายคลึงกับกรณีที่ 2 แต่คนละยี่ห้อ

4.1 การทดสอบความน่าเชื่อถือ

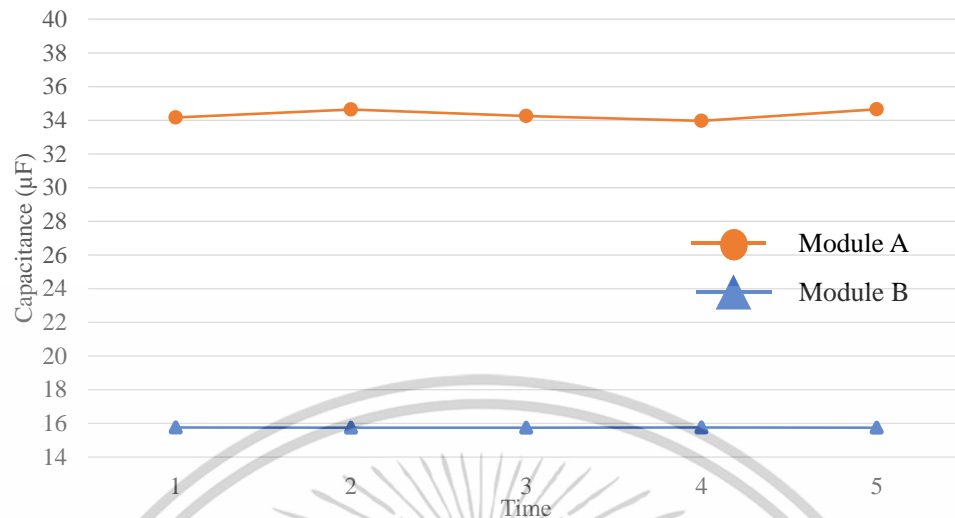
การทดสอบประสิทธิภาพความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของเซนเซอร์โมดูลที่ได้พัฒนาขึ้นทดสอบโดยใช้ไอโซโพรพิลที่มีความเข้มข้นที่ 75% เป็นค่าอ้างอิง และกระตุ้นด้วยความถี่ 100 กิโลเฮิรตซ์ พบว่ามีความไวและผลการสนองของอุปกรณ์ที่ดีทั้งในด้านค่าความจุไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของโมดูล B ได้ผลเป็นที่น่าพอใจมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งระดับแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าประมาณสองเท่าของ โมดูล A ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยของความจุไฟฟ้าจากการทดสอบไอโซโพรพิลที่ความเข้มข้นอ้างอิง 75 %

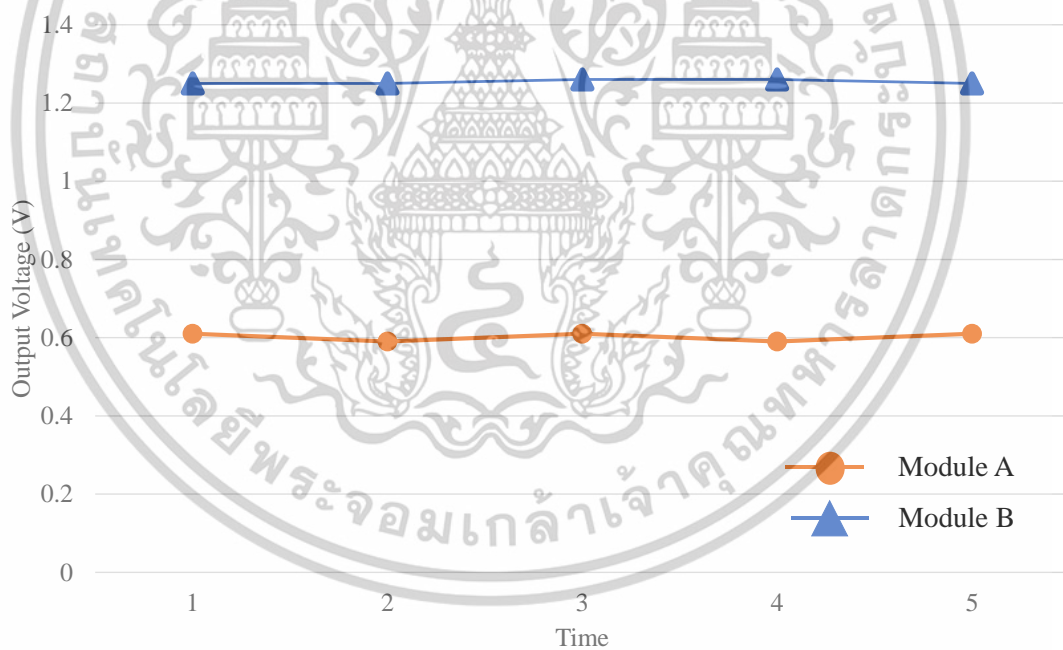
Average of Test	Concentration 75%	
	Module A	Module B
Capacitive	35.8 μF	15.75 μF
Voltage	0.602 VDC	1.254 VDC

แสดงดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 เป็นค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบที่ได้จากความสามารถในการซ้ำค่าเดิมจำนวน 5 ครั้ง พบว่าโมดูล A ให้ความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าความจุไฟฟ้า 4.73% ส่วนโมดูล B ให้ค่าความคลาดเคลื่อน 2.72% เมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดแรงดันไฟฟ้าและพบว่า โมดูล A และ โมดูล B มีความคลาดเคลื่อน 3.72% และ 1.04% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ความจุไฟฟ้าระหว่าง โมดูล A และ โมดูล B

