



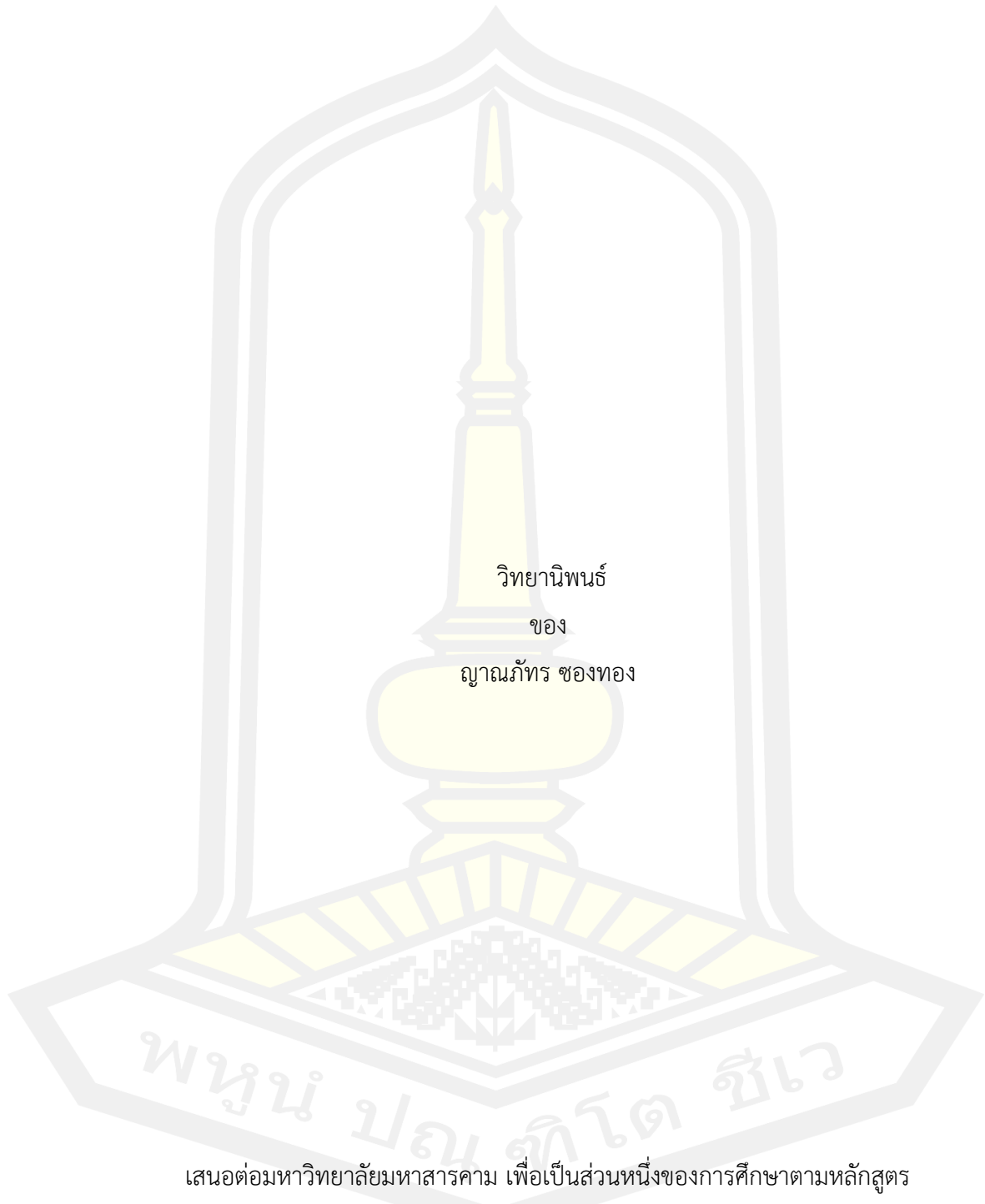
การประยุกต์ใช้ตัวรับรู้ระดับน้ำของสราวุฒิในอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

วิทยานิพนธ์
ของ
ญาณภัทร ซองทอง

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ธันวาคม 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การประยุกต์ใช้ตัวรับรู้ระดับน้ำของสราวุฒิในอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

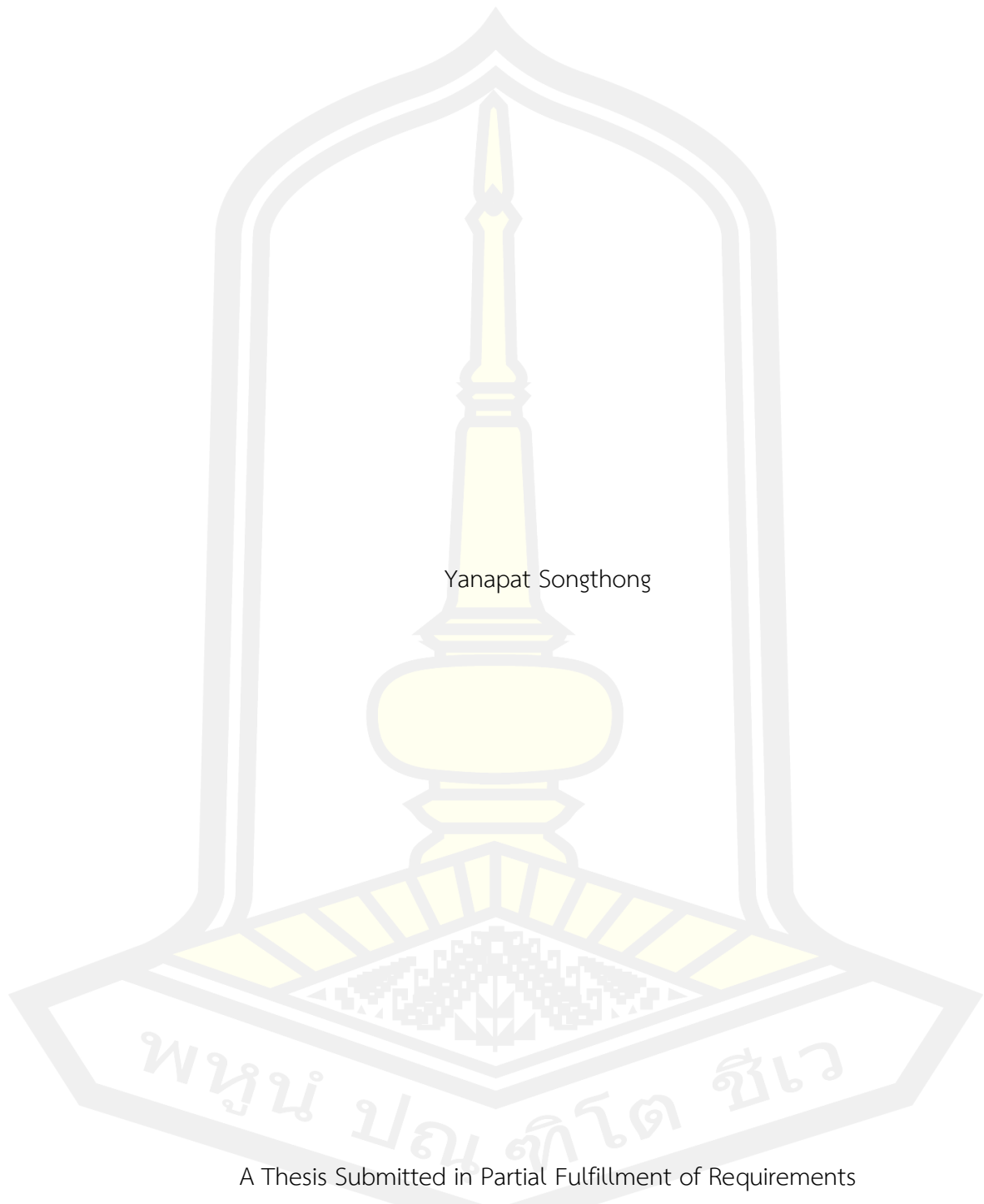


เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ธันวาคม 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

The application of sarawut,s water level sensor on Internet of Things



Yanapat Songthong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering (Electrical and Computer Engineering)

December 2022

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายญาณภัทร ชองทอง
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รศ. ดร. อนันต์ เครือทรัพย์ถาวร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผศ. ดร. ณ์รัฐฉวี สุวรรณทา)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. นิวัตร อังควิเศษฐพันธ์)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. ชัยยงค์ เสริมผล)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัย
มหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การประยุกต์ใช้ตัวรับรู้ระดับน้ำของสราวุฒิในอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง		
ผู้วิจัย	ญาณภัทร ชองทอง		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐวุฒิ สุวรรณทา		
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2565

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการการประยุกต์ใช้ตัวรับรู้สราวุฒิสำหรับวัดระดับน้ำด้วยการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับตรวจจับระดับน้ำเพื่อทำการพยากรณ์ระดับน้ำด้วยตัวรับรู้สราวุฒิ โดยทำการศึกษาการใช้งานตัวรับรู้สราวุฒิที่มีความสัมพันธ์ตามความถี่และระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อการใช้งานบนเครือข่ายไร้สายและการจัดการที่สะดวกและทำการแจ้งเตือนภัยระดับน้ำ ซึ่งทำการทดสอบตัวรับรู้กับระดับน้ำตั้งแต่ 0-20 เซนติเมตร ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าคาปาซิเตอร์ที่อ่านผ่าน ระบบ IoT โดยใช้ตัวรับรู้ โมเดล A1 เมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นจาก 1 เซนติเมตร ถึง 20 เซนติเมตร ค่าคาปาซิเตอร์เพิ่มขึ้นจาก 3.75 ไมโครฟารัด เพิ่มขึ้นเป็น 6.74 ไมโครฟารัด และความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและค่าคาปาซิเตอร์เชิงเส้น เท่ากับ $0.0937x + 3.4246$ ที่ระดับ R-Square เท่ากับ 0.5931 และผลการวัดด้วยระบบ IoT โดยใช้ตัวรับรู้สราวุฒิโมเดล B1 ค่าคาปาซิเตอร์ลดลงจาก 580 ไมโครฟารัด คงเหลือ 446.5 ไมโครฟารัด ความสัมพันธ์เชิงเส้น $y = -5.3842x + 563.83$ ที่ระดับ R-Square เท่ากับ 0.9484 สรุปการพัฒนาตัวรับรู้สราวุฒิสำหรับวัดระดับน้ำร่วมกับระบบ IoT สามารถตรวจจับระดับน้ำเพื่อทำการพยากรณ์ระดับน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถใช้ในการงานอุตสาหกรรม รวมถึงระบบแจ้งเตือน อุทกภัยได้ต่อไป

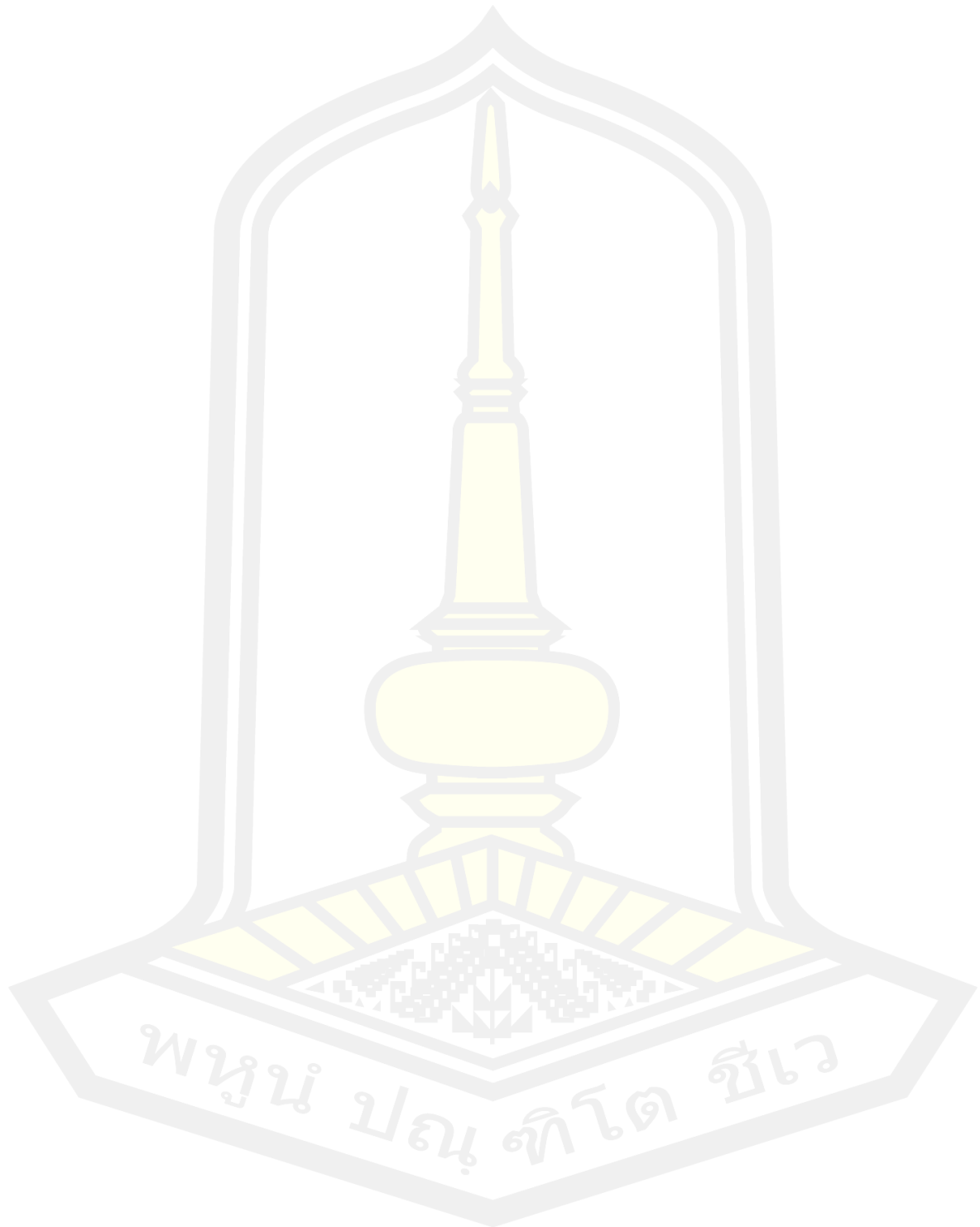
คำสำคัญ : อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง, ตัวรับรู้สราวุฒิ และระดับน้ำ

TITLE	The application of sarawut,s water level sensor on Internet of Things		
AUTHOR	Yanapat Songthong		
ADVISORS	Assistant Professor Nattawoot Suwannata , Ph.D.		
DEGREE	Master of Engineering	MAJOR	Electrical and Computer Engineering
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2022

ABSTRACT

This paper presents the application of the Sarawoot Water Level Sensor with the Internet of Things Water Level Monitoring to perform water level forecasting with the Sarawoot Sensor. It examines the use of frequency-correlated sensors and the Internet of Things for wireless network deployment and convenient management and water level alerts. The sensor was tested with water levels from 0-20 cm. The results were analyzed and analyzed for correlation coefficients and multiple regression analyses. It was found that the correlation between the capacitor values read through the IoT system using the model A1 sensor when the water level increased from 1 cm to 20 cm, the capacitor value increased from 3.75 μF to 6.74 μF . strapping and the relationship between water level and capacitance values as linear equation $0.0937x + 3.4246$ at R-Square level of 0.5931 and IoT measurement results using Sarawoot Model B1 sensor. Paciter decreased from 580 microfarads to 446.5 microfarads, linear relation. $y=-5.3842x+563.83$ at R-Square level of 0.9484 Summary of the development of Sarawoot sensor for water level measurement in combination with IoT system can detect water level to perform water level forecasting effectively and can be used in industry including an alert system the flood continues.

Keyword : internet of things, knowledge and water level, interdigital capacitor



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความรู้และความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งทั้งทางด้านวิชาการและด้านการดำเนินการวิจัยจากบุคคลต่างๆจึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒ สุวรรณทา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำแนะนำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดรวมทั้งช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ เครือทรัพย์ถาวร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำปรึกษา ข้อเสนอแนะ ตลอดจนให้กำลังใจให้ผู้วิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ณัฐพล ไชยดวงศรี ประธานหลักสูตร ให้คำแนะนำการเรียนในหลักสูตร ติดตามนิสิต และคำแนะนำปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล ที่ได้ให้คำแนะนำปรึกษา ข้อเสนอแนะ ตลอดจนให้กำลังใจให้ผู้วิจัยเป็นอย่างดี และคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้คำแนะนำและชี้แนะในการเรียนและให้ความช่วยเหลือด้านวิชาการและด้านวิจัยแก่ผู้วิจัย

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงต่อบิดา มารดา และครอบครัว ที่ได้กำลังใจและให้โอกาสในด้านการศึกษาตลอดมา

ด้วยคุณประโยชน์ที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบคุณงามความดีให้แก่บุคคลดังกล่าวนามข้างต้นและบุคคลที่เกี่ยวข้องยังไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้

ญาณภัทร ชองทอง

พหุบัณฑิต ชีวะ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 สมมุติฐานการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 เครื่องมือที่ใช้.....	3
บทที่ 2	4
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ภัยธรรมชาติ.....	4
2.2 อุทกภัย.....	5
2.3 ตัวรับรู้ระดับน้ำ.....	5
2.4 ตัวรับรู้อินเทอร์เน็ตจิตอลคาปาซิเตอร์.....	9
2.5 บอร์ด Node mcu ESP8266.....	15
2.6 Blynk Application.....	16

2.7 อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Think, IoT).....	17
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
บทที่ 3	25
วิธีดำเนินการวิจัย	25
3.1 การออกแบบตัวรับรู้อินเทอร์เน็ตจิตอลของสรรพสิ่ง	25
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	29
3.3 วิธีการสร้างและการทดลอง.....	32
บทที่ 4	38
ผลการวิจัยและการอภิปราย.....	38
4.1 ผลการทดลองการวัดค่าความจุทางไฟฟ้าของโมเดล A1	38
4.2 ผลการทดลองการวัดค่าความจุทางไฟฟ้าของโมเดล B1	41
4.3 ผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคาปาซิเตอร์ที่อ่านผ่าน ระบบ IOT	43
บทที่ 5	45
สรุปผลและข้อเสนอแนะ	45
5.1 สรุปและอภิปรายผล	45
5.2 ข้อเสนอแนะ	46
บรรณานุกรม.....	47
ประวัติผู้เขียน.....	50

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 ตัวรับรู้ระดับของเหลวแบบ (Hydrostatic Pressure).....	6
ภาพที่ 2 การวัดระดับของเหลวแบบจับเวลา (Time of Fight) (นวกัฑรา และ ทวีพล, 2555).....	7
ภาพที่ 3 การวัดระดับของเหลวแบบจับเวลา (Time of Fight)	7
ภาพที่ 4 การวัดระดับของเหลวแบบ (Float system)	8
ภาพที่ 5 ภาพประกอบ 2.3 การวัดระดับของเหลวแบบ (Float system).....	8
ภาพที่ 6 ภาพประกอบ 2.4 การวัดระดับของเหลวด้วยการวัดความไฟฟ้า (สรารุฒิ บุญเกิดรัมย์ และคณะ, 2018).....	9
ภาพที่ 7 การสะสมประจุไฟฟ้าบนแผ่นตัวนำแบบขนาน	9
ภาพที่ 8 ทิศทางของสนามไฟฟ้า	11
ภาพที่ 9 รูปแบบของการเกิดสนามไฟฟ้าเมื่อแยกตัวนำออกจากการในแนวระนาบ.....	12
ภาพที่ 10 วงจรสมือนอินเตอร์ดิจิตอลคาปาซิเตอร์.....	12
ภาพที่ 11 สนามไฟฟ้าที่เกิดการสะสมประจุ.....	12
ภาพที่ 12 ตัวรับรู้ตัวเก็บประจุแบบอินเตอร์ดิจิตอล (สรารุฒิ บุญเกิดรัมย์ และคณะ, 2018).....	13
ภาพที่ 13 (ก) ตัวเก็บประจุต่ออนุกรม (ข) ตัวเก็บประจุสมมูล.....	14
ภาพที่ 14 (ก) ตัวเก็บประจุต่อขนาน (ข) ตัวเก็บประจุสมมูล	15
ภาพที่ 15 อุปกรณ์ ESP8266 และโครงสร้างของขา	15
ภาพที่ 16 การทำงานของ Blynk Application (Serikul et al., 2018).....	16
ภาพที่ 18 รายงานผลการสำรวจพฤติกรรมผู้ใช้อินเทอร์เน็ตในประเทศไทย ปี 2563 (KEMP, 2020)	20
ภาพที่ 19 ภาพด้านบนของโครงสร้างของตัวรับรู้ระดับน้ำตัวเก็บประจุอินเตอร์ดิจิตอล	25
ภาพที่ 20 ภาพแนวตัดโครงสร้างของตัวรับรู้ระดับน้ำตัวเก็บประจุอินเตอร์ดิจิตอลของสรารุฒิ (N.angkawisitpan, 2012) (Sarawoot Boonkirdram, 2015).....	26

