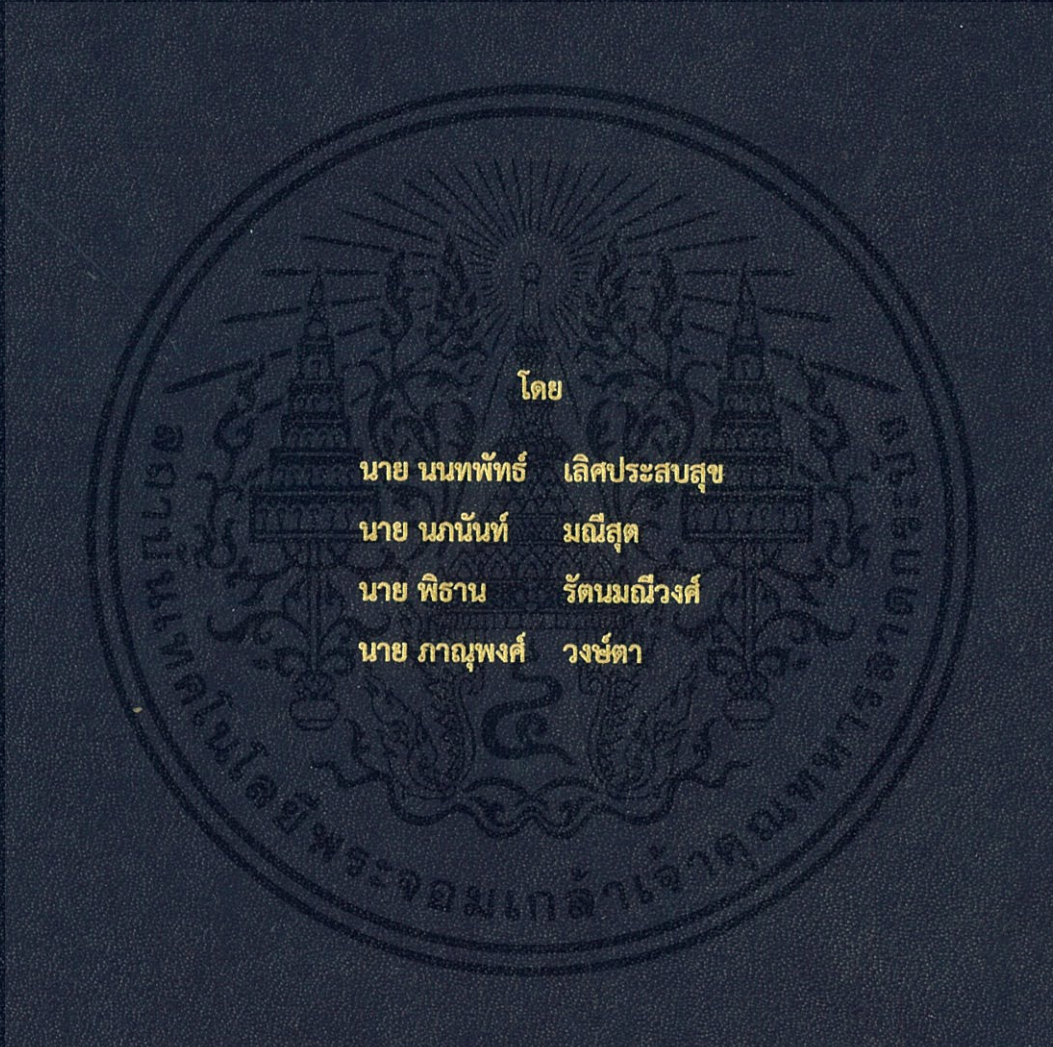


การปรับปรุงและพัฒนาระบบเซ็นเซอร์ตรวจวัดไฟฟ้ารั่วในบริเวณน้ำท่วมถึงด้วย
เทคโนโลยี IOT

EARTH LEAKAGE SENSOR DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT
WITH IOT TECHNOLOGY



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

การปรับปรุงและพัฒนาระบบเซ็นเซอร์ตรวจวัดไฟฟ้ารั่วในบริเวณน้ำท่วมถึงด้วย
เทคโนโลยี IOT

EARTH LEAKAGE SENSOR DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT
WITH IOT TECHNOLOGY



โดย

นาย นนทพัทธ์ เลิศประสพสุข

นาย นภันท์ มณีสุต

นาย พิธาน รัตนมณีวงศ์

นาย ภาณุพงศ์ วงษ์ตา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EARTH LEAKAGE SENSOR DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT
WITH IOT TECHNOLOGY



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2561

การปรับปรุงและพัฒนาระบบเซ็นเซอร์ตรวจวัดไฟฟ้ารั่วในบริเวณน้ำท่วมถึงด้วยเทคโนโลยี

IOT

EARTH LEAKAGE SENSOR DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT

WITH IOT TECHNOLOGY



นาย นนทพัทธ์ เลิศประสพสุข
นาย นภันท์ มณีสุด
นาย พิธาน รัตนมณีวงศ์
นาย ภาณุพงศ์ วงษ์ตา

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2561

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การปรับปรุงและพัฒนาระบบเซ็นเซอร์ตรวจวัดไฟฟ้ารั่วในบริเวณน้ำท่วมถึงด้วยเทคโนโลยี IOT

ผู้จัดทำ

1. นาย นนทพัทธ์ เลิศประสพสุข
2. นาย นภันท์ มณีสุด
3. นาย พิธาน รัตนมณีวงศ์
4. นาย ภาณุพงศ์ วงษ์ตา



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงและพัฒนาระบบเซ็นเซอร์ตรวจวัดไฟฟ้ารั่วในบริเวณน้ำท่วมถึงด้วย

เทคโนโลยี IOT

นาย นนทพัทธ์ เลิศประสพสุข

นาย นกนันทน์ มณีสุต

นาย ภาณุพงศ์ วงษ์ตา

นาย พิธาน รัตนมณีวงศ์

ผศ.ดร.นิรุธ จิรสวรรณกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

ปัญหาน้ำท่วมขังนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาระบบติดตามและแจ้งเตือนไฟฟ้ารั่วลงดินบริเวณน้ำท่วมถึง โดยมุ่งเน้นการพัฒนาความสามารถของเซ็นเซอร์จะมีความแม่นยำและความถูกต้องมากขึ้นด้วยการออกแบบวงจรใหม่และสามารถใช้ในหลากหลายพื้นที่ได้ โดยประยุกต์เทคนิคนี้เข้ากับอุปกรณ์ที่ลอยน้ำได้เช่น เรือบังคับที่ติดเซ็นเซอร์วัดไฟฟ้ารั่วไหล โดยข้อมูลที่ได้จะถูกส่งขึ้นเซิร์ฟเวอร์ผ่านอินเทอร์เน็ตและถูกส่งไปแสดงผลที่แอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ โครงการนี้เริ่มต้นพัฒนาโดยการออกแบบระยะของโพรบเซ็นเซอร์ที่เหมาะสมและทำการออกแบบวงจรวัดค่าแรงดันที่มีประสิทธิภาพโดยใช้ “วงจรขยายอินสตรูเมนต์เซ็น” เพื่อตัดสัญญาณรบกวนที่อาจส่งผลให้ค่าการวัดผิดพลาดได้ การพัฒนานี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างความปลอดภัยและป้องกันเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ เช่นการบาดเจ็บและการสูญเสียชีวิตที่เกิดจากการไฟฟ้าดูดในช่วงน้ำท่วม

EARTH LEAKAGE SENSOR DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT WITH IOT TECHNOLOGY

Mr.NONTHAPAT LERTPASOPSUK

Mr.NOPPANUN MANEESUT

Mr.PANUPONG WONGTA

Mr.PITHAN RATTANAMANEEWONG

Assistant.Prof.Dr.Nirudh Jirasuwankul Advisor

ABSTRACT

This thesis presents the design and development of a stray voltage monitoring and warning system for the flooded areas. It focuses on improving ability of the sensor to having better precision and accuracy with new circuit design. As a result, the technique can be used in a variety of geographical areas that influences problematically with stray voltage or earth-leakage current. By installing the modified sensor to any floating device such as radio-control ship or drone, the wide flooding area can be explored remotely and safely. With real-time data uploading to the cloud server through the IoT device, the stray voltage of the flooded area is able to monitor and display continuously on the mobile application. The first phase of project is designing the optimum range of probes and designing effective voltage measurement circuits using "Instrumentation amplifier" to filter the interference signal that may result in deviation of measurement. The second phase consists of empirical model of voltage to distance approximation and AR-based monitoring and warning application development. This development aims to create safety tool and prevent unwanted events such as injury and loss of life caused by electric shock during floods.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยจากหลายท่านโดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆมาโดยตลอดจนปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในห้องปฏิบัติการโครงการที่คอยช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์และการแก้ไขปัญหาด้วยดีมาโดยตลอด

นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ คุณนครศักดิ์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่เปิดให้ใช้เครื่องมือ ตลอดจนคุณกมลวรรณเจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จของโครงการ

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจจนทำให้โครงการครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VIII
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	1
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	2
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ความอันตรายของไฟฟ้ารั่ว	4
2.1.1 Step potential	5
2.1.2 Touch potential	6
2.1.3 Flashover	7
2.1.4 ระดับแรงดันที่มีผลต่อร่างกายมนุษย์	7
2.2 การกระจายตัวของกระแสไฟฟ้าในดิน	10
2.3 ออปแอมป์	11

2.3.1	วงจรสมมูลของออปแอมป์	12
2.4	Inverting operational amplifier	13
2.5	Precision Rectifier	14
2.5.1	Precision half wave rectifier	14
2.5.2	Precision full wave rectifier	15
2.5.2.1	สัญญาณอินพุตกลับเฟส	15
2.5.2.2	สัญญาณอินพุตที่ผ่าน Precision half wave rectifier	16
2.5.3	การนำมาใช้งานใน Project	16
2.6	Instrumentational amplifier	17
2.6.1	การนำมาใช้งานใน Project	18
2.7	Zener Diode	18
2.8	Particle Photon	19
2.9	Internet of Things (IoT)	20
2.9.1	การแบ่งกลุ่ม Internet of Things	21
2.10	ระบบปฏิบัติการ Android	22
2.10.1	ประวัติความเป็นมา	22
2.10.2	ประเภทของชุดซอฟต์แวร์	23
2.10.3	โครงสร้างของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android Architecture)	23
2.10.4	องค์ประกอบของแอนดรอยด์แอปพลิเคชัน	26
	(Android Application Components)	
2.10.4.1	Activity (User Interface)	26
2.10.4.2	Service (Service Provider)	27
2.10.4.3	Broadcast receiver (Data Provider)	27

2.10.4.4 Content provider (System Event Listener)	27
2.10.5 Activity Life Cycle	27
2.11 Android SDK	29
2.12 ระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (Augmented Reality)	29
2.12.1 หลักการของระบบสนับสนุนความจริงเสมือน	30
(Augmented Reality)	
2.13 Vuforia	32
2.13.1 Vuforia Target Manager	32
2.13.2 Image Targets	33
2.14 Unity	33
2.14.1 ส่วนประกอบของ Unity	33
2.14.2 ส่วนประกอบของโปรแกรม Unity	34
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างอุปกรณ์	36
3.1 การทดลองศึกษาระยะโพรบเซ็นเซอร์	36
3.1.1 การทดลองหาการกระจายแรงดันเมื่อมีไฟฟ้ารั่วไหลในน้ำท่วม	37
3.1.2 ทดลองหาขนาดแรงดันไฟฟ้ารั่วที่ทิศต่างๆโดยการตีกริด	40
เพื่อกำหนดจุดในการวัด	
3.2 การออกแบบวงจรตรวจจับไฟฟ้ารั่วไหลในน้ำ	44
3.3 การส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูลคลาวด์	46
3.4 การเขียนแอปพลิเคชัน AR	47
3.4.1 สร้าง Image Targets	47
3.4.2 เขียนแอปพลิเคชัน AR บนโปรแกรม Unity	48

บทที่ 4 ผลการทดลองและผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์	56
4.1 บทนำ	56
4.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบแรงดันขาเข้าและแรงดันขาออกของวงจร	56
4.3 การวัดค่าเพื่อใช้ประมาณระยะห่างจุดที่เกิดไฟรั่วจากอุปกรณ์เซนเซอร์	60
4.4 การทดลองประมาณค่าระยะห่างจากจุดไฟรั่ว	64
4.5 การทดสอบแอปพลิเคชันระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (AR)	65
บทที่ 5 บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา	68
5.1 บทสรุป	68
5.2 ข้อเสนอแนะและปัญหาที่พบ	68
5.3 แนวทางการพัฒนา	69
เอกสารอ้างอิง	70
ภาคผนวก ก	72
ภาคผนวก ข	88
ภาคผนวก ค	127
ประวัติผู้เขียน	129

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รูปแบบการกระจายตัวของไฟฟ้าเมื่อเกิดการรั่ว	4
2.2 ศักย์ไฟฟ้าแบบก้าว (Step Voltage)	5
2.3 ศักย์ไฟฟ้าแบบสัมผัส (Touch Voltage)	6
2.4 ตารางผลของระดับแรงดันต่อร่างกายที่มีความต้านทาน 1000 โอห์ม	8
2.5 แสดงกราฟของกระแสไฟฟ้าและเวลาที่มีผลต่อร่างกาย	9
2.6 การวัดการกระจายความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในดิน	10
2.7 การกระจายตัวของกระแสไฟฟ้าที่ความต้านทานดินแบบสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอ	11
2.8 ออปแอมป์	11
2.9 วงจรสมมูลของออปแอมป์	12
2.10 ช่วงการทำงานของออปแอมป์	12
2.11 ช่วงการทำงานของออปแอมป์	13
2.12 Precision diode, Op-amp half wave rectifier	14
2.13 กราฟที่ได้จากวงจรเรียงแบบครึ่งคลื่นเมื่อ gain เท่ากับหนึ่ง	14
2.14 Precision full wave rectifier	15
2.15 สัญญาณอินพุตกลับเฟส	15
2.16 สัญญาณอินพุตที่ผ่าน Precision half wave rectifier และ Inverting amplifier ที่มี gain -2	16
2.17 สัญญาณแบบ Sine wave ที่ผ่าน Precision full wave rectifier	16
2.18 Instrumentational amplifier diagram	17
2.19 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด	18

2.20 วงจรคลิปปเปอร์ต์ดัดสัญญาณ 2 ด้านแบบใช้ซีเนอร์ไดโอด	19
2.21 รูปสัญญาณอินพุทและเอาต์พุทของวงจรตัดยอดสัญญาณ 2 ช่วง	19
2.22 Particle Photon	20
2.23 Network Layer ของ Internet of Things	21
2.24 โครงสร้างของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์	24
2.25 Activity Life Circle ของ Android	28
2.26 ตัวอย่างการใช้ระบบสนับสนุนความจริงเสมือน	30
2.27 หลักการของระบบสนับสนุนความจริงเสมือน	31
2.28 Vuforia	32
2.29 Unity	33
2.30 โปรแกรม Unity	34
3.1 การทดลองจริง (มุมมองข้าง)	36
3.2 การทดลองจริง (มุมมองบน)	36
3.3 การออกแบบการวัดไฟรั่ว	37
3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง step voltage และระยะของ probe	38
3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง step voltage และระยะความลึกของแหล่งจ่าย	39
3.6 การกำหนดจุดที่ใช้ในการวัด และค่าปรับตั้งในการทดลอง	40
3.7 กราฟแสดงแรงดันที่ตำแหน่งต่างๆ โดยมุมของโพรบ 0°	42
3.8 กราฟแสดงแรงดันที่ตำแหน่งต่างๆ โดยมุมของโพรบ 45°	43
3.9 กราฟแสดงแรงดันที่ตำแหน่งต่างๆ โดยมุมของโพรบ 90°	43
3.10 กราฟแสดงแรงดันที่ตำแหน่งต่างๆ โดยมุมของโพรบ 135°	44
3.11 Circuit Diagram	45

3.12 อุปกรณ์เซนเซอร์	46
3.13 การเชื่อมต่ออุปกรณ์เซนเซอร์เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์	46
3.14 โค้ดในการส่งข้อมูลขึ้นคลาวด์	47
3.15 การสร้าง Image Targets	48
3.16 Import vuforia to unity project	48
3.17 Import Image Targets	49
3.18 สร้าง Object บน Unity	49
3.19 Script Text	50
4.1 การกำหนดค่าต่างๆในการทดลอง	56
4.2 รูปคลื่นแรงดันอินพุต Ch.2 เทียบแรงดันเอาต์พุต Ch.1	58
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Vin และ Vout	59
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Vin และ Vout เมื่อตัดช่วงที่ซีเนอริเดโอดทำงานออกไป	59
4.5 ค่าที่วัดได้เมื่อมุมของโพรบเท่ากับ 0° และ 3D plot ของระดับแรงดันรอบจุดไฟรั่ว	60
4.6 ค่าที่วัดได้เมื่อมุมของโพรบเท่ากับ 45° และ 3D plot ของระดับแรงดันรอบจุดไฟรั่ว	61
4.7 ค่าที่วัดได้เมื่อมุมของโพรบเท่ากับ 90° และ 3D plot ของระดับแรงดันรอบจุดไฟรั่ว	62
4.8 ค่าที่วัดได้เมื่อมุมของโพรบเท่ากับ 135° และ 3D plot ของระดับแรงดันรอบจุดไฟรั่ว	63
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและระยะทาง	64
4.10 Marker	65
4.11 การทดสอบแอปพลิเคชันระบบสนับสนุนความจริงเสมือน	66
4.12 การทดสอบแอปพลิเคชันAR	66
4.13 การทดสอบแอปพลิเคชันAR	67
4.14 การทดสอบแอปพลิเคชันAR	67

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน	2
2.1 แสดงกราฟของกระแสไฟฟ้าและเวลาที่มีผลต่อร่างกาย	9
3.1 ผลการทดลองกรณีแหล่งจ่ายแรงดันอยู่ชิดกัน	37
3.2 ทำการทดลองดั้งเดิมโดยให้ระยะโพรบคงที่ ทำการปรับความลึกโพรบและบันทึกค่า	38
3.3 ค่าแรงดันตามการปรับตำแหน่ง และมุมของโพรบ	41
4.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบแรงดันขาเข้า และแรงดันขาออกของวงจร	56



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

นับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีประชากรมากมายที่ได้รับบาดเจ็บและเสียชีวิตจากเหตุไฟฟ้ารั่วลงน้ำ ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า การใช้เครื่องมือช่วยเหลือจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการช่วยระบุหรือแจ้งเตือนถึงการมีไฟฟ้ารั่ว จากงานปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การประยุกต์ใช้ระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (AR) ออกแบบสร้างระบบเตือนไฟฟ้ารั่วลงดินบริเวณน้ำท่วมถึง” ที่รุ่นพี่ได้ศึกษาและพัฒนามาก่อนแล้วพบว่าเซ็นเซอร์ตรวจวัดแรงดันยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่มาก จากการที่กลุ่มของข้าพเจ้าได้มองให้ถึงความสำคัญและปัญหาของการสร้างระบบเตือนไฟฟ้ารั่ว จึงอยากที่จะออกแบบและพัฒนาาระบบเซ็นเซอร์ให้มีความแม่นยำมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับไฟฟ้ารั่วไหลในน้ำ
2. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (Augment Reality)
3. เพื่อออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับไฟฟ้ารั่วไหลในพื้นที่น้ำท่วมถึง
4. เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมระบบสนับสนุนความจริงเสมือน

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไฟฟ้ารั่วในพื้นที่น้ำท่วมถึง
2. ออกแบบและสร้างระบบตรวจจับไฟฟ้ารั่วไหลโดยแสดงผลผ่านหน้าจอสมาร์ตโฟนโดยใช้ระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (Augmented Reality)
3. ผลจากเครื่องตรวจจับไฟฟ้ารั่วจะแสดงค่าแรงดันที่วัดได้
4. จำลองเหตุไฟฟ้ารั่วโดยใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ 30V และตำแหน่งไฟรั่วไม่มีการเปลี่ยนแปลง
5. แรงดันที่มีนัยสำคัญจะต้องมีค่ามากกว่าแรงดันน้อยที่สุดที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1. ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับไฟฟ้ารั่วไหลลงดินและมาตรฐานไฟฟ้ารั่วและศึกษาวงจรที่ใช้ตรวจจับไฟฟ้ารั่วไหลในพื้นที่น้ำท่วมถึง
2. ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (Augment Reality) และการเขียนโปรแกรมลงในสมาร์ทโฟน
3. ออกแบบและสร้างวงจรที่ใช้ตรวจจับไฟฟ้ารั่วไหลในพื้นที่น้ำท่วมถึง
4. ทดสอบวงจรที่ใช้ตรวจจับไฟฟ้ารั่วไหลในพื้นที่น้ำท่วมถึง
5. เขียนโปรแกรมระบบสนับสนุนความจริงเสมือนที่ใช้สำหรับอุปกรณ์ตรวจจับไฟฟ้ารั่วไหลในพื้นที่น้ำท่วมถึง
6. บันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้เพื่อนำไปปรับปรุงอุปกรณ์ตรวจจับไฟฟ้ารั่วไหลในพื้นที่น้ำท่วมถึง
7. สรุปผลการทดลอง
8. จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน							
	ภาคเรียนที่ 1					ภาคเรียนที่ 2		
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษาข้อมูลเรื่องไฟฟ้ารั่วไหล								
2. ศึกษาข้อมูลเรื่องเซ็นเซอร์วัดแรงดัน								
3. ออกแบบวงจรตรวจจับไฟฟ้ารั่วในน้ำ								

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน							
	ภาคเรียนที่ 1					ภาคเรียนที่ 2		
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
4. ทดลองและปรับปรุงวงจร ตรวจจับไฟฟ้ารั่วในน้ำ								
5. เขียนโปรแกรมระบบสนับสนุน ความจริงเสมือน								
6. ทดลองระบบสนับสนุนความ จริงเสมือนบนสมาร์ตโฟน								
7. สรุปผลการทดลองและปรับปรุง ระบบสนับสนุนความจริงเสมือน								
8. จัดทำรูปเล่มปฏิญานินทร์								

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

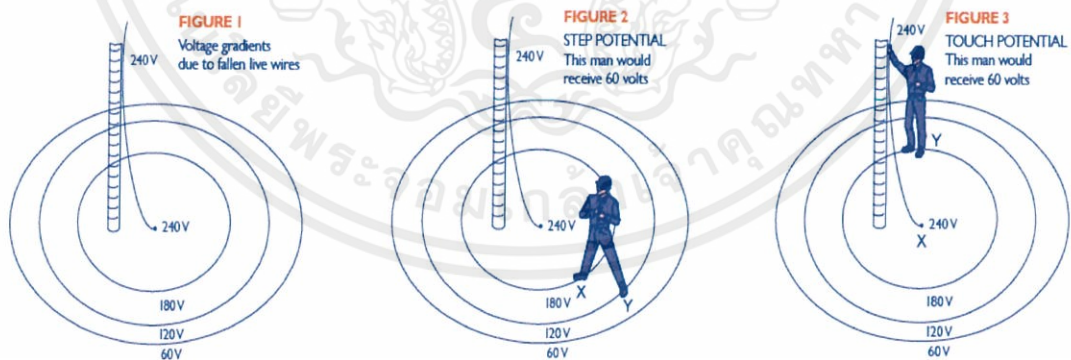
1. สร้างอุปกรณ์ตรวจจับไฟฟ้ารั่วไหลในน้ำที่มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งานเมื่อเกิดเหตุการณ์น้ำท่วม
2. สามารถพัฒนาต่อยอดทักษะการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเครื่องมือวัดต่างๆ
3. ข้อมูลที่ได้จากโครงการสามารถพัฒนาระบบแจ้งเตือนและป้องกันไฟฟ้ารั่วในพื้นที่น้ำท่วมถึงได้ในอนาคต

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความอันตรายของไฟฟ้ารั่ว

เมื่อสายไฟที่มีกระแสไฟฟ้าขาดหรือชำรุดจนตัวนำสัมผัสกับพื้นจะทำให้เกิดไฟฟ้ารั่วขึ้น ซึ่งสามารถอนุมานได้ว่าเกิดไฟฟ้ารั่วรอบทิศทางจากจุดสัมผัส (กรณีการรั่วในน้ำก็เช่นเดียวกัน) ซึ่งมีพฤติกรรมคล้ายกับการโยนก้อนหินลงในน้ำนิ่งๆ กล่าวคือ คลื่นที่ออกจากจุดที่หินกระทบน้ำจะค่อยๆ ลดลงตามระยะที่ไกลขึ้นจากจุดนั้น ไฟฟ้าก็เช่นกัน การรั่วของไฟฟ้าจะมากที่สุดตรงจุดที่ตัวนำสัมผัสกับพื้นแต่น้อยลงอย่างรวดเร็วเมื่อออกห่างจากจุดสัมผัส อย่างไรก็ตามลักษณะการรั่วของไฟฟ้านั้นเกิดขึ้นจากหลายปัจจัยเช่นความชื้นของดิน ชนิดของดิน ฯลฯ

ไฟฟ้ารั่วนั้นสามารถเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่นการเดินสายหรือเลือกใช้สายไม่เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน การเลือกใช้สายไฟที่ไม่ได้ตามมาตรฐาน การขาดการบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้า การเสื่อมสภาพของฉนวนทั้งจากการใช้งานที่ไม่เหมาะสมและการเสื่อมสภาพจากอายุการใช้งาน เป็นต้น ซึ่งโดยส่วนมากมักเกิดจากการชำรุดของฉนวนหรืออุปกรณ์ห่อหุ้มตัวนำที่มีแรงดันชำรุดทำให้ ณ จุดนั้นเกิดการรั่วของกระแสไฟฟ้าออกมา



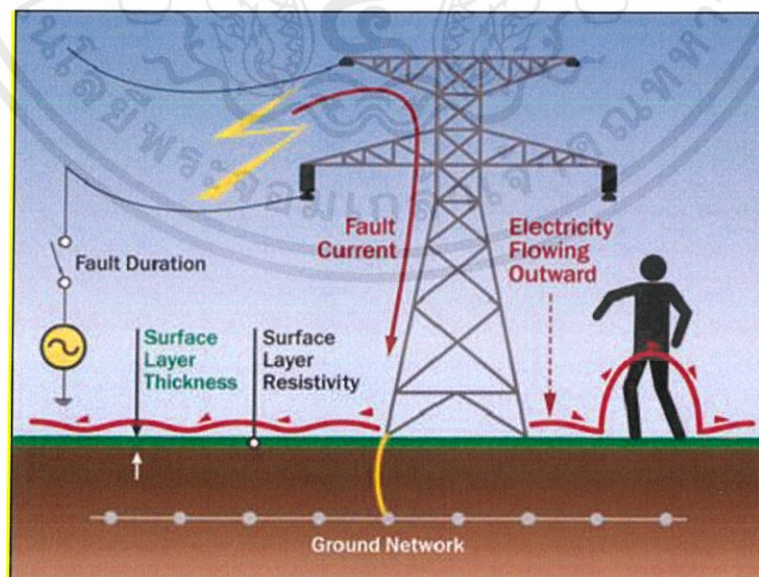
รูปที่ 2.1 รูปแบบการกระจายตัวของไฟฟ้าเมื่อเกิดการรั่ว

2.1.1 Step potential หรือ Step voltage

Step voltage หรือ ศักย์ไฟฟ้าแบบก้าว คือ ความต่างศักย์ระหว่างขาทั้งสองข้างของบุคคลที่ยืนอยู่ในบริเวณที่มีแรงดันไฟฟ้าซึ่งอาจเกิดจากกระแสไฟฟ้ารั่วไหลผ่านความต้านทานของบริเวณนั้นๆ เกิดเป็นแรงดันไฟฟ้าค่าหนึ่งบริเวณนั้น

ค่าของความต่างศักย์จะกระจายตัวจากจุดที่เกิดการรั่วไปรอบๆ ซึ่งหากบุคคลใดเข้าไปยืนในบริเวณที่มีแรงดันไฟฟ้าอยู่จะทำให้เกิดความต่างศักย์แบบก้าวระหว่างขาทั้งสองข้างและมีกระแสไหลผ่านร่างกายซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายได้ ยกตัวอย่างเช่นเมื่อมีฟ้าผ่าลงที่เสาไฟฟ้า กระแสจะไหลผ่านเสา ลงไปที่ดินและจะกระจายไปรอบๆ ผ่านความต้านทานภายในดิน ซึ่งแรงดันที่กระจายตัวอยู่บนผิวพื้นดินนี้จะก่อให้เกิดอันตรายเมื่อมีบุคคลเดินเข้าไปในบริเวณนั้น

กระแสไฟฟ้าจะไหลได้ก็ต่อเมื่อมีความต่างศักย์เกิดขึ้นระหว่างจุดสองจุดเช่นเดียวกับ ศักย์ไฟฟ้าแบบก้าว เมื่อเกิดความต่างศักย์ระหว่างขาทั้งสองข้างกระแสจะไหลผ่านขาข้างหนึ่งสู่อีกข้างหนึ่งซึ่งถ้าหากค่าศักย์ไฟฟ้าแบบก้าวนี้มีค่ามากก็อาจทำให้เกิดอันตรายร้ายแรงได้ อันตรายจาก ศักย์ไฟฟ้าแบบก้าวสามารถเกิดขึ้นได้ทุกที่ที่เกิดการรั่วลงดินของกระแสไฟฟ้า ยังมีกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินมากก็จะยิ่งอันตรายมาก ความต้านทานในบริเวณที่เกิดการรั่วถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมาก หากบริเวณที่เกิดไฟฟ้ารั่วมีความต้านทานมากความต่างศักย์ไฟฟ้าก้าวก็จะมีค่ามาก



รูปที่ 2.2 ศักย์ไฟฟ้าแบบก้าว (Step Voltage)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีน้ำท่วมและมีกระแสไฟฟ้ารั่วลงน้ำจะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลลงน้ำและเกิดแรงดันตกคร่อมบริเวณนั้นเนื่องจากน้ำมีความต้านทานค่าหนึ่ง หากมีบุคคลเข้าไปเคลื่อนไหวในบริเวณนั้นๆที่มีไฟฟ้ารั่วอาจทำให้เกิดกระแสไหลผ่านร่างกายได้ ยิ่งไปกว่านั้นในบริเวณน้ำท่วมร่างกายเราจะมี ความต้านทานลดลงซึ่งมีผลทำให้อันตรายที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงมากขึ้นไปด้วย

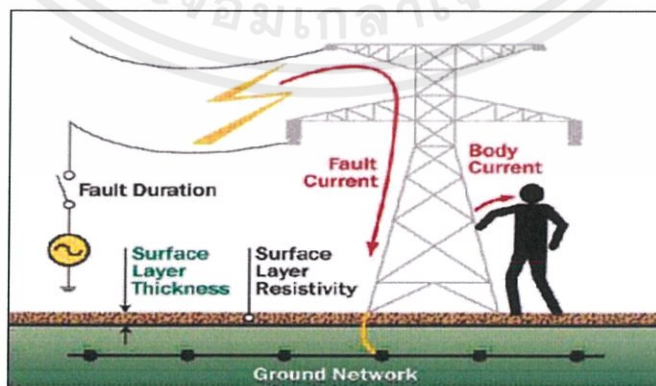
2.1.2 Touch potential หรือ Touch voltage

หากมีคนสัมผัสกับตัวนำ(หรือสิ่งของที่เป็นทางผ่านให้ไฟรั่วลงพื้น) ในขณะที่เกิดไฟรั่วและเท้าอยู่ในบริเวณที่มีศักย์ไฟฟ้า จะทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างจุดที่สัมผัสกับตัวนำและเท้า ความต่างศักย์ในกรณีนี้เรียกว่า Touch potential หรือ Touch voltage

ความต่างศักย์ไฟฟ้าสัมผัสระหว่างวัตถุที่มีศักย์ไฟฟ้ากับเท้าของคนจะไปสัมผัสกับวัตถุนั้นเมื่อมีกระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่สถานีไฟฟ้าหรือเสาส่งไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าจะไหลลงดินผ่านโครงเหล็กต่างๆ หากมีบุคคลใดที่ไปสัมผัสโครงเหล็กนั้นหรืออุปกรณ์ที่อยู่ใกล้เคียงบริเวณที่เกิดไฟรั่วนั้นก็จะได้ รับอันตรายจากความต่างศักย์สัมผัส ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวของคนๆนั้นซึ่งอาจทำให้เกิดอาการช็อค บาดเจ็บสาหัส

ยกตัวอย่าง ถ้าหากมีคนหนึ่งไปสัมผัสกับโครงเสาส่งไฟฟ้าขณะที่เกิดไฟฟ้าลัดวงจร กระแสไฟฟ้าที่ลัดวงจรจะไหลผ่านมือที่สัมผัสผ่านร่างกายมนุษย์ลงสู่ดินแทนที่จะไหลผ่านโครงเหล็กต่อไป เนื่องจากร่างกายมนุษย์มีความต้านทานน้อยกว่าทำให้อาจเกิดอันตรายถึงชีวิตต่อมนุษย์

กรณีการเกิดน้ำท่วมขณะเกิดไฟรั่วไหลขึ้นลงน้ำเมื่อมีมีคนลงไปใต้น้ำก็จะสัมผัสกับน้ำโดยตรงที่มีกระแสไฟฟ้าไหลอยู่ทำให้ได้รับอันตรายจากความต่างศักย์สัมผัสได้



รูปที่ 2.3 ศักย์ไฟฟ้าแบบสัมผัส (Touch Voltage)

2.1.3 Flashover

การแฟลชโอเวอร์เกิดขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้ากระโดดข้ามอากาศทำให้เกิดการแตกตัวกลายเป็นตัวนำของอากาศ โดยเฉพาะในไฟฟ้าแรงสูง ปรากฏการณ์ดังกล่าวอาจเกิดขึ้นระหว่างสายตัวนำกับสายตัวนำหรือสายตัวนำกับกราวด์ ซึ่งอาจเห็นแสงวาบหรือได้ยินเสียงคล้ายระเบิดเล็กๆ แฟลชโอเวอร์เป็นอันตรายคุกคามแก่ชีวิตผู้ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงจุดที่เกิดแฟลชโอเวอร์ คล้ายกรณียืนอยู่ใกล้บริเวณที่เกิดฟ้าผ่า นอกจากนั้นแฟลชโอเวอร์ยังทำให้อุปกรณ์รวมถึงสายไฟฟ้าที่อยู่ใกล้เคียงเกิดความเสียหายและยังสามารถรบกวนกระแสไฟฟ้าที่เข้าสู่บริเวณอุตสาหกรรมหรือบ้านเรือนได้

ยกตัวอย่าง เช่น ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้านั้น พอมีฝุ่นมาเกาะมากๆ เข้าประกอบกับความชื้นหรือฝนตก ดังนั้น เมื่อมีกระแสจ่ายในสายไฟฟ้าตลอดเวลา ความร้อนจากกระแสไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะมากระตุ้นให้ ฝุ่นผง และ ความชื้นเหล่านี้เกิดเป็นแถบตัวนำขึ้นซึ่งในทางไฟฟ้าเรียกว่า แถบแห้ง ซึ่งเมื่อมีการขยายใหญ่ขึ้นแล้วจะทำให้เกิดเป็นแถบตัวนำขนาดใหญ่ที่ลูกถ้วย ทำให้สภาพฉนวนลูกถ้วยเสียไปจึงเกิด Voltage ตกคร่อมแถบความต้านทานนี้อย่างมาก เรียกว่า Flasher หรือ Flash over เดียวถ้ามีเวลาจะอธิบาย Back Flash over ครับ

2.1.4 ระดับแรงดันที่มีผลต่อร่างกายมนุษย์

อันตรายที่เกิดจากไฟฟ้าดูดขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ไหลผ่านร่างกายรวมถึงระยะเวลาที่กระแสไหลด้วย ซึ่งทั้งสองปัจจัยจะส่งผลกระทบต่อความรุนแรงที่ร่างกายได้ในระดับที่ต่างกัน หรืออีกนัยหนึ่งปริมาณกระแสแม้เพียงเล็กน้อยก็ทำให้เกิดอันตรายแก่ผู้ถูกไฟดูดจนอาจถึงแก่ชีวิตได้ กระแสที่ไหลผ่านร่างกายสามารถส่งผลกระทบต่อได้หลายอย่าง ซึ่งส่วนใหญ่จะส่งผลกระทบต่อเนื้อเยื่อทำให้เกิดการเผาไหม้รวมถึงการกระตุ้นของระบบประสาท ในขั้นต้นกระแสน้อยๆ จะทำให้เกิดกระดูกของกล้ามเนื้อหรืออาจเสียความสามารถในการควบคุมกล้ามเนื้อได้ หากกระแสที่ไหลผ่านร่างกายมีค่ามากอาจเกิดอันตรายจนถึงขั้นหัวใจเต้นผิดจังหวะหรือหยุดเต้นได้

จากรูปที่ 2.2 ค่ากระแสที่ทำให้ร่างกายเสียความสามารถในการควบคุมกล้ามเนื้อเริ่มที่ประมาณ 10 มิลลิแอมแปร์ในผู้หญิงและประมาณ 16 มิลลิแอมแปร์ในผู้ชาย ซึ่งอันตรายอาจรุนแรงขึ้นหากถูกไฟฟ้าดูดเป็นเวลานาน

Mechanism	Current needed, mA	Voltage needed, V AC
Electrical stimulation of the heart causing ventricular fibrillation	100	30
Tetanic contraction (effectively paralysis) of the muscles of respiration	20	6
Loss of muscle control of the extremities: 16 mA for an average man ¹	16	4.8
Loss of muscle control of the extremities: as little as 10 mA for the most sensitive female ^{7,11}	10	3

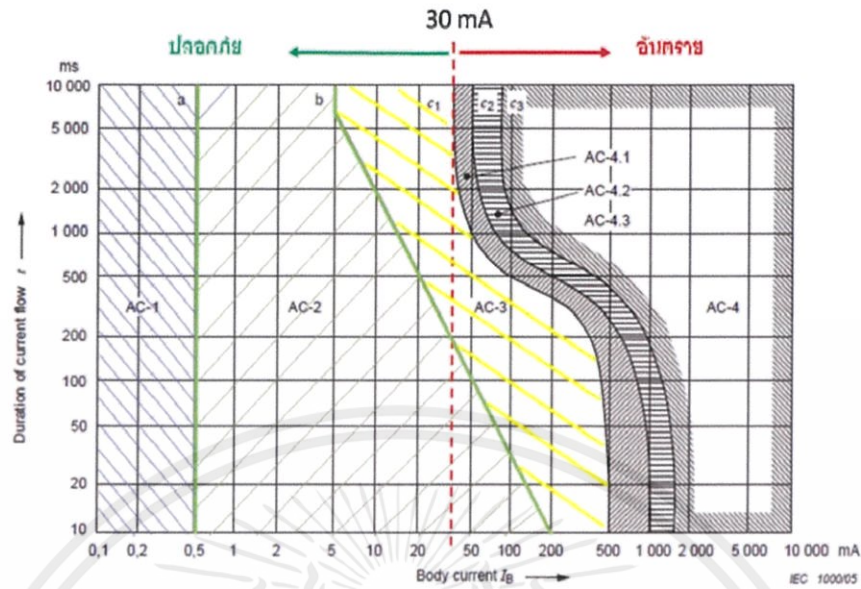
รูปที่ 2.4 ตารางผลของระดับแรงดันต่อร่างกายที่มีความต้านทาน 1000 โอห์ม

อย่างไรก็ตามร่างกายของมนุษย์จะมีความต้านทานอยู่ ซึ่งประมาณ 99% ของความต้านทานทั้งหมดจะอยู่บริเวณผิวหนัง ความต้านทานของผิวหนังเกิดจากผิวหนังชั้นนอกที่หนาของเซลล์ที่ตายแล้วโดยจะมีค่าประมาณ 100000 โอห์ม เมื่อผิวหนังแห้ง แต่ถ้าหากผิวหนังมีความชื้นจะทำให้ค่าความต้านทานลดลง นอกจากนี้ความต้านทานภายในร่างกายใต้ชั้นผิวหนังมีค่าประมาณ 300 โอห์ม ความต้านทานของร่างกายยังขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมด้วยเช่นหากอยู่ในน้ำร่างกายจะมีความต้านทานลดลงเป็นอย่างมาก

ความต้านทานของร่างกายมนุษย์ถึงแม้จะมีค่าโอห์มสูงมากแต่ความต้านทานนี้มีลักษณะเป็นตัวเก็บประจุ ซึ่งสามารถทนแรงดันที่เป็นกระแสตรงได้เยอะ กลับกันเมื่อโดนดูดด้วยไฟฟ้ากระแสสลับจะทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกายแม้โดนดูดด้วยแรงดันน้อยๆก็ตาม

ระดับแรงดันที่เป็นอันตรายตามมาตรฐาน IEC 60479-1

IEC (International Electrotechnical Commission) เป็นองค์การสากลที่ร่วมมือกันจัดตั้งเพื่อกำหนดมาตรฐานด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์และการจัดทำระบบการประเมิน เพื่อการรับรองคุณภาพ สำนักงานใหญ่ตั้งที่ เมืองเจนีวา ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ โดย ประเทศไทยสมัครเป็นสมาชิกของ IEC ประเภทสมาชิกสมทบตั้งตั้งแต่ พ.ศ. 2534



รูปที่ 2.5 แสดงกราฟของกระแสไฟฟ้าและเวลาที่มีผลต่อร่างกาย (ที่ย่านความถี่ 15 Hz ถึง 100 Hz สำหรับกระแสไหลผ่านจากมือถึงเท้า)