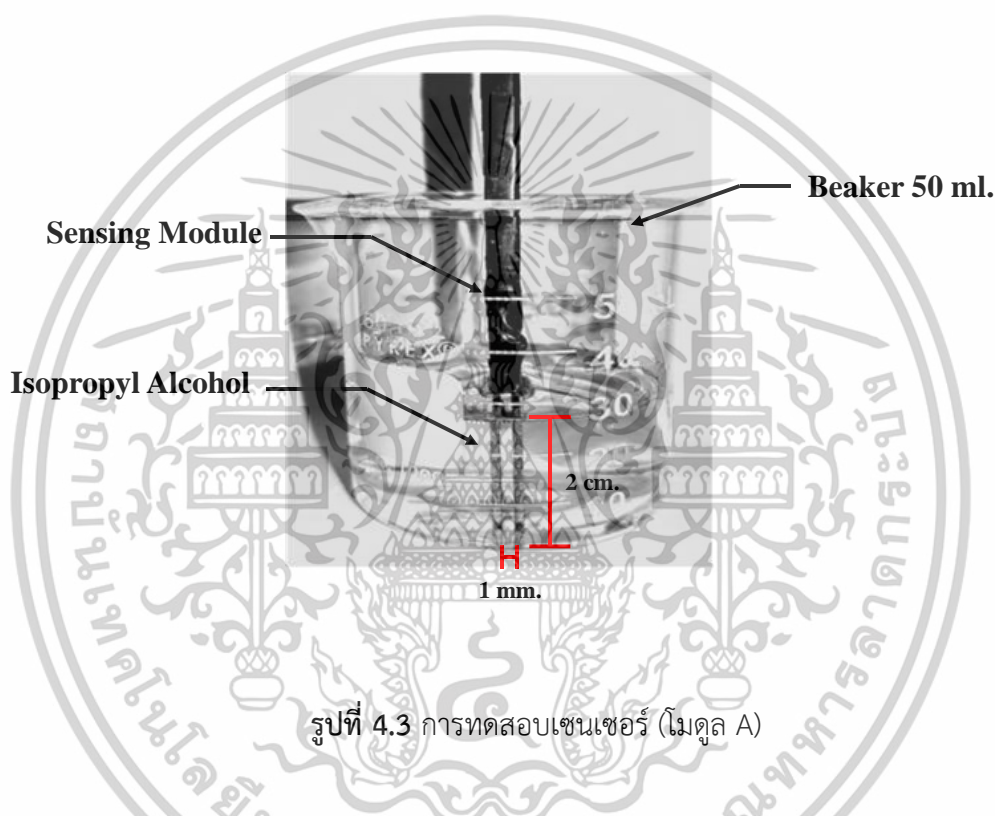


รูปที่ 4.2 แรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต ระหว่าง โมดูล A และ โมดูล B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบความเข้มข้นของกลุ่มตัวอย่าง

การทดสอบไอโซโพรพิลความความเข้มข้นแตกต่างกันประกอบด้วย 65%, 70% และ 75% จากกลุ่มตัวอย่าง จำนวนสามกลุ่มตัวอย่างโดยใช้ โมดูล B ซึ่งมีความแม่นยำและน่าเชื่อถือมากกว่ามาใช้เป็นอุปกรณ์อ้างอิง พบว่าผลที่ได้จากการทดสอบมีความสอดคล้องกันระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้ากับความเข้มข้นของไอโซโพรพิล รวมถึงมีความสามารถแยกขีดระหว่างปริมาณตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน ทำให้สามารถแยกแยะความเข้มข้นในระดับที่แตกต่างกันได้อีกทั้งยังมีความต่อเนื่องในลักษณะที่เป็นเชิงเส้นโดยแสดงดังรูปที่ 4.3 แสดงการทดลองเมื่อทดสอบเซนเซอร์ใหม่โมดูล A ด้วยความเข้มข้นที่ 65%, 70% และ 75%



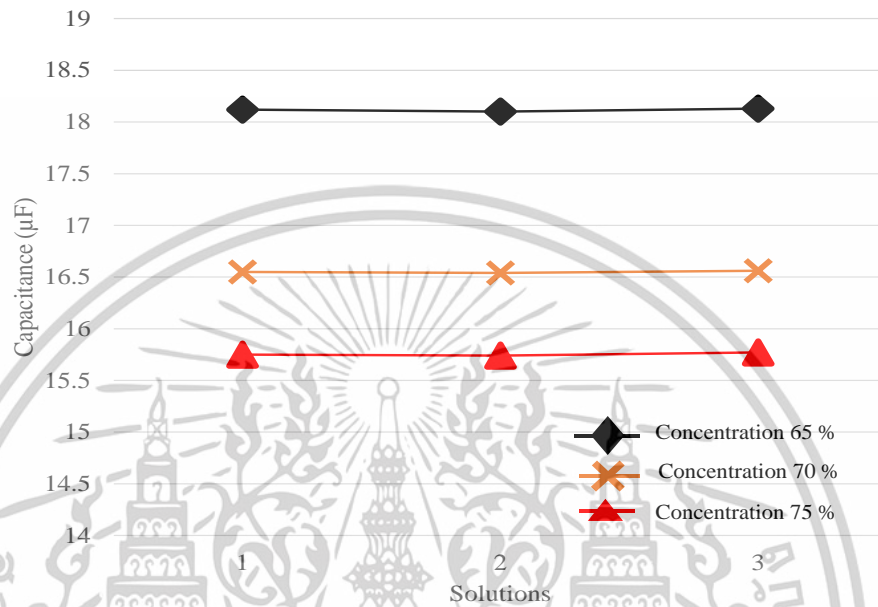
รูปที่ 4.3 การทดสอบเซนเซอร์ (โมดูล A)

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบไอโซโพรพิลที่ความเข้มข้นแตกต่างกันจากสามกลุ่มตัวอย่าง

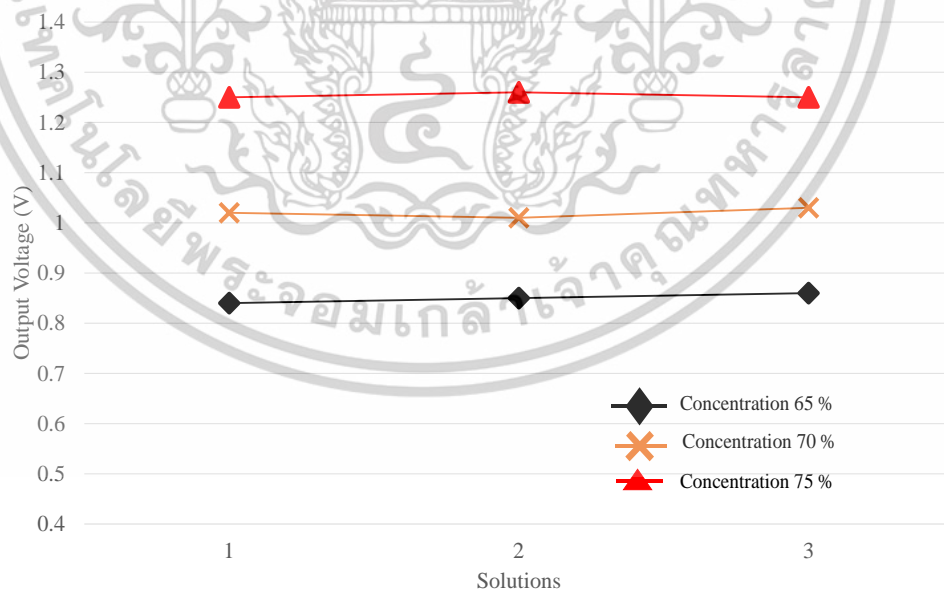
Concentration	Solution 1		Solution 2		Solution 3	
	Capacitive (μF)	Voltage (V)	Capacitive (μF)	Voltage (V)	Capacitive (μF)	Voltage (V)
65%	18.12	0.84	18.10	0.85	18.13	0.86
70%	16.55	1.02	16.54	1.01	16.56	1.03
75%	15.75	1.25	15.74	1.26	15.77	1.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงดังรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 แสดงผลการใช้เซนเซอร์ใหม่โมดูล B ทดสอบวัดความเข้มข้นที่แตกต่างกันของไอโซโพรพิลจากสามกลุ่มตัวอย่างจากผลการทดสอบพบว่าเซนเซอร์โมดูลที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานร่วมกับ Small capacitance to DC converter for capacitive sensor ได้อย่างมีประสิทธิภาพในด้านของความมีเสถียรภาพ แม่นยำและมีความสามารถในการซ้ำค่าเดิม



