

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความจริงเสมือนและ IoT สำหรับเป็นระบบช่วยเหลือการ  
บำรุงรักษาระบบไฟฟ้าในอาคาร

An Application of AR and IoT Technologies as Maintenance Assistant  
Tool for the Building Electrical System



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ปีการศึกษา 2563

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความจริงเสมือนและ IoT สำหรับเป็นระบบช่วยเหลือการ  
บำรุงรักษาระบบไฟฟ้าในอาคาร

An Application of AR and IoT Technologies as Maintenance Assistant Tool  
for the Building Electrical System



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ปีการศึกษา 2563  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

AN APPLICATION OF AR AND IOT TECHNOLOGIES AS MAINTENANCE  
ASSISTANT TOOL FOR THE BUILDING ELECTRICAL SYSTEM



THIS PROJECT SUBMITTED IN PATIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE  
BACHELOR'S DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเอาไว้ใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2020

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปีการศึกษา 2563

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความจริงเสมือนและ IoT สำหรับเป็นระบบช่วยเหลือการ  
บำรุงรักษาระบบไฟฟ้าในอาคาร

An Application of AR and IoT Technologies as Maintenance Assistant Tool  
for the Building Electrical System



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.นิรุช

จิรสวรรณกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รศ.ดร.เฉลิมชาติ มาณพ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญาโทปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความจริงเสมือนและ IoT สำหรับเป็นระบบช่วยเหลือ การบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าในอาคาร

ผู้จัดทำ

1. นายเจษฎา วินัยโกศล
2. นายชิษณุพงศ์ พงษ์จันทร์
3. นายณัชพงศ์ ทิพนานาสา



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

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(รองศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชาติ มานพ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความจริงเสมือนและ IoT สำหรับเป็นระบบช่วยเหลือการ  
บำรุงรักษาระบบไฟฟ้าในอาคาร

นายเจษฎา	วินัยโกศล
นายชัชฌพงษ์	พงษ์จันทร์
นายณัฏพงษ์	ทิพยนาสา
ผศ.ดร.นิรุช	จิรสวรรณกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร.เฉลิมชาติ	มานพ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ปีการศึกษา 2563

**บทคัดย่อ**

ปฏิญานี้พณนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาโดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบบสนับสนุนความจริงเสมือนและ Internet of Things สำหรับเป็นระบบช่วยเหลือการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าในอาคาร โดยออกแบบแอปพลิเคชันเพื่อเฝ้าระวังและประเมินสถานะการทำงานของระบบไฟฟ้า 3 เฟส โดยใช้เทคโนโลยี Internet of Things และระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (Augmented Reality) ในการพัฒนาแอปพลิเคชันโดยการออกแบบ ประกอบด้วยการต่อวงจรวัดค่าพารามิเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส มาใช้และทำการพัฒนาซอฟต์แวร์แอปพลิเคชันในสมาร์ตโฟนเพื่อนำมาประเมินสถานะการทำงานของระบบไฟฟ้า ซึ่งจะวิเคราะห์จากค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าเป็นหลัก สถานะการทำงานของระบบไฟฟ้าจะถูกวิเคราะห์และประเมินผลลัพธ์ออกมาเป็นข้อความและกล่องสี ถ้าแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติจะแสดงคำว่า Under อยู่ในกล่องสีแดง เป็นต้น โดยการวิเคราะห์และประเมินสถานะของแอปพลิเคชันจะรายงานในรูปแบบของ AR แบบเรียลไทม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

AN APPLICATION OF AR AND IOT TECHNOLOGIES AS MAINTENANCE  
ASSISTANT TOOL FOR THE BUILDING ELECTRICAL SYSTEM

Mr.Chetsada

Winaikosol

Mr.Chissanupong

Pongjun

Mr.Natchaphong

Thippayanasa

Asst.Prof.Dr.Nirudh

Jirasuwankul Advisor

Assoc.Prof.Dr.Chalermchart

Manop

Co-Advisor

**Abstract**

This thesis presents the design and development of maintenance assistant tool for the building electrical system by implementing AR and IoT and development applications to monitor and assess the operating conditions of a 3-phase electrical system using Internet of Things technology and augmented reality in application. The design consists of connecting a 3-phase electrical parameter measurement circuit and developing a software application in smartphones to assess the operating conditions of the electrical system. Which will be analyzed from voltage and electric current are the main ones. Electrical operating conditions are analyzed and evaluated in text and colored boxes. If the voltage is lower than normal, it will show Under in red box, etc. By analyzing and assessing the state of the application, it will be reported in real-time AR format.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความเมตตาและให้ความช่วยเหลือของท่านอาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมทั้งสองท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิรุช จิรสวรรณกุล ที่ให้คำแนะนำ แนวคิด รวมถึงช่วยแก้ไขข้อบกพร่องมาโดยตลอดจนทำให้ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จเป็นที่เรียบร้อย

ขอขอบพระคุณคณาบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร ผศ.ดร.ธงชัย พุฒทองศิริ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และอนุญาตให้เข้าพื้นที่เพื่อสำรวจและศึกษาระบบไฟฟ้าแรงต่ำของอาคารเจ้าคุณทหารโซน B และขอขอบพระคุณ คุณอภิสิทธิ์ แสนหล้า ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการพาเข้าพื้นที่ และให้ข้อมูลสำคัญของระบบไฟฟ้าภายในอาคาร รวมทั้งเป็นที่เล็งดูแลตลอดการศึกษาระบบไฟฟ้าจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำเพื่อเป็นแนวทางในการทำปริญญาโทฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.บุญยวีร์ ฉายศิริ คุณณัฐพล มฤคทัต และคุณนครศักดิ์ แสงศรี เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ให้คำแนะนำเรื่องอุปกรณ์ ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการและให้ยืมเครื่องมือในการทดลองและทำปริญญาโทฉบับนี้

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัวที่ให้การสนับสนุนช่วยเหลือและคอยให้กำลังใจจนทำให้ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ	3
1.5 แผนการดำเนินงาน	4
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	7
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 ระบบไฟฟ้าภายในอาคาร	8
2.1.1 ระบบไฟฟ้า 1 เฟส 3 สาย	8
2.1.2 ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 5 สาย	8
2.2 การวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส	9
2.2.1 ใช้วัตต์มิเตอร์ 3 เครื่อง	10
2.2.2 ใช้วัตต์มิเตอร์ 2 เครื่อง	11
2.2.3 ใช้วัตต์มิเตอร์ 1 เครื่อง	11
2.2.3.1 การวัดกำลังไฟฟ้าระบบ 3 เฟสด้วยวัตต์มิเตอร์ 1 เฟส 1 ตัว	11
2.2.3.2 การวัดกำลังไฟฟ้าระบบ 3 เฟสด้วยวัตต์มิเตอร์ 3 เฟส 1 ตัว	12
2.3 Internet of Things (IoT)	12
2.4 PZEM-004T V3	14
2.4.1 ฟังก์ชันของโมดูล PZEM-004T	14
2.4.2 แผนภาพบล็อกการทำงาน (Functional block diagram)	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4.3 Wiring diagram	16
2.4.4 คำแนะนำอื่นๆ	16
2.5 ESP8266	16
2.6 NodeMCU	18
2.7 หม้อแปลงกระแส (Current Transformer)	19
2.8 Arduino IDE	22
2.9 Thingspeak	22
2.10 Blynk	23
2.11 ภาษา C#	23
2.12 ภาษา C++	24
2.13 แพลตฟอร์มไฟร์เบส (Firebase)	24
2.14 ระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (Augmented Reality)	25
2.15 วูโฟเรีย (Vuforia)	27
2.16 โปรแกรมยูนิตี้ทรีดี (Unity 3D)	28
2.16.1 ส่วนประกอบของ Unity	28
2.16.2 ส่วนประกอบของโปรแกรม Unity	28
2.17 โปรแกรมวิชวล สตูดิโอ (Visual Studio)	30
<b>บทที่ 3 การออกแบบระบบ</b>	<b>31</b>
3.1 การจัดทำข้อมูลสำหรับการออกแบบระบบช่วยเหลือระบบไฟฟ้าในอาคาร	31
3.2 การออกแบบระบบช่วยเหลือการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าในอาคาร	35
3.3 หลักการออกแบบฮาร์ดแวร์	35
3.3.1 วงจรโมดูล PZEM-004T เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266-12E	37
3.4 หลักการออกแบบซอฟต์แวร์	38
3.4.1 การเขียนโปรแกรม	38
3.4.2 การบันทึกข้อมูล	39
3.4.3 การแสดงผล	40
3.4.4 ระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (Augmented Reality)	40
3.4.5 เครื่องมือที่ใช้พัฒนา	41
3.4.5.1 ซอฟต์แวร์การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.4.5.2 ภาษาที่ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน	41
3.4.5.3 ระบบปฏิบัติการ	41
3.4.6 รายละเอียดเชิงเทคนิค	42
3.4.6.1 ส่วนนำเข้า(Input)	42
3.4.6.2 ส่วนนำออก(Output)	42
3.4.7 โครงสร้างของซอฟต์แวร์	42
3.3.7.1 หน้า AR Camera	42
3.4.8 แผนผังการทำงานของระบบ	44
3.4.9 การเขียนคำสั่งโปรแกรม Arduino IDE	48
3.5 อุปกรณ์การทดลอง	50
3.6 วิธีการทดลอง	51
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	54
4.1 การประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าปกติ 3 เฟสแบบสมดุลโดยใช้แอปพลิเคชัน	54
4.1.1 ผลการทดลองจากการประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าปกติแบบ 3 เฟส สมดุล	54
4.2 การประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าเกินแบบ 3 เฟสแบบสมดุลโดยใช้แอปพลิเคชัน	58
4.2.1 ผลการทดลองจากการประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าเกินแบบ 3 เฟส สมดุล	58
4.3 การประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าต่ำและกระแสเกินโดยใช้แอปพลิเคชัน AR	63
4.3.1 ผลการทดลองจากการประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าและต่ำกระแสเกิน	63
4.4 การประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล 3 เฟส โดยใช้แอปพลิเคชัน	68
4.4.1 ผลการทดลองจากการประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล 3 เฟส	68
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง</b>	72
5.1 บทสรุปของโครงการ	72
5.2 ปัญหาอุปสรรคและแนวทางการแก้ไข	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ	73
เอกสารอ้างอิง	75
ภาคผนวก	76
ภาคผนวก ก บทความทางวิชาการ	77
ภาคผนวก ข ข้อมูลอุปกรณ์	82
ประวัติผู้เขียน	110



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบ 1 เฟส 3 สาย	8
2.2 ระบบ 3 เฟส 5 สาย	8
2.3 ความสัมพันธ์เฟสระหว่างรูปคลื่นของแรงดันบนสาย line 1, line 2, line 3	9
2.4 การต่อโหลดแบบ Wye	10
2.5 การต่อโหลดแบบ Delta	10
2.6 การวัดกำลังไฟฟ้าในโหลดแบบ 3 เฟสโดยใช้วัตต์มิเตอร์ 3 เครื่อง	11
2.7 การวัดกำลังไฟฟ้าในโหลดแบบ 3 เฟสโดยใช้วัตต์มิเตอร์ 2 เครื่อง	11
2.8 การวัดกำลังไฟฟ้าในโหลดแบบ 3 เฟสโดยใช้วัตต์มิเตอร์ 1 เครื่อง	12
2.9 Network Layer ของ Internet of Things	13
2.10 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของ PZEM-004T-10A	15
2.11 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของ PZEM-004T-100A	15
2.12 Wiring diagram ของ PZEM-004T-100A	16
2.13 ESP-12e	17
2.14 NodeMCU Devkit 1.0 (ESP-12e) Version 2	18
2.15 Current Transformer	19
2.16 หลักการทำงานของ Current Transformer	19
2.17 Current Transformer Primary Turns Ratio	21
2.18 โปรแกรม Arduino IDE	22
2.19 แพลตฟอร์ม Thingspeak	23
2.20 แอปพลิเคชัน Blynk	23
2.21 สัญลักษณ์ของ C#	24
2.22 สัญลักษณ์ของ C++	24
2.23 โปรแกรม Firebase	25
2.24 ตัวอย่างการใช้ระบบความจริงเสมือน	25
2.25 หลักการขอระบบสนับสนุนความจริงเสมือน	26
2.26 Vuforia	27
2.27 Unity	28
2.28 โปรแกรม Unity	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.29 Visual Studio	30
3.1 แบบไฟฟ้า (Single line diagram) ของ MDBA อาคารเจ้าคุณทหาร โชน B	32
3.2 แบบไฟฟ้า (Single line diagram) ของ EDDBA-1 อาคารเจ้าคุณทหาร โชน B	32
3.3 แบบไฟฟ้า (Single line diagram) ของ DBA-1 อาคารเจ้าคุณทหาร โชน B	33
3.4 แบบไฟฟ้า (Single line diagram) ของ DBA-2 อาคารเจ้าคุณทหาร โชน B	33
3.5 แบบไฟฟ้า (Single line diagram) ของ DBA-3 อาคารเจ้าคุณทหาร โชน B	34
3.6 แบบไฟฟ้า (Single line diagram) ของ DBA-4 อาคารเจ้าคุณทหาร โชน B	34
3.7 ระบบช่วยเหลือการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าในอาคาร	35
3.8 โมดูลวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบไฟฟ้า PZEM-004T V3	36
3.9 NodeMCU WiFi Module ESP8266-12E	36
3.10 โมดูล ESP8266-12E	36
3.11 วงจร PZEM-004T เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266-12E	38
3.12 โปรแกรม Arduino IDE	39
3.13 แผนผังการเชื่อมต่อของ ThingSpeak	39
3.14 การแสดงผลผ่านแอปพลิเคชัน Blynk	40
3.15 รายละเอียดหน้า AR Camera	42
3.16 แผนผังการรับข้อมูลจาก Database	44
3.17 แผนผังการแจ้งเตือนแรงดันไฟฟ้าผิดปกติ	45
3.18 แผนผังการแจ้งเตือนกระแสไฟฟ้าผิดปกติ	46
3.19 แผนผังการทำงานรวมของแอปพลิเคชัน AR และแอปพลิเคชัน Blynk	47
3.20 แผนผังการทำงานรวมของระบบ	48
3.21 เครื่องมือวัดสำหรับแอปพลิเคชัน	50
3.22 แผนผังการต่อวงจร	51
3.23 QR code	52
3.24 แอปพลิเคชัน AR	52
3.25 การใช้งาน AR Camera ในแอปพลิเคชัน	53
4.1 ผลการทดลองจากการประเมินสภาวะแรงดันไฟฟ้าปกติแบบ 3 เฟสสมมูลผ่านแอปพลิเคชัน AR	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
4.2 ผลการทดลองจากการประเมินสภาวะแรงดันไฟฟ้าปกติเฟส A ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk 56  
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 ผลการทดลองจากการประเมินสภาวะแรงดันไฟฟ้าปกติเฟส B ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk	57
4.4 ผลการทดลองจากการประเมินสภาวะแรงดันไฟฟ้าเฟส C ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk	57
4.5 ผลการทดลองจากการประเมินสภาวะแรงดันไฟฟ้าเกินแบบ 3 เฟสสมดุลผ่านแอปพลิเคชัน AR	59
4.6 ผลการทดลองจากการประเมินสภาวะแรงดันไฟฟ้าเกินเฟส A ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk	60
4.7 ผลการทดลองจากการประเมินสภาวะแรงดันไฟฟ้าเกินเฟส B ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk	61
4.8 ผลการทดลองจากการประเมินสภาวะแรงดันไฟฟ้าเกินเฟส C ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk	62
4.9 ผลการทดลองจากการประเมินสภาวะแรงดันไฟฟ้าต่ำและสภาวะกระแสไฟฟ้าเกินแบบ 3 เฟสผ่านแอปพลิเคชัน AR	64
4.10 ผลการทดลองจากการประเมินสภาวะแรงดันไฟฟ้าต่ำและสภาวะกระแสไฟฟ้าเกินเฟส A ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk	65
4.11 ผลการทดลองจากการประเมินสภาวะแรงดันไฟฟ้าต่ำและสภาวะกระแสไฟฟ้าเกินเฟส B ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk	66
4.12 ผลการทดลองจากการประเมินสภาวะแรงดันไฟฟ้าต่ำและสภาวะกระแสไฟฟ้าเกินเฟส C ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk	67
4.13 ผลการทดลองจากการประเมินสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล 3 เฟสผ่านแอปพลิเคชัน AR	68
4.14 ผลการทดลองจากการประเมินสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลเฟส A ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk	69
4.15 ผลการทดลองจากการประเมินสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลเฟส B ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk	70
4.16 ผลการทดลองจากการประเมินสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลเฟส C ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินโครงการ เดือนมิถุนายน 2563 ถึง เดือนกรกฎาคม 2563	4
1.2 แผนการดำเนินโครงการ เดือนสิงหาคม 2563 ถึง เดือนธันวาคม 2563	5
1.3 แผนการดำเนินโครงการ เดือนมกราคม 2564 ถึง เดือนพฤษภาคม 2564	6
3.1 วงจร PZEM-004T เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266-12E เฟส A	37
3.2 วงจร PZEM-004T เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266-12E เฟส B	37
3.3 วงจร PZEM-004T เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266-12E เฟส C	38
3.4 เงื่อนไขเมื่อเกิดกรณีผิดปกติ	49
4.1 ผลการทดลองกรณีแรงดันไฟฟ้าปกติเฟส A แบบสมดุลโดยใช้แอปพลิเคชัน	54
4.2 ผลการทดลองกรณีแรงดันไฟฟ้าปกติเฟส B แบบสมดุลโดยใช้แอปพลิเคชัน	55
4.3 ผลการทดลองกรณีแรงดันไฟฟ้าปกติเฟส C แบบสมดุลโดยใช้แอปพลิเคชัน	55
4.4 ผลการทดลองกรณีแรงดันไฟฟ้าเกินเฟส A แบบสมดุลโดยใช้แอปพลิเคชัน	58
4.5 ผลการทดลองกรณีแรงดันไฟฟ้าเกินเฟส B แบบสมดุลโดยใช้แอปพลิเคชัน	58
4.6 ผลการทดลองกรณีแรงดันไฟฟ้าเกินเฟส C แบบสมดุลโดยใช้แอปพลิเคชัน	59
4.7 การประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าต่ำและการประเมินสถานะกระแสไฟฟ้าเกินเฟส A โดยใช้แอปพลิเคชัน AR และแอปพลิเคชัน Blynk	63
4.8 การประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าต่ำและการประเมินสถานะกระแสไฟฟ้าเกินเฟส B โดยใช้แอปพลิเคชัน AR และแอปพลิเคชัน Blynk	63
4.9 การประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าต่ำและการประเมินสถานะกระแสไฟฟ้าเกินเฟส C โดยใช้แอปพลิเคชัน AR และแอปพลิเคชัน Blynk	64
4.10 การประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล 3 เฟสผ่านแอปพลิเคชัน AR และแอปพลิเคชัน Blynk	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

จากปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าในอาคาร ไม่ว่าจะเป็นปัญหาไฟตก ไฟดับ หรือปัญหาโหลดเกิน ทำให้ต้องมีการตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า ซึ่งปัญหาเหล่านี้ อาจเกิดจากการที่มีการเปลี่ยนหรือเพิ่มวงจรต่างๆจากที่ออกแบบไว้ ส่งผลให้การหาสาเหตุของ ปัญหาทำได้ยาก จากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีมาเพื่อตรวจสอบวงจร ต่างๆ ของระบบไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นวงจรแสงสว่าง วงจรเต้ารับ วงจรเครื่องปรับอากาศ หรือวงจร มอเตอร์ต่างๆ เพื่อตรวจสอบการใช้พลังงานว่ามีปัญหาหรือไม่ โดยตรวจสอบจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ความถี่ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า เป็นต้น ดังนั้นเมื่อนำเทคโนโลยีเข้า มาใช้ตรวจสอบ ก็จะสามารถรู้ได้ว่าปัญหาโหลดเกินหรือปัญหาแรงดันตกเกิดขึ้นที่วงจรใด โดยการ ตรวจสอบจากค่าพารามิเตอร์ของวงจรมานั้น ทำให้การซ่อมบำรุงสะดวกและรวดเร็วมากขึ้น

โครงการนี้คณะผู้จัดทำได้ทำระบบช่วยเหลือการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าในอาคาร โดยนำเทคโนโลยีความจริงเสมือน (Augmented Reality) และ Internet of Things (IoT) เพื่อ ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความถี่ กำลังไฟฟ้า ค่าตัวประกอบ กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าของวงจรโดยการเก็บข้อมูล คล้ายๆกับเทคโนโลยี “Smart Meter” ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างมากแต่อุปกรณ์ค่อนข้างมีราคาสูง ซึ่งถ้าเราสามารถผลิตและนำมาใช้เองได้ก็จะช่วยลด ต้นทุนของอุปกรณ์ได้ ซึ่งในโครงการนี้เราจะติดตั้งอุปกรณ์ที่วงจรหรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยจะ ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่สามารถเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆโดยประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) โดยอุปกรณ์ชิ้นนี้จะส่งค่าไปเก็บไว้ที่คลาวด์ (Cloud) หรือบริการพื้นที่รับฝากไฟล์บน อินเทอร์เน็ตผ่านผู้ให้บริการ “Thingspeak” เพื่อที่จะสามารถดึงข้อมูลมาวิเคราะห์ในภายหลังได้และ ยังส่งข้อมูลไปยังสมาร์ตโฟนแบบกำหนดช่วงเวลาผ่านแอปพลิเคชัน “Blynk” อีกหนึ่งเทคโนโลยีที่ คณะผู้จัดทำนำมาประยุกต์ใช้คือเทคโนโลยี AR (Augmented Reality) หรือเทคโนโลยีความจริง เสมือน โดยจะติดบาร์โค้ดไว้ที่แผงไฟฟ้าหรือตู้ไฟฟ้าและใส่ข้อมูลที่เกี่ยวข้องให้กับตู้ไฟฟ้านั้นๆ รวมถึง อาจเชื่อมโยงกับระบบซอฟต์แวร์ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าเมื่อใช้กล้องของสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตส่องก็ จะปรากฏข้อมูลต่างๆของวงจรหรือเซอร์กิตเบรกเกอร์รวมถึงข้อมูลทำงานแบบ Real Time ของวงจร หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่กำหนด ซึ่งอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งานอย่างมากและยังเป็นระบบช่วง หลีกเลี่ยงการบำรุงระบบไฟฟ้าซึ่งจะช่วยให้อายุขัยของระบบไฟฟ้าได้สะดวกยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้คนอื่นใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

คณะผู้จัดทำได้ทำการสำรวจและสอบถามเจ้าหน้าที่ของอาคารเจ้าคุณทหารโชน B ซึ่งเป็นอาคารที่มีปัญหาเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าพบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาของระบบไฟฟ้าของอาคารเจ้าคุณทหาร โชน B ได้แก่ ปัญหาไฟตก ปัญหาโหลดเกิน ปัญหาแรงดันแต่ละเฟสไม่สมดุลกัน ซึ่งปัญหาเหล่านี้เกิดขึ้นจากการเพิ่มวงจร ฟ่วงสายวงจร จึงทำให้บางวงจรเกิดปัญหากระแสเกินพิกัด และไม่สามารถรู้ได้ว่าปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นเกิดขึ้นที่วงจรไหนบ้าง คณะผู้จัดทำโครงการจึงได้ทำการสำรวจอาคารเจ้าคุณทหารโชน B เพื่อเขียนแบบไฟฟ้า (Single line diagram) ให้เป็นปัจจุบันมากขึ้น

เนื่องจากสาเหตุของปัญหาระบบไฟฟ้าของอาคารเจ้าคุณทหารโชน B นั้นมีหลายสาเหตุด้วยกัน คณะผู้จัดทำจึงได้ทำการออกแบบระบบช่วยเหลือการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าในอาคาร โดยจะใช้ระบบ IoT และระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (Augmented Reality) เพื่อหาสาเหตุของไฟตก โหลดเกิน และโหลดไม่สมดุล เมื่อนำอุปกรณ์ไปติดตั้งที่วงจรต่างๆในอาคาร ก็จะสามารถรู้ได้ว่าปัญหาเหล่านั้นเกิดขึ้นที่วงจรไหน มีปัญหาอะไรเกิดขึ้น ทำให้ง่ายต่อการหาสาเหตุของปัญหาและสามารถเป็นอุปกรณ์ช่วยเหลือในการซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้าในอาคารได้

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสำรวจและจัดทำข้อมูลระบบไฟฟ้าสำหรับการออกแบบระบบช่วยเหลือการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าในอาคาร
2. เพื่อศึกษาหลักการทำงานและการใช้งานเกี่ยวกับ Internet Of Things (IoT)
3. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของระบบความจริงเสมือน (Augmented Reality)
4. เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์ช่วยเหลือการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าในอาคาร
5. เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) และระบบความจริงเสมือน (Augmented Reality)

## 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดวิจัย

โครงการเล่มนี้เป็นการศึกษาและออกแบบสร้างอุปกรณ์ช่วยเหลือการบำรุงรักษา

ระบบไฟฟ้าในอาคารแบบ 3 เฟส โดยอุปกรณ์สามารถตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ได้แก่  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ความถี่ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า ซึ่ง  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีอห่งหามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้  
 สามารถส่งข้อมูลผ่านระบบสื่อสารแบบไร้สาย ทำให้สามารถแสดงผลผ่านแอปพลิเคชันในสมาร์ทโฟน

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในรูปแบบ Augmented Reality (AR) และระบบเชื่อมต่อกับ Internet Of Things (IOT) ได้ โดยโครงการเล่มนี้จะมุ่งเน้นไปที่การแก้ไขปัญหาระบบไฟฟ้า 3 เฟส ของอาคารเจ้าคุณทหารโซน B คณะเทคโนโลยีการเกษตร เนื่องจากอาคารเจ้าคุณทหารเกิดปัญหาเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าบ่อยครั้ง โดยสาเหตุหลักๆ ได้แก่ เกิดปัญหาไฟตกและไฟดับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองไม่ทำงานขณะไฟดับและปัญหาโวลตเกิน ปัญหาเหล่านี้จำเป็นต้องรีบแก้ไขโดยด่วนมิเช่นนั้นจะส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ารวมซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาใหญ่ตามมา

**หมายเหตุ :** เนื่องจากติดสถานการณ์โควิด19 และประกาศปิดจากสถาบัน ทำให้ขอบเขตงานถูกปรับลดลงเหลือเพียงการทดลองในห้องปฏิบัติการเท่านั้น

#### 1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

เริ่มจากการศึกษาและค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงการในส่วนของค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบไฟฟ้าเพื่อนำมาวิเคราะห์และประเมินสภาวะการทำงานของระบบไฟฟ้า 3 เฟส โดยใช้โมดูลวัดค่าสำเร็จรูป ได้ศึกษาเทคโนโลยี Internet of Things และระบบสนับสนุนความจริงเสมือน Augmented Reality เพื่อนำมาพัฒนาซอฟต์แวร์และแอปพลิเคชัน โดยเริ่มจากการนำค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้ส่งค่าไปเก็บไว้ที่ Firebase และแสดงผลการประเมินสภาวะการทำงานผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินโครงการ เดือนมิถุนายน 2563 ถึง เดือนกรกฎาคม 2563

เดือน	มิ.ย.	ก.ค.
<b>หัวข้อการดำเนินโครงการ</b>		
1.เข้าพื้นที่เพื่อทำความรู้จักกับผู้บริหารคณะเทคโนโลยีการเกษตรและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องเพื่อชี้แจงโครงการฝึกงาน	←---→ ↔	
2.สำรวจขั้นต้นในพื้นที่โซนบี	←---→ ↔	
3.เข้าพื้นที่เพื่อสำรวจโดยละเอียดของระบบส่วน Incoming System (Main Transformers, Feeder, Protection system)	←---→ ↔	→---
4.เข้าพื้นที่เพื่อสำรวจวงจรย่อยระดับ Local Load Center ของอาคารเจ้าคุณทหารโซน B ทั้ง 4 ชั้น	←---→ ↔	→---
5.จัดทำข้อมูลระบบไฟฟ้า		←---→ ↔

โดย ←---→ คือ ระยะเวลาที่วางแผนไว้

↔ คือ ระยะเวลาที่ปฏิบัติงานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 1.2 แผนการดำเนินโครงการ เดือนสิงหาคม 2563 ถึง เดือนธันวาคม 2563

เดือน หัวข้อการดำเนินโครงการ	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
	1.ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการ	←→			
2.ศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยี Internet of Thing และ Augmented Reality	←→				→
3.ศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการ		←→			→
4.ศึกษาการต่อวงจรเพื่อวัดค่าพารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้า 3 เฟส		←→			→
5.ศึกษาการรับส่งข้อมูล และการเขียนโปรแกรมผ่าน Arduino IDE			←→		→

โดย ←→ คือ ระยะเวลาที่วางแผนไว้

←→ คือ ระยะเวลาที่ปฏิบัติงานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 1.3 แผนการดำเนินโครงการ เดือนมกราคม 2564 ถึง เดือนพฤษภาคม 2564

หัวข้อการดำเนินโครงการ	เดือน				
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.ศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับโปรแกรม Unity และ Vuforia	←-----→				
2.เขียนโปรแกรมประเมินสถานะการทำงานของระบบไฟฟ้า 3 เฟส		←-----→			
3.จัดทำเครื่องมือวัด พร้อมทดสอบการทำงานโดยใช้งานจริงกับระบบไฟฟ้า 3 เฟส	←-----→				
4.ทดลองใช้เครื่องมือวัดและโปรแกรมประเมินสถานะการทำงานของระบบไฟฟ้า 3 เฟส พร้อมสรุปผลการทดลอง		←-----→			
5.นำเสนอผลงาน					←-----→

โดย ←-----→ คือ ระยะเวลาที่วางแผนไว้

←-----→ คือ ระยะเวลาที่ปฏิบัติงานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. สามารถหาสาเหตุและแก้ไขปัญหาระบบไฟฟ้าของอาคารเจ้าคุณทหารโซน B ได้
2. ได้รับความรู้เกี่ยวกับระบบไฟฟ้า 3 เฟส
3. สามารถเขียนโปรแกรมใน Arduino IDE เพื่อวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าได้
4. สามารถนำค่าที่วัดได้มาใช้ในการเฝ้าระวังและประเมินสภาวะการทำงานของระบบไฟฟ้า 3 เฟสได้
5. ได้รับความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยี Internet of Thing และระบบสนับสนุนความจริงเสมือน Augmented Reality แล้วนำมาต่อยอดเพื่อประยุกต์ใช้ในอนาคต
6. สามารถนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการประเมินสภาวะการทำงานของระบบไฟฟ้า 3 เฟส
7. สามารถใช้โปรแกรม Unity และ Vuforia ในการสร้างแอปพลิเคชันเพื่อแสดงผลการประเมินสภาวะการทำงานผ่านระบบสนับสนุนความจริงเสมือน AR
8. ทำให้ง่ายต่อการหาสาเหตุของปัญหาและสามารถเป็นอุปกรณ์ช่วยเหลือในการซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้าในอาคารได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

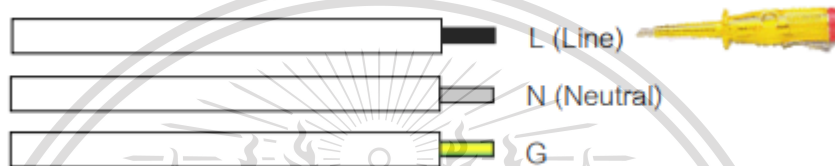
## บทที่ 2

### ทฤษฎีเกี่ยวข้อง

#### 2.1 ระบบไฟฟ้าภายในอาคาร

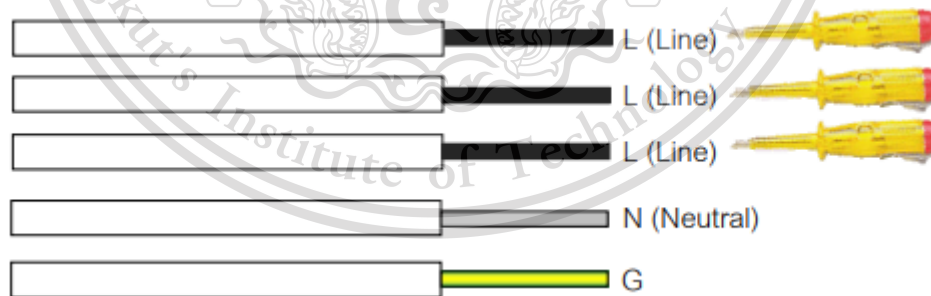
สามารถแบ่งออกได้ 2 ระบบ คือ ระบบไฟฟ้า 1 เฟส 3 สาย

2.1.1 ระบบไฟฟ้า 1 เฟส 3 สาย คือระบบที่มีสายไฟทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ สายไลน์ (Line) คือ เส้นที่มีไฟ สายนิวทรัล (Neutral) คือ เส้นที่ไม่มีไฟ และสายดิน (Ground) ซึ่งระบบนี้ส่วนใหญ่จะใช้สำหรับบ้านพักอาศัยทั่วไป โดยสายไลน์จะมีแรงดันไฟฟ้าขนาด 220 โวลต์



รูปที่ 2.1 ระบบ 1 เฟส 3 สาย

2.1.2 ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 5 สาย คือระบบที่มีสายไฟทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ สายไลน์ (Line) 3 เส้น คือ เส้นที่มีไฟ สายนิวทรัล (Neutral) คือ เส้นที่ไม่มีไฟ และสายดิน (Ground) สามารถต่อใช้เป็นระบบ 1 เฟส ได้ โดยต่อเฟสใดเฟสหนึ่งกับสายนิวทรัล จะมีแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ และมีแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟสขนาด 380 โวลต์