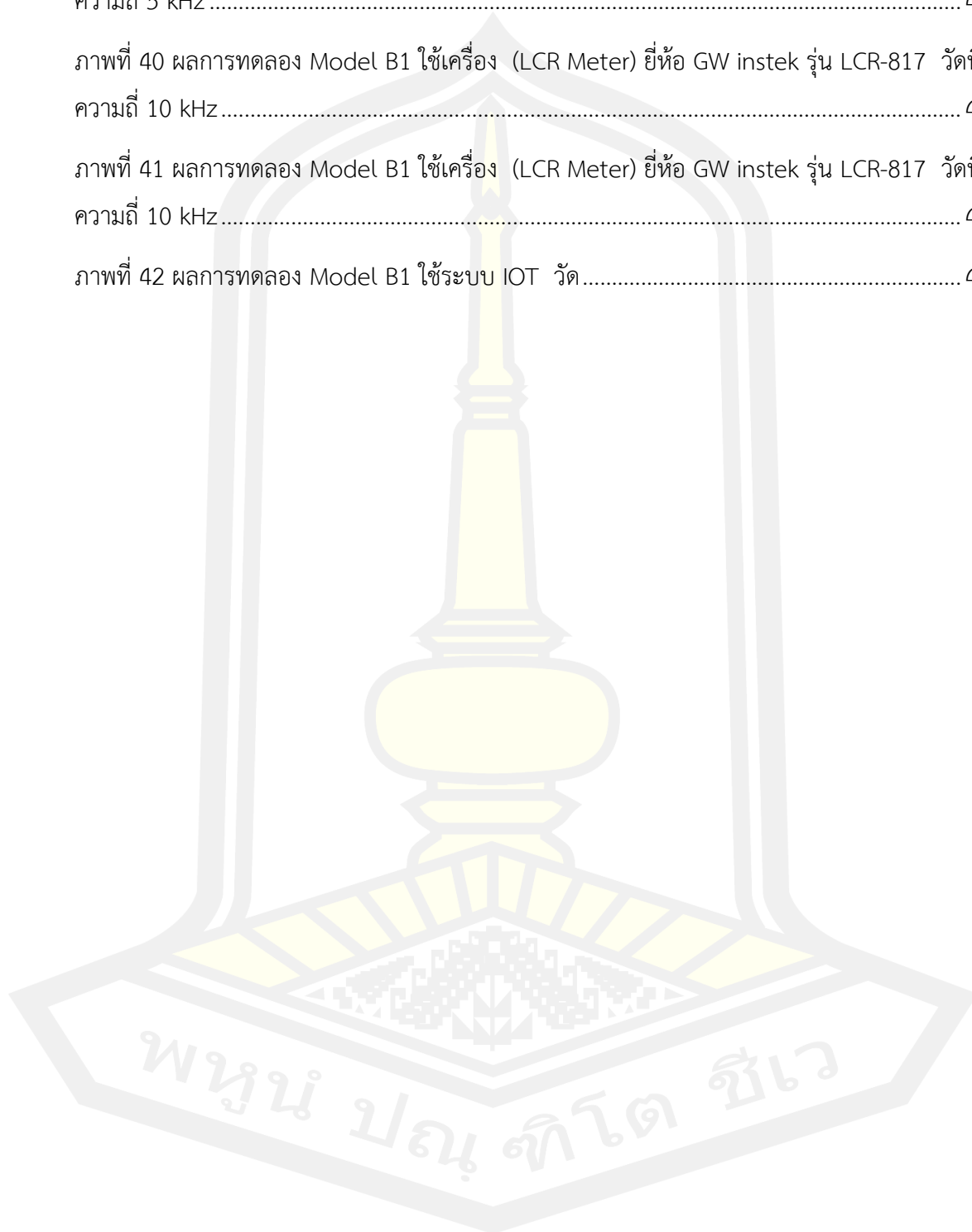
ภาพที่ 21 โมเดล A1	28
ภาพที่ 22 โมเดล A1	28
ภาพที่ 23 โมเดล B1	29
ภาพที่ 24 โมเดล B1	29
ภาพที่ 25 แผ่นทองแดง	29
ภาพที่ 26 ตัวแผ่นวัสดุฐานรอง	30
ภาพที่ 27 เครื่องวัดค่าการเหนี่ยวนำ ค่าการเก็บประจุ และค่าความต้าน (LCR Meter).....	31
ภาพที่ 28 Model A1.....	32
ภาพที่ 29 Model B1	32
ภาพที่ 30 การทดสอบตัวรับรู้ระดับดับน้ำของสราวุฒิด้วยเครื่องวัด LCR	33
ภาพที่ 31 แผนภาพการทำงานของระบบวัดระดับน้ำด้วยตัวรับรู้ระดับน้ำตัวเก็บประจุอินเตอร์ดิจิตอลของสราวุฒิเชื่อมต่อกับระบบ IoT.....	34
ภาพที่ 32 ส่วนประกอบของระบบวัดระดับน้ำด้วยตัวรับรู้ระดับน้ำตัวเก็บประจุอินเตอร์ดิจิตอลของสราวุฒิเชื่อมต่อกับระบบ IoT	35
ภาพที่ 33 ระบบการแสดงผลและแจ้งเตือนระบบวัดระดับน้ำด้วยตัวรับรู้ระดับน้ำตัวเก็บประจุอินเตอร์ดิจิตอลของสราวุฒิเชื่อมต่อกับระบบ IoT.....	36
ภาพที่ 34 การติดตั้งระบบวัดต้นแบบระบบวัดระดับน้ำด้วยตัวรับรู้ระดับน้ำตัวเก็บประจุอินเตอร์ดิจิตอลของสราวุฒิเชื่อมต่อกับระบบ IoT.....	36
ภาพที่ 35 ผลการทดลอง Model A1 ใช้เครื่อง (LCR Meter) ยี่ห้อ GW instek รุ่น LCR-817 วัดที่ความถี่ 1 kHz	38
ภาพที่ 36 ผลการทดลอง Model A1 ใช้เครื่อง (LCR Meter) ยี่ห้อ GW instek รุ่น LCR-817 วัดที่ความถี่ 5 kHz	39
ภาพที่ 37 ผลการทดลอง Model A1 ใช้เครื่อง (LCR Meter) ยี่ห้อ GW instek รุ่น LCR-817 วัดที่ความถี่ 10 kHz.....	40
ภาพที่ 38 ผลการทดลอง Model B1 ใช้เครื่อง (LCR Meter) ยี่ห้อ GW instek รุ่น LCR-817 วัดที่ความถี่ 1 kHz	41

ภาพที่ 39 ผลการทดลอง Model B1 ใช้เครื่อง (LCR Meter) ยี่ห้อ GW instek รุ่น LCR-817 วัดที่
ความถี่ 5 kHz 41

ภาพที่ 40 ผลการทดลอง Model B1 ใช้เครื่อง (LCR Meter) ยี่ห้อ GW instek รุ่น LCR-817 วัดที่
ความถี่ 10 kHz 42

ภาพที่ 41 ผลการทดลอง Model B1 ใช้เครื่อง (LCR Meter) ยี่ห้อ GW instek รุ่น LCR-817 วัดที่
ความถี่ 10 kHz 43

ภาพที่ 42 ผลการทดลอง Model B1 ใช้ระบบ IOT วัด 43



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ปัญหาภัยแล้งเป็นภัยธรรมชาติที่นำความเสียหายทางเศรษฐกิจและสังคมทั้งทางด้านการขาดแคลนน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค และด้านผลิตผลทางการเกษตรที่ต้องพึ่งพาแหล่งน้ำประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกสินค้าเกษตรและผลิตภัณฑ์แปรรูปทางการเกษตรที่สำคัญในตลาดโลกภัยแล้งจึงมีผลกระทบโดยตรงต่อการลดลงของผลผลิตทางการเกษตรของไทยและมีผลกระทบทางอ้อมได้แก่การอพยพที่ที่ดินทำกินละทิ้งที่อยู่อาศัยไปหางานทำในเมือง ซึ่งเป็นที่ประจักษ์แล้วว่าได้ก่อให้เกิดปัญหาทั้งทางด้านเศรษฐกิจสังคมและวัฒนธรรมตามมาทุกภัย(กรมอุตุนิยมวิทยา, 2561) ในประเทศไทย เกิดจากปริมาณน้ำฝนที่มากกว่าปกติและมีปัจจัยที่เป็นสาเหตุให้เกิดภัยอีก หลายประการ เช่น ระบบการหมุนเวียนของบรรยากาศ การเปลี่ยนแปลงส่วนผสมของบรรยากาศ การเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ระหว่างบรรยากาศกับน้ำทะเลหรือมหาสมุทร ดังนั้น การเกิดอุทกภัยจึงมิใช่เกิดจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งเพียงอย่างเดียว ซึ่งศูนย์สารสนเทศสิ่งแวดล้อมได้ประมวลสาเหตุของการเกิดภัยแล้งไว้ ดังนี้ (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2554)

ในการวัดระดับน้ำได้มีการนำเสนอจากนักวิจัยต่างทั้งในประเทศและต่างประเทศซึ่งจะนำเสนอการตรวจสอบและควบคุมระดับน้ำแบบเรียลไทม์โดยใช้ระบบ IoT และเทคโนโลยีคลาวด์คอมพิวเตอร์ในการป้องกันการสูญเสียน้ำในถังเก็บหรือบ่อพักน้ำโดยใช้เซ็นเซอร์อัลตราโซนิกและนักวิจัย Jan และคณะ(Jan, Min-Allah, Saeed, Iqbal, & Ahmed, 2022) นำเสนอเทคนิคการวัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกพบว่ามีปริมาณความจุไฟฟ้าแปรผันตรงกับค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนไปและแปรผันกับระยะห่างของแผ่นโลหะ นักวิจัยทศพล มานะศรี และคณะ(ทศพล มานะศรี และ สมชาติ โสณะแสง 2563) นำเสนอการวัดระดับน้ำด้วยตัวรับรู้แบบสายส่งเชื่อมต่อคู่ขนานไมโครสตริปและนักวิจัยที่นำเสนอการวัดระดับน้ำที่จะกล่าวถึง นักวิจัย Obma, J และคณะ(Obma & Sa-ngiamvibool, 2020) ได้นำเสนอระบบ Agri-IoT สำหรับแอปพลิเคชัน (application) สำหรับสมาร์ทฟาร์ม (smart farm) ซึ่งสนับสนุนการส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ ในรูปแบบของ IoT เพื่อการประมวลผลที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการจัดการระบบสมาร์ทฟาร์ม นักวิจัย Supriya, K. E และคณะ(Supriya & lowast Nbsp, 2020) เสนอผลการศึกษาพบว่าความจุของน้ำที่เติมน้ำนมนดิบที่มีค่าต่ำกว่าน้ำนมนดิบที่ไม่ได้เติมน้ำนอกจากนั้นยังมีโอกาสพัฒนาระบบตรวจจับต้นทุ่นดำที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ นักวิจัย Sonasang และคณะ (Sonasang, Srisawat, Phromloungsri, Rattanangam, & Angkawisittpan, 2019) นำเสนอการวัดระดับน้ำด้วยตัวรับรู้ความจุไฟฟ้าแบบแผ่นขนานร่วมกับวงจรเรโซแนนซ์ ตัวรับรู้ แบบ

ความจุไฟฟ้าแบบแผ่นขนานร่วมกับวงจรเรโซแนนซ์ นักวิจัยทศพล มานะศรี และคณะ (ทศพล มานะศรี และ ดนุพัฒน์ ดวงมาลัย, 2560) นำเสนอการตรวจสอบการเจือปนของน้ำในน้ำนมดิบ โดยใช้เซนเซอร์แบบอินเทอร์ดิจิตอล คาปาซิเตอร์ที่ความถี่ 1 kHz และ 100 kHz แรงดันไฟฟ้า ที่ 1 โวลต์หาการเจือปนของน้ำนมดิบปริมาตร 500 มล ค่าทดลองสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ $R^2=0.999$ และ $R^2=0.9992$ โดยใช้ความถี่ 1kHz และ 100 kHz ตามลำดับ มีความเป็นไปได้ที่จะใช้เซนเซอร์แบบอินเทอร์ดิจิตอล คาปาซิเตอร์ในการตรวจการเจือปนน้ำ นักวิจัยสรารุณี บุญเกิดรัมย์ และคณะ(สรารุณี บุญเกิดรัมย์ และ ถนอมศักดิ์ วงศ์มีแก้ว, 2018)นำเสนอระบบฝ้าตรวจวัดระดับน้ำโดยใช้หัววัดอัจฉริยะแบบอินเทอร์ดิจิตอลคาปาซิทีฟอิเล็กทรอนิกส์ นักวิจัยสรารุณี บุญเกิดรัมย์ และ คณะ (สรารุณี บุญเกิดรัมย์ และ ถนอมศักดิ์ วงศ์มีแก้ว, 2017)ได้นำเสนอการสร้างตัวรับรู้เก็บประจุระหว่างตัวเก็บประจุแบบไม่มีพื้นผิว (Non-substrate) สำหรับการใช้ระบบ IoT งานด้านการเตือนภัยหรือแจ้งข้อมูลระดับน้ำ ได้มีนักวิจัยนำเสนอเทคนิค นักวิจัย Andreas Kamilaris และคณะ (Kamilaris, Gao, Prenafeta-Boldu, & Ali, 2016)นำเสนอเทคนิคการสร้างตัวรับรู้ระดับน้ำแบบ IDC ใหม่คือเพิ่มขั้ว n ของ IDC เพิ่มขึ้นอีก 1 ขา การตอบสนองเชิงเส้นพร้อมสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) อยู่ระหว่าง 0.9782 ถึง 0.9984 นักวิจัย Phimpisan และคณะ(Songgrod Phimpisan, 2015) นำเสนอเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยใช้ตัวรับรู้ อินเทอร์ดิจิตอลคาร์ปาซิเตอร์ แบบโค้งงอเพื่อวัดกรดที่ต่างกัน เปรียบเทียบกับโภชนาการอาหาร สามารถนำไปคำนวณค่าไขมันและค่าโปรตีนของหมูได้ นักวิจัย Boonkirdram และคณะ (สรารุณี บุญเกิดรัมย์ และ ถนอมศักดิ์ วงศ์มีแก้ว, 2017)ได้นำเสนอการพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำแบบไร้สายโดยใช้ชิปปี วัดคุณภาพน้ำ โดยส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย นักวิจัย Niwat and et all(Angkawisitpan & Manasri, 2012) นำเสนอเทคนิคการวัดระดับน้ำด้วยตัวรับรู้แบบความจุไฟฟ้าทรงกระบอกสองชั้นร่วมกับวงจรกรองความถี่สูงผ่าน นักวิจัยฉัตรินันท์ ตะพานน้อย(ฉัตรินันท์ ตะพานน้อย, 2555) นำเสนอวิธีการวัดปริมาณน้ำตาลที่ผสมกับน้ำ โดยใช้หัววัดอินเทอร์ดิจิตอลคาร์ปาซิเตอร์ (Interdigital capacitor) เพื่อตรวจวัดค่าความจุไฟฟ้า ปริมาณที่วัดเท่ากัน แต่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลและความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 10% ถึง 50% ที่ความถี่ 200kHz จะมีความแตกต่างกันของแรงดันที่วัดได้ นักวิจัย(Chuang, 2011) นำเสนอการตรวจวัดโดยการวัดระดับน้ำของศุกร และคณะ (ศุกร กตาทิการกุล และ คณดิถเจษฎ์พัฒนานนท์, 2554)นำเสนอวิธีการวัดปริมาณน้ำตาลที่ผสมกับน้ำ โดยใช้หัววัดอินเทอร์ดิจิตอลคาร์ปาซิเตอร์ (Interdigital capacitor) เพื่อตรวจวัดค่าความจุไฟฟ้า ปริมาณที่วัดเท่ากัน แต่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลและความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 10% ถึง 50% ที่ความถี่ 200kHz จะมีความแตกต่างกันของแรงดันที่วัดได้ นักวิจัย(Chuang, 2011) นำเสนอเทคโนโลยี IoT

เพื่อใช้ในการตรวจสอบระดับน้ำ ตรวจจับการรั่วไหลและการเติมน้ำ แบบเรียลไทม์ ผ่านเว็บไซต์ หรือ สมาร์ทโฟน ตามลำดับ

จากงานวิจัยที่นำเสนอผ่านมานั้นได้มีการพัฒนาตัวรับรู้อินเตอร์ดิจิตอลสำหรับวัดระดับน้ำ แต่อย่างไรก็ได้มีการนำเสนอการใช้ IDC ร่วมกับระบบ IoT วิทยานิพนธ์จะนำเสนอการพัฒนาระบบ ตรวจจับระดับน้ำเพื่อทำการพยากรณ์ระดับน้ำด้วยตัวรับรู้สราวุฒิ (Sarawoot Boonkirdram, 2015) ได้พร้อมนำเสนอประสิทธิภาพของระบบตรวจระดับน้ำด้วย IoT ซึ่งจะนำเสนอในบทต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อพัฒนาระบบตรวจวัดระดับน้ำด้วยตัวรับรู้สราวุฒิร่วมกับ IoT
- 1.2.2 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบตรวจระดับน้ำด้วยตัวรับรู้สราวุฒิร่วมกับ IoT

1.3 สมมุติฐานการวิจัย

การพัฒนาระบบตรวจวัดระดับน้ำด้วยตัวรับรู้สราวุฒิร่วมกับ IoT สามารถที่จะวัดและบ่งบอก ระดับของน้ำที่นำเสนอ และหาประสิทธิภาพของระบบตรวจระดับน้ำด้วยตัวรับรู้สราวุฒิร่วมกับ IoT ได้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาและพัฒนาระบบตรวจสอบระดับน้ำโดยใช้ตัวรับรู้ระดับน้ำของสราวุฒิ เท่านั้น
- 1.4.2 ตัวรับรู้ระดับสำหรับการทดลองด้วยน้ำกลั่นเท่านั้น
- 1.4.3 ระบบตรวจวัดระดับด้วยตัวรับรู้สราวุฒิร่วมกับ IoT เท่านั้น

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้ระบบตรวจวัดระดับด้วยตัวรับรู้สราวุฒิร่วมกับ IoT
- 1.5.2 ทราบประสิทธิภาพของระบบตรวจระดับน้ำด้วยตัวรับรู้สราวุฒิร่วมกับ IoT

1.6 เครื่องมือที่ใช้

คอมพิวเตอร์

โปรแกรมสำหรับออกแบบ

แผ่นวงจร FR4

เครื่องวัด LCR ยี่ห้อ Gwinstek รุ่น LCR-817

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ตามที่ได้กล่าวถึงที่มาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์เรื่องการประยุกต์ใช้ตัวรับรู้ระดับน้ำของ สรรพวุฒิตัวคิดด้วยการใช้ระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง internet of things (IoT) ในบทที่ผ่านมา บทนี้จะกล่าวถึงปริทัศน์เอกสารที่เกี่ยวข้อง เช่น ภัยธรรมชาติ อุทกภัย ตัวรับรู้อินเทอร์เน็ตดิจิทัล Interdigital capacitor (IDC) ตัวรับรู้ระดับน้ำชนิดต่าง ๆ และระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ตามลำดับ

2.1 ภัยธรรมชาติ

การเปลี่ยนแปลงทางสภาวะแวดล้อมของโลก อาจเกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยธรรมชาติหรือจากการกระทำของมนุษย์ได้ส่งผลให้เกิดปัญหาทางกายภาพหรือภัยพิบัติต่าง ๆ ทั้งในประเทศไทยและภูมิภาคต่าง ๆ ของโลก อาทิ แผ่นดินไหว สึนามิ อุทกภัย ตลอดจนภัยพิบัติอื่น ๆ ก่อให้เกิดผลกระทบทั้งโดยตรงและโดยอ้อมต่อมวลมนุษย์ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงมีตั้งแต่การเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ไปจนถึงการเกิดอย่างฉับพลันและรุนแรง ซึ่งเป็นอันตรายต่อชีวิตและความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิต จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับภัยพิบัติทางธรรมชาติและการเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติในโลกต่าง ๆ เพื่อจะได้ปรับวิถีชีวิตให้สอดคล้องกับสภาวะในขณะนี้ ทิวาพร ใจก้อน. (2562, ม.ค.-มิ.ย.).

ภัยธรรมชาติ คือ ผลกระทบที่เกิดจากอันตรายทางธรรมชาติ (เช่น ภูเขาไฟระเบิด, แผ่นดินไหว, หรือแผ่นดินถล่ม) ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ภัยธรรมชาติ มีหลายรูปแบบแตกต่างกันไปบางอย่างร้ายแรงน้อย บางอย่างร้ายแรงมาก ซึ่งอาจทำให้เกิดผลเสียต่อชีวิตและทรัพย์สิน เช่นวาตภัยอุทกภัยภัยแล้งพายุฝนฟ้าคะนองคลื่นพายุซัดฝั่งแผ่นดินไหวและแผ่นดินถล่ม เป็นต้น โดม ไกรปกรณ์. (2558).

ในบทนี้จะกล่าวถึง อุทกภัยจากน้ำป่าไหลหลากและน้ำท่วมฉับพลัน มักจะเกิดขึ้นในที่ราบต่ำหรือที่ราบลุ่มบริเวณใกล้ภูเขาต้นน้ำเมื่อมีฝนตกหนักเหนือภูเขาต่อเนื่องเป็นเวลานาน จำทำให้จำนวนน้ำสะสมมีปริมาณมากจนพื้นดิน และต้นไม้ดูด ซับไม่ไหวไหลบ่าลงสู่ที่ราบต่ำเบื้องล่างอย่าง

รวดเร็ว มีอำนาจทำลายร้ายแรงระดับหนึ่ง ที่ทำให้บ้านเรือน พังทลายเสียหาย และอาจทำให้เกิดอันตรายถึงชีวิตได้ความแรงของน้ำสามารถทำลายต้นไม้อาคารถนน สะพาน ชีวิตและทรัพย์สิน

2.2 อุทกภัย

อุทกภัย หมายถึง ภัยและอันตรายที่เกิดจากสภาวะน้ำท่วมหรือน้ำท่วมฉับพลัน มีสาเหตุจากการเกิดฝนตกหนักหรือฝนต่อเนื่องเป็นเวลานาน มีสาเหตุจาก เนื่องมาจากหย่อมความกดอากาศต่ำ พายุหมุนเขตร้อน ได้แก่ พายุดีเปรสชัน, พายุโซนร้อน, พายุไต้ฝุ่นร่องมรสุมหรือร่องความกดอากาศต่ำ กำลังแรงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ กำลังแรงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเขื่อนพัง (อาจมีสาเหตุจาก แผ่นดินไหว และอื่นๆ) กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น กระทรวงมหาดไทย (2550)

วิธีปฏิบัติในการป้องกันตนเองจากอุทกภัย

1. การวางแผนการใช้ที่ดินอย่างมีประสิทธิภาพ ควรกำหนดผังเมืองเพื่อรองรับการเจริญเติบโตของตัวเมือง ไม่ให้เกิดขวางทางไหลของน้ำ กำหนดการใช้ที่ดินบริเวณพื้นที่น้ำท่วมให้เป็นพื้นที่ราบลุ่มรับน้ำ เพื่อเป็นการหน่วงหรือชะลอการเกิดน้ำท่วม
2. ไม่บุกรุกทำลายป่าไม้ และไม่ปลูกพืชไร่บนพื้นที่ภูเขาสูงชัน เพราะจะขาดพื้นที่ดูดซับและชะลอการไหลของน้ำ ทำให้น้ำไหลลงสู่แม่น้ำ ลำห้วยได้อย่างรวดเร็ว
3. การเคลื่อนย้ายวัสดุจากที่ที่จะได้รับความเสียหายอันเนื่องมาจากน้ำท่วมให้ไปอยู่ในที่ปลอดภัยหรือที่สูง
4. การนำตุ๊กทรายมาทำเขื่อน เพื่อป้องกันน้ำท่วม
5. การพยากรณ์และการเตือนภัยน้ำท่วมให้ประชาชนรับทราบล่วงหน้า เพื่อเตรียมป้องกัน
6. การสร้างเขื่อน ฝาย ทำนบ และถนน เพื่อเป็นการกักเก็บน้ำหรือเป็นการกั้นทางเดินของน้ำ

2.3 ตัวรับรู้ระดับน้ำ

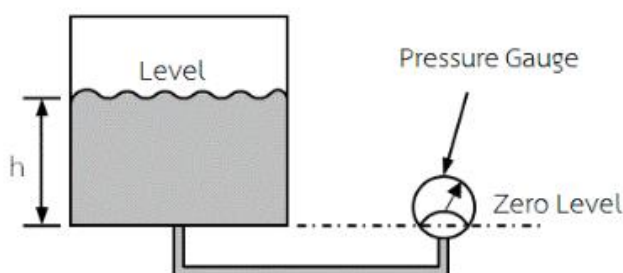
2.3.1 ตัวรับรู้ความดันไฮโดรสแตติก (Hydrostatic Pressure)

ตัวรับรู้วัดความดันไฮโดรสแตติก (Hydrostatic Pressure) เป็นวิธีการวัดระดับ (level measurement) ของเหลวที่นิยมอีกวิธีหนึ่ง ทำงานโดยอาศัยการวัดความดัน (pressure) แล้วแปลงเป็นระดับของเหลว ด้วยการติดตั้งเซนเซอร์ (sensor) หรือเครื่องมือวัดความดันบริเวณด้านล่างของภาชนะที่บรรจุของเหลว อยู่ภายใน หรือเรียกว่า "pressure level sensor" เซนเซอร์วัดความดันนี้ใช้สำหรับวัดความดันแบบไฮโดรสแตติก (Hydrostatic pressure) โดยถ้าบริเวณผิวหน้าของเหลวสัมผัสกับความดันบรรยากาศ ค่าความดันสูงสุดอยู่ที่บริเวณด้านล่างของภาชนะ และเพิ่มสูงขึ้นตามระดับความสูงของของเหลว จากการรับแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนัก

ของของเหลวตามแรงโน้มถ่วงโลก ความดัน (P) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับของของเหลว (h) นี้ เรียกว่าความดันสถิต (static head) โดยค่าความดันที่วัดได้บริเวณด้านล่างของภาชนะแสดงความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับระดับของของเหลว (นวกัทราก และ ทวีพล, 2555)

เป็นการเปรียบเทียบของเหลวกับแรงดัน บรรยากาศ ติดตั้งง่าย มียานวัดให้เลือกใช้งานกว้าง และใช้อุปกรณ์น้อย แต่โครงสร้างของตัวรับรู้มีแผ่นไดอะเฟรมขนาดเล็ก ซึ่งเสียหายงานหาเกิดการกระทบกระเทือน มีไฟรั่ว หรือความชื้นสะสมภายในในการใช้งานต้องมีการติดตั้งกับระบบกราวด์ และสารดูดซับความชื้น ตามภาพประกอบ 2.1 ตาลำดับ