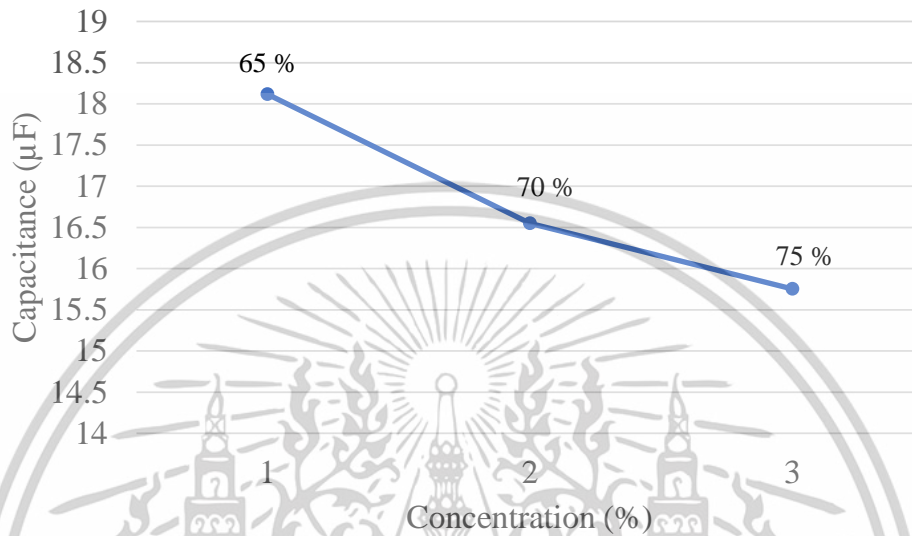
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบระหว่างความจุไฟฟ้า และความเข้มข้นที่ 65%, 70% และ 75%



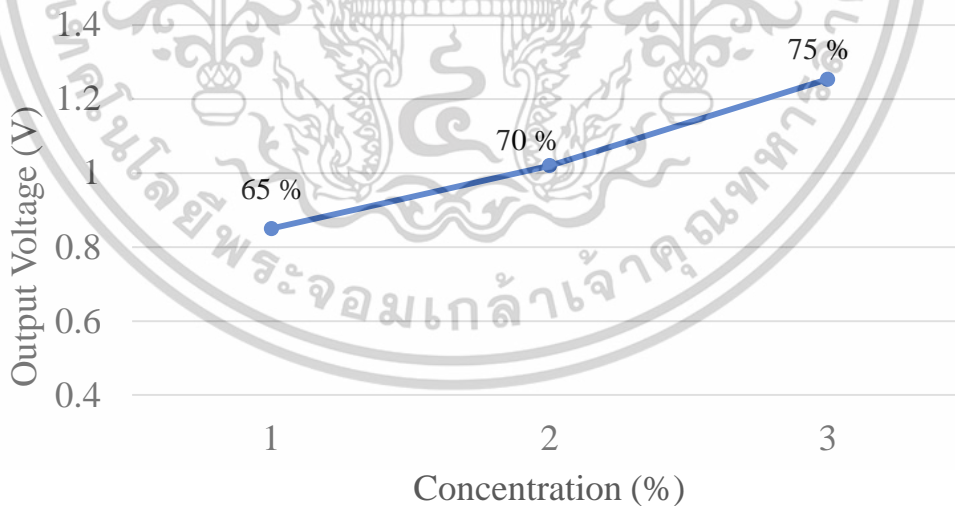
รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบระหว่างแรงดันไฟฟ้า และความเข้มข้นที่ 65%, 70% และ 75%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของไอโซโพรพิลมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าไดอิเล็กทริกที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความจุไฟฟ้าของเซนเซอร์โมดูล ซึ่งในที่นี้จะเป็นส่วนผกผัน แสดงดังรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าไอโซโพรพิลที่มีความเข้มข้นมากขึ้น ค่าความจุไฟฟ้าจะลดน้อยลงแต่ในทางกลับกันค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าสูงขึ้นเป็นส่วนโดยตรงกับความเข้มข้น



รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

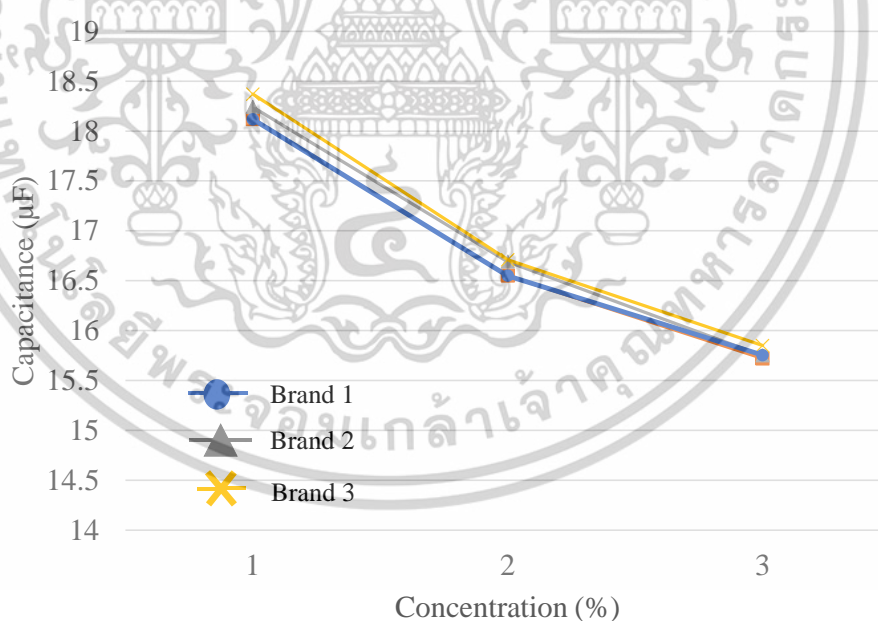
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบความเข้มข้นของกลุ่มตัวอย่างที่ต่างยี่ห้อ

การทดสอบไอโซโพรพิลความเข้มข้นแตกต่างกันประกอบด้วย 65%, 70% และ 75% จากกลุ่มตัวอย่างจำนวนสามกลุ่มตัวอย่างที่ยี่ห้อแตกต่างกันโดยใช้เซนเซอร์ใหม่ โมดูล B ซึ่งมีความแม่นยำและน่าเชื่อถือมากกว่ามาใช้เป็นอุปกรณ์อ้างอิง พบว่าผลที่ได้จากการทดสอบของความเข้มข้นของสามยี่ห้อที่คือค่าความจุและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกันแนวเส้นของกราฟไปในทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และ รูปที่ 4.9