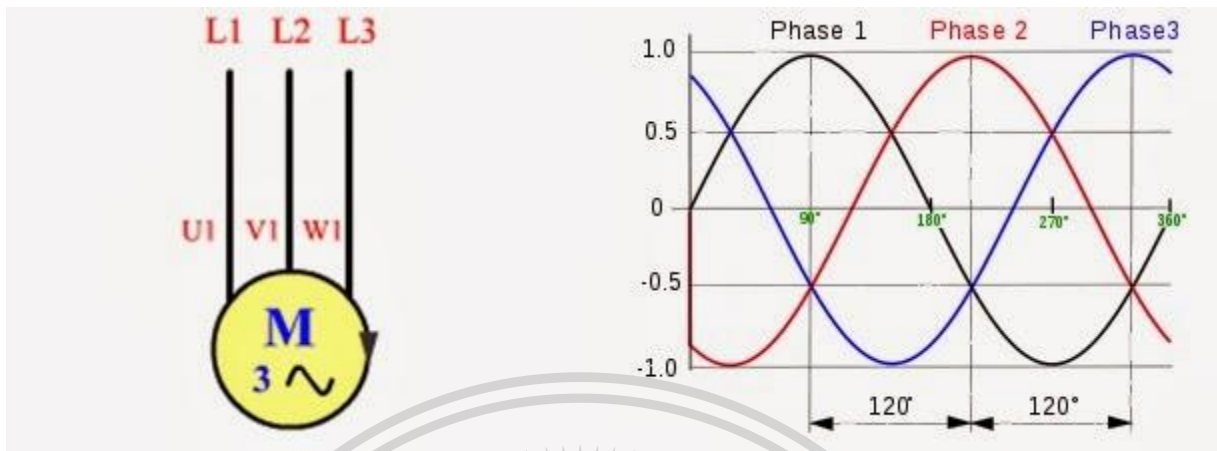
รูปที่ 2.2 ระบบ 3 เฟส 5 สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.2 การวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์เฟสระหว่างรูปคลื่นของแรงดันบนสาย line 1, line 2, line 3 ของตัวกำเนิด

3 เฟส

รูปคลื่นทั้งสามจากรูป มาจากแหล่งกำเนิดแรงดัน 3 ตัว ซึ่งจะเห็นได้ว่า แหล่งกำเนิดแรงดันทั้งสามเป็นชนิด AC และมีเฟสต่างกัน 120 องศา ขณะที่  $E_1, E_2, E_3$  เป็นค่าประสิทธิผลของแหล่งกำเนิด ซึ่งกำเนิดสัญญาณรูปไซน์ที่มีค่าที่ขณะใด ๆ คือ

$$e_a = E_p \sin(\omega t) \quad (1)$$

$$e_b = E_p \sin(\omega t - 120) \quad (2)$$

$$e_c = E_p \sin(\omega t - 240) \quad (3)$$

ซึ่งถ้าเราหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าลัพธ์ที่ขณะใด ๆ จะได้  $e_a + e_b + e_c = 0$

ในวงจรสามเฟสจะประกอบไปด้วย

$V_L$  = แรงดันระหว่างสาย คือ  $V_{AB}, V_{BC}$  และ  $V_{CA}$

$V_{ph}$  = แรงดันเฟส คือ แรงดันระหว่างสายใดสายหนึ่งกับนิวทรัล คือ  $V_A, V_B, V_C$

$I_L$  = กระแสในสาย

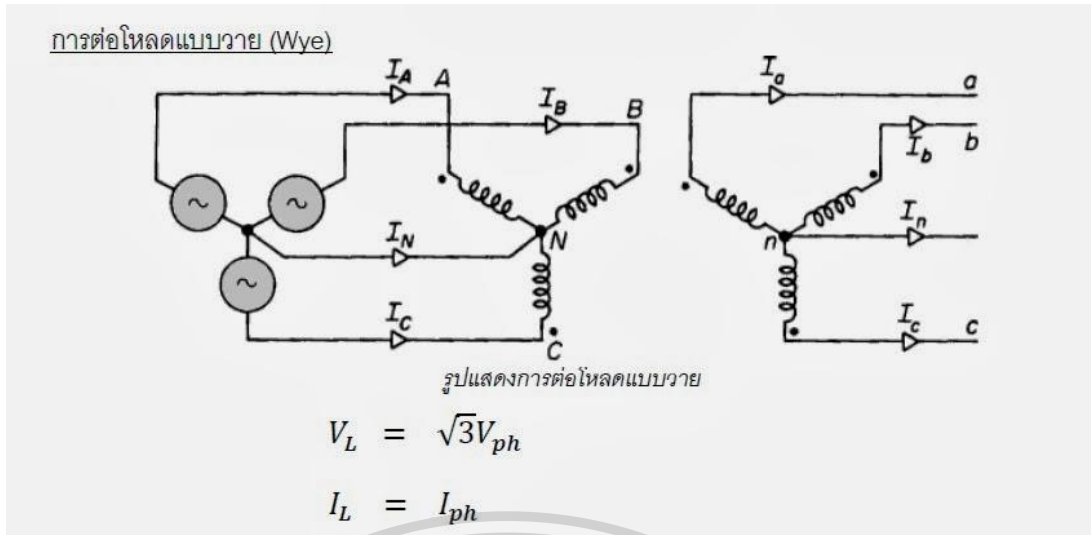
$I_{ph}$  = กระแสในเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัทฯ ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา ห้ามมิให้ผู้ใดเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

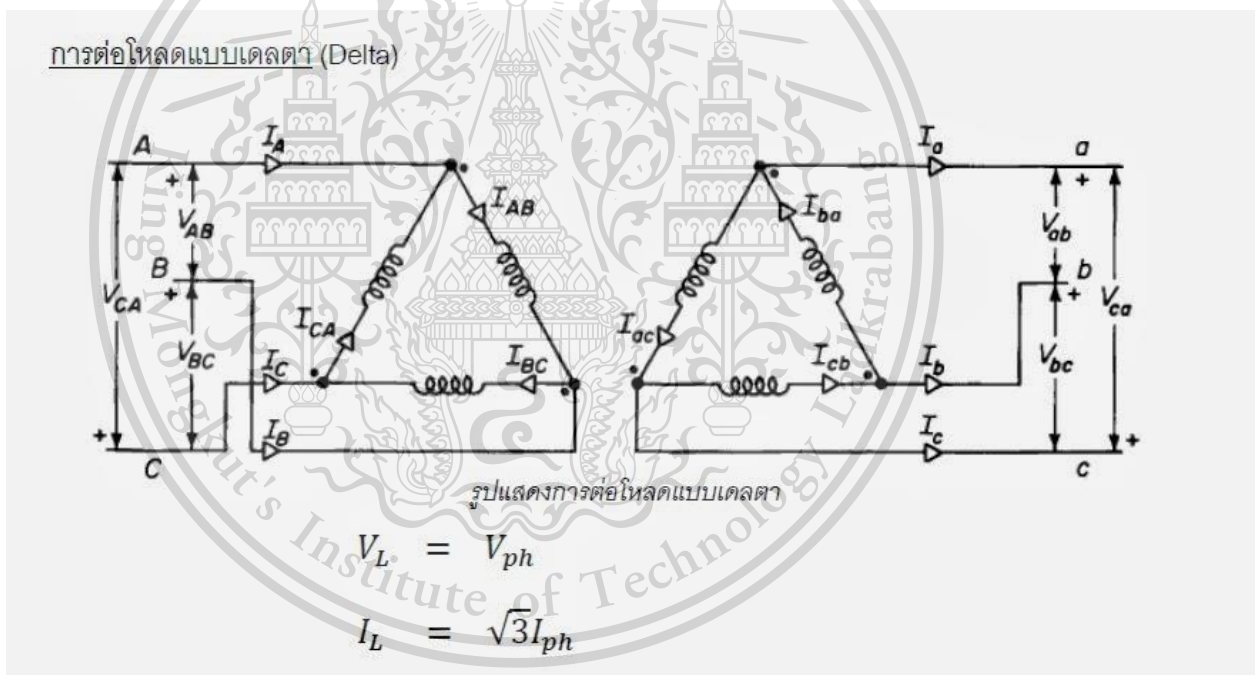
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่มิได้มีเหตุแห่งข้อนี้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.4 การต่อโหลดแบบ Wye



รูปที่ 2.5 การต่อโหลดแบบ Delta

วิธีวัดกำลังในวงจร 3 เฟสแบ่งได้เป็น 3 วิธี ได้แก่

2.2.1 ใช้วัตต์มิเตอร์ 3 เครื่อง

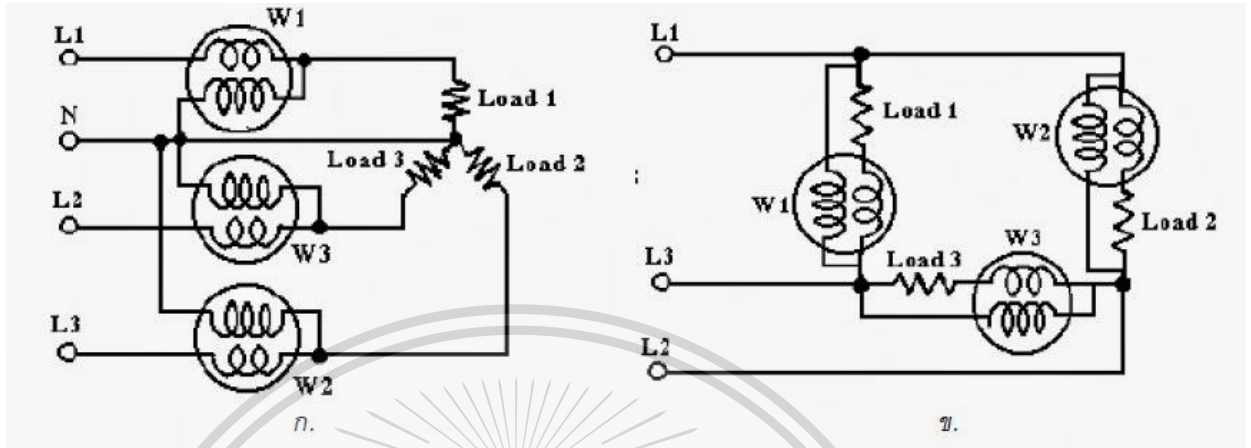
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เป็นการต่อวัตต์มิเตอร์ 1 เฟสเข้าไปในแต่ละเฟส โดยให้กระแสไหลผ่านขดลวด C เป็นการคำนวณว่ากรณีใด  $I_{ph}$  และแรงดันคร่อมขดลวด  $P = V_{ph}$  ค่าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์แต่ละเครื่อง จะแสดงกำลังไฟฟ้าไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ของแต่ละเฟส ดังนั้น ค่ากำลังทั้งหมด จะได้

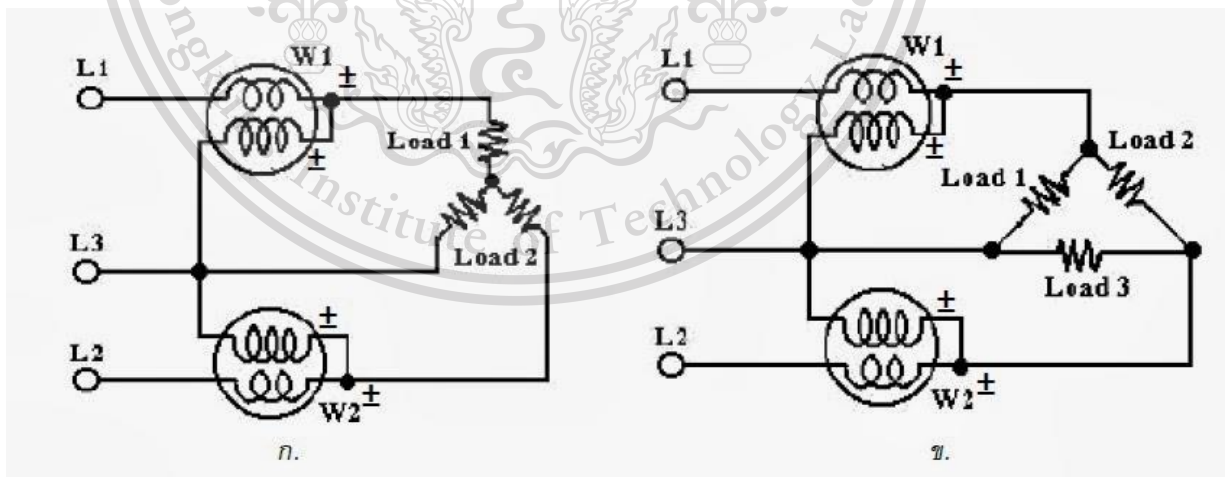
$P_{รวม} = 3V_{ph}I_{ph} \cos \phi$  หรือกล่าวได้ว่าได้จากการบวกค่าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์ทั้งสาม เครื่องเข้าด้วยกัน



รูปที่ 2.6 การวัดกำลังไฟฟ้าในโหลดแบบ 3 เฟสโดยใช้วัตต์มิเตอร์ 3 เครื่อง

2.2.2 ใช้วัตต์มิเตอร์ 2 เครื่อง

เป็นการต่อวัตต์มิเตอร์ 1 เฟส 2 เครื่องเข้าในวงจรระบบ 3 เฟส โดยการต่อวัตต์มิเตอร์แต่ละตัวต่ออนุกรมกับสายไฟ (line) ของโหลด สำหรับขดลวดแรงดันให้ต่อขนานกับโหลดโดยให้ปลายที่เหลือของขดลวดแรงดันต่อรวมกันกับสายไฟ (line) ที่เหลือ



รูปที่ 2.7 การวัดกำลังไฟฟ้าในโหลดแบบ 3 เฟสโดยใช้วัตต์มิเตอร์ 2 เครื่อง

2.2.3 ใช้วัตต์มิเตอร์ 1 เครื่อง

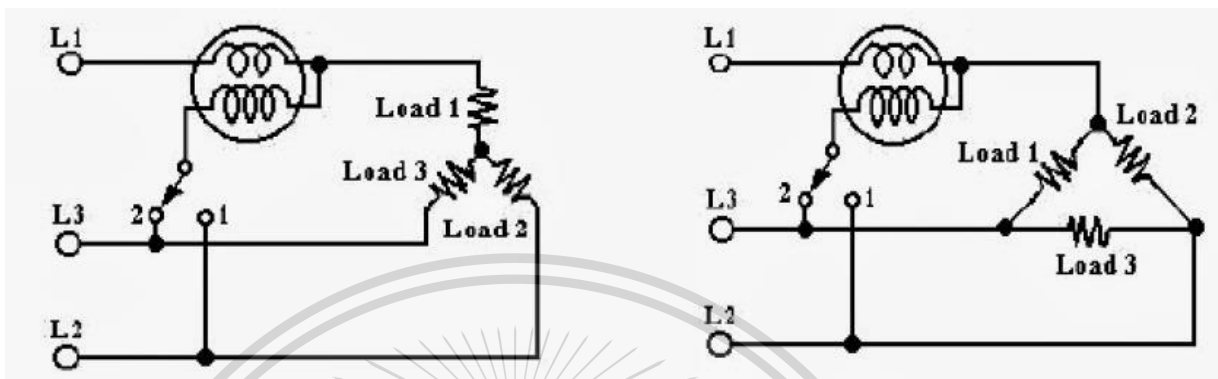
เอกสารนี้เป็นแม่แบบเป็น 2 ชนิดสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด 2.2.3.1 การวัดกำลังไฟฟ้าระบบ 3 เฟสด้วยวัตต์มิเตอร์ 1 เฟส 1 ตัว ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การวัดกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนี้ ใช้วัดต์มิเตอร์ 1 เฟสเพียงตัวเดียววัดกำลังไฟฟ้าของระบบ 3 เฟสโดยใช้สวิตช์สองทางช่วย เป็นวิธีประหยัดและค่าที่ได้ก็ถูกต้องเช่นเดียวกันกับกรณีที่ใช้วัดต์มิเตอร์ 2 ตัว



รูปที่ 2.8 การวัดกำลังไฟฟ้าในโหลดแบบ 3 เฟสโดยใช้วัดต์มิเตอร์ 1 เครื่อง

### 2.2.3.2 การวัดกำลังไฟฟ้าระบบ 3 เฟสด้วยวัดต์มิเตอร์ 3 เฟส 1 ตัว

วิธีนี้การต่อวงจรเหมือนกับวิธีวัดกำลังไฟฟ้าระบบ 3 เฟสด้วยวัดต์มิเตอร์ 2 ตัว ซึ่งวัดต์มิเตอร์ 3 เฟส ปกติจะประกอบด้วยวัดต์มิเตอร์ 1 เฟส 2 ตัว สำหรับขดลวดเคลื่อนที่จะยึดติดกับแกนหมุนเดียวกัน แรงบิดที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับผลบวกทางพีชคณิตของแรงบิดจากวัดต์มิเตอร์แต่ละตัว เมื่อเข็มชี้ไปหยุดอยู่ ณ ตำแหน่งใดให้อ่านค่าโดยตรงได้เลย

## 2.3 Internet of Things (IoT)

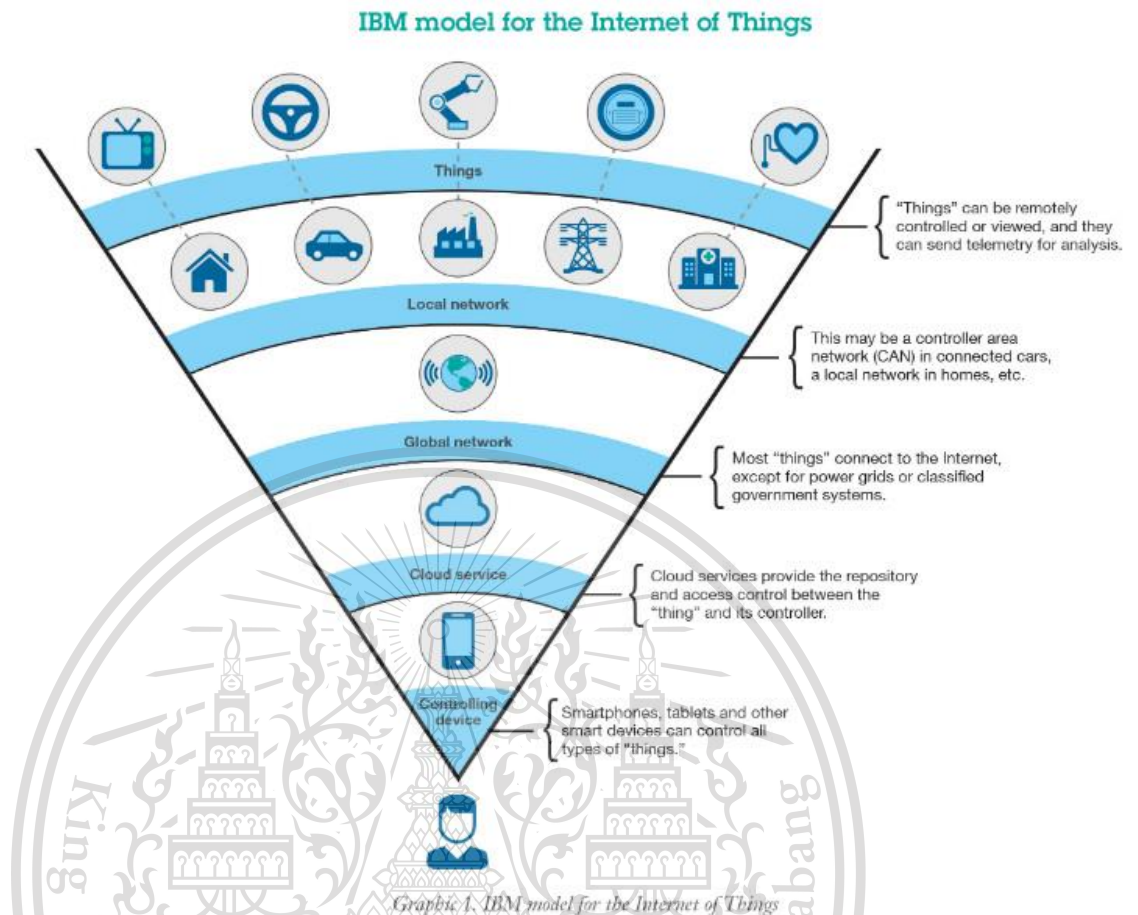
Internet of Things (IoT) คือ เครือข่ายของอุปกรณ์ต่างๆที่ควบคุมโดยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเชื่อมโยงหรือส่งผ่านข้อมูลถึงกันด้วยอินเทอร์เน็ตทำให้สามารถควบคุมอุปกรณ์เหล่านี้จากระยะไกลได้ การประยุกต์ใช้ IoT เชื่อมต่อกับโลกความเป็นจริงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพและความสะดวกสบายในการทำงานได้ ยกตัวอย่างเช่น การสั่งการให้ไฟเปิด-ปิดด้วยมือถือหรือการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรผ่านคอมพิวเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรม

เทคโนโลยี IoT จำเป็นต้องทำงานร่วมกับอุปกรณ์ประเภท RFID และ Sensors โดยมีอินเทอร์เน็ตเป็นสื่อกลางให้อุปกรณ์สามารถรับส่งข้อมูลถึงกันได้ ในปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยี

ประเภท Smart Grid, Smart Home, Smart Farm ที่เป็นผลลัพธ์ของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT ไม่ว่าจะกรณีใดในปัจจุบันก็ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.9 Network Layer ของ Internet of Things

การแบ่งกลุ่ม Internet of Things

ในปัจจุบันมีการแบ่งกลุ่ม Internet of Things ออกตามการใช้งานได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.4 PZEM-004T V3

ข้อกำหนดของโมดูลการสื่อสาร PZEM-004T ซึ่งเป็น AC โมดูล ส่วนใหญ่จะใช้สำหรับการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ กระแสไฟฟ้า ความถี่ ตัวประกอบกำลัง และพลังงานไฟฟ้า ตัวโมดูลไม่มีฟังก์ชันการแสดงผลข้อมูล แต่จะถูกอ่านผ่านอินเตอร์เฟซ TTL

- PZEM-004T-10A : วัดได้สูงสุด 10 A (Built-in Shunt)
- PZEM-004T-100A : วัดได้สูงสุด 100 A (external transformer)

### 2.4.1 ฟังก์ชันของโมดูล PZEM-004T

#### 2.4.1.1 แรงดันไฟฟ้า (Voltage)

ย่านการวัด : 80 – 260 V

ความละเอียด : 0.1 V

ความแม่นยำในการวัด : 0.5 %

#### 2.4.1.2 กระแสไฟฟ้า (Current)

ย่านการวัด : 0 – 10 A (PZEM-004T-10A) ; 0 – 100 A (PZEM-004T-100A)

กระแสการวัดเริ่มต้น : 0.01 A (PZEM-004T-10A) ; 0.02A (PZEM-004T-100A)

ความละเอียด : 0.001 A

ความแม่นยำในการวัด : 0.5 %

#### 2.4.1.3 กำลังไฟฟ้า (Active power)

ย่านการวัด : 0 – 2.3 kW (PZEM-004T-10A) ; 0 – 23 kW (PZEM-004T-100A)

กำลังการวัดเริ่มต้น : 0.4 W

ความละเอียด : 0.1 W

รูปแบบการแสดงผล :  $< 1000$  W แสดงทศนิยมหนึ่งตำแหน่ง

$\geq 1000$  W แสดงเป็นรูปจำนวนเต็ม

ความแม่นยำในการวัด : 0.5 %

#### 2.4.1.4 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor)

ย่านการวัด : 0.00 - 1.00

ความละเอียด : 0.01

ความแม่นยำในการวัด : 1 %

#### 2.4.1.5 ความถี่ (Frequency)

ย่านการวัด : 45 Hz – 65 Hz

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลูกทงห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความละเอียด : 0.1 Hz

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความแม่นยำในการวัด : 0.5 %

2.4.1.6 พลังงานไฟฟ้า (Active energy)

ย่านการวัด : 0 – 9999.99 kWh

ความละเอียด : 1 Wh

ความแม่นยำในการวัด : 0.5 %

รูปแบบการแสดงผล : < 10 kWh แสดงผลในหน่วย Wh

≥ 10 kWh แสดงผลในหน่วย kWh

รีเซ็ตพลังงาน : ใช้ซอฟต์แวร์เพื่อรีเซ็ต

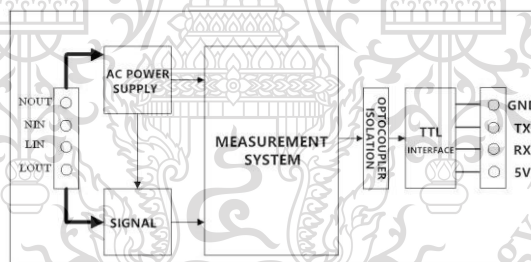
2.4.1.7 สัญญาณเตือนเมื่อกำลังไฟฟ้าเกิน

สามารถกำหนดเกณฑ์กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานได้เมื่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่วัดได้สูงกว่าเกณฑ์จะทำให้ขึ้น

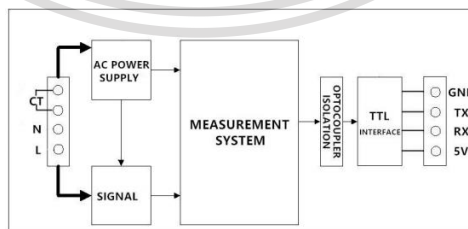
สัญญาณเตือน 2.4.1.8 อินเทอร์เฟซการสื่อสาร

อินเทอร์เฟซ RS485

2.4.2 แผนภาพบล็อกการทำงาน (Functional block diagram)



รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของ PZEM-004T-10A



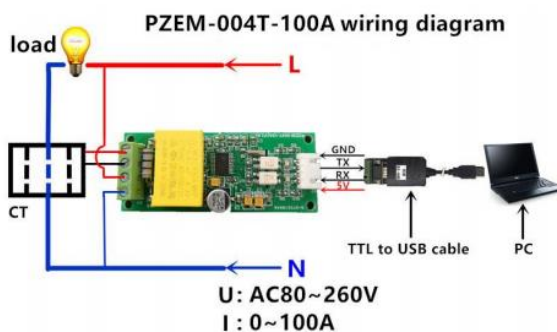
รูปที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของ PZEM-004T-100A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.4.3 Wiring diagram



รูปที่ 2.12 Wiring diagram ของ PZEM-004T-100A

### 2.4.4 คำแนะนำอื่นๆ

2.4.4.1 อินเทอร์เฟซ TTL ของโมดูลนี้เป็นอินเทอร์เฟซแบบพาสซีฟต้องใช้แหล่งจ่ายไฟ 5 V จากภายนอกซึ่งหมายความว่าเมื่อทำการสื่อสารต้องเชื่อมต่อพอร์ตทั้งสี่พอร์ต (5V, RX, TX, GND) มิฉะนั้นจะไม่สามารถสื่อสารได้

### 2.4.4.2 อุณหภูมิในการทำงาน

-20 องศาเซลเซียส ถึง +60 องศาเซลเซียส

## 2.5 ESP8266

ESP8266 ถูกสร้างโดยบริษัท Espressif System ซึ่งโมดูล ESP8266 ประกอบไปด้วยชิป Microcontroller และ WIFI Module ซึ่งมีราคาถูก ซึ่งตัว ESP8266 สามารถโปรแกรมลงไปได้ ทำให้สามารถนำไปใช้งานแทน Microcontroller ได้เลย โดยมีพื้นที่โปรแกรมมากถึง 4 MB ทำให้เหลือพื้นที่เขียนมากในการการเขียนโปรแกรมลงไป

ESP8266 เป็นชิปไอซีบนบอร์ดของโมดูล ซึ่งไม่มีพื้นที่โปรแกรม (Flash Memory) ในตัว ทำให้ต้องมีไอซีภายนอก (External Flash Memory) ในการเก็บโปรแกรม ที่ใช้ในการเชื่อมต่อผ่านโปรโตคอล SPI ด้วยเหตุผลนี้ ESP8266 จึงมีพื้นที่โปรแกรมมากกว่าไอซีคอนโทรลเลอร์ตัวอื่นๆ ESP8266 นั้นทำงานที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 3.3 V - 3.6 V ดังนั้นการนำไปใช้งานร่วมกับเซนเซอร์อื่นๆที่ใช้แรงดัน 5 V ต้องใช้วงจรแบ่งแรงดันมาช่วย เพื่อไม่ให้โมดูลเสียหาย กระแสไฟฟ้าที่โมดูลใช้สูงสุดคือ

200 mA ความถี่คริสตอล 40 MHz ทำให้เมื่อนำไปใช้งานอุปกรณ์ที่ทำงานรวดเร็วตามความถี่ จะทำให้การแสดงผลข้อมูลรวดเร็วกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ยี่ห้ออื่นอย่าง Arduino มาก

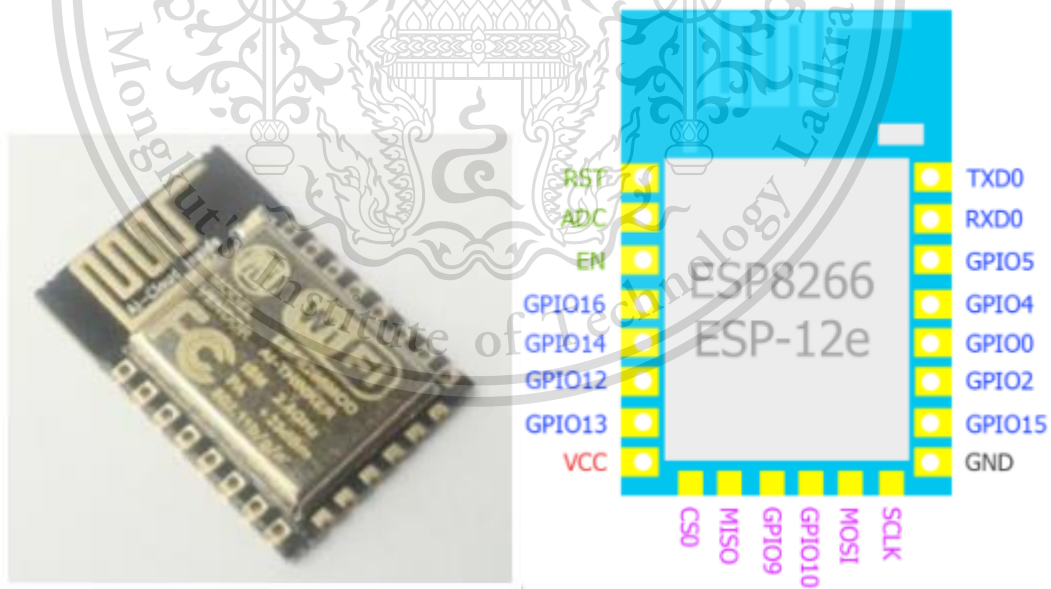
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ขาของโมดูล ESP8266 แบ่งได้ดังนี้

- VCC เป็นขาสำหรับจ่ายไฟเพื่อที่จะให้โมดูลทำงาน ซึ่งจะทำงานที่ช่วงแรงดัน 3.3 V - 3.6 V
- GND
- Reset และ CH\_PD (EN) เป็นขาที่ต้องต่อเข้ากับไฟ + เพื่อให้โมดูลทำงานได้ โดยทั้ง 2 ขานี้สามารถที่จะรีเซ็ตโมดูลได้ทั้งคู่ แต่ต่างกันที่ขา Reset สามารถที่จะลอยไว้ได้ แต่ขา CH\_PD (EN) ต้องต่อขาเข้ากับไฟ + ถ้ามาต่อเข้ากับไฟ + โมดูลจะไม่ทำงาน
- GPIO เป็นขาดิจิตอล INPUT / OUTPUT ซึ่งจะทำงานที่แรงดัน 3.3 V
- GPIO15 เป็นขาที่ต้องต่อลง GND เพื่อให้โมดูลทำงาน
- GPIO0 เป็นขาสำหรับการเลือกโหมดทำงาน หากนำขานี้ลง GND จะเข้าโหมดโปรแกรม หากลอยไว้หรือนำเข้าไฟ + โมดูลจะเข้าสู่โหมดการทำงานปกติ
- ADC เป็นขา Analog Input ซึ่งจะรับแรงดันได้สูงสุดที่ 1 V ขนาด 10 บิต การนำไปใช้งานกับแรงดันที่สูงกว่าต้องใช้อุปกรณ์แบ่งแรงดันเข้าช่วย

ESP-12e เป็นรุ่นที่อัปเดตมาจาก ESP-12 โดยเพิ่มขาตรงส่วนท้ายของแผ่นปริ้น 6 ขา คือ SCLK MOSI MISO ซึ่งเป็นขาที่ใช้เชื่อมต่อผ่านโปรโตคอล SPI เพราะในรุ่นอื่นๆต้องใช้ขา GPIO อื่นๆในการใช้งานโปรโตคอล SPI ทำให้ไม่ต้องใช้งาน GPIO อื่นๆ ทำให้ประหยัดขาการใช้งานไปได้