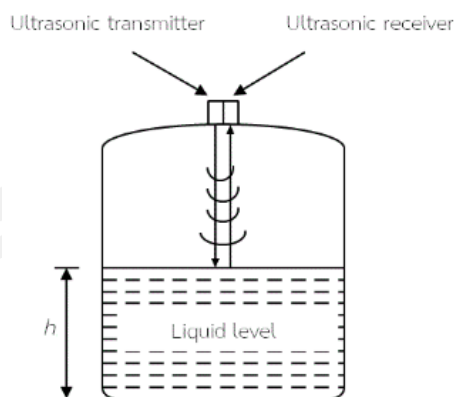
ภาพประกอบ 1 ตัวรับรู้ระดับของเหลวแบบ (Hydrostatic Pressure) การวัดระดับของเหลวโดยอาศัยเครื่องมือวัดความดัน (นวกัทราก และ ทวีพล, 2555)



ภาพที่ 1 ตัวรับรู้ระดับของเหลวแบบ (Hydrostatic Pressure)

2.3.2 ตัววัดระดับของเหลวแบบจับเวลา (Time of Flight)

วัดระดับที่อาศัยหลักการสะท้อนคลื่นเสียง (คลื่นอัลตราโซนิกคือ คลื่นเสียงที่มีความถี่ตั้งแต่ 20 kHz ขึ้นไป) โดยแหล่งกำเนิดอัลตราโซนิกปล่อยคลื่นเสียงมากระทบที่ผิวของเหลวและสะท้อนกลับมาที่ตัวรับโดยคลื่นเสียงที่เดินทางมาที่ผิวอาจเดินทางมาจากด้านบนลงมาหรือจากด้านล่างของภาชนะขึ้นไปก็ได้โครงสร้างมีทั้งประเภทตัวรับและตัวส่งติดตั้งอยู่ด้วยกันและประเภทแยกตัวรับและตัวส่งออกจากกัน การวัดระดับด้วยคลื่นเสียงนี้หากทราบระยะห่างระหว่างตัวส่งและตัวรับคลื่นเสียง และมุมระหว่างคลื่นเสียงตกกระทบและสะท้อน จะสามารถวิเคราะห์หา ระดับความสูงของของเหลวได้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากธรรมชาติของคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับมีลักษณะกระจายออก ดังนั้น วิธีนี้จึงไม่นิยมนำมาใช้สำหรับการวัดระดับโดยนิยมใช้การวัดช่วงเวลาที่ใช้เสียงเดินทางจากตัวส่งมายังตัวรับแทนการวัดมุม ซึ่งวิธีนี้ให้ค่าการวัดที่ถูกต้องแม่นยำ (**accuracy**) มากกว่า (นวกัทราก และ ทวีพล, 2555)



ภาพที่ 2 การวัดระดับของเหลวแบบจับเวลา (Time of Flight) (นวกัทรรา และ ทวีพล, 2555)

ตัวรับรู้วัดระดับของเหลวด้วยการจับเวลา (Time of Flight) เป็นการวัดระดับของเหลวโดยใช้การจับเวลาการเดินทางของเสียงความถี่สูง (Ultrasonic) หรือคลื่นวิทยุความถี่สูง (Radar) ที่เดินทางผ่านอากาศหรือสวดตัวนำ แล้วเกิดการสะท้อนกลับเมื่อชนกับผิวของเหลว มีข้อดีคือ ไม่ต้องบำรุงรักษาบ่อยเพราะไม่มีส่วนใดสัมผัสกับของเหลว และวัดระดับของเหลวได้หลายชนิด แต่หากผิวของเหลวมีการฟุ้งหรือมีฟองอากาศจะทำให้ค่าระดับที่วัดได้มีความผิดพลาด หรือไม่สามารวัดได้ตามภาพประกอบ 3

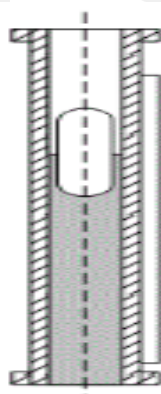


ภาพที่ 3 การวัดระดับของเหลวแบบจับเวลา (Time of Flight)

2.3.3 ตัวรับรู้วัดระบบลูกลอย (Float system)

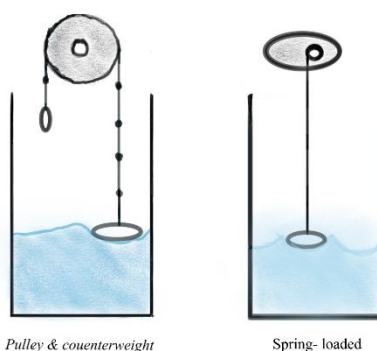
อาศัยหลักการลอยตัวของลูกลอยบนของเหลว โดยน้ำหนักของลูกลอยที่กระทำกับแรงโน้มถ่วงโลกมีค่าเท่ากับน้ำหนักของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากับปริมาตรของลูกลอยส่วนที่จมอยู่ในของเหลว ลูกลอยที่ใช้ควรมีรูปร่างและขนาดที่ออกแบบให้รับแรงลอยตัวได้มากโดยมีพื้นที่ผิวน้อย และควรมีขนาดที่เหมาะสมเพื่อความไว (sensitivity) ในการวัด นั่นคือ ส่วนที่จมอยู่ในของเหลวควรมีปริมาตรเป็นครึ่งหนึ่งของปริมาตรทั้งหมดของลูกลอย โดยทั่วไปรูปร่างมาตรฐานของลูกลอยเป็นทรงกลมหรือ

ทรงกระบอก โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขึ้นอยู่กับคุณลักษณะและสมบัติของเหลวที่ต้องการวัดระดับ เช่น ลูกลอยที่มีขนาดใหญ่เหมาะสำหรับการวัดระดับของเหลวที่มีความหนาแน่นต่ำ และในทางกลับกันการวัดระดับของเหลวที่มีความหนาแน่นสูงควรใช้ลูกลอยที่มีขนาดเล็ก ดังภาพประกอบ 4-5 (นวกัทร และ ทวีพล, 2555)



ภาพที่ 4 การวัดระดับของเหลวแบบ (Float system)

สำหรับตัวรับรู้การวัดระดับของเหลวด้วยการใช้ระบบลูกลอย (Float system) เป็นการวัดระยะทางของลูกลอยซึ่งเคลื่อนที่ตามระดับของเหลว มีข้อดีคือ มีความแม่นยำในการวัดสูง เพราะเป็นการวัดที่ระดับผิวของเหลวโดยตรง ชนิดของเหลวและอุณหภูมิส่งผลกระทบต่อ การวัดเพียงเล็กน้อย แต่มีความยุ่งยากในการบำรุงรักษา เนื่องจากมีชิ้นส่วนทางกลเป็นส่วนประกอบหลัก หากขาดการหล่อลื่นที่ดี การวัดค่าจะมีผลผิดพลาด

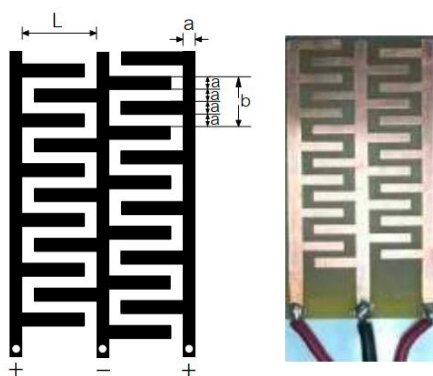


ภาพที่ 5 ภาพประกอบ 2.3 การวัดระดับของเหลวแบบ (Float system)

2.3.4 ตัวรับรู้วัดระดับของเหลวด้วยการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า

ตัวรับรู้วัดระดับด้วยการตรวจจับคุณสมบัติทางไฟฟ้า (Detecting Electrical Properties) เป็นการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับระดับของเหลว เช่น การวัดความจุไฟฟ้า (Capacitance)

การวัดค่าความต้านทานทางไฟฟ้า (Resistance) ไม่มีชิ้นส่วนทางกลที่ต้องบำรุงรักษาบ่อย แต่เนื่องจากเป็นการวัดที่ต้องให้ตัวรับรู้สัมผัสกับของเหลวโดยตรง อาจทำให้เกิดการกัดกร่อนที่ตัวรับรู้ได้ ในงานวิจัยนี้จะนำเสนอการวัดระดับของเหลวหรือน้ำ ด้วยการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า เป็นการวัดความจุไฟฟ้าด้วยตัวรับรู้อินเทอร์ดิจิตอลของสราวุฒิ (สราวุฒิ บุญเกิดรัมย์ และ ถนอมศักดิ์ วงศ์มีแก้ว, 2018) ดังภาพประกอบ 6

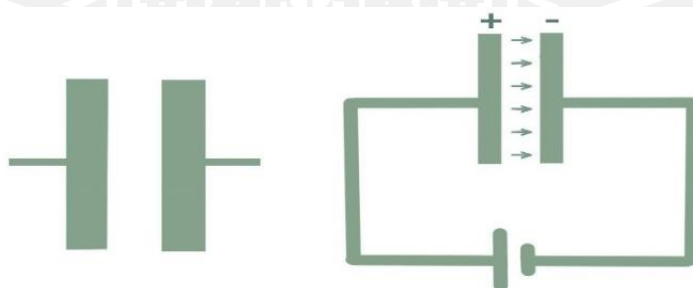


ภาพที่ 6 ภาพประกอบ 2.4 การวัดระดับของเหลวด้วยการวัดความจุไฟฟ้า (สราวุฒิ บุญเกิดรัมย์ และคณะ, 2018)

2.4 ตัวรับรู้อินเทอร์ดิจิตอลคาปาซิเตอร์

2.4.1 พื้นฐานความจุไฟฟ้า

สำหรับพื้นฐานตัวความจุไฟฟ้าหรือคาปาซิเตอร์ (capacitor) เมื่อเรานำแผ่นตัวนำสองแผ่นวางขนานในสุญญากาศ แล้วป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับแผ่นตัวนำทั้งสอง ผลที่เกิดขึ้น เกิดการสะสมประจุไฟฟ้าที่แตกต่างกันบนแผ่นตัวนำแต่ละแผ่น ดังภาพประกอบ 7 แสดงสัญลักษณ์และการสะสมประจุไฟฟ้าแบบตัวนำแบบขนาน (parallel plate) แผ่นตัวนำยังไม่มี การสะสมประจุ



ภาพที่ 7 การสะสมประจุไฟฟ้าบนแผ่นตัวนำแบบขนาน

และเมื่อมีการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าที่ตัวนำที่มีการสะสมประจุ และเกิดสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นระหว่างแผ่นตัวนำ จำนวนประจุไฟฟ้า (Q) ที่สะสมบนแผ่นตัวนำ แต่ละแผ่นจะมีความสัมพันธ์กับค่าความจุไฟฟ้า (C : capacitance) และแรงดันไฟฟ้า (ΔV) ดังสมการ 2.1

$$Q = C_0 \Delta V \quad (2.1)$$

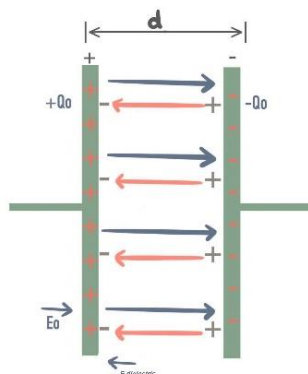
เพื่อพิจารณาสถานะสุญญากาศ ค่าความจุไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของตัวเก็บประจุ (capacitor) อยู่แบบแผ่นขนาน (parallel plate capacitor) ความจุไฟฟ้า (C_0) สัมพันธ์ ถ้าสภาพยอมให้เกิดประจุไฟฟ้าของสุญญากาศ (permittivity of free space) ϵ_0 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.85 (pF/m) คี่นที่ผิวของแผ่นตัวนำ (A) และระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ (d) ดังสมการ 2.2

$$C = \frac{A}{d} \quad (2.2)$$

จากความสัมพันธ์ระหว่างสมการ (2-1) และ (2-2) ถ้าความจุไฟฟ้าเป็นค่าคงที่ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามโครงสร้างของตัวเก็บประจุได้แก่ขนาดของแผ่นตัวนำและระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ ผลจากการสะสมประจุไฟฟ้าบนแผ่นตัวนำที่แตกต่างกันระหว่างแผ่นตัวนำสองแผ่น ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นตัวนำ ทั้งสอง โดยมีความสัมพันธ์ กับจำนวนประจุไฟฟ้า (Q) ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ (d) และค่าความจุไฟฟ้า (C_0)8 ดังสมการ 2.3

$$E = \frac{Q}{c_0 d} \quad (2.3)$$

ช่องว่างจากแผ่นตัวนำจากสุญญากาศเป็นวัสดุอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า หรือเรียกว่า “วัสดุไดอิเล็กตริก” จะพบว่าค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากแรงของสนามไฟฟ้าที่ตัดผ่านวัสดุไดอิเล็กทริก พยายามแยก อิเล็กตรอนและโปรตอนของวัสดุไดอิเล็กตริก ออกจากกัน ขณะเดียวกันอิเล็กตรอนและโปรตอน ก็พยายามดึงตัวกลับสู่สถานะเดิม ความพยายามดังกล่าวทำให้เกิดแรงสนามไฟฟ้าภายในอะตอมของวัสดุไดอิเล็กตริกเรียกว่า “สนามไฟฟ้าเหนี่ยวนำ”



ภาพที่ 8 ทิศทางของสนามไฟฟ้า

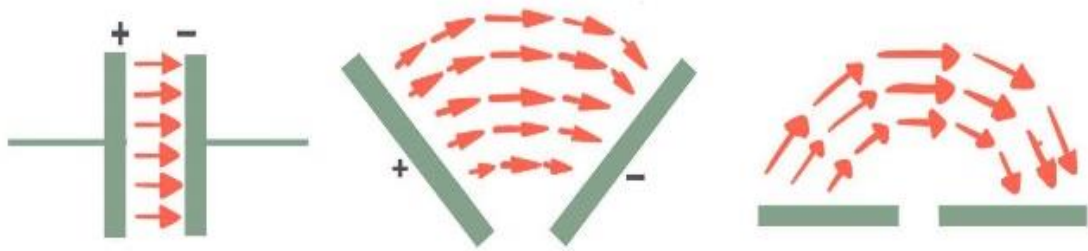
ในกรณีตัวเก็บประจุต่อกับแหล่งจ่าย ความจุไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น มีความสัมพันธ์กับผลรวมของความจุไฟฟ้าใหม่ ($Q_{plate} = Q_0 + Q_{dielectric}$) ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ (d) ค่าประจุไฟฟ้าในสุญญากาศ (Q_0) และคาสนามไฟฟ้าเดิม (E_0) ดังสมการ 2.4

$$C_{dielectric} = \frac{Q_0 + Q_{dielectric}}{\vec{E}_{0d}} \quad (2.4)$$

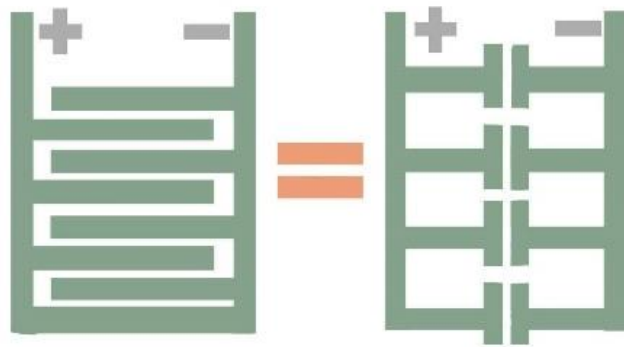
ถ้าเฉพาะกรณีที่เป็นตัวเก็บประจุแบบขนาน ค่าความจุไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากวัสดุไดอิเล็กตริก ความสัมพันธ์กับค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ_r) กับค่าความจุไฟฟ้าในสุญญากาศ C_0 ดังสมการ 2.5

$$C_{dielectric} = \epsilon_r C_0 \quad (2.5)$$

จากนั้นหลักการพื้นฐานของตัวเก็บประจุ เมื่อนำตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนานที่ แยกออกจากกันในแนวระนาบดังภาพ จะเห็นได้ว่า ยังคงเกิดการสะสมประจุไฟฟ้า และสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นตัวนำ แต่ความจุไฟฟ้าจะลดลงเนื่องจากระยะห่างเพิ่มขึ้น ผลการแยกแผ่นตัวนำออกจากกัน ในแนว ทำให้สามารถวางวัสดุไดอิเล็กตริก ระหว่างแผ่นตัวนำ โดยไม่ต้องเปลี่ยนโครงสร้างของตัวเก็บประจุแบบใหม่ รูปแบบนี้จึงมีความเหมาะสม ที่จะนำไปออกแบบตัวรับรู้ ซึ่งการใช้ตัวรับแบบตัวความจุไฟฟ้า โดยทั่วไปจะมีรูปแบบของการเกิดสนามไฟฟ้าเมื่อแยกตัวนำออกจากกันในแนวระนาบ ดังแสดงภาพที่ 9

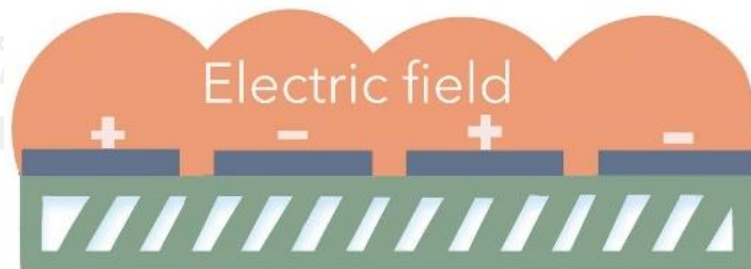


ภาพที่ 9 รูปแบบของการเกิดสนามไฟฟ้าเมื่อแยกตัวนำออกจากกันในแนวระนาบ เมื่อนำแผ่นตัวนำที่ถูกแยกออกจากกันในแนวระนาบ มาต่อสลับกันไปมาระหว่างขั้วบวกและลบจะพบว่าค่าความจุไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นตามสัดส่วน เหมือนการนำตัวเก็บประจุมาต่อขนานกัน “อินเตอร์ดิจิตอลคาปาซิเตอร์” (Interdigital Capacitor) ซึ่งมีลักษณะการต่อดังภาพประกอบ 2.8 วงจรสมือนอินเตอร์ดิจิตอลคาปาซิเตอร์



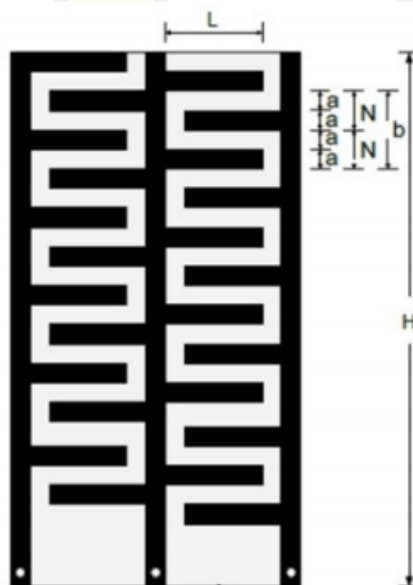
ภาพที่ 10 วงจรสมือนอินเตอร์ดิจิตอลคาปาซิเตอร์

ผลการสะสมประจุบนโครงสร้างของอินเตอร์ดิจิตอลคาปาซิเตอร์ จะเกิดสนามไฟฟ้าระหว่างซีลตลอดจนความยาวของซีลเล็กโตรอด ของวงจรอินเตอร์ดิจิตอลคาปาซิเตอร์ ดังภาพประกอบ 10



ภาพที่ 11 สนามไฟฟ้าที่เกิดการสะสมประจุ

สำหรับตัวรับรู้สำหรับวัดระดับของเหลวอินเทอร์ดิจิตอลคาปาซิเตอร์เป็นการวัดค่าความจุไฟฟ้าแบบอินเทอร์ดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์ (ผศ.ดร.นวกัทรာ หนูนา และ รศ.ดร.ทวีพล, 2555) ซึ่งการวัดความจุไฟฟ้าของสารหรือวัสดุที่ โดยมีโครงสร้างเป็นการวางแผ่นตัวนำ (conductor) ในแนวนานกันไป ดังภาพประกอบ 11 ซึ่งคำว่า คำว่า อินเทอร์ดิจิตอล มีความหมายที่แปลว่างามหรือซี่ ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะตัวรับรู้ ที่มีการวางแผ่นตัวนำของขั้วบวกและ ขั้วลบสลับไปมา ลักษณะคล้ายหวีสองอันวางทับกัน อินเทอร์ดิจิตอลคาปาซิเตอร์ถูกเผยแพร่ครั้งแรก โดย Lord Rayleigh ในปี ค.ศ. 1885 (Lin et al. (2012) ในยุคแรกถูกสร้างขึ้นให้ทำงานร่วมกับ piezoelectric เพื่อ ใช้ในการส่งผ่านและกรองสัญญาณในอุปกรณ์สื่อสาร โดยมีการวางอินเทอร์ดิจิตอลคาปาซิเตอร์ 2 ส่วน ส่วนที่ใช้ในการส่งและส่วนที่รับสัญญาณ ใช้หลักการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นแรงสั่นสะเทือนแล้วสามารถเปลี่ยนจากแรงสั่นสะเทือนกลับเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้ใหม่ การสั่นสะเทือนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความถี่ของภาคส่ง หรือมีความถี่เรโซแนนซ์ตรงกันก็จะทำให้ความถี่ภาครับและ สัญญาณขาออกก็จะมากตามไปด้วย เรียกหลักการนี้ว่า surface acoustic wave (SAW)

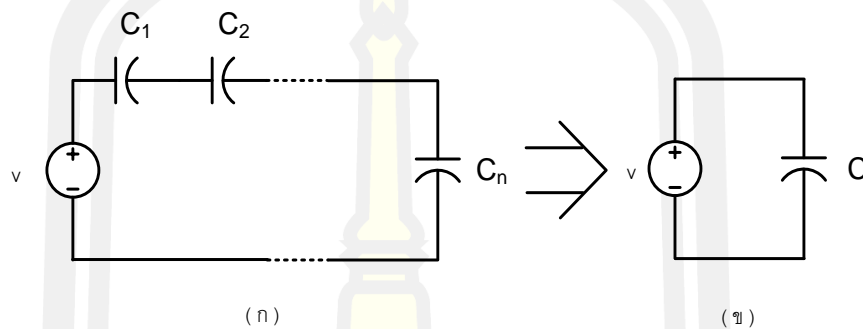


ภาพที่ 12 ตัวรับรู้ตัวเก็บประจุแบบอินเทอร์ดิจิตอล (สรารุณี บุญเกิดรัมย์ และคณะ, 2018)

ตัวเก็บประจุที่ต่ออนุกรมหรือขนานกันนั้นสามารถถูกแทนได้ด้วยตัวเก็บประจุสมมูลตัวหนึ่ง โดยค่าความเก็บประจุของมันสามารถหาได้ดังนี้ กรณีตัวเก็บประจุต่ออนุกรมกันดังภาพประกอบ 13

(ก) เราสามารถเขียนแทนได้ด้วยตัวเก็บประจุสมมูลดังภาพประกอบ 13(ข) โดยที่หาค่าความเก็บสมมูลได้จากสมการ

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (2.6)$$



ภาพที่ 13 (ก) ตัวเก็บประจุก่ออนุกรม (ข) ตัวเก็บประจุสมมูล

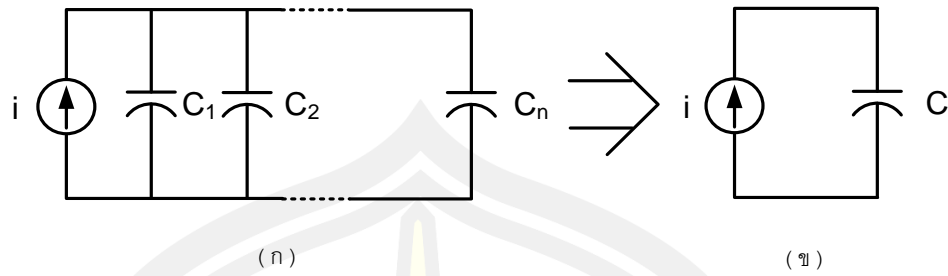
จะเห็นว่า การรวมค่าความจุที่ต่ออนุกรมกันจะเหมือนกับการรวมค่าความต้านทานที่ต่อขนานกัน ดังนั้นในกรณีรวมค่าความเก็บประจุสองตัวจะเป็น