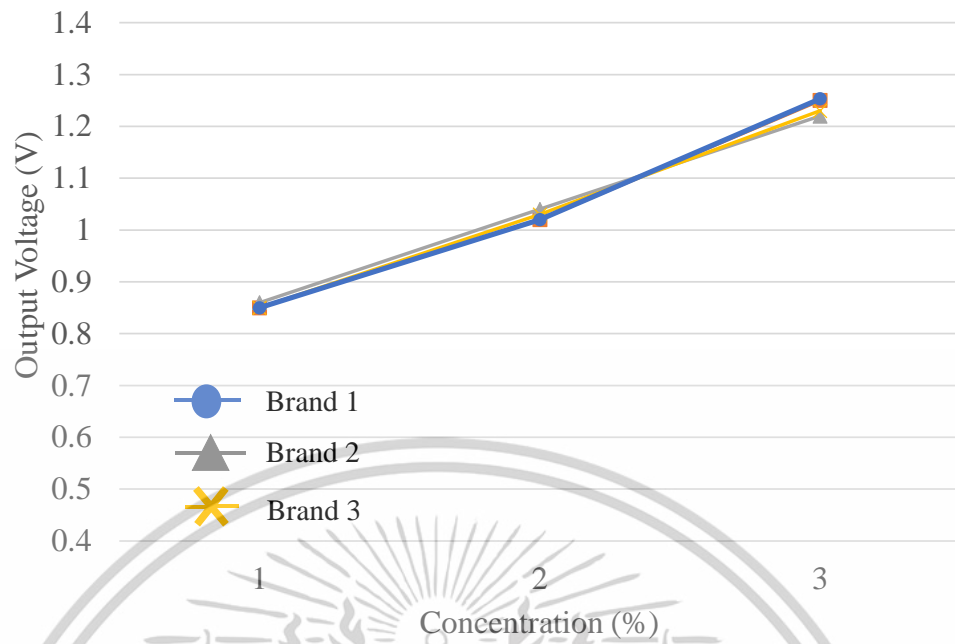
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบไอโซโพรพิลที่ความเข้มข้นของยี่ห้อที่แตกต่างกันจากสามกลุ่มตัวอย่าง

Concentration	Brand 1		Brand 2		Brand 3	
	Capacitive (μF)	Voltage (V)	Capacitive (μF)	Voltage (V)	Capacitive (μF)	Voltage (V)
65%	18.12	0.85	18.24	0.86	18.37	0.85
70%	16.55	1.02	16.69	1.04	16.71	1.03
75%	15.72	1.25	15.75	1.22	15.85	1.23



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นที่ยี่ห้อแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นที่ยี่ห้อแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้นำเสนอการพัฒนาโมดูลการตรวจจับใหม่โดยอ้างอิงจากการเปลี่ยนแปลงความจุโครงสร้างทางกายภาพของโมดูลที่พัฒนาเป็นแผ่นสื่อกระแสไฟฟ้าแบบขนานที่มีเงื่อนไขสัญญาณในตัวแปลงความจุขนาดเล็กเป็นตัวแปลงไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับวงจรเซ็นเซอร์ตัวเก็บประจุ พบว่าโมดูลตรวจจับนี้สามารถใช้วัดความเข้มข้นของเอทิลแอลกอฮอล์หรือไอโซโพรพิลที่มีอยู่ในตลาดประเทศไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การใช้โครงสร้างแผ่นขนานที่มีพื้นที่หน้าตัดขนาดเล็กยังพบว่ามีควมน่าเชื่อถือสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโมดูลการตรวจจับที่ใช้วัสดุนำไฟฟ้าหน้าตัดขนาดใหญ่ซึ่งมีข้อผิดพลาดน้อยกว่า 2.72% นอกจากนี้ยังพบว่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้นั้นเป็นเส้นตรงและเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นที่เลือกของเอทิลแอลกอฮอล์ชนิดไอโซโพรพิล

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิทยานิพนธ์นี้ใช้ของการเปลี่ยนแปลงค่าความจุที่สร้างโมดูลจากแผ่นสแตนเลสที่วางแบบขนานกันโดยการต่อกับวงจรแปลงค่าความจุเป็นแรงดันไฟฟ้านั้นยังพบว่ามีสัญญาณรบกวนอยู่บ้าง

และการศึกษาการตอบสนองของระบบนี้ควรมีตัวอย่างในการทดสอบเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่หลากหลายมากกว่านี้ รวมไปถึงควรมีการนำเสนอชนิดของแอลกอฮอล์ที่สามารถฆ่าเชื้อไวรัสโควิด 19 ได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] คำแนะนำในการทำความสะอาดทำลายและฆ่าเชื้อโรคในสถานการณ์การระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) กรมอนามัยกระทรวงสาธารณสุข [Online]. Available: <https://covid19.anamai.moph.go.th>.
- [2] H. Kumar, N. Nisam, A. Kulkarni, V. Dhingra, K. K. Sing, “Lamellar grating Interferometer FTIR spectroscopy and its applications: A review”, Proceedings of the 15th IEEE International Conference on Nanotechnology, July 27-30, 2015, Rome, Italy.
- [3] Kuehne I., Frey A., Eckstein G., Schmid U. and Secidel H., “Design and analysis of a Capacitive Vibration-to-Electrical Energy Converter with Built-in Voltage.” Solid-State Device Research Conference 2006. (ESSDERC 2006), pp.138-141, 2006.
- [4] J. Khogaphirak, Thepjit C. Wandee Petchmaneelumka “Small Capacitance to DC Converter for Capacitive Sensor”, ITC-CSCC International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications 2010, Pattaya, Thailand, July 4-7, 2010.
- [5] Worawut Makcharoen, Jerapong Tontrakoon, Prasak Thavornyutikarn, David P. Cann and Tawee Tunkasiri, “Dielectric properties and Microstructure of $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{Mn}_x\text{O}_{12}$ ceramics”, IEEE International Symposium on the Applications of Ferroelectrics (ISAF 2008 Conference), Santa Fe, New Mexico, USA, 24-27 February 2008.
- [6] รศ.ดร. เพ็ญศรี ทองนพเนื้อ. “เคมีวิเคราะห์เชิงไฟฟ้า”. กรุงเทพฯ :โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [7] นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์. (2555). “หลักการตรวจวิเคราะห์น้ำทางเคมี”. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [8] ศิวกร ศอกจะบก. การวิเคราะห์ความนำของเหลวโดยใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์บนพื้นฐานทางคุณสมบัติของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2560
- [9] N. Thong-un, W. Sriratana, L. Tanachaikhan, "Design of Capacitive Sensor for Concentration Measurement", ICE-ICASE International Joint Conference 2006, Bexco, Busan, Korea, October 18-21, 2006.
- [10] Singh V., "Equivalent forms of single-operational transconductance amplifier RC oscillators with application to grounded-capacitor oscillators." Circuit Devices & Systems IET, pp.123-130,210.
- [11] National Semiconductor Corporation, 2006. "LM555 Timer." [Online]. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm555.pdf>.
- [12] Chana Leepattaraongpan, Naritchaphan Penpondee, Putapon Pengpad, Arckom Srihapat, Ekalak Chaowicharat, Charndet Hruanun, Amporn Poyai, 2011, "The Low Power 3D Magnetotransistor Based on CMOS Technology", IEEE SENSORS 2011 CONFERENCE, 299, 500-503