รูปที่ 2.13 ESP-12e

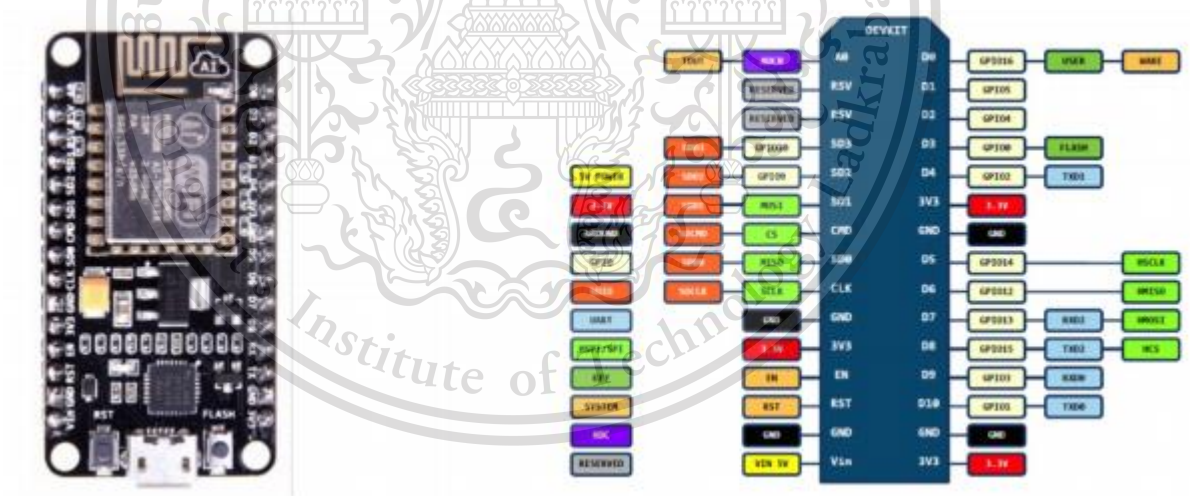
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.6 NodeMCU

NodeMCU คือ แพลตฟอร์มที่ใช้ช่วยในการสร้างโปรเจกต์ Internet of Thing (IoT) ประกอบไปด้วย Development kit และ Firmware ที่เป็น Opensource ซึ่งสามารถเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Lua ทำให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น NodeMCU จะมาพร้อมกับ ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญสำหรับการใช้อุปกรณ์เพื่อเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตตัว ESP8266 ที่อยู่ใน NodeMCU Version 1 จะฝังตัวโมดูล ESP-12 ส่วน NodeMCU Version 2 จะฝัง ESP-12e ซึ่งการใช้งานนั้นจะแตกต่างกันไม่มากนัก NodeMCU นั้นมีลักษณะคล้ายกับ Arduino ตรงที่มีพอร์ต INPUT OUTPUT Built-in มาในตัว ซึ่งสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมอุปกรณ์ I/O ได้โดยไม่ต้องผ่านอุปกรณ์อื่นๆ และสามารถใช้งานได้กับโปรแกรม Arduino IDE ได้ จึงสามารถใช้กับภาษา C/C++ ในการเขียนโปรแกรมได้ ทำให้เราสามารถใช้งานมันได้หลายหลายมากยิ่งขึ้นและสามารถทำอะไรได้หลายอย่างมากโดยเฉพาะโปรเจกต์ที่เกี่ยวข้องกับ IoT ไม่ว่าจะเป็นการทำ Web Server WIFI และอื่นๆอีกมากมาย NodeMCU Devkit 1.0 (ESP-12e) Version 2 เป็น Official NodeMCU โดยปรับปรุงให้มีขนาดกว้างเล็กลง ส่วนความยาวยังคงเท่ากับเวอร์ชันแรกและมีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยใช้โมดูลบอร์ด CP2102 ซึ่งเป็นบอร์ดที่เล็กที่สุดเมื่อเทียบกับทั้ง 3 เวอร์ชัน



รูปที่ 2.14 NodeMCU Devkit 1.0 (ESP-12e) Version 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

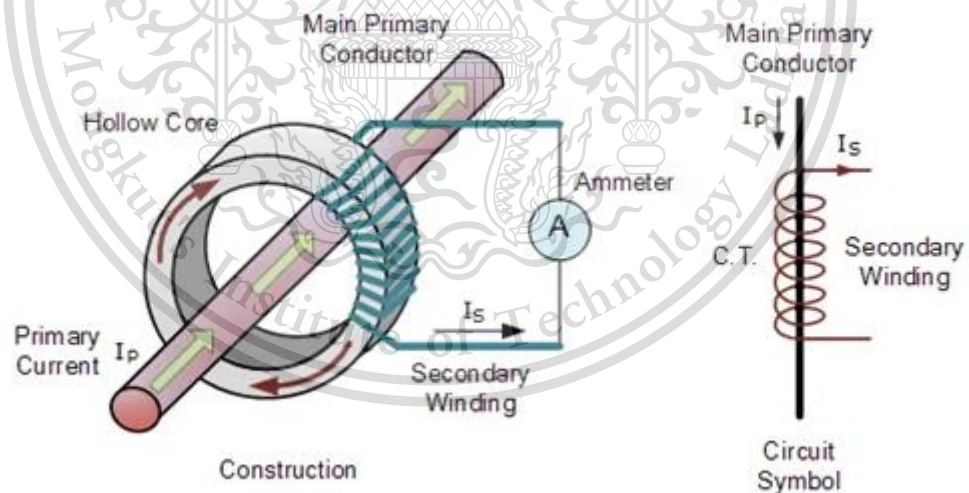
## 2.7 หม้อแปลงกระแส (Current Transformer)

CT วัดกระแส (Measuring Current Transformer)



รูปที่ 2.15 Current Transformer

Current Transformer คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ลดกระแสที่มีขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กกลงเพื่อให้ง่ายและปลอดภัยต่อการใช้งานในระบบไฟฟ้า



รูปที่ 2.16 หลักการทำงานของ Current Transformer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ขดลวดทางด้านปฐมภูมิ(Primary) มีสายไฟหรือบัสบาร์ผ่านแกนของ CT เพียงเส้นเดียวซึ่งหมายความว่า CT วัดกระแสหนึ่งตัวใช้งานได้ต่อโหลดได้ 1 ตัวต่อเฟส ในส่วนของขดลวดด้านทุติยภูมิ (Secondary) จะมีจำนวนรอบของขดลวดมากกว่าด้านเข้า

แกนรูปวงกลมของหม้อแปลงวัดกระแสทำมาจากเหล็กที่มีความสูญเสียต่ำ ซึ่งประสิทธิภาพและความแม่นยำของหม้อแปลงวัดกระแสขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัสดุที่นำมาทำเป็นแกนของตัวหม้อแปลงวัดกระแส การทำงานของหม้อแปลงวัดกระแสอาศัยหลักการลดกระแสทางด้านขาเข้าและขาออกแบบสัดส่วน โดยการเอาสายตัวนำหรือบัสบาร์เป็นขดลวดทางด้านปฐมภูมิ เมื่อมีกระแสไหลผ่านตัวนำจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กภายในแกนและมีกระแสไหลในขดลวดด้านทุติยภูมิ การเลือกใช้งานหม้อแปลงวัดกระแส(CT) คำนวณจากความสัมพันธ์

$$I_s(\text{Secondary}) = \frac{I_p(\text{primary}) \cdot N_p(\text{Amp ratio primary})}{N_s(\text{Amp ratio Secondary})}$$

ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Burden)

เป็นค่าความสามารถในการต่อกับโหลดทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงวัดกระแส โดยอุปกรณ์ที่นำมาต่อรวมจะต้องมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียไม่เกินค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของ CT ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียแสดงค่าเป็น VA

ค่าความเที่ยงตรง (Accuracy Class)

ค่าความเที่ยงตรงหรือที่ระบุว่าเป็น Class ในสเปคของหม้อแปลงวัดกระแสจะมีผลกับการใช้งานซึ่งในแต่ละการใช้งานจะเลือกใช้หม้อแปลงวัดกระแสที่มีค่าความเที่ยงตรงไม่เท่ากัน

แรงดันไฟฟ้ากำหนดของระบบ (System Voltage rating)

แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถใช้งานหม้อแปลงวัดกระแสสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

- แรงดันไฟฟ้าต่ำ ขนาดไม่เกิน 1000 V
- แรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง 1.1 kV-72.5 kV
- แรงดันไฟฟ้าสูงขนาด 132 kV-475 kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

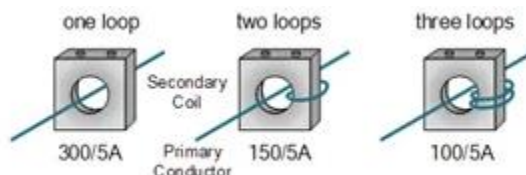
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การเปลี่ยนอัตราส่วนของหม้อแปลงวัดกระแส

คำนวณได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

ค่ากระแสต้านปฐมภูมิเก่า/ ค่ากระแสต้านปฐมภูมิที่ต้องการ = จำนวนรอบทางด้านปฐมภูมิ



รูปที่ 2.17 Current Transformer Primary Turns Ratio

ขนาด (Dimension)

ขนาดของหม้อแปลงวัดกระแสควรเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งานและควรคำนึงถึงขนาดรูของ CT ในการคล้องสายไฟหรือบัสบาร์ การ Overload และการอิ่มตัว (Saturation)

ค่ากระแสที่หม้อแปลงวัดกระแสสามารถทนได้เป็นเวลา 1 นาทีโดยความร้อนที่เกิดจากการ Overload จะไม่ส่งผลกระทบต่อความเป็นฉนวนของขดลวด CT การทนกระแส Overload

ค่ากระแสที่ไหลต่อเนื่องผ่านขดลวดของ CT โดยที่ไม่เกิดความเสียหายต่อ CT โดยทั่วไปแล้วมีค่าเท่ากับ 1.2 เท่าของพิกัด CT

ตำแหน่งในการติดตั้ง

- ติดตั้งกับราง Din Rail
- ติดตั้งที่ผนังในตู้
- ติดตั้งกับสายไฟหรือบัสบาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## ข้อควรระวัง (Safety)

ถ้ามีกระแสไหลทางด้านปฐมภูมิขดลวดทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงวัดกระแส ควรปิดวงจร เนื่องจากตอนปิดวงจรอิมพีแดนซ์และแรงดันจะมีค่าต่ำแต่ถ้า CT เปิดวงจรจะทำให้ อิมพีแดนซ์และแรงคามีค่าที่สูงมากส่งผลให้ฉนวนละลายและทำให้ CT เกิดความเสียหาย

## การติดตั้ง (Installation)

ถ้าเราใช้หม้อแปลงวัดกระแสสำหรับวัดค่าพลังงานจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนึงถึง ความถูกต้องของการต่อและทิศทาง การเข้าสาย การต่อสายไฟของการวัดการใช้พลังงานด้านปฐมภูมิ ต้องต่อสายไฟจากแหล่งจ่ายจากด้าน P1 ออก P2 แล้วออกไปหาโหลด ส่วนด้านทุติยภูมิต่อ S1 เข้ากับ ขั้วที่มีความเป็นบวกมากที่สุดและต่อ S2 เข้ากับขั้วลบของอุปกรณ์ที่นำมาต่อร่วม

## 2.8 Arduino IDE

การเขียนโปรแกรมใช้ Arduino IDE ในการเขียน code เพื่อป้อนข้อมูลให้ ESP8266 สามารถประมวลผลค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบไฟฟ้าและส่งค่าไปเก็บไว้ที่ cloud



รูปที่ 2.18 โปรแกรม Arduino IDE

## 2.9 Thingspeak

เป็นแพลตฟอร์มการวิเคราะห์บริการของโปรแกรม IOT ที่ช่วยเก็บรวบรวมบันทึก ข้อมูลของ IOT โดยสามารถแสดงผลข้อมูล จัดการและพัฒนางานด้าน IOT มีคุณสมบัติดังนี้

- เป็นตัวกลางระหว่างอุปกรณ์กับอุปกรณ์

- เก็บข้อมูลและแสดงผลข้อมูลแบบ Realtime

- สามารถวิเคราะห์ข้อมูลจากผลของมัน

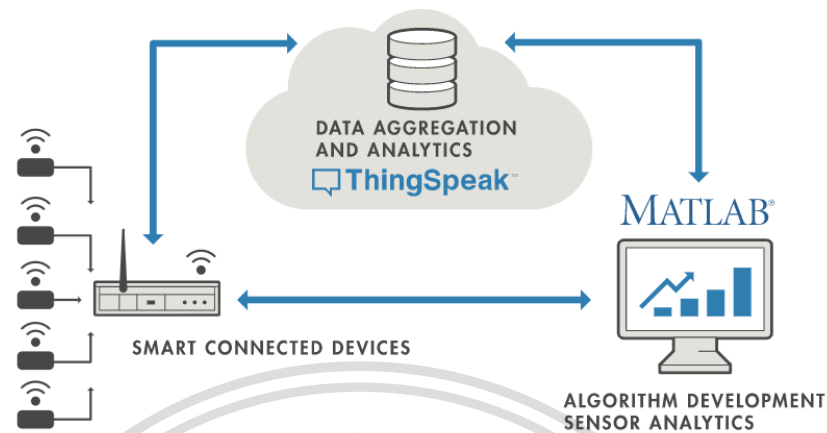
- สามารถเปิดแบบ public เพื่อให้คนได้เปิดดูได้ทุกๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นแต่มีเหตุข้อยกเว้นที่จำเป็นต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only; not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- สามารถนำไปผสานกับ แพลตฟอร์มอื่นๆได้



รูปที่ 2.19 แพลตฟอร์ม Thingspeak

## 2.10 Blynk

เป็นแอปพลิเคชันบนมือถือที่มีเซิร์ฟเวอร์เป็นของตัวเอง ถือว่าเป็นแอปพลิเคชันที่สำเร็จมาแล้วเพียงแค่เขียน code การเชื่อมต่อลงในโปรแกรม IDE ลงในบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแอปพลิเคชันนี้สามารถแสดงผลค่าต่างๆหรือรับค่าเพื่อส่งไปยังตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เช่นดูค่า volt ค่า Amp การสั่งเปิดปิดแสงสว่าง เป็นต้น



รูปที่ 2.20 แอปพลิเคชัน Blynk

## 2.11 ภาษา C#

ภาษา C# เป็นภาษาโปรแกรมเชิงวัตถุ (object-oriented programming language) ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยบริษัทไมโครซอฟต์โดยใช้รากฐานของภาษา C/C++ เป็นหลัก ใน

ปัจจุบันได้มีซอฟต์แวร์สำหรับช่วยพัฒนาโปรแกรมภาษา C# อยู่มากมาย ให้เลือกใช้ซึ่งเพิ่มความสะดวกและลดข้อผิดพลาดลงได้เป็นอย่างมาก ซอฟต์แวร์หลายตัวถูกแจกจ่าย ให้นำไปใช้งานได้โดยไม่

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

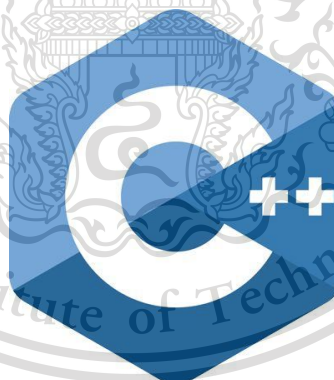
ต้องเสียค่าใช้จ่าย หนึ่งในซอฟต์แวร์เหล่านั้นคือ Microsoft Visual C# 2008 Express Edition C#  
ได้รวบรวมข้อดีของภาษาต่างๆ เช่น Java, Delphi, C++ เข้าไว้ด้วยกัน



รูปที่ 2.21 สัญลักษณ์ของ C#

## 2.12 ภาษา C++

C++ เป็นภาษาคอมพิวเตอร์เพื่อวัตถุประสงค์ทั่วไป ซึ่งสามารถเขียนโปรแกรมได้ทั้งแบบออบเจ็คและการเขียนโปรแกรมแบบปกติทั่วไปและมีเครื่องมืออำนวยความสะดวกในการจัดการและการเข้าถึงหน่วยความจำ นอกจากนี้ยังถูกนำไปใช้ในการเขียนโปรแกรมแบบต่างๆมากมาย



รูปที่ 2.22 สัญลักษณ์ของ C++

## 2.13 แพลตฟอร์มไฟร์เบส (Firebase)

Firebase เป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ของ Google โดย Firebase คือ Platform ที่รวบรวมเครื่องมือต่าง ๆ สำหรับการจัดการในส่วน Backend หรือ Server side ซึ่งทำให้สามารถ Build Mobile Application ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังลดเวลาและค่าใช้จ่ายของการทำ Server side หรือการวิเคราะห์ข้อมูลให้อีกด้วย โดยมีทั้งเครื่องมือที่ฟรี และเครื่องมือที่มีค่าใช้จ่าย

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



# Firebase

## รูปที่ 2.23 โปรแกรม Firebase

### 2.14 ระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (Augmented Reality)

Augmented Reality หรือเรียกสั้นๆว่า AR เป็นเทคโนโลยีที่เอาโลกแห่งความจริง (Real) เข้ากับโลกเสมือน (Virtual) ผ่านซอฟต์แวร์และอุปกรณ์เชื่อมต่อต่างๆ ซึ่งจะทำให้ภาพที่เห็นในจอภาพกลายเป็นวัตถุ 3 มิติลอยอยู่เหนือพื้นผิวจริง โดย AR ซึ่งแบบที่ใช้ระบบพิกัดในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างข้อมูลบนโลกเสมือนจริงในทางเทคนิคแล้วภาพสัญลักษณ์ที่ใช้ จะเรียกว่า “Marker” หรือ “AR Code”



รูปที่ 2.24 ตัวอย่างการใช้ระบบความจริงเสมือน

#### 2.14.1 หลักการของระบบความจริงเสมือน (Augmented Reality)

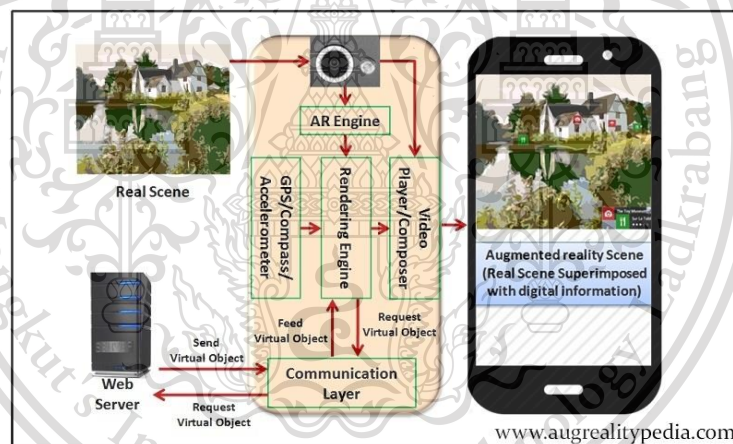
แนวคิดหลักของเทคโนโลยีเสมือนจริง คือการพัฒนาเทคโนโลยีที่ผสานเอาโลกแห่งความจริงและความเสมือนจริง เข้าด้วยกันผ่านซอฟต์แวร์และอุปกรณ์เชื่อมต่อต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์ สมาร์ทโฟน เป็นต้น ซึ่งภาพเสมือนจริงนั้น จะแสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ หน้าจอ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โทรศัพท์มือถือ หรืออุปกรณ์แสดงผลอื่นๆ โดยภาพเสมือนจริงที่ปรากฏขึ้นนั้น จะมีปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ได้ทันที ทั้งในลักษณะที่เป็นภาพนิ่งสามมิติ ภาพเคลื่อนไหว หรืออาจจะเป็นสื่อที่มีเสียงประกอบ ขึ้นกับการออกแบบสื่อแต่ละรูปแบบว่าให้ออกมาแบบใด โดยกระบวนการภายในของเทคโนโลยีเสมือนจริงประกอบไปด้วย 3 กระบวนการ คือ

- 1) การวิเคราะห์ภาพ (Image Analysis) เป็นขั้นตอนการค้นหา Marker จากภาพที่ได้จากกล้องแล้ว สืบค้นจากฐานข้อมูล (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



รูปที่ 2.25 หลักการขอระบบสนับสนุนความจริงเสมือน

2.14.2 องค์ประกอบของระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (Augmented Reality) ประกอบด้วย

- 1) AR Code หรือ Marker ใช้ในการกำหนดตำแหน่งของวัตถุ
- 2) Eye หรือ กล้องวิดีโอ กล้องโทรศัพท์มือถือ หรือตัวจับเซนเซอร์อื่นๆ ที่ใช้มองตำแหน่งของ Marker แล้วส่งข้อมูลเข้า AR Engine
- 3) AR Engine เป็นตัวส่งข้อมูลที่อ่านผ่านเซิร์ฟเวอร์หรือส่วนประมวลผล เพื่อแสดงภาพต่อไป
- 4) Display หรือ จอแสดงผล เพื่อให้แสดงผลข้อมูลที่ AR Engine ส่งมาให้ในรูปแบบของภาพ หรือ

วิดีโอ อีกวิธีหนึ่ง เราสามารถรวมกล้อง AR Engine และจอภาพเข้าด้วยกันในอุปกรณ์เดียว เช่น ไม่่ว่ากรณีใดโทรศัพท์มือถือ แท็บเล็ต หรืออื่นๆ นี้อาจ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.15 วูโฟเรีย (Vuforia)

Vuforia คือ ซอฟต์แวร์แพลตฟอร์มสำหรับพัฒนาแอปพลิเคชันระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (Augmented Reality) โดยผู้พัฒนาแอปพลิเคชันระบบสนับสนุนความจริงเสมือนสามารถเพิ่มฟังก์ชันการประมวลผลต่าง ๆ ลงแอปพลิเคชันได้โดยง่าย เพื่อให้แอปพลิเคชันสามารถรับรู้ได้ถึงรูปภาพหรือวัตถุแล้วแสดงผลออกมาในโลกแห่งความเป็นจริงได้ ซึ่งแพลตฟอร์ม Vuforia นั้น สนับสนุนการพัฒนาแอปพลิเคชันสนับสนุนความจริงเสมือนสำหรับอุปกรณ์ Android, IOS และ UWP



รูปที่ 2.26 Vuforia

2.15.1 Vuforia Target Manager เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการสร้างและจัดการฐานข้อมูล Image Target ได้แบบออนไลน์โดยสามารถกำหนดการเข้าถึงการจัดการรากฐานข้อมูลได้ผ่าน 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

2.15.2 Image Targets คือ รูปภาพที่ Vuforia SDK ใช้ตรวจจับและติดตามโดยที่รูปภาพนี้จะต่างจากเครื่องหมายแบบดั้งเดิม คือไม่จำเป็นต้องอยู่ในรูปแบบรหัสข้อมูลหรือ QR Code แต่จะใช้รูปภาพใดก็ได้ ซึ่ง SDK จะตรวจจับรูปภาพนั้นเปรียบเทียบกับรูปภาพที่มีในฐานข้อมูล เมื่อตรวจพบ Image Targets แล้ว SDK จะทำการติดตามภาพนั้นทราบเท่าที่ยังมีส่วนของภาพอยู่ในมุมมองของกล้องอย่างน้อยหนึ่งส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.16 โปรแกรมยูนิตี้ทรีดี (Unity 3D)

Unity คือ เครื่องมือที่ใช้สร้างเกมหรือที่เรียกว่า Game Engine ซึ่งใช้สร้างเกม 3 มิติ หรือเกม 2 มิติ โดยโปรแกรม Unity นั้น สามารถทำงานได้บน 2 แพลตฟอร์ม คือ Window และ OSX และยังสามารถ Export งาน เพื่อนำไปใช้ได้หลายแพลตฟอร์ม เช่น Window, OSX, Android, IOS เป็นต้น

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



รูปที่ 2.27 Unity

### 2.16.1 ส่วนประกอบของ Unity

- 1) GameObject คือ วัตถุต่างๆที่อยู่ในเกม เช่น รถ, คน, สัตว์, ก้อนหิน เป็นต้น
- 2) Component คือ คุณลักษณะหรือความสามารถต่างๆ ของ Object เช่น การเคลื่อนไหว ,การส่งเสียง เป็นต้น
- 3) Asset คือ คุณลักษณะภาพนอกที่เสริมการทำงานของ Component
- 4) Scene คือ ฉากแต่ละฉากซึ่งประกอบด้วย Game Object หลายๆ ตัวรวมกัน

### 2.16.2 ส่วนประกอบของโปรแกรม Unity



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

### รูปที่ 2.28 โปรแกรม Unity

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- 1) Project เป็นส่วนที่ใช้ในการเก็บทรัพยากรต่างๆก่อนนำไปสร้างเกม เช่น
    - สคริปต์ต่างๆที่ใช้กำหนดควบคุมตัวเกม
    - 3D โมเดล ใช้เป็นตัวละครหรือวัตถุต่างๆในเกม
    - Textures หรือพื้นผิวต่างๆ
    - ไฟล์เสียง หรือวิดีโอ
    - Prefabs
    - อื่นๆ
  - 2) Hierarchy คือส่วนที่บอกลำดับชั้นของ Object ต่างๆ ที่อยู่ใน Scene นั้นๆ ซึ่งมีทั้ง Object แบบเดี่ยว และ Object ที่เป็นแม่ลูกกัน ซึ่งเมื่อมีการจัดการอะไรบางอย่างกับ Object แม่ Object ที่เป็นลูกนั้นก็จะมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย การสร้าง Object มีวิธีคือลาก Object ต่างๆ ที่อยู่ใน Project มาใส่ไว้ในส่วนของ Hierarchy หลังจากนั้นจะปรากฏวัตถุที่ลากจาก Project มาวางบน Hierarchy จะปรากฏขึ้นบน Scene ซึ่ง Object ต่างๆเหล่านี้ สามารถเพิ่ม แก้ไขและลบได้โดยไม่กระทบกับ Object ที่อยู่ใน Project
  - 3) Scene เป็นส่วนที่บ่งบอกว่าในฉากที่กำลังทำงาน มี Object อะไรบ้าง สามารถจัดการ Object ต่างๆ เช่น กล้อง แสง เอฟเฟค หรือโมเดล 3 มิติ ได้จากส่วนนี้
  - 4) Game คือส่วนที่แสดงการทำงานของเกมใน Scene ทำให้มองเห็นภาพ เหตุการณ์ และการทำงานของวัตถุต่างๆภายใน Scene ที่สร้างขึ้น
  - 5) Inspector เป็นส่วนที่บ่งบอกถึงคุณสมบัติต่างๆของ Object ซึ่งสามารถจัดการคุณสมบัติต่างๆของ Object ได้ในกรอบของ Inspector
- โปรแกรม Unity สามารถใช้งานร่วมกับ Vuforia ในการสร้างแอปพลิเคชันระบบสนับสนุนความจริงเสมือน หรือ AR ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.17 โปรแกรมวิซวล สตูดิโอ (Visual Studio)

Visual Studio คือโปรแกรมสร้างเว็บเพจแบบเสมือนจริงของค่าย Microsoft ซึ่งช่วยให้ผู้ที่ต้องการสร้างเว็บเพจไม่ต้องเขียนภาษา HTML หรือ โค้ดโปรแกรมเอง ที่โปรแกรม Visual Studio มีฟังก์ชันที่ทำให้ผู้ใช้สามารถจัดวางข้อความ รูปภาพ ตาราง ฟอรัม วิดีโอ รวมถึงองค์ประกอบอื่น ๆ ภายในเว็บเพจได้อย่างสวยงามตามที่ใช้ต้องการโดยไม่ต้องใช้ภาษาสคริปต์ที่ยุ่งยากซับซ้อนเหมือนก่อน โปรแกรม Visual Studio รองรับการเขียนโปรแกรมหลายภาษา เช่น C++, C#, Java, VB, VB.NET, PHP, PYTHON, GROOVY และภาษาอื่นๆ อีกมากมาย



รูปที่ 2.29 Visual Studio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 3

### การออกแบบและพัฒนา

จากการศึกษาทฤษฎีหลักการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ จะอธิบายถึงวิธีการดำเนินการจัดทำอุปกรณ์สำหรับเป็นระบบช่วยเหลือการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าในอาคาร รวมถึงขั้นตอนการเข้าสำรวจพื้นที่ที่เกิดปัญหาในระบบไฟฟ้าและการออกแบบเพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันจากเทคโนโลยีความจริงเสมือน (Augmented Reality) และ Internet of Things (IoT) จึงแบ่งหลักการดำเนินงานของระบบออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ออกแบบฮาร์ดแวร์ (Hardware) และส่วนที่ออกแบบซอฟต์แวร์ (Software)

#### 3.1 การจัดทำข้อมูลสำหรับการออกแบบระบบช่วยเหลือการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าในอาคาร

คณะผู้จัดทำได้ทำการสำรวจอาคารเจ้าคุณทหาร โชน B คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อออกแบบระบบช่วยเหลือการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าในอาคาร

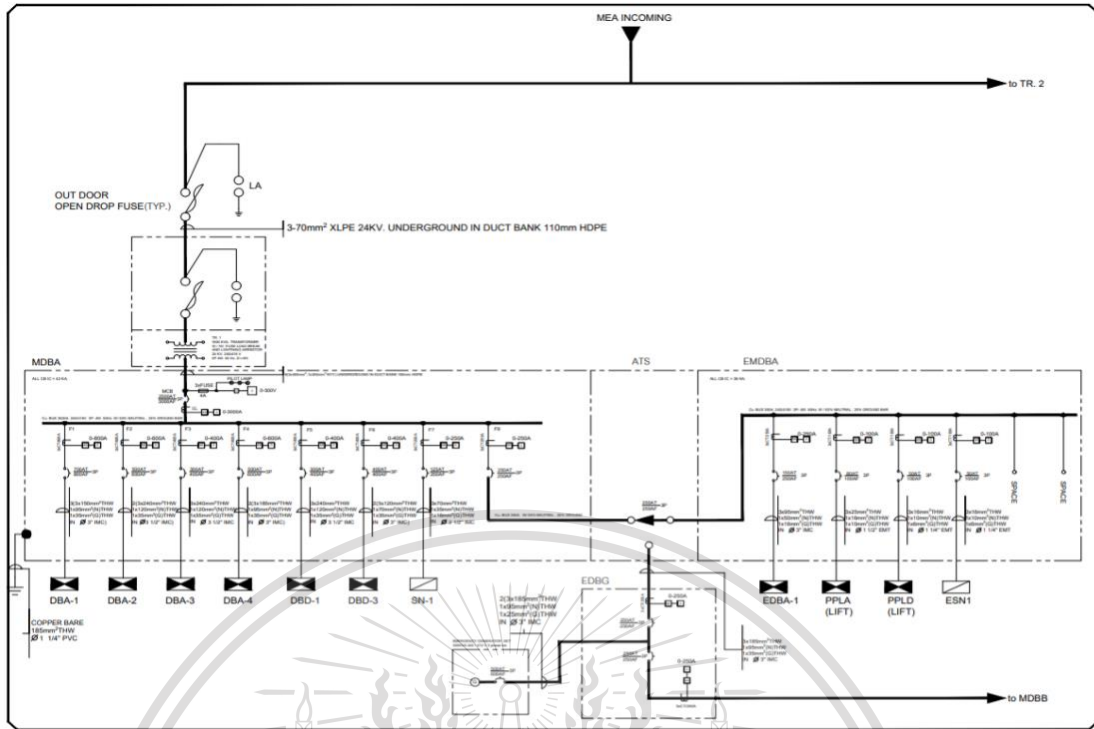
3.1.1 ผลการสำรวจระบบส่วน Incoming System (Main Transformers, Feeder, Protection system) และระดับ Utility System ของพื้นที่โซน B อาคารเจ้าคุณทหาร

ได้มีการสำรวจและจัดทำข้อมูลแบบไฟฟ้า (Single line diagram) โดยใช้โปรแกรม AutoCAD Electrical 2020

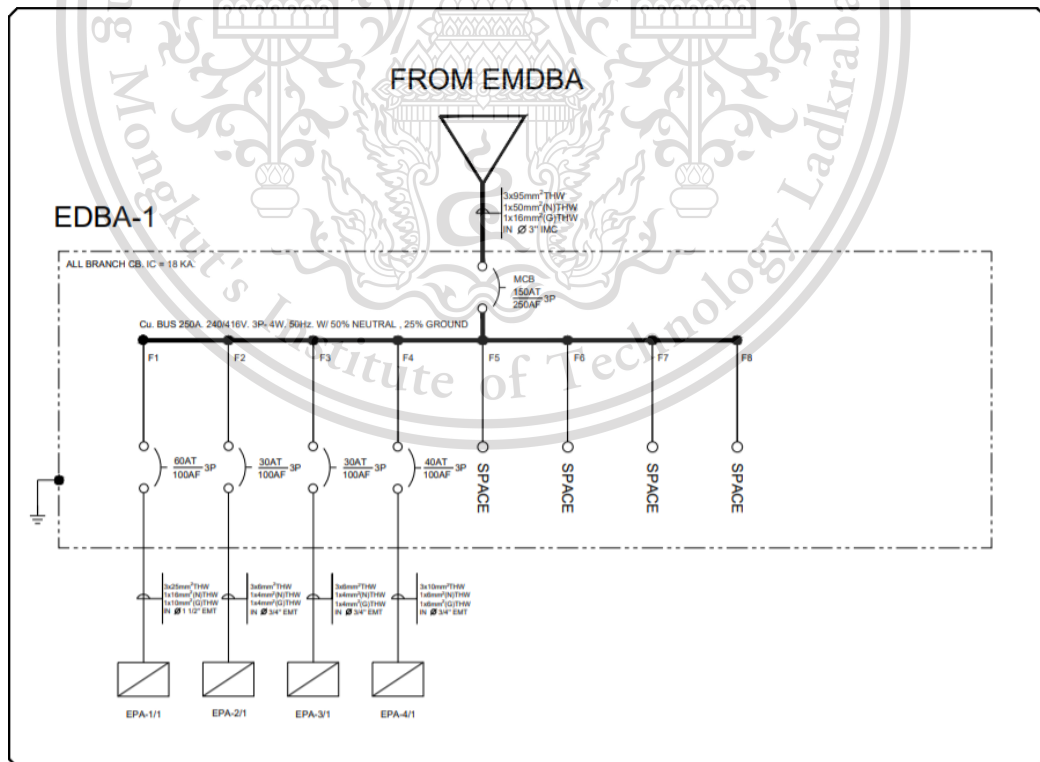
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.1 แบบไฟฟ้า (Single line diagram) ของ MDBA อาคารเจ้าคุณทหาร โซน B