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (2.7)$$

สำหรับการรวมค่าความจุที่ต่อขนานกันดังภาพประกอบ 13 (ก) เพื่อจะได้ความเก็บประจุสมมูลในภาพประกอบ 13 (ข)

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (2.8)$$

พหุ ประถม วิชา

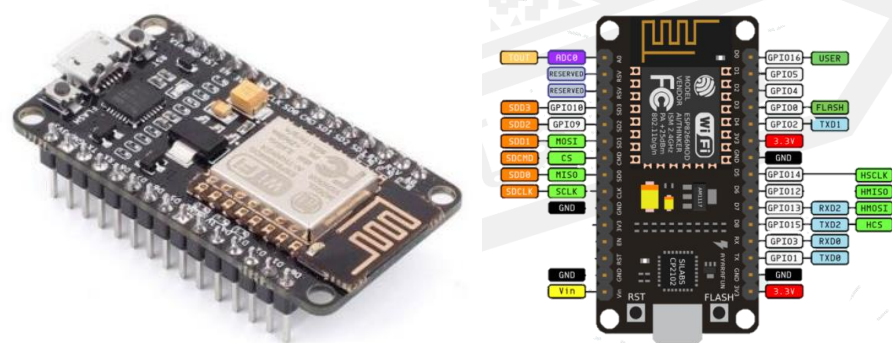


ภาพที่ 14 (ก) ตัวเก็บประจุต่อขนาน (ข) ตัวเก็บประจุสมมูล

การวัดระดับของเหลวที่อาศัยเทคนิคการวัดความจุไฟฟ้าอินเตอร์ดิจิตอลนั้นจะนำเสนอเทคนิคการออกแบบสร้างในบทที่ 3 ต่อไป ซึ่งหัวข้อต่อไปจะนำเสนอบอร์ด Node ESP 8266 ต่อไปนี้

2.5 บอร์ด Node mcu ESP8266

NodeMCU คือ แพลตฟอร์มหนึ่งที่ใช้ช่วยในการสร้างโปรเจกต์ Internet of Things(IoT) ที่ประกอบไปด้วย Development Kit (ตัวบอร์ด) และ Firmware (Software บนบอร์ด) ที่เป็น Open source สามารถเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Lau ได้ ทำให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น มาพร้อมกับโมดูล WiFi (ESP8266) ดังภาพประกอบ 2.13 ส่วนสำคัญในการใช้เชื่อมต่อกับอินเตอร์เน็ตนั้นเองตัวโมดูล ESP8266 นั้นมีอยู่ด้วยกันหลายรุ่นมาก ตั้งแต่เวอร์ชันแรกที่เป็น ESP-01 จนปัจจุบันมีถึง ESP-12 แล้ว และที่ฝังอยู่ใน NodeMCU version แรกนั้นก็จะเป็น ESP-12 แต่ใน version2 นั้นจะใช้เป็น ESP-12E แทน ซึ่งการใช้งานโดยรวมก็ไม่แตกต่างกันมากนัก NodeMCU นั้นมีลักษณะคล้ายกับ Arduino ตรงที่มีพอร์ต Input Output built in มาในตัว สามารถเขียนโปรแกรมคอนโทรลอุปกรณ์ I/O ได้โดยไม่ต้องผ่านอุปกรณ์อื่นๆ และมีนักพัฒนาที่สามารถทำให้ Arduino IDE ใช้งานร่วมกับ NodeMCU ได้ จึงทำให้ใช้ภาษา C/C++ ในการเขียนโปรแกรมได้ ทำให้เราสามารถใช้งานมันได้หลากหลาย

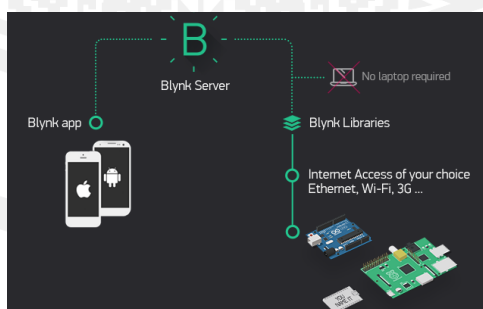


ภาพที่ 15 อุปกรณ์ ESP8266 และโครงสร้างของขา

สามารถโปรแกรม ลงไปได้ทำให้สามารถนำไปใช้งานแทนไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เลยและมีพื้นที่โปรแกรมที่มากถึง 4MB ทำให้มีพื้นที่เหลือมากในการเขียนโปรแกรมลงไป ESP8266 เป็นชื่อของชิปไอซีบนบอร์ดของโมดูล ซึ่งไอซี ESP8266 ไม่มีพื้นที่โปรแกรม (flash memory) ใน ตัว ทำให้ต้องใช้ไอซีภายนอก (external flash memory) ในการเก็บโปรแกรม ที่ใช้การเชื่อมต่อผ่านโปรโตคอล SPI ซึ่งสาเหตุนี้เองทำให้โมดูล ESP8266 มีพื้นที่โปรแกรมมากกว่าไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์อื่น ๆ ESP8266 ทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 3.3V - 3.6V การนำไปใช้งานร่วมกับตัวรับรู้อื่น ๆ ที่ ใช้แรงดัน 5V ต้องใช้ วงจรแบ่งแรง ดัน มาช่วยเพื่อไม่ให้โมดูลพัง เสียหายกระแสที่โมดูล ใช้งานสูงสุดคือ 200mA ความถี่คริสตัล 40MHz ทำให้เมื่อนำไปใช้งานอุปกรณ์ที่ ทำงานรวดเร็วตามความถี่ เช่น LCD ทำให้การแสดงผลข้อมูล รวดเร็วกว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์ยอดนิยม Arduino มาก ขาของโมดูล ESP8266 (Schwartz, 2016)

2.6 Blynk Application

(Serikul, Nakpong, & Nakjuatong, 2018) Blynk เป็นแพลตฟอร์ม IoT ที่รองรับทั้ง iOS และ Android สามารถทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์หลายประเภท เช่น Node MCU ESP8266, Arduino, Rasberry Pi และ ESP32 ผ่านอินเทอร์เน็ต ประกอบด้วยองค์ประกอบหลักสามส่วน: 1) แอปพลิเคชัน Blynk ซึ่งใช้ในการควบคุมอุปกรณ์และแสดงข้อมูลบนวิดเจ็ต; 2) เซิร์ฟเวอร์ Blynk ซึ่งเป็นบริการคลาวด์ที่รับผิดชอบการสื่อสารทั้งหมดระหว่างสมาร์ตโฟนกับสิ่งต่างๆ 3) ไลบรารี Blynk ซึ่งรวมถึงวิดเจ็ตต่างๆ เช่น ปุ่มควบคุม รูปแบบการแสดงผล การแจ้งเตือน และการจัดการเวลา ที่ช่วยให้อุปกรณ์ส่งข้อมูลที่ได้รับจากเซ็นเซอร์ไปแสดงบนแอปพลิเคชันมือถือด้วยวิธีที่มีประสิทธิภาพและสะดวก (Serikul et al., 2018)



ภาพที่ 16 การทำงานของ Blynk Application (Serikul et al., 2018)

2.7 อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Think, IoT)

สำหรับอินเทอร์เน็ตเพื่อสรรพสิ่ง(นายประวิทย์ ลีสถาพรวงศา, 2017) นั้นมีคำสำคัญสอง คำคือคำว่า “Internet” ก็คือ ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ขนาดใหญ่ ที่เชื่อมต่อและสื่อสารจากคอมพิวเตอร์เครื่อง หนึ่งไปยังอีกเครื่องหนึ่งได้ หรือจากเครือข่ายคอมพิวเตอร์ หนึ่งไปยังอีกเครือข่ายคอมพิวเตอร์หนึ่งได้ ส่วนคำว่า “Thing” นั้นหมายถึง สรรพสิ่งทุกอย่าง วัตถุหรือสิ่งของ อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เครื่องปรับอากาศ โทรทัศน์ โต้ะ แก้ว อี้ ปากกา ดินสอ เสื้อผ้า รองเท้า ฯลฯ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเป็นแนวความคิดการเชื่อมต่ออุปกรณ์หลายอย่างเข้าด้วยกันเพื่อเป็นระบบโดย IOT จะสร้างเป็นเครือข่ายเล็กสำหรับใช้ในครัวเรือน ขนาดกลางใช้ในฟาร์มอัจฉริยะ และเครือข่ายขนาดใหญ่สำหรับโรงงาน โดยใช้งานผ่านระบบอินเทอร์เน็ต เช่นระบบเปิดปิดไฟอัตโนมัติ หรืออุปกรณ์วัดระดับ PM 2.5 รถยนต์อัจฉริยะ โดยถูกออกแบบมาเพื่อลดค่าใช้จ่าย ลดการทำงาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้ดีขึ้น และเพื่อการนำข้อมูลไปปรับปรุงและใช้งานด้านการประกอบการตัดสินใจต่าง ๆ

ระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เป็นวิธีการที่เห็นได้ทั่วสำหรับการปฏิสัมพันธ์กับเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ นั่นคือการเชื่อมต่ออุปกรณ์ เช่น เมาส์ หรือ แป้นพิมพ์ เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ จะถูกแทนที่ด้วยรูปแบบการปฏิสัมพันธ์ในรูปแบบใหม่โดยใช้ ร่างกายของมนุษย์ในการปฏิสัมพันธ์โดยตรง เช่น การ สัมผัสหน้าจอ การปฏิสัมพันธ์ด้วยอวัยวะของร่างกาย ดวงตา นิ้วมือ หรือการปฏิสัมพันธ์ด้วยการแสดงท่าทาง เป็นต้น (Manches, Duncan, Plowman, & Sabeti, 2015)

(Tom Bradicich 2015) ได้อธิบายหลักการสำคัญของ Internet of Things คือ “ข้อมูล” ซึ่งข้อมูลในที่นี้หมายถึง สิ่งที่มีอยู่ทั่วไปรอบ ๆ ตัวเรา มีอยู่ในธรรมชาติ มีอยู่ ในทุก ๆ ที่ทั่วโลกจำนวนมากหรือที่เรียกว่า Big Analog Data เช่น แสง เสียงอุณหภูมิแรงดันไฟฟ้าสัญญาณวิทยุ ความชื้น การสั่นสะเทือนความเร็วลม การเคลื่อนไหว อัตรา เร่ง อนุภาค คลื่นแม่เหล็ก ความดัน เวลาและสถานที่ ฯลฯ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้มีอยู่จำนวนมาก ถึงแม้ว่าข้อมูลเหล่านี้จะ ถูกมองว่าเป็นข้อมูลพื้นฐานทั่วไปที่มีมานานแล้ว แต่มัน เป็นความท้าทายที่สำคัญสำหรับเทคโนโลยีสมัยใหม่ ที่จะ นำข้อมูลเหล่านี้มาให้อยู่ในรูปของดิจิทัล ที่มีอยู่เพียงสอง ค่า 0 และ 1 โดยข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้มานั้นจะมีการเชื่อม ต่อหรือประสานกันอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาผ่านระบบการ สื่อสารระบบใดระบบหนึ่ง (อินเทอร์เน็ต) โดยครอบคลุม การทำงานใน 3 ลักษณะ คือ

1. เพื่อให้เกิดแรงกระตุ้นหรือสร้างความสนใจให้ กับผู้ใช้ (Motivate) ด้วยการติดต่อหรือเชื่อมต่อกับผู้ใช้ ตลอดเวลา จึงทำให้ Internet of Things สามารถกระตุ้น หรือจูงใจผู้ใช้งาน เช่น สามารถทำให้ลูกค้าตัดสินใจซื้อสินค้า หรือทำให้บุคลากรในหน่วยงานได้ปฏิบัติงานได้ถูกต้อง

2. เพื่อให้ผู้ใช้สามารถสังเกตการณ์ได้ (Monitor) หมายถึง Internet of Things จะต้องสามารถตรวจสอบ สังเกตการณ์ รายงาน นำเสนอข้อมูลต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง ตลอดเวลาได้และข้อมูลนั้นเป็นข้อมูลทันสมัยในเวลาจริง (Real time) เช่น ผู้ใช้สามารถดูข้อมูลอุณหภูมิความชื้น ของห้องนอนผ่านระบบอินเทอร์เน็ตได้ตลอดเวลา หรือผู้ใช้ สามารถเฝ้าเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในบ้าน สำนักงาน หรือที่ใดก็ได้ที่สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ คำว่า Real time ในความหมายของ Internet of Things จะแตกต่างจากความหมายทั่วไปที่เข้าใจกัน คือ เวลาจริงของข้อมูลที่ได้จาก Internet of Things นั้นจะเกิดกับอุปกรณ์ ตรวจจับ (Sensor) เมื่อมีการรับ-ส่งข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้ จะเกิดขึ้นที่อุปกรณ์ตรวจจับและส่งกลับมาที่อุปกรณ์สื่อสาร โดยตรง ไม่ใช่ที่ระบบเครือข่ายหรือระบบคอมพิวเตอร์ที่ จะเป็นตัวส่งข้อมูลให้กับอุปกรณ์สื่อสาร

3. เพื่อให้ผู้ใช้สามารถทำการบำรุงรักษาดูแล (Maintain) เนื่องจากผู้ใช้สามารถตรวจสอบ หรือ สังเกตการณ์สิ่งที่เกิดขึ้นผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ตลอด เวลา ผู้ใช้จึงอาจพบข้อมูลบางอย่างที่ต้องการ หรือเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่งที่เป็นปัญหา จึงต้องการทำการบันทึก แก้ไข ปรับปรุง อัปเดต ดังนั้น Internet of Things จึงจะต้อง สามารถช่วยเหลือผู้ใช้ได้ตามที่ผู้ใช้ต้องการได้

การประยุกต์ใช้งานประโยชน์ของ Internet of Things เมื่อ Internet of Things เริ่มเข้ามา มีอิทธิพลในชีวิตประจำวันเพิ่มมากขึ้น (Michael S Smith, 2015) ย่อมส่ง ผลใน 3 ระดับ

1. ระดับบุคคล (Personal Use) โดย Internet of Things จะเปลี่ยนแปลงวิธีการดำเนินชีวิตของทุกคน การสื่อสารกับอุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถทำได้ง่าย ข้อมูล จำนวนมาก จะส่งตรงไปยังผู้ใช้ การอำนวยความสะดวก ในการใช้งานและบริการต่าง ๆ จะเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เช่น สามารถส่งข้อมูลระดับน้ำตาลในเลือดหรือข้อมูลอื่น ๆ ที่หมอตกลงการ ที่ได้จากการเครื่อง วัดสุขภาพ หรือ ตัวรับรู้ที่ติดอยู่บนรถเมื่อประสบอุบัติเหตุจะส่งข้อมูล ไปยังรถฉุกเฉินเพื่อแจ้งเตือนไปยังการเกิดอุบัติเหตุ นอกจากนี้ นี้ Internet of Things จะนำไปสู่ “สมาร์ทโฮม (Smart home)” หรือบ้านอัจฉริยะ ที่สามารถปรับอุณหภูมิ เปิด-ปิด ไฟภายในบ้าน เปิด-ปิดประตูโรงรถได้

2. ระดับรัฐบาล (Government Use) การเข้ามา ของเทคโนโลยี Internet of Things นำไปสู่แผนและกลยุทธ์ ในการพัฒนาประเทศ เพื่อช่วยให้การบริหารจัดการทรัพยากรต่าง ๆ ด้วยสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดค่าใช้จ่าย ใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าสำหรับประเทศไทย กำลังมีการปรับเปลี่ยนโครงสร้าง เศรษฐกิจไปสู่ “Value-Based Economy” หรือเศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม เปลี่ยนการผลิตสินค้าโภคภัณฑ์ไป สู่อุตสาหกรรม เปลี่ยนจากการเน้นภาคการผลิตสินค้าภาคบริการมากขึ้น ที่เรียกว่า “ประเทศไทย 4.0” โดยแนวคิดนี้เป็นการมุ่งพัฒนา

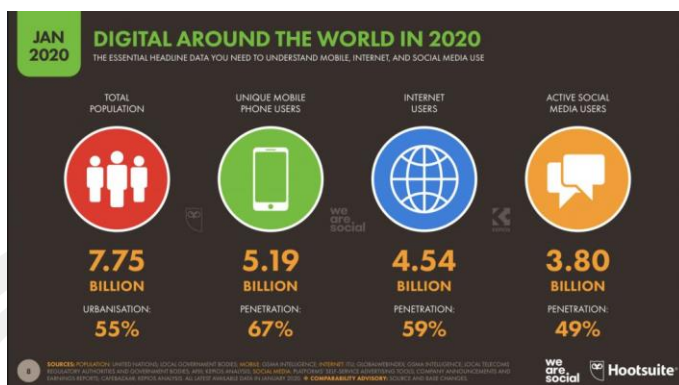
วิทยาการด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี ความคิดสร้างสรรค์ นวัตกรรม ด้วยการวิจัย และพัฒนา ในด้านต่าง ได้แก่ ด้านอาหาร เกษตร ด้านสาธารณสุข สุขภาพ และ ด้านเครื่องมืออุปกรณ์อัจฉริยะ หุ่นยนต์และระบบเครื่องกลที่ใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ รวมทั้งด้าน ดิจิตอล ซึ่งทางด้านการศึกษาเป็นภาคส่วนหนึ่งที่สำคัญที่จะ ทำให้การ Internet of Things สามารถเข้าถึงและเป็นจริง ได้ ด้วยการเตรียมความพร้อมทั้งการผลิตคนและการผลิต นวัตกรรมต่าง ๆ เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงสู่การใช้งาน Internet of Things

3.ระดับโลก (Global Use) เป็นผลจากพฤติกรรม การใช้อินเทอร์เน็ตของคนทั่วโลก ส่งผลให้การพัฒนา Internet of Thing มีพัฒนาการอย่างรวดเร็ว ทุกคนทั่วโลก สามารถเข้าถึงบริการ Internet of Thing ได้จากเครือข่าย ทั่วโลก จากผลการสำรวจสถิติการใช้อินเทอร์เน็ต ของ arterioportal การใช้งาน (เมื่อ 21 มกราคม 2564)

ประชากรโลกอยู่ที่ 7.83 พันล้าน เมื่อต้นปี 2564 ได้รายงานว่าตัวเลขที่เพิ่มตัวเลขนี้เพิ่มขึ้นร้อยละ1 ต่อปี ซึ่งหมายความว่ายอดรวมทั่วโลกเพิ่มขึ้นมากกว่า 80 ล้านคนนับตั้งแต่ต้นปี 2563

การใช้งานมือถือ: ปัจจุบันมีผู้ใช้โทรศัพท์มือถือ 5.22 พันล้านคน คิดเป็นร้อยละ 66.6 ของประชากรโลกทั้งหมด ผู้ใช้มือถือที่ไม่เข้าเดบิตไชนคิดเป็นร้อยละ 1.8 (93 ล้านคน) ตั้งแต่ มกราคม 2563 ในขณะที่จำนวนการเชื่อมต่อมือถือทั้งหมดเพิ่มขึ้น 72 ล้าน คิดเป็นร้อยละ 0.9 เป็นจำนวน 8.02 พันล้านเมื่อต้นปี 2564

การรใช้งานอินเทอร์เน็ต 4.66 ล้านคนทั่วโลก ใช้อินเทอร์เน็ต ในช่วงเดือนมกราคม2564 เพิ่มขึ้น 316 ล้านคน คิดเป็นร้อยละ 7.3 นับตั้งแต่ช่วงเวลานี้ของปีที่แล้ว การเข้าถึงอินเทอร์เน็ตทั่วโลกขณะนี้อยู่ที่ร้อยละ59.5 โซเชียลมีเดียขณะนี้มีผู้ใช้งานโซเชียลมีเดีย 4.2 พันล้านคนทั่วโลก ตัวเลขนี้ได้เติบโตขึ้นโดย 490ล้านคนที่ผ่านมาในรอบ 12 เดือน การเติบโตมากกว่าร้อยละ13 ปัจจุบันจำนวนผู้ใช้โซเชียลมีเดียร้อยละ 53ของประชากรทั้งหมดของโลก ภาพประกอบ 2. ปริมาณผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตในประเทศไทย



ภาพที่ 17 รายงานผลการสำรวจพฤติกรรมผู้ใช้อินเทอร์เน็ตในประเทศไทย ปี 2563 (KEMP, 2020)
(ข้อมูล ณ วันที่ 21 มกราคม 2564)

สำหรับการทำงานของ Internet of Things เป็นนวัตกรรมที่จะเป็นเครื่องมือในการช่วยเหลือ จัดการ การสื่อสารการเข้าถึงการรับรู้ข้อมูลต่าง ๆ การระบบจัดเก็บข้อมูลที่เชื่อมต่อกันเป็นเครือข่ายที่มีการกระจายสามารถนำมาประมวลผลอย่างมีประสิทธิภาพและช่วยให้เกิดการ ทำงานแบบทันเวลา (real time) สามารถแชร์ข้อมูลได้อย่างราบรื่น ไม่ว่าข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในที่ตาม ดั้งนั้นจากข้อมูลด้าน IoT ที่ได้กล่าวมานั้น เราสามารถนำความสามารถของระบบ IoT มาช่วยในการ พัฒนาระบบการวัดระดับน้ำผ่าน IoT พร้อมเก็บข้อมูลย้อนหลัง เพื่อให้สามารถคำนวณปริมาณน้ำ แจ็งเดือนระดับน้ำ หรือการวิเคราะห์ทางหลักของชลประทานต่อไป โดยหัวข้อต่อไปจะเป็นกล่าวถึง งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยการประยุกต์ใช้ตัวรับรู้ระดับน้ำของสราวุฒิในอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่ง ต่อไปนี้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นักวิจัย Jan และคณะ (Jan et al., 2022) นำเสนอวรรณกรรมปริทัศน์แนะนำเทคโนโลยี IoT เพื่อใช้ในการตรวจสอบระดับน้ำ ตรวจสอบการรั่วไหลและการเติมน้ำ แบบเรียลไทม์ ผ่านเว็บไซต์ หรือสมาร์ทโฟน ข้อดี ข้อจำกัด ตามลำดับ

คณะนักวิจัยทศพล (ทศพล มานะศรี และ สมชาติ โสณะแสง 2563) การศึกษาการวัดระดับ น้ำด้วยตัวรับรู้แบบความจุไฟฟ้าทรงกระบอกสองชั้นร่วมกับวงจรกรองความถี่สูงผ่าน ผู้วิจัยได้นำเสนอ เทคนิคการวัดระดับของเหลว โดยใช้ตัวรับรู้ แบบความจุไฟฟ้าทรงกระบอกสองชั้นร่วมกับวงจรกรอง ความถี่สูงผ่านขาออก ที่มีค่าแปรผันตรงกับระดับน้ำที่เปลี่ยนไป โดยที่ความถี่ 200 kHz ค่าความกว้าง ของขาออก ต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำอยู่ที่ 1.98v และมีค่า R^2 มี ค่า 0.980 ความถี่ที่ เหมาะสมกับวงจร กอความถี่สูงผ่าน ตัวรับรู้สร้างได้ง่ายราคาถูกและไม่ซับซ้อน และในช่วงเวลา

ต่อมา นักวิจัยทศพล ได้นำเสนอการวัดระดับน้ำด้วยตัวรับรู้ความจุไฟฟ้าแบบแผ่นขนานร่วมกับวงจรเรโซแนนซ์ ตัวรับรู้แบบความจุไฟฟ้าแบบแผ่นขนานร่วมกับวงจรเรโซแนนซ์ ผลการทดสอบพบว่า แรงดันตกคอมเพล็กซันแปลงตามความสูงของระดับน้ำ 0-100 เซนติเมตร ความถี่ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6 kHz เพื่อลดเพื่อให้ได้ผลการวัดที่ถูกต้องทั้งนี้ตัวรับรู้ใช้งานได้ง่ายไม่ซับซ้อน มีราคาถูก