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. โปรแกรมที่ใช้ในการอ่านค่าความจุไฟฟ้า

```

const int OUT_PIN = A2;

const int IN_PIN = A0;

const float IN_STRAY_CAP_TO_GND = 24.48;

const float IN_CAP_TO_GND = IN_STRAY_CAP_TO_GND;

const float R_PULLUP = 34.8;

const int MAX_ADC_VALUE = 1023;

void setup(){

  pinMode(OUT_PIN, OUTPUT);

  pinMode(IN_PIN, OUTPUT);

  Serial.begin(9600);

}

void loop(){

  pinMode(IN_PIN, INPUT);

  digitalWrite(OUT_PIN, HIGH);

  int val = analogRead(IN_PIN);

  digitalWrite(OUT_PIN, LOW);

  if (val < 1000){

    pinMode(IN_PIN, OUTPUT);

    float capacitance = (float)val * IN_CAP_TO_GND / (float)(MAX_ADC_VALUE -
val);

    Serial.print(F("Capacitance Value = "));

    Serial.print(capacitance, 3);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.print(F(" pF ("));

Serial.print(val);

Serial.println(F(" "));

}

else{

    pinMode(IN_PIN, OUTPUT);

    delay(1);

    pinMode(OUT_PIN, INPUT_PULLUP);

    unsigned long u1 = micros();

    unsigned long t;

    int digVal;

    do{

        digVal = digitalRead(OUT_PIN);

        unsigned long u2 = micros();

        t = u2 > u1 ? u2 - u1 : u1 - u2;

    } while ((digVal < 1) && (t < 400000L));

    pinMode(OUT_PIN, INPUT);

    val = analogRead(OUT_PIN);

    digitalWrite(IN_PIN, HIGH);

    int dischargeTime = (int)(t / 1000L) * 5;

    delay(dischargeTime);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

pinMode(OUT_PIN, OUTPUT);

digitalWrite(OUT_PIN, LOW);

digitalWrite(IN_PIN, LOW);

float capacitance = -(float)t / R_PULLUP / log(1.0 - (float)val /
(float)MAX_ADC_VALUE);

Serial.print(F(" = "));

if (capacitance > 1000.0){

    Serial.print(capacitance / 1000.0, 2);

    Serial.print(F(" uF"));
}
else{
    Serial.print(capacitance, 2);
    Serial.print(F(" nF"));
}

Serial.print(F(" ("));

Serial.print(digVal == 1 ? F("Normal") : F("HighVal"));

Serial.print(F(", t= "));

Serial.print(t);

Serial.print(F(" us, ADC= "));

Serial.print(val);

Serial.println(F(")"));

while (millis() % 1000 != 0);

}

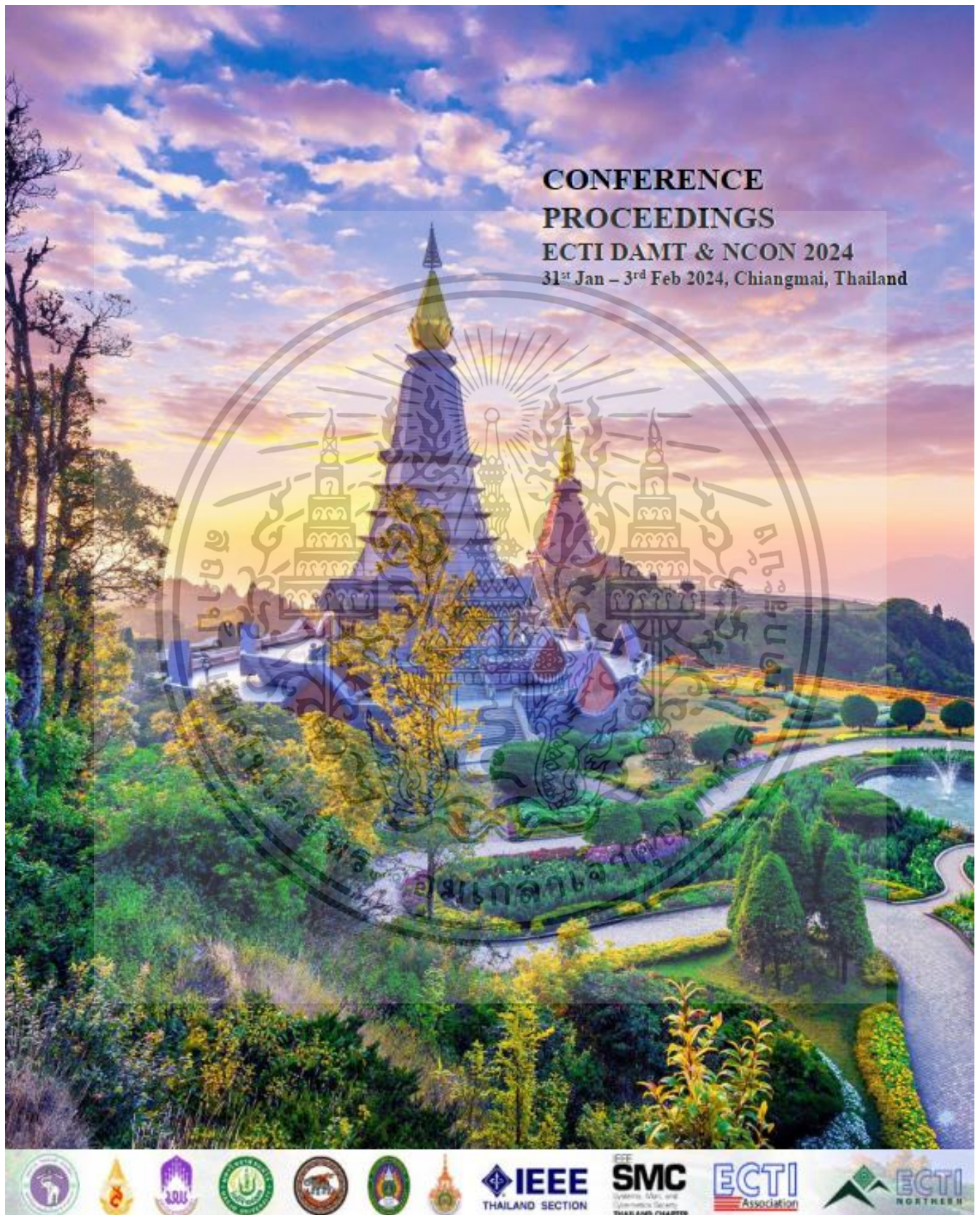
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Development of a Capacitive Sensing Module to Detect the Concentration of Isopropyl Alcohol for Covid-19 Disinfection by Using Small Capacitance to DC Converter

1st Witsarut Sriratana
School of Engineering, King
Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang, Bangkok, 105250,
Thailand
witsarut.sr@kmitl.ac.th

2nd Manasnit Fajaree
School of Engineering, King
Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang, Bangkok, 105250,
Thailand
62601252@kmitl.ac.th

3rd Lerdlekha Sriratana
Department of Industrial
Engineering, Faculty of
Engineering, Ramkhamhaeng
University Bangkok, 10240,
Thailand
lerdlekha_s@ru.ac.th

4th Sutham Satthamsakul
School of Engineering, King
Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang, Bangkok, 105250,
Thailand
sutham.sa@kmitl.ac.th

Abstract—This paper presents the development of a sensing module for analyzing the concentration of disinfectant alcohol commercially available in Thailand during the Covid-19 epidemic situation to ensure the ingredients and percentage concentration by focusing on simplicity, low cost with reliable performance. Under the basic physical structure of the capacitance change [1]-[5], it consists of a New Sensor Module developed to fully interface with the small capacitance to DC converter for capacitive sensor [2] model. Inside the sensing structure, there were 2 modules of metal conductors. Each conductor was 3 mm thick, placed in parallel with a fixed distance between the module of 1 mm. The cross-sectional areas of the plates of those two modules were different in order to compare the efficiency of the detector developed. The cross-sectional areas of the plates of Module A and B were 1 cm² and 4 cm², respectively. Experiments were performed with 3 concentrations of alcohol, 65%, 70% and 75%, to enhance the concentration detecting performance of the sensing module developed. A signal conditioning was generated from a small capacitance to DC converter for capacitive detection with a frequency of 100 kHz, which was the most suitable frequency for exciting the capacitance change which was the capacitive reactance of the alcohol used in this study. From experiments, it was found that the sensing module with a small cross-sectional conductive material would provide more accurate results in terms of linearity and repeatability. The errors were less than 2.72% compared to the module with a large cross-sectional conductor material which would have an error up to 4.73%.

Keywords— Sensing module, Isopropanol, Covid-19, Capacitance Introduction (Heading 1)