ตารางที่ 2.1 แสดงกราฟของกระแสไฟฟ้าและเวลาที่มีผลต่อร่างกาย

โซน	ขอบเขต	ผลของกระแสต่อร่างกาย
AC-1	กระแส 0.1 mA จนถึง 0.5 mA (เส้นกราฟ a)	อาจจะรับรู้ได้และไม่มีผลต่อร่างกาย
AC-2	กระแส 0.5 mA ไปจนถึง เส้นกราฟ b	รับรู้ได้และกล้ามเนื้อเกิดการหดตัว แต่ไม่เป็นอันตรายต่อชีวิต
AC-3	เส้น กราฟ b ไป จนถึง เส้นกราฟ c1	กล้ามเนื้อเกิดการหดตัวอย่างรุนแรง ระบบการหายใจลำบาก มีผลต่อ การทำงานของหัวใจ เช่น หัวใจเริ่ม เต้นผิดปกติ
AC-4	จากเส้นกราฟ c1 เป็นต้นไป	เป็นอันตรายต่อระบบการหายใจ ระบบหัวใจ และเกิดแผลไหม้หรือเซลล์ถูกทำลายความรุนแรงจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณกระแสและระยะเวลาที่มากขึ้นอันตรายถึงขั้นเสียชีวิต

2.2 การกระจายตัวของกระแสไฟฟ้าในดิน

ความหนาแน่นกระแส (current density) คือ เวกเตอร์ที่ชี้ถึงการนำพากระแส ซึ่งขนาดของมัน คือ ความเข้มของกระแสต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (A/m^2) เป็นไปตามสมการ

$$J = \left(\frac{1}{\rho} + j\omega\varepsilon\right) \cdot E$$

E : สนามไฟฟ้า (V / m)

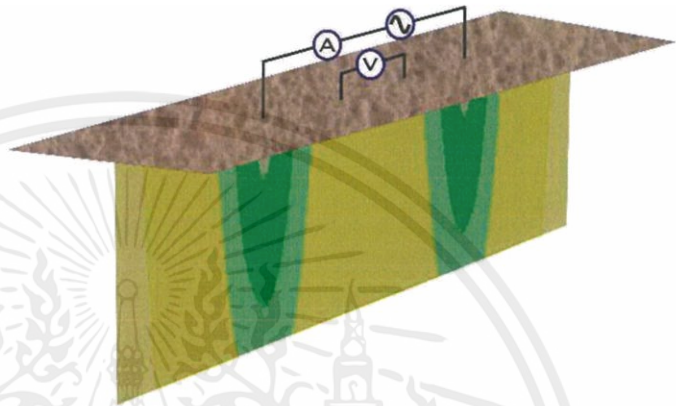
J : ความหนาแน่นกระแส (A / m^2)

ρ : ความต้านทานดิน (ohm-m)

ω : ความถี่เชิงมุม (rad / sec)

ε : Soil permittivity (F / m)

รูปที่ 2.6 การวัดการกระจายความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในดิน

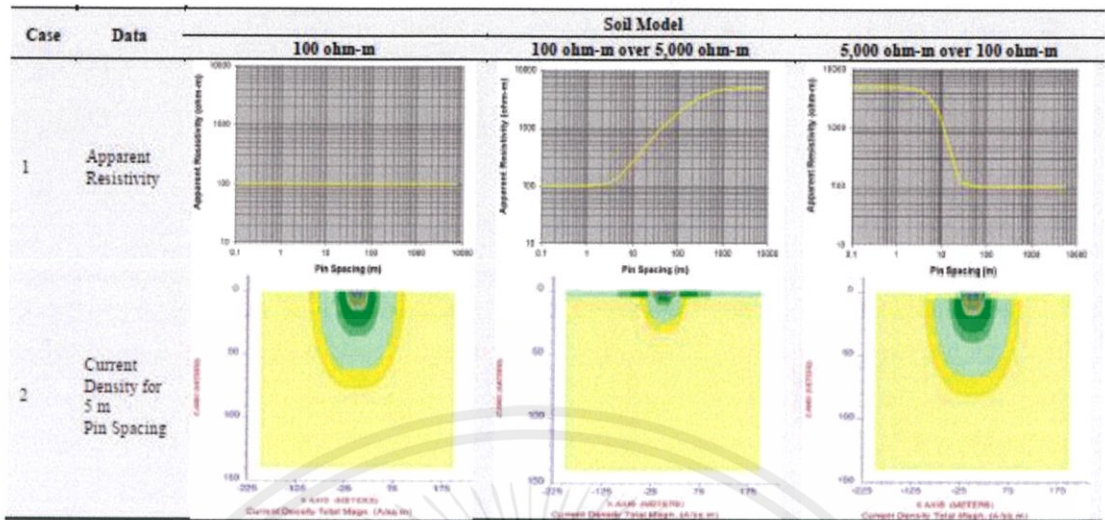


คอมพิวเตอร์เวกเตอร์ความหนาแน่นกระแส ปัจจุบันมีความซับซ้อน อธิบายได้เป็นความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเป็นปริมาณที่มีทั้งขนาดและมุมเฟส โดยจะแยกเป็นคอมโพเนน

ขนาดของผลของความหนาแน่นในปัจจุบันนั้นคือ รากที่สองของ $|J_x|^2 + |J_y|^2 + |J_z|^2$

การกระจายตัวของกระแส ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของบริเวณที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน โดยในการทดลอง จะเป็นการวัดกระแสไฟฟ้าที่กระจายตัวลงดิน ที่มีความสม่ำเสมอ และไม่สม่ำเสมอ โดยแบ่งเป็นเลเยอร์ของความต้านทาน

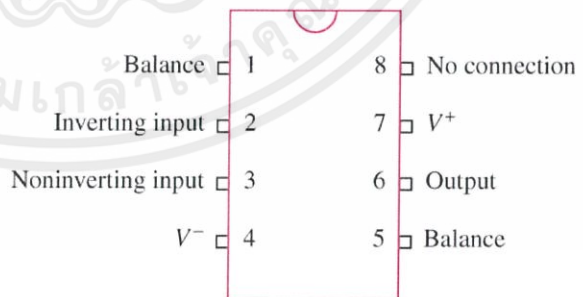
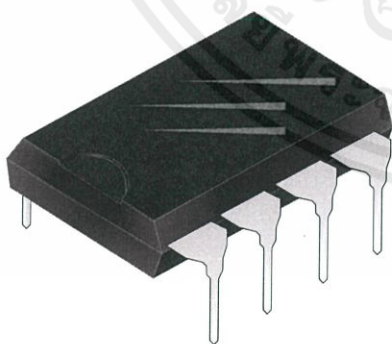
การออกแบบอุปกรณ์วัดแรงดัน จำเป็นต้องรู้ระดับแรงดันที่เป็นอันตราย และลักษณะการกระจายตัวของกระแสไฟฟ้า เพื่อที่จะกำหนดขอบเขตแรงดันที่จะทำการวัด และ การประมาณระยะห่างจากจุดไฟรั่ว



รูปที่ 2.7 การกระจายตัวของกระแสไฟฟ้าที่ความต้านทานดินแบบสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอ

2.3 ออปแอมป์ (Op-Amp, Operational Amplifier)

เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ 3 ขา ที่มีการทำงานคล้ายกับแหล่งจ่ายแรงดันที่ถูกควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage-Controlled Voltage Source, VCVS) เพื่อศึกษา โครงสร้าง และ การทำงานของ ออปแอมป์ในอุดมคติ ออปแอมป์สามารถนำมาใช้ในการขยายสัญญาณ, รวมสัญญาณหรือนำมาทำเป็นตัวกระทำทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 2.8 ออปแอมป์ (Op-Amp, Operational Amplifier)

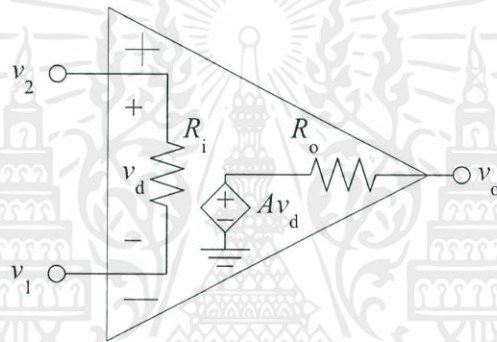
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 วงจรสมมูลของออปแอมป์

- ความต้านทานด้านอินพุต : R_i
- ความต้านทานด้านเอาต์พุต : R_o
- แรงดันระหว่างขาอินพุต : V_d
- แรงดันเอาต์พุต : V_o
- อัตราขยายแรงดันวงเปิด : A

$$v_o = Av_d = A(v_2 - v_1)$$

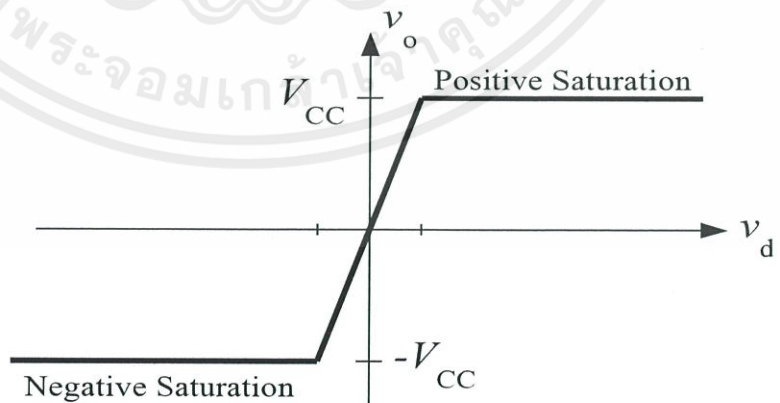
$$v_d = v_2 - v_1$$



รูปที่ 2.9 วงจรสมมูลของออปแอมป์

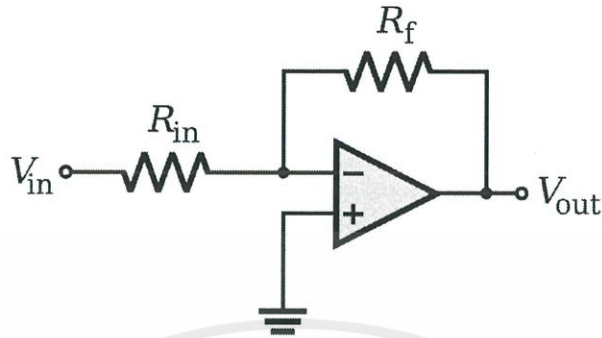
ช่วงการทำงานของออปแอมป์ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง

- ช่วงอิ่มตัวด้านบวก
(Positive saturation)
- ช่วงการทำงานแบบเชิงเส้น (Linear region)
- ช่วงอิ่มตัวด้านลบ
(Negative saturation)



รูปที่ 2.10 ช่วงการทำงานของออปแอมป์

2.4 Inverting operational amplifier



รูปที่ 2.11 ช่วงการทำงานของออปแอมป์

วงจรขยายแบบกลับเฟส (inverting amplifier) เป็นวงจรที่ใช้ออปแอมป์ โดยมีอินพุตและฟีดแบคเข้าที่ขาลบ ซึ่งวงจรนี้จะทำการกลับขั้วสัญญาณและขยายแอมพลิจูดตามตัวคูณ (gain) ของวงจร ค่าตัวคูณสามารถคำนวณได้จากสมการ $\text{Gain} = \frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}} = -\frac{R_f}{R_{\text{in}}}$ ค่าสัญญาณที่เป็นบวกเมื่อผ่านวงจรขยายแบบกลับเฟสอินพุตจะออกมาเป็นสัญญาณลบ เช่นเดียวกับกรณีสัญญาณขาเข้าเป็นลบขาออกก็จะเป็นบวก

ในกรณีของสัญญาณที่เป็น AC sinusoidal สัญญาณด้านเอาต์พุตจะเกิดเฟสชิฟ 180 องศาจากสัญญาณอินพุต

การป้อนกลับแบบลบของออปแอมป์

- จะมีการเชื่อมต่อวงจรโดยนำสัญญาณจากเอาต์พุตต่อกลับไปยังขาอินพุตที่เป็นแบบ inverting ของออปแอมป์
- อัตราขยายที่เกิดจากการป้อนกลับแบบลบเรียกว่า อัตราขยายลูปปิด (Closed-loop gain)

ทำไมต้องป้อนกลับแบบลบ

- เสถียรภาพ (Stability) ของวงจร: ออปแอมป์ไม่ทำงานในช่วงอิ่มตัว (Positive /Negative Saturation)

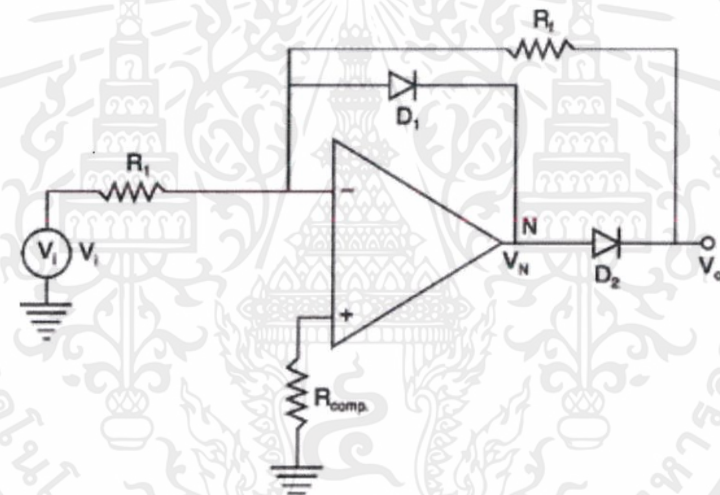
- สามารถรับช่วงของสัญญาณอินพุตได้กว้างขึ้น
- อัตราขยายของวงจรสามารถกำหนดได้ (จากอุปกรณ์ภายนอก)

2.5 Precision Rectifier

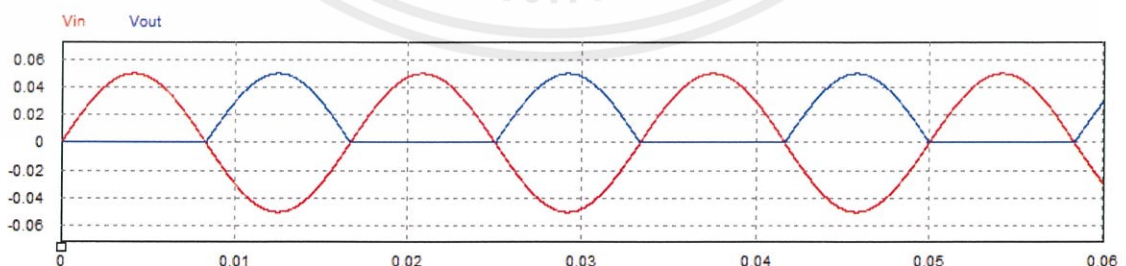
2.5.1 Precision half wave rectifier

วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นโดยใช้ op-amp และ ไดโอดหรือที่เรียกว่า Super diode จะสามารถลดปัญหาแรงดันตกคร่อมที่ไดโอดได้ ใช้สำหรับสัญญาณที่มีแอมพลิจูดน้อยมากๆ

จากรูปเมื่อแรงดันอินพุตมีค่ามากกว่าศูนย์แรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเป็นศูนย์ ในอีกกรณีเมื่อแรงดันมีค่าน้อยกว่าศูนย์แรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับแรงดันอินพุตคูณกับค่า gain



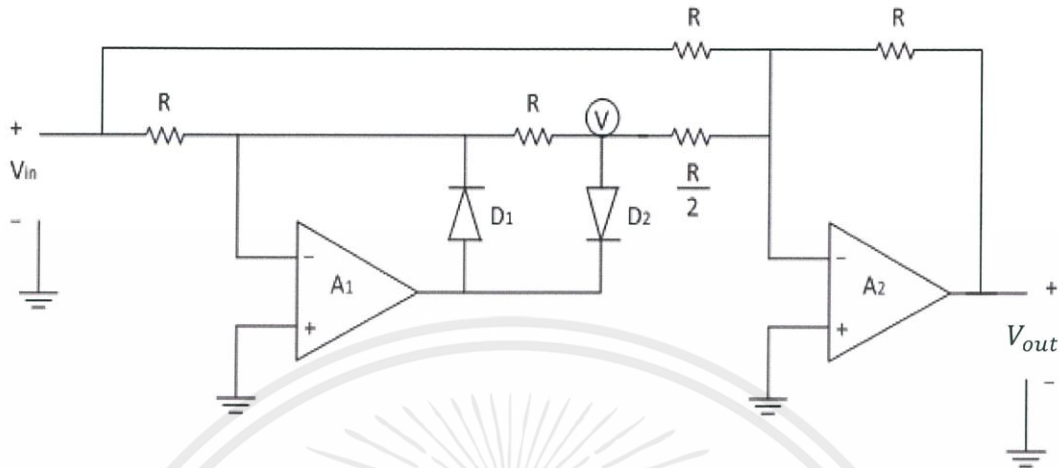
รูปที่ 2.12 Precision diode, Op-amp half wave rectifier



รูปที่ 2.13 กราฟที่ได้จากวงจรเรียงแบบครึ่งคลื่นเมื่อ gain เท่ากับหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

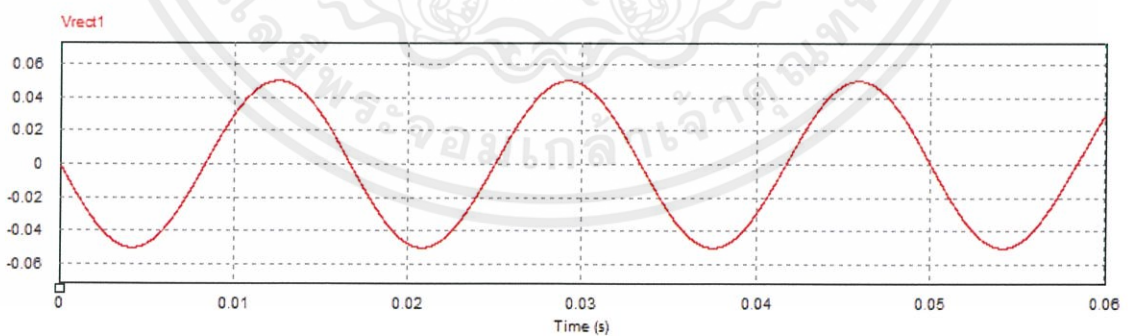
2.5.2 Precision full wave rectifier



รูปที่ 2.14 Precision full wave rectifier

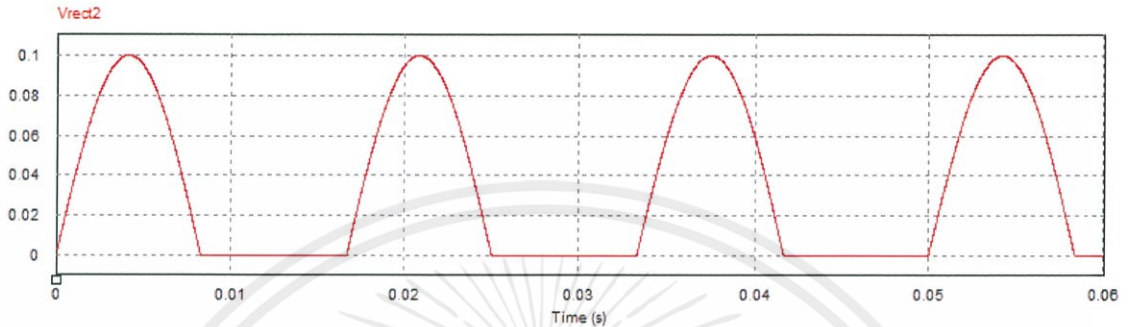
วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นที่เรียกว่า Precision full wave rectifier เกิดจากการรวมกันของสัญญาณ 2 สัญญาณ คือ

2.5.2.1 สัญญาณอินพุตกลับเฟส คือ สัญญาณอินพุตที่เข้าวงจร Inverting amplifier มีอัตราขยายเท่ากับ -1 ได้กราฟสัญญาณดังรูป



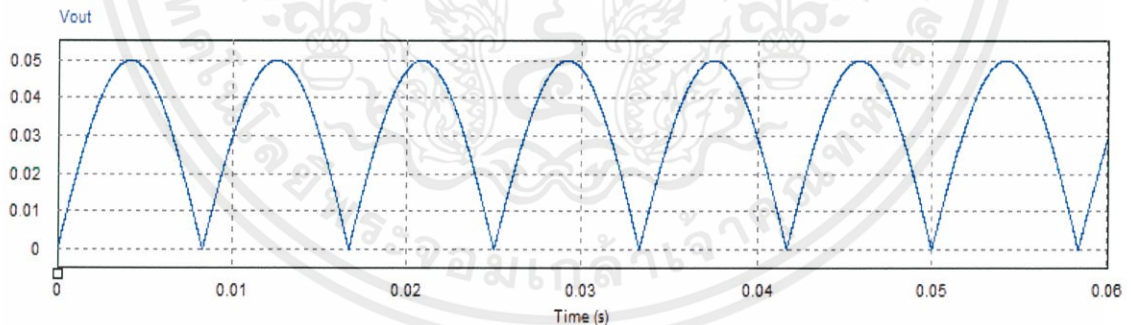
รูปที่ 2.15 สัญญาณอินพุตกลับเฟส

2.5.2.2 สัญญาณอินพุตที่ผ่าน Precision half wave rectifier แล้วนำมาเข้า วงจร Inverting amplifier ที่มีอัตราขยายเท่ากับ -2 ได้กราฟสัญญาณดังรูป



รูปที่ 2.16 สัญญาณอินพุตที่ผ่าน Precision half wave rectifier และ Inverting amplifier ที่มี gain -2

จากสองสัญญาณข้างต้นนำมารวมกันจะได้สัญญาณ Full wave ดังรูป



รูปที่ 2.17 สัญญาณแบบ Sine wave ที่ผ่าน Precision full wave rectifier

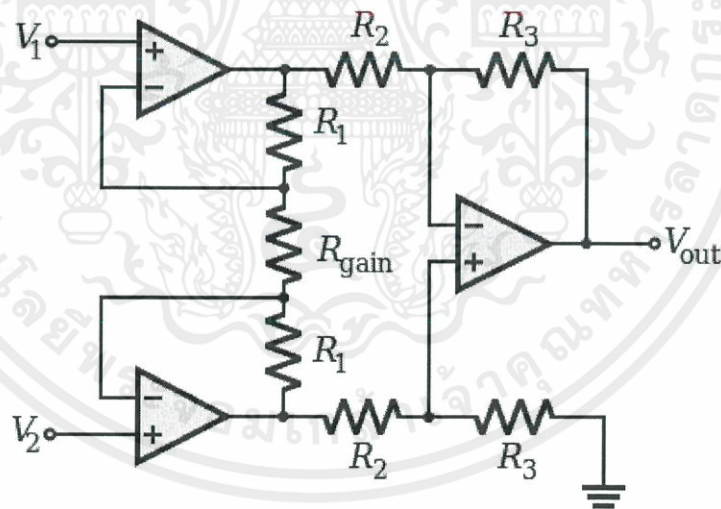
2.5.3 การนำมาใช้งานใน Project

การวัดแรงดันได้น้ำที่มีค่าน้อยมาก วงจรเรียงกระแสแบบไดโอดทำให้ค่าที่ได้มีความ ผิดเพี้ยน ซึ่งวงจร Precision full wave rectifier จะสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ รวมถึงอุปกรณ์

เซ็นเซอร์ที่ออกแบบมีการใช้ Arduino ในการอ่านค่าซึ่งไม่สามารถรับค่าที่เป็นลบได้ ดังนั้นวงจร Precision full wave rectifier จึงมีความจำเป็น

2.6 Instrumentational amplifier

จากวงจรออปแอมป์พื้นฐานได้นำมาสู่วงจรขยายในเครื่องมือวัด วงจรขยายในเครื่องมือวัดเป็นวงจรขยายที่ได้รับความนิยมใช้กันมากในระบบการวัดและระบบควบคุม เพราะสามารถปรับอัตราขยายได้ ทั้งนี้เนื่องจากการวัดระบบหนึ่งอาจมีการเชื่อมต่อเพื่อรับสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณที่ต่างชนิดกัน ซึ่งสัญญาณที่ได้จากตัวตรวจจับสัญญาณหลายประเภทมักจะมีช่วงของระดับสัญญาณที่แตกต่างกันไป ดังนั้นการปรับอัตราขยายได้จะทำให้ทุกๆ ช่วงของระดับสัญญาณที่แตกต่างกันไป ดังนั้นการปรับอัตราขยายได้จะทำให้ทุกๆ ช่วงสัญญาณถูกปรับให้อาห์พุทมีระดับแรงดันที่เท่ากันทำให้สะดวกในการนำไปเชื่อมต่อกับวงจรอื่นต่อไป



รูปที่ 2.18 Instrumental amplifier diagram

ความต้านทาน R_{gain} จะเป็นตัวปรับอัตราขยายของวงจร จะได้แรงดันเอาต์พุตเป็น

$$\frac{V_{out}}{V_2 - V_1} = \left(1 + \frac{2R_1}{R_{gain}}\right) \frac{R_3}{R_2}$$

คุณสมบัติที่ดีของวงจรขยายในเครื่องมือวัดดังกล่าว คือ

- ความต้านทานทางด้านอินพุตมีค่าสูงมาก และไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราขยายในขณะที่ออปแอมป์ธรรมดาจะเปลี่ยนแปลงเสมอ

- แรงดันเอาต์พุตที่ได้ไม่ขึ้นอยู่กับแรงดันคอมมอนที่มาจากทั้ง V1 และ V2 เลย แต่จะเป็นผลที่เกิดขึ้นกับค่าแรงดันดิฟเฟอเรนเชียลระหว่าง V1 และ V2 เท่านั้น

- มีอัตราขยายรวมสูง ทำให้สามารถนำไปใช้กับสัญญาณอินพุต ที่มีระดับต่างกันได้อย่างกว้างขวาง

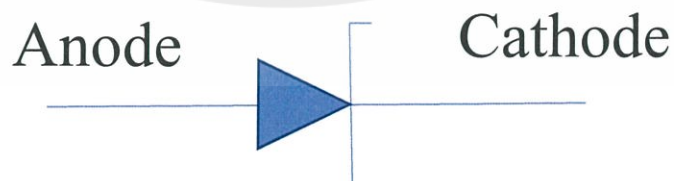
2.6.1 การนำมาใช้งานใน Project

- การนำ In-Amp มาใช้งาน เพื่อที่จะขยายระดับแรงดัน Step Voltage ที่มีค่าน้อยใน Lab ให้มีค่าสูงขึ้น

- ตัดสัญญาณรบกวนในน้ำ เพื่อให้แรงดันได้รูปเพียวไลน์

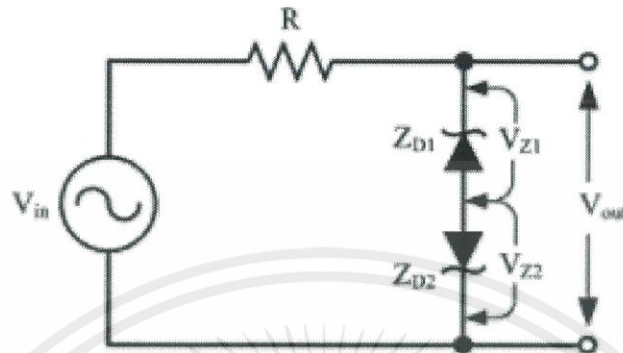
2.7 Zener Diode

ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode) เป็นไดโอดชนิดหนึ่งซึ่งสร้างขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่รักษาแรงดันให้คงที่ มีโครงสร้างเหมือนไดโอดทั่วไปคือมีสารกึ่งตัวนำ 2 ชนิด ได้แก่ ชนิด P และ ชนิด N มีขาแอนโนด (A) และ แคโทด (K) เช่นเดียวกับไดโอดอีกด้วย โดยสิ่งที่ซีเนอร์ไดโอดแตกต่างกับไดโอดธรรมดา นั่นคือ ซีเนอร์ไดโอดเป็นไดโอดที่ผลิตขึ้นจากสารซิลิกอนที่มีปริมาณความหนาแน่นของสารเจือปนในส่วนทั้งสองของสาร P และ N มีค่าสูงหรือต่ำกว่าปกติ พร้อมกับมีการผลิตเฉพาะตัว



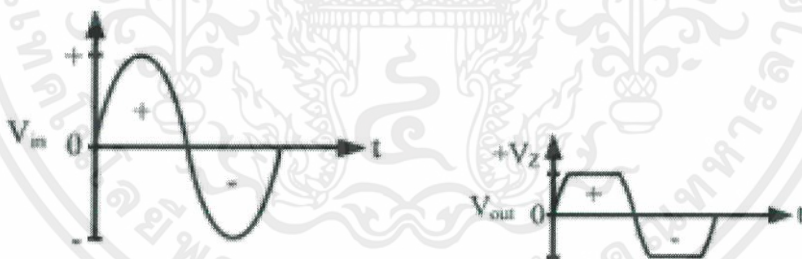
รูปที่ 2.19 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด

วงจรคลิปปเปอร์ตัดสัญญาณ 2 ช่วง



รูปที่ 2.20 วงจรคลิปปเปอร์ตัดสัญญาณ 2 ด้านแบบใช้ซีเนอร์ไดโอด

(Positive -Negative Clipper) เป็นวงจรตัดสัญญาณแบบขนานที่ต่อไดโอดเข้าวงจร 2 ตัว ตัดสัญญาณบางส่วนทั้งซีกบวก และซีกลบ



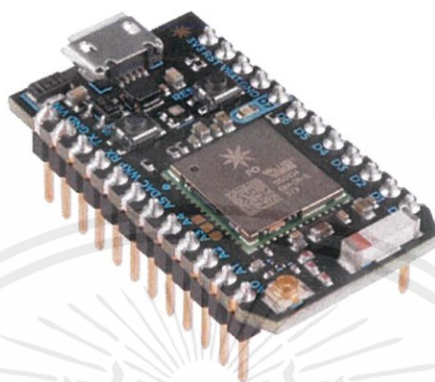
รูปที่ 2.21 รูปสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรตัดยอดสัญญาณ 2 ช่วง

2.8 Particle Photon

Particle Photon เป็นอุปกรณ์ Wi-Fi ขนาดเล็กสำหรับสร้างอุปกรณ์หรือผลิตภัณฑ์ที่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตหรือที่เรียกว่า Internet of Thing ใช้งานง่ายมีประสิทธิภาพและมีการเชื่อมต่อกับระบบฐานข้อมูลคลาวด์ ภายในบอร์ดประกอบไปด้วย Cypress Wi-Fi Chip และไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM Cortex M3 ที่มีประสิทธิภาพคล้ายกับ Spark Core แต่ใช้งานได้ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมลงบนบอร์ด Photon ได้รับการออกแบบมาให้ทำงานง่ายโดยมีการเขียนโค้ดเหมือนการเขียนโค้ดของบอร์ด Arduino โดยที่ผู้พัฒนาสามารถเขียนโปรแกรมผ่านทางเว็บไซต์หรือ Desktop IDE



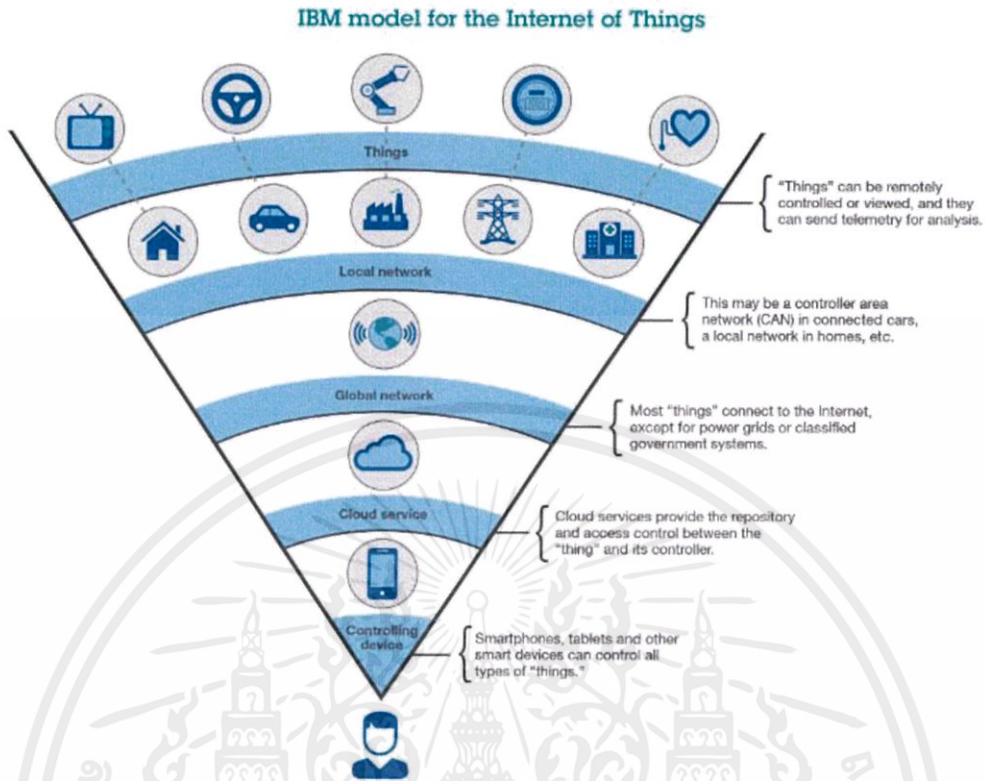
รูปที่ 2.22 Particle Photon

2.9 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) หมายถึง การที่อุปกรณ์หรือเครื่องมือต่างๆ เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้า รถยนต์ เครื่องมือสื่อสาร เครื่องมือทางการแพทย์ เป็นต้น เชื่อมต่อกันผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตทำให้สามารถสั่งการควบคุมอุปกรณ์เหล่านี้จากระยะไกล การใช้ IoT เป็นการเชื่อมต่อโลกของความเป็นจริงเข้ากับระบบคอมพิวเตอร์ส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพและความถูกต้องมากกว่าการทำงานด้วยมนุษย์

เทคโนโลยี IoT จะทำงานได้ต้องอาศัยการทำงานร่วมกับอุปกรณ์ประเภท RFID และ Sensors ซึ่งเป็นตัวช่วยในการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตทำให้อุปกรณ์หรือเครื่องมือต่างๆ สามารถส่งข้อมูลถึงกันได้ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ IoT ในหลายด้าน เช่น Smart Home, Heart Monitoring, DNA Analysis Monitoring เป็นต้น

IoT มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า M2M ย่อมาจาก Machine to Machine คือเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตที่เชื่อมต่ออุปกรณ์กับเครื่องมือต่างๆ เข้าไว้ด้วยกัน



Graphic 1. IBM model for the Internet of Things

Source: IBM X-Force® Research and Development

รูปที่ 2.23 Network Layer ของ Internet of Things

2.9.1 การแบ่งกลุ่ม Internet of Things

ปัจจุบันมีการแบ่งกลุ่ม Internet of Things ตามการใช้งานเป็น 2 กลุ่มได้แก่

Industrial IoT คือ แบ่งจาก local network ที่มีหลายเทคโนโลยีที่แตกต่างกันในโครงข่าย Sensor nodes โดยตัวอุปกรณ์ IoT Device ในกลุ่มนี้จะเชื่อมต่อแบบ IP network เพื่อเข้าสู่อินเทอร์เน็ต

Commercial IoT คือ แบ่งจาก local communication ที่เป็น Bluetooth หรือ Ethernet (wired or wireless) โดยตัวอุปกรณ์ IoT Device ในกลุ่มนี้จะสื่อสารภายในกลุ่ม Sensor nodes เดียวกันเท่านั้นหรือเป็นแบบ local devices เพียงอย่างเดียวอาจไม่ได้เชื่อมสู่อินเทอร์เน็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 ระบบปฏิบัติการ Android

Android คือ ระบบปฏิบัติการสำหรับอุปกรณ์พกพา เช่น โทรศัพท์มือถือ แท็บเล็ต คอมพิวเตอร์ เริ่มมีการพัฒนาโดยบริษัทแอนดรอยด์ ต่อจากนั้นบริษัทแอนดรอยด์ถูกซื้อกิจการโดยบริษัทกูเกิลเพื่อนำไปพัฒนาต่อ ภายหลังจากพัฒนาในชื่อของ Open Handset Alliance ทางบริษัทกูเกิลได้เปิดให้นักพัฒนาสามารถพัฒนาซอฟต์แวร์ต่างๆ ด้วยภาษาจาวา และควบคุมอุปกรณ์ผ่านทางชุด Java libraries ที่กูเกิลพัฒนาขึ้น ซอฟต์แวร์ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เป็นระบบที่มีโครงสร้างแบบเรียงทับซ้อน โดยใช้ลินุกซ์ เคอร์เนล(Linux Kernel) เป็นพื้นฐานของระบบ และใช้ภาษา Java ในการพัฒนา มี Android SDK เป็นเครื่องมือสำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

2.10.1 ประวัติความเป็นมา

เริ่มต้นระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ถูกพัฒนามาจากบริษัท แอนดรอยด์ (Android Inc.) เมื่อปี พ.ศ 2546 โดยมีนาย แอนดี้ รูบิน (Andy Rubin) เป็นผู้คิดค้นระบบปฏิบัติการนี้ และถูกบริษัทกูเกิลซื้อกิจการเมื่อ เดือนสิงหาคม ปี พ.ศ 2548 โดยบริษัทแอนดรอยด์ ได้กลายเป็นมาบริษัทย่อยของบริษัทกูเกิล ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เป็นระบบปฏิบัติการที่พัฒนามาจากการนำแกนกลางของระบบปฏิบัติการลินุกซ์(Linux Kernel) ซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการที่ถูกออกแบบมาทำงานเป็นเครื่องเซิร์ฟเวอร์มาพัฒนาต่อยอดเพื่อให้กลายเป็นระบบปฏิบัติการบนอุปกรณ์พกพา (Mobile Operating System)

เมื่อเดือน พฤศจิกายน ปี พ.ศ 2550 บริษัทกูเกิล ได้ก่อตั้งสมาคม OHA (Open Handset Alliance) เป็นหน่วยงานกลางในการกำหนดมาตรฐานกลาง ของอุปกรณ์พกพาและระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ มีสมาชิกในช่วงก่อนจัดตั้งจำนวน 34 ราย ประกอบด้วยบริษัทชั้นนำที่ดำเนินธุรกิจด้านการสื่อสาร เช่น โรงงานผลิตอุปกรณ์พกพา, บริษัทพัฒนาโปรแกรม, ผู้ให้บริการสื่อสารและผู้ผลิตอะไหล่อุปกรณ์ด้านสื่อสาร จากนั้น เมื่อเดือนตุลาคม ปี พ.ศ 2551 บริษัท กูเกิลได้เปิดตัวมือถือตัวแรกที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ มีชื่อว่า T-Mobile G1 หรืออีกชื่อคือ HTC Dream โดยใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์รุ่น 1.1 และหลังจากนั้นได้มีการพัฒนาระบบปฏิบัติการเป็นลำดับ ต่อมาได้มีการออกผลิตภัณฑ์จากบริษัทต่างๆออกมามากมาย ตามการพัฒนาของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ที่มีอยู่อย่างต่อเนื่อง

2.10.2 ประเภทของชุดซอฟต์แวร์

เนื่องจากแอนดรอยด์ (Android) เปิดให้นักพัฒนาเข้าไปดูรหัสต้นฉบับได้ทำให้มีผู้พัฒนาจากหลายฝ่ายนำเอารหัสต้นฉบับมาปรับ และสร้างแอนดรอยด์ในแบบฉบับของตนเองขึ้น สามารถแบ่งประเภทของแอนดรอยด์ออกได้เป็น 3 ประเภทดังต่อไปนี้

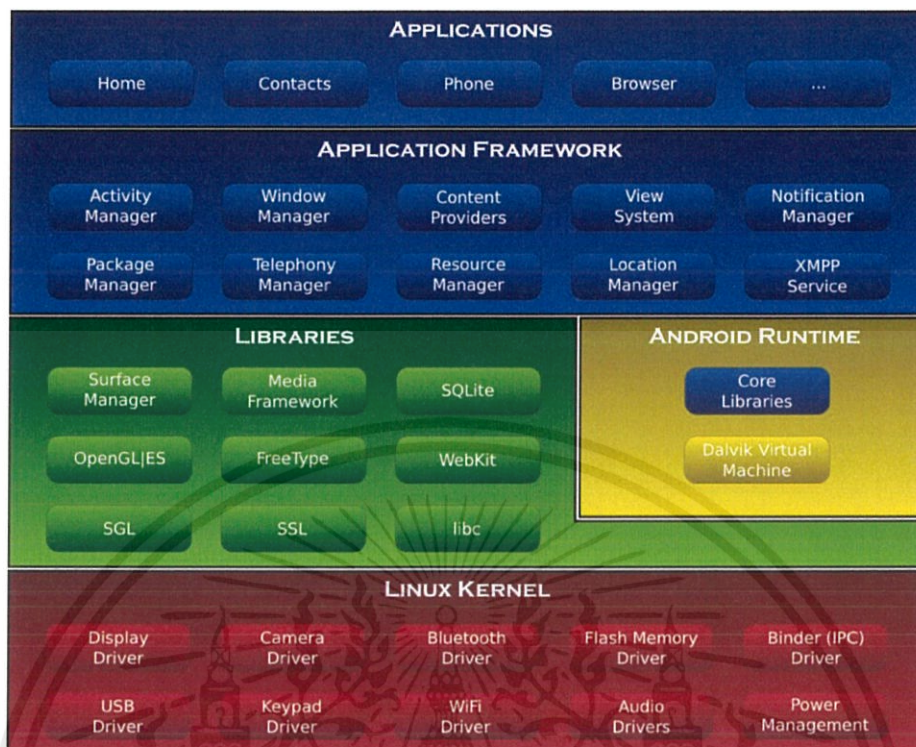
1. Android Open Source Project (AOSP) เป็นแอนดรอยด์ประเภทแรกที่ถูกเปิดให้สามารถนำไปติดตั้งในอุปกรณ์ต่างๆ ได้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย