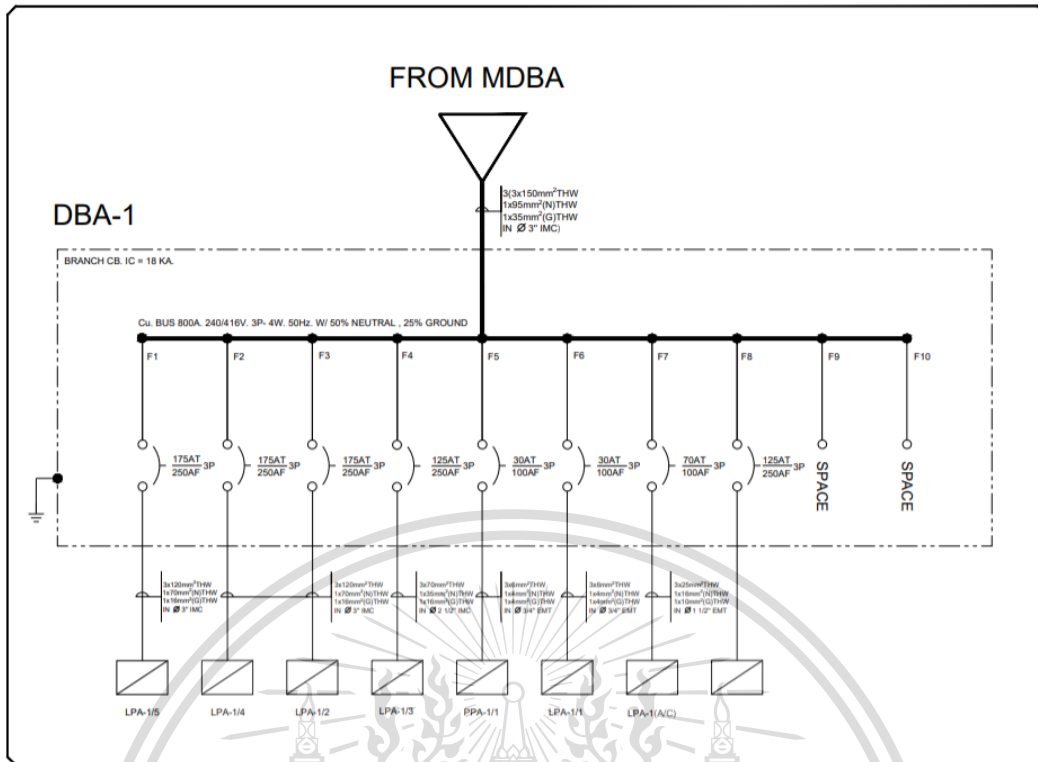


รูปที่ 3.2 แบบไฟฟ้า (Single line diagram) ของ EDBA-1 อาคารเจ้าคุณทหาร โซน B

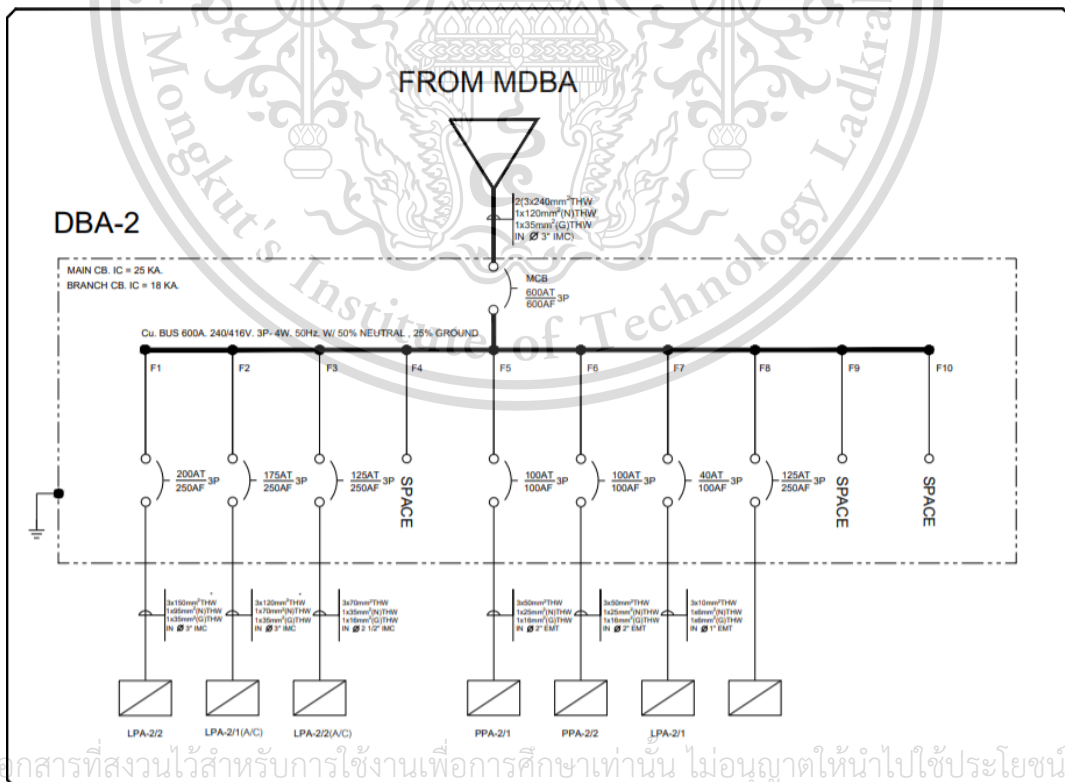
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้วงในได้ละเมิดข้อกำหนดด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.3 แบบไฟฟ้า (Single line diagram) ของ DBA-1 อาคารเจ้าคุณทหาร โชน B



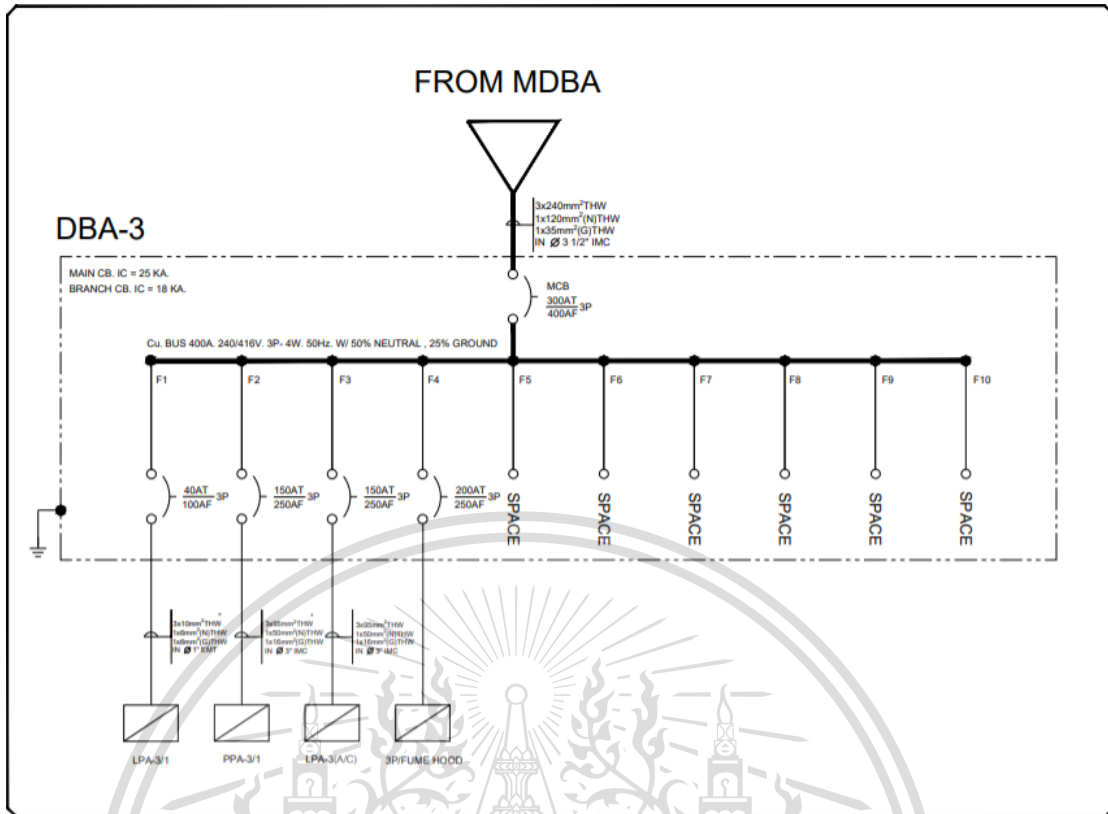
รูปที่ 3.4 แบบไฟฟ้า (Single line diagram) ของ DBA-2 อาคารเจ้าคุณทหาร โชน B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

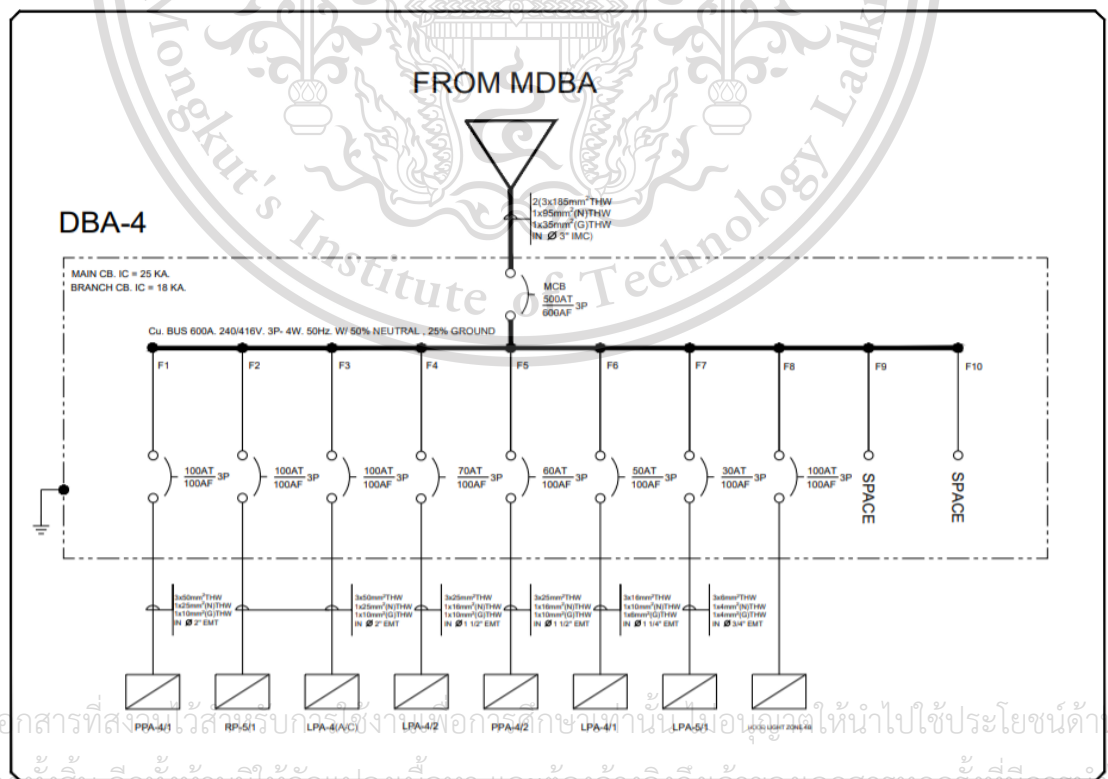
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น กรุณาแจ้งให้ทราบก่อนจะนำเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.5 แบบไฟฟ้า (Single line diagram) ของ DBA-3 อาคารเจ้าคุณทหาร โซน B



รูปที่ 3.6 แบบไฟฟ้า (Single line diagram) ของ DBA-4 อาคารเจ้าคุณทหาร โซน B

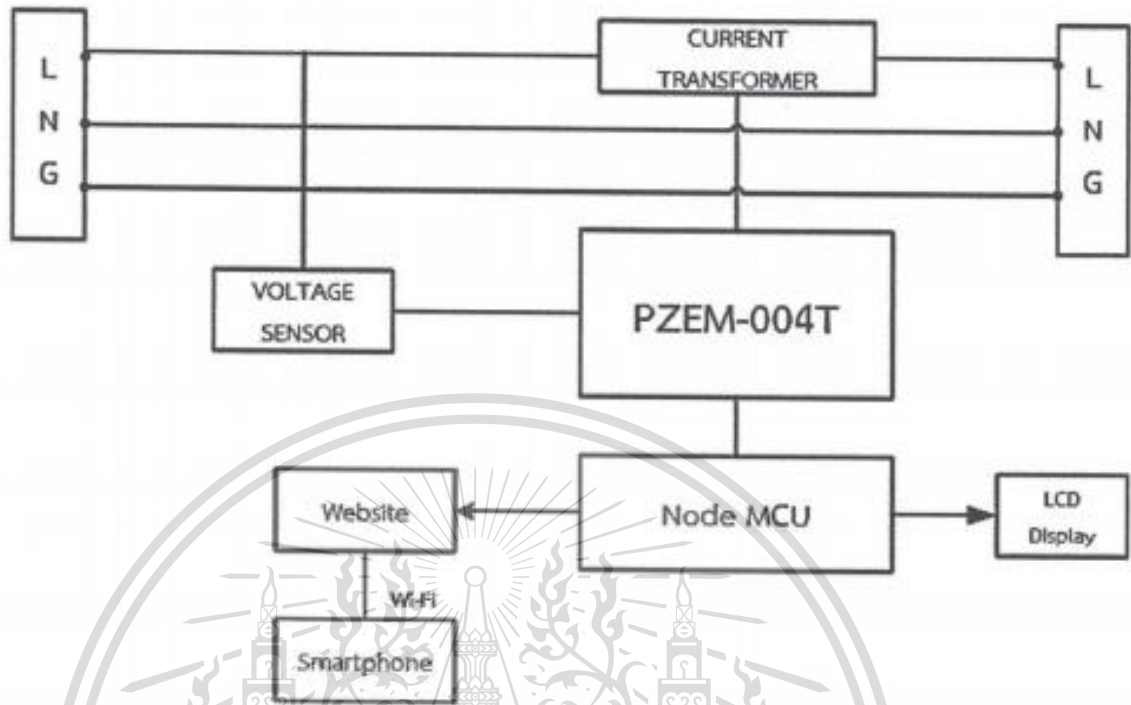
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคคลใช้งานเพื่อการศึกษารวบรวมข้อมูลเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น ยี่สิบห้า มิถุนายน พ.ศ. ๒๕๖๕ และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.2 การออกแบบระบบช่วยเหลือการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าในอาคาร



รูปที่ 3.7 ระบบช่วยเหลือการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าในอาคาร

ภาพรวมของระบบและหลักการทำงานของอุปกรณ์เฝ้าระวังระบบไฟฟ้าได้ทำการออกแบบการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.7 โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด ซึ่งใช้โมดูล PZEM-0048 V3 ซึ่งเป็นโมดูลที่มีหม้อแปลงแรงดัน (Voltage Transformer) และหม้อแปลงกระแส (Current Transformer) ในการวัดค่าพารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้า ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า ความถี่และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และส่งข้อมูลไปประมวลผลและคำนวณผ่าน NodeMCU ESP8266-12E ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการรับส่งข้อมูลให้กับวงจรวัดค่าพลังงานโดยส่งข้อมูลไปเก็บไว้ที่คลาวด์ (Cloud) แล้วนำข้อมูลที่ถูกระประมวลผลมาแสดงผลผ่านทางแอปพลิเคชันทางสมาร์ทโฟน ซึ่งการรับส่งนั้นจะใช้เทคโนโลยี IoT เป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูล

### 3.3 หลักการออกแบบฮาร์ดแวร์

PZEM-004T AC Digital Power Energy Meter Module วัดการใช้พลังงานไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ความถี่และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแล้วนำค่าเหล่านี้มา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

วิเคราะห์หาปัญหาและตรวจสอบระบบไฟฟ้าในขั้นต่อไป

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

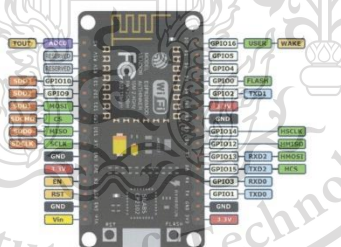
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โมดูลนี้มีอินเทอร์เฟซการสื่อสารกันแบบอนุกรม TTL สามารถตั้งค่าและอ่านค่าของพารามิเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม แต่ถ้าต้องการที่จะสื่อสารกับอุปกรณ์ที่มี USB หรือ RS232 ในคอมพิวเตอร์จะต้องติดตั้งบอร์ด TTL pin ที่แตกต่างกัน ต้องมีการสื่อสารกันผ่าน USB และติดตั้ง TTL กับ USB pin board โดยการสื่อสารกันแบบ RS232 จะต้องมีติดตั้ง TTL ไว้ที่ขา RS232 board



รูปที่ 3.8 โมดูลวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบไฟฟ้า PZEM-004T V3

NodeMCU เป็นบอร์ดที่ใช้ ESP8266 เป็น CPU สำหรับประมวลผลโปรแกรมต่างๆ มีขนาดเล็กแต่มีพื้นที่สูงในการเขียนโปรแกรมและสามารถเชื่อมต่อกับ WiFi ได้ ทำให้ง่ายต่อการเชื่อมต่อ สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยี Internet of Things ได้หลากหลาย บนบอร์ดรุ่นนี้ใช้ ESP8266-12E มีพื้นที่หน่วยความจำ ROM สูงถึง 4 MB เพียงพอที่จะเขียนโปรแกรมขนาดใหญ่ได้อีกทั้งภายในยังเป็น ARM ขนาดย่อม ใช้ความถี่สูงถึง 40 MHz ทำให้สามารถประมวลผลในโปรแกรมได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 3.9 NodeMCU WiFi Module ESP8266-12E



รูปที่ 3.10 โมดูล ESP8266-12E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.3.1 วงจรโมดูล PZEM-004T เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266-12E

โมดูล PZEM-004T V3 วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบไฟฟ้า โดยวัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้ 80 - 260 VAC และวัดค่ากระแสไฟฟ้าได้ 0-100 A ทำงานได้ที่ความถี่ 45-65 Hz และสามารถแยกไฟสูงออก จากไฟต่ำเพื่อใช้กับ Microcontroller แล้วไม่เสี่ยงต่อการโดนไฟฟ้าดูด โดยการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจะ วัดจากแรงดันตกคร่อมระหว่างแหล่งจ่ายกับนิวทรอล และการวัดค่ากระแสไฟฟ้าจะใช้ Current Transformer คล้องสายด้านที่มาจากแหล่งจ่ายทั้งสามเฟสซึ่งจะวัดทีละเฟส จากนั้นโมดูลจะแปลงค่า เป็นดิจิตอลส่งค่าไปยัง NodeMCU ESP8266-12E เพื่อใช้ประเมินสถานะการทำงานของระบบไฟฟ้า 3 เฟส

#### PZEM-004T วัดเฟส A

ตารางที่ 3.1 วงจร PZEM-004T เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266-12E เฟส A

PZEM-004T	NodeMCU
5V	5V
RX	D5
TX	D6
GND	GND

#### PZEM-004T วัดเฟส B

ตารางที่ 3.2 วงจร PZEM-004T เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266-12E เฟส B

PZEM-004T	NodeMCU
5V	5V
RX	D3
TX	D4
GND	GND

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

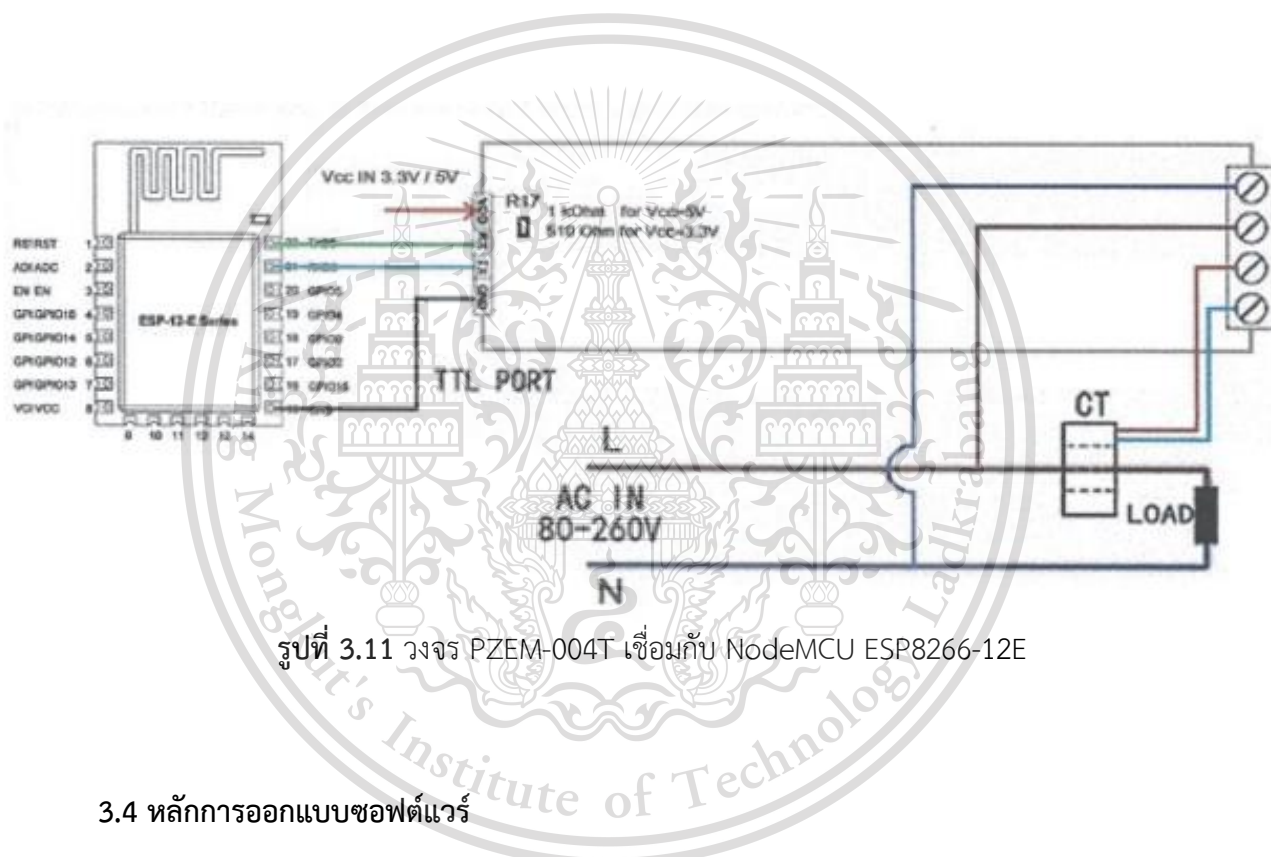
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

PZEM-004T วัตต์เฟส C

ตารางที่ 3.3 วงจร PZEM-004T เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266-12E เฟส C

PZEM-004T	NodeMCU
5V	5V
RX	D1
TX	D7
GND	GND



รูปที่ 3.11 วงจร PZEM-004T เชื่อมกับ NodeMCU ESP8266-12E

### 3.4 หลักการออกแบบซอฟต์แวร์

#### 3.4.1 การเขียนโปรแกรม

การเขียนโปรแกรมใช้ Arduino IDE ในการเขียน Code เพื่อป้อนข้อมูลให้ ESP8266 สามารถประมวลผลค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบไฟฟ้าและส่งค่าไปเก็บไว้ที่ Cloud

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

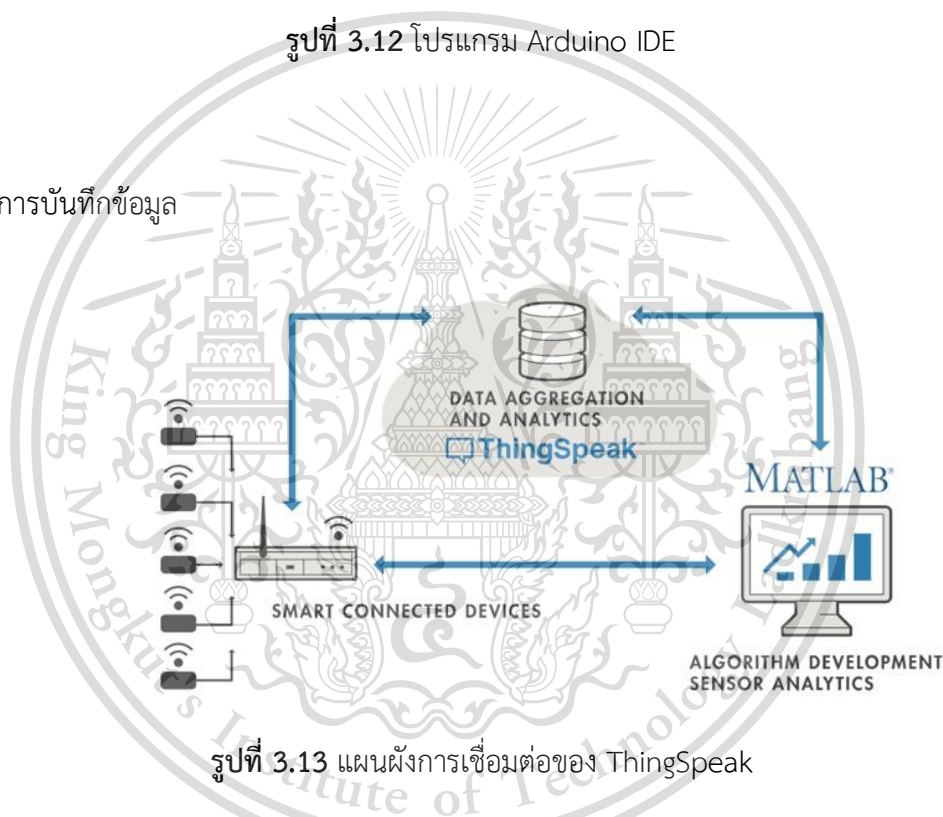
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.12 โปรแกรม Arduino IDE

## 3.4.2 การบันทึกข้อมูล



รูปที่ 3.13 แผนผังการเชื่อมต่อของ ThingSpeak

ทำการส่งข้อมูล NodeMCU ไปที่เว็บไซต์ Thingspeak.com ซึ่งเป็น Platform ในการบันทึกและอ่านค่าข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ไปเก็บไว้ที่ Cloud Database ซึ่งในการบันทึกค่าของ ThingSpeak สามารถแสดงผลในรูปแบบของกราฟได้ด้วย การบันทึกข้อมูลนั้นจะบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบไฟฟ้า ได้แก่ Voltage, Current, Active Power, Energy, Frequency และ PF โดยบันทึกไฟล์ในรูปแบบของ .csv หรือไฟล์ Excel และจะทำการบันทึกค่าในทุกๆ 15 วินาที โดยแสดงผลในรูปแบบของกราฟดังต่อไปนี้

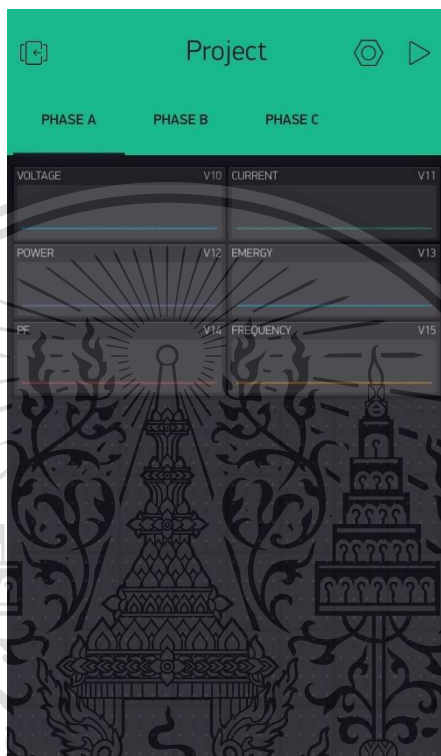
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.4.3 การแสดงผล

การแสดงผลสามารถแสดงผลผ่านทางแอปพลิเคชัน Blynk บนสมาร์ตโฟนโดย เชื่อมต่อกันผ่านระบบ IoT และดึงข้อมูลมาจาก ThingSpeak โดยที่ Blynk จะแสดงค่าพารามิเตอร์ ต่างๆของระบบไฟฟ้า คือ Voltage, Current, Active Power, Energy, Frequency และ PF สามารถตั้งค่าขอบเขตแรงดันไฟฟ้าเพื่อป้องกันแรงดันตก โดยจะแสดงผลดังนี้



รูปที่ 3.14 การแสดงผลผ่านแอปพลิเคชัน Blynk

### 3.4.4 ระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (Augmented Reality)

การออกแบบแอปพลิเคชัน เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการเฝ้าระวังและประเมินสถานะ ของวงจรต่างๆ ของระบบไฟฟ้าในอาคารสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรกคือส่วนที่ใช้ เฝ้าระวังและแสดงผลการประเมินสถานะการทำงานของวงจรไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีสนับสนุนความ จริงเสมือนและส่วนที่สองคือส่วนที่ใช้เฝ้าระวังและแสดงผลการประเมินสถานะการทำงานของ วงจรไฟฟ้าโดยที่ไม่ใช้เทคโนโลยีสนับสนุนความจริงเสมือน ซึ่งทั้งสองส่วนสามารถเฝ้าระวังและ ประเมินสถานะของวงจรไฟฟ้าได้เหมือนกัน แต่ส่วนที่ใช้เทคโนโลยีสนับสนุนความจริงเสมือนจะต้องใช้ กล้องในแอปพลิเคชันส่อง QR Code จึงจะสามารถดูผลการประเมินสถานะการทำงานของวงจรไฟฟ้า ได้และสามารถแสดงผลการประเมินได้แบบเรียลไทม์ผ่านแอปพลิเคชัน AR ในการทำงานส่วนนี้จะต้อง

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ใช้อินเทอร์เน็ตทั้งในเครื่องมือวัดและแอปพลิเคชัน โดยแอปพลิเคชันถูกออกแบบให้มีขั้นตอนการทำงาน คือ เมื่อเข้าสู่แอปพลิเคชันนำไปสแกน QR Code เพื่อดูค่าเรียลไทม์แล้วประเมินสถานะการทำงานของระบบไฟฟ้าต่อไป อีกส่วนหนึ่งคือส่วนที่ไม่ได้ใช้ระบบสนับสนุนความจริงเสมือน ส่วนนี้สามารถดูผลการเฝ้าระวังและประเมินสถานะผ่านแอปพลิเคชัน Blynk และแพลตฟอร์ม Thingspeak ดังหัวข้อที่ 3.4.2 และ 3.4.3

### 3.4.5 เครื่องมือที่ใช้พัฒนา

เครื่องมือที่ใช้พัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการเฝ้าระวังและประเมินสถานะการทำงานของวงจรไฟฟ้า 3 เฟส สามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภทดังนี้

#### 3.4.5.1 ซอฟต์แวร์

1. Arduino IDE เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับใช้กับ NodeMCU
2. แอปพลิเคชัน Blynk สำหรับแสดงผลการเฝ้าระวังและประเมินสถานะของวงจรไฟฟ้า
3. Unity3D เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับออกแบบและสร้างแอปพลิเคชัน AR
4. Microsoft Visual Studio 2019 เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการเขียน Source Code ซึ่งใช้งานร่วมกับ Unity3D
5. Firebase คือ Cloud Storage สำหรับจัดเก็บข้อมูลและใช้พัฒนาแอปพลิเคชัน

#### 3.4.5.2 ภาษาที่ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน

ภาษาที่ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1. ภาษาซีพลัสพลัส (C++) เป็นภาษาที่ใช้บนโปรแกรม Arduino IDE สำหรับเขียนโปรแกรมให้กับ NodeMCU ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้กับอุปกรณ์วัด
2. ภาษาซีชาร์ป (C#) เป็นภาษาที่ใช้พัฒนาแอปพลิเคชันบนโปรแกรม Unity3D และ Microsoft Visual Studio 2019 ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้พัฒนาระบบสนับสนุนความจริงเสมือน
3. ภาษาเจสัน (JSON) ใช้รับส่งข้อมูลระหว่างไพร่เบสกับแอปพลิเคชัน

#### 3.4.5.3 ระบบปฏิบัติการ

แอปพลิเคชันการเฝ้าระวังและประเมินสถานะการทำงานของวงจรไฟฟ้า ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ไม่ว่ากรณีใดทั้งระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) เวอร์ชันตั้งแต่ 4.4 ขึ้นไป

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.4.6 รายละเอียดเชิงเทคนิค

#### 3.4.6.1 ส่วนนำเข้า(Input)

1. ผู้ใช้เข้าถึงแอปพลิเคชันโดยเปิดโปรแกรม
2. ผู้ใช้สามารถเรียกดูการประเมินสถานะการทำงานของระบบไฟฟ้าได้แบบเรียลไทม์โดยผ่านการสแกน QR code หรือดูได้จากแอปพลิเคชัน Blynk