INTRODUCTION

From the current situation of the Covid-19 epidemic, washing hands frequently with clean water and soap alone may not be enough in daily lives. It is necessary to use alcohol spray to clean the hands and exposure risk areas. Normally, the concentration of alcohol that is effective in killing viruses is between 60-90 % V/V. However, if the concentration is lower than 60% V/V, it could be less effective. On the other hand, if the alcohol concentration is greater than 90% V/V [3],

it could cause the alcohol to evaporate rapidly and reduce the ability to kill the virus. In general, either Ethyl alcohol or Isopropanol can separately used or mixed. However, alcohol-based cleaning products must be reliable to ensure its effectiveness and safety.

At present, testing the alcohol concentration can apply many different principles. One of them is the use of Fourier transform infrared (FTIR), a technique used to analyze functional groups of substances by relying on the absorption of infrared waves, causing molecular vibrations from the refraction of infrared rays through dense crystals and a higher refractive index to the sample solution. Preliminary determination of alcohol concentration in hand sanitizer using the FTIR-ATR technique is a convenient, fast, and easy method with quite accurate test results. It can also reduce the rate of evaporation of the alcohol during the preparation of the sample testing solution [4]. However, the disadvantage of this technique is that it would have a high cost. In this study, a sensing module for analyzing the concentration of disinfectant alcohol was developed by using Covid-19 alcohol disinfection as a case study. The capacitive sensor principle was applied with consideration of low cost, ease of use, and high reliability.

Research Principles

Alcohol concentration is a type of dielectric that affects the capacitance variation as given in Eq. (1). This research developed an ideal sensing module with the capacitance variation influenced by the structure of parallel placement of conductive material plates [5].

$$C_x = \frac{KA\epsilon_0}{d} \quad (1)$$

where

C_x is the capacitance of the conductor (F).

ϵ_0 is the permittivity of free space = 8.854×10^{-12} (F/m)

A is the cross-sectional area of the conduction plate (m²).

d is the distance between the conduction plates (m).

K is the dielectric constant that varies for each type of dielectric.

In this study, the sensor efficiency improvement focusing on measuring and analyzing the concentration of isopropyl alcohol specifically for disinfecting Covid-19 was further developed from the research on Design of Capacitive Sensor for Concentration Measurement [1] to suite the selected variables. Fig. 1 (a) presents the design and cross-sectional area of the conductor plate developed. It was divided into Module A with a cross-sectional area of 4 cm² and Module B with a cross-sectional area of 1. cm² according to Figures 1(b) and 1(c), respectively. using the material of the plate is 304 stainless steel, 3 mm thick, which has a better response than copper that reduces resistance when the temperature rises [6].

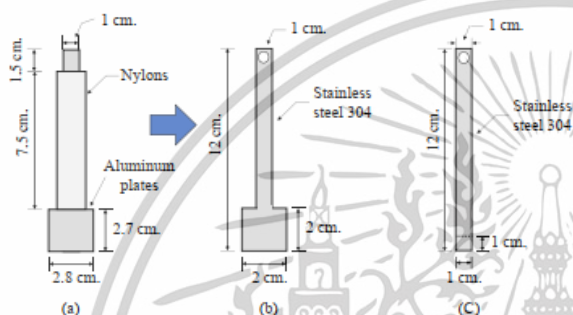


Fig. 1 The internal structure of the Sensing module. (a) Original design of Sensing module (b) New Sensing module (Module A) (c) New Sensing module (Module B)

Measurement of System

The measurement system consisted of the New Sensing Module and signal conditioner developed from a small capacitance to DC converter for capacitive sensor. The tests were performed by excitation voltage of 2.5 V, 100 kHz sine wave format under an ambient temperature (25 °C). Output signal of the system was passed to the capacitance detection circuit and converted into electrical voltage signal. This output signal was then amplified to suit the operation of the system according to the relationship of the variables shown in Eq. (2) which was mainly considered the ratio between voltage (Va) and capacitance (Cx).

$$V_a = -\left(\frac{R_2 R_4}{R_1 R_3}\right) \left(\frac{C_x}{C_f}\right) V_{in} \tag{2}$$

where

Va is the output voltage (V).

R1, R2, R3, and R4 are 100kΩ.

Cx is the capacitance generated by the module (pF).

Cf is 10 (pF)

Vin is the output from the sinusoidal oscillator circuit at a frequency of 100kHz and a voltage of 2.5 V.

Figure 2 shows the Isopropyl alcohol concentration measuring and analyzing system used between the New Sensing module and the small capacitance of DC converter for capacitive sensing circuit. Real time electrical signals from the New Sensing module were converted into digital form by ADC converter