2. Open Handset Mobile (OHM) เป็นแอนดรอยด์ที่ได้รับการพัฒนาร่วมกับกลุ่มบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์พกพา ที่เข้าร่วมกับกูเกิลในชื่อ Open Handset Alliance (OHA) บริษัทพวกนี้จะพัฒนาแอนดรอยด์ในแบบฉบับของตนเองออกมา โดยรูปร่าง การแสดงผล และฟังก์ชันการใช้งาน มีความเป็นเอกลักษณ์ และมีลิขสิทธิ์เป็นของตนเอง และได้รับสิทธิ์ในการมีบริการเสริมต่างๆ จากกูเกิล เรียกว่า Google Mobile Service (GMS) เป็นบริการเสริมที่ทำให้แอนดรอยด์มีประสิทธิภาพ เป็นไปตามจุดประสงค์ของแอนดรอยด์ แต่การจะได้ GMS นั้น ผู้ผลิตจะต้องทำการทดสอบระบบ และขออนุญาตกับทางกูเกิลก่อน จึงจะนำเครื่องวางจำหน่ายได้

3. Cooking หรือ Customize เป็นแอนดรอยด์ที่นักพัฒนานำเอารหัสต้นฉบับจากแหล่งต่างๆ มาปรับในแบบฉบับของตนเอง โดยจะต้องทำการปลดล็อคสิทธิ์การใช้งานอุปกรณ์ เครื่องก่อนจึงจะสามารถติดตั้งได้ แอนดรอยด์แบบนี้ถือเป็นประเภทที่มีความสามารถมากที่สุดเท่าที่อุปกรณ์เครื่องนั้นๆ จะรองรับได้เพราะได้รับการปรับแต่งให้เข้ากับอุปกรณ์นั้นๆ จากผู้ใช้งานจริง

2.10.3 โครงสร้างของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android Architecture)

ถูกออกแบบเป็นลำดับโดยแต่ละชั้นซึ่งจะเรียกใช้ บริการจากชั้นที่อยู่ล่างกว่าจากระดับชั้นนั้นๆ ซึ่งโครงสร้างของระบบ จะถูกแบ่งออกเป็น 4 ชั้น คือ ชั้นลินุกซ์ เคอร์เนล (Linux Kernel), ชั้นไลบรารี (Library), ชั้นแอปพลิเคชัน เฟรมเวิร์ค (Application Framework) และชั้นแอปพลิเคชัน (Application)



รูปที่ 2.24 โครงสร้างของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

1. ชั้นแอปพลิเคชัน (Application) เป็นชั้นที่อยู่บนสุดของโครงสร้างสถาปัตยกรรม Android ซึ่งเป็นส่วนของแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นมาใช้งาน เช่น แอปพลิเคชันรับ/ส่งอีเมล, ปฏิทิน, แผนที่, รายชื่อผู้ติดต่อ เป็นต้น ซึ่งแอปพลิเคชันอยู่ในรูปแบบไฟล์ .apk

2. ชั้นแอปพลิเคชันเฟรมเวิร์ค (Application Framework) ชั้นนี้จะอนุญาตให้นักพัฒนาสามารถเข้าเรียกใช้งาน โดยผ่าน API (Application Programming Interface) ซึ่ง Android ได้ออกแบบไว้เพื่อลดความซับซ้อนในการใช้งาน application component โดยชั้นนี้ประกอบด้วยแอปพลิเคชันเฟรมเวิร์คดังนี้

1) ViewSystem เป็นส่วนที่ใช้ในการควบคุมการทำงานในการสร้างแอปพลิเคชัน เช่น lists, grids, textboxes, buttons และ embeddablewebbrowser

2) LocationManager เป็นส่วนที่จัดการเกี่ยวกับตำแหน่งของเครื่องอุปกรณ์พกพาเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ContentProvider เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมการเข้าถึงข้อมูลที่มีการใช้งานร่วมกัน (Shared data) ระหว่างแอปพลิเคชันที่แตกต่างกัน เช่น ข้อมูลผู้ติดต่อ (Contact)

4) ResourceManager เป็นส่วนที่จัดการข้อมูลต่างๆ ที่ไม่ใช่ส่วนของโค้ดโปรแกรม เช่น รูปภาพ, localized strings, layout ซึ่งจะอยู่ในไดเรกทอรี res/

5) NotificationManager เป็นส่วนที่ควบคุมอีเวนต์ (Event) ต่างๆ ที่แสดงบนแถบสถานะ (Statusbar) เช่น ในกรณีที่ได้รับความหรือสายที่ไม่ได้รับและการแจ้งเตือนอื่นๆ เป็นต้น

6) ActivityManager เป็นส่วนควบคุม LifeCycle ของแอปพลิเคชัน

3. ชั้นไลบรารี (Library) Android ได้รวบรวมกลุ่มของไลบรารีต่างๆ ที่สำคัญไว้มากมาย เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับนักพัฒนาและง่ายต่อการพัฒนาโปรแกรม ตัวอย่างของไลบรารีที่สำคัญเช่น

1) Surface Manager คือไลบรารีจัดการส่วนแสดงผลที่มีความสามารถในการผสมกราฟิกทั้ง 2 และ 3 มิติ จากแอปพลิเคชันต่างๆ เข้าด้วยกัน ทำให้สามารถสร้างแอปเฟ็ด เช่น วินโดว์ที่มองทะลุไปข้างหลังได้

2) Media Libraries คือไลบรารีที่จัดเตรียมบริการในการเล่นและบันทึกเสียง วิดีโอ และรูปภาพในฟอร์แมตต่างๆ เช่น MPEG4, H.264, MP3, AAC, AMR, JPG และ PNG เป็นต้น

3) SQLite คือ Database Engine ที่มีประสิทธิภาพและขนาดเล็ก เพื่อให้สามารถจัดเก็บข้อมูลต่างๆ ของแอปพลิเคชันไว้ในรูปแบบของฐานข้อมูล

4) WebKit คือไลบรารีที่ใช้แสดงเนื้อหาเว็บเพจ ซึ่งเป็นตัวเดียวกับที่ใช้ใน Google Chrome และ Apple Safari รวมถึงเว็บเบราว์เซอร์ในถือ iPhone และมือถือตระกูล S60

5) Android Runtime Android Runtime ประกอบด้วย Core Library สำหรับภาษาจาวา และ Dalvik Virtual Machine ในแบบของแอนดรอยด์ถูกออกแบบมาสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้จากแบตเตอรี่และมีหน่วยความจำที่จำกัด ในแอนดรอยด์นั้นแต่ละแอปพลิเคชันจะรันอยู่ในโพรเซส

ของตัวเองและมี Dalvik VM ของตัวเองอยู่ด้วย ดังนั้นโค้ดของแต่ละแอปพลิเคชันจะรันอยู่ใน VM ที่แยกกัน สำหรับ Core Library เป็น Java Library ส่วนใหญ่จะเหมือนกับใน Java Standard Edition (Java SE) ที่ใช้พัฒนาแอปพลิเคชันบน PC แต่บางไลบรารีที่มีใน Java SE จะไม่มีในแอนดรอยด์

4. ชั้นแอนดรอยด์รันไทม์ (Android Runtime) ชั้นนี้จะเป็นชั้นย่อยที่ถูกแบ่งมาจากชั้นไลบรารี ซึ่งจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ

1) DalvikVM (VirtualMachine) ส่วนนี้ถูกเขียนด้วยภาษา Java เพื่อใช้เฉพาะการใช้งานในอุปกรณ์เคลื่อนที่ DalvikVM จะแตกต่างจาก JavaVM (VirtualMachine) คือ DalvikVM จะรันไฟล์ .dex ที่คอมไพล์มาจากไฟล์ .class และ .jar โดยมี tool ที่ชื่อว่า dx ทาหน้าที่ในการบีบอัดคลาส Java ทั้งหมดนี้ไฟล์ .dex จะมีขนาดกะทัดรัดและเหมาะสมกับอุปกรณ์เคลื่อนที่มากกว่า .class เพื่อต้องการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

2) CoreJavaLibrary ส่วนนี้เป็นไลบรารีมาตรฐาน แต่ก็มีความแตกต่างจากไลบรารีของ JavaSE (JavaStandardEdition) และ JavaME (JavaMobileEdition)

5. ชั้นลินุกซ์เคอร์เนล (LinuxKernel) ระบบ Android นั้นถูกสร้างบนพื้นฐานของระบบปฏิบัติการ Linux โดยในชั้นนี้จะมีฟังก์ชันการทำงานหลายๆ ส่วน แต่โดยส่วนมากแล้วจะเกี่ยวข้องกับฮาร์ดแวร์โดยตรง เช่น การจัดการหน่วยความจำ (MemoryManagement) การจัดการโพรเซส (ProcessManagement) การเชื่อมต่อเครือข่าย (Networking) เป็นต้น

2.10.4 องค์ประกอบของแอนดรอยด์แอปพลิเคชัน (Android Application Components)

2.10.4.1 Activity (User Interface) คือ สิ่งที่ใช้ในการแสดงผล ออกมาเพื่อให้ผู้ใช้งานได้เห็น และได้ ใช้งาน โดยในแต่ละ Application นั้น อาจจะมี activity เดียว หรือ หลายๆ activity ก็ได้ หรืออาจไม่มี Activity เลยก็ได้ และสิ่งที่อยู่ใน activity นั้นจะเรียกว่า view ซึ่งก็มีอยู่ในหลายรูปแบบ เช่น buttons, text fields, scroll bars, menu items, check boxes และอื่นๆ

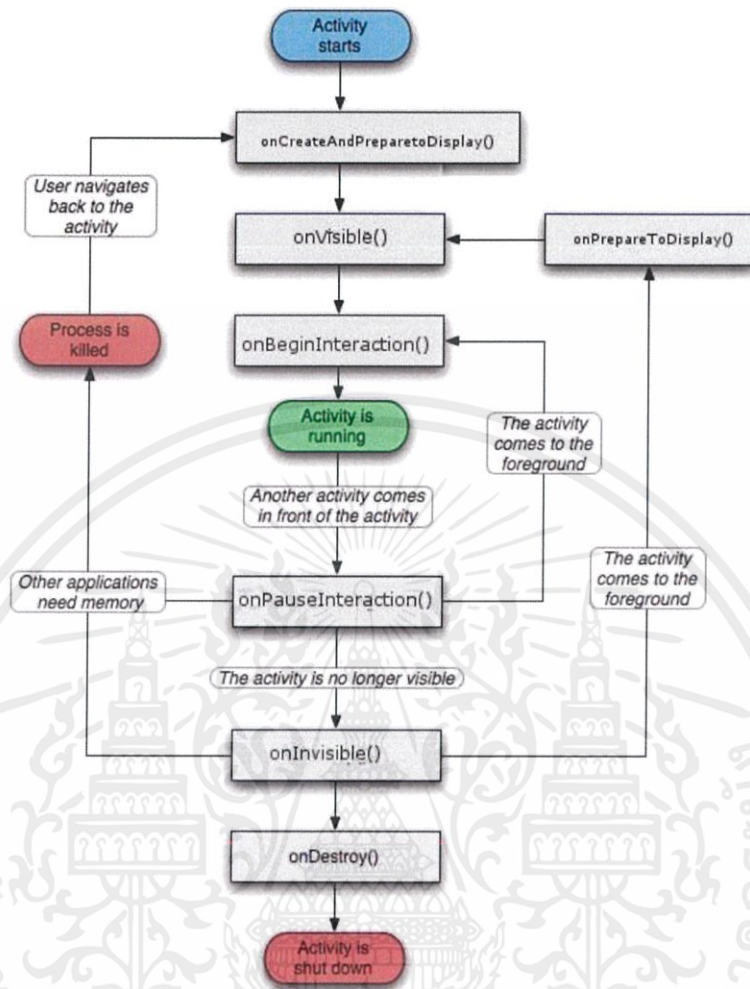
2.10.4.2 Service (Service Provider) คือ ส่วนที่ไม่มีการแสดงผล โดยเป็นการทำงานในลักษณะเบื้องหลัง (Background Process) มีการทำงานต่างๆ เช่น ติดต่อรับส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่าย คำนวณค่าทางคณิตศาสตร์ แล้วทำการส่งผลลัพธ์ที่ได้ไปยังส่วนของ Activity

2.10.4.3 Broadcast receiver (Data Provider) คือ ส่วนที่รับข้อมูลจากส่วนต่างๆ และนำข้อมูลเหล่านั้นมาดำเนินการต่อโดยไม่มีส่วนแสดงผล เช่น เมื่อมีสายเข้า เมื่อมีข้อความเข้า เมื่อแบตเตอรี่ต่ำ เป็นต้น Broadcast receiver จะทำการเรียกใช้ส่วน Activity เพื่อแสดงผลให้กับผู้ใช้ หรือเรียกใช้สิ่งที่เรียกว่า Notification Manager โดนจะแสดงผลเป็นการสัญญาณเตือนในรูปแบบต่างๆ เช่น การสั่น การส่งเสียง ไฟกระพริบ เป็นต้น

2.10.4.4 Content provider (System Event Listener) คือ ส่วนของกลุ่มข้อมูลที่สร้างขึ้นโดยแอปพลิเคชัน เพื่อให้แอปพลิเคชันอื่นๆสามารถนำไปใช้ได้ โดยการจัดเก็บข้อมูลของ content provider นั้นจะอยู่ในลักษณะของ ไฟล์, ฐานข้อมูล SQLite และอื่นๆ

2.10.5 Activity Life Cycle คือ ส่วนที่มีหน้าที่ในการสร้างและควบคุมการทำงานของหน้าจอ เพื่อตอบโต้กับผู้ใช้งาน โดยในการทำงานจะสามารถตอบโต้กับผู้ใช้งานได้เพียงครั้งละ 1 Activity ไม่สามารถที่จะตอบโต้ที่หลายๆ Activity ได้ และ Activity แต่ละตัวมี Life Cycle เป็นของตนเองโดยแบ่งสถานะได้ดังนี้

- Running เป็นสถานะที่ Activity กำลังทำงาน
- Pause เป็นสถานะที่ Activity หยุดการทำงานชั่วคราว แต่ยังคงแสดงผลบนหน้าจออยู่
- Stop เป็นสถานะที่ Activity หยุดการทำงาน
- Kill เป็นสถานะที่ Activity ถูกลบโดยเมื่อ Activity อยู่ในสถานะ Pause หรือ Stop จะสามารถลบ Activity ได้



รูปที่ 2.25 Activity Life Circle ของ Android

onCreate(Bundle) เรียกใช้เมื่อมีการสร้าง Activity ครั้งแรก เป็นส่วนสำคัญในการสร้างหน้าจอกการทำงานและการควบคุมต่างๆ

onRestart() เรียกใช้หลังจากที่ Activity อยู่ในสถานะ Stop เพื่อให้กลับมาใช้งานอีกครั้ง

onStart() เรียกใช้เพื่อให้ Activity เริ่มการแสดงผล

onResume() เรียกใช้เพื่อให้ Activity ที่อยู่ในสถานะ Pause กลับมาทำงานได้

onPause() เรียกใช้เมื่อต้องการหยุดการทำงานของ Activity ชั่วคราว

onStop() เรียกใช้เมื่อต้องการหยุดการทำงานของ Activity

onDestroy() เรียกใช้เมื่อต้องการลบ Activity และยังมี method ที่สำคัญอีก 2 ตัว คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

onSaveInstanceState(Bundle) จะถูกเรียกก่อน onPause() เพื่อเก็บสถานะต่างๆ ของ Activity ไว้ใช้ เมื่อ Activity นี้ได้กลับมาทำงานอีกครั้ง

onRestoreInstanceState(Bundle) จะถูกเรียกก่อน onResume() เพื่อนำสถานะต่างๆ ของ Activity ที่เก็บไว้มาใช้งาน

2.11 Android SDK

การพัฒนา Application Android นั้นต้องใช้ภาษา JAVA ในการเขียนโปรแกรม โดยต้องมีการติดตั้งส่วนเสริมที่มีชื่อว่า ADT หรือ Android Development Tools ซึ่งเป็นส่วนเสริมที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมและ โดยที่โปรแกรม Android SDK เป็นโปรแกรมที่รวบรวมไลบรารีต่างๆ ที่จำเป็นต่อการพัฒนาแอปพลิเคชันและมี Emulator ที่สามารถจำลองระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เพื่อใช้ทดสอบแอปพลิเคชันแอนดรอยด์ได้ Android SDK เป็นโปรแกรมที่ทางบริษัท Google ทำขึ้นเพื่อให้ผู้ที่มีความสนใจในการพัฒนาแอปพลิเคชัน สามารถดาวน์โหลดไปใช้พัฒนาแอปพลิเคชันได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย และด้วยเหตุผลนี้ทำให้แอนดรอยด์เป็นระบบปฏิบัติการที่มีแอปพลิเคชันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

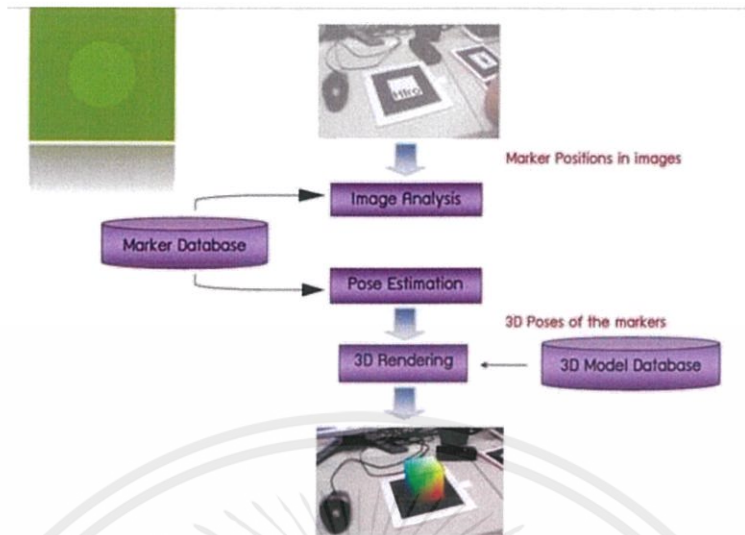
2.12 ระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (Augmented Reality)

Augmented Reality หรือ AR เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ผสานเอาโลกแห่งความเป็นจริง (Real) เข้ากับโลกเสมือน (Virtual) ผ่านซอฟต์แวร์และอุปกรณ์เชื่อมต่อต่างๆ ซึ่งจะทำให้ภาพที่เห็นในจอภาพกลายเป็นวัตถุ 3 มิติลอยอยู่เหนือพื้นผิวจริง เทคโนโลยี AR แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ แบบที่ใช้ภาพสัญลักษณ์และแบบที่ใช้ระบบพิกัดในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างข้อมูลบนโลกเสมือนจริง ซึ่งในทางเทคนิคแล้วภาพสัญลักษณ์ที่ใช้ จะนิยมเรียกว่า “Marker” หรืออาจจะเรียกว่า “AR Code” ก็ได้ โดยใช้กล้องเว็บแคมในการรับภาพ เมื่อซอฟต์แวร์ที่เราใช้งานอยู่ประมวลผลรูปภาพเจอสัญลักษณ์ที่กำหนดไว้ก็จะแสดงข้อมูลภาพสามมิติที่ถูกระบุไว้ในโปรแกรมให้เห็น เราสามารถที่จะหมุนดูภาพที่ปรากฏได้ทุกทิศทางหรือเรียกว่าหมุนได้ 360 องศา



รูปที่ 2.26 ตัวอย่างการใช้ระบบสนับสนุนความจริงเสมือน

2.12.1 หลักการของระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (Augmented Reality) แนวคิดหลักของเทคโนโลยีเสมือนจริง คือการพัฒนาเทคโนโลยีที่ผสมเอาโลกแห่งความเป็นจริงและความเสมือนจริง เข้าด้วยกันผ่านซอฟต์แวร์และอุปกรณ์เชื่อมต่อต่างๆ เช่น เว็บแคม คอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์อื่นที่เกี่ยวข้อง ซึ่งภาพเสมือนจริงนั้นจะ แสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ หน้าจอโทรศัพท์มือถือ บนเครื่องฉายภาพ หรือบนอุปกรณ์แสดงผลอื่นๆ โดยภาพเสมือนจริงที่ ปรากฏขึ้นจะมีปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ได้ทันที ทั้งในลักษณะที่เป็นภาพ นิ่งสามมิติ ภาพเคลื่อนไหว หรืออาจจะเป็นสื่อที่มีเสียงประกอบ ขึ้นกับการออกแบบสื่อแต่ละรูปแบบว่าให้ออกมาแบบใด โดยกระบวนการภายในของเทคโนโลยีเสมือนจริง ประกอบด้วย 3 กระบวนการ ได้แก่



รูปที่ 2.27 หลักการของระบบสนับสนุนความจริงเสมือน

1) การวิเคราะห์ภาพ (Image Analysis) เป็นขั้นตอนการค้นหา Marker จากภาพที่ได้จากกล้อง แล้วสืบค้นจากฐานข้อมูล (Marker Database) ที่มีการเก็บข้อมูลขนาดและรูปแบบของ Marker เพื่อนำมาวิเคราะห์รูปแบบของ Marker การวิเคราะห์ภาพ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การวิเคราะห์ภาพโดยอาศัย Marker เป็นหลักในการทำงาน (Marker based AR) และการวิเคราะห์ภาพโดยใช้ลักษณะต่างๆ ที่อยู่ใน ภาพมาวิเคราะห์ (Marker-less based AR)

2) การคำนวณค่าตำแหน่งเชิง 3 มิติ (Pose Estimation) ของ Marker เทียบกับกล้อง

3) กระบวนการสร้างภาพสองมิติ จากโมเดลสามมิติ (3D Rendering) เป็นการเพิ่มข้อมูลเข้าไปในภาพ โดยใช้ค่าตำแหน่ง เชิง 3 มิติ ที่คำนวณได้จนได้ภาพเสมือนจริง

2.11.2 องค์ประกอบของระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (Augmented Reality) ประกอบด้วย

- 1) AR Code หรือตัว Marker ใช้ในการกำหนดตำแหน่งของวัตถุ
- 2) Eye หรือ กล้องวิดีโอ กล้องเว็บแคม กล้องโทรศัพท์มือถือ หรือ ตัวจับ Sensor อื่นๆ ใช่มองตำแหน่งของ AR Code แล้วส่งข้อมูลเข้า AR Engine
- 3) AR Engine เป็นตัวส่งข้อมูลที่สามารถอ่านได้ผ่านเข้าซอฟต์แวร์หรือส่วนประมวลผล เพื่อแสดงเป็นภาพต่อไป

4) Display หรือ จอแสดงผล เพื่อให้เห็นผลข้อมูลที่ AR Engine ส่งมาให้ในรูปแบบ ของภาพ หรือ วิดีโอหรืออีกวิธีหนึ่ง เราสามารถรวมกล้อง AR Engine และ จอภาพ เข้าด้วยกันในอุปกรณ์เดียว เช่น โทรศัพท์มือถือ หรืออื่นๆ

2.13 Vuforia

Vuforia คือ ซอฟต์แวร์แพลตฟอร์มสำหรับพัฒนาแอปพลิเคชันระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (Augmented Reality) โดยผู้ที่พัฒนาแอปพลิเคชันระบบสนับสนุนความจริงเสมือนสามารถเพิ่มฟังก์ชันการประมวลผลต่างๆลงในแอปพลิเคชันได้โดยง่าย เพื่อให้แอปพลิเคชันสามารถรับรู้ได้ถึงรูปภาพหรือวัตถุแล้วแสดงผลออกมาในโลกแห่งความเป็นจริงได้ แพลตฟอร์มVuforiaสนับสนุนการพัฒนาแอปพลิเคชันสนับสนุนความจริงเสมือนสำหรับอุปกรณ์ Android , IOS และ UWP



รูปที่ 2.28 Vuforia

2.13.1 Vuforia Target Manager เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการสร้างและจัดการฐานข้อมูลของ Image Targets ได้แบบออนไลน์โดยสามารถกำหนดการเข้าถึงการจัดการฐานข้อมูลได้ผ่าน license keys Vuforia สนับสนุนฐานข้อมูล 3 ประเภทสำหรับเก็บ Targets

1. Device Database เป็น local database ของ Image Targets หรือ Object Targets ซึ่งเก็บอยู่ในอุปกรณ์ของผู้ใช้
2. VuMark Database เป็น local database ของ VuMarks ซึ่งเก็บอยู่ในอุปกรณ์ของผู้ใช้
3. Cloud Database เป็นฐานข้อมูลของ Image Targets ที่เก็บไว้แบบออนไลน์

2.13.2 Image Targets คือรูปภาพที่ Vuforia SDK ใช้ตรวจจับและติดตามโดยที่รูปภาพนี้จะต่างเครื่องหมายแบบดั้งเดิมคือไม่จำเป็นต้องอยู่ในรูปแบบรหัสข้อมูลหรือ QR Code แต่จะใช้เป็นรูปภาพใดก็ได้ SDK จะตรวจจับรูปภาพนั้นเปรียบเทียบกับรูปภาพในฐานข้อมูลเมื่อตรวจพบ Image Targets แล้ว SDK จะทำการติดตามภาพนั้นตรงเท่าที่ยังมีส่วนของภาพอยู่ในมุมมองของกล้องอย่างน้อยหนึ่งส่วน

2.14 Unity

Unity คือ เครื่องมือที่ใช้สร้างเกมหรือที่เรียกว่า Game Engine ซึ่งใช้สร้างเกม 3 มิติ หรือเกมส์ 2 มิติ โปรแกรม Unity สามารถทำงานได้บน 2 แพลตฟอร์มคือ Window และ OSX และสามารถ Export งานเพื่อนำไปใช้ได้หลายแพลตฟอร์มเช่น Window, OSX, Android, IOS เป็นต้น

Unity จะมองทุกอย่างเป็น GameObject ไม่ว่าจะ เป็นต้นไม้ ก้อนหิน หรือสัตว์ โดยที่ GameObject จะทำงานร่วมกับ Component ซึ่งจะทำให้ GameObject สามารถเคลื่อนไหวหรือเปล่งเสียงได้



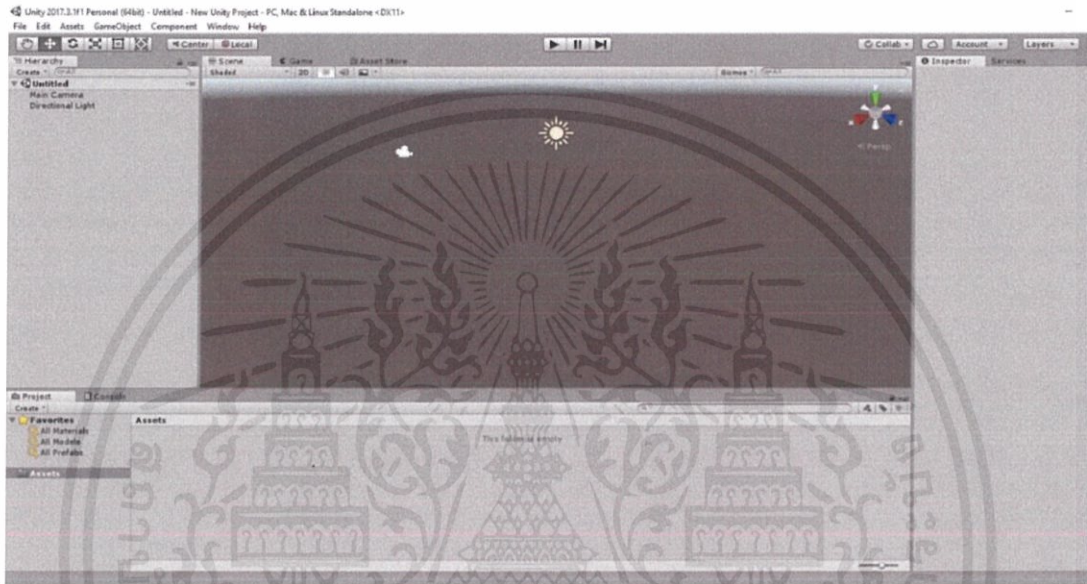
รูปที่ 2.29 Unity

2.14.1 ส่วนประกอบของ Unity

1. GameObject คือวัตถุต่างๆที่อยู่ในเกมส์ เช่น รถ, สัตว์, คน, บ้าน, ก้อนหิน เป็นต้น
2. Component คือคุณลักษณะหรือความสามารถต่างๆ ของ Object เช่น การเคลื่อนไหว, การส่งเสียง เป็นต้น
3. Asset คือ คุณลักษณะภายนอกที่เสริมการทำงานของ Component

4. Scene คือ ฉากแต่ละฉากซึ่งประกอบด้วย Game Object หลากๆ ตั้รวมกัน

2.14.2 ส่วนประกอบของโปรแกรม Unity



รูปที่ 2.30 โปรแกรม Unity

1. Project เป็นส่วนที่ใช้ในการเก็บทรัพยากร ต่างๆก่อนนำไปสร้างเกม เช่น - สคริปต์ต่างๆ ที่ใช้กำหนดควบคุมตัวเกม - 3D โมเดล ใช้เป็นตัวละครหรือวัตถุต่างๆ ในเกม - Textures หรือ พื้นผิวต่างๆ - ไฟล์เสียง หรือวิดีโอ - Prefabs - อื่นๆ
2. Hierarchy คือส่วนที่บอกลำดับชั้น ของ Object ต่างๆ ที่อยู่ใน Scene นั้นๆซึ่งมีทั้ง Object แบบเดี่ยว และ Object ที่เป็นแม่ลูกกัน ซึ่ง เมื่อมีการจัดการอะไรบางอย่างกับ Object แม่ Object ที่เป็นลูกนั้นก็จะมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย การสร้าง Object มีวิธีการคือลาก Object ต่างๆ ที่อยู่ใน Project มาใส่ไว้ในส่วนของ Hierarchy หลังจาก นั้นจะปรากฏวัตถุที่ลากจาก Project มาวางบน Hierarchy ปรากฏขึ้นบน Scene ซึ่ง Object ต่างๆ เหล่านี้ สามารถเพิ่ม/แก้ไข/ลบ ได้โดยไม่ กระทบกับ Object ที่อยู่ใน Project

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Scene เป็นส่วนที่บ่งบอกว่าในฉากที่กำลังทำงาน มี Object อะไรบ้าง สามารถจัดการ Object ต่างๆ เช่น กล้อง แสง เอฟเฟค หรือโมเดล 3 มิติ ได้จากส่วนนี้

4. Game คือส่วนที่แสดงการทำงานของเกมใน Scene ทำให้มองเห็นภาพ เหตุการณ์ และ การทำงาน ของ วัตถุ ต่างๆ ภายใน Scene ที่สร้างขึ้น

5. Inspector เป็นส่วนที่บ่งบอกถึงคุณสมบัติต่างๆ ของ Object ซึ่งสามารถจัดการคุณสมบัติ ต่างๆ ของ Object ได้ในกรอบของ Inspector

โดยที่โปรแกรม Unity สามารถใช้งานร่วมกับ Vuforia ในการสร้างแอปพลิเคชันระบบสนับสนุน ความจริงเสมือน (AR) ได้



บทที่ 3

การออกแบบและการสร้างอุปกรณ์

3.1 การทดลองศึกษาระยะโพรบเซ็นเซอร์

การทดลองศึกษาระยะโพรบเซ็นเซอร์เป็นการทดลองเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบระยะโพรบเซ็นเซอร์ให้สามารถวัดค่ากระแสได้ละเอียดมากที่สุดและยังทำให้รู้ถึงการกระจายตัวของกระแสรั่วไหลในน้ำอีกด้วยซึ่งจำเป็นต้องมีการออกแบบการทดลองเพื่อเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าที่รั่วไหลในน้ำที่ตำแหน่งต่างๆ จากนั้นทำการวัดแรงดันที่ระยะโพรบเซ็นเซอร์ค่าต่าง



รูปที่ 3.1 การทดลองจริง (มุมมองข้าง)

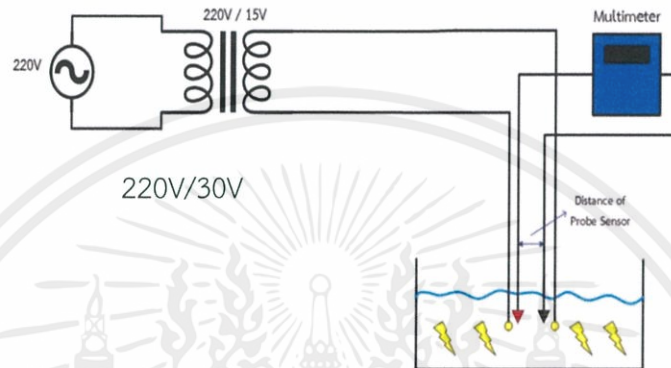


รูปที่ 3.2 การทดลองจริง (มุมมองบน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 การทดลองหาการกระจายแรงดันเมื่อมีไฟฟ้ารั่วไหลในน้ำท่วม

จะทำการทดลองโดยปล่อยแหล่งจ่ายไฟฟ้า 30 V ลงในน้ำประปา โดยมีระยะไฟรั่วคือ 6.5cm จากนั้นวัดหาการกระจายแรงดันที่จุดต่างๆโดยการปรับระยะโพรบของมัลติมิเตอร์ ดังรูปที่3.3

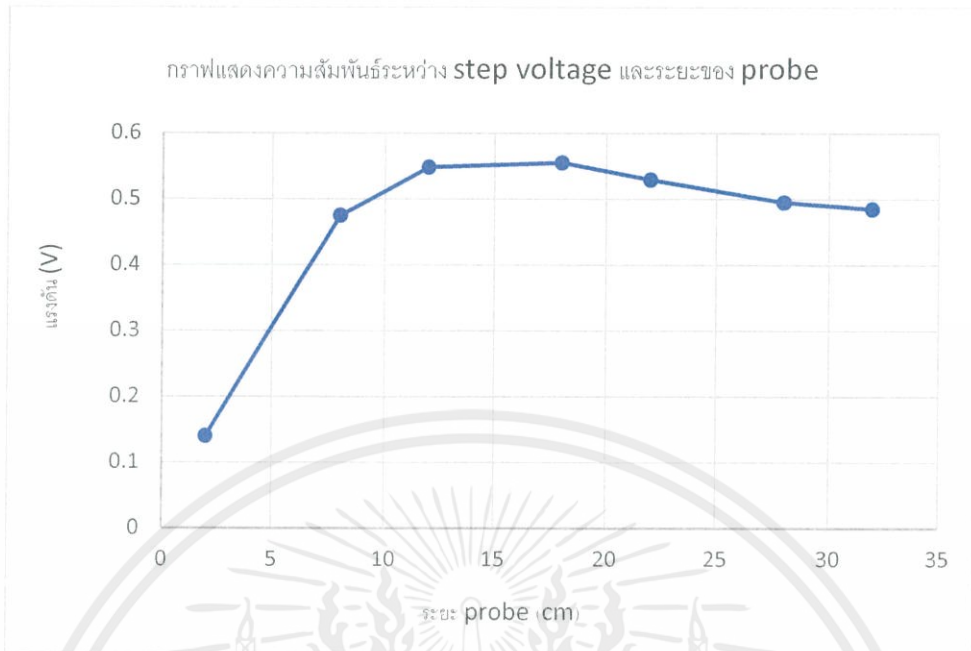


รูปที่ 3.3 การออกแบบการวัดไฟรั่ว

ตารางที่ 3.1 ผลการทดลองกรณีแหล่งจ่ายแรงดันอยู่ชิดกัน

Distance of Probe Sensor (cm)	Voltage (V)
2	0.14
8	0.475
12	0.548
18	0.555
22	0.529
28	0.495
32	0.485

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



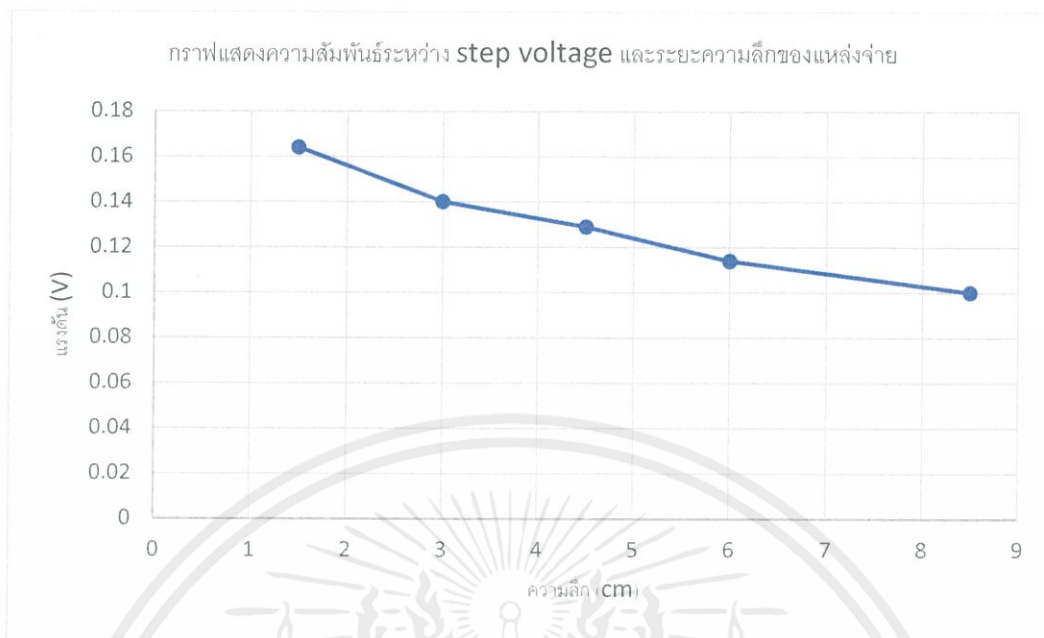
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง step voltage และระยะของ probe

จากการทดลองข้างต้นพบว่าในช่วงแรกที่ระยะโพรบน้อยๆค่าแรงดันที่ได้จะมีค่าน้อย มีเพิ่มระยะโพรบขึ้นค่าแรงดันที่ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย สังเกตได้จากกราฟ

ตารางที่ 3.2 ทำการทดลองดั้งเดิมโดยให้ระยะโพรบคงที่ ทำการปรับความลึกโพรบและบันทึกค่า

Depth of Probe Sensor (cm)	Voltage (V)
1.5	0.164
3	0.14
4.5	0.129
6	0.114
8.5	0.1

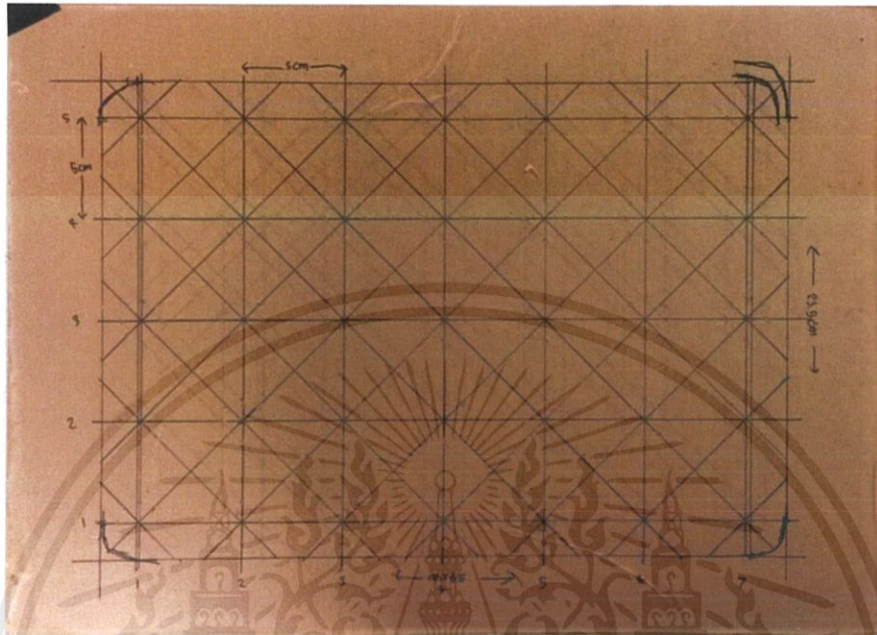
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง step voltage และระยะความลึกของแหล่งจ่าย

จากกราฟจะสังเกตเห็นว่า ตำแหน่งของไฟรั่วเมื่ออยู่ลึกจากผิวน้ำมากขึ้น ค่าแรงดันที่อ่านได้มีค่าน้อยลง ดังนั้น เพื่อที่จะอ่านค่าแรงดันได้สูงขึ้น ควรออกแบบการทดลองที่ ระยะความลึกของไฟรั่ว \leq ระยะความลึกโพรบ เพื่อลดความผิดพลาด จากการวัดค่าแรงดันที่มีค่าน้อยๆ

3.1.2 ทดลองหาขนาดแรงดันไฟฟ้ารั่วที่ทิศต่างๆโดยการตีกริดเพื่อกำหนดจุดในการวัด



ความลึกไฟรั่ว	3 cm
ระยะห่างไฟรั่ว	6.5 cm
น้ำสูง	16 cm
โพรพห่างกัน	2 cm
โพรพลีกจากผิวน้ำ	3 cm