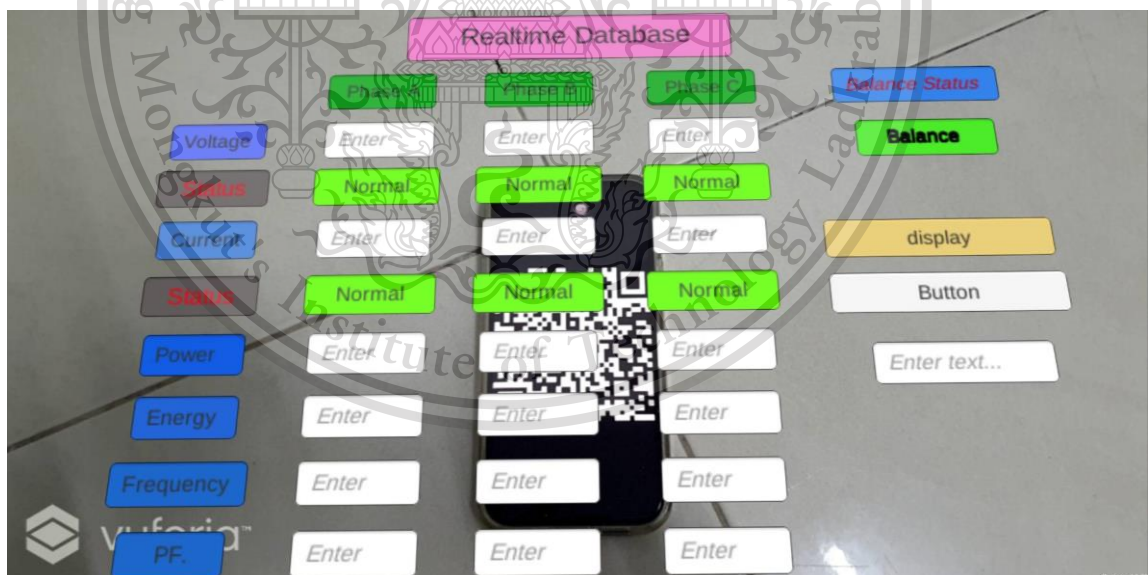
#### 3.4.6.2 ส่วนนำออก(Output)

แอปพลิเคชันจะแสดงสถานะการทำงานของระบบไฟฟ้าผ่านทางหน้าจอสมาร์ตโฟน

### 3.4.7 โครงสร้างของซอฟต์แวร์

- เมื่อกดปุ่มเข้าแอปพลิเคชันจะเข้าสู่โหมดประเมินสถานะการทำงานของระบบไฟฟ้า
- 3 เฟสโดยใช้เทคโนโลยีระบบสนับสนุนความจริงเสมือนในการนำเสนอข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆทางไฟฟ้า

#### 3.4.7.1 หน้า AR Camera



รูปที่ 3.15 รายละเอียดหน้า AR Camera

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะภายในเท่านั้น เมื่อผู้ซื้อเห็นใบสั่งซื้อแล้วดำเนินการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นมีเหตุอันจำเป็นที่ผู้ขายและผู้ซื้อเห็นสมควรที่จะแก้ไขใบสั่งซื้อ  
โดยเมื่อสแกน QR Code จะปรากฏค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าในแต่ละเฟส ได้แก่ Voltage, Current,  
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Active Power, Energy, Power Factor และ Frequency ดังรูปที่ 3.18 และยังสามารถประเมินสถานะของวงจรไฟฟ้าได้โดยกำหนดขอบเขตให้กับระดับแรงดันและกระแสไฟฟ้า เพื่อที่จะตรวจสอบว่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าอยู่ในสภาวะปกติหรือไม่ นอกจากนั้นผู้ใช้งานสามารถดูว่าค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวว่ามีสถานะแบบใดซึ่งดูได้จากสีและกล่องข้อความ ดังนี้

### 1. สภาวะของระดับแรงดันไฟฟ้า

1.1 เมื่อระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ กล่องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีแดงและปรากฏข้อความว่า Under

1.2 เมื่อระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ กล่องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวและปรากฏข้อความว่า Normal

1.3 เมื่อระดับแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ กล่องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีแดงและปรากฏข้อความว่า Over

### 2. สภาวะของระดับกระแสไฟฟ้า

2.1 เมื่อระดับกระแสไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ กล่องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีแดงและปรากฏข้อความว่า Under

2.2 เมื่อระดับกระแสไฟฟ้าปกติ กล่องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวและปรากฏข้อความว่า Normal

2.3 เมื่อระดับกระแสไฟฟ้าสูงกว่าปกติ กล่องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีแดงและปรากฏข้อความว่า Over

### 3. แรงดันไฟฟ้าสมดุล

3.1 เมื่อระดับแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล กล่องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีแดงและปรากฏข้อความว่า Unbalance

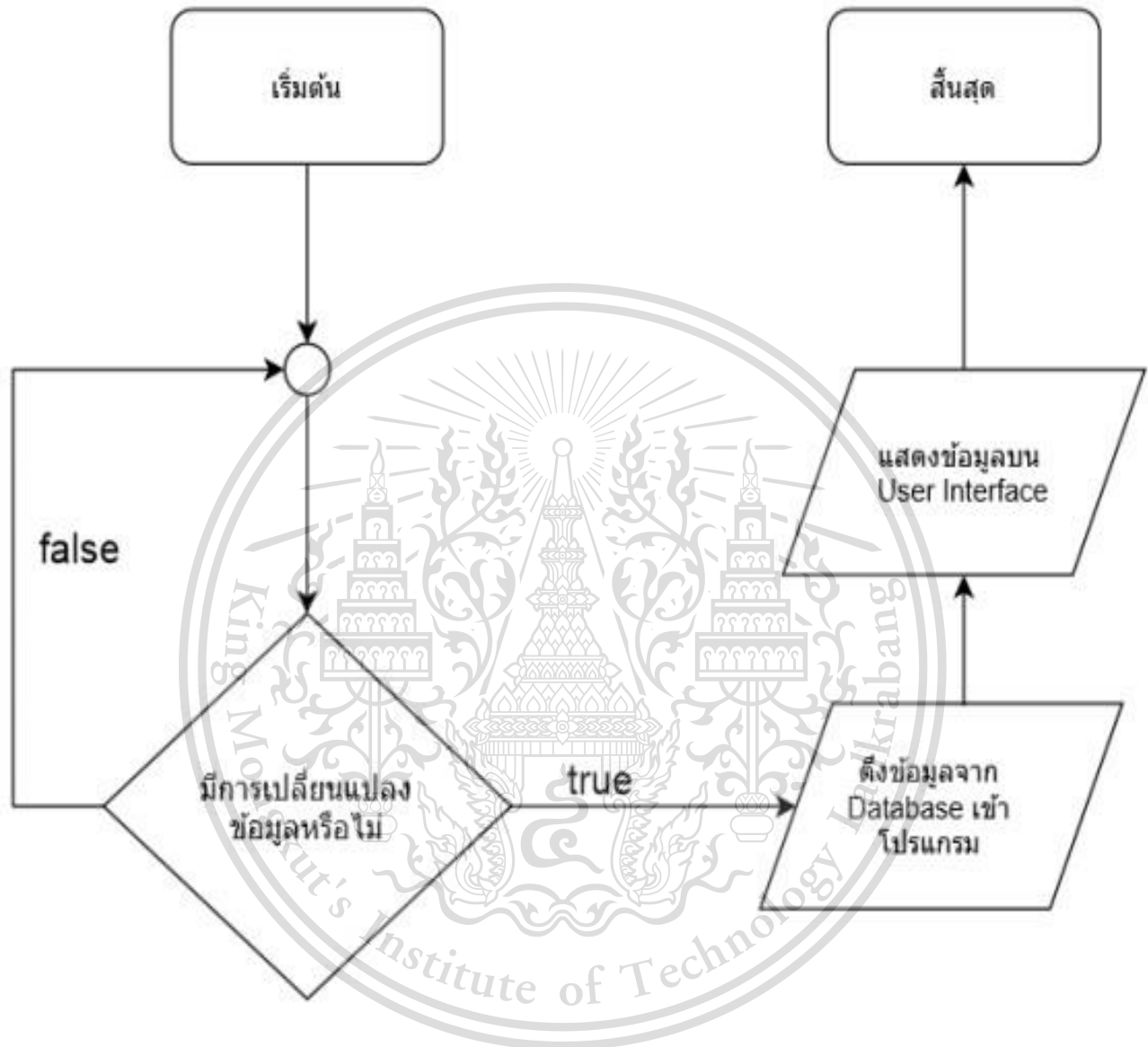
3.2 เมื่อระดับแรงดันไฟฟ้าสมดุล กล่องข้อความจะเป็นสีเขียวและปรากฏข้อความว่า Balance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 3.4.8 แผนผังการทำงานของระบบ

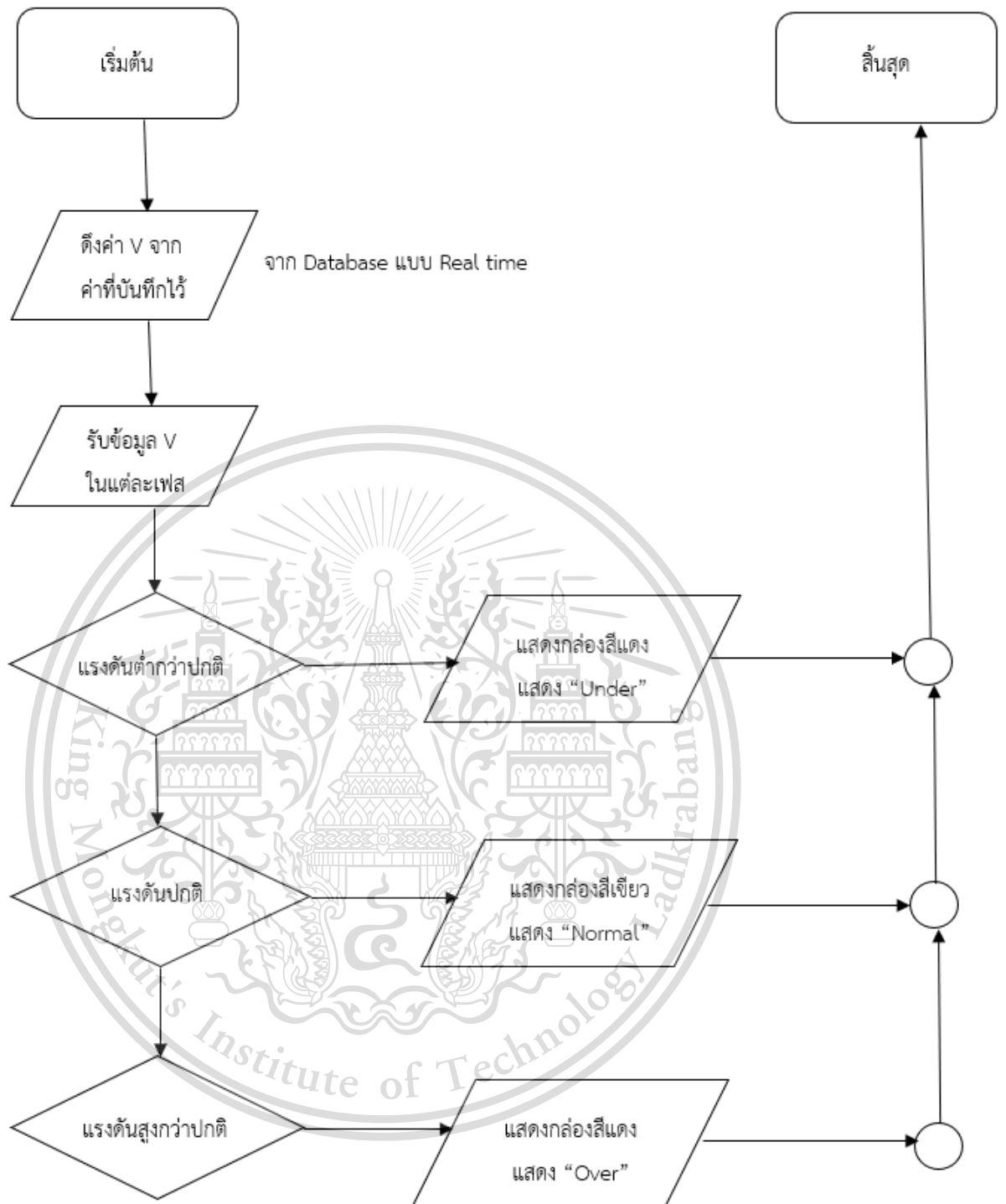


รูปที่ 3.16 แผนผังการรับข้อมูลจาก Database

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

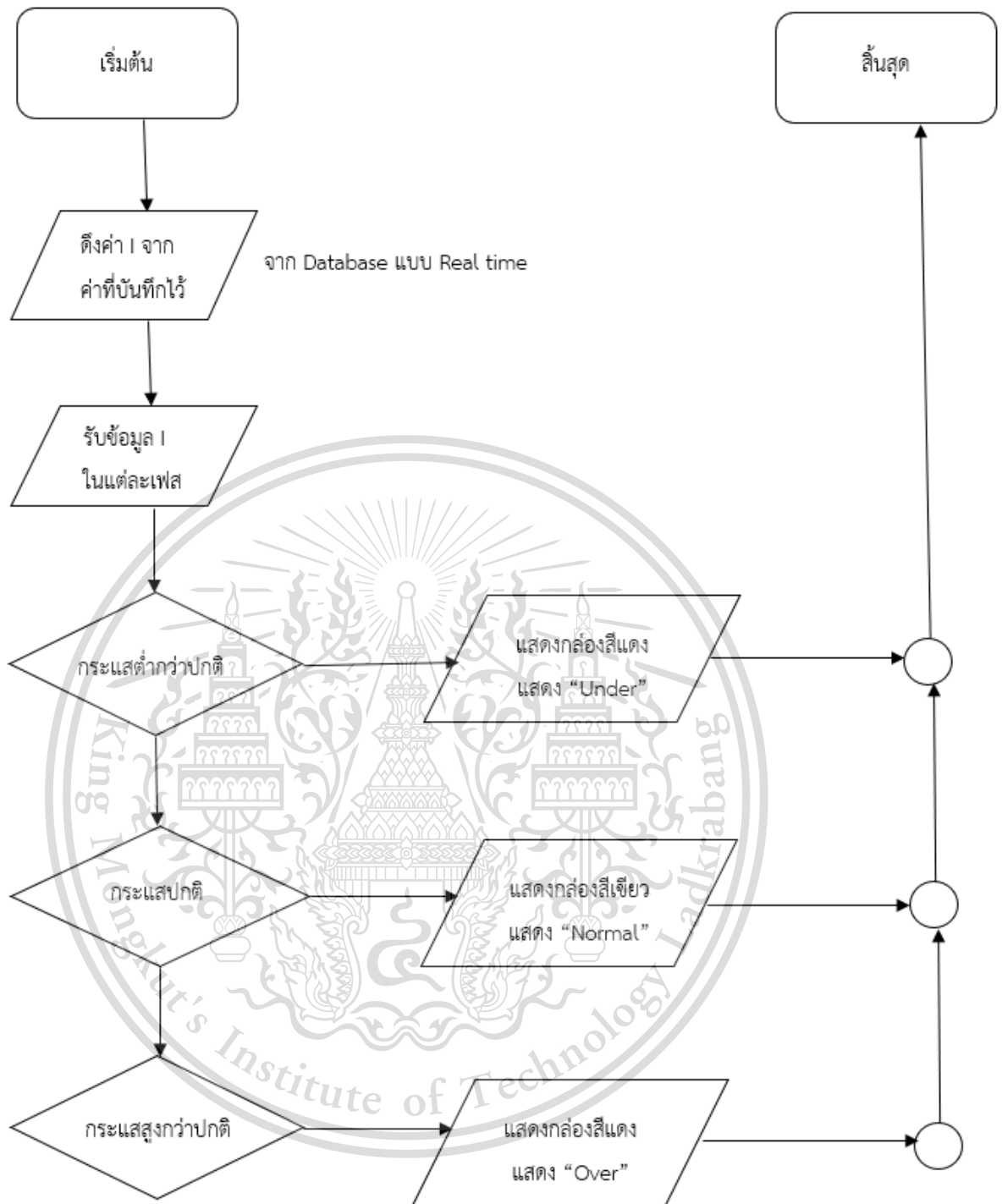


รูปที่ 3.17 แผนผังการแจ้งเตือนแรงดันไฟฟ้าผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

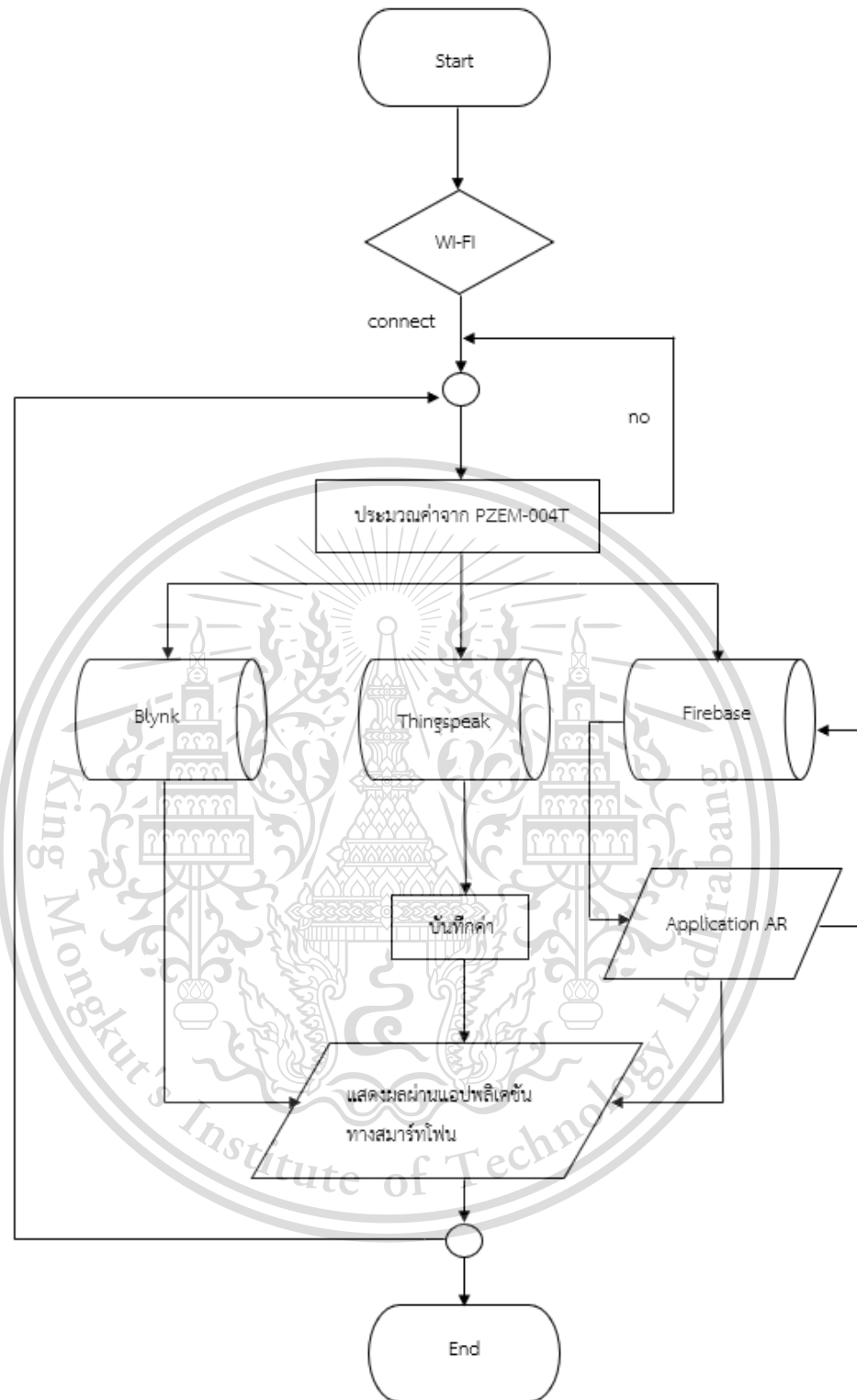


รูปที่ 3.18 แผนผังการแจ้งเตือนกระแสไฟฟ้าผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.19 แผนผังการทำงานรวมของแอปพลิเคชัน AR และแอปพลิเคชัน Blynk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

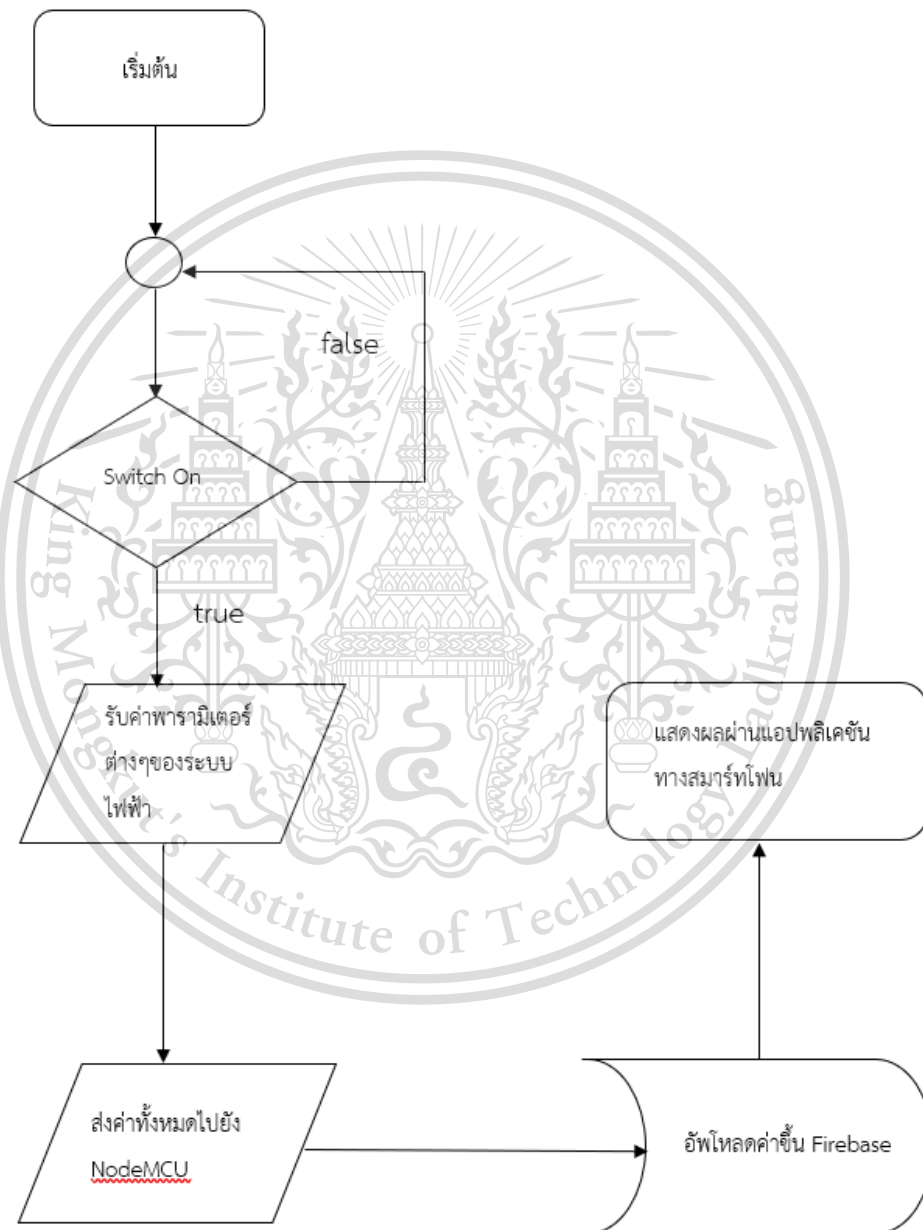
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.4.9 การเขียนคำสั่งโปรแกรม Arduino IDE

การเขียนโปรแกรม Arduino IDE แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ คำสั่งโปรแกรมของ NodeMCU คำสั่งโปรแกรมของ NodeMCU

ในส่วนนี้จะเน้นกระบวนการวัดค่าจากโมดูล PZEM-004T และส่งค่าที่วัดได้ไปยัง NodeMCU ผ่านทางพอร์ทอนุกรม



รูปที่ 3.20 แผนผังการทำงานรวมของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า จากแผนผังจะเห็นว่าเมื่อจ่ายไฟให้กับโมดูล PZEM-004T จะเริ่มทำการวัดค่าทางไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดก็ตาม ก็ยังจำเป็นต้องให้ค่าแรงดันไฟฟ้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า ความถี่ และตัวประกอบกำลังไฟฟ้า แล้ว

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ทำการส่งค่าไปยัง NodeMCU เพื่ออัปโหลดข้อมูลขึ้น Database ที่แพลตฟอร์ม Firebase สำหรับเป็นฐานข้อมูลให้แอปพลิเคชัน AR และดึงค่ามาแสดงแบบเรียลไทม์

#### ตารางที่ 3.4 เงื่อนไขเมื่อเกิดกรณีผิดปกติ

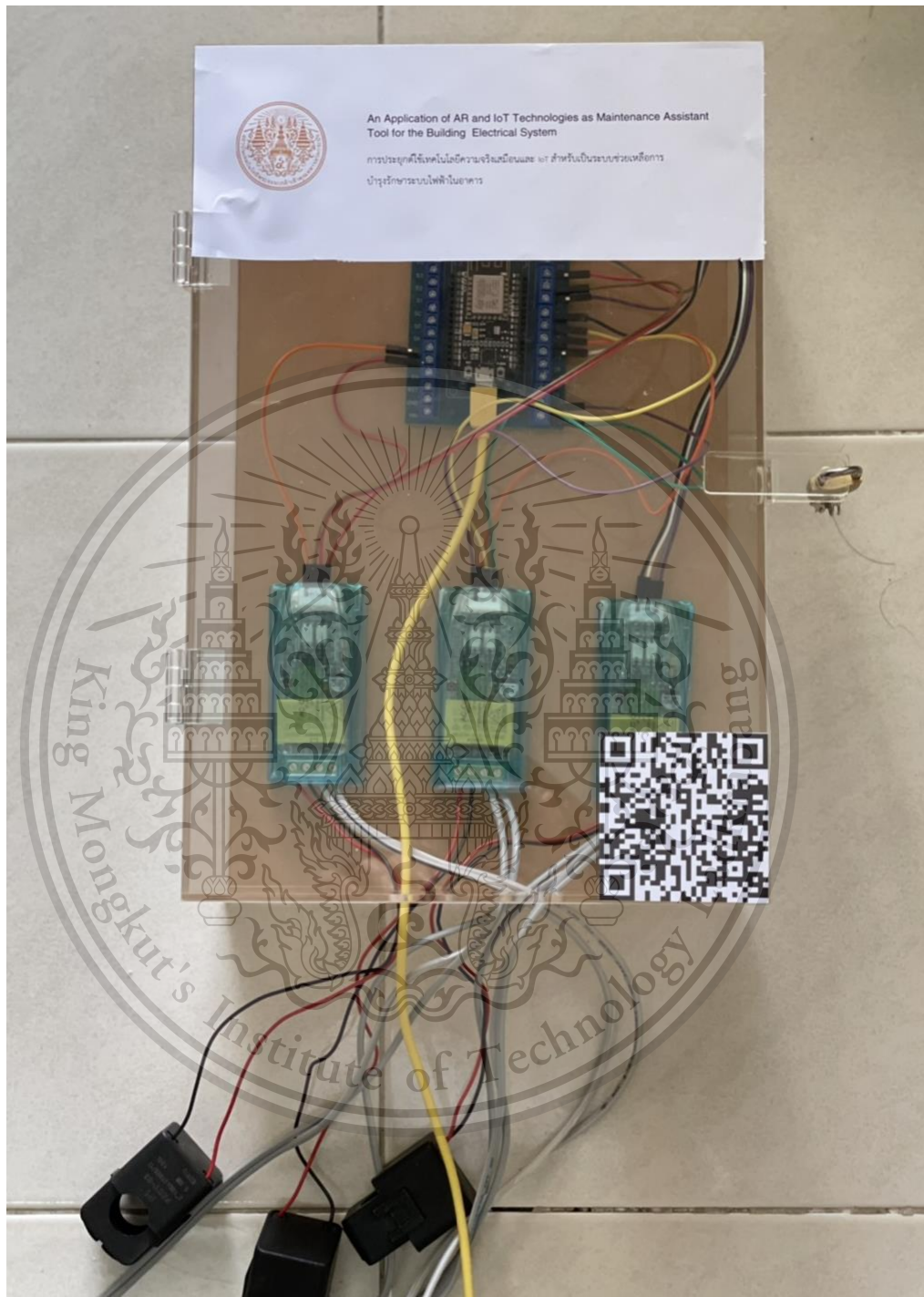
กรณีผิดปกติ	กล่องข้อความแจ้งเตือน
แรงดันไฟฟ้าเฟส A เกิน 6%	Over
แรงดันไฟฟ้าเฟส B เกิน 6%	Over
แรงดันไฟฟ้าเฟส C เกิน 6%	Over
แรงดันไฟฟ้าเฟส A ต่ำกว่า 6%	Under
แรงดันไฟฟ้าเฟส B ต่ำกว่า 6%	Under
แรงดันไฟฟ้าเฟส C ต่ำกว่า 6%	Under
กระแสไฟฟ้าเฟส A เกิน 10%	Over
กระแสไฟฟ้าเฟส B เกิน 10%	Over
กระแสไฟฟ้าเฟส C เกิน 10%	Over
แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล เกิน 15%	Unbalance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.5 อุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 3.21 เครื่องมือวัดสำหรับแอปพลิเคชัน

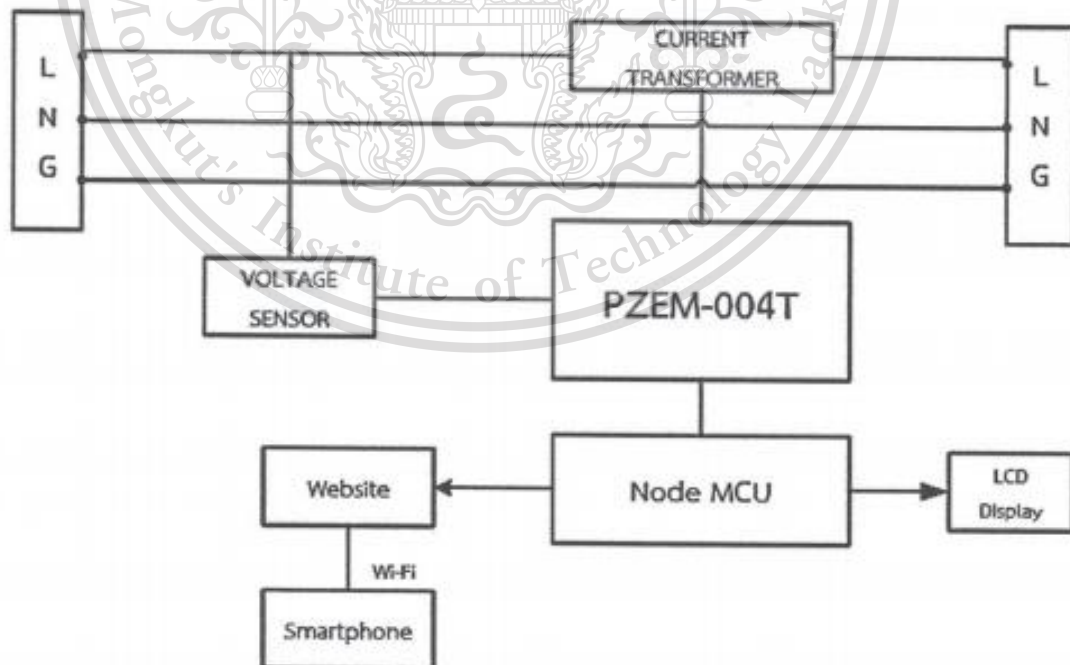
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- |                                   |           |
|-----------------------------------|-----------|
| 1. โมดูล PZEM-004T                | 3 โมดูล   |
| 2. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU | 1 บอร์ด   |
| 3. สมาร์ทโฟน                      | 1 เครื่อง |
| 4. สายไฟ                          | 48 เส้น   |
| 5. Fuse                           | 3 ตัว     |
| 6. Multimeter                     | 1 เครื่อง |
| 7. Current Transformer            | 3 เครื่อง |
| 8. หลอด incandescent              | 10 หลอด   |
| 9. Variable Transformer           | 1 เครื่อง |
| 10. Junction box                  | 2 กล่อง   |

3.6 วิธีการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**รูปที่ 3.22** แผนผังการต่อวงจร  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

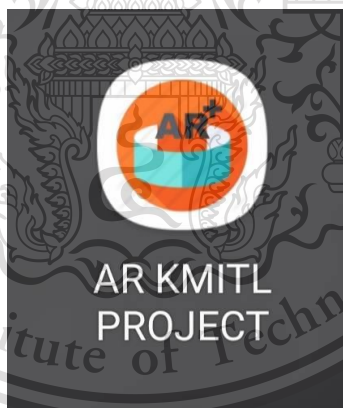
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ต่อวงจรตามรูปที่ 3.22 โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสผ่านโมดูล PZEM-004T เพื่อวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าโดยจะสามารถตรวจสอบการทำงานของระบบเฟ้าระวังและประเมินสถานะการทำงานของระบบไฟฟ้าได้จากแอปพลิเคชันระบบสนับสนุนความจริงเสมือนโดยกดเข้าแอปพลิเคชันแล้วส่องไปที่ QR code เพื่อสแกน ดังรูปที่ 3.23 และ 3.25