นักวิจัยที่นำเสนอการวัดระดับน้ำด้วยการใช้ IDC ที่จะกล่าวถึง นักวิจัย Obma, J และคณะ (Obma & Sa-ngiamvibool, 2020) ได้นำเสนอการสร้างตัวรับรู้เก็บประจุระหว่างตัวเก็บประจุแบบไม่มีพื้นผิว (Non-substrate) พื้นผิวอีพ็อกซีและไม่มีพื้นผิว แต่ละประเภทแยกออกเป็น 6 รุ่นที่ ออกแบบที่มีขนาดแตกต่างกันของความกว้าง ช่องว่าง และความยาวของวงจรเส้นทองแดงแข็ง (H04) เพื่อเปรียบเทียบและหาค่าความเป็นเส้นตรงสูงแบบอย่าง การประดิษฐ์ที่ไม่มีพื้นผิวสามารถตรวจจับ ความจุสูงสุดที่ 877.56 nF ที่สูงกว่าความจุสูงสุดของตัวรับรู้ที่มีพื้นผิว 341.12 nF ช่วงความถี่ที่สูงขึ้นของวงจรที่ไม่มีซับสเตรต ให้ช่วงกว้างในการตรวจจับระดับน้ำที่มีความแม่นยำสูงซึ่งเหมาะที่จะพัฒนาให้เป็นตัวรับรู้ระดับมาตรฐานในอนาคตและงานวิจัยเกี่ยวข้องกับงานวิจัยการประยุกต์ใช้ตัวรับรู้ระดับน้ำด้วยอินเตอร์เน็ตสรรพสิ่งนั้น ได้ทำการค้นคว้าจะขอแนะนำเสนอข้อมูล

นักวิจัย Sonasang และคณะ (Sonasang et al., 2019) นำเสนอการวัดระดับน้ำด้วยตัวรับรู้แบบสายส่งเชื่อมต่อกับขั้วขานไมโครสตริป ด้วยการออกแบบและการสร้างตัวรับรู้สำหรับการวัดระดับของเหลวโดยใช้เส้นขั้วขานไมโครสตริป การออกแบบและสร้างเส้นคู่ด้วยไมโครสตริปมีสัมประสิทธิ์การเชื่อมต่อที่ -10 dB และความถี่ 200 MHz ระดับน้ำสำหรับการทดสอบอยู่ที่ 0-20 ซม. เพื่อตรวจสอบการตอบสนองความถี่ของสัมประสิทธิ์การเชื่อมต่อตั้งแต่ 100 MHz -1.5 GHz จากการทดลองพบว่าการมีความสัมพันธ์กับระดับน้ำต่างกันให้ผลเช่นเดียวกัน เทคนิคนี้ง่ายต่อการปฏิบัติตามเนื่องจากตัวรับรู้มีขนาดเล็กและมีราคาไม่แพง

นักวิจัยสรารุณี บุญเกิดรัมย์ (สรารุณี บุญเกิดรัมย์ และ ถนอมศักดิ์ วงศ์มีแก้ว, 2017) ได้นำเสนอเทคนิคการพัฒนาาระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย บริเวณระดับน้ำที่ทำการวัด 2.89 เมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.12 ภูมิของน้ำเฉลี่ย 29.98 องศาเซลเซียส ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.53 ค่าความเป็นต่างของน้ำ 7.01 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.14 เทคนิคที่นำเสนอให้ผลในการได้เป็นอย่างดี

นักวิจัย Boonkirdram และคณะ (Sarawoot Boonkirdram, 2015) การนำเทคโนโลยีสื่อสารแบบไร้สายโดยใช้ชิปปี เพื่อพัฒนาระบบการตรวจสอบคุณภาพน้ำ โดยการรับส่งข้อมูลด้วยคลื่นความถี่วิทยุตามมาตรฐานโปรโตคอล IEEE 802.15.4 ย่านความถี่ 2.4GHz โดยใช้บอร์ดอาคูโน ควบคุมการทำงานของระบบและโมดูลรับรู้ส่งสัญญาณไร้ สายแพร่กระจายสัญญาณจากตัวรับรู้ระดับอุณหภูมิและค่าความเป็นกรดต่างของน้ำจากแหล่งน้ำ ผลการทดลองวัดระดับน้ำมีค่าความสูงเฉลี่ย

2.89 เมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.12 อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ย 29.99 °C ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.53 และค่าความเป็นกรดต่างของน้ำเฉลี่ย 7.01 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.14 ผลการทดลองแสดงให้เห็นระบบการตรวจสอบคุณภาพน้ำ โดยใช้ซิกปีสามารถตรวจวัดค่าต่าง ๆ ได้และระบบมีการทำงานไม่ซับซ้อน ราคาไม่แพง สะดวกและสามารถใช้งานได้จริงสอดคล้องกับค่าที่ต้องการตรวจวัด

นักวิจัย Phimphisan และคณะ(Songgrod Phimphisan, 2015) ได้เสนอผลการศึกษาพบว่าความจุของน้ำที่เติมน้ำมดบที่มีค่าต่ำกว่าน้ำมดบที่ไม่ได้เติมน้ำ นอกจากนั้นยังมีโอกาสพัฒนาระบบตรวจจับต้นทุนค่าที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับน้ำที่เติมในน้ำมดบได้รับการพัฒนาโดยใช้การวัดค่าการนำไฟฟ้าของ IDC นอกเหนือจากการใช้วิธีการทั่วไป เช่น การหาค่าความถ่วงจำเพาะหรืออุณหภูมิจุดเยือกแข็ง และการบีบอัดบนตัวอย่างแช่แข็ง ได้มีการประกอบระบบและทำการทดลอง ลักษณะเฉพาะที่ 1 KHz, 10 KHz และ 20 ± 1 °C สำหรับตัวอย่างน้ำมดบทั้งหมดเผยให้เห็นค่าการนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเชิงเส้นเมื่อน้ำเพิ่มขึ้น

นักวิจัย ธิติพันธ์ ตะพาน้อย(ธิติพันธ์ ตะพาน้อย, 2555) นำเสนอระบบเฝ้าระวังระดับน้ำโดยใช้ตัวรับรู้อัจฉริยะแบบอินเตอร์ดิจิตอลคาปาซิทีฟอิเล็กทรอนิกส์ ผู้วิจัยได้ออกแบบแผนวงจรเป็นลักษณะซี มีย่านวัด 0-30 เซนติเมตรโดย ค่า R^2 มีค่า 0.9992 เป็นค่าความผิดพลาดในการวัด 2.3% FSO แต่การใช้พลังงานไฟฟ้า 3.35 mW ผู้วิจัยได้ศึกษากำลังไฟฟ้าที่สูญเสีย แรงไฟฟ้าที่จ่ายให้ ทำให้สูญเสียพลังงานลดลงร้อยละ 60

นักวิจัย Niwat Angkawisittpan และคณะ(N.angkawisittpan, 2012) ได้นำเสนอเทคนิคการใช้ตัวรับรู้อินเตอร์ดิจิตอล เพื่อทำการการวัดร้อยละของน้ำตาลที่รวมกับน้ำ โดยใช้ตัวรับรู้อินเตอร์ดิจิตอลคาปาซิเตอร์ เพื่อตรวจวัดค่าความจุไฟฟ้าค่าของตัวรับรู้ได้ถูกออกแบบ ความหนาของทองแดง 35 ไมโครเมตร ระยะห่างระหว่างซี 1 มิลลิเมตร ความยาวของซี 20 มิลลิเมตร และ จำนวนของซี 20 ซี การทดลอง จะใช้น้ำผสม กับน้ำตาล โดยปริมาณที่วัดเท่ากัน แต่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล ในแต่ละบีกเกอร์ ต่างกันดังนี้ 10,15,20,25,30,35,..50 % การวัด ใช้ตัวรับรู้อินเตอร์ดิจิตอลและคาปาซิเตอร์ จุ่มลงในสารละลาย แล้วป้อนสัญญาณ คลื่นไซน์ 10 โวลต์ และวัดสัญญาณขาออก ด้วยดิจิตอลออสซิลโลสโคป(digital oscilloscope) ผลที่ได้พบว่าค่าแรงดันต่างจากตัวรับรู้มีค่าน้อยเมื่อ ความเข้มข้นของน้ำตาลมาก ค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล 10% ถึง 50% ที่ความถี่ 200kHz จะมีความแตกต่างกันของแรงดันที่วัดได้

งานวิจัยที่กล่าวถึงในส่วนของ คุณสุภกร และคณะ(สุภกร กตาทิการกุล และ คณดิถ เจริญพัฒนานนท์, 2554) นำเสนอการวัดระดับน้ำโดยใช้เทคนิคการวัดความจุไฟฟ้า ด้วยการใช้ก้านวัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก พบว่ามีปริมาณความจุไฟฟ้าแปรผัน ตรงกับค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนไป และแปรผัน กับระยะห่างของแผ่นโลหะ ค่าที่ได้อยู่ในช่วงพิโกฟารัด (pF) ได้ค่าความ ไม่เป็นเชิงเส้น

1.31% (FSO) ความสามารถในการกระทำซ้ำ ๆ 1.02% ค่าฮิสเทอรีซิส 6.04 % (FSO) ค่าความไม่แน่นอน 0.00218 โวลต์ โดย ศักยภาพหลังการทดลองเพื่อจำลองสภาพระดับน้ำพบว่า ตรวจสอบได้ดีซึ่งมีความสามารถในการนำไปประยุกต์ใช้ วัดระดับของเหลวผ่น ตอบสนองดี เทรราคา ถูกกว่าแบบอื่น ๆ

นักวิจัย Cheng-Hsin และคณะ(Chuang, 2011) นำเสนอการตรวจสอบคุณภาพน้ำ โดยใช้ตัวรับรู้ อินเทอร์เน็ตจิตอลคาปาซิเตอร์ แบบโค้งงอเพื่อวัดกรดต่าง โดยใช้พอลิอะนิลีน (PANDB) เป็นแผนรองฐานตัวรับรู้ ค่าอิมพีแดนซ์ที่ต่างกัน การออกแบบตัวรับรู้อินเทอร์เน็ตจิตอลคาปาซิเตอร์ ตอนพิมพ์ลายทองแดงลงบนแผ่นพอลิโพลีเอธิลีน กำหนดค่าดังนี้ ความกว้าง ระยะห่าง และความหนา ระหว่างซี่ 30,60,10 ไมโครเมตร ตามลำดับ ทดสอบใช้ตัวรับรู้ต่อกับ RLC Meter ที่ทำงานด้วยความถี่ 1-100 kHz ขนาด 2 โวลต์ จากนั้น หยดสารละลาย กรด-ด่าง โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และกรด แอซิติก (CH₃COOH) ที่เตรียมให้มีค่า pH 2-12 เพื่อหาความแตกต่างของค่าอิมพีแดนซ์ ผลทดสอบพบว่าค่า pH มีค่าความเป็นกรด มากกว่า ค่าอิมพีแดนซ์ จะมีค่าน้อย ในทางกลับกัน pH ความเป็นเบสมากกว่าอิมพีแดนซ์จะมีค่าสูง E_{eff} สิทธิภาพที่คำนวณจาก X_{air} คือค่าที่วัดอากาศ X_{mut} คือค่าวัดขึ้นเนื้อ โดยนำค่าที่คำนวณ ได้ ไปเปรียบเทียบกับโภชนาการอาหาร จึงสามารถนำไปคำนวณค่าไขมันและค่าโปรตีนของหมูได้

สำการใช้ระบบ IoT งานด้านการเตือนภัยหรือแจ้งข้อมูลระดับน้ำ ดังต่อไปนี้

นักวิจัย Supriya, K. E และคณะ(Supriya & lowast Nbsp, 2020) ผู้วิจัยได้นำเสนอการตรวจสอบและควบคุมระดับน้ำแบบเรียลไทม์โดยใช้ระบบ IoT เพื่อตรวจสอบและควบคุมระดับน้ำแบบเรียลไทม์โดยใช้ IoT และเทคโนโลยีคลาวด์คอมพิวติ้ง เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียน้ำในถังเก็บน้ำ/บ่อพักน้ำ วิธีการ/วิเคราะห์: ตรวจวัดระดับน้ำในถังโดยใช้เซ็นเซอร์อัลตราโซนิก HC-SR04 ซึ่งทำงานบนหลักการคล้ายกับเรดาร์/โซนาร์ โดยแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นคลื่นเสียงและในทางกลับกัน และเชื่อมต่อกับ CC3200 Launchpad เป็ด -ชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ Wi-Fi ผลการวิจัยพบว่า เซ็นเซอร์อัลตราโซนิกวัดระยะทางและไมโครคอนโทรลเลอร์จะอ่านข้อมูลและอัปโหลดไปยังคลาวด์ ThingSpeak บ่งชี้ระดับน้ำที่ใช้ IoT ได้

นักวิจัย P. Srivastava และคณะ(Srivastava, Bajaj, & Rana, 2018) นำเสนอเทคนิคการพัฒนาเป็นเครื่องต้นแบบช่วยในการควบคุมและตรวจสอบสถานะ การใช้แหล่งพลังงานจากระยะไกลผ่าน Smart Phone หรือ Computer สลับเปลี่ยนการใช้พลังงานจากพลังแสงอาทิตย์เป็นพลังลม มีการนำเสนอการออกแบบและการพัฒนาระบบ ด้วยการใช้ Node MCU ESP8266 ส่ง-รับ และควบคุมข้อมูลไฟฟ้าแบบไร้สาย ที่รวบรวมข้อมูลโดย Web server ที่ออกแบบ สำหรับควบคุมแหล่ง

พลังงานแบ่งออกเป็น 2 วิธี 1. การควบคุมด้วยตนเอง มีสวิตช์เปิด/ปิด และสวิตช์สับเปลี่ยนพลังงาน 2. การควบคุมระยะไกลด้วย Smart Phone หรือ Personal Computer โดยอาศัยโครงสร้างเครือข่ายชั้นพื้นฐานที่ปลอดภัย วิธีวัดผลได้ดำเนินการสร้างตัวต้นแบบ โดยนำแหล่งพลังงาน แสงอาทิตย์กับพลังงานลมติดตั้งกับ Op-amp (Operational Amplifier) เป็นวงจรขยายสัญญาณที่มี อัตราขยายแรงดันสูง ตอบสนองความถี่ได้กว้างตั้งแต่ DC (Direct Current) จนถึงความถี่สูงหลายเมกะเฮิร์ตซ์จากนั้นนำ Node MCU ESP8266 ติดตั้งกับ Op-amp เพื่อควบคุมและตรวจสอบสถานะ การเปลี่ยนแหล่งพลังงานให้กับ Load (อุปกรณ์ไฟฟ้าใด ๆ ซึ่งงานต้นแบบจะให้หลอดไฟ Red LED)

นักวิจัยนำเสนอเทคนิค นักวิจัย Andreas Kamilaris และคณะ(Kamilaris et al., 2016) นักวิจัย Andreas Kamilaris และคณะได้พัฒนาระบบ Agri-IoT สำหรับแอปพลิเคชันสมาร์ทฟาร์มซึ่ง สนับสนุนการส่งข้อมูลของตัวรับรู้ต่าง ๆ แบบเรียลไทม์ Agri-IoT สามารถรวมข้อมูลจากหลายๆ โดเมนหรือรูปแบบของ IoT ที่แตกต่างกันเข้าด้วยกันเพื่อการประมวลผลที่มีประสิทธิภาพสูงสุด รองรับแพลตฟอร์มที่แตกต่างกัน เชื่อมต่อระบบกับ cloud ในการเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ สามารถทำ การควบคุมสั่งงานอุปกรณ์พร้อมกันรับค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์ตัวรับรู้ได้มากถึง 100 – 300 ตัว ในช่วง เวลาเดียวกันซึ่งได้ทดสอบการทำงานพร้อมกันของตัวรับรู้จำนวนมากกับฟาร์มขนาดกลางไป จนถึง ฟาร์มขนาดใหญ่ซึ่งให้ผลการทำงานดีอีกทั้งผลของการทดสอบระบบด้านการปรับขนาดในการรองรับ ข้อมูลแบบเรียลไทม์บนพื้นฐานของ IoT และเทคโนโลยีเว็บแบบ Semantic ให้ผลออกมามี ประสิทธิภาพที่ดีช่วยในด้านการศึกษาของเกษตรกรได้รวดเร็ว

จากงานวิจัยที่นำเสนอผ่านมานั้นได้มีการพัฒนาตัวรับรู้อินเทอร์เน็ตจิตอลสำหรับวัดระดับน้ำ แต่อย่างไรก็ตามได้มีการนำเสนอการใช้ IDC ร่วมกับระบบ IoT วิทยานิพนธ์จะนำเสนอการพัฒนาระบบ ตรวจสอบระดับน้ำเพื่อทำการพยากรณ์ระดับน้ำด้วยตัวรับรู้สราวุฒิ พร้อมนำเสนอประสิทธิภาพของ ระบบตรวจระดับน้ำด้วย IoT ซึ่งจะนำเสนอในบทที่ 3 ขั้นตอนการวิจัย โดยจะนำเสนอในส่วนของ ตัวรับรู้สราวุฒิและการออกแบบพัฒนาระบบ IoT เพื่อเชื่อมต่อกับตัวรับรู้ที่นำเสนอ พร้อมแสดงผลข้อมูล การวัดระดับน้ำแบบทันเวลา (real time) ต่อไป

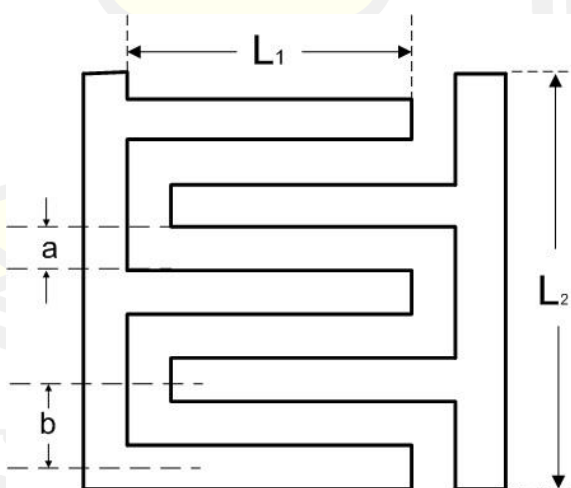
พหุ มณ ฑิต ชีวะ

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

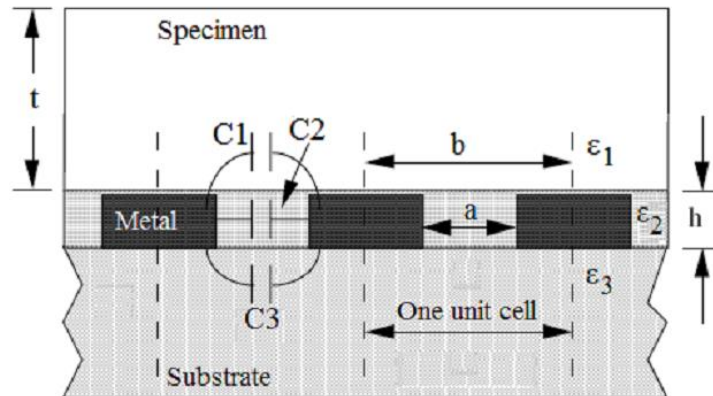
บทนี้ของวิทยานิพนธ์นี้ จะนำเสนอขั้นตอนวิธีการวิจัยในการประยุกต์ตัวรับรู้ระดับน้ำอินเทอร์ดิจิตอล โดยเนื้อหาจะประกอบด้วย การออกแบบตัวรับรู้อินเทอร์ดิจิตอลของสรราวุฒิ การสร้างตัวรับรู้ต้นแบบตัวรับรู้อินเทอร์ดิจิตอลของสรราวุฒิ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและการทดลอง การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การออกแบบตัวรับรู้อินเทอร์ดิจิตอลของสรราวุฒิ

ทฤษฎีและการออกแบบตัวรับรู้ระดับน้ำตัวเก็บประจุอินเทอร์ดิจิตอลของสรราวุฒิ (Boonkirdram, S, 2015) จะใช้หลักการการขนานของแผ่นทองแดงมีขั้วบวกและลบ โดยเมื่อทองแดงมีการขนานกันเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ค่าการเก็บประจุมีค่ามากขึ้นเช่นกัน แล้วนำค่าการเก็บประจุที่ได้นั้นไปแปลงค่าในระบบประมวลผล ค่าการเก็บประจุมีหน่วยเป็นฟารัด (Farad,F) การออกแบบตัวรับรู้ตัวเก็บประจุอินเทอร์ดิจิตอลของสรราวุฒิ ดังโครงสร้างในภาพประกอบ 18



ภาพที่ 18 ภาพด้านบนของโครงสร้างของตัวรับรู้ระดับน้ำตัวเก็บประจุอินเทอร์ดิจิตอลของสรราวุฒิ (Angkawisittpan N. and Manasri T., 2012) (Boonkirdram, S, 2015)



ภาพที่ 19 ภาพแนวตัดโครงสร้างของตัวรับรูดัชนีตัวเก็บประจุอินเตอร์ดิจิตอลของสราวุฒิ
(N.angkawisittpan, 2012) (Sarawoot Boonkirdram, 2015)

ลำดับในการคำนวณจะเริ่มต้นจากหาค่า C_{uc} โดยมีองค์ประกอบ ϵ_0 คือค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าในสูญญากาศ (permittivity of free space) เท่ากับ 8.854×10^{-12} F/m, ϵ_1 คือค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ (the relative permittivity) ของวัสดุที่ใช้นำมาทดสอบเช่น อากาศ น้ำ น้ำมัน, ϵ_2 คือค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุระหว่างทองแดงอิเล็กทรอนิกส์ และ ϵ_3 คือค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง K คือ ฟังก์ชันของปริพันธ์เชิงวงรีของมอดูลัส (elliptic integrals of modulus) โดยมี a เป็นระยะห่างของซี่ b เป็นระยะความกว้างของอิเล็กทรอนิกส์ ต่อมาเป็นการหาค่าการเก็บประจุทั้งหมดของตัวรับรูดัชนีตัวเก็บประจุอินเตอร์ดิจิตอลของสราวุฒิ ในสมการที่ 3.1 ประกอบด้วย L_1 คือความยาวของซี่ และ N คือจำนวนของซี่ (Angkawisittpan N. and Manasri T., 2012)

$$C = C_{uc}(N-1)L_1 \quad (3.1)$$

$$C_{uc} = C_1 + C_2 + C_3 \quad (3.2)$$

$$C_1 + C_2 = \varepsilon_0 \left(\frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_3}{2} \right) \frac{K \left(\sqrt{1 - \left(\frac{a}{b} \right)^2} \right)}{K \left(\frac{a}{b} \right)} \quad (3.3)$$

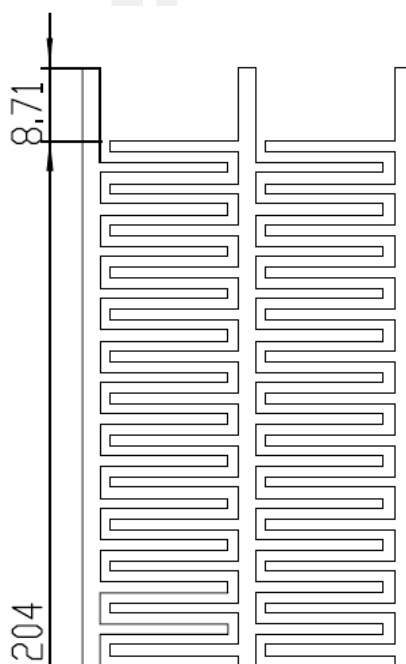
$$C_2 = \varepsilon_0 \varepsilon_2 \frac{h}{a} \quad (3.4)$$