รูปที่ 3.6 การกำหนดจุดที่ใช้ในการวัด และค่าปรับตั้งในการทดลอง

โดยการทดลอง ได้ออกแบบอุปกรณ์ในลักษณะ Grid โดยแบ่งเป็น 5 แถว แถวละ 7 จุด รวม 35 จุด ในแต่ละจุดเจาะรู ตามมุมของการวางโพรบ เป็น มุม 45° 90° และ 135° เพื่อศึกษาการกระจายตัวของแรงดันในน้ำ โดยปรับค่าปรับตั้ง ตามรูปที่ 3.6

ตารางที่ 3.3 ค่าแรงดันตามการปรับตำแหน่ง และมุมของโพรบ

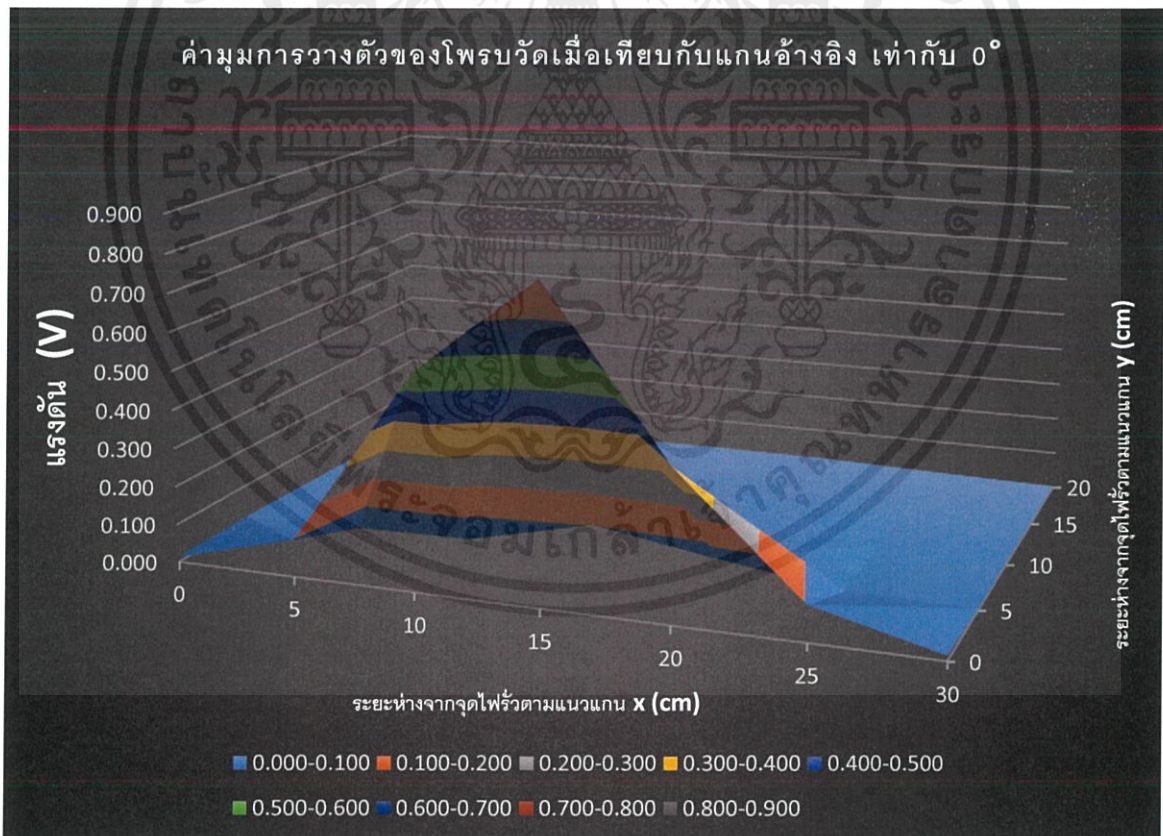
มุม 0		ยาว (cm)							V
		0	5	10	15	20	25	30	
กว้าง (cm)	0	0.013	0.097	0.552	0.809	0.389	0.093	0.013	
	5	0.014	0.019	0.027	0.102	0.052	0.007	0.003	
	10	0.007	0.005	0.026	0.044	0.030	0.013	0.004	
	15	0.002	0.009	0.019	0.024	0.021	0.012	0.004	
	20	0.002	0.009	0.016	0.018	0.016	0.009	0.002	

มุม 45		ยาว (cm)							V
		0	5	10	15	20	25	30	
กว้าง (cm)	0	0.005	0.047	0.137	0.970	1.215	0.121	0.023	
	5	0.027	0.033	0.137	0.146	0.060	0.059	0.032	
	10	0.024	0.038	0.054	0.047	0.016	0.028	0.026	
	15	0.021	0.028	0.030	0.024	0.013	0.007	0.013	
	20	0.013	0.017	0.021	0.024	0.017	0.013	0.009	

มุม 90		ยาว (cm)							V
		0	5	10	15	20	25	30	
กว้าง (cm)	0	0.026	0.035	0.725	0.090	0.734	0.061	0.019	
	5	0.034	0.059	0.122	0.024	0.107	0.060	0.031	
	10	0.028	0.038	0.039	0.014	0.031	0.032	0.030	
	15	0.020	0.020	0.020	0.014	0.013	0.019	0.017	
	20	0.011	0.017	0.017	0.016	0.014	0.015	0.014	

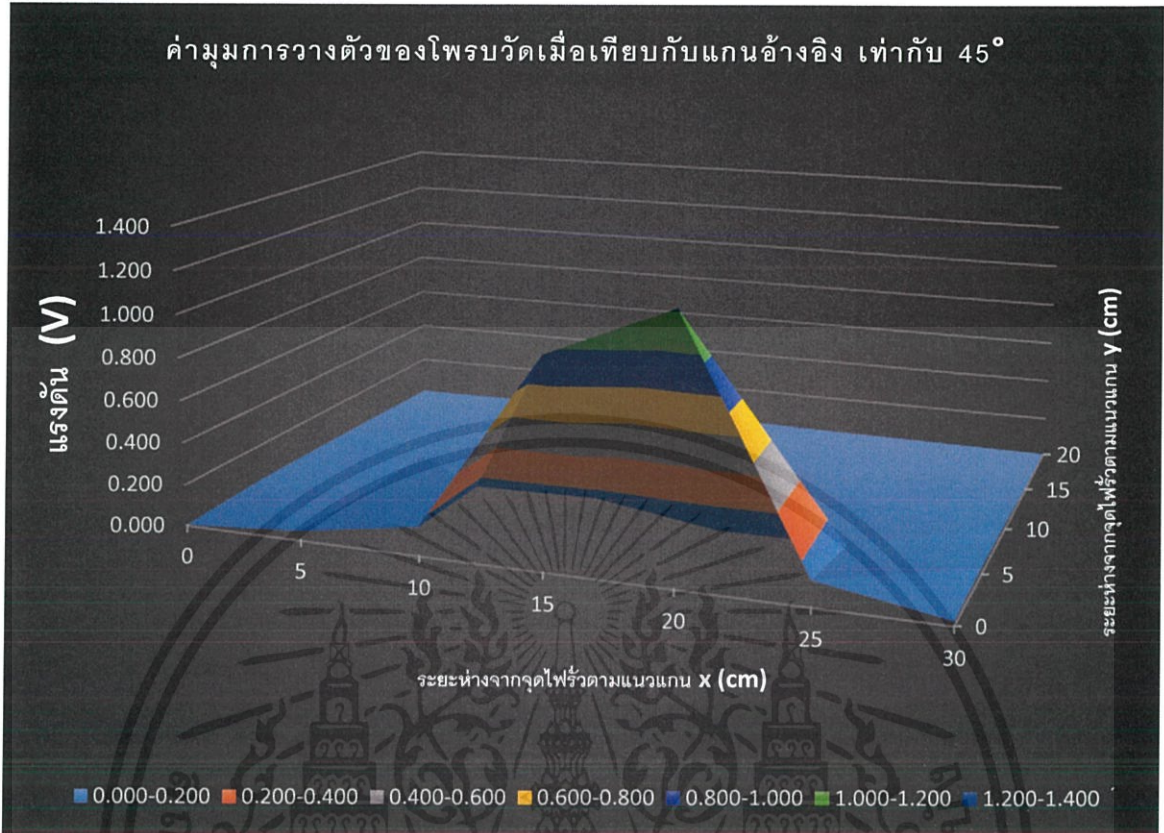
มุม 135		ยาว (cm)							V
		0	5	10	15	20	25	30	
กว้าง (cm)	0	0.034	0.167	1.199	0.813	0.134	0.034	0.013	
	5	0.034	0.083	0.043	0.106	0.102	0.029	0.024	
	10	0.020	0.019	0.008	0.040	0.044	0.032	0.025	
	15	0.013	0.007	0.011	0.018	0.022	0.025	0.017	
	20	0.008	0.010	0.014	0.017	0.016	0.013	0.005	

นำค่าที่ได้มาพล็อตกราฟใน Excel

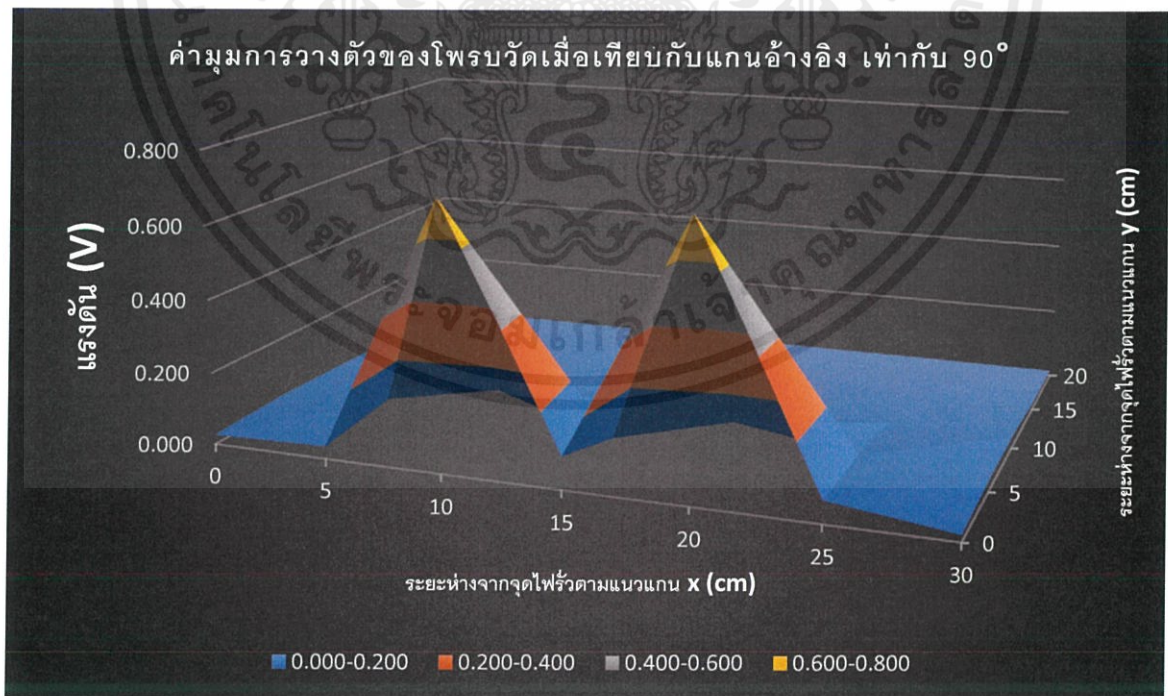


รูปที่ 3.7 กราฟแสดงแรงดันที่ตำแหน่งต่างๆ โดยมุมของโพรบ 0°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

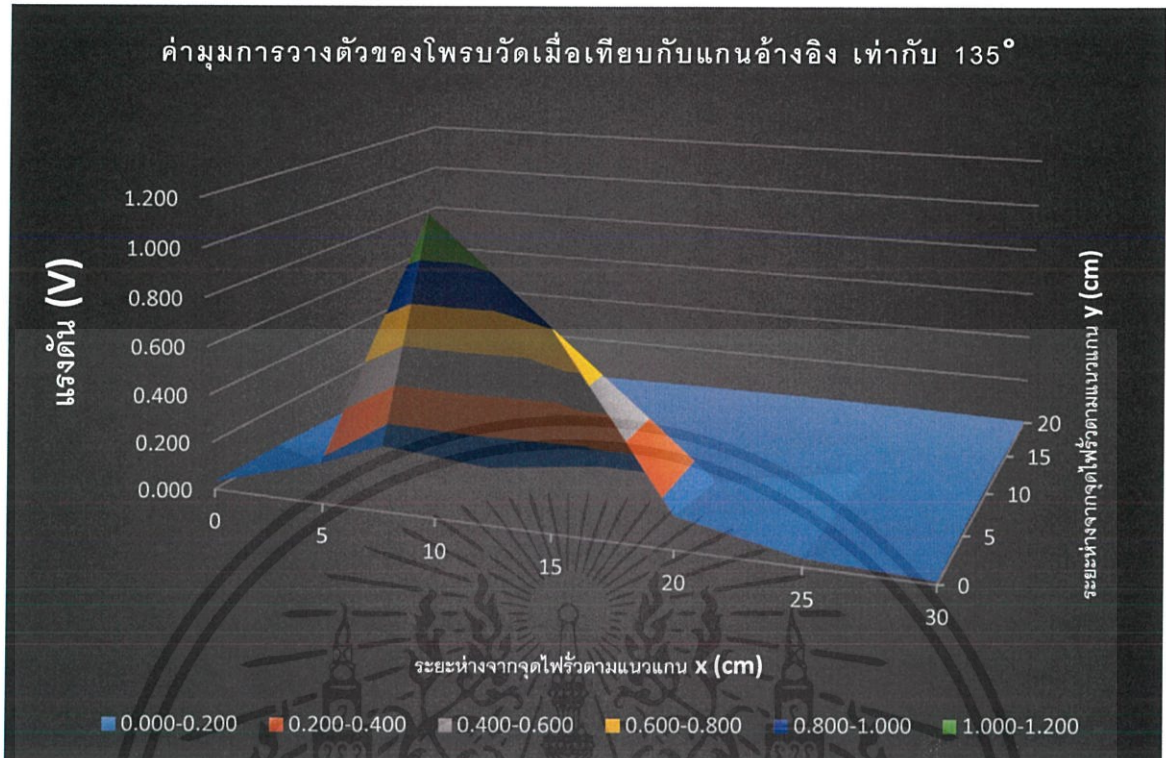


รูปที่ 3.8 กราฟแสดงแรงดันที่ตำแหน่งต่างๆ โดยมุมของโพรบ 45°



รูปที่ 3.9 กราฟแสดงแรงดันที่ตำแหน่งต่างๆ โดยมุมของโพรบ 90°

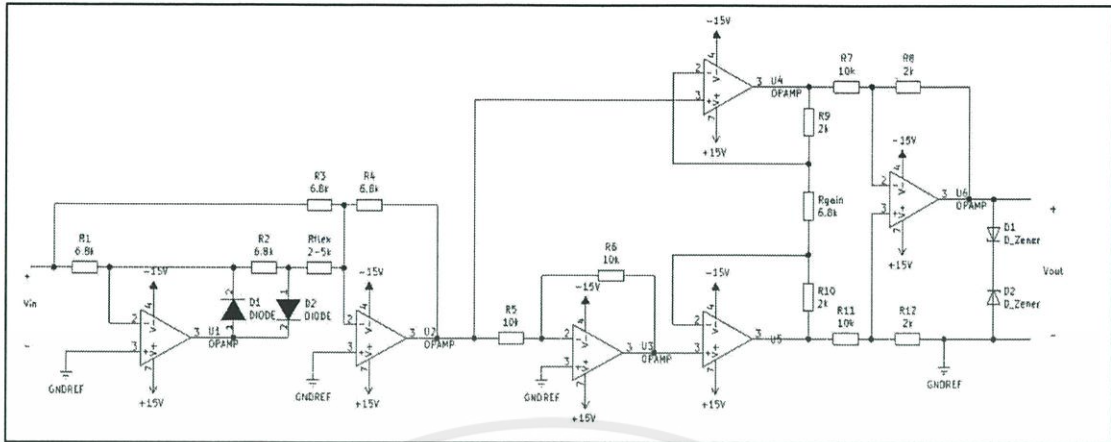
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 กราฟแสดงแรงดันที่ตำแหน่งต่างๆ โดยมุมของโพรบ 135°

3.2 การออกแบบวงจรตรวจจับไฟฟ้ารั่วไหลในน้ำ

การออกแบบวงจรเพื่อตรวจจับไฟฟ้ารั่วไหลในน้ำดังรูปที่ 3.5 โดยทางผู้วิจัยได้เลือกใช้วงจร Precision Full Wave Rectifier เพื่อแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้า เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อง่ายต่อการนำไปเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ และ เนื่องจากการวัดค่า Step Voltage ที่ระดับแรงดันน้อยๆนั้น อาจจะไม่เห็นค่าเนื่องจากแรงดันตกคร่อมที่ตัวไดโอด Precision Full Wave Rectifier สามารถแก้ปัญหาเรื่องแรงดันตกคร่อม จากนั้นเชื่อมต่อกับวงจร Instrumentation Amplifier เพื่อปรับค่าอัตราขยาย และใช้ตัดสัญญาณรบกวนได้ นอกจากนี้ยังมีวงจร Clipper ทำหน้าที่จำกัดแรงดันไม่ให้เกินที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรับได้



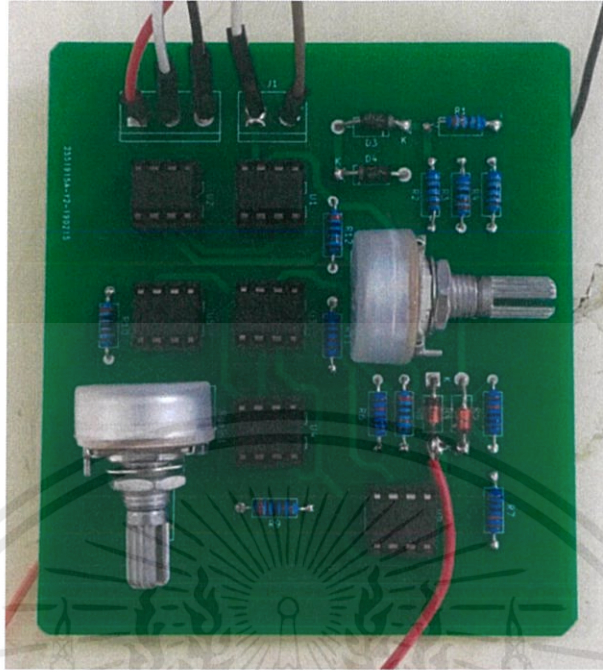
รูปที่ 3.11 Circuit Diagram

ส่วนประกอบของวงจร Precision Rectifier

1. Resistor $6.8\text{ k}\Omega$ 4 ตัว ทำหน้าที่จำกัดกระแส และสร้างอัตราขยายของวงจร
2. Resistor ปรับค่าได้ 2ตัว ทำหน้าที่ปรับอัตราขยายของวงจร และรูปคลื่นของ full-wave rectifier
3. Op-Amp UA741 2ตัว ทำหน้าที่รวม และขยายสัญญาณในวงจร
4. ไดโอด 1N4148 จำนวน 2 ตัว ทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากกระแสไฟฟ้าสลับเป็นกระแสตรง

ส่วนประกอบของวงจร Instrumentation Amplifier

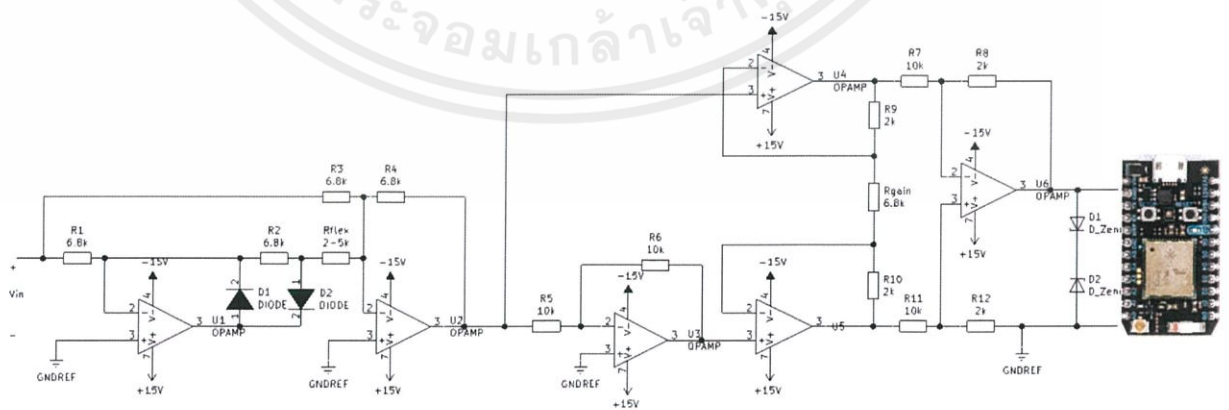
- 1 Resistor $10\text{ k}\Omega$ 2 ตัว สำหรับสร้างวงจร Inverting Amplifier กับ 3 ตัวใช้สร้างวงจร In-Amp
- 2 Resistor $2\text{ k}\Omega$ 4 ตัว ทำหน้าที่จำกัดกระแส และสร้างอัตราขยายของวงจร
3. Op-Amp UA741 1ตัว สำหรับ วงจร Inverting Amplifier และ 3 ตัวสำหรับวงจร In-Amp
4. Zener Diode 1N4728A 3.3 V จำนวน 2 ตัว ทำหน้าที่จำกัดแรงดันไม่ให้เกิน 5 V



รูปที่ 3.12 อุปกรณ์เซนเซอร์

3.3 การส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูลคลาวด์

การส่งข้อมูลที่วัดได้จากวงจรวัดไฟฟ้ารั่วไหลในน้ำไปยังฐานข้อมูลคลาวด์โดยใช้เทคโนโลยี Internet of Thing (IoT) คือการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตโดยใช้ Particle Photon ซึ่งเป็น Wi-Fi Module สำหรับการทำให้ IoT ทำให้สามารถส่งข้อมูลที่วัดได้ไปเก็บไว้ที่ฐานข้อมูลของ Particle Cloud โดยการต่อแรงดันทางด้านขาออกเข้ากับขา Analog Input (A0) ของ Photon และแรงดันทางด้านลบเข้ากับกราวด์ของ Photon



รูปที่ 3.13 การเชื่อมต่ออุปกรณ์เซนเซอร์เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขียนโค้ดบน Particle Web IDE โดยใช้คำสั่ง Particle.variable() ซึ่งเป็นคำสั่งที่ใช้ส่งข้อมูลไปยังคลาวด์

```

lotsensor.ino
1 #include "math.h"
2 int analogPin A8;
3 double VoltageInput, VoltSum, VoltageMicro, VoltageCalibrated, DistanceInput;
4 void setup() {
5   pinMode(analogPin, INPUT); //setup pin A8 as INPUT
6
7   Particle.variable("Voltage", VoltageCalibrated); //send value VoltageCalibrated to server as Voltage
8   Particle.variable("Distance", DistanceInput); //send value DistanceInput to server as Distance
9
10 }
11
12 void loop() {
13   for (int i=1; i<=50; i++)
14   {
15     VoltageInput = analogRead(analogPin)*0.000805664; //receive digital value from analog pin A8 and calibrate its to real voltage
16     VoltSum+=(VoltageInput*VoltageInput); //Use root mean square to average the voltage
17     delayMicroseconds(290);
18   }
19   VoltageMicro=sqrt(VoltSum/50); //Voltage read from micro
20   VoltageCalibrated (0.1684*pow(VoltageMicro, 2))-(0.3945*VoltageMicro)+0.3626; //calibrated voltage
21   DistanceInput=48.019*pow(2.7182818, -5.594*VoltageCalibrated); //estimated distance
22   VoltSum=0; //reset voltage summation = 0 to prepare next measurement
23   delay(10);
24
25 }

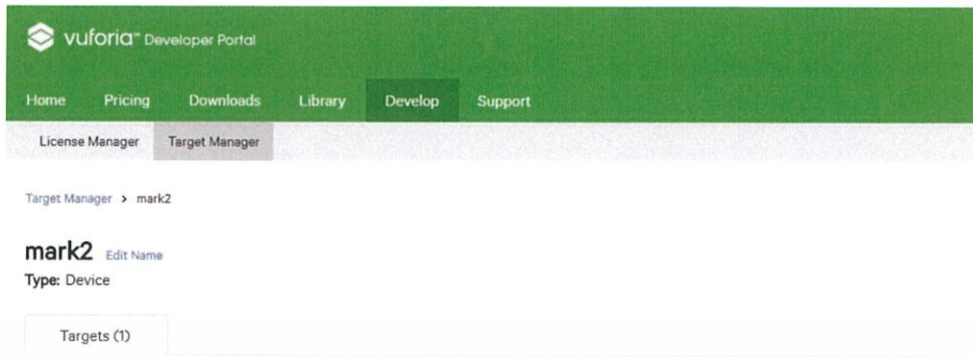
```

รูปที่ 3.14 โค้ดในการส่งข้อมูลขึ้นคลาวด์

3.4 การเขียนแอปพลิเคชัน AR

ในการเขียนแอปพลิเคชัน AR ทางผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม Unity ร่วมกับ Vuforia เนื่องจาก Vuforia เป็น AR SDK ที่ใช้งานร่วมกับ Unity ได้ดีที่สุดและใช้งานง่ายและสามารถเขียนแอปพลิเคชันได้หลายแพลตฟอร์มเช่น Android, IOS เป็นต้น

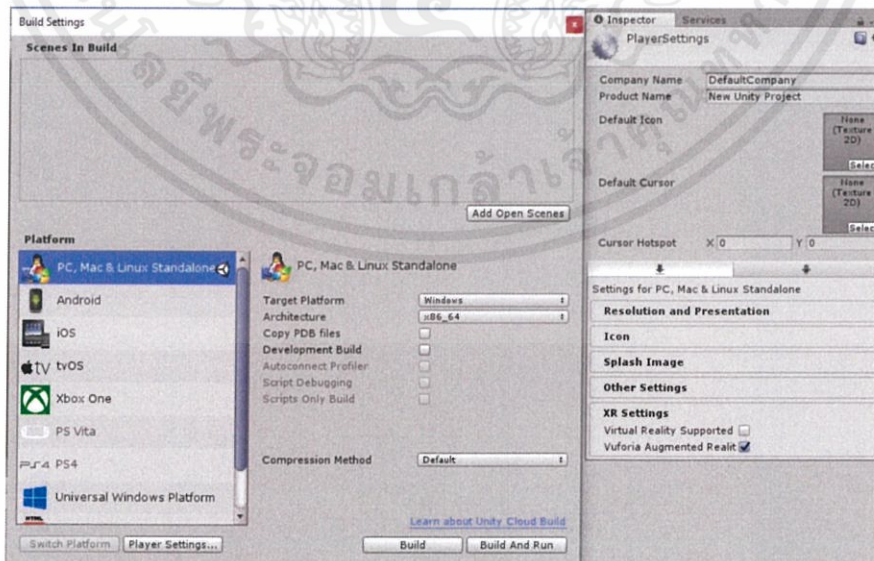
3.4.1 สร้าง Image Targets การสร้าง Image Targets เพื่อใช้เป็น Marker สำหรับแอปพลิเคชัน AR โดยการเข้าไปที่ส่วน Develop บนเว็บไซต์ Vuforia จากนั้นเข้าไปที่ Target Manager เพื่อทำการสร้างฐานข้อมูล Image Targets



รูปที่ 3.15 การสร้าง Image Targets

3.4.2 เขียนแอปพลิเคชัน AR บนโปรแกรม Unity

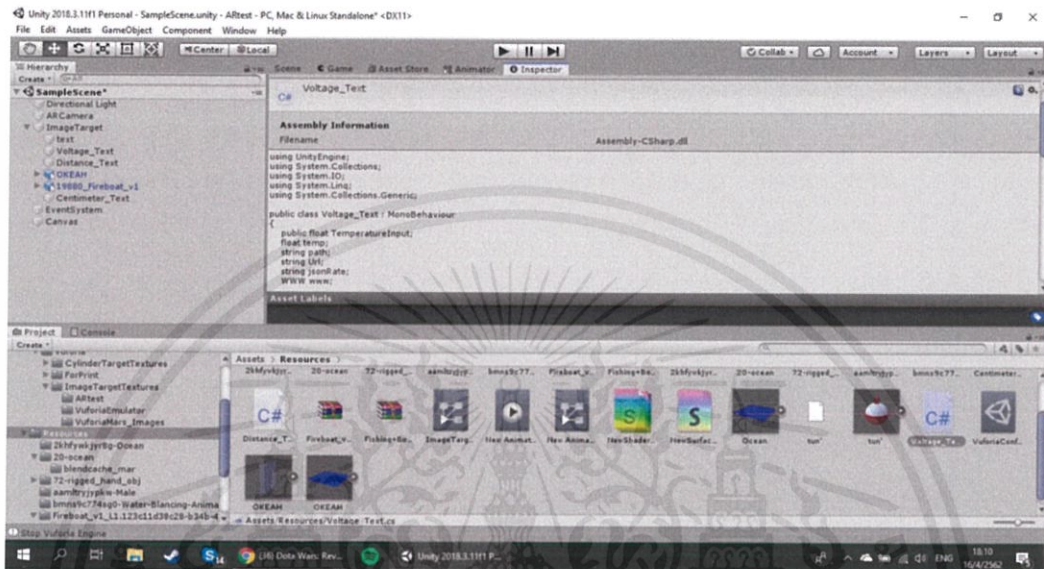
1.เปิดใช้ Vuforia บน Unity โดยการคลิกที่ File>Build Settings>Player Settings>XR Setting เลือก Vuforia Augmented Reality จะเป็นการ Import Vuforia AR SDK ลงใน project



รูปที่ 3.16 Import vuforia to unity project

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เขียน Script คำสั่งรับค่าจากฐานข้อมูลคลาวด์โดยใช้ฟังก์ชัน JSONUtility จากนั้น Add Component ไปที่ Text Voltage และ Distance



รูปที่ 3.19 Script Text

โค้ดสำหรับรับค่าแรงดัน

```
using UnityEngine;
using System.Collections;
using System.IO;
using System.Linq;
using System.Collections.Generic;
```

```
public class Voltage_Text : MonoBehaviour
{
    public float TemperatureInput;
    float temp;
    string path;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
string Url;
string jsonRate;
WWW www;
```

```
void Start() // Use this for initialization
```

```
{
```

```
}
```

```
IEnumerator WaitForRequest(WWW www)
```

```
{
```

```
yield return www;
```

```
// check for errors
```

```
if (www.error == null)
```

```
{
```

```
string work = www.text;
```

```
_Particle fields = JsonUtility.FromJson<_Particle>(work);
```

```
string jsonRate = fields.result;
```

```
temp = float.Parse(jsonRate);
```

```
//TemperatureInput = Mathf.FloorToInt(temp);
```

```
TemperatureInput = temp;
```

```
//Debug.Log (TemperatureInput);
```

```
} else {
```

```
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}

```

```
// Update is called once per frame

```

```
void Update()

```

```
{

```

```
    //heartrate = GameBeat.GetComponent<IoT>().heartrate;

```

```
    string url =

```

```
"https://api.particle.io/v1/devices/1e0026001347333438373338/Voltage?access_token=9b3087be64c1385647dedb869452dd1ca525910d";

```

```
    www = new WWW(url);

```

```
    StartCoroutine(WaitForRequest(www));

```

```
    GetComponent<TextMesh>().text = TemperatureInput.ToString("f2");

```

```
    if (TemperatureInput <= 2.6)

```

```
    {

```

```
        GetComponent<TextMesh>().color = Color.green;

```

```
    }

```

```
    else

```

```
    {

```

```
        GetComponent<TextMesh>().color = Color.red;

```

```
    }

```

```
}

```

```
[System.Serializable]

```

```
public class _Particle{

```

```
    public string name;

```

```
    public string result;

```

```

}
}

```

โค้ดสำหรับรับค่าระยะทาง

```

using UnityEngine;
using System.Collections;
using System.IO;
using System.Linq;
using System.Collections.Generic;

public class Distance_Text : MonoBehaviour
{
    public float TemperatureInput;
    float temp;
    string path;
    string Url;
    string jsonRate;
    WWW www;

    void Start() // Use this for initialization
    {

    }

    IEnumerator WaitForRequest(WWW www)
    {
        yield return www;
    }
}

```

```

// check for errors
if (www.error == null)
{
    string work = www.text;
    _Particle fields = JsonUtility.FromJson<_Particle>(work);
    string jsonRate = fields.result;

    temp = float.Parse (jsonRate);
    //TemperatureInput = Mathf.FloorToInt(temp);
    TemperatureInput = temp;

    //Debug.Log (TemperatureInput);
} else {
}
}

// Update is called once per frame
void Update()
{
    //heartrate = GameBeat.GetComponent<IoT>().heartrate;
    string url =
"https://api.particle.io/v1/devices/1e0026001347333438373338/Distance?access_token=9
b3087be64c1385647dedb869452dd1ca525910d";
    www = new WWW(url);
    StartCoroutine(WaitForRequest(www));
    GetComponent<TextMesh>().color = Color.yellow;
    GetComponent<TextMesh>().text = TemperatureInput.ToString("f2");
    if (TemperatureInput >= 5.1243)
    {
        GetComponent<TextMesh>().text = "where am I?";
    }
}