รูปที่ 3.23 QR code

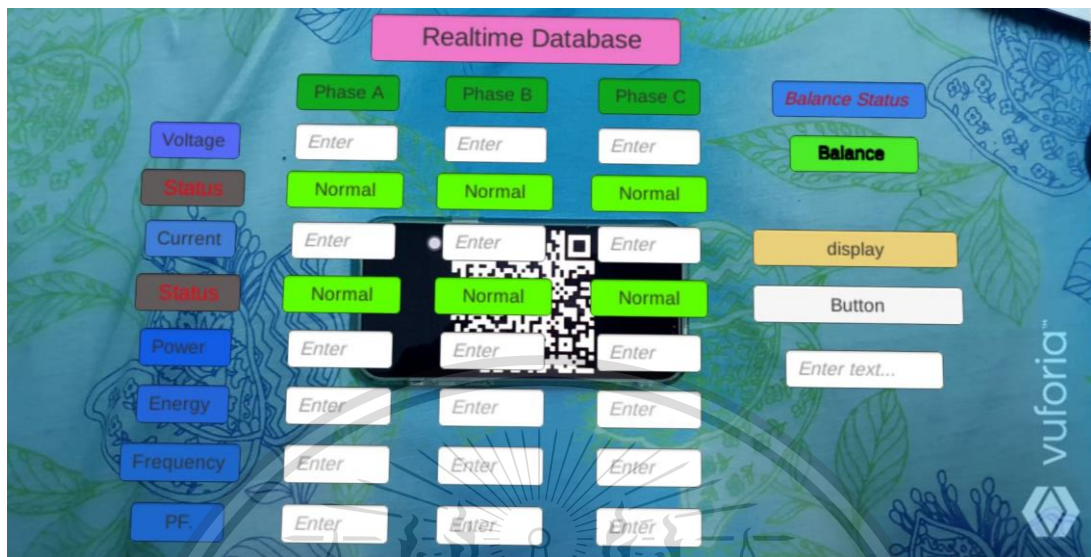


รูปที่ 3.24 แอปพลิเคชัน AR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.25 การใช้งาน AR Camera ในแอปพลิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 การประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าปกติ 3 เฟสแบบสมมูลโดยใช้แอปพลิเคชัน AR และแอปพลิเคชัน Blynk

4.1.1 ผลการทดลองจากการประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าปกติแบบ 3 เฟสสมมูล โดยใช้โมดูล PZEM-004T ในการวัดและแสดงผลผ่านแอปพลิเคชัน AR และแอปพลิเคชัน Blynk

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองกรณีแรงดันไฟฟ้าปกติเฟส A แบบสมมูลโดยใช้แอปพลิเคชัน AR และแอปพลิเคชัน Blynk

ตารางเก็บค่าต่างๆที่แรงดัน 220 V เฟส A								
พารามิเตอร์	เครื่องมือที่ออกแบบ						เครื่องวัดมาตรฐาน	ค่าความผิดพลาด %
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย		
Voltage	223.00	222.10	221.10	221.40	221.70	221.86	219.80	0.93
Current	1.14	1.14	1.15	1.15	1.14	1.14	1.16	1.72
Power	248.53	248.51	248.53	248.53	248.52	248.52	249.40	0.35
PF	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	-	-
Frequency	50.00	49.90	50.00	50.00	50.00	49.98	48.50	3.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

**ตารางที่ 4.2** ผลการทดลองกรณีแรงดันไฟฟ้าปกติเฟส B แบบสมมูลโดยใช้แอปพลิเคชัน AR และแอปพลิเคชัน Blynk

ตารางเก็บค่าต่างๆที่แรงดัน 220 V เฟส B								
พารามิเตอร์	เครื่องมือที่ออกแบบ						เครื่องวัดมาตรฐาน	ค่าความผิดพลาด %
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย		
Voltage	223.92	221.11	221.16	221.44	221.70	221.87	219.60	1.03
Current	1.14	1.15	1.15	1.16	1.14	1.14	1.17	2.56
Power	248.52	248.53	248.71	248.65	248.53	248.59	249.50	0.36
PF	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	-	-
Frequency	50.00	49.90	50.00	49.90	50.00	49.96	48.10	3.87

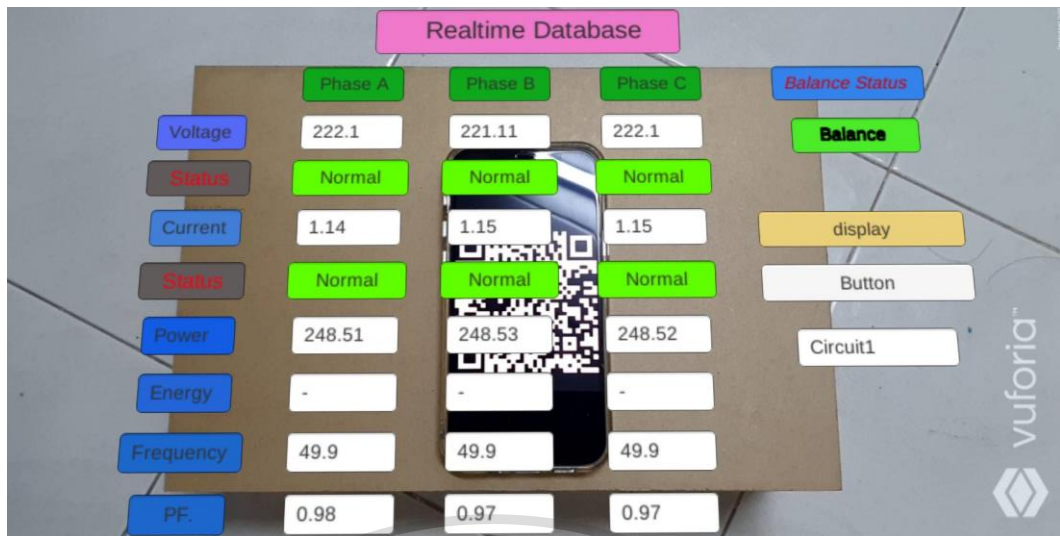
**ตารางที่ 4.3** ผลการทดลองกรณีแรงดันไฟฟ้าปกติเฟส C แบบสมมูลโดยใช้แอปพลิเคชัน AR และแอปพลิเคชัน Blynk

ตารางเก็บค่าต่างๆที่แรงดัน 220 V เฟส C								
พารามิเตอร์	เครื่องมือที่ออกแบบ						เครื่องวัดมาตรฐาน	ค่าความผิดพลาด %
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย		
Voltage	222.60	222.10	221.10	221.20	221.70	221.74	219.60	0.97
Current	1.13	1.15	1.15	1.15	1.14	1.14	1.15	0.87
Power	248.53	248.52	248.53	248.51	248.61	248.54	249.60	0.42
PF	0.98	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98	-	-
Frequency	50.00	49.90	50.00	50.00	50.00	49.98	48.90	2.20

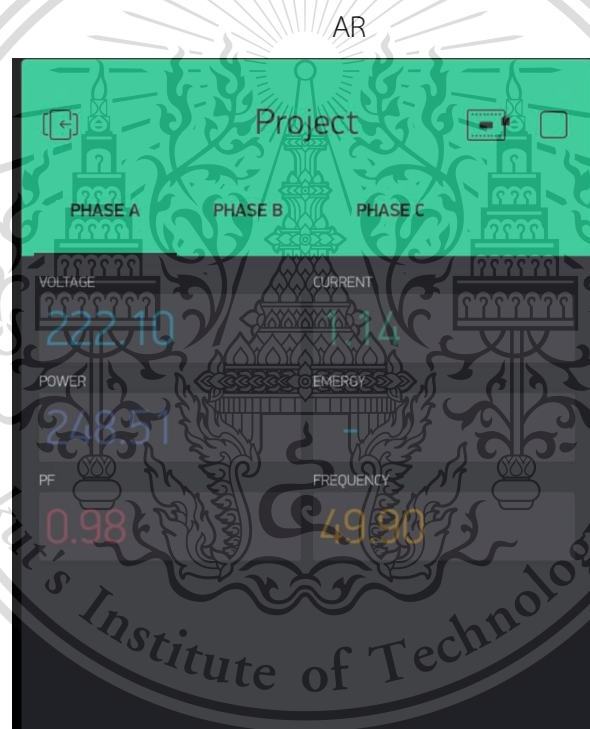
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.1 ผลการทดลองจากการประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าปกติแบบ 3 เฟสสมดุลงผ่านแอปพลิเคชัน

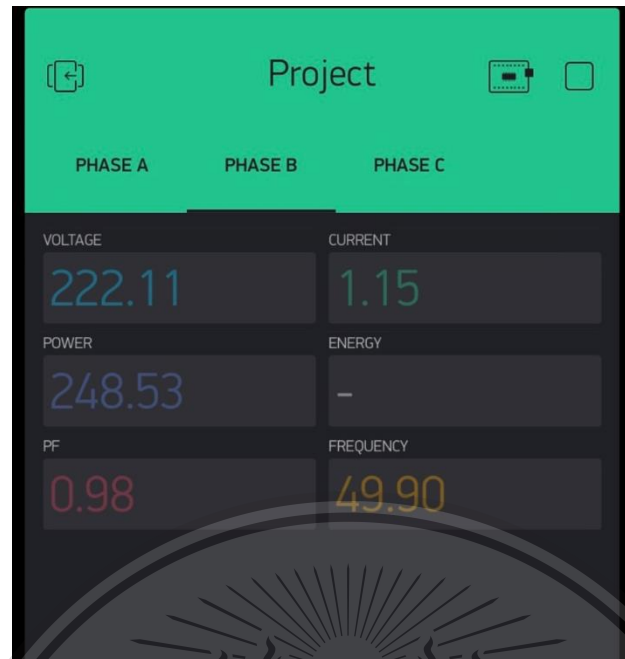


รูปที่ 4.2 ผลการทดลองจากการประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าปกติเฟส A ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk

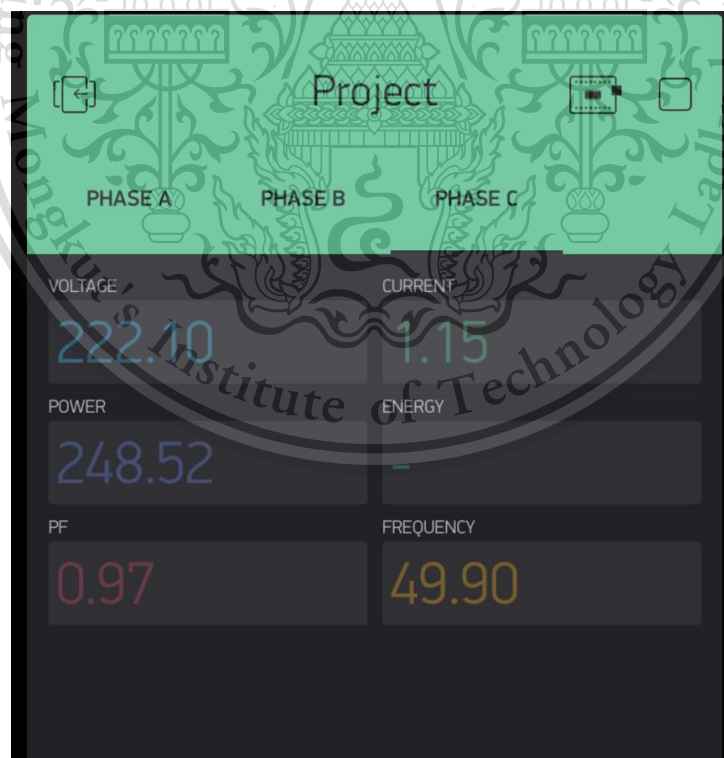
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.3 ผลการทดลองจากการประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าปกติเฟส B ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 4.4 ผลการทดลองจากการประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าเฟส C ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.2 การประเมินสภาวะแรงดันไฟฟ้าเกินแบบ 3 เฟสแบบสมมูลโดยใช้แอปพลิเคชัน AR และแอปพลิเคชัน Blynk

4.2.1 ผลการทดลองจากการประเมินสภาวะแรงดันไฟฟ้าเกินแบบ 3 เฟสสมมูล โดยใช้โมดูล PZEM-004T ในการวัดและแสดงผลผ่านแอปพลิเคชัน AR และแอปพลิเคชัน Blynk

#### ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองกรณีแรงดันไฟฟ้าเกินเฟส A แบบสมมูลโดยใช้แอปพลิเคชัน AR และแอปพลิเคชัน Blynk

ตารางเก็บค่าต่างๆที่แรงดันเกิน 6% (233.2 V) เฟส A								
พารามิเตอร์	เครื่องมือที่ออกแบบ						เครื่องวัด มาตรฐาน	ค่าความ ผิดพลาด %
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย		
Voltage	232.70	234.80	234.50	232.80	235.10	233.98	233.20	0.33
Current	1.08	1.07	1.08	1.09	1.08	1.08	1.07	0.93
Power	248.55	247.52	248.47	247.81	248.61	248.19	249.60	0.56
PF	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	-	-
Frequency	50.00	49.90	49.90	50.10	50.10	50.00	49.00	2.00

#### ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองกรณีแรงดันไฟฟ้าเกินเฟส B แบบสมมูลโดยใช้แอปพลิเคชัน AR และแอปพลิเคชัน Blynk

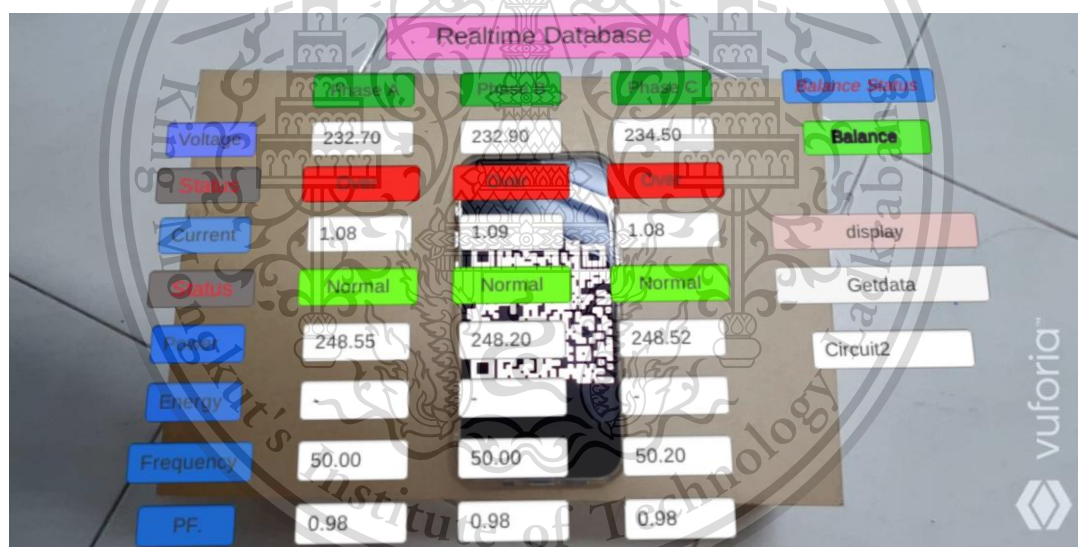
ตารางเก็บค่าต่างๆที่แรงดันเกิน 6% (V) เฟส B								
พารามิเตอร์	เครื่องมือที่ออกแบบ						เครื่องวัด มาตรฐาน	ค่าความ ผิดพลาด %
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย		
Voltage	232.90	233.30	235.00	234.10	233.20	233.70	233.00	0.30
Current	1.09	1.08	1.08	1.08	1.09	1.08	1.10	2.73
Power	248.20	247.55	248.91	247.20	248.95	248.16	249.00	0.34
PF	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	-	-
Frequency	50.00	50.00	49.90	50.20	50.10	50.04	49.00	2.12

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองกรณีแรงดันไฟฟ้าเกินเฟส C แบบสมมูลโดยใช้แอปพลิเคชัน AR และแอปพลิเคชัน Blynk

ตารางเก็บค่าต่างๆที่แรงดันเกิน 6% (V) เฟส C								
พารามิเตอร์	เครื่องมือที่ออกแบบ						เครื่องวัด มาตรฐาน	ค่าความ ผิดพลาด %
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย		
Voltage	234.50	235.10	234.90	234.40	234.70	234.72	233.10	0.69
Current	1.08	1.07	1.07	1.08	1.07	1.07	1.10	2.72
Power	248.52	247.56	246.98	248.10	248.75	247.98	248.90	0.36
PF	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	-	-
Frequency	50.20	50.10	49.90	49.80	50.10	50.02	49.00	2.08



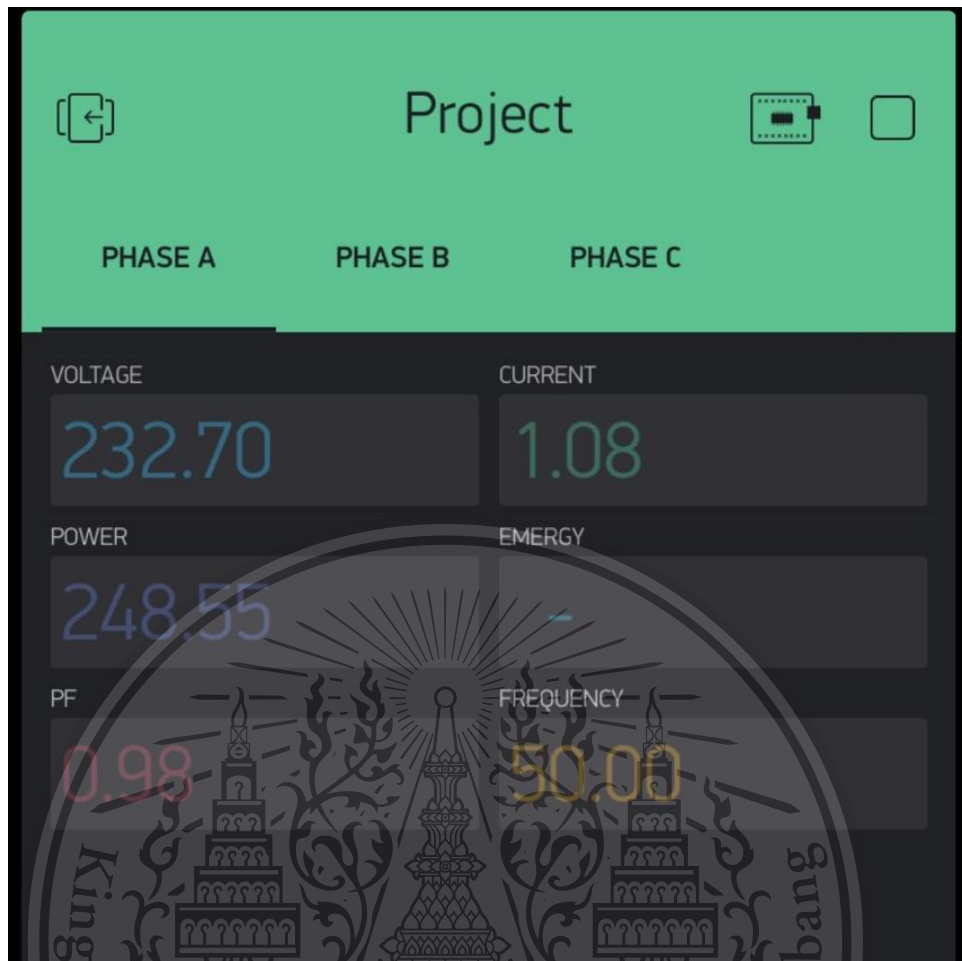
รูปที่ 4.5 ผลการทดลองจากการประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าเกินแบบ 3 เฟสสมมูลผ่านแอปพลิเคชัน

AR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

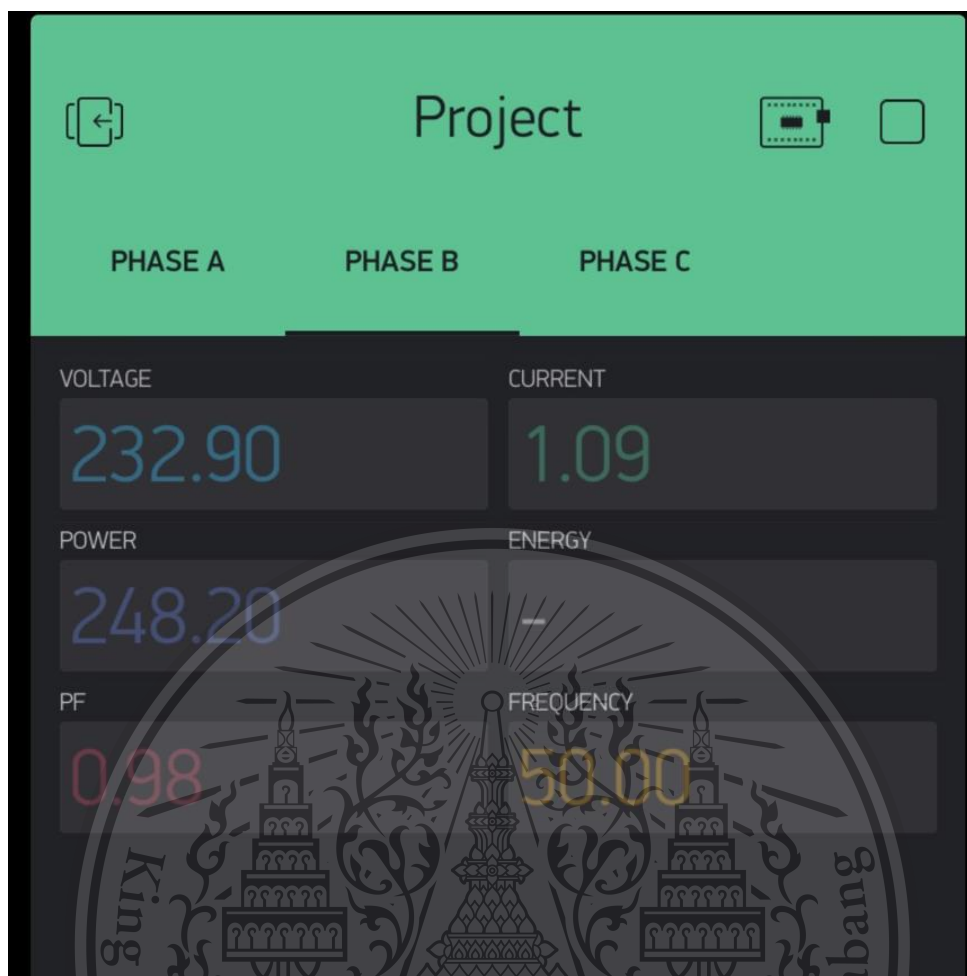


รูปที่ 4.6 ผลการทดลองจากการประเมินสภาวะแรงดันไฟฟ้าเกินเฟส A ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

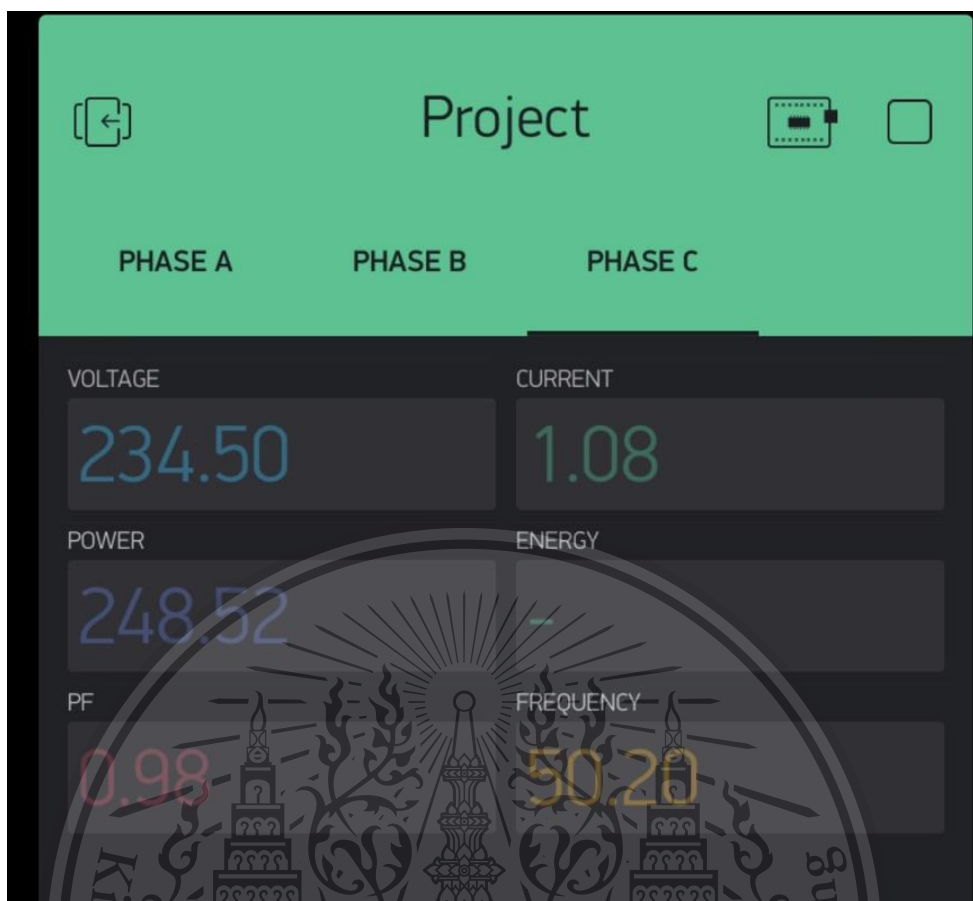


รูปที่ 4.7 ผลการทดลองจากการประเมินสภาวะแรงดันไฟฟ้าเกินเฟส B ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.8 ผลการทดลองจากการประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าเกินเฟส C ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 4.3 การประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าต่ำแบบ 3 เฟสและการประเมินสถานะกระแสไฟฟ้าเกินแบบ 3 เฟสแบบสมดุโดยใช้แอปพลิเคชัน AR และแอปพลิเคชัน Blynk

#### 4.3.1 ผลการทดลองจากการประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าต่ำและสถานะกระแสไฟฟ้าเกินแบบ 3 เฟส

โดยใช้โมดูล PZEM-004T ในการวัดและแสดงผลผ่านแอปพลิเคชัน AR และแอปพลิเคชัน Blynk

#### ตารางที่ 4.7 การประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าต่ำและการประเมินสถานะกระแสไฟฟ้าเกินเฟส A โดยใช้แอปพลิเคชัน AR และแอปพลิเคชัน Blynk

ตารางเก็บค่าต่างๆที่แรงดันต่ำ 6% (V)และกระแสเกิน (A) เฟส A								
พารามิเตอร์	เครื่องมือที่ออกแบบ						เครื่องวัดมาตรฐาน	ค่าความผิดพลาด %
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย		
Voltage	206.70	205.10	204.90	203.40	207.80	205.58	206.70	0.49
Current	1.23	1.23	1.24	1.24	1.22	1.23	1.23	0.00
Power	248.52	247.98	249.12	248.10	248.56	248.46	248.50	0.02
PF	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	-	-
Frequency	50.10	50.00	49.90	50.00	50.00	50.00	50.00	0.00

#### ตารางที่ 4.8 การประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าต่ำและการประเมินสถานะกระแสไฟฟ้าเกินเฟส B โดยใช้แอปพลิเคชัน AR และแอปพลิเคชัน Blynk

ตารางเก็บค่าต่างๆที่แรงดันต่ำ 6% (V) และกระแสเกิน (A) เฟส B								
พารามิเตอร์	เครื่องมือที่ออกแบบ						เครื่องวัดมาตรฐาน	ค่าความผิดพลาด %
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย		
Voltage	203.90	207.10	208.10	206.40	206.70	206.44	206.60	0.08
Current	1.24	1.22	1.21	1.23	1.21	1.22	1.23	0.81
Power	248.51	248.10	247.50	249.12	244.26	247.49	248.60	0.44
PF	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	-	-
Frequency	50.10	50.00	50.00	50.00	49.90	50.00	49.90	0.20

ตารางที่ 4.9 การประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าต่ำและการประเมินสถานะกระแสไฟฟ้าเกินเฟส โดย  
ใช้แอปพลิเคชัน AR และแอปพลิเคชัน Blynk

ตารางเก็บค่าต่างๆที่แรงดันต่ำ 6% (V)และกระแสเกิน (A) เฟส C								
พารามิเตอร์	เครื่องมือที่ออกแบบ						เครื่องวัด มาตรฐาน	ค่าความ ผิดพลาด %
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย		
Voltage	200.00	202.50	203.80	202.50	207.80	203.32	206.50	1.54
Current	1.27	1.25	1.23	1.26	1.22	1.25	1.22	2.46
Power	248.62	248.10	246.55	249.17	248.20	248.13	248.50	0.15
PF	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	-	-
Frequency	49.90	50.10	50.00	49.90	50.10	50.00	50.00	0.00

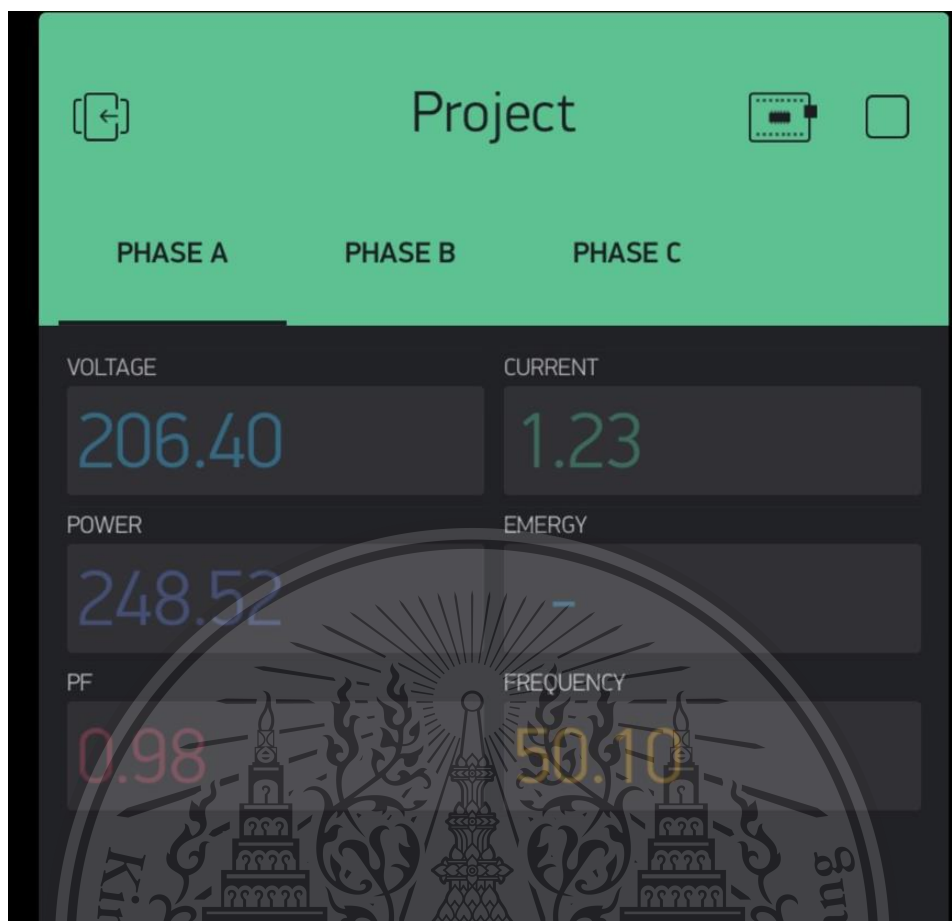


รูปที่ 4.9 ผลการทดลองจากการประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าต่ำและสถานะกระแสไฟฟ้าเกินแบบ 3 เฟสผ่านแอปพลิเคชัน AR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

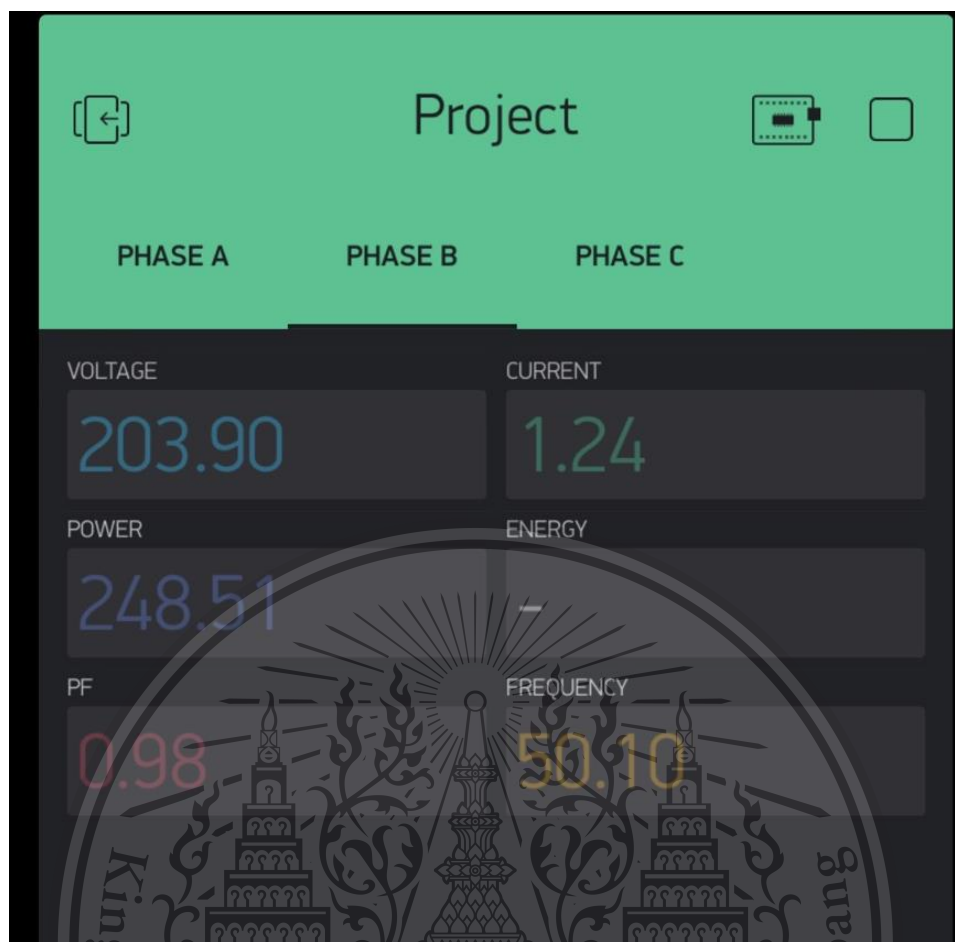


รูปที่ 4.10 ผลการทดลองจากการประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าต่ำและสถานะกระแสไฟฟ้าเกินเฟส A ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