- โดยที่
- C** = ค่าการเก็บประจุทั้งหมดของอิเล็กโทรด
 - C_{UC}** = ค่าการเก็บประจุของอิเล็กโทรด 1 คู่
 - N** = จำนวนซี่ทั้งหมดของอิเล็กโทรด
 - L₁** = ความยาวของซี่อิเล็กโทรดแต่ละอัน
 - a** = ระยะห่างระหว่างซี่
 - b** = ระยะความกว้างระหว่างทองแดงอิเล็กโทรด
 - ε₀** = ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าในสุญญากาศ (permittivity of free space) มีค่า 8.854×10⁻¹² F/m
 - ε₁** = ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุที่ใช้นำมาทดสอบ ในที่นี้เป็นน้ำ 80
 - ε₂** = ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ ของวัสดุระหว่างทองแดงอิเล็กโทรด
 - ε₃** = ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ ของวัสดุฐานรอง Fr4
 - K** = ฟังก์ชันของปริพันธ์เชิงวงรีของมอดูลัส

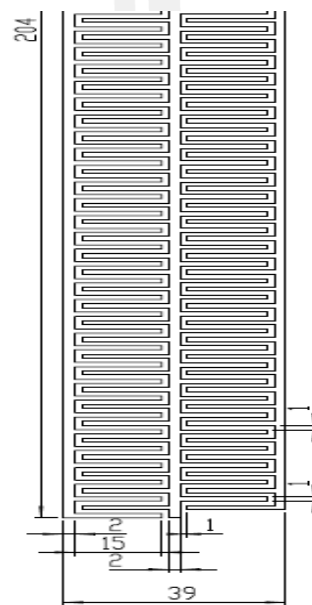
ในงานวิจัยนี้จะนำเสนอโครงสร้างของตัวรับรู้ระดับน้ำค่าเก็บประจุไฟฟ้าของสรารวุฒิ ซึ่งนำเสนอ 4 ชนิดอ้างอิงของนักวิจัยสรารวุฒิ (Sarawoot Boonkirdram, 2015) โดยมีโมเดล (model) ดังต่อไปนี้

3.1.1 Model A1

ภาพประกอบ 19-20 แสดงโมเดล B1 ทางผู้วิจัยได้ทำการออกแบบตัวรับรูดัชนีค่าการเก็บประจุอินเตอร์ดิจิตอลแบบดั้งเดิมโดยการคำนวณจากการแทนค่าในสมการที่ 3.1-3.4 เพื่อหาค่าการเก็บประจุในสมการที่ 1 ค่าพารามิเตอร์คือ $h=0.105$ mm, $a=2$ mm, $b=4$ mm, $L_1=15$ mm and $N=20$ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าในสุญญากาศคือ $\epsilon_1 = \epsilon_2 = 1$, และค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรองชนิดอีพ็อกซี (Epoxy) $\epsilon_3 = 4.6$ โดยคำนวณค่าการเก็บประจุ เท่ากับ 9.5684 pF



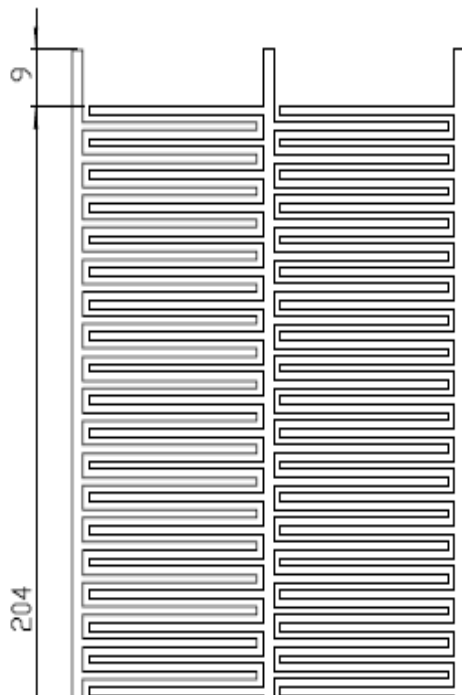
ภาพที่ 20 โมเดล A1



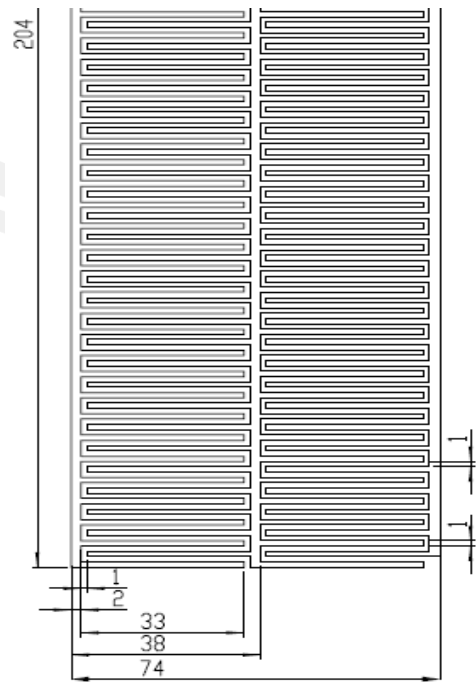
ภาพที่ 21 โมเดล A1

3.1.3 Model B1

โมเดล B1 ทางผู้วิจัยได้ทำการออกแบบตัวรับรูดัชนีค่าการเก็บประจุอินเตอร์ดิจิตอลแบบดั้งเดิมโดยการคำนวณจากการแทนค่าในสมการที่ 3.1-3.4 เพื่อหาค่าการเก็บประจุในสมการที่ 1 ค่าพารามิเตอร์คือ $h=0.105$ mm, $a=2$ mm, $b=4$ mm, $L_1=15$ mm and $N=20$ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าในสุญญากาศคือ $\epsilon_1 = \epsilon_2 = 1$, และค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรองชนิดอีพ็อกซี (Epoxy) $\epsilon_3 = 4.6$. เท่ากับ 9.5684 pF ตัวต้นแบบดังแสดงภาพประกอบ 3.6 หลังจากออกแบบตัวต้นแบบของตัวรูดัชนีค่าการเก็บประจุอินเตอร์ดิจิตอลแบบต่าง แล้วก็ขึ้นขั้นตอนการสร้างต้นแบบที่ได้ออกแบบ ซึ่งต้องอาศัยเครื่องมือ และวัสดุที่เกี่ยวข้องดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป



ภาพที่ 22 โมเดล B1



ภาพที่ 23 โมเดล B1

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 แผ่นทองแดง

ทองแดงมีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าเป็นอันดับสอง จึงนิยมนำมาใช้ทำลวดส่งกระแสไฟฟ้า และและอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ทั้งช่วยป้องกันการไหม้ของสายไฟได้ดี ใช้เป็นส่วนผสมสำคัญ ในโลหะผสมหลายชนิด เช่น ทองเหลือง โมเนลและสำริด เป็นต้น เพิ่มความแข็งให้กับโลหะ โดยใช้ผสมกับเงินและทองใช้ในการทำเครื่องประดับและเหรียญตราต่าง ๆ ซึ่งก็จะได้เครื่องประดับที่สวยงามและทนทานอย่างมากโดยงานวิจัยนี้ใช้แผ่นทองแดงขนาดความหนา 35 ไมโครเมตรในการออกแบบและสร้างตัวรับรู้ระดับน้ำตัวเก็บประจุอินเตอร์ดิจิตอลของสรวุฒิ แบบไร้วัสดุฐานรอง



ภาพที่ 24 แผ่นทองแดง

3.2.2 วัสดุฐานรอง

วัสดุฐานรอง คือ แผ่นที่มีทองแดง 2 ด้านโดยมีฉนวนเป็นตัวกั้นทองแดง นำมาใช้งานด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์ สายอากาศ มีหลายชนิดต่างขนาด ความหนา ค่าไดอิเล็กตริก ค่าการนำของวัสดุ การทำงานวิจัยนี้ใช้วัสดุฐานรองแบบ Epoxy โดยมีคุณสมบัติ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ $\epsilon_r = 4.6$ โดยผลิตที่ความหนาความหนา 1.6 มม. ภาพประกอบที่ 3.6 ตัวแผ่นวัสดุฐานรอง ซึ่งในงานวิจัยจำทำขึ้นเพื่อเปรียบเทียบค่าการเก็บประจุระหว่างตัวรับรู้ระดับน้ำตัวเก็บประจุอินเตอร์ดิจิตอลของสรวาภูมิ เหมาะสมกับงานทางด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ระบบสื่อสาร



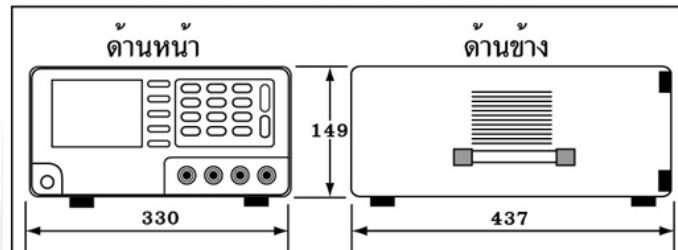
ภาพที่ 25 ตัวแผ่นวัสดุฐานรอง

3.2.3 เครื่องวัดค่าการเหนี่ยวนำ ค่าการเก็บประจุ และค่าความต้าน (LCR Meter)

สำหรับการวัดทดสอบตัวรับรู้ระดับน้ำของสรวาภูมิ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจะวัดความเที่ยงตรงของตัวรับรู้ระดับน้ำที่ได้สร้างต้นแบบ โดยจะวัดค่าตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นของตัวรับรู้ทั้ง 4 โมเดลหรือต้นแบบ ต้องอาศัยการใช้เครื่องวัดค่าการเหนี่ยวนำ ค่าการเก็บประจุ และค่าความต้าน (LCR Meter) ยี่ห้อ GW instek รุ่น LCR-817 โดยมีคุณสมบัติของเครื่องมีค่าความแม่นยำในการวัดที่ 0.05%~0.1% ตามคู่มือของเครื่องที่วัด ตัวเครื่องเครื่อง LCR มิเตอร์ ดังภาพประกอบ 3.7 โดยการวัดนั้นจะมีการต่อเชื่อมระหว่างตัวรับรู้ระดับน้ำตัวเก็บประจุอินเตอร์ดิจิตอลของสรวาภูมิ ในแนวระนาบกับเครื่องวัดที่ความถี่ 1, 5 และ 10 kHz ที่แรงดันไฟฟ้า 2.5 โวลต์ (Volt) ซึ่งต่อผ่านชุด Kelvin Clip Leads ที่ขั้วต่อของตัวรับรู้ระดับน้ำตัวเก็บประจุอินเตอร์ดิจิตอลของสรวาภูมิ และอ่านค่าผลวัดจากเครื่อง LCR รุ่น LCR-817



ขนาดและรูปร่าง (หน่วย : มม.)



ภาพที่ 26 เครื่องวัดค่าการเหนี่ยวนำ ค่าการเก็บประจุ และค่าความต้าน (LCR Meter)

3.3 วิธีการสร้างและการทดลอง

เมื่อทำการออกแบบในหัวข้อที่ 3.2 ตามสมการแล้วในสมการที่ 3.1-3.4 สำหรับการคำนวณการ



ภาพที่ 27 Model A1



ภาพที่ 28 Model B1

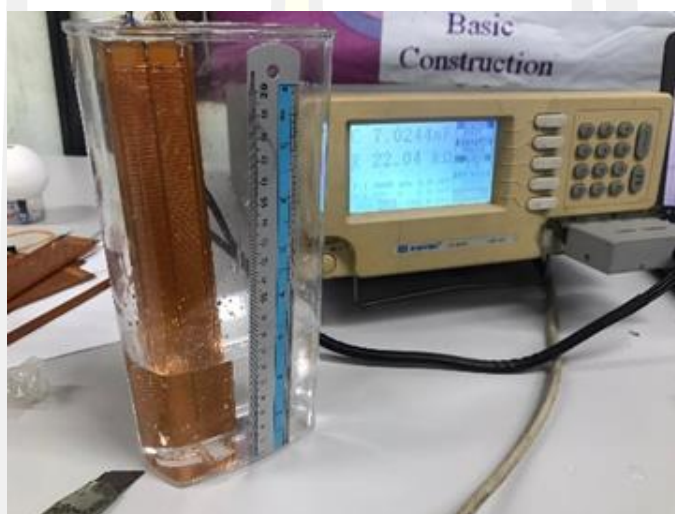
ชิ้นงานจริงโมเดล B1 และ B2

การออกแบบ สร้างต้นแบบตัวรับรู้

3.3.1 วิธีการสร้างตัวรับรู้ระดับน้ำตัวเก็บประจุอินเตอร์ดิจิตอลของสราวุฒิ

การสร้างตัวรับรู้ระดับน้ำตัวเก็บประจุอินเตอร์ดิจิตอลของสราวุฒิ โดยออกแบบเป็น 6 ขนาดตามตารางที่ 3.1 โดยการสร้างวัสดุฐานรองจะใช้ Epoxy ที่มีค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพันธ์ของวัสดุที่ $\epsilon_r = 4.6$ หล่อขึ้นตามโมลบล็อกขนาดความกว้าง 21 มิลลิเมตร ความยาว 80 มิลลิเมตร ความสูง 1.6 มิลลิเมตร แล้วนำแผ่นทองแดงขนาดความหนา 0.105 มิลลิเมตร ตัดเป็นรูปอิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบ ทำการสร้างวงจร ดังภาพประกอบ 3.8 มาวางด้านบนในขณะที่ Epoxy เซทตัว ชิ้นงานนี้ได้สมมุติฐานงานให้คล้ายกับแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) ที่นำมากัดลายวงจร ดังภาพประกอบ 3.8 เป็นชนิดโมเดล A (model A1) อ้างอิงของ (Boonkirdram, S, 2015)

ภาพประกอบ 3.9 ชิ้นงานจริงโมเดล B1 และ B2 สร้างวัสดุฐานรองจะใช้ Epoxy ที่มีค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพันธ์ของวัสดุที่ $\epsilon_r = 4.6$ หล่อขึ้นตามโมลบล็อกขนาดความกว้าง 21 มิลลิเมตร ความยาว 80 มิลลิเมตร ความสูง 1.6 มิลลิเมตร แล้วนำแผ่นทองแดงขนาดความหนา 0.105 มิลลิเมตร ตัดเป็นรูปอิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบ ทำการสร้างวงจรมาวางด้านบนในขณะที่ Epoxy เซทตัว ซึ่งงานนี้ได้สมมุติฐานงานให้คล้ายกับแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) ที่นำมากัดลายวงจร อ้างอิงของ (Boonkirdram, S, 2015)



ภาพที่ 29 การทดสอบตัวรับรู้ระดับดัดน้ำของสราวุฒิด้วยเครื่องวัด LCR

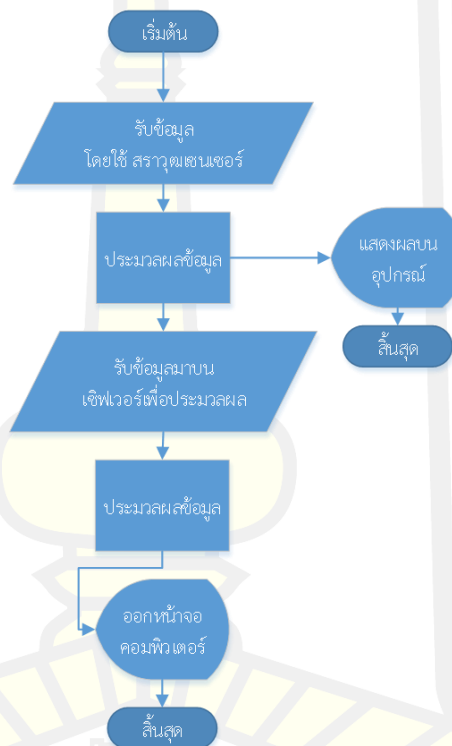
จากภาพประกอบ 3.10 แสดงการทดสอบการทดสอบตัวรับรู้ระดับดัดน้ำของสราวุฒิด้วยเครื่องวัด LCR ที่ความถี่ 1kHz 5kHz และ 10kHz โดยวัดค่าระดับตั้งแต่ 0 cm จนถึงระดับ 20 cm โดยช่วงวัดครั้งละ 1 cm โดยวัดช่วงละ 5 ซ้ำเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดในการวัดค่าการเก็บประจุที่ได้จากเครื่องมือวัด LCR มิเตอร์ โดยจะนำผลการทดสอบตัวรับรู้ระดับของสราวุฒิ ของแต่ละโมเดล จะนำเสนอผลการทดลองในบทที่ 4 ต่อไปตามลำดับ

จากนั้นเมื่อทดสอบผลการวัดวัดการทดสอบตัวรับรู้ระดับดัดน้ำของสราวุฒิด้วยเครื่องวัด LCR จะนำตัวรับรู้ที่นำเสนอมาออกแบบเชื่อมต่อกับระบบ IoT ซึ่งต้องอาศัยบอร์ดและตัววงจรเชื่อมต่อดังที่ได้กล่าวในบทที่ 2 ในส่วนของ ESP8266 ซึ่งหัวข้อต่อไปจะเป็นการออกและพัฒนาการเชื่อมต่อการตัวรับรู้ระดับดัดน้ำของสราวุฒิกับบอร์ด ESP8266 พร้อมระบบการแสดงผลบนแอปพลิเคชัน (application) ที่เหมาะสมในงาน ดังจะกล่าวต่อไปนี้

3.3.2 การออกแบบและพัฒนาตัวรับรู้ระดับดัดน้ำตัวเก็บประจุอินเตอร์ดิกิตอลของสราวุฒิเชื่อมต่อกับระบบ IoT

ส่วนประกอบของระบบที่นำเสนอซึ่งเป็นการพัฒนาต่อจากการใช้ตัวรับรู้ระดับน้ำอินเทอร์เน็ตดิจิทัลของสราวุฒิ ซึ่งมีส่วนประกอบในส่วนของระบบซอฟต์แวร์และส่วนของฮาร์ดแวร์ ซึ่งจะขอนำเสนอทั้งสองส่วน ดังนี้

ส่วนของซอฟต์แวร์ส่วนของการออกแบบโปรแกรมสำหรับการทำงานของระบบวัดระดับน้ำซึ่งใช้ตัวรับรู้ระดับน้ำของอินเทอร์เน็ตดิจิทัลของสราวุฒิ โดยมีโครงสร้างส่วนประกอบการทำงานของระบบ ตามภาพที่ 30 แสดงแผนภาพการทำงานของระบบวัดระดับน้ำด้วยตัวรับรู้ระดับน้ำตัวเก็บประจุอินเทอร์เน็ตดิจิทัลของสราวุฒิเชื่อมต่อกับระบบ IoT ซึ่งเริ่มต้นด้วยการรับค่าของตัวรับรู้ตัววัดระดับน้ำของสราวุฒิ

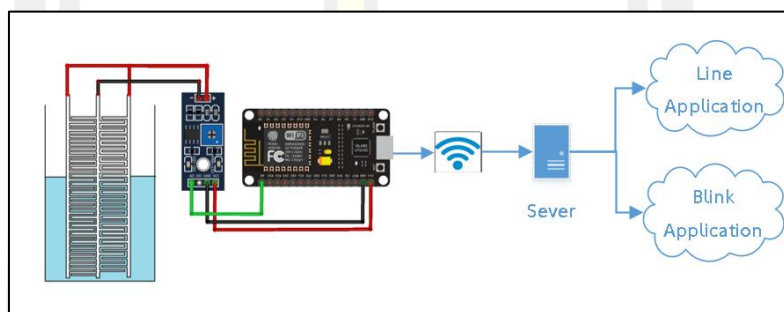


ภาพที่ 30 แผนภาพการทำงานของระบบวัดระดับน้ำด้วยตัวรับรู้ระดับน้ำตัวเก็บประจุอินเทอร์เน็ตดิจิทัลของสราวุฒิเชื่อมต่อกับระบบ IoT

ระบบประมวลผลข้อมูลที่ได้จะแปลงค่าดิจิทัลเป็นตัวเลขแสดงผลของระดับน้ำ 0-20 cm บนอุปกรณ์แสดงผลซึ่งใช้สมาร์โฟน เป็นตัวแสดงผล จากนั้นก็รับข้อมูลขึ้นระบบเซิร์ฟเวอร์

ประมวลผลข้อมูล บันทึกค่าที่วัดแต่ละช่วงเวลา พร้อมระดับความสูง พร้อมแสดงผลบนจอมอนิเตอร์ และสิ้นสุดตามลำดับ รายละเอียดของโปรแกรมคำสั่ง ที่ทำการโปรแกรมลง ESP8266 นั้น จะอยู่ในภาคผนวก ตามแผนผังที่นำเสนอ ภาพประกอบ 3.11 ตามลำดับ

ตามที่ได้กล่าวในบทที่ 2 อุปกรณ์และระบบที่จำเป็นในการออกแบบและประกอบระบบวัดระดับน้ำด้วยตัวรับรู้ระดับน้ำตัวเก็บประจุอินเตอร์ดิจิตอลของสราวุฒิเชื่อมต่อกับระบบ IoT โดยจะนำเสนอ ดังภาพประกอบ 31 ซึ่งประกอบด้วยตัวอินพุต (Input) ตัวรับรู้ระดับน้ำของสราวุฒิของแต่ละโมเดล A1 และ B1 ตามลำดับ ด้วยการประยุกต์ใช้ ตัว Rain Sensor YL-83 สำหรับการเชื่อมต่อข้อมูลระหว่าง รับรู้ระดับน้ำของสราวุฒิของแต่ละโมเดล A1 และ B1 เข้ากับ ESP8266 ซึ่งจะคำนวณและแปลงค่าเป็นระดับของน้ำ ตั้งแต่ 0 - 20 cm โดยระบบจะทำงานตามแผนผังตามภาพประกอบ 31 ตามลำดับ และภาพส่วนของการแสดงผลผ่านแอปพลิเคชัน Google Datastudio พร้อมแจ้งเตือนระดับน้ำผ่านไลน์ (Line application) ตามลำดับ

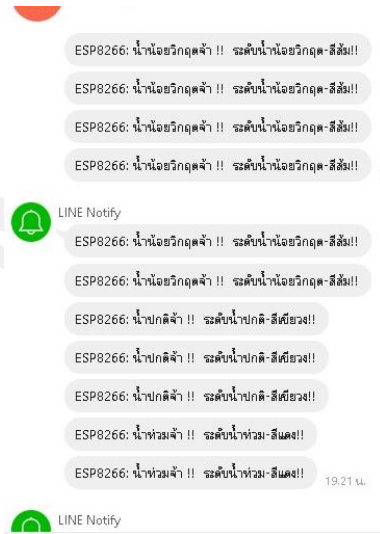


ภาพที่ 31 ส่วนประกอบของระบบวัดระดับน้ำด้วยตัวรับรู้ระดับน้ำตัวเก็บประจุอินเตอร์ดิจิตอลของสราวุฒิเชื่อมต่อกับระบบ IoT

ภาพประกอบ 3.13 นำเสนอระบบการแสดงผลและแจ้งเตือนระบบวัดระดับน้ำด้วยตัวรับรู้ระดับน้ำตัวเก็บประจุอินเตอร์ดิจิตอลของสราวุฒิเชื่อมต่อกับระบบ IoT ซึ่งประกอบด้วย (Google Datastudio) พร้อมแจ้งเตือนระดับน้ำผ่านไลน์ (Line application) ภาพประกอบ 31 แสดงการติดตั้งการวัดต้นแบบระบบวัดระดับน้ำด้วยตัวรับรู้ระดับน้ำตัวเก็บประจุอินเตอร์ดิจิตอลของสราวุฒิเชื่อมต่อกับระบบ IoT ทำการทดลองระดับน้ำตั้งแต่ 0-20 cm โดยจะนำเสนอขั้นตอนในการทดสอบในหัวข้อต่อไป และผลการทดลองในบทที่ 4 ตามลำดับ

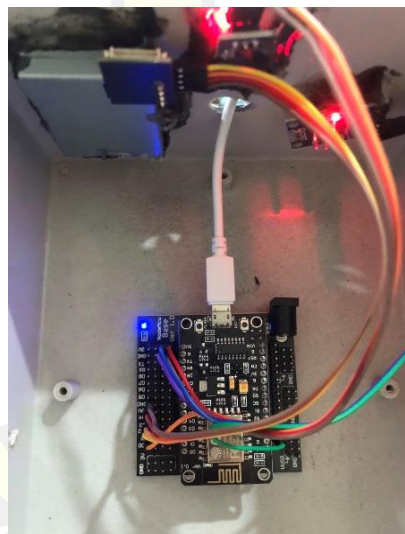


(Blink Application)