```

```
GetComponent<TextMesh>().color = Color.red;  
    }  
}
```

```
[System.Serializable]  
public class _Particle{  
    public string name;  
    public string result;  
}  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและผลจำลองทางคอมพิวเตอร์

4.1 บทนำ

จากการออกแบบวงจรตรวจจับไฟฟ้ารั่ว เมื่อนำไปใช้งาน วงจรจะแปลงค่าแรงดันกระแสสลับ เป็นแรงดันกระแสตรง โดยค่าที่วัดได้ จะตัดสัญญาณรบกวนจากตัว Rectifier และสัญญาณรบกวนในน้ำ ทั้งนี้ ปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลทำให้ค่าที่วัดได้แตกต่างกัน มีหลายปัจจัย เช่น ระยะความกว้างโพรบ ความลึกของแหล่งจ่าย ชนิดและปริมาณของน้ำ ขนาดของแหล่งจ่าย โดยปัจจัยต่างๆ ทำให้ต้องกำหนดสถานะต่างๆ เหล่านี้ให้คงที่ โดยจะใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 30V เป็นจุดกำเนิดไฟฟ้ารั่ว และอื่นๆ ดังรูป

ความลึกไฟรั่ว	3 cm
ระยะห่างไฟรั่ว	6.5 cm
น้ำสูง	16 cm
โพรบห่างกัน	2 cm
โพรบลึกจากผิวน้ำ	3 cm

รูปที่ 4.1 การกำหนดค่าต่างๆในการทดลอง

4.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบแรงดันขาเข้า และแรงดันขาออกของวงจร

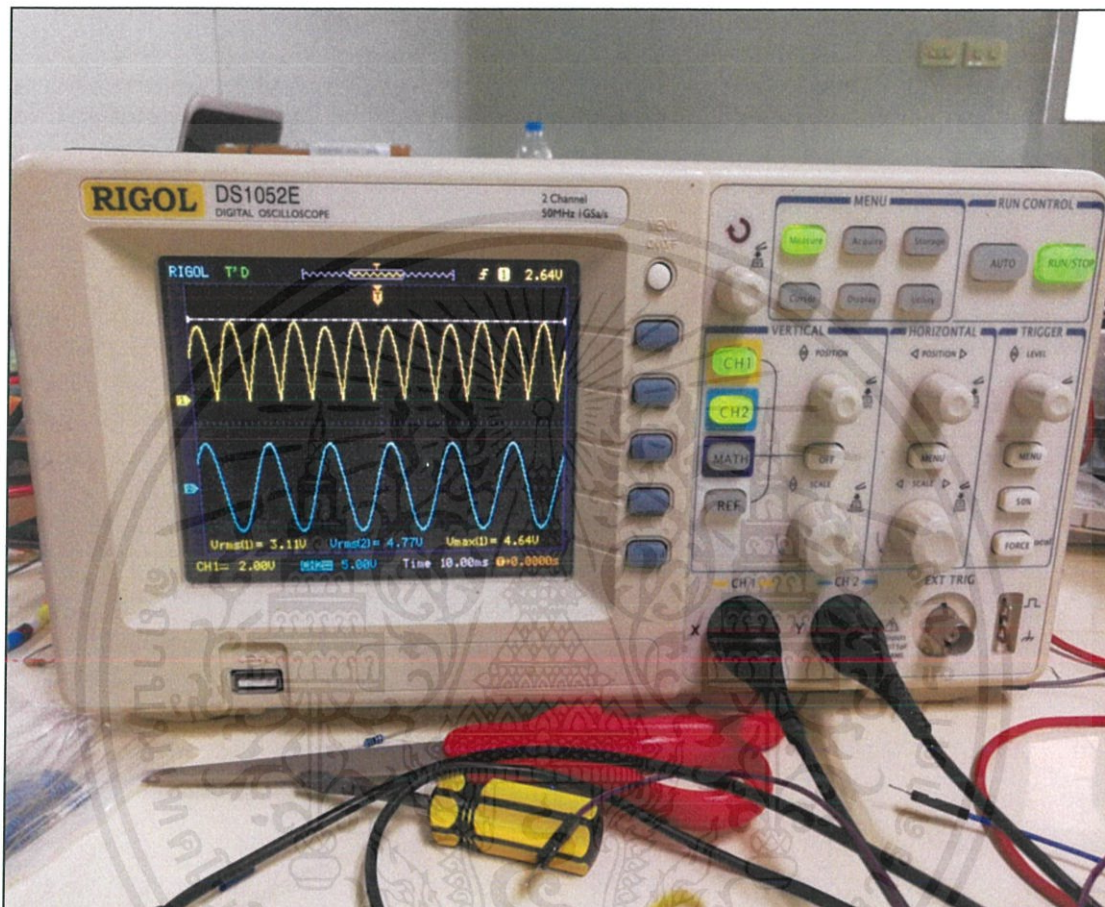
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบแรงดันขาเข้า และแรงดันขาออกของวงจร

V_{in} (rms) (V)	$V_{outscope}$ (rms) (V)	$V_{arduino}$ (rms) (V)	$V_{arduino}$ (max) (V)	Gain
0.103	0.0657	0.05	0.09	0.485437
0.199	0.125	0.12	0.18	0.603015
0.307	0.152	0.14	0.21	0.456026

0.407	0.198	0.18	0.28	0.44226
0.497	0.263	0.24	0.37	0.482897
0.607	0.3	0.29	0.42	0.477759
0.704	0.339	0.34	0.48	0.482955
0.8	0.386	0.38	0.56	0.475
0.901	0.437	0.43	0.62	0.477248
1	0.52	0.49	0.82	0.49
1.25	0.71	0.69	1.1	0.552
1.5	0.906	0.86	1.36	0.573333
1.75	1.25	1.23	1.96	0.702857
2	1.48	1.45	2.3	0.725
2.25	1.67	1.63	2.6	0.724444
2.5	1.86	1.84	2.92	0.736
2.75	2.05	2	3.2	0.727273
3	2	2.15	3.28	0.716667
3.25	2.16	2.17	3.36	0.667692
3.5	2.34	2.38	3.68	0.68
3.75	2.51	2.53	3.92	0.674667
4	2.69	2.72	4.24	0.68
4.25	2.87	2.92	4.48	0.687059
4.5	3.06	3.11	4.56	0.691111
4.75	3.2	3.25	4.8	0.684211
5	3.36	3.4	5.12	0.68
5.25	3.81	3.72	5.4	0.708571
5.5	3.93	3.8	5.4	0.690909
5.75	4.03	3.84	5.4	0.667826
6	4.17	3.96	5.6	0.66
6.25	4.23	4.01	5.6	0.6416

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

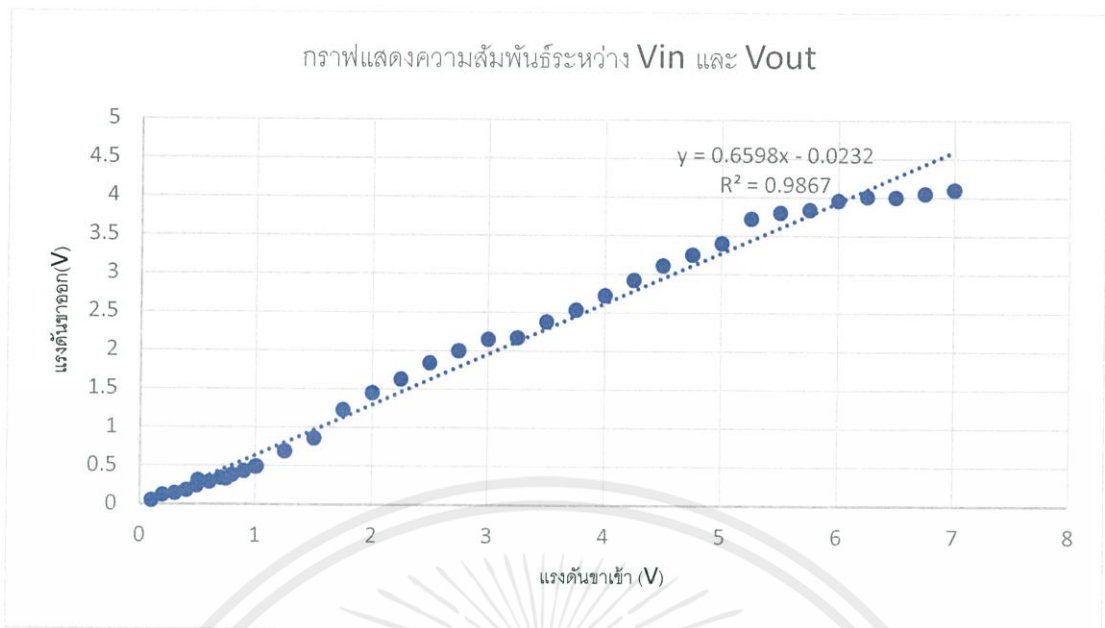
6.5	4.28	4	5.4	0.615385
6.75	4.34	4.05	5.4	0.6
7	4.39	4.1	5.4	0.585714



รูปที่ 4.2 รูปคลื่นแรงดันอินพุต Ch.2 เทียบแรงดันเอาต์พุต Ch.1

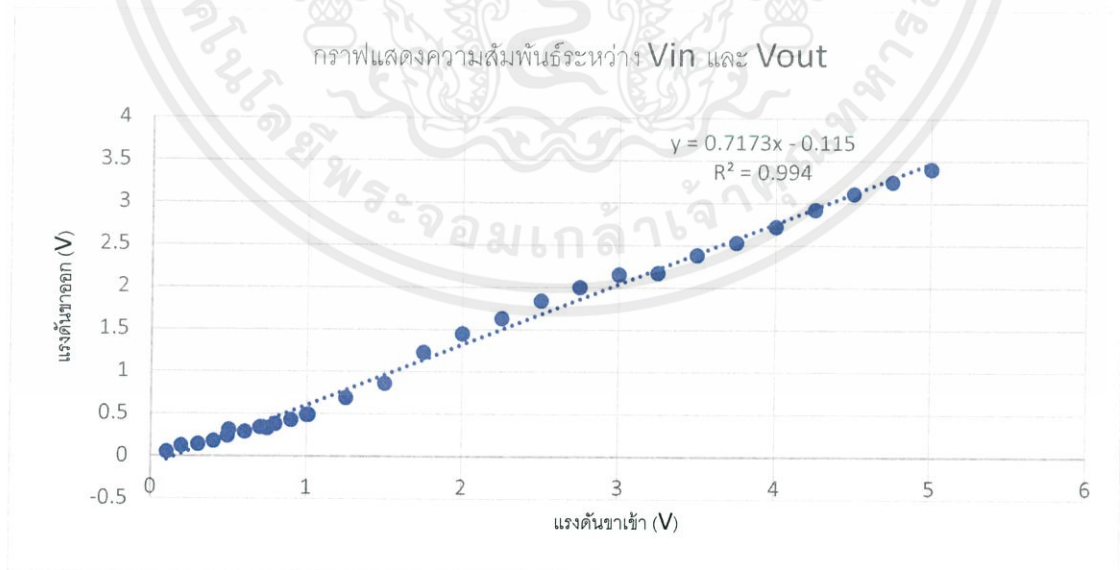
จากการใช้งานพบว่า วงจรที่ออกแบบวัดค่าแรงดัน ได้อยู่ในช่วง 0.1-5 V ไม่เป็นอันตรายต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ และค่า Gain ของวงจรจะแบ่งออกเป็น ช่วงแรงดัน 0.1-1.5 V ค่า Gain ประมาณ 0.48 เท่า และช่วง 1.5-5 V ค่า Gain ประมาณ 0.70 เท่า และช่วงที่ Zener Diode ทำงาน 5.25 - 7 V ค่า Gain จะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อนำค่าที่ได้ไปพล็อตกราฟจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Vin และ Vout

จากกราฟจะเห็นว่า ค่า Gain โดยเฉลี่ย จะอยู่ที่ 0.6598 ซึ่งจะเห็นว่า มีบางช่วงแรงดันที่มีค่าห่างออกไปจากการประมาณเชิงเส้นเนื่องจากซีเนอร์ไดโอด ดังนั้น เมื่อตัดข้อมูลส่วนนั้นออกไป จะได้กราฟดังรูป



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Vin และ Vout เมื่อตัดช่วงที่ซีเนอร์ไดโอดทำงานออกไป

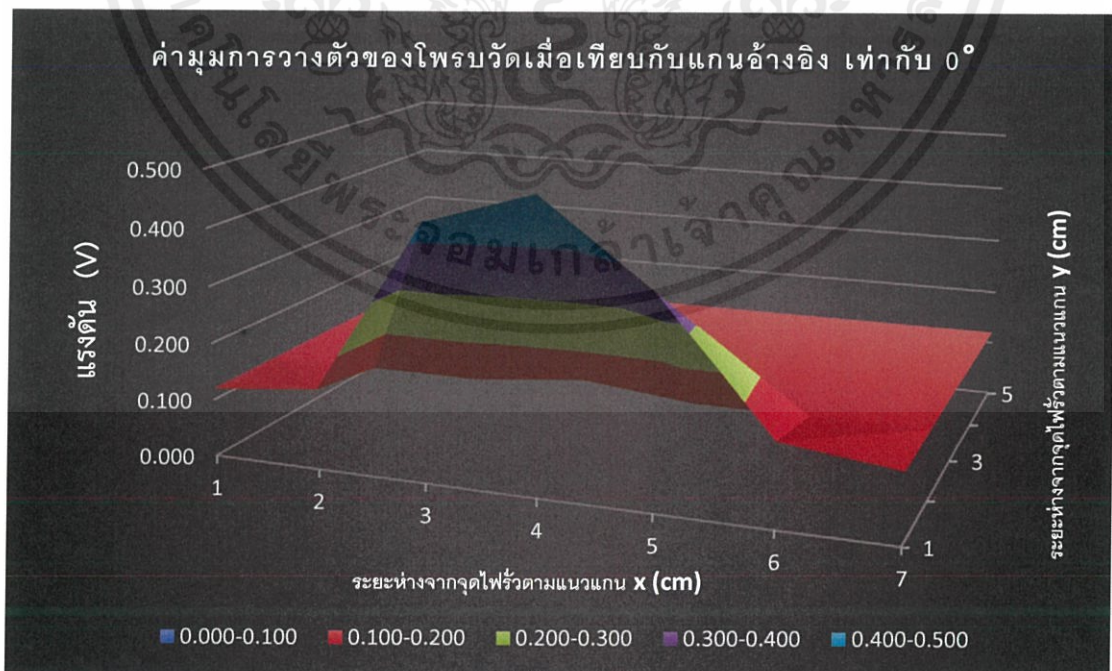
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการตัดข้อมูลส่วนที่ไม่จำเป็นออกไป พบว่า ค่า Gain ที่ผ่านการประมาณเชิงเส้นได้ มีค่าเท่ากับ 0.7173 และค่า $R^2 = 0.994$ แสดงว่าอุปกรณ์เซนเซอร์ที่วัดได้มีความแม่นยำในระดับแรงดันช่วง 0.1-5 V และนำไปใช้ในการประมาณระยะห่างไฟรั้วต่อไป

4.3 การวัดค่าเพื่อใช้ประมาณระยะห่างจุดที่เกิดไฟรั้วจากอุปกรณ์เซนเซอร์

ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า ที่มุมของโพรบในลักษณะที่แตกต่างกัน เพื่อใช้ศึกษา ลักษณะการกระจายตัว และ สร้างสมการเพื่อที่จะใช้ในการทำนายระยะห่างจากจุดไฟรั้ว

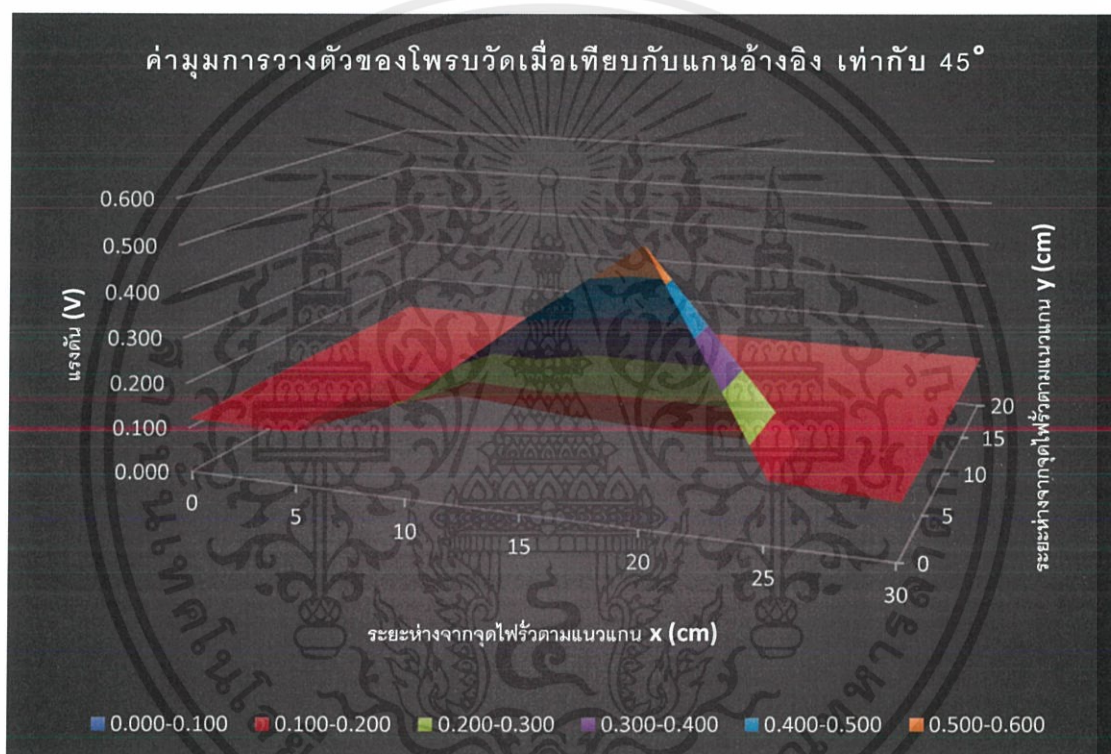
0		ยาว (cm)							V
		0	5	10	15	20	25	30	
กว้าง (cm)	0	0.120	0.140	0.440	0.500	0.360	0.143	0.120	
	5	0.120	0.120	0.120	0.140	0.120	0.120	0.120	
	10	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	
	15	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	
	20	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	



รูปที่ 4.5 ค่าที่วัดได้เมื่อมุมของโพรบเท่ากับ 0° และ 3D plot ของระดับแรงดันรอบจุดไฟรั้ว

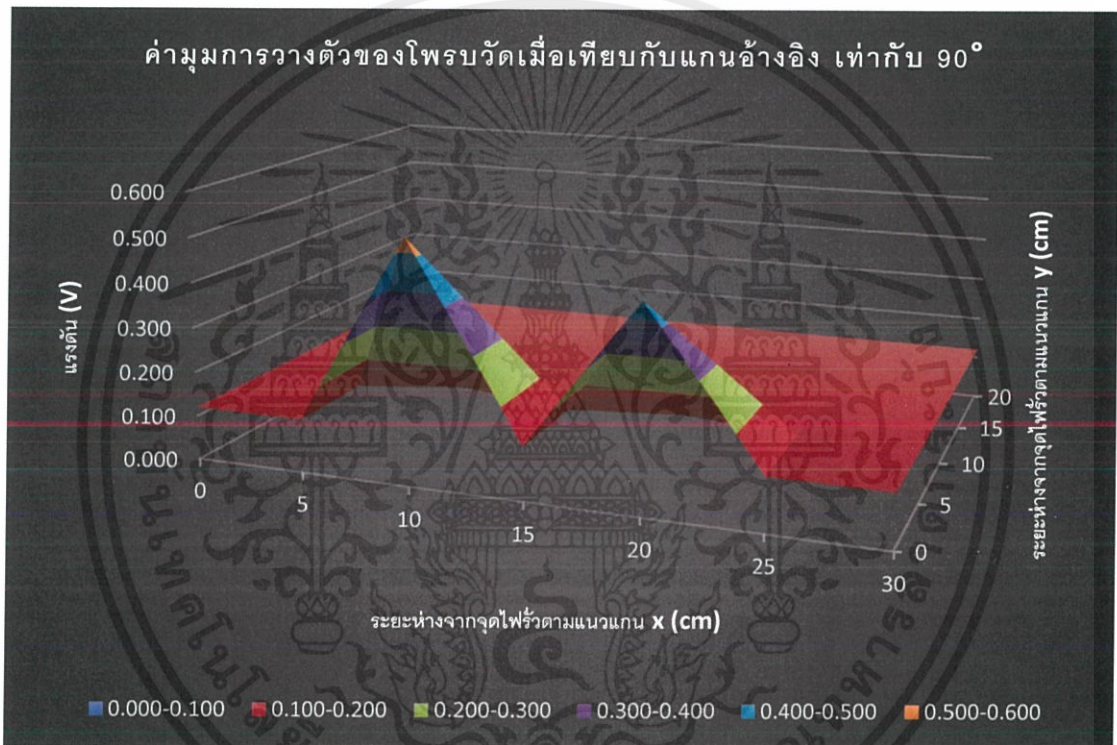
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

45		ยาว (cm)							V
		0	5	10	15	20	25	30	
กว้าง (cm)	0	0.120	0.120	0.210	0.400	0.573	0.133	0.120	
	5	0.120	0.120	0.150	0.130	0.120	0.123	0.120	
	10	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	
	15	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	
	20	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	



รูปที่ 4.6 ค่าที่วัดได้เมื่อมุมของโพรบเท่ากับ 45° และ 3D plot ของระดับแรงดันรอบจุดไฟรั่ว

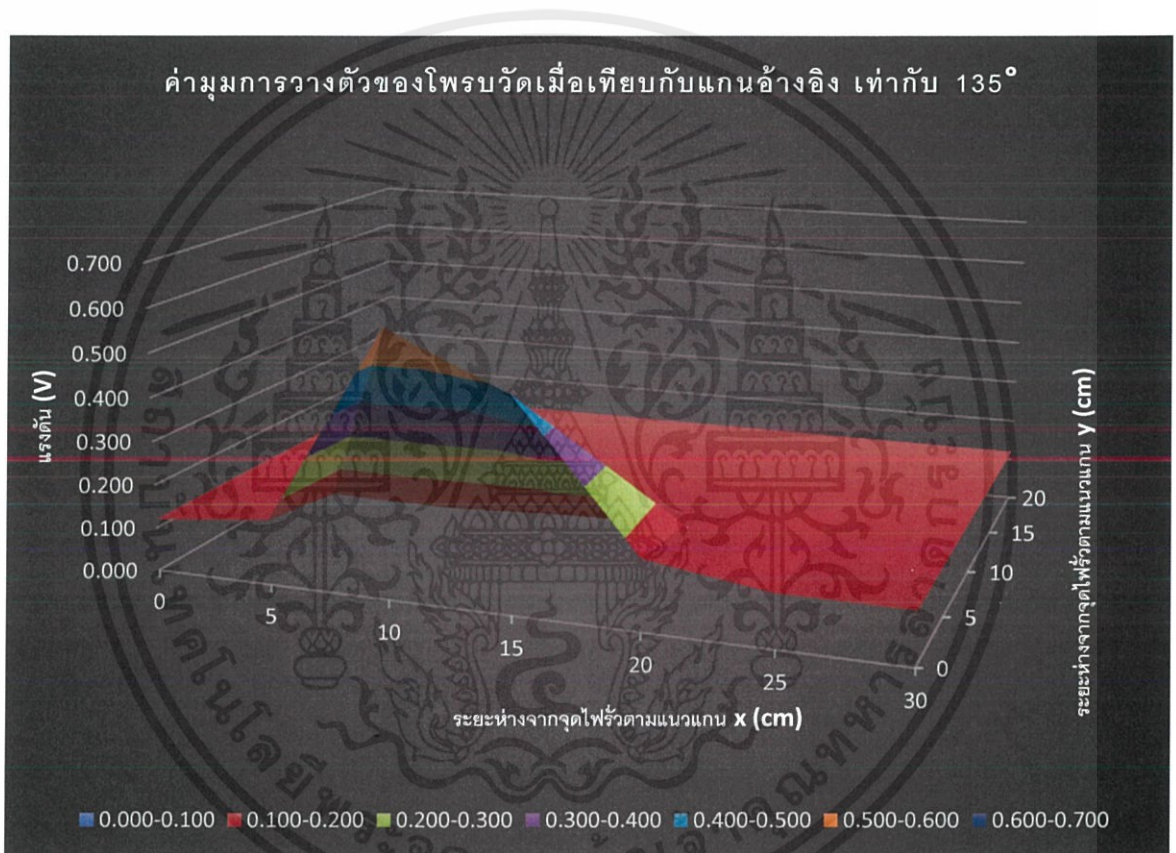
90		ยาว (cm)							V
		0	5	10	15	20	25	30	
กว้าง (cm)	0	0.120	0.120	0.540	0.120	0.450	0.120	0.120	
	5	0.120	0.120	0.143	0.120	0.137	0.120	0.120	
	10	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	
	15	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	
	20	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	



รูปที่ 4.7 ค่าที่วัดได้เมื่อมุมของโพรบเท่ากับ 90° และ 3D plot ของระดับแรงดันรอบจุดไฟรั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

135		ยาว (cm)							V
		0	5	10	15	20	25	30	
กว้าง (cm)	0	0.120	0.150	0.600	0.480	0.160	0.120	0.120	
	5	0.120	0.123	0.120	0.133	0.140	0.120	0.120	
	10	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	
	15	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	
	20	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	

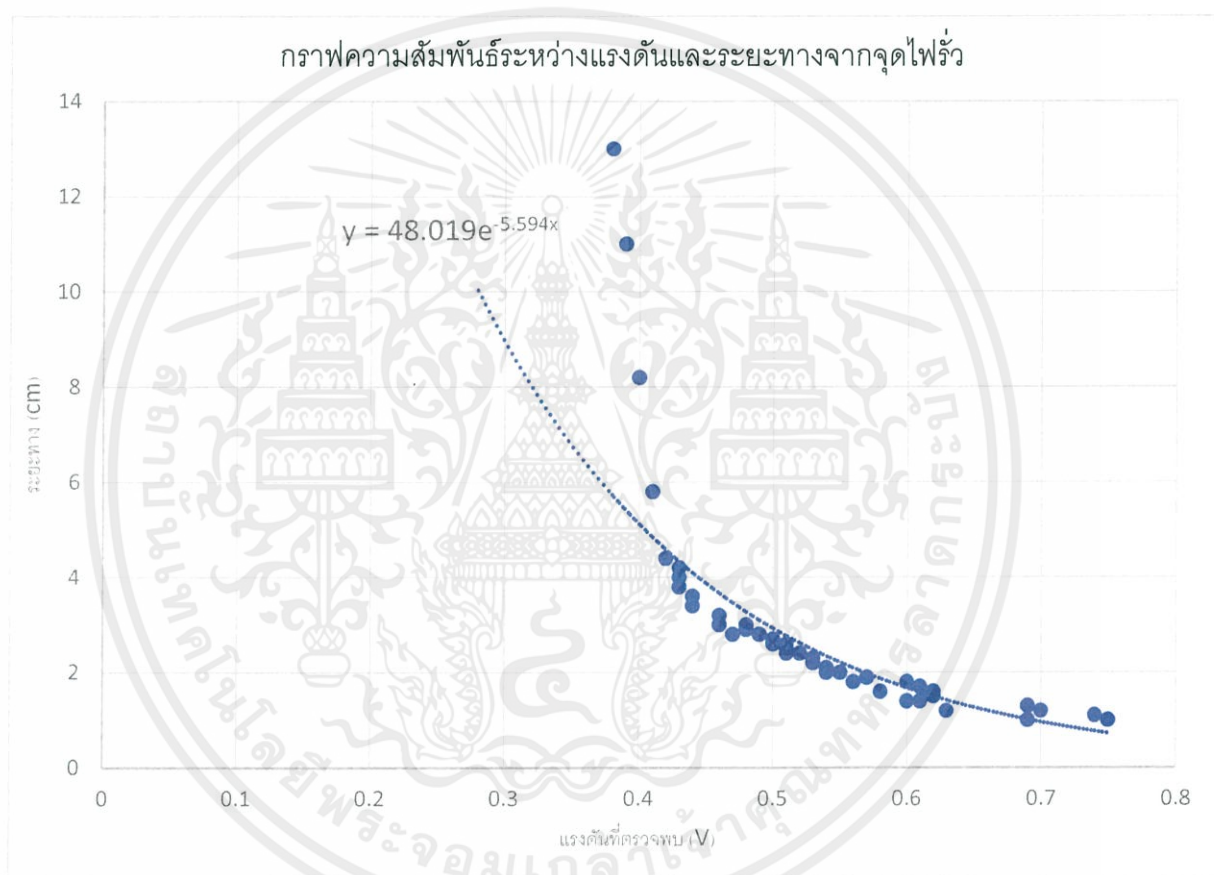


รูปที่ 4.8 ค่าที่วัดได้เมื่อมุมของโพรบเท่ากับ 135° และ 3D plot ของระดับแรงดันรอบจุดโพรบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองประมาณค่าระยะห่างจากจุดไฟรั่ว

จากการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าวุ่นในน้ำขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดให้การกระจายตัวนั้นต่างกัน ในสถานการณ์จริงนั้นเราไม่สามารถทราบได้ว่าไฟฟ้าจะรั่วไหลลงน้ำที่มีสภาพอย่างไรตลอดจนระดับแรงดันไฟฟ้าที่รั่วไหลมีแรงดันเท่าไร ดังนั้นจึงได้ทำการประมาณหาระยะทางโดยกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าวุ่นที่ 30 โวลต์และระดับความลึกของน้ำ 16 cm ทำการวัดค่าแรงดันที่ความลึก 3 cm ได้ความสัมพันธ์ของระยะห่างจากจุดไฟรั่วและแรงดันดังรูป



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและระยะทาง

จากการทดลองสังเกตวงจรฝังอินพุต พบว่าค่าที่เซนเซอร์อ่านได้มีค่าประมาณ 0.37-0.4 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเมื่อเซนเซอร์อ่านค่าจากน้ำได้ต่ำกว่าหรืออยู่ในช่วงดังกล่าวหมายถึงบริเวณนั้นมีความปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 เมื่อสนใจค่าที่มากกว่า 0.37 จะได้สมการประมาณระยะห่างคือ

$$y = 48.019e^{-5.594x}$$

เมื่อ

X = แรงดันไฟฟ้ารั่วในน้ำที่วัดได้ (V)

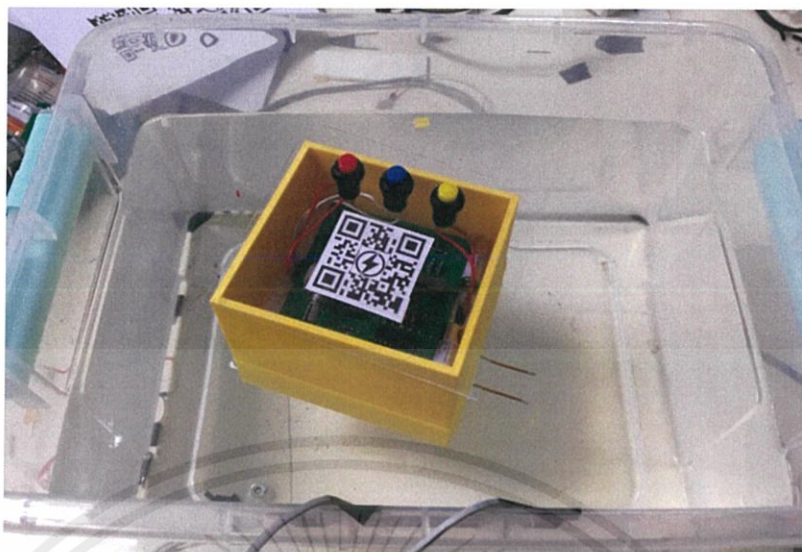
Y = ระยะจากจุดวัดถึงจุดที่เกิดการรั่วไหลโดยประมาณ (cm)

4.5 การทดสอบแอปพลิเคชันระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (AR)

จากการเขียนแอปพลิเคชันระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (Augmented Reality) ทำการทดสอบการแสดงผลของข้อมูลแรงดันและระยะทางจากจุดที่เกิดไฟฟ้ารั่วไหลในน้ำแบบเรียลไทม์ โดยการใช้สมาร์ทโฟนส่องไปยัง Marker ที่ได้สร้างไว้

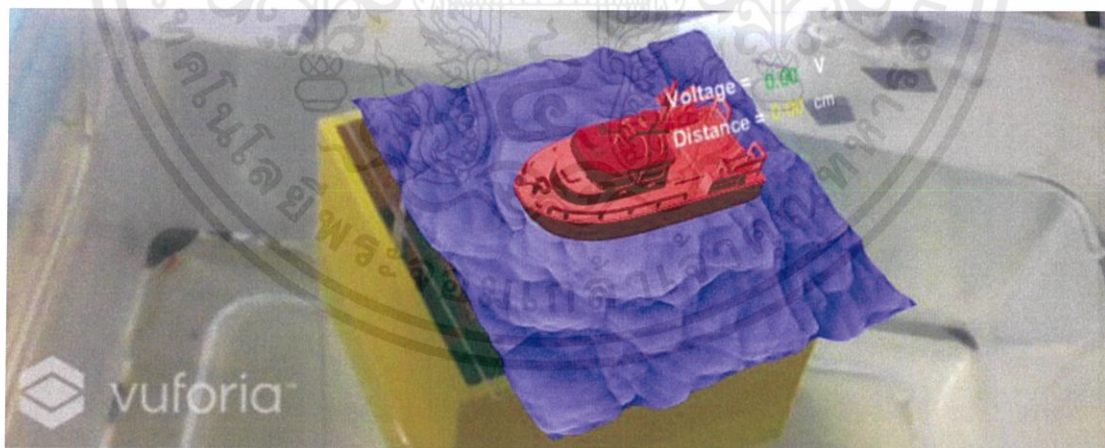


รูปที่ 4.10 Marker



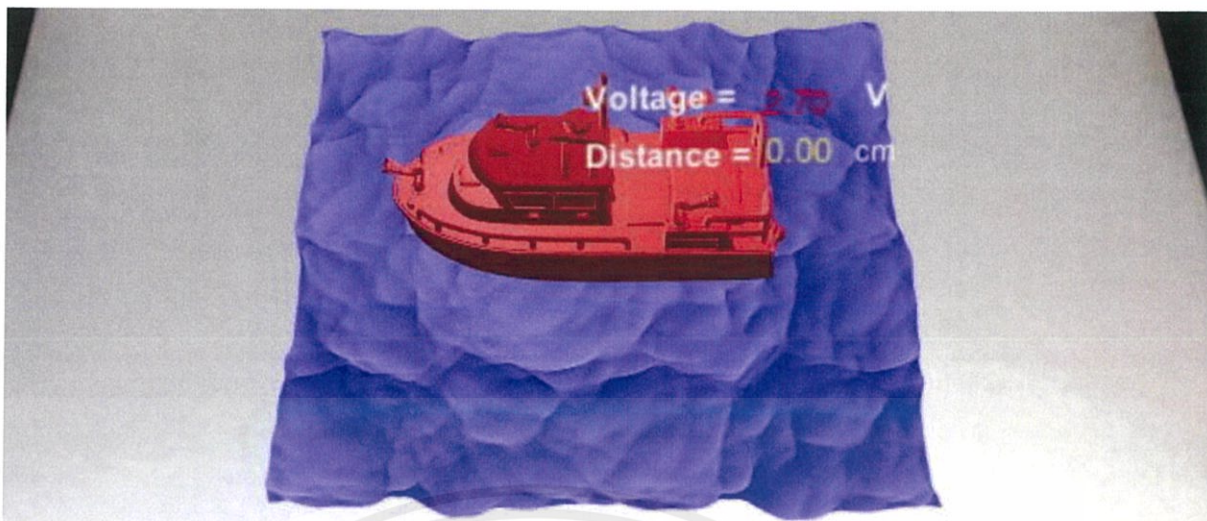
รูปที่ 4.11 การทดสอบแอปพลิเคชันระบบสนับสนุนความจริงเสมือน

ผลการทดสอบแอปพลิเคชันระบบสนับสนุนความจริงเสมือน

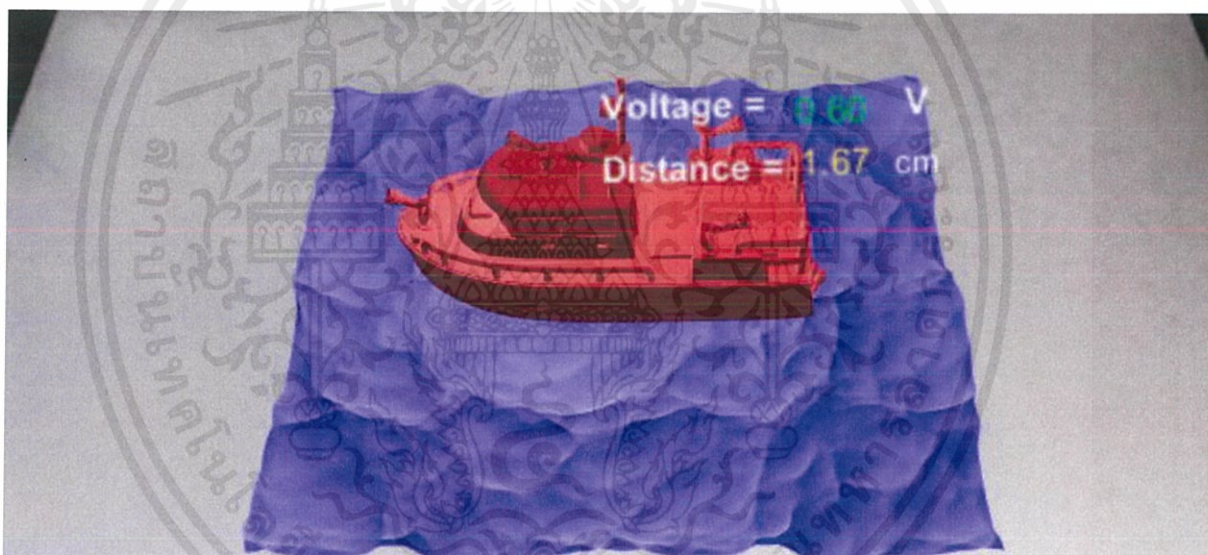


รูปที่ 4.12 การทดสอบแอปพลิเคชัน AR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 การทดสอบแอปพลิเคชัน AR



รูปที่ 4.14 การทดสอบแอปพลิเคชัน AR

จากการทดสอบพบว่าแอปพลิเคชันสามารถแสดงผลข้อมูลแรงดันและระยะทางจากจุดที่เกิดไฟฟ้ารั่วไหลในน้ำได้แบบเรียลไทม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

5.1 บทสรุป

ประเทศไทยได้ประสบปัญหาเหตุการณ์อุทกภัยมาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน ปัญหาอุทกภัยนี้ได้เป็นเหตุให้ผู้คนถึงแก่ความตายเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะการเสียชีวิตจากการโดนไฟฟ้าในน้ำดูด ดังนั้นกลุ่มของพวกเราจึงสนใจที่จะแก้ปัญหาการเสียชีวิตจากการโดนไฟฟ้าดูดในเหตุการณ์อุทกภัย

โครงการวิจัยนี้จึงได้ออกแบบโมดูลวัดค่าแรงดันไฟฟ้าในน้ำ พร้อมทั้งประมาณค่าระยะห่างจากโมดูลถึงจุดที่เกิดไฟรั่ว แล้วจะทำการส่งค่าขึ้นฐานข้อมูลคลาวด์ พร้อมแสดงผลผ่าน Application บน android ในรูปแบบ Augmented Reality (AR) โดยสามารถนำโมดูลนี้ไปติดตั้งกับอุปกรณ์ขับเคลื่อนในน้ำ เช่น เรือบังคับ หรือโดรน ช่วยให้ผู้ใช้งานไม่ต้องสัมผัสโดยตรงกับบริเวณไฟรั่ว และสามารถดูผลผ่าน Application ได้

ทั้งนี้ทั้งนั้น การตรวจวัดแรงดันในน้ำและ การกระจายตัวของแรงดันไฟฟ้าในน้ำขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ความลึกของจุดที่เกิดไฟรั่ว ความนำไฟฟ้าของน้ำ ดังนั้นการนำไปใช้งานจริง ต้องมีการปรับค่าปรับตั้งต่างๆ แก้อตามสภาพแวดล้อมให้ เพื่อให้อุปกรณ์ทำงานได้เกิดประสิทธิภาพ และมีความแม่นยำ

5.2 ข้อเสนอแนะและปัญหาที่พบ

จากการดำเนินการทดลองตลอดโครงการวิจัย มีข้อเสนอแนะและปัญหาดังนี้

1. Wi-Fi Module เป็นตัวที่ส่งค่าแรงดันไฟฟ้าไปยัง Application บน android สามารถรับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ไม่เกิน 3.3 V ถ้าหากรับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมากกว่า 3.3 V จะส่งผลให้ตัว Wi-Fi Module เกิดความเสียหายได้

2. จากข้อที่ 1 จึงจำเป็นต้องสร้างวงจรคลิปเปอร์ (Clipper Circuit) เพื่อจำกัดแรงดันไม่เกิน 3.3 V แต่วงจรคลิปเปอร์ (Clipper Circuit) ที่สร้างขึ้นนี้เกิดการจำกัดแรงดันคลาดเคลื่อนจากวงจรคลิปเปอร์ (Clipper Circuit) ในอุดมคติ

3. แรงดันในน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพของน้ำ และปัจจัยอื่นๆ ทำให้ค่าที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อน

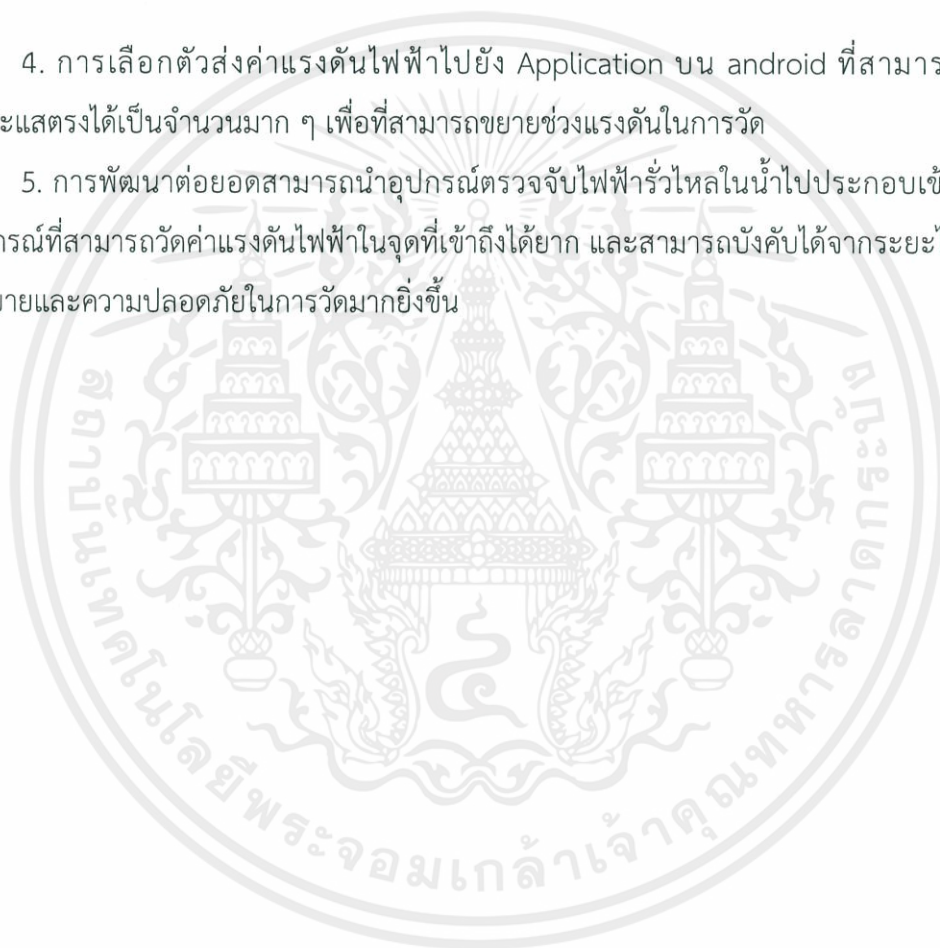
4. จากข้อ 3 จึงต้องมีการปรับค่าต่างๆ การนำไปใช้งานจริง ซึ่งทำได้ยากหากจะนำไปใช้กับสถานการณ์จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 แนวทางการพัฒนา

โครงการวิจัยนี้สามารถทำการพัฒนาและเพิ่มความสามารถในการตรวจวัดไฟฟ้ารั่วในน้ำได้ ดังนี้

1. ปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ Op-Amp เป็นรุ่นที่มีประสิทธิภาพ และฟังก์ชันพิเศษเพิ่มเติม เพื่อความแม่นยำของอุปกรณ์
2. ศึกษาปัจจัยของมูพรอบวัด เพื่อพัฒนาให้อุปกรณ์ใช้ได้ สถานการณ์อื่นๆ
3. ทดลองหาความสัมพันธ์ ของปัจจัยต่างๆต่อแรงดัน เพื่อใช้ในการคาร์เบตค่าให้แม่นยำยิ่งขึ้น
4. การเลือกตัวส่งค่าแรงดันไฟฟ้าไปยัง Application บน android ที่สามารถรับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้เป็นจำนวนมาก ๆ เพื่อที่สามารถขยายช่วงแรงดันในการวัด
5. การพัฒนาต่อยอดสามารถนำอุปกรณ์ตรวจจับไฟฟ้ารั่วไหลในน้ำไปประกอบเข้ากับเรือบังคับ หรืออุปกรณ์ที่สามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้าในจุดที่เข้าถึงได้ยาก และสามารถบังคับได้จากระยะไกล เพื่อความสะดวกสบายและความปลอดภัยในการวัดมากยิ่งขึ้น



เอกสารอ้างอิง

- [1] A Designer's Guide to Instrumentation Amplifier 3rd Edition
- [2] Jie Liu, Farid Paul, Sharon Tee : Analysis of Current Density in Soil for Resistivity Measurements and Electrical Grounding Design
- [3] Raymond M.Fish,and Lesile A. Geddes : Conduction of Electrical Current to and Through the Human Body , D.Dorr, Senior Member , IEEE
- [4] Precision Full Wave Rectifier ,(ออนไลน์).

ที่มา <https://www.electronics-tutorial.net/analog-integrated-circuits/precision-rectifier/precision-full-wave-rectifier/>

- [5] Determining Voltage Levels of Concern for Human and Animal Response to AC Current

- [6] ทศพล ต้นสมบัติ, “ระบบปฏิบัติการ ANDROID” ,(ออนไลน์).

ที่มา <https://beerkung.wordpress.com/ระบบปฏิบัติการ-android>

- [7] ดร.อภิชาติ อนุกุลเวช, “Augmented Reality (AR)”, (ออนไลน์).

ที่มา <http://abhichatdotcom.blogspot.com/2014/12/augmented-reality-ar.html>

- [8] Photon Datasheet, (ออนไลน์).

ที่มา [https://docs.particle.io/datasheets/photon-\(wifi\)/photon-datasheet/](https://docs.particle.io/datasheets/photon-(wifi)/photon-datasheet/)

- [9] ทำความเข้าใจเรื่อง Internet of Things (IoT), (ออนไลน์).

ที่มา <http://www.veedvil.com/news/internet-of-things-iot/>

- [10] Internet of things, (ออนไลน์).

ที่มา https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things#Trends_and_characteristics

- [11] นิตยคุณ ยุกตะนันท์ “สอนทำ AR ตั้งแต่ลง SDK UNITY 2017”, (ออนไลน์).

ที่มา <http://www.mesise.com/mesise-com-สอนทำ-ar-ตั้งแต่ลง-sdk-unity-2017>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[12] How to create an Augmented Reality App (ออนไลน์).

ที่มา https://www.youtube.com/watch?v=MtiUx_szKbl



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงและพัฒนาระบบเซ็นเซอร์ตรวจวัดไฟฟ้ารั่วในบริเวณน้ำท่วมถึงด้วยเทคโนโลยี IOT
EARTH LEAKAGE SENSOR DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT
WITH IOT TECHNOLOGY

นายนนทพัทธ์ เลิศประสพสุข นายณนันท มณีสุด นายพิธาน รัตนมณีวงศ์ นายภาณุพงศ์ วงษ์ตา
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาระบบเตือนไฟฟ้ารั่วลงดินบริเวณน้ำท่วมถึง โดยมุ่งเน้นปรับปรุงความสามารถของเซ็นเซอร์ให้มีความแม่นยำและเที่ยงตรงมากขึ้นและสามารถใช้ในหลากหลายพื้นที่ได้ โดยประยุกต์เทคนิคนี้เข้ากับอุปกรณ์ที่ลอยน้ำได้เช่น เรือบังคับที่ติดเซ็นเซอร์วัดไฟฟ้ารั่วไหล โดยข้อมูลที่ได้จะถูกส่งขึ้นเซิร์ฟเวอร์ผ่านอินเทอร์เน็ตและถูกส่งไปแสดงผลที่แอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ โครงการนี้เริ่มต้นพัฒนาโดยการออกแบบระยะของโพรบเซ็นเซอร์ที่เหมาะสมและทำการออกแบบวงจรวัดค่าแรงดันที่มีประสิทธิภาพโดยใช้ “วงจรรขยายอินสตรูเมนต์ขั้น” เพื่อตัดสัญญาณรบกวนที่อาจส่งผลให้ค่าการวัดผิดเพี้ยนได้ การพัฒนานี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างความปลอดภัยและป้องกันเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์เช่นการบาดเจ็บและการสูญเสียชีวิตที่เกิดจากการไฟฟ้าดูดในช่วงน้ำท่วม

Abstract

This project presents the design and development of flood warning system for flooded areas. It focuses on improving the ability of the sensor to be more precise and accurate and can be used in a variety of areas. Apply this technique to floating devices such as radio control ship to install electric leakage sensor. The data will be sent to the server with the Internet and display on the mobile application. The first phase of project is designing the optimum range of probes and designing effective voltage measurement circuits using "Instrumentation amplifier" to filter the interference signal that may result in deviation of measurement. This development aims to create safety and prevent unwanted events such as injury and loss of life caused by electric shock during floods.

1. บทนำ

นับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีประชากรมากมายที่ได้รับบาดเจ็บและเสียชีวิตจากเหตุไฟฟ้ารั่วลงน้ำ ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า การใช้เครื่องมือช่วยเหลือจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการช่วยระบุงหรือแจ้งเตือนถึงการมีไฟฟ้ารั่ว จากงานปริญญาานิพนธ์ เรื่อง “การประยุกต์ใช้ระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (AR) ออกแบบสร้างระบบเตือนไฟฟ้ารั่วลงดินบริเวณน้ำท่วมถึง” ที่รุ่นพี่ได้ศึกษาและพัฒนามาก่อนแล้วพบว่า เซ็นเซอร์ตรวจวัดแรงดันยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่มากจากการที่กลุ่มของข้าพเจ้าได้มองให้ถึงความสำคัญและปัญหาของการสร้างระบบเตือนไฟฟ้ารั่ว จึงอยากที่จะออกแบบและพัฒนาาระบบเซ็นเซอร์ให้มีความแม่นยำมากขึ้น

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความอันตรายของไฟฟ้ารั่ว

เมื่อสายไฟที่มีกระแสไฟฟ้าขาดหรือชำรุดจนตัวนำสัมผัสกับพื้นจะทำให้เกิดไฟฟ้ารั่วขึ้น ซึ่งสามารถอนุมานได้ว่าเกิดไฟฟ้ารั่วรอบทิศทางจากจุดสัมผัส(กรณีการรั่วในน้ำก็เช่นเดียวกัน) ซึ่งมีพฤติกรรมคล้ายกับการโยนก้อนหินลงในน้ำนิ่งๆ กล่าวคือคลื่นที่ออกจากจุดที่หินกระทบน้ำจะค่อยๆลดลงตามระยะที่ไกลขึ้นจากจุดนั้น ไฟฟ้าก็เช่นกัน การรั่วของไฟฟ้าจะมากที่สุดตรงจุดที่ตัวนำสัมผัสกับพื้นแต่น้อยลงอย่างรวดเร็วเมื่อออกห่างจากจุดสัมผัส อย่างไรก็ตามลักษณะการรั่วของไฟฟ้านั้น

เกิดขึ้นจากหลายปัจจัยเช่นความชื้นของดิน ชนิดของดิน ฯลฯ

ไฟฟ้ารั่วนั้นสามารถเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่นการเดินสายหรือเลือกใช้สายไม่เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน การเลือกใช้สายไฟที่ไม่ได้ตามมาตรฐาน การขาดการบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้า การเสื่อมสภาพของฉนวนทั้งจากการใช้งานที่ไม่เหมาะสมและการเสื่อมสภาพจากอายุการใช้งาน เป็นต้น ซึ่งโดยส่วนมากมักเกิดจากการชำรุดของฉนวนหรืออุปกรณ์ห่อหุ้มตัวนำที่มีแรงดันชำรุดทำให้ ณ จุดนั้นเกิดการรั่วของกระแสไฟฟ้าออกมา



รูปที่ 2.1 รูปแบบการกระจายตัวของไฟฟ้าเมื่อเกิดการรั่ว

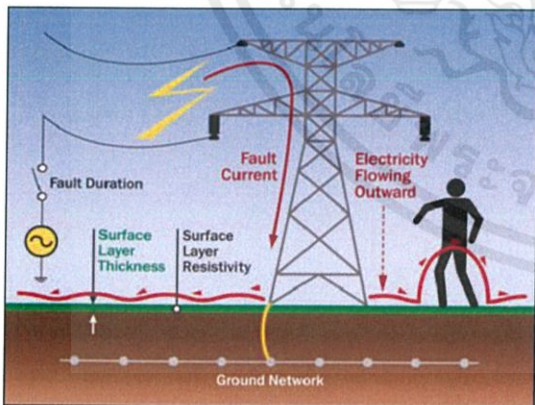
2.1.1 Step potential หรือ Step voltage

Step voltage หรือ ศักย์ไฟฟ้าแบบก้าว คือ ความต่างศักย์ระหว่างขาทั้งสองข้างของบุคคลที่ยืนอยู่ในบริเวณที่มีแรงดันไฟฟ้าซึ่งอาจเกิดจากกระแสไฟฟ้ารั่วไหลผ่านความต้านทานของบริเวณนั้นๆเกิดเป็นแรงดันไฟฟ้าค่าหนึ่งบริเวณนั้น

ค่าของความต่างศักย์จะกระจายตัวจากจุดที่เกิดการรั่วไปรอบๆซึ่งหากบุคคลใดเข้าไปยืนในบริเวณที่มีแรงดันไฟฟ้าอยู่จะทำให้เกิดความต่างศักย์แบบก้าว

ระหว่างขาทั้งสองข้างและมีกระแสไหลผ่านร่างกายซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายได้ ยกตัวอย่างเช่นเมื่อมีฟ้าผ่าลงที่เสาไฟฟ้า กระแสจะไหลผ่านเสา ลงไปที่ดินและจะกระจายไปรอบๆผ่านความต้านทานภายในดิน ซึ่งแรงดันที่กระจายตัวอยู่บนผิวพื้นดินนี้จะก่อให้เกิดอันตรายเมื่อมีบุคคลเดินเข้าไปในบริเวณนั้น

กระแสไฟฟ้าจะไหลได้ก็ต่อเมื่อมีความต่างศักย์เกิดขึ้นระหว่างจุดสองจุดเช่นเดียวกับศักย์ไฟฟ้าแบบก้าว เมื่อเกิดความต่างศักย์ระหว่างขาทั้งสองข้างกระแสจะไหลผ่านขาข้างหนึ่งสู่อีกข้างหนึ่งซึ่งถ้าหากค่าศักย์ไฟฟ้าแบบก้าวนี้มีค่ามากก็อาจทำให้เกิดอันตรายร้ายแรงได้ อันตรายจากศักย์ไฟฟ้าแบบก้าวสามารถเกิดขึ้นได้ทุกที่ที่เกิดการรั่วลงดินของกระแสไฟฟ้า ยังมีกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินมากก็จะมีอันตรายมาก ความต้านทานในบริเวณที่เกิดการรั่วถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมาก หากบริเวณที่เกิดไฟฟ้ารั่วมีความต้านทานมาก ความต่างศักย์ไฟฟ้าก้าวก็จะมีค่ามาก



รูปที่ 2.2 ศักย์ไฟฟ้าแบบก้าว (Step Voltage)

ในกรณีน้ำท่วมและมีกระแสไฟฟ้ารั่วลงน้ำจะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลลงน้ำและเกิดแรงดันตกคร่อม

บริเวณนั้นเนื่องจากน้ำมีความต้านทานค่าหนึ่ง หากมีบุคคลเข้าไปเคลื่อนไหวในบริเวณนั้นๆที่มีไฟฟ้ารั่วอาจทำให้เกิดกระแสไหลผ่านร่างกายได้ ยิ่งไปกว่านั้นในบริเวณน้ำท่วมร่างกายเราจะมีค่าความต้านทานลดลงซึ่งมีผลทำให้อันตรายที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงมากขึ้นไปด้วย

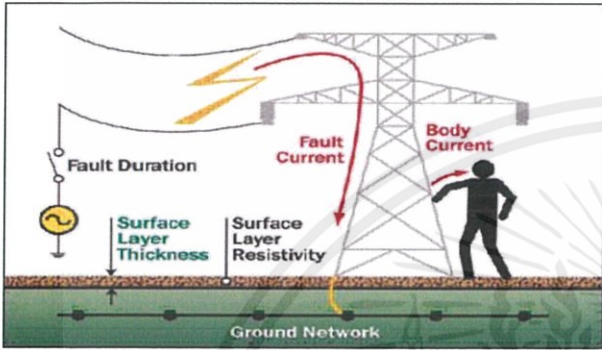
2.1.2 Touch potential หรือ Touch voltage

หากมีคนสัมผัสกับตัวนำ(หรือสิ่งของที่เป็น)ทางผ่านให้ไฟรั่วลงพื้นในขณะที่เกิดไฟรั่วและทำอยู่ในบริเวณที่มีศักย์ไฟฟ้า จะทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างจุดที่สัมผัสกับตัวนำและเท้า ความต่างศักย์ในกรณีนี้เรียกว่า Touch potential หรือ Touch voltage

ความต่างศักย์ไฟฟ้าสัมผัสระหว่างวัตถุที่มีศักย์ไฟฟ้ากับเท้าของคนจะไปสัมผัสกับวัตถุนั้น เมื่อมีกระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่สถานีไฟฟ้าหรือเสาส่งไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าจะไหลลงดินผ่านโครงเหล็กต่างๆ หากมีบุคคลใดที่ไปสัมผัสโครงเหล็กนั้นหรืออุปกรณ์ที่อยู่ใกล้เคียงบริเวณที่เกิดไฟฟ้าวรณนั้นก็จะได้รับอันตรายจากความต่างศักย์สัมผัส ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวของคนๆนั้นซึ่งอาจทำให้เกิดอาการช็อค บาดเจ็บสาหัส

ยกตัวอย่าง ถ้าหากมีคนหนึ่งไปสัมผัสกับโครงเสาส่งไฟฟ้าขณะที่เกิดไฟฟ้าวรณ กระแสไฟฟ้าที่ลัดวงจรจะไหลผ่านมือที่สัมผัสผ่านร่างกายมนุษย์ลงสู่ดินแทนที่จะไหลผ่านโครงเหล็กต่อไปเนื่องจากร่างกายมนุษย์มีความต้านทานน้อยกว่าทำให้อาจเกิดอันตรายถึงชีวิตต่อมนุษย์

กรณีการเกิดน้ำท่วมขณะเกิดไฟฟ้ารั่วไหลขึ้น
ลงน้ำเมื่อมีมีคนลงไปน้ำก็จะสัมผัสกับน้ำโดยตรงที่มี
กระแสไฟฟ้าไหลอยู่ทำให้ได้รับอันตรายจากความต่าง
ศักย์สัมผัสได้



รูปที่ 2.3 ศักย์ไฟฟ้าแบบสัมผัส (Touch Voltage)

2.1.3 Flashover

การแฟลชโอเวอร์เกิดขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้า
กระโดดข้ามอากาศทำให้เกิดการแตกตัวกลายเป็นตัวนำ
ของอากาศ โดยเฉพาะในไฟฟ้าแรงสูง ปรากฏการณ์
ดังกล่าวอาจเกิดขึ้นระหว่างสายตัวนำกับสายตัวนำหรือ
สายตัวนำกับกราวด์ ซึ่งอาจเห็นแสงวาบหรือได้ยินเสียง
คล้ายระเบิดเล็กๆ แฟลชโอเวอร์เป็นอันตรายคุกคาม
แก่ชีวิตผู้ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงจุดที่เกิดแฟลชโอเวอร์
คล้ายกรณีอื่นอยู่ใกล้เคียงบริเวณที่เกิดฟ้าผ่า นอกจากนั้น
แฟลชโอเวอร์ยังทำให้อุปกรณ์รวมถึงสายไฟฟ้าที่อยู่
ใกล้เคียงเกิดความเสียหายและยังสามารถรบกวน
กระแสไฟฟ้าที่เข้าสู่บริเวณอุตสาหกรรมหรือบ้านเรือน
ได้

ยกตัวอย่าง เช่น ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้านั้น พอมี
ฝุ่นมาเกาะมากๆ เข้าประกอบกับความชื้นหรือ ฝนตก

ดังนั้น เมื่อมี กระแสจ่ายใน สายไฟฟ้าตลอดเวลา ความ
ร้อนจากกระแสไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะมากกระตุ้นให้ ฝุ่นผง
และ ความชื้นเหล่านี้เกิดเป็นแถบตัวนำขึ้นซึ่งทางไฟฟ้า
เรียกว่า แถบแห้ง ซึ่งเมื่อมีการขยายใหญ่ขึ้นแล้วจะทำให้