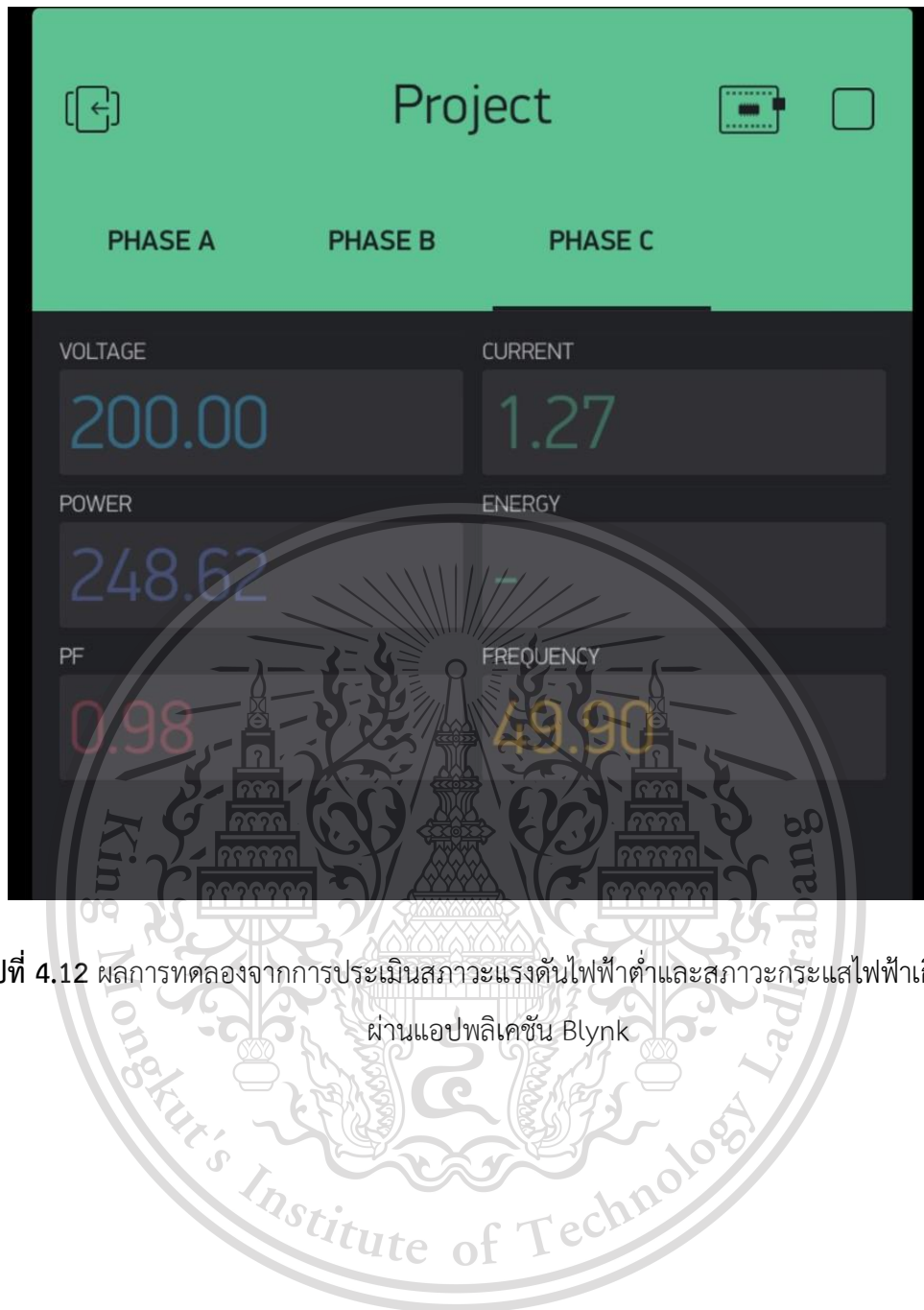


รูปที่ 4.11 ผลการทดลองจากการประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าต่ำและสถานะกระแสไฟฟ้าเกินเฟส B ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.12 ผลการทดลองจากการประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าต่ำและสถานะกระแสไฟฟ้าเกินเฟส C ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

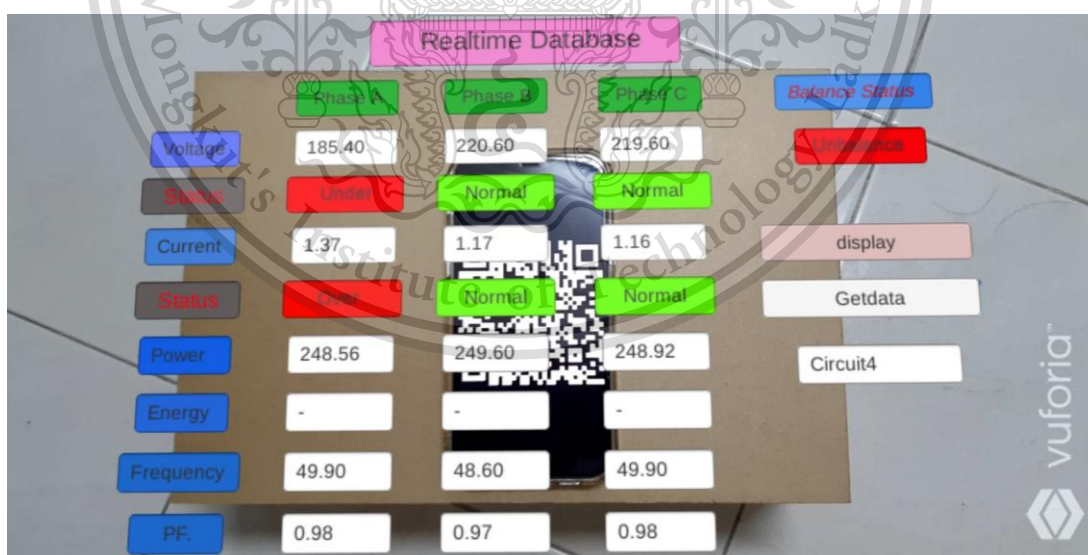
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.4 การประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล 3 เฟส โดยใช้แอปพลิเคชัน AR และแอปพลิเคชัน Blynk

4.4.1 ผลการทดลองจากการประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล 3 เฟส โดยใช้โมดูล PZEM-004T ในการวัดและแสดงผลผ่านแอปพลิเคชัน AR และแอปพลิเคชัน Blynk

ตารางที่ 4.10 การประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล 3 เฟสผ่านแอปพลิเคชัน AR และแอปพลิเคชัน Blynk

ตารางเก็บค่าต่างๆแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล (V)								
พารามิเตอร์	เครื่องมือที่ออกแบบ						เครื่องวัด มาตรฐาน	ค่าความ ผิดพลาด %
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย		
Voltage A	185.40	186.90	183.50	184.70	187.50	185.60	184.70	0.49
Voltage B	220.60	220.70	219.50	221.50	221.30	220.72	219.50	0.56
Voltage C	219.60	221.70	223.50	223.40	222.30	222.1	219.80	1.04

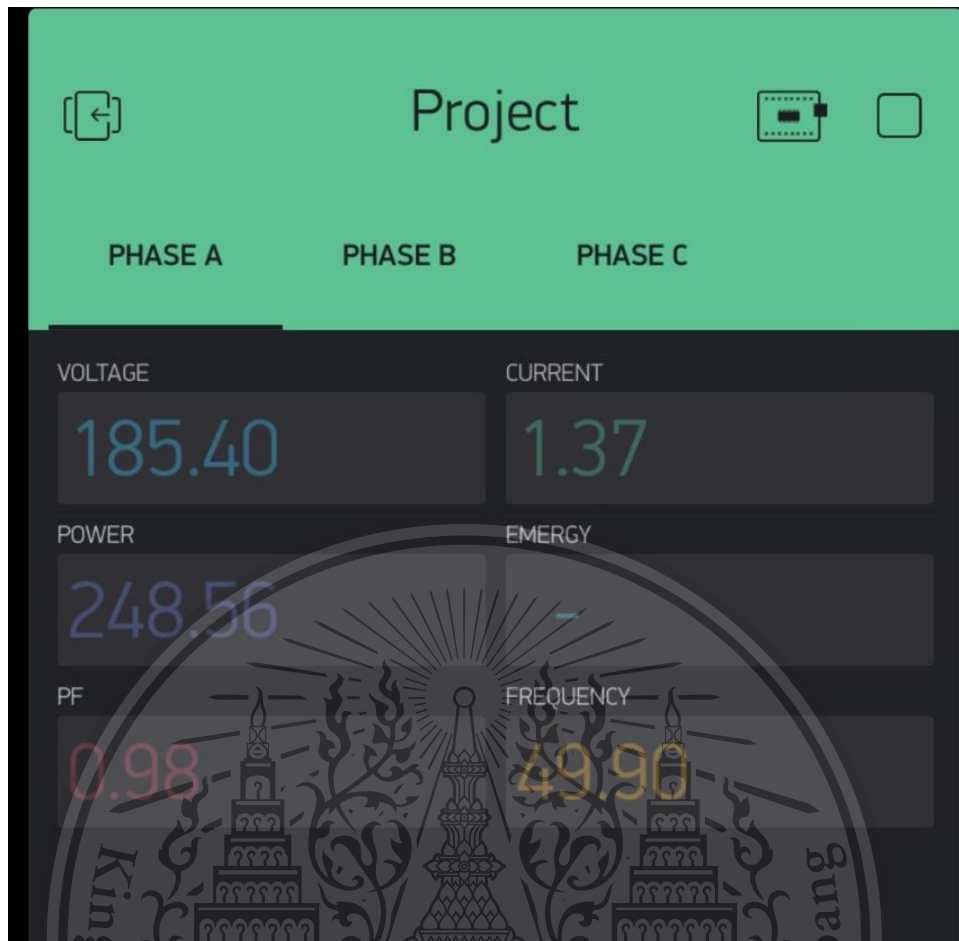


รูปที่ 4.13 ผลการทดลองจากการประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล 3 เฟสผ่านแอปพลิเคชัน AR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



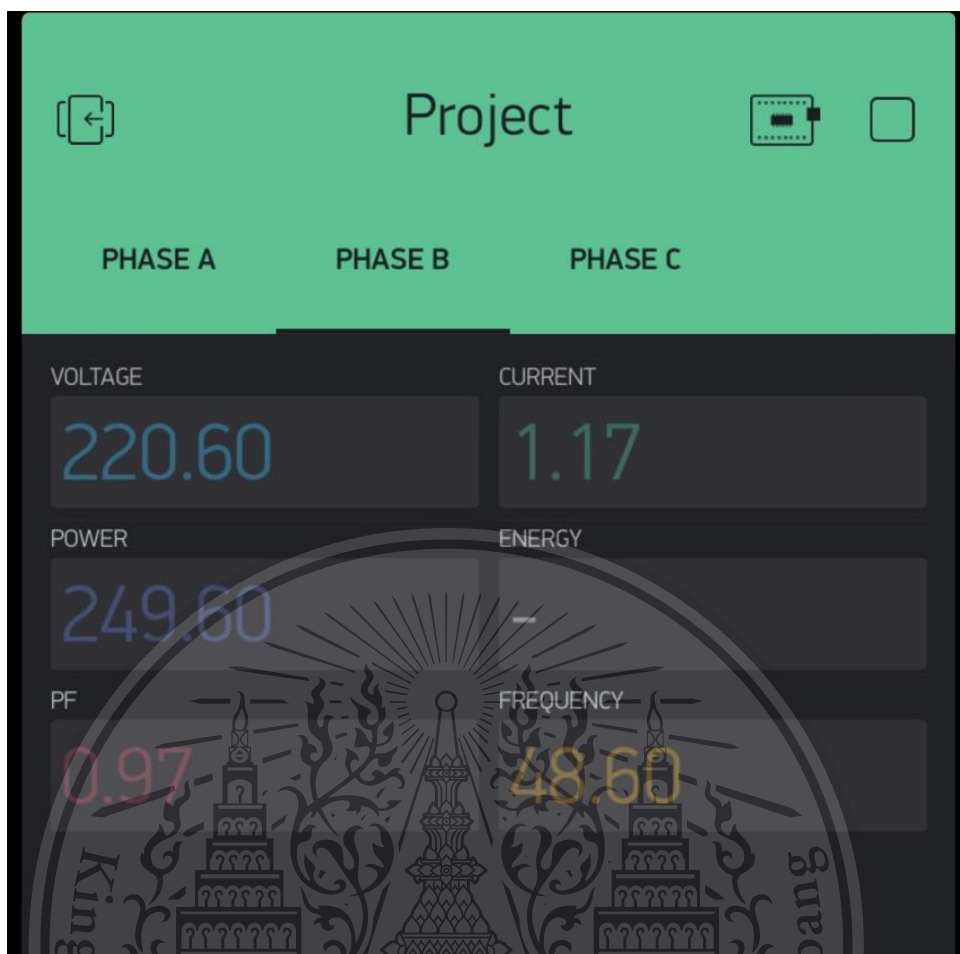
รูปที่ 4.14 ผลการทดลองจากการประเมินสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลเฟส A ผ่านแอปพลิเคชัน

Blynk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



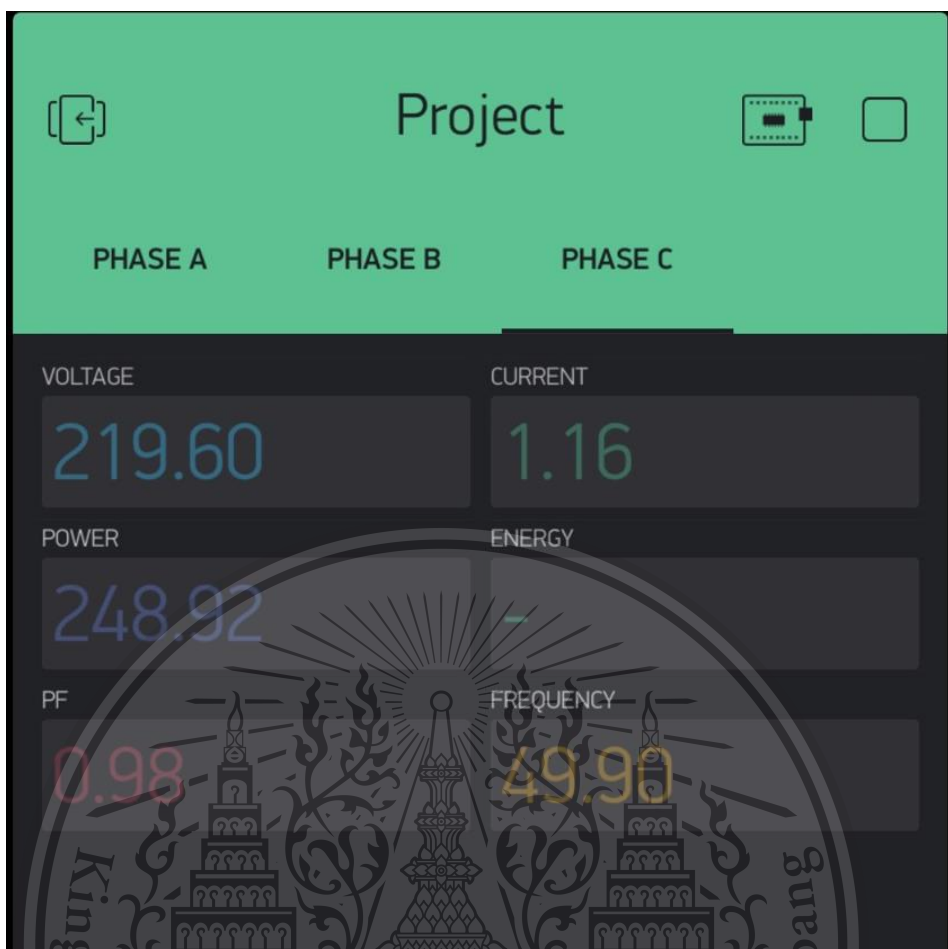
รูปที่ 4.15 ผลการทดลองจากการประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลเฟส B ผ่านแอปพลิเคชัน

Blynk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.16 ผลการทดลองจากการประเมินสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลเฟส C ผ่านแอปพลิเคชัน

Blynk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

ปริญญานิพนธ์บทนี้กล่าวถึงสรุปผลการทดลอง บทสรุปของโครงการ ปัญหาที่พบระหว่างดำเนินโครงการ แนวทางการแก้ไข และแนวทางการพัฒนาต่อ การใช้เทคโนโลยีความจริงเสมือนและ IoT สำหรับเป็นระบบช่วยเหลือการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าในอาคาร โดยใช้โมดูล PZEM-004T วัดแบบ 3 เฟสและส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ไปยังแอปพลิเคชัน AR

การใช้เทคโนโลยี IoT และระบบสนับสนุนความจริงเสมือนในการเฝ้าระวังและประเมินสถานะการทำงานของวงจรระบบไฟฟ้า 3 เฟสในอาคาร โดยใช้โมดูล PZEM-004T เชื่อมกับ NodeMCU เพื่อส่งข้อมูลไปยัง Database และแสดงผลแบบเรียลไทม์ โดยจากการทดลอง พบว่าแอปพลิเคชัน Blynk และแอปพลิเคชัน AR สามารถใช้งานได้และเพียงพอที่จะประเมินสถานะการทำงานของวงจรในระบบไฟฟ้า 3 เฟส เนื่องจากใช้มัลติมิเตอร์ในการวัดค่า จากนั้นก็นำค่ามาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริงจากโมดูล โดยแอปพลิเคชันมีรูปแบบการใช้งานที่ง่ายและสามารถดึงค่าทางไฟฟ้าของวงจรที่เราต้องการจะประเมินสถานะ ทำให้สามารถประเมินสถานะของวงจรนั้นๆได้ โดยการตรวจสอบหรือติดตาม ทำให้สามารถป้องกันอันตรายจากการเกิดปัญหาต่างๆ ของวงจรในระบบไฟฟ้า โดยการทดลอง NodeMCU จะส่งค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage), กระแสไฟฟ้า (Current), กำลังไฟฟ้าจริง (Active Power), พลังงานไฟฟ้า (Energy), ความถี่ (Frequency) และตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) จากโหนดมาแสดงผลผ่านแอปพลิเคชัน โดยผ่าน Wi-Fi ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเก็บข้อมูลของวงจรไฟฟ้า เพื่อนำมาประเมินสถานะจากค่าที่วัดได้ ผู้ใช้งานจึงสามารถออกแบบวิธีการบำรุงรักษาเชิงป้องกันได้ โดยดูจากการทำงานของวงจรไฟฟ้า โดยการทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้ได้ใช้ความรู้ด้านต่างๆ เพื่อให้ได้ผลการทำงานดังกล่าว ตั้งแต่การเลือกใช้โมดูลในการวัด การเลือกใช้และการเขียนคำสั่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์และการติดต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังฐานข้อมูล Database รวมถึงการเขียนแอปพลิเคชันที่เชื่อมต่อกับฐานข้อมูลและแสดงผลแบบเรียลไทม์ผ่านระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (Augmented Reality)

#### 5.1 บทสรุปของโครงการ

การจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการประเมินสถานะการทำงานของระบบไฟฟ้าในอาคาร โดยใช้แอปพลิเคชันเทคโนโลยีสนับสนุนความจริงเสมือน (Augmented Reality) ซึ่งการประเมินสถานะการทำงานนั้น ใช้เปรียบเทียบกับค่าที่ควรจะเป็นตามมาตรฐานนั้นด้านการคำนวณค่า ไม่ว่าจะเป็นค่าที่ควรจะเป็นตามมาตรฐานนั้นด้านการคำนวณค่า

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่งข้อมูลจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังระบบฐานข้อมูล โดยเชื่อมผ่านเทคโนโลยี IoT (Internet Of Things) จากนั้นระบบจะประเมินสถานะการทำงานของวงจรและส่งข้อมูลไปยังแอปพลิเคชัน AR ได้แบบเรียลไทม์ โดยความรู้ที่ต้องใช้ในปริญญานิพนธ์ดังกล่าวได้ทำการศึกษาจากหนังสือวิชาการ เว็บไซต์ สื่อการสอนเรียนรู้ในรูปแบบของวิดีโอ วารสารทางวิชาการ จากในและต่างประเทศ รวมถึงอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำปริญญานิพนธ์ส่งผลให้คณะผู้จัดทำมีความรู้และความเข้าใจในการศึกษาโครงการนี้มากขึ้น ทั้งการเขียนโปรแกรม การศึกษาระบบ IoT การศึกษาระบบสนับสนุนความจริงเสมือน รูปแบบการใช้งานของโมดูลต่างๆ การติดต่อสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ การติดต่อสื่อสารระหว่างฐานข้อมูลกับแอปพลิเคชัน รวมถึงการทำงานในสถานะหรือสถานการณ์ที่ก่กดัน ทำให้คณะผู้จัดทำสามารถจัดการกับเวลาและแก้ไขปัญหาทางวิศวกรรมอย่างเป็นระบบ

## 5.2 ปัญหาอุปสรรคและแนวทางการแก้ไข

1. เนื่องจากการติดต่อสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับระบบฐานข้อมูล Firebase ดังนั้นจะต้องมีการเรียกใช้ Library สำหรับการติดต่อสื่อสารดังกล่าวในการเขียนคำสั่ง โดย Library อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากการปรับปรุงและอัปเดต Firebase ฉะนั้นหากไม่มีการอัปเดต Library เมื่อมีการอัปเดต Firebase จะทำให้ไม่สามารถส่งข้อมูลไปยัง Firebase ได้ จึงต้องคอยติดตามข่าวสารหรือการประกาศจาก Firebase รวมไปถึงต้องอัปเดต Library ต่างๆ ที่ใช้ในการเขียนคำสั่งอยู่ตลอดเวลา

2. เนื่องจากอินเทอร์เน็ตไร้สายของทางสถาบันต้องมีการยืนยันตัวตนก่อน โดยการกรอก Username และ Password ในเว็บเบราว์เซอร์ก่อนใช้งาน การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตไร้สายของอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อส่งข้อมูลไปยังระบบฐานข้อมูลจึงไม่สามารถใช้อินเทอร์เน็ตไร้สายของทางสถาบันได้ จึงได้ทำการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตไร้สายส่วนตัวที่ไม่ต้องมีการยืนยันตัวตนก่อนใช้งานแทน เช่น การแชร์การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตผ่านโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น

3. เนื่องจากสถานการณ์โควิด 19 ทำให้ไม่สามารถเข้าไปติดตั้งอุปกรณ์ในอาคารเจ้าคุณทหาร โชน B ได้ คณะผู้จัดทำจึงทดสอบอุปกรณ์ได้ภายในห้องปฏิบัติงานเท่านั้น

## 5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ

1. สามารถนำทฤษฎีอื่นๆ ที่น่าเชื่อถือรวมถึงประสบการณ์ในการปฏิบัติงานที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบให้โดยฝ่ายวิชาการเพื่อใช้ในการเรียนการสอน ไม่สามารถนำข้อมูลไปเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดก็ตามจะด้วยระบบ AI ให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. เพิ่มความถูกต้องและความแม่นยำโดยการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงโมดูลภายในวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน
3. ปรับปรุงแอปพลิเคชันให้มีฟังก์ชันการทำงานที่ครอบคลุมและมีประสิทธิภาพสามารถตอบโจทย์ผู้ใช้งานได้ในแอปพลิเคชันเดียว
4. ออกแบบสร้างแอปพลิเคชันให้ใช้งานในระบบอื่นๆได้ เช่น ระบบ IOS, ระบบ Windows Phone เป็นต้น
5. เพิ่มระบบควบคุมทางอินเทอร์เน็ต เช่น สามารถเปิด-ปิดระบบการทำงานของเครื่อง PZEM-004T ด้วยสมาร์ตโฟนได้ โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Internet of Things



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ. ศุภี บรรจงจิตร, **หลักการและเทคนิคการออกแบบระบบไฟฟ้า**, ซีเอ็ดดูเคชั่น บมจ., 2557
- [2] ภาสกร พาเจริญ, **พัฒนา IoT บนแพลตฟอร์ม Arduino ด้วย NodeMCU**, ครั้งที่พิมพ์.1 กรุงเทพฯ, โปรวิชั่น บจก., 2562
- [3] Harrison Ferrone, **Learning C# by Developing Games with Unity 2020 : An enjoyable and intuitive approach to getting started with C# programming and Unity**, 5<sup>th</sup> Edition, Packt Publishing Limited, 2020
- [4] ผศ.ดร. ชัชชัย คັນบัว, **IoT สถาปัตยกรรมการสื่อสาร : Internet of Things**, ซีเอ็ดดูเคชั่น บมจ., 2019
- [5] นางสาวสรโรชา สาลีพันธ์, นางสาวสาวิตรี ศรีแก้ว, นายหิรัญ สุทธิพงษ์, นางสาวนัญญา ตูนาว่า, “การเฝ้าระวังและประเมินผลสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส,” **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2561
- [6] Asst. Prof. Banyapon Poolsawas, “**Vuforia และ Unity ทำ AR แบบ Object Recognition ตรวจสอบวัตถุแทน Marker**,” [www.daydev.com](http://www.daydev.com), 2563
- [7] วิวัฒน์ มีสุวรรณ, “การเรียนรู้ด้วยการสร้างโลกเสมือนผสานโลกจริง,” **วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร**, ปีที่ 13, ฉบับที่ 2, 2554
- [8] บทความ “**Augmented Reality in IoT**,” [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)
- [9] บทความ “**Design and development of IoT-based latency-optimized augmented reality frame**,”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

# การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความจริงเสมือนและ IoT สำหรับเป็นระบบช่วยเหลือการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าในอาคาร

## An Application of AR and IoT Technologies as Maintenance Assistant Tool for the Building Electrical System

นายเจษฎา วินัยโกศล, นายชิษณุพงศ์ พงษ์จันทร์, นายณัฏพงศ์ ทิพยนาสา

อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ.ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล, รศ.ดร.เฉลิมชาติ มานพ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925

E-Mail : [pr.kmitl@kmitl.ac.th](mailto:pr.kmitl@kmitl.ac.th)

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาโดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบบสนับสนุนความจริงเสมือนและ Internet of Things สำหรับเป็นระบบช่วยเหลือการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าในอาคาร โดยออกแบบแอปพลิเคชันเพื่อเฝ้าระวังและประเมินสถานะการทำงานของระบบไฟฟ้า 3 เฟส โดยใช้เทคโนโลยี Internet of Things และระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (Augmented Reality) ในการพัฒนาแอปพลิเคชันโดยการออกแบบ ประกอบด้วย การต่อวงจรวัดค่าพารามิเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส มาใช้และทำการพัฒนาซอฟต์แวร์แอปพลิเคชันในสมาร์ตโฟนเพื่อนำมาประเมินสถานะการทำงานของระบบไฟฟ้า ซึ่งจะวิเคราะห์จากค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าเป็นหลัก สถานะการทำงานของระบบไฟฟ้าจะถูกวิเคราะห์และประเมินผลลัพธ์ออกมาเป็นข้อความและกล่องสี ถ้าแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติจะแสดงคำว่า Under อยู่ในกล่องสีแดง เป็นต้น โดยการวิเคราะห์และประเมินสถานะของแอปพลิเคชันจะรายงานในรูปแบบของ AR แบบเรียลไทม์

### Abstract

This thesis presents the design and development of maintenance assistant tool for the building electrical system by implementing AR and IoT and development applications to monitor and assess the operating conditions of a 3-phase electrical system using Internet of Things technology and augmented reality in application. The design consists of connecting a 3-phase electrical parameter measurement circuit and developing a software application in smartphones to assess the operating conditions of the electrical system. Which will be analyzed from voltage and electric current are the main ones. Electrical operating conditions are analyzed and evaluated in text and colored boxes. If the voltage is lower than normal, it will show Under in red box, etc. By analyzing and assessing the state of the application, it will be reported in real-time AR format.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 1. บทนำ

จากปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าในอาคาร ไม่ว่าจะเป็นปัญหาไฟตก ปัญหาไฟดับ หรือปัญหาโหลดเกิน ทำให้ต้องมีการตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า ซึ่งปัญหาเหล่านี้มักจะเกิดจากการที่มีการเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มวงจรต่างๆจากที่ออกแบบไว้ ส่งผลให้การหาสาเหตุของปัญหาทำได้ยาก จากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีมาเพื่อตรวจสอบวงจรต่างๆ ของระบบไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นวงจรแสงสว่าง วงจรเต้ารับ วงจรเครื่องปรับอากาศ หรือวงจรมอเตอร์ต่างๆ เพื่อตรวจสอบการใช้พลังงานว่ามีปัญหาหรือไม่ โดยตรวจสอบจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ความถี่ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า เป็นต้น ดังนั้นเมื่อนำเทคโนโลยีเข้ามาใช้ตรวจสอบ ก็จะสามารถรู้ได้ว่าปัญหาโหลดเกินหรือปัญหาแรงดันตกเกิดขึ้นที่วงจรใด โดยการตรวจสอบจากค่าพารามิเตอร์ของวงจรนั้น ทำให้การซ่อมบำรุงสะดวกและรวดเร็วมากขึ้น

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ระบบไฟฟ้าภายในอาคาร

สามารถแบ่งออกได้ 2 ระบบ คือ ระบบไฟฟ้า 1 เฟส 3 สาย

2.1.1 ระบบไฟฟ้า 1 เฟส 3 สาย คือระบบที่มีสายไฟทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ สายไลน์ (Line) คือ เส้นที่มีไฟ สายนิวทรัล (Neutral) คือ เส้นที่ไม่มีไฟ และสายดิน (Ground) ซึ่งระบบนี้ส่วนใหญ่จะใช้สำหรับบ้านพักอาศัยทั่วไป โดยสายไลน์จะมีแรงดันไฟฟ้าขนาด 220 โวลต์

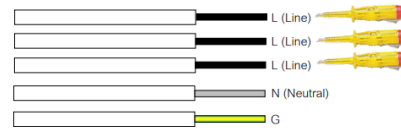


รูปที่ 1 ระบบไฟฟ้า 1 เฟส 3 สาย

2.1.2 ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 5 สาย คือระบบที่มีสายไฟ

ทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ สายไลน์ (Line) 3 เส้น คือ

เส้นที่มีไฟ สายนิวทรัล (Neutral) คือ เส้นที่ไม่มีไฟ และสายดิน (Ground) สามารถต่อใช้เป็นระบบ 1 เฟส ได้ โดยต่อเฟสใดเฟสหนึ่งกับสายนิวทรัล จะมีแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ และมีแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟสขนาด 380 โวลต์



รูปที่ 2 ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 5 สาย

### 2.2 โมดูลวัดค่าพารามิเตอร์ไฟฟ้า PZEM-004T v3

PZEM-004T AC Digital Power Energy Meter Module วัดการใช้พลังงานไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ความถี่และค่าประกอบกำลังไฟฟ้า แล้วนำค่าเหล่านี้มาวิเคราะห์หาปัญหาและตรวจสอบระบบไฟฟ้าในขั้นต่อไป



รูปที่ 3 โมดูล PZEM-004T v3

โมดูล PZEM-004T v3 วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบไฟฟ้า โดยวัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้ 80 -260 VAC และวัดค่ากระแสไฟฟ้าได้ 0-100 A ทำงานได้ที่ความถี่ 45-65 Hz และสามารถแยกไฟสูงออกจากไฟต่ำเพื่อใช้กับ Microcontroller แล้วไม่เสี่ยงต่อการโดนไฟฟ้าดูด ใช้ CT Current Transformer ในการวัดกระแสไฟฟ้าและใช้ UART Serial ในการสื่อสารกับ Microcontroller

### 2.3 NodeMCU



รูปที่ 4 NodeMCU Module ESP8266-12E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่เอารightsโดยไม่ขออนุญาต ใจเองจากใจจริงใจ ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่าจะรู้หรือไม่รู้ ก็ขอให้นักเรียนให้ข้อมูลและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

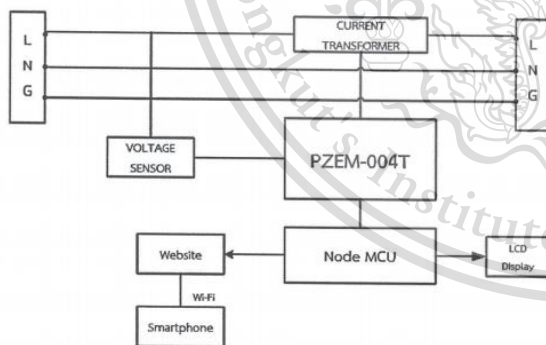
NodeMCU เป็นบอร์ดที่ใช้ ESP8266 เป็น CPU สำหรับประมวลผลโปรแกรมต่างๆ มีขนาดเล็กแต่มีพื้นที่ในการเขียนโปรแกรมที่สูงและสามารถเชื่อมต่อกับ WiFi ได้ ทำให้ง่ายต่อการเชื่อมต่อและสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยี Internet of Things ได้ หลากหลาย บอร์ดรุ่นนี้ใช้ ESP8266-12E มีพื้นที่หน่วยความจำรวมถึง 4 MB เพียงพอที่จะเขียนโปรแกรมขนาดใหญ่ได้ อีกทั้งภายในยังเป็น ARM ขนาดย่อม ใช้ความถี่สูงถึง 40 MHz ทำให้สามารถประมวลผลในโปรแกรมได้อย่างรวดเร็ว