(Line application)

ภาพที่ 32 ระบบการแสดงผลและแจ้งเตือนระบบวัดระดับน้ำด้วยตัวรับรู้ระดับน้ำตัวเก็บประจุอินเตอร์ ดิจิตอลของสราวุฒิเชื่อมต่อกับระบบ IoT



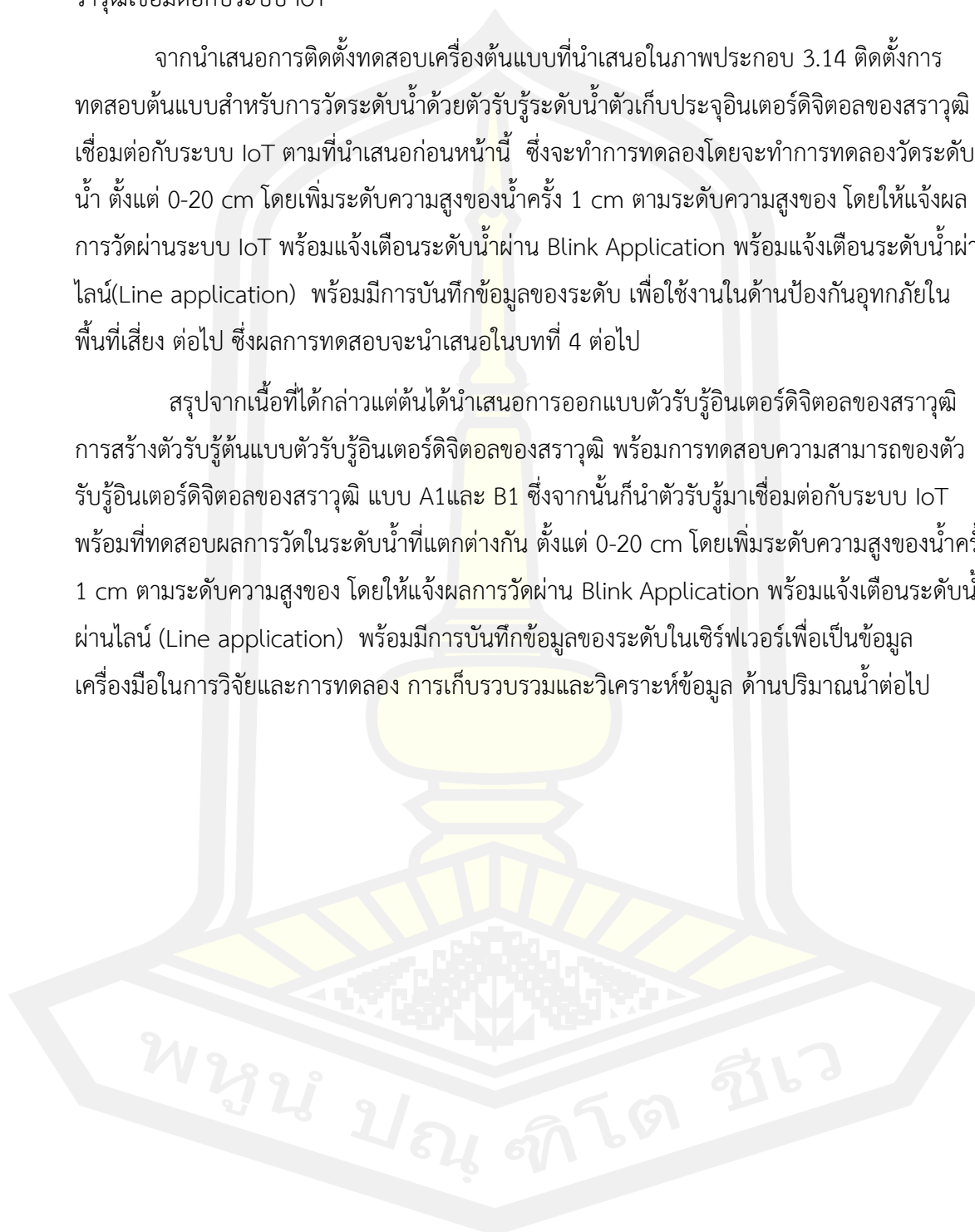
ภาพที่ 33 การติดตั้งระบบวัดต้นแบบระบบวัดระดับน้ำด้วยตัวรับรู้ระดับน้ำตัวเก็บประจุอินเตอร์ ดิจิตอลของสราวุฒิเชื่อมต่อกับระบบ IoT

ภาพประกอบ 3.14 ต้นแบบระบบวัดระดับน้ำด้วยตัวรับรู้ระดับน้ำตัวเก็บประจุอินเตอร์ ดิจิตอลของสราวุฒิเชื่อมต่อกับระบบ IoT ซึ่งจะทำการทดลองระบบวัดระดับน้ำด้วยตัวรับรู้ระดับน้ำ ตัวเก็บประจุไฟฟ้าดิจิตอลของสราวุฒิ ซึ่งจะทำการทดลองวัดระดับน้ำ ตั้งแต่ 0-20 cm โดยจะเพิ่ม ระดับความสูงของน้ำ รายละเอียดจะกล่าวใน ลำดับต่อไป

3.3.3 ขั้นตอนในการทดลองระบบวัดระดับน้ำด้วยตัวรับรู้ระดับน้ำตัวเก็บประจุอินเทอร์ดิจิตอลของสรวาฐมิเชื่อมต่อกับระบบ IoT

จากนำเสนอการติดตั้งทดสอบเครื่องต้นแบบที่นำเสนอในภาพประกอบ 3.14 ติดตั้งการทดสอบต้นแบบสำหรับการวัดระดับน้ำด้วยตัวรับรู้ระดับน้ำตัวเก็บประจุอินเทอร์ดิจิตอลของสรวาฐมิเชื่อมต่อกับระบบ IoT ตามที่นำเสนอก่อนหน้านี้ ซึ่งจะทำการทดลองโดยจะทำการทดลองวัดระดับน้ำ ตั้งแต่ 0-20 cm โดยเพิ่มระดับความสูงของน้ำครั้ง 1 cm ตามระดับความสูงของ โดยให้แจ้งผลการวัดผ่านระบบ IoT พร้อมแจ้งเตือนระดับน้ำผ่าน Blink Application พร้อมแจ้งเตือนระดับน้ำผ่านไลน์(Line application) พร้อมมีการบันทึกข้อมูลของระดับ เพื่อใช้งานในด้านป้องกันอุทกภัยในพื้นที่เสี่ยง ต่อไป ซึ่งผลการทดสอบจะนำเสนอในบทที่ 4 ต่อไป

สรุปจากเนื้อหาที่ได้กล่าวแต่ต้นได้นำเสนอการออกแบบตัวรับรู้อินเทอร์ดิจิตอลของสรวาฐมิ การสร้างตัวรับรู้ต้นแบบตัวรับรู้อินเทอร์ดิจิตอลของสรวาฐมิ พร้อมการทดสอบความสามารถของตัวรับรู้อินเทอร์ดิจิตอลของสรวาฐมิ แบบ A1 และ B1 ซึ่งจากนั้นก็ให้นำตัวรับรู้มาเชื่อมต่อกับระบบ IoT พร้อมทั้งทดสอบผลการวัดในระดับน้ำที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 0-20 cm โดยเพิ่มระดับความสูงของน้ำครั้ง 1 cm ตามระดับความสูงของ โดยให้แจ้งผลการวัดผ่าน Blink Application พร้อมแจ้งเตือนระดับน้ำผ่านไลน์ (Line application) พร้อมมีการบันทึกข้อมูลของระดับในเซิร์ฟเวอร์เพื่อเป็นข้อมูลเครื่องมือในการวิจัยและการทดลอง การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล ด้านปริมาณน้ำต่อไป



บทที่ 4

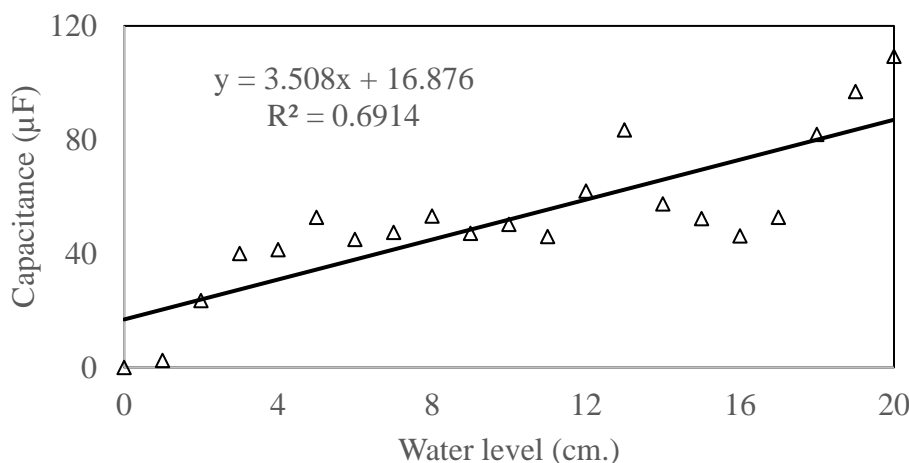
ผลการวิจัยและการอภิปราย

สำหรับรายละเอียดในบทนี้จะแสดงถึงลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลหลังจากที่ได้ดำเนินการวิจัยไปแล้วการออกแบบและการสร้างตัวรับรู้ระดับน้ำค่าที่เก็บประจุอินเตอร์ดิจิตอลตามขั้นตอนที่ผู้วิจัยได้ทำการสร้างขึ้น จนได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลออกมา ซึ่งเป็นไปตามขอบเขตที่กำหนดไว้ในบทนี้ทำการแสดงผลการทดลอง ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดลองการวัดค่าความจุทางไฟฟ้าของโมเดล A1

ผลการทดลองการวัดค่าความจุทางไฟฟ้าของ Model A1 ด้วยเครื่อง LCR Meter ยี่ห้อ GW instek รุ่น LCR-817 โดยทำการวัดซ้ำจำนวน 5 ครั้ง ที่ความถี่ 1 kHz พบว่า ค่าความจุเริ่มต้น 0.029 1.681 2.860 4.320 4.811 5.847 ไมโครฟารัด(μF) ตามลำดับที่ระดับความสูงตั้งแต่ 0 1 2 3 4 5 เซนติเมตร (cm.) ตามตารางที่ 34 และผลที่วัดได้ของโมเดล A1 ค่าความจุจะเพิ่มขึ้นตามระดับความสูงของน้ำ ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งเมื่อนำข้อมูลมาพลอตกราฟได้ตามภาพที่ 4.1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของระดับน้ำกับค่าความจุไฟฟ้าที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear Regression) จะได้สมการ $y = 3.508x + 16.876$ สมการที่ได้จะนำไปใช้ในการคำนวณความสัมพันธ์ของระดับน้ำเพื่อพัฒนาในระบบ IOT ต่อไป

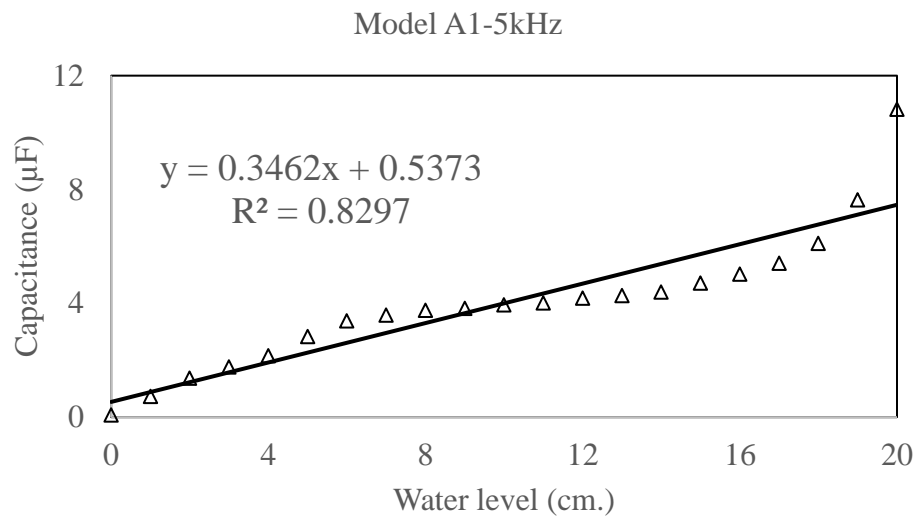
Model A1-1kHz



ภาพที่ 34 ผลการทดลอง Model A1 ใช้เครื่อง (LCR Meter) ยี่ห้อ GW instek รุ่น LCR-817 วัดที่ความถี่ 1 kHz

จากภาพที่ 33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคาปาซิเตอร์ที่วัดจากเครื่อง LCR ที่ ความถี่ 1 kHz โดยใช้ อิเล็กโทรดซีหรี โมเดล A1 พบว่า เมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นจาก 1 เซนติเมตร ถึง 20 เซนติเมตร ส่งผลให้ค่าคาปาซิเตอร์ เพิ่มขึ้นจาก 0.028 ไมโครฟารัด คงเหลือ 109.26 ไมโครฟารัด และได้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและค่าคาปาซิ

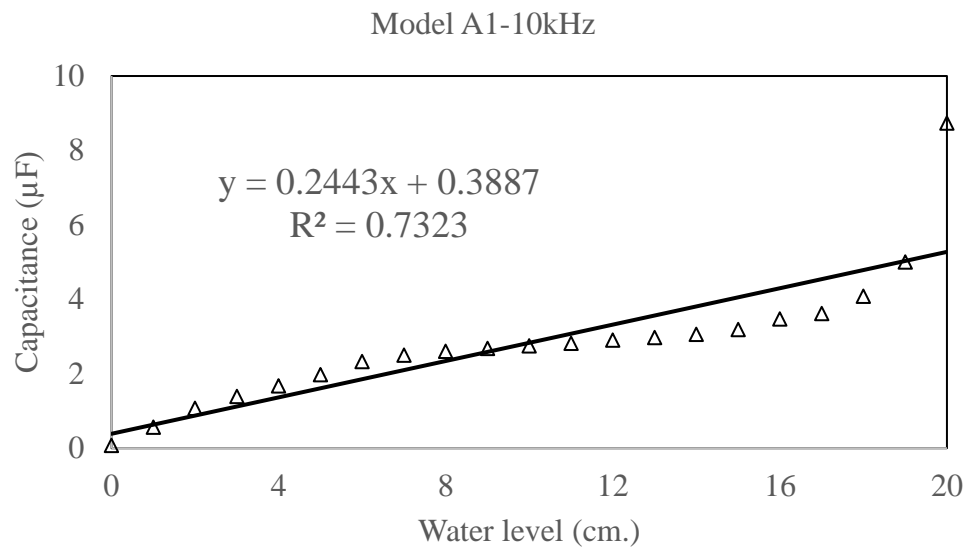
แดนซ์ตั้งสมการเชิงเส้น $y=3.50x+16.876$ ที่ระดับ R-Square เท่ากับ 0.6914 เมื่อ Y คือค่าคาปาซิแตนซ์ และค่า x คือระดับน้ำ



ภาพที่ 35 ผลการทดลอง Model A1 ใช้เครื่อง (LCR Meter) ยี่ห้อ GW instek รุ่น LCR-817 วัดที่ความถี่ 5 kHz

จากภาพที่ 34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคาปาซิเตอร์ที่วัดจากเครื่อง LCR ที่ ความถี่ 5 kHz โดยใช้อิเล็กทรอนิกส์หิว โมเดล A1 พบว่า เมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นจาก 1 เซนติเมตร ถึง 20 เซนติเมตร ส่งผลให้ค่าคาปาซิเตอร์เพิ่มขึ้นจาก 0.080 ไมโครฟารัด คงเหลือ 10.818 ไมโครฟารัด และได้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและค่าคาปาซิแตนซ์ตั้งสมการเชิงเส้น $y=0.3462x+0.5373$ ที่ระดับ R-Square เท่ากับ 0.8297 เมื่อ Y คือค่าคาปาซิแตนซ์และค่า x คือระดับน้ำ

พหุบัณฑิต ชีวะ

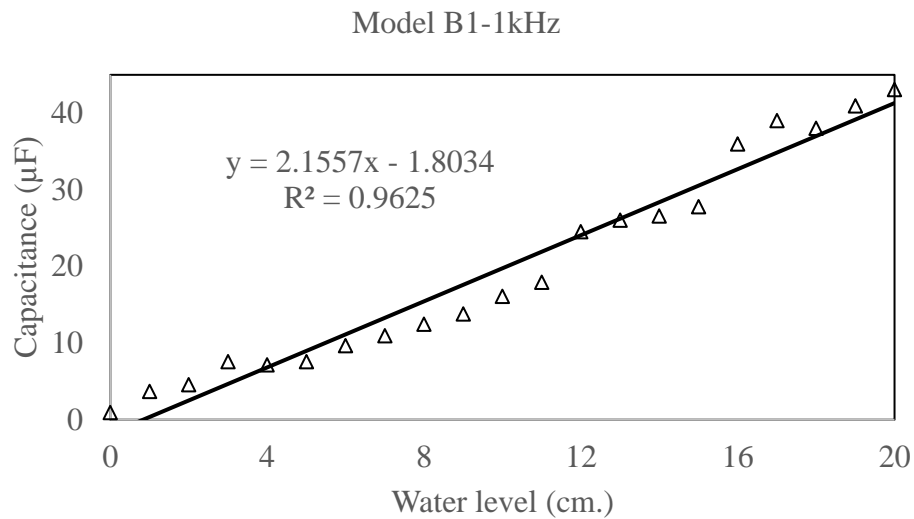


ภาพที่ 36 ผลการทดลอง Model A1 ใช้เครื่อง (LCR Meter) ยี่ห้อ GW instek รุ่น LCR-817 วัดที่ความถี่ 10 kHz

จากภาพที่ 35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคาปาซิเตอร์ที่วัดจากเครื่อง LCR ที่ ความถี่ 10 kHz โดยใช้โอเล็กโทรตซีหวี โมเดล A1 พบว่า เมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นจาก 1 เซนติเมตร ถึง 20 เซนติเมตร ส่งผลให้ค่าคาปาซิเตอร์เพิ่มขึ้นจาก 0.078 ไมโครฟารัด คงเหลือ 8.734 ไมโครฟารัด และได้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและค่าคาปาซิเตอร์ดังสมการเชิงเส้น $y=0.2443x+0.3887$ ที่ระดับ R-Square เท่ากับ 0.7323 เมื่อ Y คือค่าคาปาซิแตนซ์ และค่า x คือระดับน้ำ

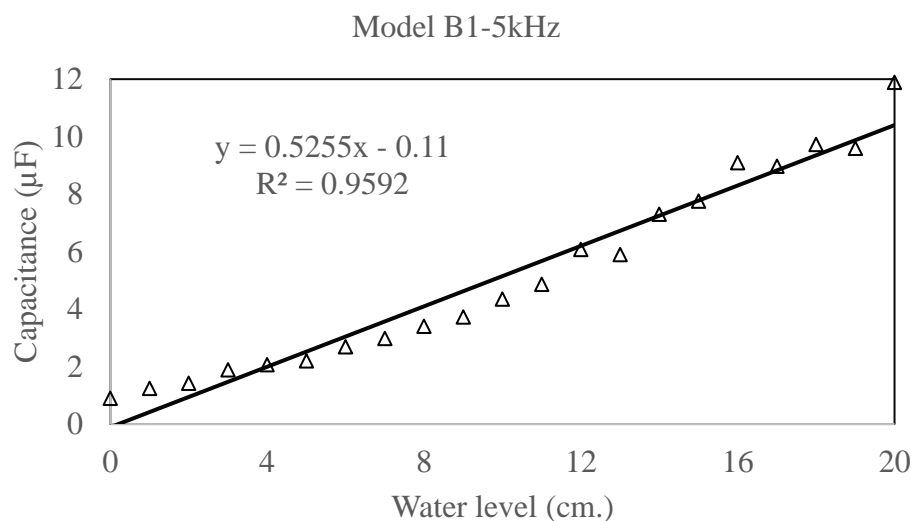
จากความสัมพันธ์แต่ละความถี่จะเห็นว่าระดับ R-Square ของแต่ละโมเดล มีค่าแตกต่างกัน A1-1k, A1-5k และ A1-10k มีค่าเท่ากับ 0.6914, 0.8297 และ 0.732 ตามลำดับ ซึ่ง Model A1-5kHz ที่ระดับความถี่ 5 kHz มีค่า R-Square มากที่สุดจึงใช้เป็นตัวรับรู้ระดับน้ำสำหรับระบบ IOT ต่อไป

4.2 ผลการทดลองการวัดค่าความจุทางไฟฟ้าของโมเดล B1



ภาพที่ 37 ผลการทดลอง Model B1 ใช้เครื่อง (LCR Meter) ยี่ห้อ GW instek รุ่น LCR-817 วัดที่ความถี่ 1 kHz

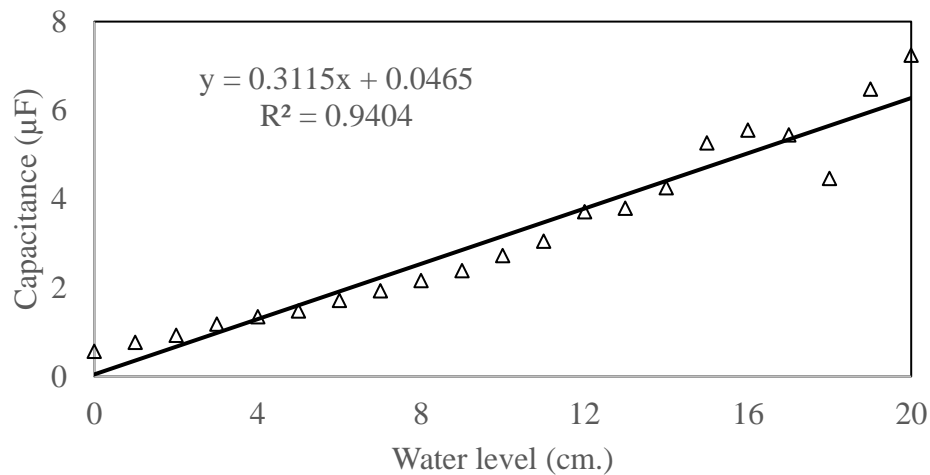
จากภาพที่ 36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคาปาซิเตอร์ที่วัดจากเครื่อง LCR ที่ ความถี่ 1 kHz โดยใช้ อิเล็กโทรดซีวี โมเดล B1 พบว่า เมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นจาก 1 เซนติเมตร ถึง 20 เซนติเมตร ส่งผลให้ค่าคาปาซิเตอร์ เพิ่มขึ้นจาก 0.9364 ไมโครฟารัด คงเหลือ 43.083 ไมโครฟารัด และได้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและค่าคาปาซิเตอร์ ดังสมการเชิงเส้น $y = 2.1557x - 1.8034$ ที่ระดับ R-Square เท่ากับ $= 0.9625$ เมื่อ Y คือค่าคาปาซิเตอร์และค่า X คือ ระดับน้ำ



ภาพที่ 38 ผลการทดลอง Model B1 ใช้เครื่อง (LCR Meter) ยี่ห้อ GW instek รุ่น LCR-817 วัดที่ความถี่ 5 kHz

จากภาพที่ 37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคาปาซิเตอร์ที่วัดจากเครื่อง LCR ที่ ความถี่ 5 kHz โดยใช้ไอเล็กโทรดซีวี โมเดล B1 พบว่า เมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นจาก 1 เซนติเมตร ถึง 20 เซนติเมตร ส่งผลให้ค่าคาปาซิเตอร์เพิ่มขึ้นจาก 0.899 ไมโครฟารัด คงเหลือ 11.855 ไมโครฟารัด และได้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและค่าคาปาซิเตอร์ดังสมการเชิงเส้น $y = 0.5255x - 0.11$ ที่ระดับ R-Square เท่ากับ $= 0.9592$ เมื่อ Y คือค่าคาปาซิเตอร์ และค่า x คือระดับน้ำ