ให้เกิดเป็นแถบตัวนำขนาดใหญ่ที่ลุกถ้อย ทำให้สภาพ
ฉนวนลุกถ้อยเสียไปจึงเกิด Voltage ตกคร่อมแถบความ
ต้านทานนี้อย่างมาก เรียกว่า Flasher หรือ Flash over
เดี่ยวถ้ามีเวลาจะอธิบาย Back Flash over ครับ

2.1.4 ระดับแรงดันที่มีผลต่อร่างกายมนุษย์

อันตรายที่เกิดจากไฟฟ้าดูดขึ้นอยู่กับปริมาณ
กระแสที่ไหลผ่านร่างกายรวมถึงระยะเวลาที่กระแสไหล
ด้วย ซึ่งทั้งสองปัจจัยจะส่งผลกระทบต่อความรุนแรงที่ร่างกาย
ได้ในระดับที่ต่างกัน หรืออีกนัยหนึ่งปริมาณกระแสแม้
เพียงเล็กน้อยก็ทำให้เกิดอันตรายแก่ผู้ถูกไฟดูดจนอาจ
ถึงแก่ชีวิตได้ กระแสที่ไหลผ่านร่างกายสามารถส่งผล
กระทบได้หลายอย่าง ซึ่งส่วนใหญ่จะส่งผลกระทบต่อ
เนื้อเยื่อทำให้เกิดการเผาไหม้รวมถึงการกระตุ้นของ
ระบบประสาท ในขั้นต้นกระแสน้อยๆจะทำให้เกิด
กระตุกของกล้ามเนื้อหรืออาจเสียความสามารถในการ
ควบคุมกล้ามเนื้อได้ หากกระแสที่ไหลผ่านร่างกายมีค่า
มากอาจเกิดอันตรายจนถึงขั้นหัวใจเต้นผิดจังหวะหรือ
หยุดเต้นได้

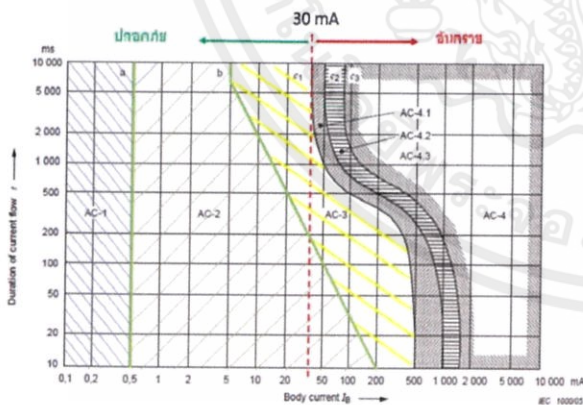
จากรูปที่ 2.2 ค่ากระแสที่ทำให้ร่างกายเสีย
ความสามารถในการควบคุมกล้ามเนื้อเริ่มที่ประมาณ
10 มิลลิแอมแปร์ในผู้หญิงและประมาณ 16 มิลลิ

แอมแปร์ในผู้ชาย ซึ่งอันตรายอาจรุนแรงขึ้นหากถูกไฟฟ้าดูดเป็นเวลานาน

Mechanism	Current needed, mA	Voltage needed, V
Electrical stimulation of the heart causing ventricular fibrillation	100	30
Tetanic contraction (effectively paralysis) of the muscles of respiration	20	6
Loss of muscle control of the extremities: 16 mA for an average man ¹	16	4.8
Loss of muscle control of the extremities: as little as 10 mA for the most sensitive female ^{7,11}	10	3

รูปที่ 2.4 ตารางผลของระดับแรงดันต่อร่างกายที่มีความต้านทาน 1000 โอห์ม

IEC (International Electrotechnical Commission) เป็นองค์กรสากลที่ร่วมมือกัน จัดตั้งเพื่อกำหนดมาตรฐานด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์และการจัดทำระบบการประเมิน เพื่อการรับรองคุณภาพ สำนักงานใหญ่ตั้งที่ เมืองเจนีวา ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ โดยประเทศไทยสมัครเป็นสมาชิกของ IEC ประเภทสมาชิกสมบูรณ์ ตั้งแต่ พ.ศ. 2534



รูปที่ 2.5 แสดงกราฟของกระแสไฟฟ้าและเวลาที่มีผลต่อร่างกาย (ที่ย่านความถี่ 15 Hz ถึง 100 Hz สำหรับกระแสไหลผ่านจากมือถึงเท้า)

ตารางที่ 2.1 แสดงกราฟของกระแสไฟฟ้าและเวลาที่มีผลต่อร่างกาย

2.2 การกระจายตัวของกระแสไฟฟ้าในดิน

ความหนาแน่นกระแส (current density) คือ เวกเตอร์ที่ชี้ถึงการนำพากระแส ซึ่งขนาดของมัน คือ ความเข้มของกระแสต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (A/m²) เป็นไปตามสมการ

$$J = \left(\frac{1}{\rho} + j\omega\epsilon\right) \cdot E$$

E : สนามไฟฟ้า (V / m)

J : ความหนาแน่นกระแส (A / m²)

ρ : ความต้านทานดิน (ohm-m)

ω : ความถี่เชิงมุม (rad / sec)

ϵ : Soil permittivity (F / m)

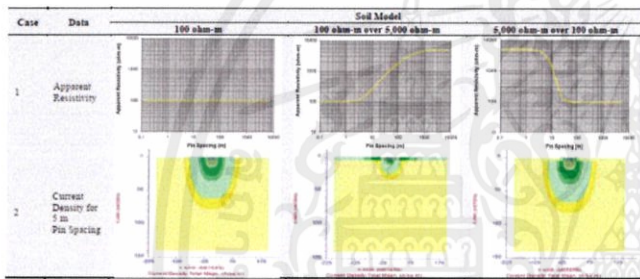
คอมพิวเตอร์เวกเตอร์ความหนาแน่นกระแส ปัจจุบันมีความซับซ้อน อธิบายได้เป็น ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเป็นปริมาณที่มีทั้งขนาดและมุมเฟส โดยจะแยกเป็นคอมโพเนน

ขนาดของผลของความหนาแน่นในปัจจุบันนั้นคือ รากที่สองของ $|J_x|^2 + |J_y|^2 + |J_z|^2$

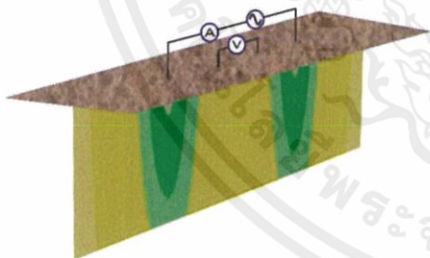
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระจายตัวของกระแส ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของบริเวณที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน โดยในการทดลอง จะเป็นการวัดกระแสไฟฟ้าที่กระจายตัวลงดินที่มีความสม่ำเสมอ และไม่สม่ำเสมอ โดยแบ่งเป็นเคเยอร์ของความต้านทาน

การออกแบบอุปกรณ์วัดแรงดัน จำเป็นต้องรู้ระดับแรงดันที่เป็นอันตราย และลักษณะการกระจายตัวของกระแสไฟฟ้า เพื่อที่จะกำหนดขอบเขตแรงดันที่จะทำการวัด และการประมาณระยะห่างจากจุดไฟรั่ว

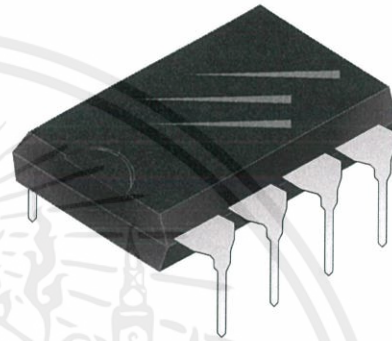


รูปที่ 2.7 การกระจายตัวของกระแสไฟฟ้า ที่ความต้านทานดินแบบสม่ำเสมอ และไม่สม่ำเสมอ



รูปที่ 2.6 การวัดการกระจายความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในดิน

แรงดัน (Voltage-Controlled Voltage Source, VCVS) เพื่อศึกษา โครงสร้าง และ การทำงานของ ออปแอมป์ในอุดมคติ ออปแอมป์สามารถนำมาใช้ในการขยายสัญญาณ , รวมสัญญาณหรือนำมาทำเป็นตัวกระทำทางคณิตศาสตร์



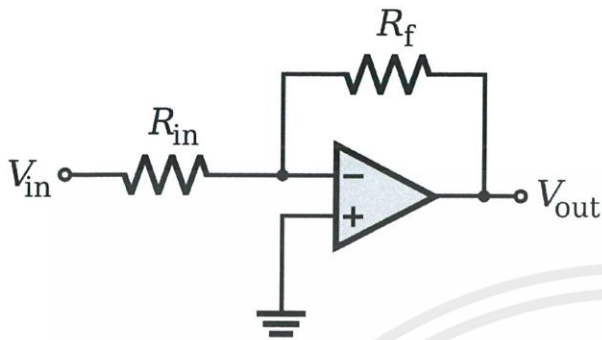
รูปที่ 2.8 ออปแอมป์ (Op-Amp, Operational Amplifier)

2.3 ออปแอมป์ (Op-Amp, Operational Amplifier)

เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ 3 ขา ที่มีการทำงานคล้ายกับแหล่งจ่ายแรงดันที่ถูกควบคุมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 Inverting operational amplifier



รูปที่ 2.11 ช่วงการทำงานของออปแอมป์

วงจรขยายแบบกลับเฟส (inverting amplifier) เป็นวงจรที่ใช้ออปแอมป์ โดยมีอินพุตและฟีดแบคเข้าที่ขาลบ ซึ่งวงจรนี้จะทำการกลับขั้วสัญญาณและขยายแอมพลิจูดตามตัวคูณ (gain) ของวงจร ค่าตัวคูณสามารถคำนวณได้จากสมการ $Gain = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_{in}}$ ค่าสัญญาณที่เป็นบวกเมื่อผ่านวงจรขยายแบบกลับเฟสอินพุตจะออกมาเป็นสัญญาณลบ เช่นเดียวกับกรณีสัญญาณขาเข้าเป็นลบขาออกก็จะเป็นบวก

ในกรณีของสัญญาณที่เป็น AC sinusoidal สัญญาณด้านเอาต์พุตจะเกิดเฟสชิฟ 180 องศาจากสัญญาณอินพุต

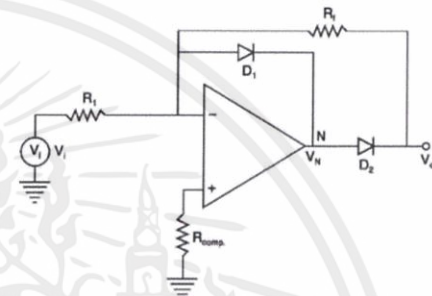
2.5 Precision Rectifier

2.5.1 Precision half wave rectifier

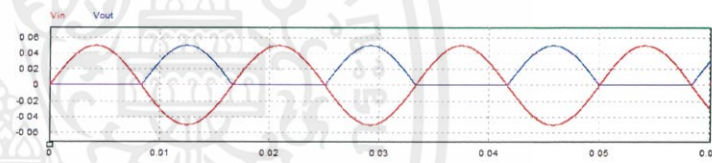
วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นโดยใช้ op-amp และ ไดโอดหรือที่เรียกว่า Super diode จะสามารถลด

ปัญหาแรงดันตกคร่อมที่ไดโอดได้ ใช้สำหรับสัญญาณที่มีแอมพลิจูดน้อยมากๆ

จากรูปเมื่อแรงดันอินพุตมีค่ามากกว่าศูนย์ แรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเป็นศูนย์ ในอีกกรณีเมื่อแรงดันมีค่าน้อยกว่าศูนย์แรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับแรงดันอินพุตคูณกับค่า gain

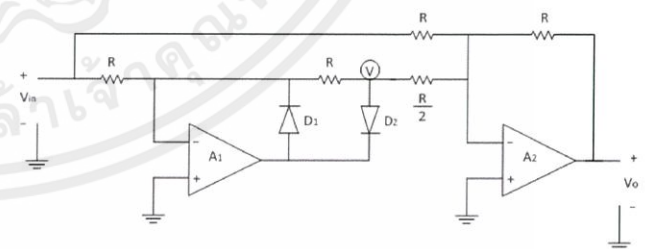


รูปที่ 2.12 Precision diode, Op-amp half wave rectifier



รูปที่ 2.13 กราฟที่ได้จากวงจรเรียงแบบครึ่งคลื่นเมื่อ gain เท่ากับหนึ่ง

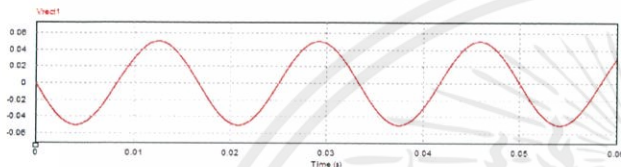
2.5.2 Precision full wave rectifier



รูปที่ 2.14 Precision full wave rectifier

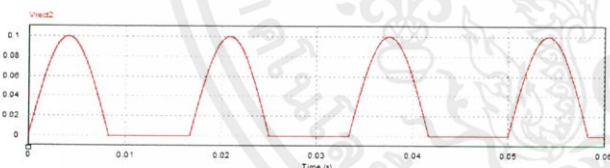
วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นที่เรียกว่า Precision full wave rectifier เกิดจากการรวมกันของ สัญญาณ 2 สัญญาณ คือ

2.5.2.1' สัญญาณอินพุตกลับเฟส คือ สัญญาณอินพุตที่เข้าวงจร Inverting amplifier มี อัตราขยายเท่ากับ -1 ได้กราฟสัญญาณดังรูป



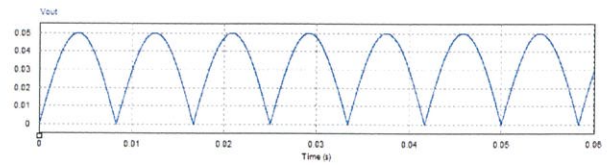
รูปที่ 2.15 สัญญาณอินพุตกลับเฟส

2.5.2.2 สัญญาณอินพุตที่ผ่าน Precision half wave rectifier แล้วนำมาเข้าวงจร Inverting amplifier ที่มีอัตราขยายเท่ากับ -2 ได้กราฟสัญญาณดังรูป



รูปที่ 2.16 สัญญาณอินพุตที่ผ่าน Precision half wave rectifier และ Inverting amplifier ที่มี gain -2

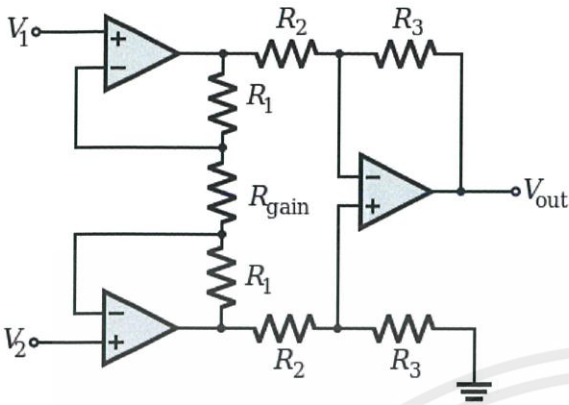
จากสองสัญญาณข้างต้นนำมารวมกัน จะได้สัญญาณ Full wave ดังรูป



รูปที่ 2.17 สัญญาณแบบ Sine wave ที่ผ่าน Precision full wave rectifier

2.6 Instrumentational amplifier

จากวงจรออปแอมป์พื้นฐานได้นำมาสู่ วงจรขยายในเครื่องมือวัด วงจรขยายในเครื่องมือวัด เป็นวงจรขยายที่ได้รับความนิยมใช้กันมากในระบบการ วัดและระบบควบคุม เพราะสามารถปรับอัตราขยายได้ ทั้งนี้เนื่องจากการวัดระบบหนึ่งอาจมีการเชื่อมต่อเพื่อ รับสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณที่ต่างชนิดกัน ซึ่ง สัญญาณที่ได้จากตัวตรวจจับสัญญาณหลายประเภท มักจะมีช่วงของระดับสัญญาณที่แตกต่างกันไป ดังนั้น การปรับอัตราขยายได้จะทำให้ทุกๆ ช่วงของระดับ สัญญาณที่แตกต่างกันไป ดังนั้นการปรับอัตราขยายได้ จะทำให้ทุกๆ ช่วงสัญญาณถูกปรับให้อาท์พุทมีระดับ แรงดันที่เท่ากันทำให้สะดวกในการนำไปเชื่อมต่อกับ วงจรอื่นต่อไป



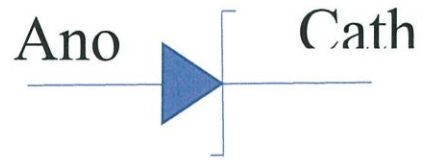
รูปที่ 2.18 Instrumental amplifier diagram

ความต้านทาน R_{gain} จะเป็นตัวปรับอัตราขยายของวงจร จะได้แรงดันเอาท์พุทเป็น

$$\frac{V_{out}}{V_2 - V_1} = \left(1 + \frac{2R_1}{R_{gain}}\right) \frac{R_3}{R_2}$$

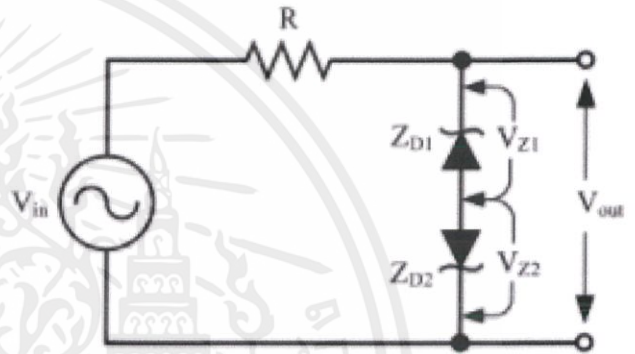
2.7 Zener Diode

ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode) เป็นไดโอดชนิดหนึ่งซึ่งสร้างขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่รักษาแรงดันให้คงที่ มีโครงสร้างเหมือนไดโอดทั่วไปคือมีสารกึ่งตัวนำ 2 ชนิด ได้แก่ ชนิด P และ ชนิด N มีคาแอมป์ (A) และแคโทด (K) เช่นเดียวกับไดโอดอีกด้วย โดยสิ่งที่ซีเนอร์ไดโอดแตกต่างกับไดโอดธรรมดา นั่นคือ ซีเนอร์ไดโอดเป็นไดโอดที่ผลิตขึ้นจากสารซิลิกอนที่มีปริมาณความหนาแน่นของสารเจือปนในส่วนทั้งสองของสาร P และ N มีค่าสูงหรือต่ำกว่าปกติ พร้อมกับมีการผลิตเฉพาะตัว



รูปที่ 2.19 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด

วงจรคลิปปเปอร์ตัดสัญญาณ 2 ช่วง



รูปที่ 2.20 วงจรคลิปปเปอร์ตัดสัญญาณ 2 ด้านแบบใช้ซีเนอร์ไดโอด

(Positive -Negative Clipper) เป็นวงจรตัดสัญญาณแบบขนานที่ต่อไดโอดเข้าวงจร 2 ตัว ตัดสัญญาณบางส่วนทั้งซีกบวก และซีกลบ

2.8 Internet of Things (IoT)

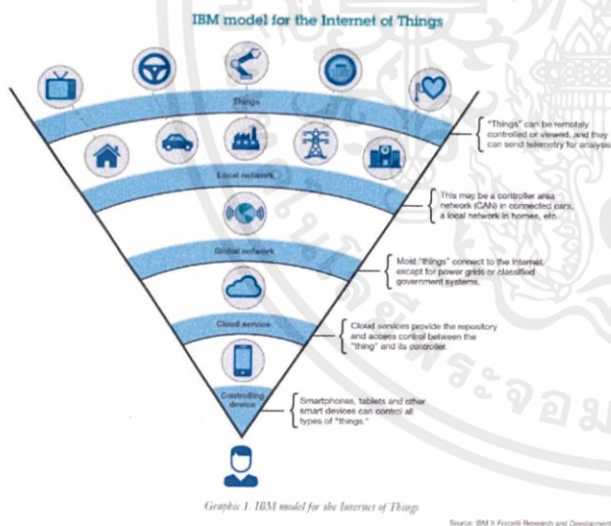
Internet of Things (IoT) หมายถึง การที่อุปกรณ์หรือเครื่องมือต่างๆ เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้า รถยนต์ เครื่องมือสื่อสาร เครื่องมือทางการแพทย์ เป็นต้น เชื่อมต่อกันผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตทำให้สามารถส่งการควบคุมอุปกรณ์เหล่านี้จากระยะไกล การใช้ IoT เป็นการเชื่อมต่อโลกของความเป็นจริงเข้ากับระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพิวเตอร์ส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพและความถูกต้องมากกว่าการทำงานด้วยมนุษย์

เทคโนโลยี IoT จะทำงานได้ต้องอาศัยการทำงานร่วมกับอุปกรณ์ประเภท RFID และ Sensors ซึ่งเป็นตัวช่วยในการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตทำให้อุปกรณ์หรือเครื่องมือต่างๆสามารถส่งข้อมูลถึงกันได้ ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ IoT ในหลายด้าน เช่น Smart Home , Heart Monitoring , DNA Analysis Monitoring เป็นต้น

IoT มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า M2M ย่อมาจาก Machine to Machine คือเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตที่เชื่อมต่ออุปกรณ์กับเครื่องมือต่างๆ เข้าไว้ด้วยกัน



รูปที่ 2.22 Network Layer ของ Internet of Things

2.9 ระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (Augmented Reality)

Augmented Reality หรือ AR เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ผสมเอาโลกแห่งความเป็นจริง (Real) เข้ากับโลกเสมือน (Virtual) ผ่านซอฟต์แวร์และอุปกรณ์เชื่อมต่อต่างๆ ซึ่งจะทำให้ภาพที่เห็นในจอภาพกลายเป็นวัตถุ 3 มิติลอยอยู่เหนือพื้นผิวจริง เทคโนโลยี AR แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ แบบที่ใช้ภาพสัญลักษณ์และแบบที่ใช้ระบบพิกัดในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างข้อมูลบนโลกเสมือนจริง ซึ่งในทางเทคนิคแล้วภาพสัญลักษณ์ที่ใช้ จะนิยมเรียกว่า "Marker" หรืออาจจะเรียกว่า "AR Code" ก็ได้ โดยใช้กล้องเว็บแคมในการรับภาพ เมื่อซอฟต์แวร์ที่เราใช้งานอยู่ประมวลผลรูปภาพเจอสัญลักษณ์ที่กำหนดไว้ก็จะแสดงข้อมูลภาพสามมิติที่ถูกระบุไว้ในโปรแกรมให้เห็น เราสามารถที่จะหมุนดูภาพที่ปรากฏได้ทุกทิศทางหรือเรียกว่าหมุนได้ 360 องศา



รูปที่ 2.23 ตัวอย่างการใช้ระบบสนับสนุนความจริงเสมือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 Vuforia

Vuforia คือ ซอฟต์แวร์แพลตฟอร์มสำหรับพัฒนาแอปพลิเคชันระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (Augmented Reality) โดยผู้ที่พัฒนาแอปพลิเคชันระบบสนับสนุนความจริงเสมือนสามารถเพิ่มฟังก์ชันการประมวลผลต่างๆลงในแอปพลิเคชันได้โดยง่าย เพื่อให้แอปพลิเคชันสามารถรับรู้ได้ถึงรูปภาพหรือวัตถุแล้วแสดงผลออกมาในโลกแห่งความเป็นจริงได้ แพลตฟอร์มVuforiaสนับสนุนการพัฒนาแอปพลิเคชันระบบสนับสนุนความจริงเสมือนสำหรับอุปกรณ์ Android , IOS และ UWP



vuforia™

รูปที่ 2.25 Vuforia

2.11 Unity

Unity คือ เครื่องมือที่ใช้สร้างเกมหรือที่เรียกว่า Game Engine ซึ่งใช้สร้างเกม 3 มิติหรือเกมส์ 2 มิติ โปรแกรม Unity สามารถทำงานได้บน 2 แพลตฟอร์มคือ Window และ OSX และสามารถ Export งานเพื่อนำไปใช้ได้หลายแพลตฟอร์มเช่น Window, OSX, Android, IOS เป็นต้น

Unity จะมองทุกอย่างที่เป็น GameObject ไม่ว่าจะเริ่มต้นไม้ ก้อนหิน หรือสัตว์ โดยที่ GameObject จะทำงานร่วมกับ Component ซึ่งจะทำให้ GameObject สามารถเคลื่อนไหวหรือเปล่งเสียงได้



รูปที่ 2.26 Unity

2.10 Android SDK

การพัฒนา Application Android นั้นต้องใช้ภาษา JAVA ในการเขียนโปรแกรม โดยต้องมีการติดตั้งส่วนเสริมที่มีชื่อว่า ADT หรือ Android Development Tools ซึ่งเป็นส่วนเสริมที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมและโดยที่โปรแกรม Android SDK เป็นโปรแกรมที่รวบรวมไลบรารีต่างๆที่จำเป็นต่อการพัฒนาแอปพลิเคชันและมี Emulator ที่สามารถจำลองระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เพื่อใช้ทดสอบแอปพลิเคชันแอนดรอยด์ได้ Android SDK เป็นโปรแกรมที่ทางบริษัท Google ทำขึ้นเพื่อให้ผู้ที่มีความสนใจในการพัฒนาแอปพลิเคชันสามารถดาวน์โหลดไปใช้พัฒนาแอปพลิเคชันได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย และด้วยเหตุผลนี้ทำให้แอนดรอยด์เป็นระบบปฏิบัติการที่มีแอปพลิเคชันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

3. ออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับไฟฟ้ารั่ว

3.1 การทดลองศึกษาระยะโพรบเซ็นเซอร์

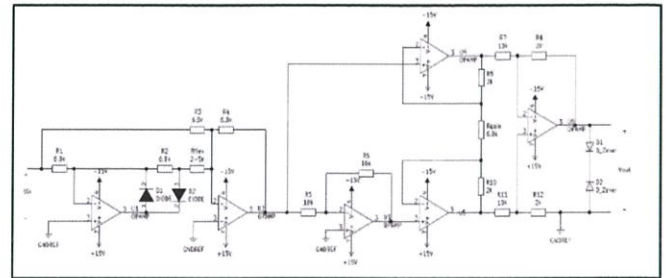
การทดลองศึกษาระยะโพรบเซ็นเซอร์เป็นการทดลองเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบระยะโพรบเซ็นเซอร์ให้สามารถวัดค่ากระแสได้ละเอียดมากที่สุดและยังทำให้รู้ถึงการกระจายตัวของกระแสรั่วไหลในน้ำอีกด้วยซึ่ง

จำเป็นต้องมีการออกแบบการทดลองเพื่อเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าที่รั่วไหลในน้ำที่ตำแหน่งต่างๆ จากนั้นทำการวัดแรงดันที่ระยะโพรบเซ็นเซอร์ค่าต่าง

ความลึกไฟรั่ว	3 cm
ระยะห่างไฟรั่ว	6.5 cm
น้ำสูง	16 cm
โพรบห่างกัน	2 cm
โพรบลึกจากผิวน้ำ	3 cm

3.2 การออกแบบวงจรตรวจจับไฟฟ้ารั่วไหลในน้ำ

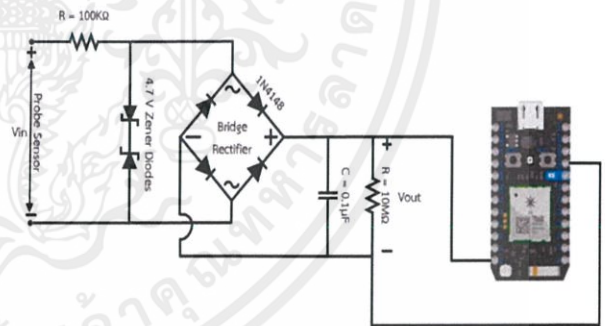
การออกแบบวงจรเพื่อตรวจจับไฟฟ้ารั่วไหลในน้ำดังรูปที่ 3.5 โดยทางผู้วิจัยได้เลือกใช้วงจร Precision Full Wave Rectifier เพื่อแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อง่ายต่อการนำไปเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ และเนื่องจากการวัดค่า Step Voltage ที่ระดับแรงดันน้อยๆนั้น อาจจะไม่เห็นค่าเนื่องจากแรงดันตกคร่อมที่ตัวไดโอด ขจากนั้นเชื่อมต่อกับวงจร Instrumentation Amplifier เพื่อปรับค่าอัตราขยาย และใช้ตัดสัญญาณรบกวนได้ นอกจากนี้ยังมีวงจร Clipper ทำหน้าที่จำกัดแรงดันไม่ให้เกินที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรับได้



รูปที่ 3.11 Circuit Diagram

3.3 การส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูลคลาวด์

การส่งข้อมูลที่วัดได้จากวงจรวัดไฟฟ้ารั่วไหลในน้ำไปยังฐานข้อมูลคลาวด์โดยใช้เทคโนโลยี Internet of Thing (IoT) คือการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยใช้ Particle Photon ซึ่งเป็น Wi-Fi Module สำหรับการทำให้ IoT ทำให้สามารถส่งข้อมูลที่วัดได้ไปเก็บไว้ที่ฐานข้อมูลของ Particle Cloud เพื่อนำมาแสดงผล



รูปที่ 3 วงจรตรวจจับไฟฟ้ารั่วไหลในน้ำ

3.4 การเขียนแอปพลิเคชัน AR

ในการเขียนแอปพลิเคชัน AR ทางผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม Unity ร่วมกับ Vuforia เนื่องจาก Vuforia เป็น AR SDK ที่ใช้งานร่วมกับ Unity ได้ดีที่สุด

และใช้งานง่ายและสามารถเขียนแอปพลิเคชันได้หลายแพลตฟอร์มเช่น Android, IOS เป็นต้น

4.ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองจากการใช้วงจรตรวจวัดเมื่อมีไฟฟ้ารั่วไหลในน้ำเพื่อเปรียบแรงดันขาเข้าและออกจากวงจร



รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองแรงดันขาเข้าและออกจากวงจร

4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแรงดันไฟฟ้ารั่วไหลในน้ำ

4.3.1 แรงดันของตำแหน่งที่เกิดการรั่ว ยิ่งไฟฟ้าที่รั่วมีแรงดันมากเท่าไรจะทำให้เกิดการรั่วไหลเป็นวงกว้างมากขึ้น

4.3.2 ความต้านของน้ำ น้ำมีความเป็นฉนวนในตัวเอง สิ่งที่เป็นตัวนำคือสิ่งที่อยู่ในน้ำเช่นสิ่งสกปรกต่างๆ

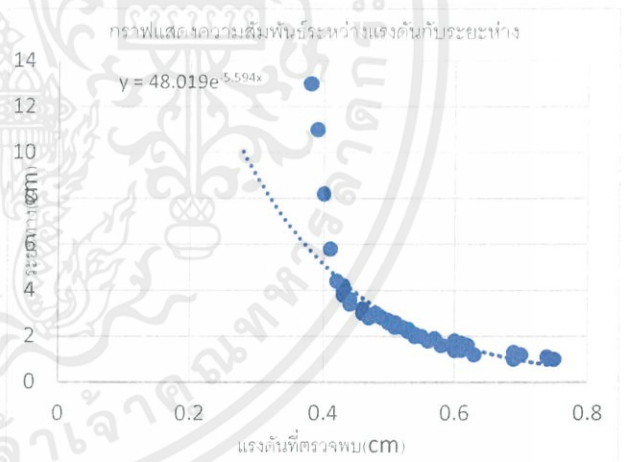
4.3.3 ปริมาณน้ำ เมื่อทำการทดลองใช้แหล่งจ่าย 30 โวลต์จ่ายลงในน้ำสะอาดในปริมาณที่มีความลึกต่างกัน



รูปที่ 4.2.3 กราฟเปรียบเทียบเมื่อวัดแรงดันไฟฟ้ารั่วไหลในน้ำในบริเวณที่มีระดับความลึกมีความต่างกัน

4.4 การประมาณหาระยะทางของแหล่งจ่ายไฟฟ้ารั่วไหลจากการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า

เนื่องจากขนาดแรงดันไฟฟ้ารั่วไหลในน้ำนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเป็นตัวกำหนดดังนั้นเราจึงได้ทำการประมาณหาระยะทางโดยกำหนดตัวแปรต่างๆตามข้อ 3.1



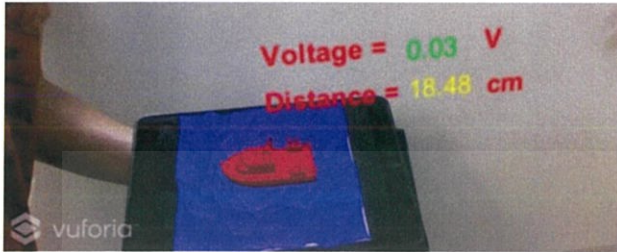
รูปที่ 4.4 กราฟแรงดันเทียบกับระยะทางเพื่อประมาณสมการสามารถประมาณจากโปรแกรมได้เป็น

$$y = 48.019e^{-5.594x} \tag{3}$$

เมื่อ X= แรงดันไฟฟ้ารั่วไหลในน้ำที่วัดได้(V)

Y= ระยะจากจุดวัดได้ถึงแหล่งจ่ายโดยประมาณ(cm)

4.5 การทดสอบแอปพลิเคชันระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (AR)



5.บทสรุป

โครงการวิจัยนี้ได้ออกแบบสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไฟฟ้ารั่วไหลในน้ำ อุปกรณ์นี้สามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้าในน้ำ นอกจากนี้ อุปกรณ์ตรวจจับไฟฟ้ารั่วไหลในน้ำยังสามารถคำนวณประมาณระยะห่างระหว่างจุดกำเนิดแรงดันไฟฟ้าและอุปกรณ์ตรวจจับไฟฟ้ารั่วไหลในน้ำได้อีกด้วย จากนั้นจะส่งค่าแรงดันไฟฟ้าและระยะห่างดังกล่าวไปยัง Application บน android เพื่อป้องกันการเสียชีวิตจากการโดนไฟในน้ำดูด โดยตรวจจับไฟฟ้ารั่วไหลในน้ำได้อย่างง่ายโดยไม่ต้องเข้าไปใกล้กับจุดที่มีไฟฟ้ารั่วไหล

6.กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยจากหลายท่านโดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆมาโดยตลอดจนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณคุณบุญยวีร์ ฉายศิริ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญานิพนธ์มาด้วยดีตลอด

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในห้องปฏิบัติการโครงการที่คอยช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์และการแก้ไขปัญหาด้วยดีมาโดยตลอด

นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ คุณนศรศักดิ์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้เบิกใช้เครื่องมือตลอดจนคุณกมลวรรณเจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จของโครงการ

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจจนทำให้โครงการครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] A Designer's Guide to Instrumentation Amplifier 3rd Edition
- [2] Jie Liu, Farid Paul, Sharon Tee : Analysis of Current Density in Soil for Resistivity Measurements and Electrical Grounding Design
- [3] Raymond M.Fish, and Lesile A. Geddes : Conduction of Electrical Current to and Through the Human Body , D.Dorr, Senior Member , IEEE

[4] Precision Full Wave Rectifier ,(ออนไลน์).

ที่มา <https://www.electronics-tutorial.net/>

[analog-integrated-circuits/precision-rectifier/](https://www.electronics-tutorial.net/analog-integrated-circuits/precision-rectifier/)

[precision-full-wave-rectifier/](https://www.electronics-tutorial.net/precision-full-wave-rectifier/)

[5] Determining Voltage Levels of Concern for Human and Animal Response to AC Current

[6] ทศพล ต้นสมบัติ, “ระบบปฏิบัติการ ANDROID” ,(ออนไลน์).

ที่มา <https://beerkung.wordpress.com/ระบบปฏิบัติการ-android>

[ระบบปฏิบัติการ-android](https://beerkung.wordpress.com/ระบบปฏิบัติการ-android)

[7] ดร.อภิชาติ อนุกุลเวช, “Augmented Reality (AR)”, (ออนไลน์).

ที่มา <http://abhichatdotcom.blogspot.com>

[/2014/12/augmented-reality-ar.html](http://abhichatdotcom.blogspot.com/2014/12/augmented-reality-ar.html)

[8] Photon Datasheet, (ออนไลน์).

ที่มา <https://docs.particle.io/datasheets/>

[photon-\(wifi\)/photon-datasheet/](https://docs.particle.io/datasheets/photon-(wifi)/photon-datasheet/)

[9] ทำความเข้าใจเรื่อง Internet of Things (IoT), (ออนไลน์).

ที่มา <http://www.veedvil.com/news/internet-of-things-iot/>

[net-of-things-iot/](http://www.veedvil.com/news/internet-of-things-iot/)

[10] Internet of things, (ออนไลน์).

ที่มา https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things#Trends_and_characteristics

[of_things#Trends_and_characteristics](https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things#Trends_and_characteristics)

[11] นิตินันท์ ยุกตะนันท์ “สอนทำ AR ตั้งแต่ลง SDK UNITY 2017”, (ออนไลน์).

ที่มา <http://www.mesise.com/mesise-com-sอนทำ-ar-ตั้งแต่ลง-sdk-unity-2017>

[สอนทำ-ar-ตั้งแต่ลง-sdk-unity-2017](http://www.mesise.com/mesise-com-sอนทำ-ar-ตั้งแต่ลง-sdk-unity-2017)

[12] How to create an Augmented Reality App (ออนไลน์).

ที่มา https://www.youtube.com/watch?v=MtiUx_szKbl

[MtiUx_szKbl](https://www.youtube.com/watch?v=MtiUx_szKbl)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Zener Diode

DISCRETE SEMICONDUCTORS

DATA SHEET


1N4728A to 1N4749A
 Voltage regulator diodes

Product specification
 Supersedes data of April 1992

1996 Apr 26

Philips
 Semiconductors


PHILIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage regulator diodes

1N4728A to 1N4749A

FEATURES

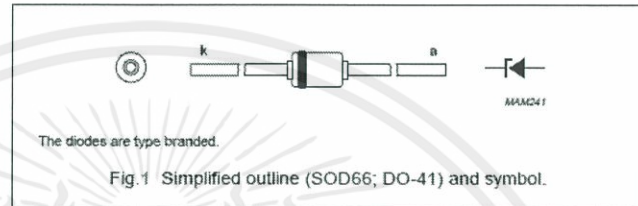
- Total power dissipation:
max. 1000 mW
- Tolerance series: $\pm 5\%$
- Working voltage range:
nom. 3.3 to 24 V.

APPLICATIONS

- Low voltage stabilizers.

DESCRIPTION

Low voltage regulator diodes in hermetically sealed SOD66 (DO-41) packages. The series consists of 22 types with nominal working voltages from 3.3 to 24 V.



LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
I_F	continuous forward current		–	500	mA
I_{ZM}	working current		see Table "Per type"		
I_{ZSM}	non-repetitive peak reverse current		see Table "Per type"		
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} = 50\text{ }^\circ\text{C}$	–	1000	mW
T_{stg}	storage temperature		–65	+200	$^\circ\text{C}$
T_j	junction temperature		–65	+200	$^\circ\text{C}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Total series