before entering Microcontroller and sent for signal processing by computer to analyze the concentration of isopropanol.

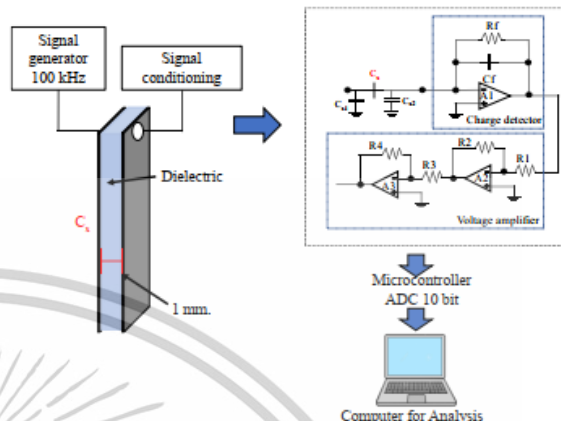


Fig. 2. A set of an Isopropanol concentration measuring and analyzing system connected with a small capacitance to DC converter for capacitive sensor.

Experiment and Results

In this paper, the experiments were divided into 3 parts. The first part was a test of efficiency, accuracy, and reliability. The results from two modules using 75% concentration of isopropanol as a reference value were compared. The second part was a test of different isopropanol concentrations, namely 65%, 70% and 75%, respectively. The three samples were the same brand of isopropanol but brought from different areas. The last part was a concentration test under the same conditions same as the second one but with different brands.

4.1 (Reliability Test)

Efficiency, accuracy, and reliability of the developed sensing module were tested by using Isopropanol concentration at 75% as a reference value and then stimulated with a frequency of 100 kHz. The results showed that the sensitivity and the response of the device in terms of electrical capacity. The voltage of Module B was very satisfactory as the voltage levels were approximately twice that of Module A as shown in Table 1.

Table 1. Mean value of capacitance from Isopropanol test at 75 % reference concentration.

Average of Test	Concentration 75%	
	Model A	Model B
Capacitive	35.8 μF	15.75 μF
Voltage	0.602 VDC	1.254 VDC

Figure 3 and Figure 4 illustrate the averages of the test results obtained from the 5-time repeatability. It was found that Module A gave a capacitance measurement error of 4.73%, while Module B gave an error of 2.72%. When considering the error in measuring voltage, it was found that

an error of Module A and Module B was 3.72% and 1.04%, respectively.

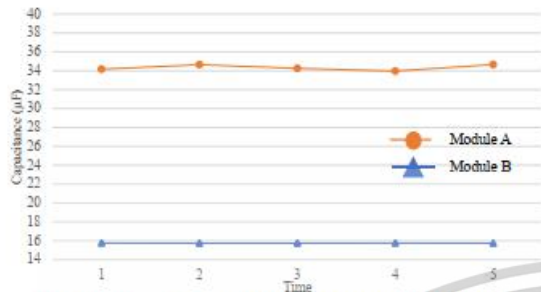


Fig 3. Capacitance between Module A and Module B.

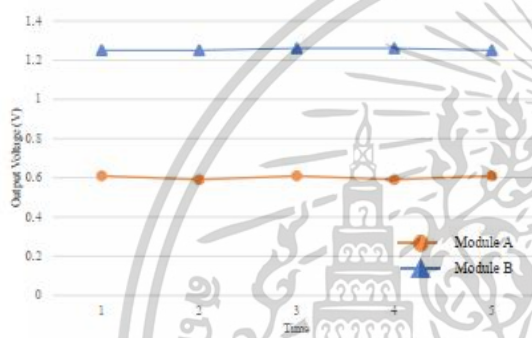


Fig. 4 Output voltage between Module A and Module B

4.2 A Test of Isopropanol Concentration under the Same Brand Conditions

Isopropanol was tested at concentrations of 65%, 70% and 75% on three samples using Module B as a reference device due to its more accuracy and reliability. It was found that the results obtained from the test were consistent between the output voltage and the concentration of isopropanol, including the ability to clearly distinguish between variable quantities. This makes it possible to distinguish different levels of concentration as well as provides a continuous linearity.

Figure 5 and Figure 6 show the experiments when testing the New Sensor module (Module A) with concentrations of 65%, 70% and 75% and connected to a capacitance-to-voltage conversion system.

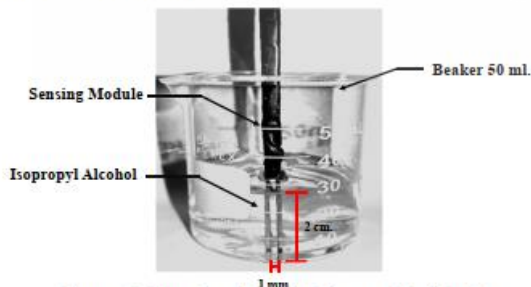


Figure 5. New Sensing module test (Module A)

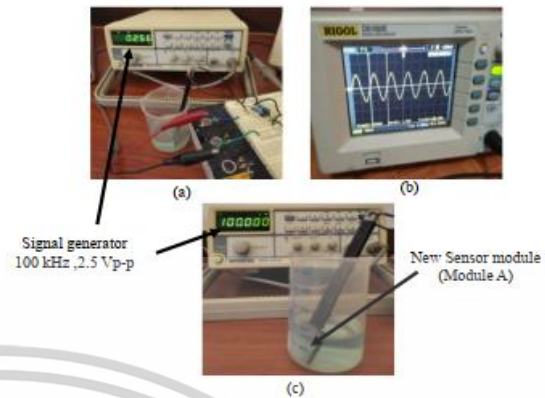


Figure 6. New Sensing module test (Module A) by connected to a capacitance-to-voltage conversion system.

Table 2. Isopropanol test results at different concentrations from three samples.

Concentration	Solution 1		Solution 2		Solution 3	
	Capacitive (µF)	Voltage (V)	Capacitive (µF)	Voltage (V)	Capacitive (µF)	Voltage (V)
65%	18.12	0.84	18.10	0.85	18.13	0.86
70%	16.35	1.02	16.54	1.01	16.56	1.03
75%	15.75	1.25	15.74	1.26	15.77	1.26

Figure 7 and Figure 8 show the results of using the New Sensing module (Module B) to measure different concentrations of isopropanol from three samples. From the test results, it was found that the developed Sensing module can be effectively used with small capacitance to DC converter for capacitive sensor by providing stability, accuracy, and repeatability.

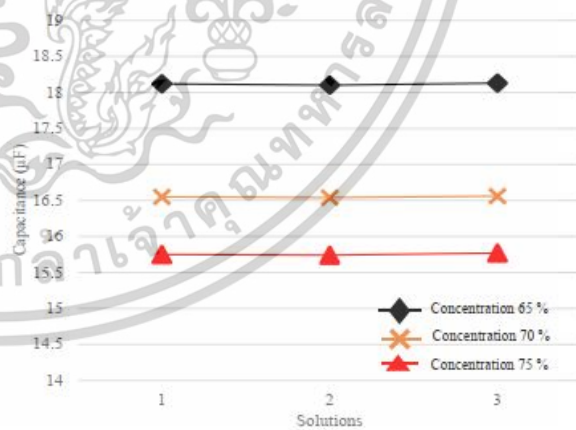


Fig 7. Comparison between electrical capacity and concentrations at 60%, 70% and 75%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

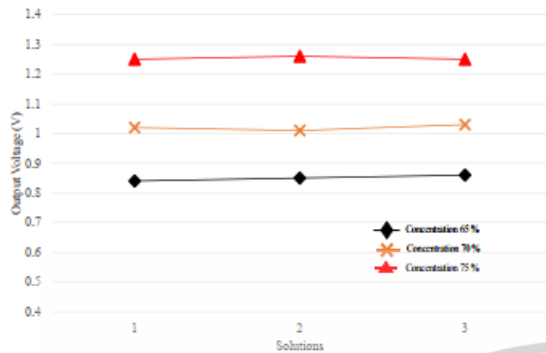


Fig 8. Comparison between voltages, and concentrations at 65%, 70% and 75%.

The concentration of isopropanol is inversely proportional related to the dielectric change in the capacitance of the sensing module. Figure 9 and Figure 10 show that the higher concentrations of isopropanol cause the decrease of capacitance. On the other hand, the voltage would increase in direct proportion to the concentration.

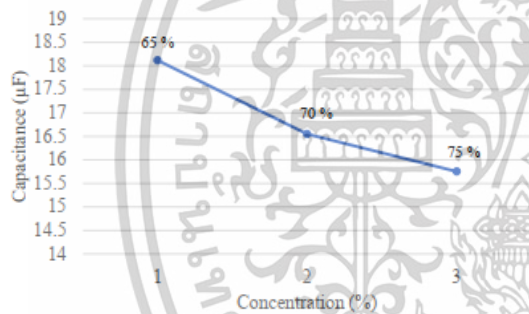


Fig. 9. Relationship of capacitance changes and concentrations

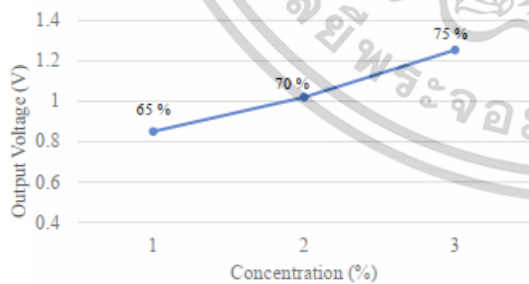


Fig 10. Relationship of voltage changes and concentrations

4.3 A Test of Isopropanol Concentration under Different Brand Conditions