Model B1-10kHz

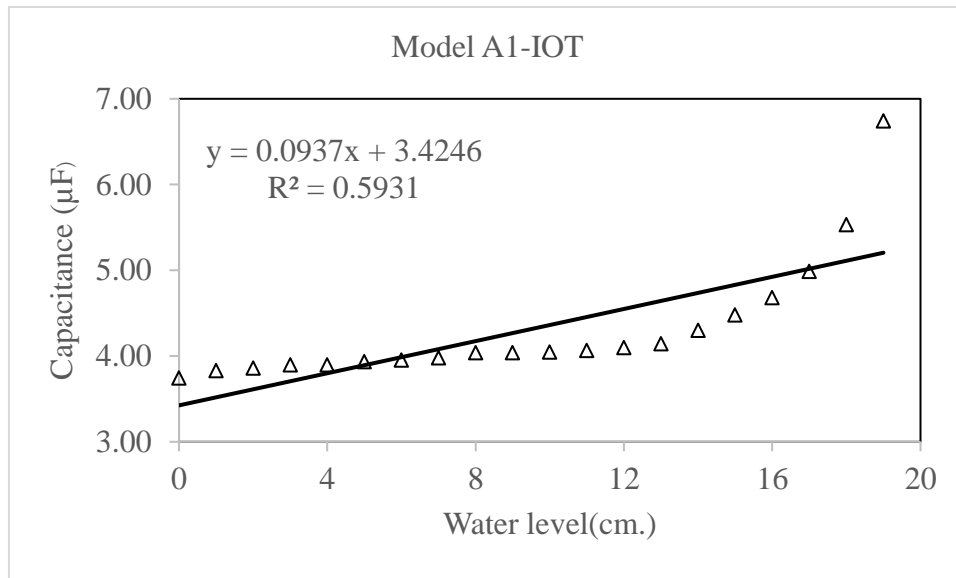


ภาพที่ 39 ผลการทดลอง Model B1 ใช้เครื่อง (LCR Meter) ยี่ห้อ GW instek รุ่น LCR-817 วัดที่ความถี่ 10 kHz

จากภาพที่ 38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคาปาซิเตอร์ที่วัดจากเครื่อง LCR ที่ ความถี่ 10 kHz โดยใช้ไอเล็กโทรดซีวี โมเดล B1 พบว่า เมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นจาก 1 เซนติเมตร ถึง 20 เซนติเมตร ส่งผลให้ค่าคาปาซิเตอร์เพิ่มขึ้นจาก 0.567 ไมโครฟารัด คงเหลือ 7.236 ไมโครฟารัด และได้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและค่าคาปาซิเตอร์ดังสมการเชิงเส้น $y = 0.5255x - 0.11$ ที่ระดับ R-Square เท่ากับ $= 0.941$ เมื่อ Y คือค่าคาปาซิเตอร์ และค่า x คือระดับน้ำ

จากความสัมพันธ์แต่ละความถี่จะเห็นว่าระดับ R-Square ของแต่ละโมเดล มีค่าแตกต่างกัน B1-1k, B1-5k และ B1-10k มีค่าเท่ากับ 0.963 0.959 และ 0.941 ตามลำดับ ซึ่ง Model B1-1kHz ที่ระดับความถี่ 1 kHz มีค่า R-Square มากที่สุดจึงใช้เป็นตัวรับรู้ระดับน้ำสำหรับระบบ IOT ต่อไป

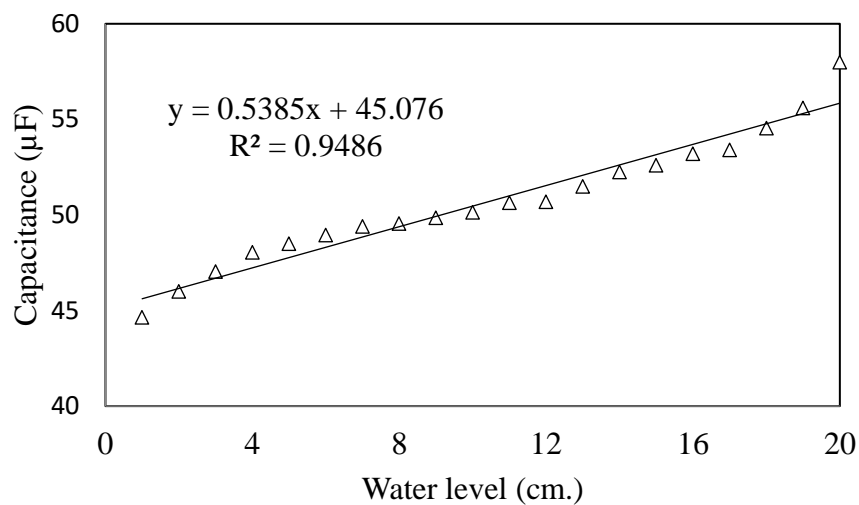
4.3 ผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคาปาซิเตอร์ที่อ่านผ่าน ระบบ IOT



ภาพที่ 40 ผลการทดลอง Model B1 ใช้เครื่อง (LCR Meter) ยี่ห้อ GW instek รุ่น LCR-817 วัดที่ความถี่ 10 kHz

จากภาพที่ 39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคาปาซิเตอร์ที่อ่านผ่าน ระบบ IOT โดยใช้อิเล็กทรอนิกส์ หวี โมเดล A1 พบว่า เมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นจาก 1 เซนติเมตร ถึง 20 เซนติเมตร ส่งผลให้ค่าคาปาซิเตอร์เพิ่มขึ้นจาก 3.75 ไมโครฟารัด คงเหลือ 6.74 ไมโครฟารัด และได้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและค่าคาปาซิเตอร์ดังสมการเชิงเส้น $y = 0.0937x + 3.4246$ ที่ระดับ R-Square เท่ากับ $= 0.5931$ เมื่อ Y คือค่าคาปาซิเตอร์และค่า x คือระดับน้ำ

Model B1-IOT



ภาพที่ 41 ผลการทดลอง Model B1 ใช้ระบบ IOT วัด

จากภาพที่ 40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคาปาซิเตอร์ที่อ่านผ่าน ระบบ IOT โดยใช้อิเล็กทรอนิกส์
หรี โมเดล B1 พบว่า เมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นจาก 1 เซนติเมตร ถึง 20 เซนติเมตร ส่งผลให้ค่าคาปาซิเตอร์ลดลงจาก
58.0 ไมโครฟารัด คงเหลือ 44.65 ไมโครฟารัด และได้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและค่าคาปาซิเตอร์ตั้ง
สมการเชิงเส้น $y = -5.3842x + 563.83$ ที่ระดับ R-Square เท่ากับ 0.9484 เมื่อ Y คือค่าคาปาซิเตอร์และค่า x คือ
ระดับน้ำ



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ตามการนำเสนอวิจัยตามวัตถุประสงค์นั้นเพื่อพัฒนาระบบตรวจวัดระดับด้วยตัวรับรู้สภาวะภูมิร่วมกับ IoT และประยุกต์การใช้ระบบตรวจระดับน้ำตัวรับรู้สภาวะภูมิร่วมกับ IoT ซึ่งจากผลการทดลองสรุปผลและข้อเสนอแนะได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปและอภิปรายผล

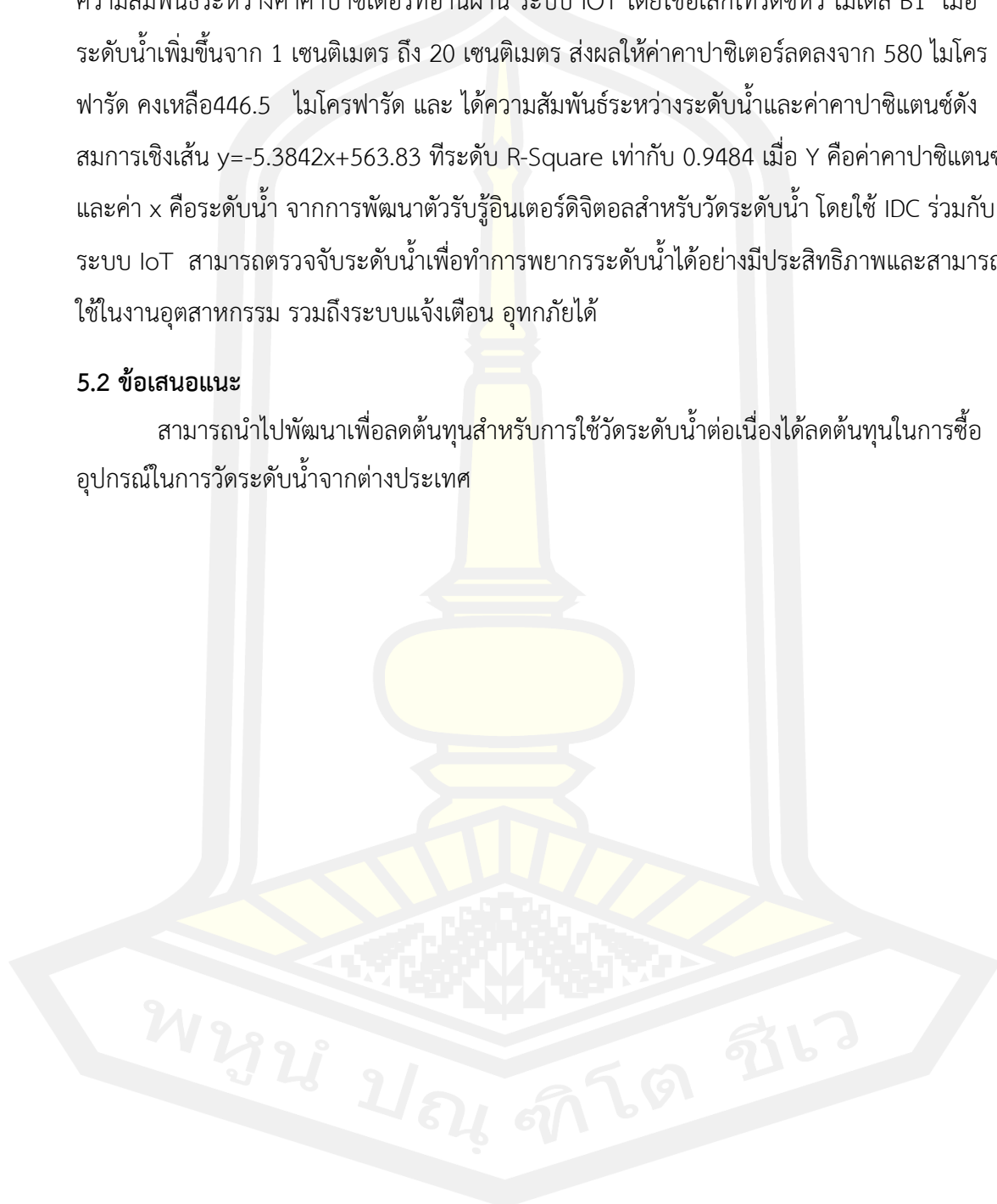
การศึกษานี้ใช้ตัวรับรู้แบบสี่เหลี่ยม ประกอบด้วย ตัวรับรู้ A1 โดยมีค่าพารามิเตอร์คือ $h=0.105$ mm, $a=2$ mm, $b=4$ mm, $L1=15$ mm and $N=20$ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าในสุญญากาศคือ $\epsilon_1 = \epsilon_2 = 1$, และค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรองชนิดอีพ็อกซี (Epoxy) $\epsilon_3 = 4.6$. โดยคำนวณค่าการเก็บประจุ เท่ากับ 9.5684 pF และตัวรับรู้ B1 โดยมีค่าพารามิเตอร์คือ $h=0.105$ mm, $a=2$ mm, $b=4$ mm, $L1=15$ mm and $N=20$ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าในสุญญากาศคือ $\epsilon_1 = \epsilon_2 = 1$, และค่าความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรองชนิดอีพ็อกซี (Epoxy) $\epsilon_3 = 4.6$. เท่ากับ 9.5684 pF ซึ่งจากการทดลองผลของความถี่ 1, 5, และ 10 kHz ตามลำดับ ที่มีต่อค่าคาปาซิเตอร์ และความเชื่อมั่นในการวัดระดับน้ำด้วยเครื่อง LCR พบว่าความสัมพัทธ์แต่ละความถี่จะเห็นวาระดับ R-Square ของแต่ละโมเดล มีค่าแตกต่างกัน A1-1k, A1-5k และ A1-10k มีค่าเท่ากับ 0.6914, 0.8297 และ 0.732 ตามลำดับ ซึ่ง Model A1-5kHz ที่ระดับความถี่ 5 kHz มีค่า R-Square มากที่สุดจึงใช้เป็นตัวรับรู้ระดับน้ำสำหรับระบบ IOT ขณะที่ ความสัมพัทธ์แต่ละความถี่จะเห็นวาระดับ R-Square ของแต่ละโมเดล มีค่าแตกต่างกัน B1-1k, B1-5k และ B1-10k มีค่าเท่ากับ 0.963 0.959 และ 0.941 ตามลำดับ ซึ่ง Model B1-1kHz ที่ระดับความถี่ 1 kHz มีค่า R-Square มากที่สุดจึงใช้เป็นตัวรับรู้ระดับน้ำสำหรับระบบ IOT

สำหรับระบบ IOT เพื่อวัดระดับน้ำประกอบด้วยตัวอินพุต (Input) ตัวรับรู้ระดับน้ำของสราวุฒิของแต่ละโมเดล A1 และ B1 ตามลำดับ ด้วยการประยุกต์ใช้ บอร์ด ESP 8266 และโมดูลตัว Rain Sensor YL-83 สำหรับการเชื่อมต่อข้อมูลระหว่าง รับรู้ระดับน้ำของสราวุฒิของแต่ละโมเดล A1 และ B1 เข้ากับ ESP8266 ซึ่งจะคำนวณและแปลงค่าเป็นระดับของน้ำ ตั้งแต่ 0-20 cm โดยระบบจะทำงาน ตามลำดับ และภาพส่วนของการแสดงผลผ่านแอปพลิเคชัน Blink Application พร้อมแจ้งเตือนระดับน้ำผ่านไลน์ (Line application) ตามลำดับ จากการทดสอบระบบ IOT วัดระดับน้ำด้วยตัวรับรู้ A1 ที่ความถี่ 5kHz และ B1 ที่ความถี่ 1kHz พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคาปาซิเตอร์ที่อ่านผ่าน ระบบ IOT โดยใช้อิเล็กทรอนิกส์สี่เหลี่ยม โมเดล A1 เมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นจาก 1 เซนติเมตร ถึง 20 เซนติเมตร ส่งผลให้ค่าคาปาซิเตอร์เพิ่มขึ้นจาก 3.75 ไมโครฟารัด คงเหลือ 6.74 ไมโครฟารัด และได้

ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและค่าคาปาซิแตนซ์ดังสมการเชิงเส้น $y = 0.0937x + 3.4246$ ที่ระดับ R-Square เท่ากับ $= 0.5931$ เมื่อ Y คือค่าคาปาซิแตนซ์และค่า x คือระดับน้ำ ขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคาปาซิเตอร์ที่อ่านผ่าน ระบบ IOT โดยใช้อิเล็กทรอนิกส์หิว โมเดล B1 เมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นจาก 1 เซนติเมตร ถึง 20 เซนติเมตร ส่งผลให้ค่าคาปาซิเตอร์ลดลงจาก 580 ไมโครฟารัด คงเหลือ 446.5 ไมโครฟารัด และได้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและค่าคาปาซิแตนซ์ดังสมการเชิงเส้น $y = -5.3842x + 563.83$ ที่ระดับ R-Square เท่ากับ 0.9484 เมื่อ Y คือค่าคาปาซิแตนซ์และค่า x คือระดับน้ำ จากการพัฒนาตัวรับรู้อินเตอร์ดิจิตอลสำหรับวัดระดับน้ำ โดยใช้ IDC ร่วมกับระบบ IoT สามารถตรวจจับระดับน้ำเพื่อทำการพยากรณ์ระดับน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถใช้งานอุตสาหกรรม รวมถึงระบบแจ้งเตือน อุทกภัยได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

สามารถนำไปพัฒนาเพื่อลดต้นทุนสำหรับการใช้วัดระดับน้ำต่อเนื่องได้ลดต้นทุนในการซื้ออุปกรณ์ในการวัดระดับน้ำจากต่างประเทศ



บรรณานุกรม

- Angkawisittpan, N., & Manasri, T. (2012). Determination of Sugar Content in Sugar Solutions using Interdigital Capacitor Sensor. *MEASUREMENT SCIENCE REVIEW*, 12, 8-13.
- Chuang, C.-H. (2011). *Flexible pH sensor with polyaniline layer based on impedance measurement*. Paper presented at the 2011 Fifth International Conference on Sensing Technology.
- Jan, F., Min-Allah, N., Saeed, S., Iqbal, S. Z., & Ahmed, R. (2022). IoT-Based Solutions to Monitor Water Level, Leakage, and Motor Control for Smart Water Tanks. *Water*, 14(3), 309.
- Kamilaris, A., Gao, F., Prenafeta-Boldu, F. X., & Ali, M. I. (2016). *Agri-IoT: A semantic framework for Internet of Things-enabled smart farming applications*. Paper presented at the 2016 IEEE 3rd world forum on internet of things (WF-IoT).
- KEMP, S. (2020). DIGITAL 2020: GLOBAL DIGITAL OVERVIEW. Retrieved from <https://datareportal.com/reports/digital-2020-global-digital-overview>
- Manches, A., Duncan, P., Plowman, L., & Sabeti, S. (2015). Three questions about the Internet of things and children. *TechTrends*, 59(1), 76-83.
- N.angkawisittpan, T. M. (2012). *Concrete Moisture Content Measurement Using Interdigital Near-Filed Sensor*. Paper presented at the MEASUREMENT SCIENCE REVIEW, MEASUREMENT SCIENCE REVIEW.
- Obma, J., & Sa-ngiamvibool, W. (2020). The non-substrate interdigital capacitor level sensor. *Przełąd Elektrotechniczny*, 96, 34-37.
- Sarawoot Boonkirdram, W. S.-n. (2015). *Novel Planar Interdigital Capacitor Level Sensor*. Paper presented at the Przełąd Elektrotechniczny, PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY.
- Schwartz, M. (2016). *Internet of Things with ESP8266*: Packt Publishing Ltd.
- Serikul, P., Nakpong, N., & Nakjuatong, N. (2018). *Smart farm monitoring via the Blynk IoT platform: case study: humidity monitoring and data recording*. Paper presented at the 2018 16th International conference on ICT and knowledge

engineering (ICT&KE).

Sonasang, S., Srisawat, S., Phromlounsri, R., Rattanangam, W., & Angkawisittpan, N.

(2019). *Liquid Level Measurement Using Sensors with Microstrip Parallel*

Coupled Lines. Paper presented at the 2019 IEEE 2nd International Conference on Power and Energy Applications (ICPEA).

Songgrod Phimphisana, W. S.-n. (2015). *Determination of water added in raw milk using*

interdigital capacitor sensor. Paper presented at the Przegląd

Elektrotechniczny.

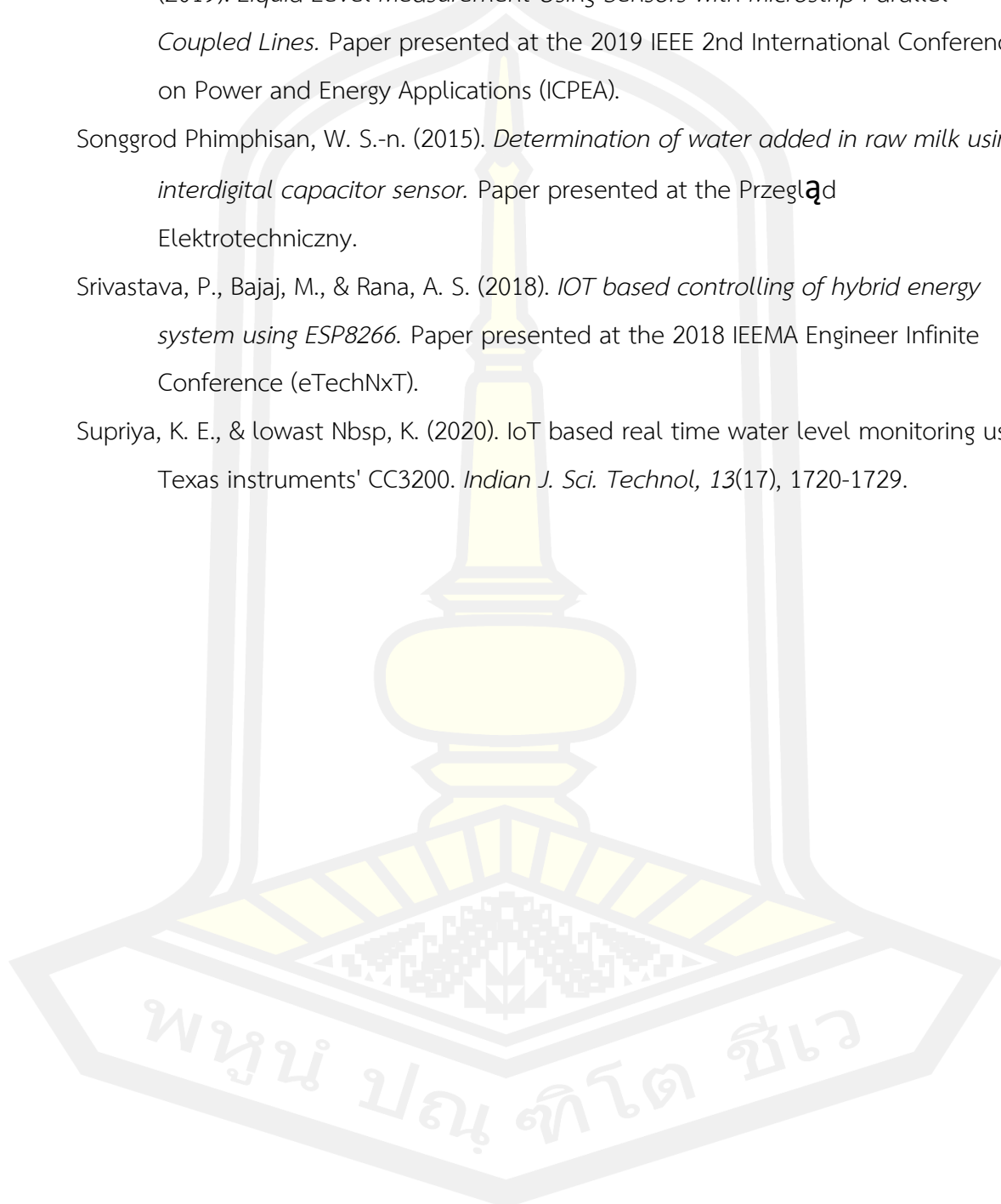
Srivastava, P., Bajaj, M., & Rana, A. S. (2018). *IOT based controlling of hybrid energy*

system using ESP8266. Paper presented at the 2018 IEEMA Engineer Infinite

Conference (eTechNxT).

Supriya, K. E., & lowast Nbsp, K. (2020). IoT based real time water level monitoring using

Texas instruments' CC3200. *Indian J. Sci. Technol*, 13(17), 1720-1729.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายญาณภัทร ชองทอง
วันเกิด	วันที่ 26 สิงหาคม พ.ศ. 2533
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดยโสธร 35000
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	22/5 หมู่บ้านพิมพ์ศิริ ถนน นครพนม-ธาตุพนม ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัด นครพนม 48000
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	เจ้าหน้าที่เครือข่ายคอมพิวเตอร์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม 214 หมู่ 12 ต.หนองญาติ อ.เมือง จ. นครพนม 48000
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2552 ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม พ.ศ.2557 ปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต (อสบ.) สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยนครพนม พ.ศ.2565 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต(วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พูนุ ปรณุ ทิโต ชีเว