$T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$; unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_F	forward voltage	$I_F = 200\text{ mA}$; see Fig.3	–	1.2	V

1990 Apr 26

Per type
 $T_j = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified.

TYPE No.	WORKING VOLTAGE V_Z (V) ⁽¹⁾ at I_{Ztest}	TEST CURRENT I_{Ztest} (mA)	DIFFERENTIAL RESISTANCE			REVERSE CURRENT at REVERSE VOLTAGE		WORKING CURRENT I_{ZM} (mA)	NON-REPETITIVE PEAK REVERSE CURRENT I_{ZSM} (mA) ⁽²⁾
			r_{diff} (Ω) at I_{Ztest}	r_{diff} (Ω) at I_Z	I_Z (mA)	i_R (μA)	V_R (V)		
			MAX.	MAX.					
1N4728A	3.3	76	10	400	1	100	1	276	1380
1N4729A	3.6	69	10	400	1	100	1	252	1260
1N4730A	3.9	64	9	400	1	50	1	234	1190
1N4731A	4.3	58	9	400	1	10	1	217	1070
1N4732A	4.7	53	8	500	1	10	1	193	970
1N4733A	5.1	49	7	550	1	10	1	178	890
1N4734A	5.6	45	5	600	1	10	2	162	810
1N4735A	6.2	41	2	700	1	10	3	146	730
1N4736A	6.8	37	3.5	700	1	10	4	133	660
1N4737A	7.5	34	4	700	0.5	10	5	121	605
1N4738A	8.2	31	4.5	700	0.5	10	6	110	550
1N4739A	9.1	28	5	700	0.5	10	7	100	500
1N4740A	10	25	7	700	0.25	10	7.6	91	454
1N4741A	11	23	8	700	0.25	5	8.4	83	414
1N4742A	12	21	9	700	0.25	5	9.1	76	380
1N4743A	13	19	10	700	0.25	5	9.9	69	344
1N4744A	15	17	14	700	0.25	5	11.4	61	304
1N4745A	16	15.5	16	700	0.25	5	12.2	57	285
1N4746A	18	14	20	750	0.25	5	13.7	50	250
1N4747A	20	12.5	22	750	0.25	5	15.2	45	225
1N4748A	22	11.5	23	750	0.25	5	16.7	41	205
1N4749A	24	10.5	25	750	0.25	5	18.2	38	190

Notes

- V_Z is measured with device at thermal equilibrium while held in clips at 10 mm from body in still air at 25°C .
- Half square wave or equivalent sinewave pulse $1/20$ second duration superimposed on I_{Ztest} .

3

Philips Semiconductors

Voltage regulator diodes

1N4728A to 1N4749A

Product specification

Voltage regulator diodes

1N4728A to 1N4749A

THERMAL CHARACTERISTICS

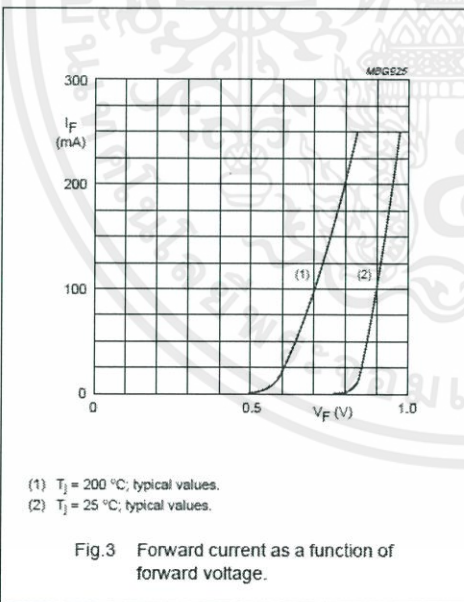
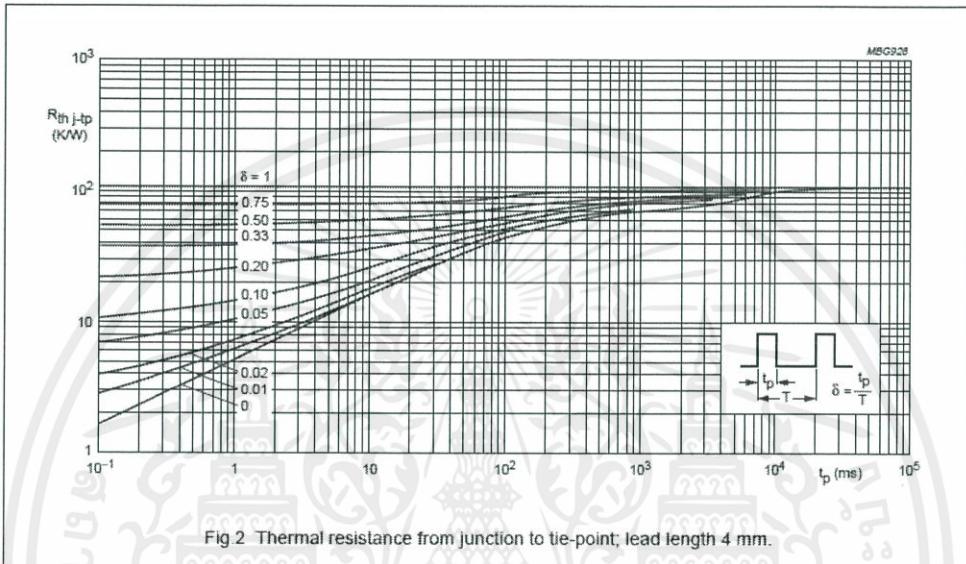
SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{th\ j-tp}$	thermal resistance from junction to tie-point	lead length 4 mm; see Fig.2	110	K/W



Voltage regulator diodes

1N4728A to 1N4749A

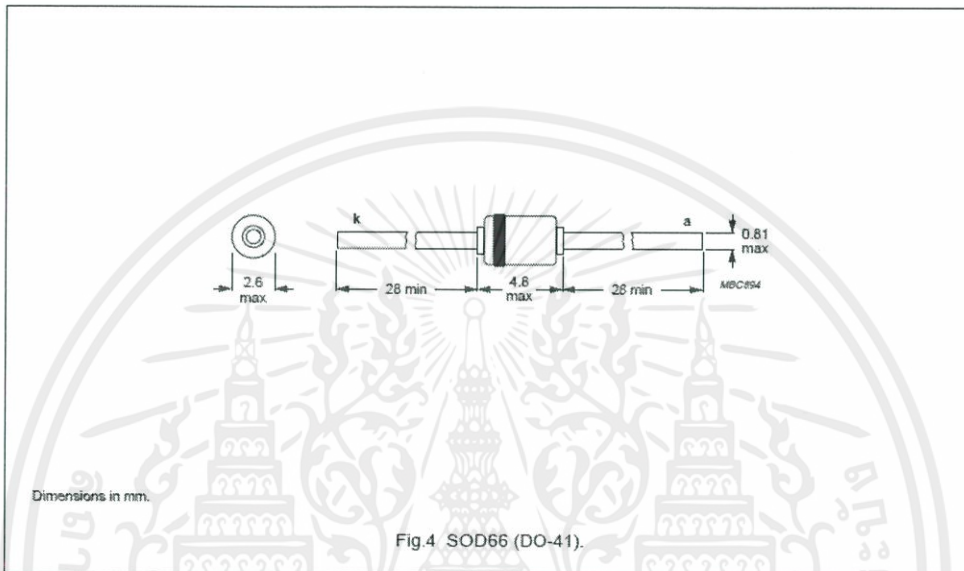
GRAPHICAL DATA



Voltage regulator diodes

1N4728A to 1N4749A

PACKAGE OUTLINE



DEFINITIONS

Data sheet status	
Objective specification	This data sheet contains target or goal specifications for product development.
Preliminary specification	This data sheet contains preliminary data; supplementary data may be published later.
Product specification	<input checked="" type="checkbox"/> This data sheet contains final product specifications.
Limiting values	
Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.	
Application information	
Where application information is given, it is advisory and does not form part of the specification.	


LIFE SUPPORT APPLICATIONS

These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Philips customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips for any damages resulting from such improper use or sale.

Small Signal Diode

DISCRETE SEMICONDUCTORS

DATA SHEET



1N4148; 1N4448
High-speed diodes

Product specification
Supersedes data of 1996 Sep 03

1999 May 25

Philips
Semiconductors



PHILIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

High-speed diodes

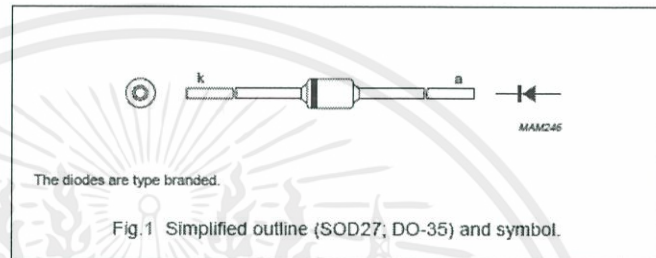
1N4148; 1N4448

FEATURES

- Hermetically sealed leaded glass SOD27 (DO-35) package
- High switching speed: max. 4 ns
- General application
- Continuous reverse voltage: max. 75 V
- Repetitive peak reverse voltage: max. 75 V
- Repetitive peak forward current: max. 450 mA.

DESCRIPTION

The 1N4148 and 1N4448 are high-speed switching diodes fabricated in planar technology, and encapsulated in hermetically sealed leaded glass SOD27 (DO-35) packages.



APPLICATIONS

- High-speed switching.

LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{RRM}	repetitive peak reverse voltage		–	75	V
V_R	continuous reverse voltage		–	75	V
I_F	continuous forward current	see Fig.2; note 1	–	200	mA
I_{FRM}	repetitive peak forward current		–	450	mA
I_{FSM}	non-repetitive peak forward current	square wave; $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ prior to surge; see Fig.4			
		$t = 1\text{ }\mu\text{s}$	–	4	A
		$t = 1\text{ ms}$	–	1	A
		$t = 1\text{ s}$	–	0.5	A
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$; note 1	–	500	mW
T_{stg}	storage temperature		–65	+200	$^\circ\text{C}$
T_j	junction temperature		–	200	$^\circ\text{C}$

Note

1. Device mounted on an FR4 printed circuit-board; lead length 10 mm.

High-speed diodes

1N4148; 1N4448

ELECTRICAL CHARACTERISTICS $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_F	forward voltage 1N4148 1N4448	see Fig.3 $I_F = 10\text{ mA}$	-	1	V
		$I_F = 5\text{ mA}$	0.62	0.72	V
		$I_F = 100\text{ mA}$	-	1	V
I_R	reverse current	$V_R = 20\text{ V}$; see Fig.5	-	25	nA
		$V_R = 20\text{ V}$; $T_j = 150\text{ }^\circ\text{C}$; see Fig.5	-	50	μA
I_R	reverse current; 1N4448	$V_R = 20\text{ V}$; $T_j = 100\text{ }^\circ\text{C}$; see Fig.5	-	3	μA
C_d	diode capacitance	$f = 1\text{ MHz}$; $V_R = 0$; see Fig.6	-	4	pF
t_{rr}	reverse recovery time	when switched from $I_F = 10\text{ mA}$ to $I_R = 60\text{ mA}$; $R_L = 100\ \Omega$; measured at $I_R = 1\text{ mA}$; see Fig.7	-	4	ns
V_{fr}	forward recovery voltage	when switched from $I_F = 50\text{ mA}$; $t_r = 20\text{ ns}$; see Fig.8	-	2.5	V

THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{th\ j-tp}$	thermal resistance from junction to tie-point	lead length 10 mm	240	K/W
$R_{th\ j-a}$	thermal resistance from junction to ambient	lead length 10 mm; note 1	350	K/W

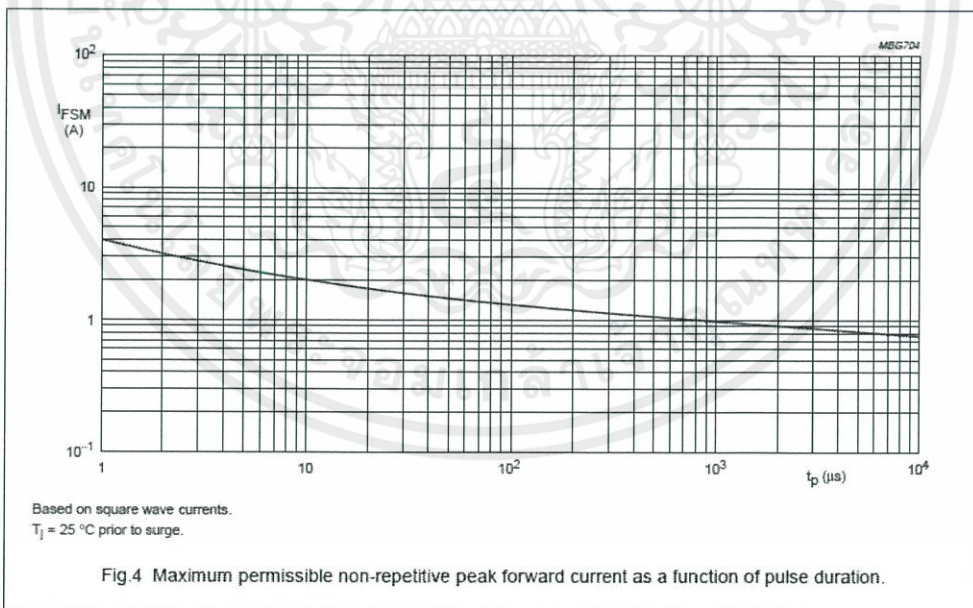
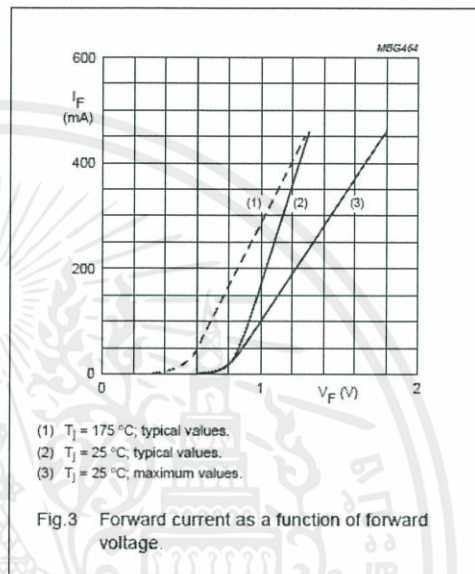
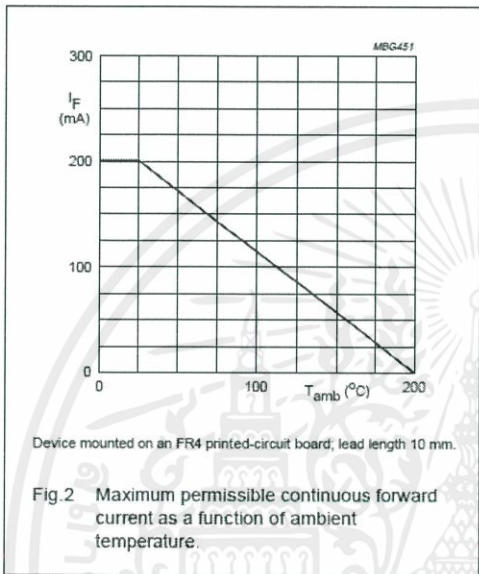
Note

1. Device mounted on a printed circuit-board without metallization pad.

High-speed diodes

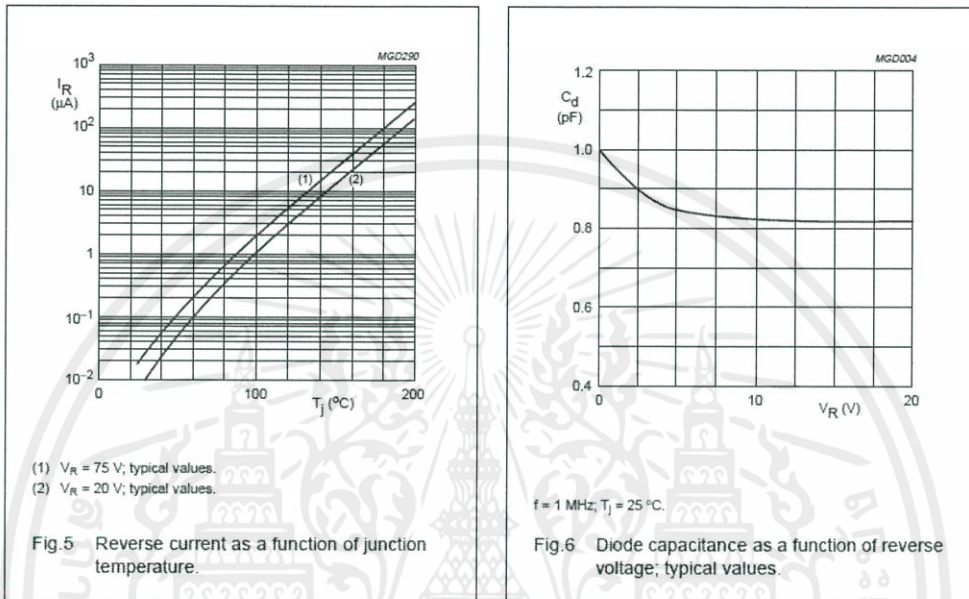
1N4148; 1N4448

GRAPHICAL DATA



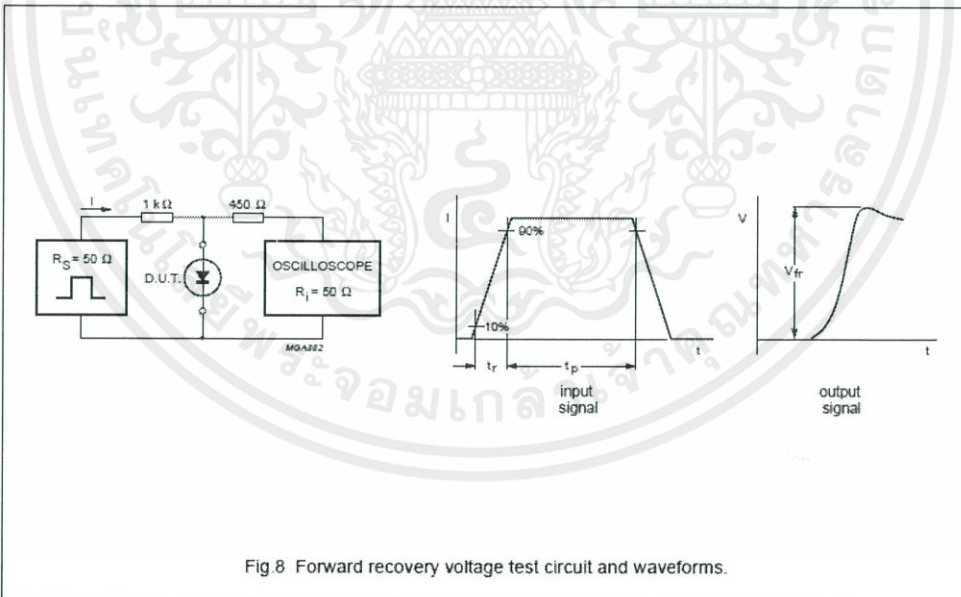
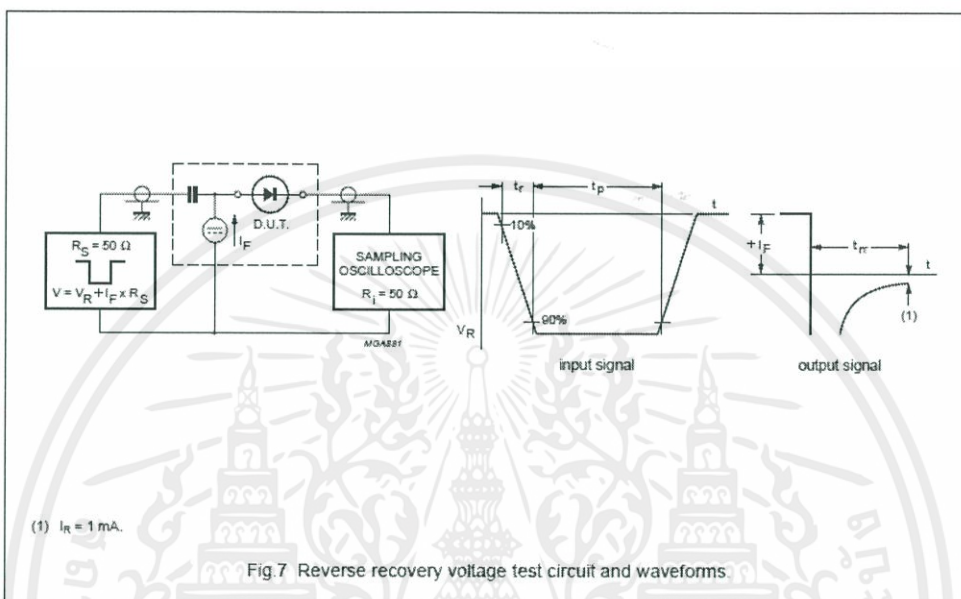
High-speed diodes

1N4148; 1N4448



High-speed diodes

1N4148; 1N4448



High-speed diodes

1N4148; 1N4448

PACKAGE OUTLINE

Hermetically sealed glass package; axial leaded; 2 leads

SOD27

DIMENSIONS (mm are the original dimensions)

UNIT	b max.	D max.	G ₁ max.	L min.
mm	0.56	1.65	4.25	25.4

Note
1. The marking band indicates the cathode.

OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ		
SOD27	A24	DO-35	SC-40		97-06-09

0 1 2 mm scale

DEFINITIONS

Data Sheet Status	
Objective specification	This data sheet contains target or goal specifications for product development.
Preliminary specification	This data sheet contains preliminary data; supplementary data may be published later.
Product specification	This data sheet contains final product specifications.
Limiting values	
Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.	
Application information	
Where application information is given, it is advisory and does not form part of the specification.	

LIFE SUPPORT APPLICATIONS

These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Philips customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips for any damages resulting from such improper use or sale.

1999 May 25

7

Philips Semiconductors – a worldwide company

Argentina: see South America
 Australia: 34 Waterloo Road, NORTH RYDE, NSW 2113, Tel. +61 2 9805 4455, Fax. +61 2 9805 4466
 Austria: Computerstr. 6, A-1101 WIEN, P.O. Box 213, Tel. +43 1 60 101 1248, Fax. +43 1 60 101 1210
 Belarus: Hotel Minsk Business Center, Bld. 3, r. 1211, Volodarski Str. 6, 220050 MINSK, Tel. +375 172 20 0733, Fax. +375 172 20 0773
 Belgium: see The Netherlands
 Brazil: see South America
 Bulgaria: Philips Bulgaria Ltd., Energoprojekt, 15th floor, 51 James Bourchier Blvd., 1407 SOFIA, Tel. +359 2 68 9211, Fax. +359 2 68 9102
 Canada: PHILIPS SEMICONDUCTORS/COMPONENTS, Tel. +1 800 234 7381, Fax. +1 800 943 0087
 China/Hong Kong: 501 Hong Kong Industrial Technology Centre, 72 Tat Chee Avenue, Kowloon Tong, HONG KONG, Tel. +852 2319 7888, Fax. +852 2319 7700
 Colombia: see South America
 Czech Republic: see Austria
 Denmark: Sydhavnsgade 23, 1780 COPENHAGEN V, Tel. +45 33 29 3333, Fax. +45 33 29 3905
 Finland: Sinkkialontie 3, FIN-02630 ESPOO, Tel. +358 9 615 800, Fax. +358 9 6158 0920
 France: 51 Rue Carnot, BP317, 92156 SURESNES Cedex, Tel. +33 1 4099 6161, Fax. +33 1 4099 6427
 Germany: Hammerbrookstraße 69, D-20097 HAMBURG, Tel. +49 40 2353 60, Fax. +49 40 2353 6300
 Hungary: see Austria
 India: Philips INDIA Ltd, Band Box Building, 2nd floor, 254-D, Dr. Annie Besant Road, Worli, MUMBAI 400 025, Tel. +91 22 493 6541, Fax. +91 22 493 0966
 Indonesia: PT Philips Development Corporation, Semiconductors Division, Gedung Philips, Jl. Buncit Raya Kav.99-100, JAKARTA 12510, Tel. +62 21 794 0040 ext. 2501, Fax. +62 21 794 0080
 Ireland: Newstead, Clonskeagh, DUBLIN 14, Tel. +353 1 7640 000, Fax. +353 1 7640 200
 Israel: RAPAC Electronics, 7 Kehilat Saloniki St, PO Box 18053, TEL AVIV 61180, Tel. +972 3 645 0444, Fax. +972 3 649 1007
 Italy: PHILIPS SEMICONDUCTORS, Piazza IV Novembre 3, 20124 MILANO, Tel. +39 02 67 52 2531, Fax. +39 02 67 52 2557
 Japan: Philips Bldg 13-37, Kohnan 2-chome, Minato-ku, TOKYO 108-8507, Tel. +81 3 3740 5130, Fax. +81 3 3740 5057
 Korea: Philips House, 260-199 Itaewon-dong, Yongsan-ku, SEOUL, Tel. +82 2 709 1412, Fax. +82 2 709 1415
 Malaysia: No. 76 Jalan Universiti, 46200 PETALING JAYA, SELANGOR, Tel. +60 3 750 5214, Fax. +60 3 757 4880
 Mexico: 5900 Gateway East, Suite 200, EL PASO, TEXAS 79905, Tel. +9-5 800 234 7381, Fax. +9-5 800 943 0087
 Middle East: see Italy
 Netherlands: Postbus 90050, 5600 PB EINDHOVEN, Bldg. VB, Tel. +31 40 27 82785, Fax. +31 40 27 88399
 New Zealand: 2 Wagener Place, C.P.O. Box 1041, AUCKLAND, Tel. +64 9 849 4160, Fax. +64 9 849 7811
 Norway: Box 1, Manglerud 0612, OSLO, Tel. +47 22 74 8000, Fax. +47 22 74 8341
 Pakistan: see Singapore
 Philippines: Philips Semiconductors Philippines Inc., 106 Valero St. Salcedo Village, P.O. Box 2108 MCC, MAKATI, Metro MANILA, Tel. +63 2 816 6380, Fax. +63 2 817 3474
 Poland: Ul. Lukiska 10, PL 04-123 WARSZAWA, Tel. +48 22 612 2831, Fax. +48 22 612 2327
 Portugal: see Spain
 Romania: see Italy
 Russia: Philips Russia, Ul. Usatcheva 35A, 119048 MOSCOW, Tel. +7 095 755 6918, Fax. +7 095 755 6919
 Singapore: Lorong 1, Toa Payoh, SINGAPORE 319762, Tel. +65 350 2538, Fax. +65 251 6500
 Slovakia: see Austria
 Slovenia: see Italy
 South Africa: S.A. PHILIPS Pty Ltd., 195-215 Main Road Martindale, 2092 JOHANNESBURG, P.O. Box 58088 Newville 2114, Tel. +27 11 471 5401, Fax. +27 11 471 5398
 South America: Al. Vicente Pinzon, 173, 6th floor, 04547-130 SÃO PAULO, SP, Brazil, Tel. +55 11 821 2333, Fax. +55 11 821 2382
 Spain: Balmes 22, 08007 BARCELONA, Tel. +34 93 301 6312, Fax. +34 93 301 4107
 Sweden: Kottbygatan 7, Akalla, S-16485 STOCKHOLM, Tel. +46 8 5965 2000, Fax. +46 8 5985 2745
 Switzerland: Allmendstrasse 140, CH-8027 ZÜRICH, Tel. +41 1 488 2741 Fax. +41 1 488 3263
 Taiwan: Philips Semiconductors, 6F, No. 96, Chien Kuo N. Rd., Sec. 1, TAIPEI, Taiwan Tel. +886 2 2134 2886, Fax. +886 2 2134 2874
 Thailand: PHILIPS ELECTRONICS (THAILAND) Ltd., 209/2 Sanpavuth-Bangna Road Prakanong, BANGKOK 10260, Tel. +66 2 745 4090, Fax. +66 2 398 0793
 Turkey: Yukari Dudullu, Org. San. Blg., 2.Cad. Nr. 28 81260 Umraniye, ISTANBUL, Tel. +90 216 522 1500, Fax. +90 216 522 1813
 Ukraine: PHILIPS UKRAINE, 4 Patrice Lumumba str., Building B, Floor 7, 252042 KIEV, Tel. +380 44 264 2776, Fax. +380 44 268 0481
 United Kingdom: Philips Semiconductors Ltd., 276 Bath Road, Hayes, MIDDLESEX UB3 5BX, Tel. +44 181 730 5000, Fax. +44 181 754 8421
 United States: 811 East Arques Avenue, SUNNYVALE, CA 94088-3409, Tel. +1 800 234 7381, Fax. +1 800 943 0087
 Uruguay: see South America
 Vietnam: see Singapore
 Yugoslavia: PHILIPS, Trg M. Pasica 5A, 11000 BEOGRAD, Tel. +381 11 62 5344, Fax. +381 11 63 5777

For all other countries apply to: Philips Semiconductors, International Marketing & Sales Communications, Building BE-p, P.O. Box 218, 5600 MD EINDHOVEN, The Netherlands, Fax. +31 40 27 24825

Internet: <http://www.semiconductors.philips.com>

© Philips Electronics N.V. 1999

SCA65

All rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner.

The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice. No liability will be accepted by the publisher for any consequence of its use. Publication thereof does not convey nor imply any license under patent- or other industrial or intellectual property rights.

Printed in The Netherlands

116002/03/pp8

Date of release: 1999 May 25

Document order number: 6397 750 05892

Let's make things better.

Philips
Semiconductors



PHILIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Operation Amplifier UA741



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GENERAL PURPOSE SINGLE OPERATIONAL AMPLIFIERS

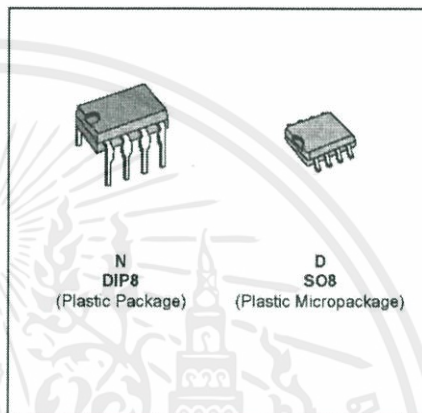
- LARGE INPUT VOLTAGE RANGE
- NO LATCH-UP
- HIGH GAIN
- SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- NO FREQUENCY COMPENSATION REQUIRED
- SAME PIN CONFIGURATION AS THE UA709
- ESD INTERNAL PROTECTION

DESCRIPTION

The UA741 is a high performance monolithic operational amplifier constructed on a single silicon chip. It is intended for a wide range of analog applications.

- Summing amplifier
- Voltage follower
- Integrator
- Active filter
- Function generator

The high gain and wide range of operating voltages provide superior performances in integrator, summing amplifier and general feedback applications. The internal compensation network (6dB / octave) insures stability in closed loop circuits.

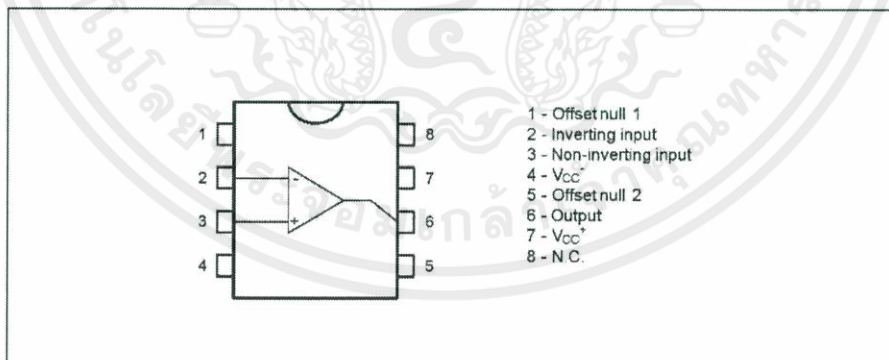


ORDER CODES

Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
UA741C/E	0°C, +70°C	•	•
UA741I	-40°C, +105°C	•	•
UA741M/A	-55°C, +125°C	•	•

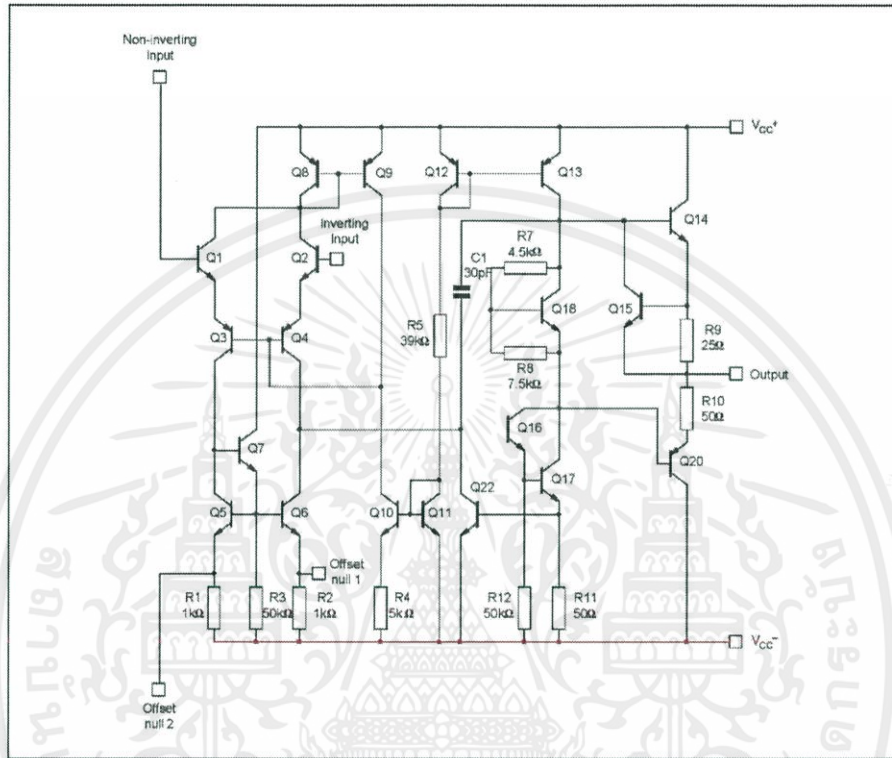
Example : UA741CN

PIN CONNECTIONS (top view)



UA741

SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	UA741M-A	UA741I	UA741C-E	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	±22	±22	±22	V
V _i	Input Voltage - (note 1)	±15	±15	±15	V
V _{id}	Differential Input Voltage	±30	±30	±30	V
P _{tot}	Power Dissipation	500	500	500	mW
	Output Short-circuit Duration	Infinite			
T _{oper}	Operating Free Air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
T _{stg}	Storage Temperature Range	-65 to +150	-65 to +150	-65 to +150	°C

Note : 1. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the positive and negative supply voltage.

UA741

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

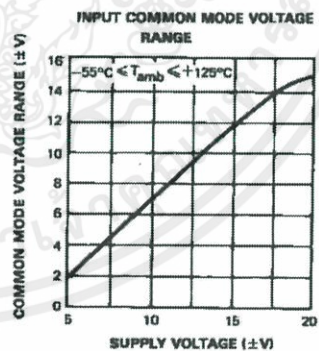
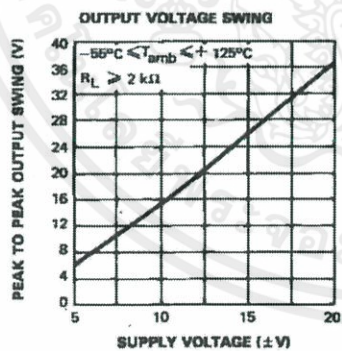
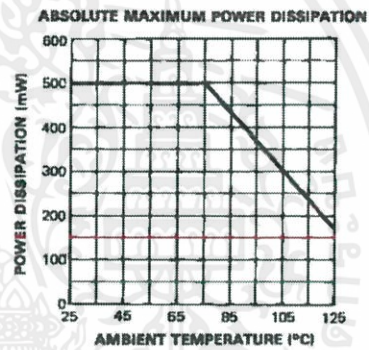
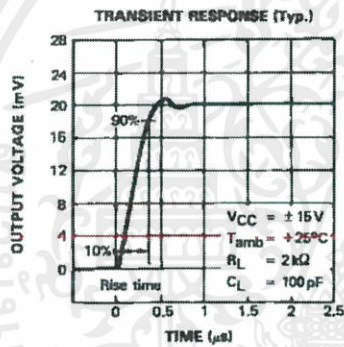
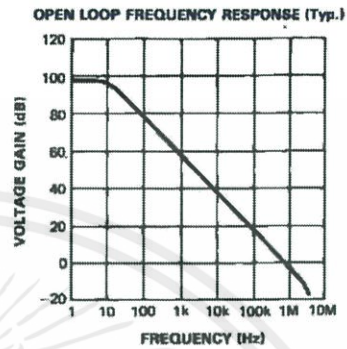
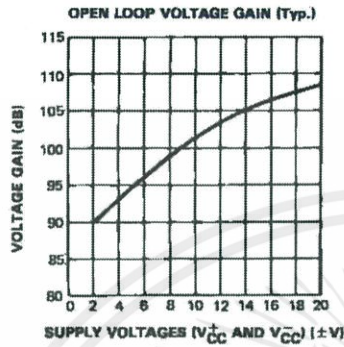
 $V_{CC} = \pm 15V$, $T_{amb} = 25^{\circ}C$ (unless otherwise specified)

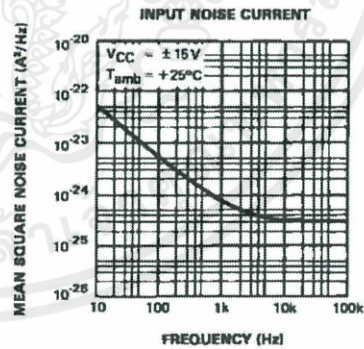
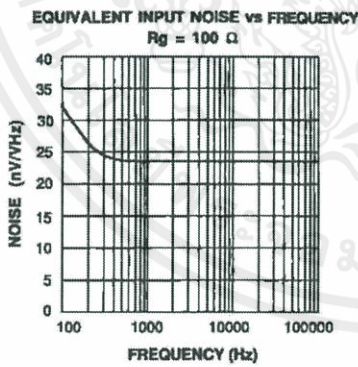
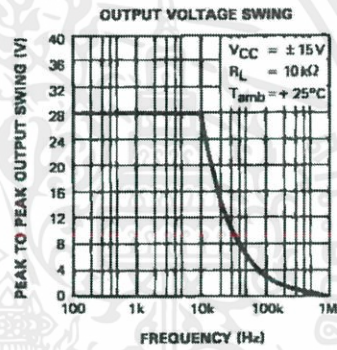
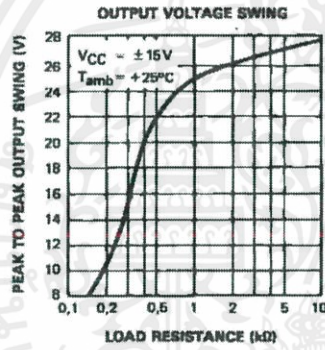
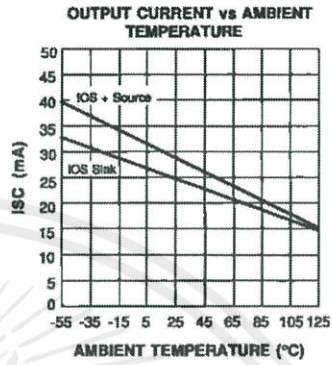
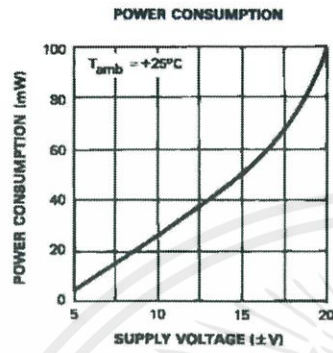
Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_{io}	Input Offset Voltage ($R_s \leq 10k\Omega$) $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ UA741E, A $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1	5 6	mV
i_{io}	Input Offset Current $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		2	30 70	nA
i_{ib}	Input Bias Current $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		10	100 200	nA
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain ($V_o = \pm 10V$, $R_L = 2k\Omega$) $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	50 25	200		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ($R_s \leq 10k\Omega$) $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	77 77	90		dB
I_{CC}	Supply Current, no load $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1	2.8 3.3	mA
V_{cm}	Input Common Mode Voltage Range $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	± 12 ± 12			V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ($R_s \leq 10k\Omega$) $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	70 70	90		dB
I_{os}	Output Short-circuit Current	10	35		mA
$\pm V_{OPP}$	Output Voltage Swing $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $R_L = 10k\Omega$ $R_L = 2k\Omega$ $R_L = 10k\Omega$ $R_L = 2k\Omega$	12 10 12 10	14 13		V
SR	Slew Rate ($V_i = \pm 10V$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $T_{amb} = 25^{\circ}C$, unity gain)	0.25	0.5		V/ μ s
t_r	Rise Time ($V_i = \pm 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $T_{amb} = 25^{\circ}C$, unity gain)		0.3		μ s
K_{OV}	Overshoot ($V_i = \pm 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $T_{amb} = 25^{\circ}C$, unity gain)		5		%
R_i	Input Resistance	0.3	2		M Ω
GBP	Gain Bandwidth Product ($V_i = 10mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $f = 100kHz$)	0.7	1		MHz
THD	Total Harmonic Distortion ($f = 1kHz$, $A_v = 20dB$, $R_L = 2k\Omega$, $V_o = 2V_{PP}$, $C_L = 100pF$, $T_{amb} = 25^{\circ}C$)		0.06		%
e_n	Equivalent Input Noise Voltage ($f = 1kHz$, $R_s = 100\Omega$)		23		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
ϕ_m	Phase Margin		70		Degrees

741-031B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UA741

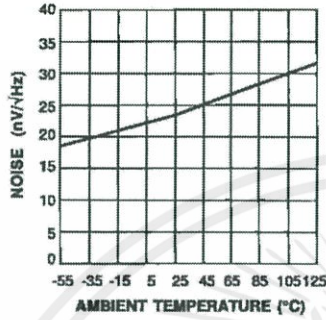




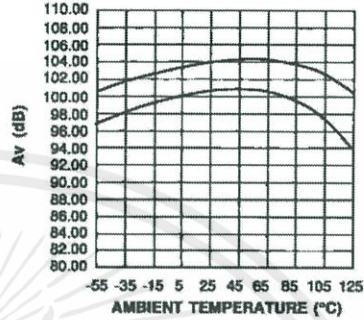
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UA741

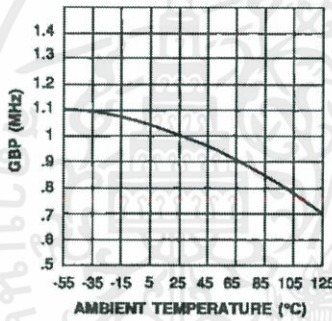
EQUIVALENT INPUT NOISE vs AMBIENT TEMPERATURE



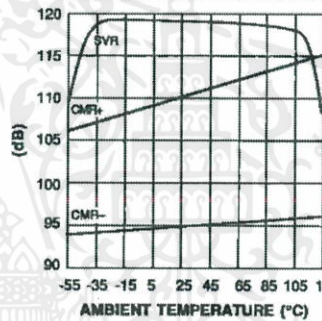
LARGE SIGNAL VOLTAGE GAIN vs AMBIENT TEMPERATURE



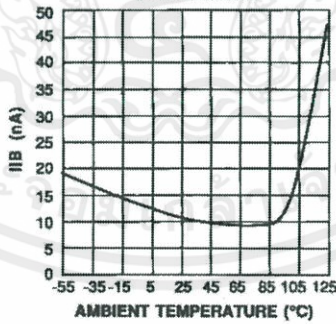
GAIN BANDWIDTH PRODUCT vs AMBIENT TEMPERATURE



POWER SUPPLY & COMMON MODE REJECTION RATIO vs AMBIENT TEMPERATURE



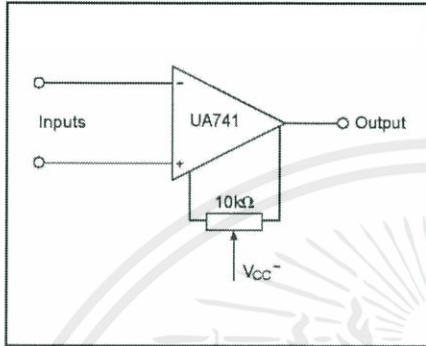
INPUT BIAS CURRENT vs AMBIENT TEMPERATURE



UA741

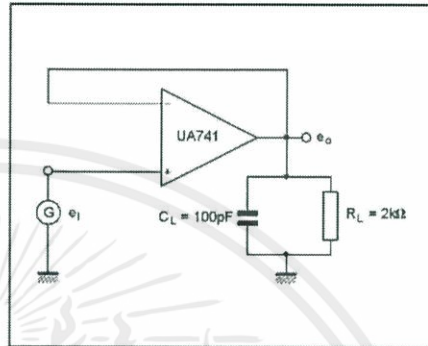
MEASUREMENT DIAGRAMS

OFFSET VOLTAGE NULL CIRCUIT



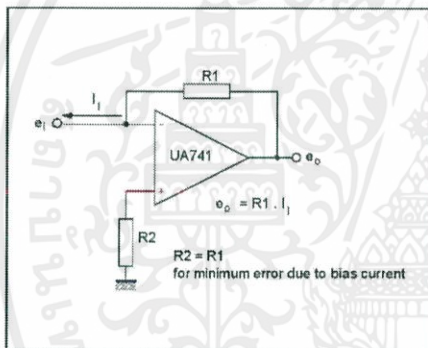
741-21-EP5

TRANSIENT RESPONSE TEST CIRCUIT



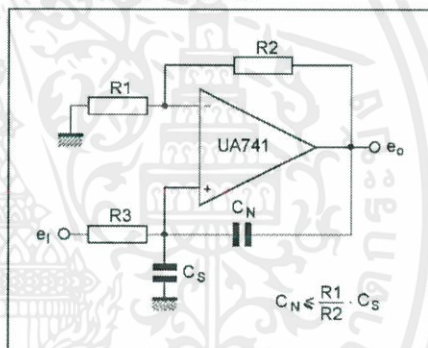
741-22-EP5

CURRENT TO VOLTAGE CONVERTER



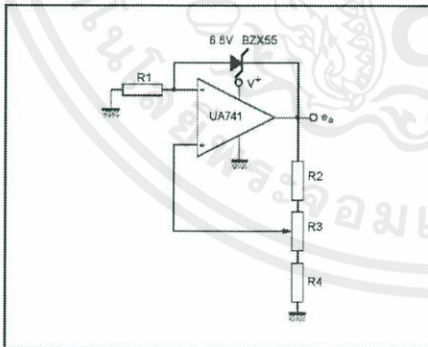
741-23-EP5

NEUTRALIZING INPUT CAPACITANCE TO OPTIMIZE RESPONSE TIME



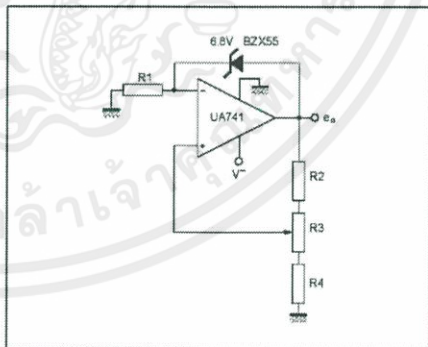
741-24-EP5

POSITIVE VOLTAGE REFERENCE



741-25-EP5

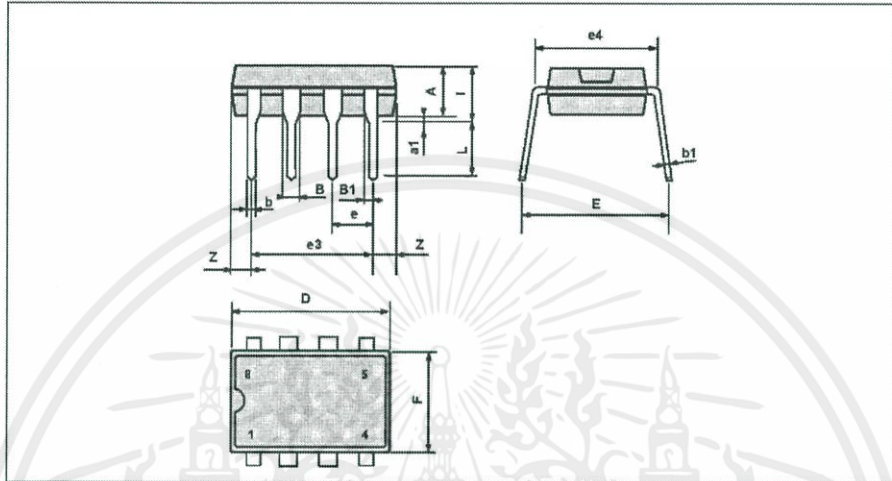
NEGATIVE VOLTAGE REFERENCE



741-26-EP5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

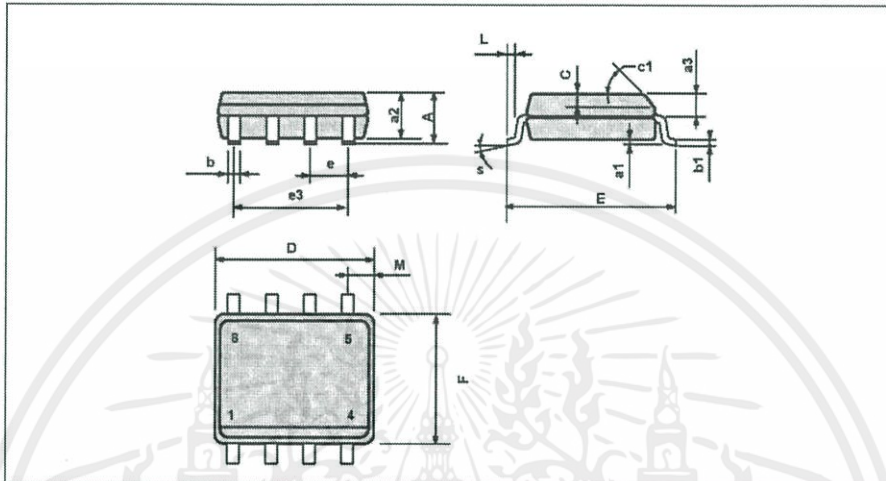
UA741

PACKAGE MECHANICAL DATA
 8 PINS - PLASTIC DIP OR CERDIP


Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A		3.32			0.131	
a1	0.51			0.020		
B	1.15		1.65	0.045		0.065
b	0.356		0.55	0.014		0.022
b1	0.204		0.304	0.008		0.012
D			10.92			0.430
E	7.95		9.75	0.313		0.384
e		2.54			0.100	
e3		7.62			0.300	
e4		7.62			0.300	
F			6.6			0.260
i			5.08			0.200
L	3.18		3.81	0.125		0.150
Z			1.52			0.060

UA741

PACKAGE MECHANICAL DATA
8 PINS - PLASTIC MICROPACKAGE (SO)



Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.25	0.004		0.010
a2			1.65			0.065
a3	0.65		0.85	0.026		0.033
b	0.35		0.48	0.014		0.019
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C	0.25		0.5	0.010		0.020
c1			45° (typ.)			
D	4.8		5.0	0.189		0.197
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		3.81			0.150	
F	3.8		4.0	0.150		0.157
L	0.4		1.27	0.016		0.050
M			0.6			0.024
S			8° (max.)			

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, SGS-THOMSON Microelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No licence is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of SGS-THOMSON Microelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. SGS-THOMSON Microelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of SGS-THOMSON Microelectronics.

1995 SGS-THOMSON Microelectronics - All Rights Reserved

SGS-THOMSON Microelectronics GROUP OF COMPANIES