Isopropanol was tested at different concentrations, namely 60%, 70% and 75%, of samples from three different brands using Module B as a reference device due to its more accuracy and reliability than Module A. Considering the results from previous sections, it was found

that the results from the Isopropanol concentration test of all three brands by considering the capacitance and voltage were similar and consistent in the same direction as shown in Figure 11 and Figure 12.

Table 3 The results of the isopropanol concentration test from three different brands.

Concentration	Brand 1		Brand 2		Brand 3	
	Capacitive (µF)	Voltage (V)	Capacitive (µF)	Voltage (V)	Capacitive (µF)	Voltage (V)
65%	18.12	0.84	18.10	0.85	18.13	0.86
70%	16.55	1.02	16.54	1.01	16.56	1.03
75%	15.75	1.25	15.74	1.26	15.77	1.26

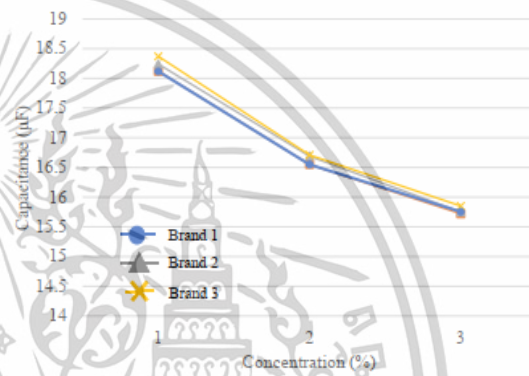


Fig 11. Relationship of Capacitance changes and concentrations of different brands.

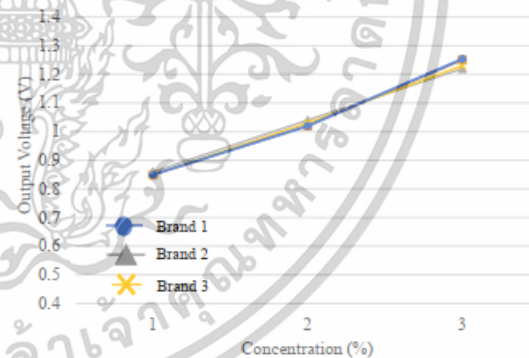


Fig 12. Relationship of voltage changes and concentrations of different brands.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Conclusion

This study presents the development of New Sensing module based on capacitance change. The physical structure of the module developed was a parallel conductive plate with a signal conditional in the Small capacitance to DC converter for capacitive sensor circuit. It is found that this sensing module can be used to measure the concentration of Ethyl alcohol or Isopropanol available in the Thai market efficiently. Moreover, the use of a parallel plate structure with a small cross-sectional area was observed higher reliability compared to a sensing module that uses a large-cross-sectional conductive material with an error less than 2.72%. It was also found that the measured voltage was linear and directly proportional to the selected concentrations of Ethyl alcohol.

Reference

- [1] Natee Thong-un, Witsarut Sriratana, Lerdlekha Tanachaikhan, "Design of Capacitive Sensor for Concentration Measurement", SICE-ICASE International Joint Conference 2006, Bexco, Busan, Korea, October 18-21, 2006.
- [2] Juthamas Khogaphirak, Thepjit Cheypoca, Wandee Petchmancelumka "Small Capacitance To DC Converter For Capacitive Sensor", ITC-CSCC International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications 2010, Pattaya Thailand, July 4-7, 2010.
- [3] Wutipong Panitsettakorn, Pornthipa Ongkunaruk "The Improvement of Supply Chain Agility during COVID-19: a Case Study of Alcohol Sanitizer in Thailand" 2021 IEEE 8th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA), Online, April 23-28, 2021
- [4] Hardeep Kumar, Nabeel Nisam, Anisha Kulkarni, Vinayak Dhingra, Kokosing "Lamellar grating Interferometer FTIR spectroscopy and its applications: A review" Proceedings of the 15th IEEE International Conference on Nanotechnology, 27-30 July 2015, Rome, Italy
- [5] Salami Ifedapo Abdullahi, Mohamed Hadi Habaebi*, and Noreha Abdul Malik "Capacitive Electrode Sensor :Design and Testing" 2018 7th International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE 2018), 19-20 September 2018, Kuala Lumpur, Malaysia
- [6] Lerdlekha Tanachaikhan; Witsarut Sriratana "Analysis of capacitive variation using parallel-plates method" 2009 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 05-08 July 2009, Seoul, Korea (South)
- [7] G.R. Govinda Raju, "Dielectric Constant of Binary of Liquids." IEEE Proceeding, October 2000.
- [8] Lijun Xu, Alfred P. Weber, Gerhard Kasper, "Capacitance-base concentration measurement for gas-particle system with low particles loading", Flow Measurement and Instrumentation, No. 11, p. 185-194, 2000.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายมนัสนิตย์ ฝ่ายจारी
 วัน เดือน ปี เกิด 1 กันยายน 2537
 ที่อยู่ 146/334 ซอยเจริญนคร 22 แขวงบางลำภูล่าง เขตคลองสาน
 จังหวัดกรุงเทพมหานครฯ 10600
 เบอร์ติดต่อและอีเมลล์ +66 98-116-6745, manasnit6@gmail.com
 62601252@kmitl.ac.th
 ประวัติการศึกษา 2559 วิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์
 สาขาวิชาเอก เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ความชำนาญด้าน เซนเซอร์และทรานส์ดิวเซอร์

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] Witsarut Sriratana, **Manasnit Faijaree**, Lerdlekha Sriratana, Sutham Satthamsakul
 “Development of a Capacitive Sensing Module to Detect the Concentration of
 Isopropyl Alcohol for Covid-19 Disinfection Using Small Capacitance to DC
 Converter” The 9th International Conference on Digital Arts, Media, and
 Technology (DAMT) and 7th ECTI Northern Section Conference on Electrical,
 Electronics, Computer and Telecommunications Engineering (NCON), Chiangmai,
 Thailand, pp.102-106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้