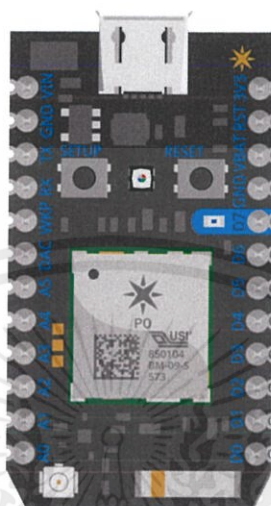
Australia - Brazil - France - Germany - Hong Kong - Italy - Japan - Korea - Malaysia - Malta - Morocco - The Netherlands
 Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - Taiwan - Thailand - United Kingdom - U.S.A.

SGS-THOMSON
 MICROELECTRONICS

9/9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Particle Photon



Functional description

1. Overview

Particle's Internet of Things hardware development kit, the Photon, provides everything you need to build a connected product. Particle combines a powerful ARM Cortex M3 micro-controller with a Broadcom Wi-Fi chip in a tiny thumbnail-sized module called the PØ (P-zero).

To get you started quickly, Particle adds a rock solid 3.3VDC SMPS power supply, RF and user interface components to the PØ on a small single-sided PCB called the Photon. The design is open source, so when you're ready to integrate the Photon into your product, you can.

The Photon comes in two physical forms: with headers and without. Prototyping is easy with headers as the Photon plugs directly into standard breadboards and perfboards, and may also be mounted with 0.1" pitch female headers on a PCB. To minimize space required, the Photon form factor without headers has castellated edges. These make it possible to surface mount the Photon directly onto your PCB.

2.Features

Particle PØ Wi-Fi module

Broadcom BCM43362 Wi-Fi chip

802.11b/g/n Wi-Fi

STM32F205RGY6 120Mhz ARM Cortex M3

1MB flash, 128KB RAM

On-board RGB status LED (ext. drive provided)

18 Mixed-signal GPIO and advanced peripherals

Open source design

Real-time operating system (FreeRTOS)

Soft AP setup

FCC, CE and IC certified

3.Power

Power to the Photon is supplied via the on-board USB Micro B connector or directly via the VIN pin. If power is supplied directly to the VIN pin, the voltage should be regulated between 3.6VDC and 5.5VDC. When the Photon is powered via the USB port, VIN will output a voltage of approximately 4.8VDC due to a reverse polarity protection series schottky diode between V+ of USB and VIN. When used as an output, the max load on VIN is 1A. 3V3 can also be used as an output, but has a limited overhead of only 100mA available. (Please refer to Absolute Maximum Ratings for more info).

Typical average current consumption is 80mA with 5V @ VIN with Wi-Fi on. Deep sleep quiescent current is typically 80uA (Please refer to Recommended Operating

Conditions for more info). When powering the Photon from the USB connector, make sure to use a quality cable to minimize IR drops (current x resistance = voltage) in the wiring. If a high resistance cable (i.e., low current) is used, peak currents drawn from the Photon when transmitting and receiving will result in voltage sag at the input which may cause a system brown out or intermittent operation. Likewise, the power source should be sufficient enough to source 1A of current to provide an adequate amount of current overhead (especially if powering additional circuitry off of VIN).

Warning: When powering the Photon from long wires on USB and VIN, care should be taken to protect against damaging voltage transients. From the Richtek datasheet:

To avoid these voltage spikes, keep input wiring as short as possible. If long wires are unavoidable, it is advisable to add a 5.1V zener diode or similar transient suppression device from VIN to GND. Another technique is adding more capacitance to the input using an electrolytic capacitor. Please refer to AN-88 by Linear for a good discussion on this topic.

4.RF

The RF section of the Photon is a finely tuned impedance controlled network of components that optimize the efficiency and sensitivity of the Wi-Fi communications.

An RF feed line runs from the P0 module into a SPDT RF-switch. Logic level control lines on the P0 module select which of the two ports of the RF-switch is connected to the RF feed line. A 100pF decoupling capacitor is located on each control line. One port is connected to a PCB ceramic chip antenna, and the other is connected to a u.FL connector for external antenna adaptation. The default port will be set to the chip antenna.

Additionally, a user API is available to switch between internal, external and even an automatic mode which continuously switches between each antenna and selects the

best signal. All three RF ports on the RF-switch have a 10pF RF quality DC-blocking capacitor in series with them. These effectively pass 2.4GHz frequencies freely while blocking unwanted DC voltages from damaging the RF-switch. All RF traces are considered as tiny transmission lines that have a controlled 50 ohm impedance.

The chip antenna is impedance matched to the 50 ohm RF feed line via a Pi network comprised of three RF inductors (1 series, 2 shunt). These values are quite specific to the Photon due to the PCB construction and layout of the RF section. Even if the Photon's layout design is copied exactly, to achieve the best performance it would be worth re-examining the Pi network values on actual samples of the PCB in question.

5.FCC Approved Antennas

Antenna Type	Manufacturer	MFG. Part #	Gain
Dipole antenna	LumenRadio	104-1001	2.15dBi
Chip antenna	Advanced Ceramic X	AT7020-E3R0HBA	1.3dBi

6.Peripherals and GPIO

The Photon has ton of capability in a small footprint, with analog, digital and communication interfaces.

Peripheral Type	Qty	Input(I) / Output(O)	FT ^[1] / 3V3 ^[2]
Digital	18	I/O	FT/3V3

Peripheral Type	Qty	Input(I) / Output(O)	FT ^[1] / 3V3 ^[2]
Analog (ADC)	8	I	3V3
Analog (DAC)	2	O	3V3
SPI	2	I/O	3V3
I2S	1	I/O	3V3
I2C	1	I/O	FT
CAN	1	I/O	3V3 ^[4]
USB	1	I/O	3V3
PWM	9 ^[3]	O	3V3

Notes:

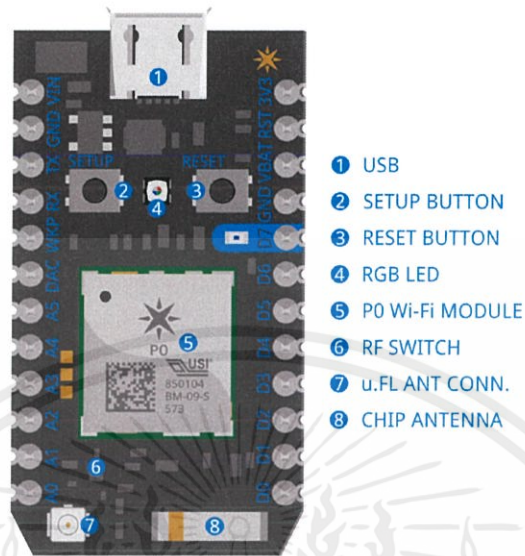
[1] FT = 5.0V tolerant pins. All pins except A3 and DAC are 5V tolerant (when not in analog mode). If used as a 5V input the pull-up/pull-down resistor must be disabled.

[2] 3V3 = 3.3V max pins.

[3] PWM is available on D0, D1, D2, D3, A4, A5, WKP, RX, TX with a caveat: PWM timer peripheral is duplicated on two pins (A5/D2) and (A4/D3) for 7 total independent PWM outputs. For example: PWM may be used on A5 while D2 is used as a GPIO, or D2 as a PWM while A5 is used as an analog input. However A5 and D2 cannot be used as independently controlled PWM outputs at the same time.

[4] Technically these pins are 5.0V tolerant, but since you wouldn't operate them with a 5.0V transceiver it's proper to classify them as 3.3V.

Pin and button definition



1. Pin description

Pin	Description
VIN	This pin can be used as an input or output. As an input, supply 3.6 to 5.5VDC to power the Photon. When the Photon is powered via the USB port, this pin will output a voltage of approximately 4.8VDC due to a reverse polarity protection series Schottky diode between VUSB and VIN. When used as an output, the max load on VIN is 1A.
RST	Active-low reset input. On-board circuitry contains a 1k ohm pull-up resistor between RST and 3V3, and 0.1uF capacitor between RST and GND.
VBAT	Supply to the internal RTC, backup registers and SRAM when 3V3 is not present (1.65 to 3.6VDC).
3V3	This pin is the output of the on-board regulator and is internally connected to the VDD of the Wi-Fi module. When powering the Photon via VIN or the USB port, this pin will output a voltage of 3.3VDC. This pin can also be used to power the Photon directly (max input 3.3VDC). When used as an output, the max load on 3V3 is 100mA. NOTE: When powering the Photon via this pin,

Pin	Description
	ensure power is disconnected from VIN and USB.
RX	Primarily used as UART RX, but can also be used as a digital GPIO or PWM ^[2] .
TX	Primarily used as UART TX, but can also be used as a digital GPIO or PWM ^[2] .
WKP	Active-high wakeup pin, wakes the module from sleep/standby modes. When not used as a WAKEUP, this pin can also be used as a digital GPIO, ADC input or PWM ^[2] . Can be referred to as A7 when used as an ADC.
DAC	12-bit Digital-to-Analog (D/A) output (0-4095), referred to as DAC or DAC1 in software. Can also be used as a digital GPIO or ADC. Can be referred to as A6 when used as an ADC. A3 is a second DAC output used as DAC2 in software.
A0~A7	12-bit Analog-to-Digital (A/D) inputs (0-4095), and also digital GPIOs. A6 and A7 are code convenience mappings, which means pins are not actually labeled as such but you may use code like <code>analogRead(A7)</code> . A6 maps to the DAC pin and A7 maps to the WKP pin. A4,A5,A7 may also be used as a PWM ^[2] output.
D0~D7	Digital only GPIO pins. D0~D3 may also be used as a PWM ^[2] output.

Notes: [1] In addition to the 24 pins around the outside of the Photon, there are 7 pads on the bottom the Photon PCB that can be used to connect to extra signals: RGB LED outputs, SETUP button, SMPS enable line and USB D+/D-. Photon Pins #25-31 are described in the Pin out diagrams. Also refer to the Recommended PCB land pattern photon without headers section for their location on the bottom of the Photon.

[2] PWM is available on D0, D1, D2, D3, A4, A5, WKP, RX, TX with a caveat: PWM timer peripheral is duplicated on two pins (A5/D2) and (A4/D3) for 7 total independent PWM

outputs. For example: PWM may be used on A5 while D2 is used as a GPIO, or D2 as a PWM while A5 is used as an analog input. However A5 and D2 cannot be used as independently controlled PWM outputs at the same time.

Technical specification

1. Absolute maximum ratings

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Supply Input Voltage	$V_{VIN-MAX}$			+6.5	V
Supply Output Current	$I_{VIN-MAX-L}$			1	A
Supply Output Current	$I_{3V3-MAX-L}$			100	mA
Storage Temperature	T_{stg}	-40		+85	°C
Enable Voltage	V_{EN}			$V_{VIN}+0.6$	V
ESD Susceptibility HBM (Human Body Mode)	V_{ESD}			2	kV

2. Recommended operating conditions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Supply Input Voltage	V_{VIN}	+3.6		+5.5	V
Supply Input Voltage	V_{3V3}	+3.0	+3.3	+3.6	V
Supply Output Voltage	V_{VIN}		+4.8		V
Supply Output Voltage	V_{3V3}		+3.3		V
Supply Input Voltage	V_{VBAT}	+1.65		+3.6	V
Supply Input Current (VBAT)	I_{VBAT}			19	μ A
Operating Current (Wi-Fi on)	$I_{VIN\ avg}$		80	100	mA
Operating Current (Wi-Fi on)	$I_{VIN\ pk}$	235 ^[1]		430 ^[1]	mA
Operating Current (Wi-Fi on, w/powersave)	$I_{VIN\ avg}$		18	100 ^[2]	mA
Operating Current (Wi-Fi off)	$I_{VIN\ avg}$		30	40	mA
Sleep Current (5V @ VIN)	I_{Qs}		1	2	mA
Deep Sleep Current (5V @ VIN)	I_{Qds}		80	100	μ A
Operating Temperature	T_{op}	-20		+60	$^{\circ}$ C
Humidity Range Non condensing, relative humidity				95	%

Notes:

[1] These numbers represent the extreme range of short peak current bursts when transmitting and receiving in 802.11b/g/n modes at different power levels. Average TX current consumption in will be 80-100mA.

[2] These are very short average current bursts when transmitting and receiving. On average if minimizing frequency of TX/RX events, current consumption in powersave mode will be 18mA

3.Wi-Fi Specifications

Feature	Description		
WLAN Standards	IEEE 802 11b/g/n		
Antenna Port	Single Antenna		
Frequency Band	2.412GHz -- 2.462GHz (United States of America and Canada)		
	2.412GHz -- 2.472GHz (EU/Japan)		
Sub Channels	1 -- 11 (United States of America and Canada)		
	1 -- 13 (EU/Japan)		
Modulation	DSSS, CCK, OFDM, BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM		
P_{O} module Wi-Fi output power	Typ.	Tol.	Unit
RF Average Output Power, 802.11b CCK Mode	1M	Avail. upon request	+/- dBm
			1.5
	11M	-	+/- dBm
			1.5
RF Average Output Power,	6M	-	+/- dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Feature	Description		
802.11g OFDM Mode			1.5
	54M	-	+/- dBm
			1.5
RF Average Output Power, 802.11n OFDM Mode	MCS0	-	+/- dBm
			1.5
	MCS7	-	+/- dBm
			1.5

4.I/O Characteristics

These specifications are based on the STM32F205RGY6 datasheet, with reference to Photon pin nomenclature.

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Standard I/O input low level voltage	V_{IL}		-0.3		$0.28*(V_{3V3}-2)+0.8$	V
I/O FT ^[1] input low level voltage	V_{IL}		-0.3		$0.32*(V_{3V3}-2)+0.75$	V
Standard I/O input high level voltage	V_{IH}		$0.41*(V_{3V3}-2)+1.3$		$V_{3V3}+0.3$	V
I/O FT ^[1] input high level voltage	V_{IH}	$V_{3V3} > 2V$	$0.42*(V_{3V3}-2)+1$		5.5	V
	V_{IH}	$V_{3V3} \leq 2V$	$0.42*(V_{3V3}-2)+1$		5.2	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Standard I/O Schmitt trigger voltage hysteresis ^[2]	V_{hys}		200			mV
I/O FT Schmitt trigger voltage hysteresis ^[2]	V_{hys}		$5\% V_{3V3}$ ^[3]			mV
Input/Output current max	I_{io}				± 25	mA
Input/Output current total	$I_{\text{io total}}$				± 120	mA
Input leakage current ^[4]	I_{lkG}	$\text{GND} \leq V_{\text{io}} \leq V_{3V3}\text{GPIOs}$			± 1	μA
Input leakage current ^[4]	I_{lkG}	R_{pU}	$V_{\text{io}} = 5\text{V}$, I/O FT		3	μA
Weak pull-up equivalent resistor ^[5]	R_{pU}	$V_{\text{io}} = \text{GND}$	30	40	50	$\text{k}\Omega$
Weak pull-down equivalent resistor ^[5]	R_{pD}	$V_{\text{io}} = V_{3V3}$	30	40	50	$\text{k}\Omega$
I/O pin capacitance	C_{io}			5		pF
DAC output voltage (buffers enabled by default)	V_{DAC}		0.2		$V_{3V3}-0.2$	V
DAC output resistive load (buffers enabled by default)	R_{DAC}		5			$\text{k}\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
DAC output capacitive load (buffers enabled by default)	C_{DAC}				50	pF

Notes:

[1] FT = Five-volt tolerant. In order to sustain a voltage higher than $V_{3V3}+0.3$ the internal pull-up/pull-down resistors must be disabled.

[2] Hysteresis voltage between Schmitt trigger switching levels. Based on characterization, not tested in production.

[3] With a minimum of 100mV.

[4] Leakage could be higher than max. if negative current is injected on adjacent pins.

[5] Pull-up and pull-down resistors are designed with a true resistance in series with switchable PMOS/NMOS. This PMOS/NMOS contribution to the series resistance is minimum (~10% order).

Mechanical specifications

1. Dimensions and Weight

Headers	Dimensions in inches (mm)	Weight
With	1.44 x 0.8 x 0.27 (36.58 x 20.32 x 6.86)	5 grams
Without	1.44 x 0.8 x 0.17 (36.58 x 20.32 x 4.32)	3.7 grams

2. Mating connectors

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Photon (with headers) can be mounted with (qty 2) 12-pin single row 0.1" female headers. Typically these are 0.335" (8.5mm) tall, but you may pick a taller one if desired. When you search for parts like these it can be difficult to navigate the thousands of parts available online so here are a few good choices for the Photon:

Description	MFG	MFG Part Number	Distributor
12-pin 0.1" Female Header (Tin)	Sullins Connector Solutions	PPTC121LFBN-RC	Digikey
12-pin 0.1" Female Header (Gold)	Sullins Connector Solutions	PPPC121LFBN-RC	Digikey
12-pin 0.1" Female Header (Tin)	Harwin	M20-7821246	Mouser

You may also use other types, such as reverse mounted (bottom side SMT) female headers, low profile types, etc..



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EARTH LEAKAGE SENSOR DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT WITH IOT TECHNOLOGY

Nonthapat Lertpasopsuk, Noppanun Maneesut, Pithan Rattanamaneewong, Panupong Wongta
and Asst.Prof.Dr.Nirudh Jirasuwankul

Abstract

This project presents the design and development of a stray voltage monitoring and warning system for the flooded areas. It focuses on improving ability of the sensor to having better precision and accuracy with new circuit design. As a result, the technique can be used in a variety of geographical areas that influences problematically with stray voltage or earth-leakage current. By installing the modified sensor to any floating device such as radio-control ship or drone, the wide flooding area can be explored remotely and safely. With real-time data uploading to the cloud server through the IoT device, the stray voltage of the flooded area is able to monitor and display continuously on the mobile application. The first phase of project is designing the optimum range of probes and designing effective voltage measurement circuits using "Instrumentation amplifier" to filter the interference signal that may result in deviation of measurement. The second phase consists of empirical model of voltage to distance approximation and AR-based monitoring and warning application development. This development aims to create safety tool and prevent unwanted events such as injury and loss of life caused by electric shock during floods.

Introduction

Electric leakage in water commonly comes along with flood. The leakage voltage cannot be inspected by human eyes. This research aim to avoid the hazard from electricity by using voltage sensor with IOT and AR technology and to improve sensor accuracy. The experiment proceeded in constraint environment to simply analysis.

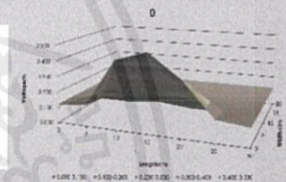
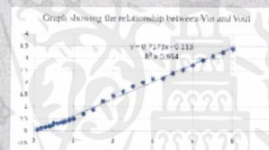


Methodology

The step voltage across water is small and noisy .We use precision rectifier, invert amplifier, instrumentation amplifier in sensor section to provide this measurement. Analog voltage value is measured and calibrated by microcontroller . Then value is sent to cloud-server and stored in server. If server has request from application, It will send the stored value and show in application real-timely.

Results

When the voltage measuring device can be accurately measured, then used to measure the value to study the distribution of step voltage in the water for creating equations that are used to estimate the distance from a leakage spot.



Conclusion

This research project has been designed to create electrical sensing devices, flow of electricity and electrical detection devices, applications on Android using Wi-Fi modules to send the measured values.

Electrical leakage detection devices are very useful in preventing death from electric shock and can easily detect electricity. sing an application on Android to read the voltage and distance between the voltage source and the current detector.



References

- [1] A Designer's Guide to Instrumentation Amplifier 3rd Edition
- [2] Jie Liu, Farid Paul, Sharon Tee : Analysis of Current Density in Soil for Resistivity Measurements and Electrical Grounding Design
- [3] Raymond M.Fish, and Leslie A. Geddes : Conduction of Electrical Current to and Through the Human Body



ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายนนทพัทธ์ เลิศประสบสุข

วัน เดือน ปี เกิด 4 กุมภาพันธ์ 2540

ที่อยู่ 57 ถ.ราชฎินิยม ต.สองพี่น้อง อ.สองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี 72110

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2557

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย (สุพรรณบุรี)

ปีการศึกษา 2561

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน

การไฟฟ้านครหลวง



ชื่อ-นามสกุล นายณนัท มณีสุด

วัน เดือน ปี เกิด 8 พฤศจิกายน 2539

ที่อยู่ 566 หมู่ 14 ถนนมิตรภาพ ต.ศิลา อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2557

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยขอนแก่น (มอดินแดง)

ปีการศึกษา 2561

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน

บริษัท CPT Drives and Power Public Co.,Ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชื่อ-นามสกุล นายพิธาน รัตน์มณีวงศ์

วัน เดือน ปี เกิด 2 กรกฎาคม 2540

ที่อยู่ 144/145 ซ.คูบอน 27 แยก 13 แขวงท่าแร้ง เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10220

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2557

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา

ปีการศึกษา 2561

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

National Institute of Technology, Sendai College

ฝึกงานภาคฤดูร้อน



ชื่อ-นามสกุล นายภาณุพงศ์ วงษ์ตา

วัน เดือน ปี เกิด 26 ธันวาคม 2539

ที่อยู่ 5 หมู่ 5 ต.หนองแก อ.พระพุทธบาท จ.สระบุรี 15000

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2557

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนพิบูลวิทยาลัย จังหวัดลพบุรี

ปีการศึกษา 2561

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน

บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้