2.4 ระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (Augmented Reality)

ระบบสนับสนุนความจริงเสมือนเป็นเทคโนโลยีที่นำเทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) ผสมเข้ากับเทคโนโลยีภาพ เพื่อทำให้เห็นเป็นภาพสามมิติในหน้าจอของสมาร์ทโฟนและมีการโต้ตอบแบบเรียลไทม์

3. การออกแบบและพัฒนา

3.1 หลักการออกแบบฮาร์ดแวร์

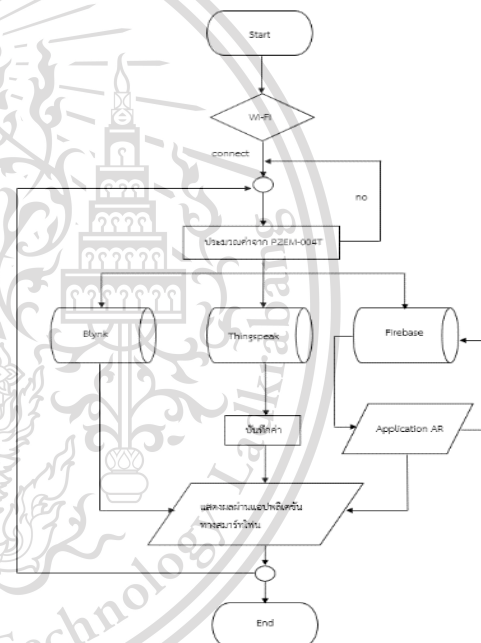


รูปที่ 5 ภาพรวมของระบบ

ภาพรวมของระบบและหลักการการทำงานของอุปกรณ์ตัวระวังระบบไฟฟ้าได้ทำการออกแบบการทำงานแสดงดังรูปที่ 5 โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด ซึ่งใช้โมดูล PZEM-0048 V3 ซึ่งเป็นโมดูลที่มีหม้อแปลงแรงดัน (Voltage

Transformer) และหม้อแปลงกระแส (Current Transformer) ในการวัดค่าพารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้า ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า พลังงาน ความถี่ และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และส่งข้อมูลไปประมวลผลและคำนวณผ่าน NodeMCU ESP8266-12E ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการรับส่งข้อมูลให้กับวงจรวัดค่าพลังงานโดยส่งข้อมูลไปเก็บไว้ที่คลาวด์ (Cloud) แล้วนำข้อมูลที่ถูกระประมวลผลมาแสดงผลผ่านทางแอปพลิเคชันทางสมาร์ทโฟน ซึ่งการรับส่งนั้นจะใช้เทคโนโลยี IoT เป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูล

3.2 หลักการออกแบบซอฟต์แวร์



รูปที่ 6 แผนผังการทำงานของระบบซอฟต์แวร์

จากแผนผังจะเห็นว่าเมื่อจ่ายไฟให้กับโมดูล PZEM-004T จะเริ่มทำการวัดค่าทางไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า ความถี่ และตัวประกอบกำลังไฟฟ้า แล้วทำการส่งค่าไปยัง NodeMCU เพื่ออัปโหลดข้อมูลขึ้น Database ที่แพลตฟอร์ม Firebase สำหรับเป็นฐานข้อมูลให้แอปพลิเคชัน AR และดึงค่ามาแสดงแบบเรียลไทม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูอาจารย์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง

#### 4. ผลการทดลอง

การทดลองเพื่อเฝ้าระวังและประเมินสถานะการทำงานของระบบไฟฟ้า 3 เฟส มีผลการทดลองดังต่อไปนี้



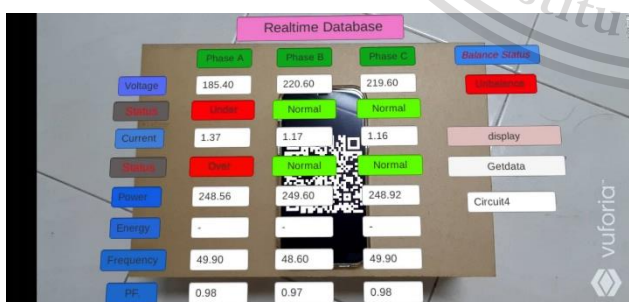
รูปที่ 7 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 สมดุล



รูปที่ 8 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสสูงกว่าปกติ



รูปที่ 9 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ



รูปที่ 10 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสไม่สมดุล

#### 5. สรุป

การใช้เทคโนโลยี IoT และระบบสนับสนุนความจริงเสมือนในการเฝ้าระวังและประเมินสถานะการทำงานของวงจรระบบไฟฟ้า 3 เฟสในอาคาร โดยใช้โมดูล PZEM-004T เชื่อมกับ NodeMCU เพื่อส่งข้อมูลไปยัง Database และแสดงผลแบบเรียลไทม์ โดยจากการทดลอง พบว่าแอปพลิเคชัน Blynk และแอปพลิเคชัน AR สามารถใช้งานได้และเพียงพอที่จะประเมินสถานะการทำงานของวงจรในระบบไฟฟ้า 3 เฟส เนื่องจากใช้มัลติมิเตอร์ในการวัดค่า จากนั้นก็นำค่ามาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริงจากโมดูล โดยแอปพลิเคชันมีรูปแบบการใช้งานที่ง่ายและสามารถดึงค่าทางไฟฟ้าของวงจรที่เราต้องการจะประเมินสถานะ ทำให้สามารถประเมินสถานะของวงจรนั้นๆได้ โดยการตรวจสอบหรือติดตาม ทำให้สามารถป้องกันอันตรายจากการเกิดปัญหาต่างๆ ของวงจรในระบบไฟฟ้าได้สะดวกยิ่งขึ้น

#### อ้างอิง

- [1] รศ. ศุภี บรรจงจิตร, หลักการและเทคนิคการออกแบบระบบไฟฟ้า, ซีเอ็ดดูเคชั่น บมจ., 2557
- [2] ภาสกร พาเจริญ, พัฒนา IoT บนแพลตฟอร์ม Arduino ด้วย NodeMCU, ครั้งที่ พิมพ์.1 กรุงเทพฯ, โปรวิชั่น บจก., 2562
- [3] Harrison Ferrone, Learning C# by Developing Games with Unity 2020, Packt Publishing Limited, 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## PZEM-004T V3.0 User Manual

### Overview

This document describes the specification of the **PZEM-004T** AC communication module, the module is mainly used for measuring AC voltage, current, active power, frequency, power factor and active energy, the module is without display function, the data is read through the **TTL** interface.

**PZEM-004T-10A**: Measuring Range 10A (Built-in Shunt)

**PZEM-004T-100A**: Measuring Range 100A (external transformer)

### 1. Function description

#### 1.1 Voltage

1.1.1 Measuring range: 80~260V

1.1.2 Resolution: 0.1V

1.1.3 Measurement accuracy: 0.5%

#### 1.2 Current

1.2.1 Measuring range: 0~10A (**PZEM-004T-10A**) ; 0~100A (**PZEM-004T-100A**)

1.2.2 Starting measure current: 0.01A (**PZEM-004T-10A**) ; 0.02A (**PZEM-004T-100A**)

1.2.3 Resolution: 0.001A

1.2.4 Measurement accuracy: 0.5%

#### 1.3 Active power

1.3.1 Measuring range: 0~2.3kW (**PZEM-004T-10A**) ; 0~23kW (**PZEM-004T-100A**)

1.3.2 Starting measure power: 0.4W

1.3.3 Resolution: 0.1W

1.3.4 Display format:

<1000W, it display one decimal, such as: 999.9W

≥1000W, it display only integer, such as: 1000W

1.3.5 Measurement accuracy: 0.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 1.4 Power factor

- 1.4.1 Measuring range: 0.00~1.00
- 1.4.2 Resolution: 0.01
- 1.4.3 Measurement accuracy: 1%

#### 1.5 Frequency

- 1.5.1 Measuring range: 45Hz~65Hz
- 1.5.2 Resolution: 0.1Hz
- 1.5.3 Measurement accuracy: 0.5%

#### 1.6 Active energy

- 1.6.1 Measuring range: 0~9999.99kWh
- 1.6.2 Resolution: 1Wh
- 1.6.3 Measurement accuracy: 0.5%
- 1.6.4 Display format:  
 $<10\text{kWh}$ , the display unit is Wh( $1\text{kWh}=1000\text{Wh}$ ), such as: 9999Wh  
 $\geq 10\text{kWh}$ , the display unit is kWh, such as: 9999.99kWh
- 1.6.5 Reset energy: use software to reset.

#### 1.7 Over power alarm

Active power threshold can be set, when the measured active power exceeds the threshold, it can alarm

#### 1.8 Communication interface

RS485 interface.

### 2 Communication protocol

#### 2.1 Physical layer protocol

Physical layer use UART to RS485 communication interface

Baud rate is 9600, 8 data bits, 1 stop bit, no parity

#### 2.2 Application layer protocol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

The application layer use the Modbus-RTU protocol to communicate. At present, it only supports function codes such as 0x03 (Read Holding Register), 0x04 (Read Input Register), 0x06 (Write Single Register), 0x41 (Calibration), 0x42 (Reset energy).etc.

0x41 function code is only for internal use (address can be only 0xF8), used for factory calibration and return to factory maintenance occasions, after the function code to increase 16-bit password, the default password is 0x3721

The address range of the slave is 0x01 ~ 0xF7. The address 0x00 is used as the broadcast address, the slave does not need to reply the master. The address 0xF8 is used as the general address, this address can be only used in single-slave environment and can be used for calibration etc.operation.

### 2.3 Read the measurement result

The command format of the master reads the measurement result is(total of 8 bytes):

Slave Address + 0x04 + Register Address High Byte + Register Address Low Byte + Number of Registers High Byte + Number of Registers Low Byte + CRC Check High Byte + CRC Check Low Byte.

The command format of the reply from the slave is divided into two kinds:

Correct Reply: Slave Address + 0x04 + Number of Bytes + Register 1 Data High Byte + Register 1 Data Low Byte + ... + CRC Check High Byte + CRC Check Low Byte

Error Reply: Slave address + 0x84 + Abnormal code + CRC check high byte + CRC check low byte

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

For example, the master sends the following command (CRC check code is replaced by 0xHH and 0xLL, the same below)

0x01 + 0x04 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x0A + 0xHH + 0xLL

Indicates that the master needs to read 10 registers with slave address 0x01 and the start address of the register is 0x0000

The correct reply from the slave is as following:

0x01 + 0x04 + 0x14 + 0x08 + 0x98 + 0x03 + 0xE8 + 0x00 + 0x00 + 0x08 + 0x98 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x01 + 0xF4 + 0x00 + 0x64 + 0x00 + 0x00 + 0xHH + 0xLL

The above data shows

- Voltage is 0x0898, converted to decimal is 2200, display 220.0V
- Current is 0x000003E8, converted to decimal is 1000, display 1.000A
- Power is 0x00000898, converted to decimal is 2200, display 220.0W
- Energy is 0x00000000, converted to decimal is 0, display 0Wh
- Frequency is 0x01F4, converted to decimal is 500, display 50.0Hz
- Power factor is 0x0064, converted to decimal is 100, display 1.00
- Alarm status is 0x0000, indicates that the current power is lower than the alarm power threshold

#### 2.4 Read and modify the slave parameters

At present, it only supports reading and modifying slave address and power alarm threshold

The register is arranged as the following table

Register address	Description	Resolution
0x0001	Power alarm threshold	1LSB correspond to 1W
0x0002	Modbus-RTU address	The range is 0x0001~0x00F7

The command format of the master to read the slave parameters and read the measurement results are same (described in details in Section 2.3), only need to change the function code from 0x04 to 0x03.

The command format of the master to modify the slave parameters is (total of 8 bytes):

Slave Address + 0x06 + Register Address High Byte + Register Address Low Byte + Register Value High Byte + Register Value Low Byte + CRC Check High Byte + CRC Check Low Byte.

The command format of the reply from the slave is divided into two kinds:

Correct Response: Slave Address + 0x06 + Number of Bytes + Register Address Low Byte + Register Value High Byte + Register Value Low Byte + CRC Check High Byte + CRC Check Low Byte.

Error Reply: Slave address + 0x86 + Abnormal code + CRC check high byte + CRC check low byte.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

For example, the master sets the slave's power alarm threshold:

$0x01 + 0x06 + 0x00 + 0x01 + 0x08 + 0xFC + 0xHH + 0xLL$

Indicates that the master needs to set the 0x0001 register (power alarm threshold) to 0x08FC (2300W).

Set up correctly, the slave return to the data which is sent from the master.

For example, the master sets the address of the slave

$0x01 + 0x06 + 0x00 + 0x02 + 0x00 + 0x05 + 0xHH + 0xLL$

Indicates that the master needs to set the 0x0002 register (Modbus-RTU address) to 0x0005

Set up correctly, the slave return to the data which is sent from the master.

## 2.5 Reset energy

The command format of the master to reset the slave's energy is (total 4 bytes):

Slave address + 0x42 + CRC check high byte + CRC check low byte.

Correct reply: slave address + 0x42 + CRC check high byte + CRC check low byte.

Error Reply: Slave address + 0xC2 + Abnormal code + CRC check high byte + CRC check low byte

## 2.6 Calibration

The command format of the master to calibrate the slave is (total 6 bytes):

$0xF8 + 0x41 + 0x37 + 0x21 + \text{CRC check high byte} + \text{CRC check low byte}$ .

Correct reply:  $0xF8 + 0x41 + 0x37 + 0x21 + \text{CRC check high byte} + \text{CRC check low byte}$ .

Error Reply:  $0xF8 + 0xC1 + \text{Abnormal code} + \text{CRC check high byte} + \text{CRC check low byte}$ .

It should be noted that the calibration takes 3 to 4 seconds, after the master sends the command, if the calibration is successful, it will take 3 ~ 4 seconds to receive the response from the slave.

## 2.7 CRC check

CRC check use 16bits format, occupy two bytes, the generator polynomial is  $X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$ , the polynomial value used for calculation is 0xA001.

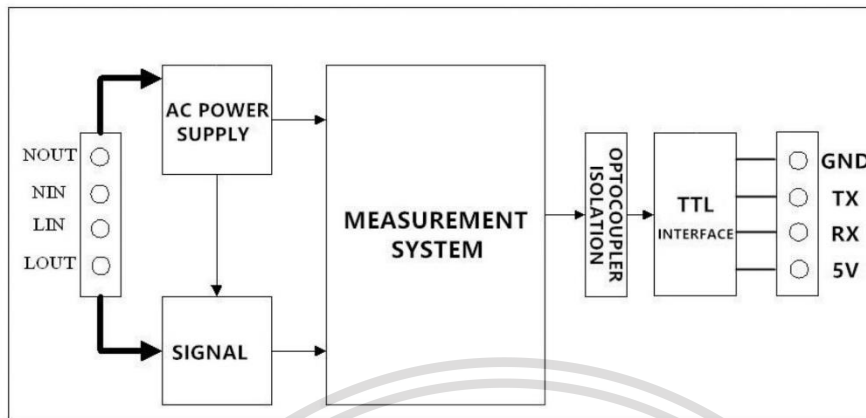
The value of the CRC check is a frame data divide all results of checking all the bytes except the CRC check value.

## 3 Functional block diagram

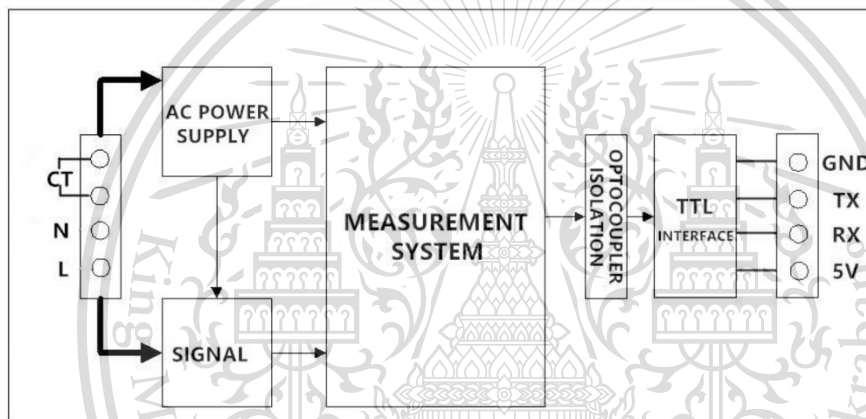
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



Picture 3.1 PZEM-004T-10A Functional block diagram



Picture 3.2 PZEM-004T-100A Functional block diagram

4 Wiring diagram

PZEM-004T-10A wiring diagram

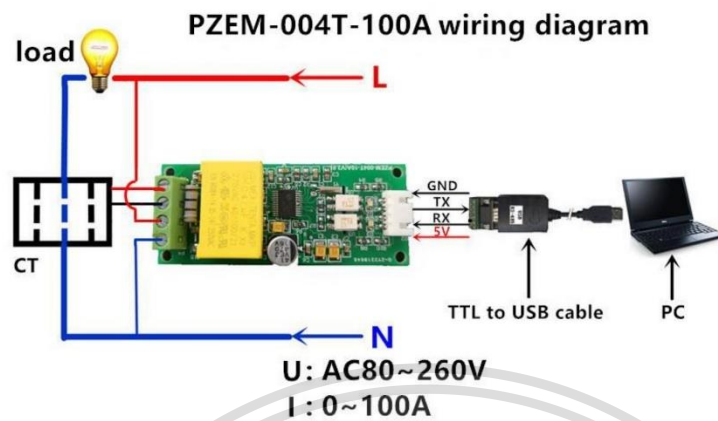


Picture 4.1 PZEM-004T-10A wiring diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



Picture 4.2 PZEM-004T-100A wiring diagram

## 5 Other instructions

5.1 The TTL interface of this module is a passive interface, it requires external 5V power supply, which means, when communicating, all four ports must be connected (5V, RX, TX, GND), otherwise it cannot communicate.

## 5.2 Working temperature

-20°C ~ +60°C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



# ESP-12E WiFi Module

Version 1.0

## Disclaimer and Copyright Notice.

Information in this document, including URL references, is subject to change without notice. THIS DOCUMENT IS PROVIDED AS IS WITH NO WARRANTIES WHATSOEVER, INCLUDING ANY WARRANTY OF MERCHANTABILITY, NON-INFRINGEMENT, FITNESS FOR ANY PARTICULAR PURPOSE, OR ANY WARRANTY OTHERWISE ARISING OUT OF ANY PROPOSAL, SPECIFICATION OR SAMPLE. All liability, including liability for infringement of any proprietary rights, relating to use of information in this document is disclaimed. No licenses express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights are granted herein. The WiFi Alliance Member Logo is a trademark of the WiFi Alliance. All trade names, trademarks and registered trademarks mentioned in this document are property of their respective owners, and are hereby acknowledged. Copyright © 2015 AI-Thinker team. All rights reserved.

## Notice

Product version upgrades or other reasons, possible changes in the contents of this manual. AI-Thinker reserves in the absence of any notice or indication of the circumstances the right to modify the content of this manual. This manual is used only as a guide, AI-thinker make every effort to provide accurate information in this manual, but AI-thinker does not ensure that manual content without error, in this manual all statements, information and advice nor does it constitute any express or implied warranty.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



## Table of Contents

<b>1. Preambles</b> .....	3
<b>1.1. Features</b> .....	4
<b>1.2. Parameters</b> .....	6
<b>2. Pin Descriptions</b> .....	7
<b>3. Packaging and Dimension</b> .....	9
<b>4. Functional Descriptions</b> .....	11
<b>4.1. MCU</b> .....	11
<b>4.2. Memory Organization</b> .....	11
4.2.1. Internal SRAM and ROM .....	11
4.2.2. External SPI Flash .....	11
<b>4.3. Crystal</b> .....	12
<b>4.4. Interfaces</b> .....	12
<b>4.5. Absolute Maximum Ratings</b> .....	14
<b>4.6. Recommended Operating Conditions</b> .....	14
<b>4.7. Digital Terminal Characteristics</b> .....	14
<b>5. RF Performance</b> .....	15
<b>6. Power Consumption</b> .....	16
<b>7. Reflow Profile</b> .....	17
<b>8. Schematics</b> .....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

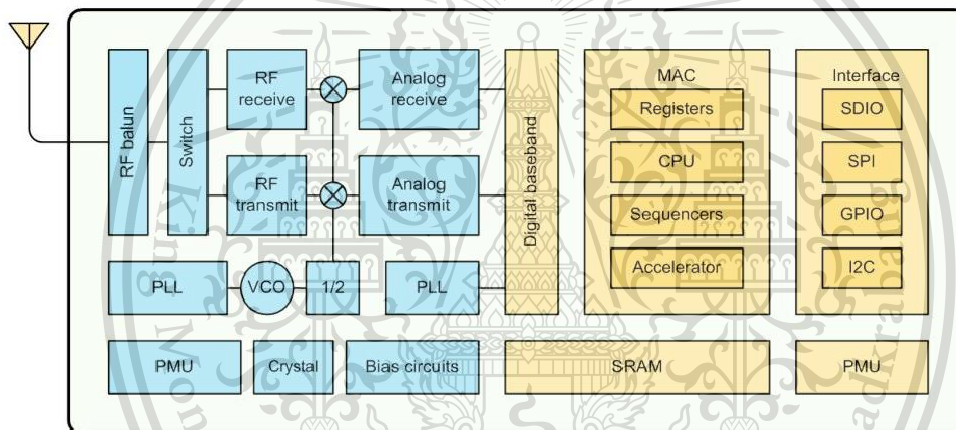


## 1. Preambles

ESP-12E WiFi module is developed by Ai-thinker Team. core processor ESP8266 in smaller sizes of the module encapsulates Tensilica L106 integrates industry-leading ultra low power 32-bit MCU micro, with the 16-bit short mode, Clock speed support 80 MHz, 160 MHz, supports the RTOS, integrated Wi-Fi MAC/BB/RF/PA/LNA, on-board antenna.

The module supports standard IEEE802.11 b/g/n agreement, complete TCP/IP protocol stack. Users can use the add modules to an existing device networking, or building a separate network controller.

ESP8266 is high integration wireless SOCs, designed for space and power constrained mobile platform designers. It provides unsurpassed ability to embed Wi-Fi capabilities within other systems, or to function as a standalone application, with the lowest cost, and minimal space requirement.



**Figure 1 ESP8266EX Block Diagram**

ESP8266EX offers a complete and self-contained Wi-Fi networking solution; it can be used to host the application or to offload Wi-Fi networking functions from another application processor.

When ESP8266EX hosts the application, it boots up directly from an external flash. It has integrated cache to improve the performance of the system in such applications.

Alternately, serving as a Wi-Fi adapter, wireless internet access can be added to any micro controller-based design with simple connectivity (SPI/SDIO or I2C/UART interface).

ESP8266EX is among the most integrated WiFi chip in the industry; it integrates the antenna switches, RF balun, power amplifier, low noise receive amplifier, filters, power management modules, it requires minimal external circuitry, and the entire solution, including front-end module, is designed to occupy minimal PCB area.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ESP8266EX also integrates an enhanced version of Tensilica's L106 Diamond series 32-bit processor, with on-chip SRAM, besides the Wi-Fi functionalities. ESP8266EX is often integrated with external sensors and other application specific devices through its GPIOs; codes for such applications are provided in examples in the SDK.

Espressif Systems' Smart Connectivity Platform (ESCP) demonstrates sophisticated system-level features include fast sleep/wake context switching for energy-efficient VoIP, adaptive radio biasing, for low-power operation, advance signal processing, and spur cancellation and radio co-existence features for common cellular, Bluetooth, DDR, LVDS, LCD interference mitigation.

## 1.1. Features

- 802.11 b/g/n
- Integrated low power 32-bit MCU
- Integrated 10-bit ADC
- Integrated TCP/IP protocol stack
- Integrated TR switch, balun, LNA, power amplifier and matching network
- Integrated PLL, regulators, and power management units
- Supports antenna diversity
- Wi-Fi 2.4 GHz, support WPA/WPA2
- Support STA/AP/STA+AP operation modes
- Support Smart Link Function for both Android and iOS devices
- Support Smart Link Function for both Android and iOS devices
- SDIO 2.0, (H) SPI, UART, I2C, I2S, IRDA, PWM, GPIO
- STBC, 1x1 MIMO, 2x1 MIMO
- A-MPDU & A-MSDU aggregation and 0.4s guard interval

Shenzhen Anxinke Technology CO.,LTD

<http://www.ai-thinker.com>

4

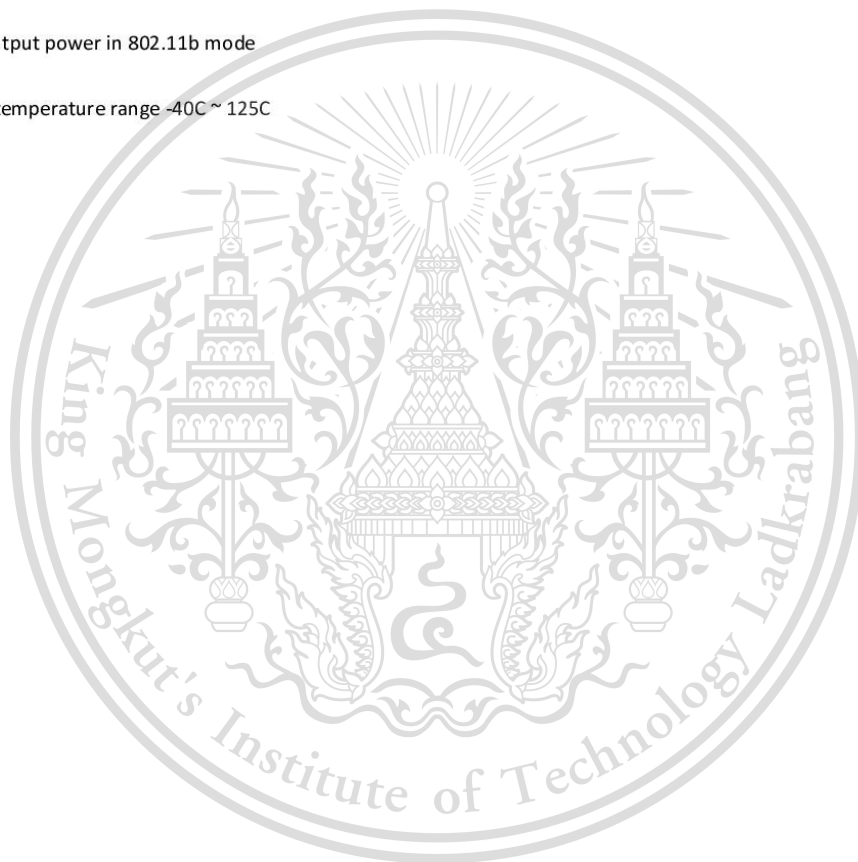
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



- Deep sleep power <math><10\mu\text{A}</math>, Power down leakage current <math><5\mu\text{A}</math>
- Wake up and transmit packets in <math><2\text{ms}</math>
- Standby power consumption of <math><1.0\text{mW}</math> (DTIM3)
- +20dBm output power in 802.11b mode
- Operating temperature range -40C ~ 125C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



## 1.2. Parameters

Table 1 below describes the major parameters.

Table 1 Parameters

Categories	Items	Values
WiFi Parameters	WiFi Protodes	802.11 b/g/n
	Frequency Range	2.4GHz-2.5GHz (2400M-2483.5M)
Hardware Parameters	Peripheral Bus	UART/HSPI/I2C/I2S/Ir Remote Control
		GPIO/PWM
	Operating Voltage	3.0~3.6V
	Operating Current	Average value: 80mA
	Operating Temperature Range	-40°~125°
	Ambient Temperature Range	Normal temperature
	Package Size	16mm*24mm*3mm
	External Interface	N/A
Software Parameters	Wi-Fi mode	station/softAP/SoftAP+station
	Security	WPA/WPA2
	Encryption	WEP/TKIP/AES
	Firmware Upgrade	UART Download / OTA (via network) / download and write firmware via host
	Ssoftware Development	Supports Cloud Server Development / SDK for custom firmware development
	Network Protocols	IPv4, TCP/UDP/HTTP/FTP
	User Configuration	AT Instruction Set, Cloud Server, Android/iOS App

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

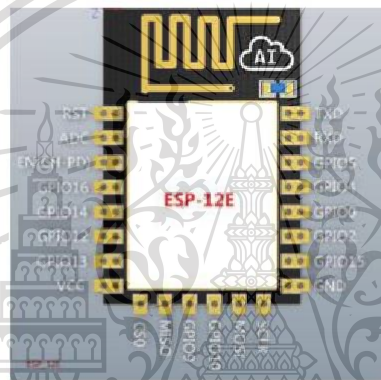
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



## 2. Pin Descriptions

There are altogether 22 pin counts, the definitions of which are described in Table 2 below.

**Table 2 ESP-12E Pin design**



**Table 3 Pin Descriptions**

NO.	Pin Name	Function
1	RST	Reset the module
2	ADC	A/D Conversion result. Input voltage range 0-1v, scope:0-1024
3	EN	Chip enable pin. Active high
4	IO16	GPIO16; can be used to wake up the chipset from deep sleep mode.
5	IO14	GPIO14; HSPI_CLK
6	IO12	GPIO12; HSPI_MISO
7	IO13	GPIO13; HSPI_MOSI; UART0_CTS
8	VCC	3.3V power supply (VDD)
9	CS0	Chip selection
10	MISO	Salve output Main input

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



11	IO9	GPIO9
12	IO10	GPIO10
13	MOSI	Main output slave input
14	SCLK	Clock
15	GND	GND
16	IO15	GPIO15; MTDO; HSPICS; UART0_RTS
17	IO2	GPIO2; UART1_TXD
18	IO0	GPIO0
19	IO4	GPIO4
20	IO5	GPIO5
21	RXD	UART0_RXD; GPIO3
22	TXD	UART0_TXD; GPIO1

Table 4 Pin Mode

Mode	GPIO15	GPIO0	GPIO2
UART	Low	Low	High
Flash Boot	Low	High	High

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



**Table 5 Receiver Sensitivity**

Parameters	Min	Typical	Max	Unit
Input frequency	2412		2484	MHz
Input impedance		50		$\Omega$
Input reflection			-10	dB
Output power of PA for 72.2Mbps	15.5	16.5	17.5	dBm
Output power of PA for 11b mode	19.5	20.5	21.5	dBm
Sensitivity				
DSSS, 1Mbps		-98		dBm
CCK, 11Mbps		-91		dBm
6Mbps (1/2 BPSK)		-93		dBm
54Mbps (3/4 64-QAM)		-75		dBm
HT20, MCS7 (65Mbps, 72.2Mbps)		-72		dBm
Adjacent Channel Rejection				
OFDM, 6Mbps		37		dB
OFDM, 54Mbps		21		dB
HT20, MCS0		37		dB
HT20, MCS7		20		dB

### 3. Packaging and Dimension

The external size of the module is 16mm\*24mm\*3mm, as is illustrated in Figure 3 below. The type of flash integrated in this module is an SPI flash, the capacity of which is 4 MB, and the package size of which is SOP-210mil. The antenna applied on this module is a 3DBi PCB-on-board antenna.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

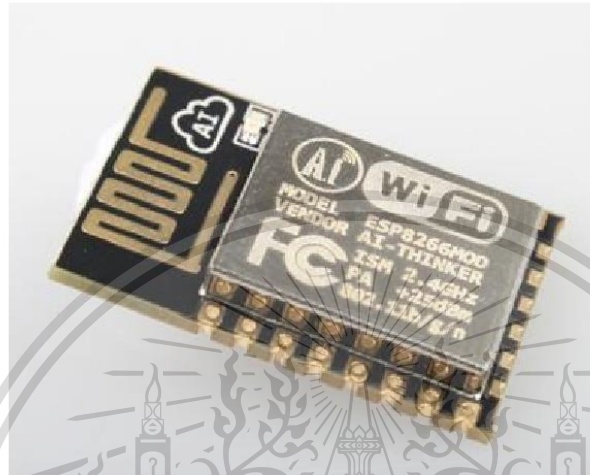


Figure 3 [Module Pin Counts, 22 pin, 16 mm \*24 mm \*3 mm]



Figure 4 Top View of ESP-12E WiFi Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



**Table 5 Dimension of ESP-12E WiFi Modul**

Length	Width	Height	PAD Size(Bottom)	Pin Pitch
16 mm	24mm	3 mm	0.9 mm x 1.7 mm	2mm

## 4. Functional Descriptions

### 4.1. MCU

ESP8266EX is embedded with Tensilica L106 32-bit micro controller (MCU), which features extra low power consumption and 16-bit RSIC. The CPU clock speed is 80MHz. It can also reach a maximum value of 160MHz. ESP8266EX is often integrated with external sensors and other specific devices through its GPIOs; codes for such applications are provided in examples in the SDK.

### 4.2. Memory Organization

#### 4.2.1. Internal SRAM and ROM

ESP8266EX WiFi SoC is embedded with memory controller, including SRAM and ROM. MCU can visit the memory units through iBus, dBus, and AHB interfaces. All memory units can be visited upon request, while a memory arbiter will decide the running sequence according to the time when these requests are received by the processor.

According to our current version of SDK provided, SRAM space that is available to users is assigned as below:

- RAM size < 36kB, that is to say, when ESP8266EX is working under the station mode and is connected to the router, programmable space accessible to user in heap and data section is around 36kB.)
- There is no programmable ROM in the SoC, therefore, user program must be stored in an external SPI flash.

#### 4.2.2. External SPI Flash

This module is mounted with an 4 MB external SPI flash to store user programs. If larger definable storage space is required, a SPI flash with larger memory size is preferred. Theoretically speaking, up to 16 MB memory capacity can be supported.

**Suggested SPI Flash memory capacity:**

- OTA is disabled: the minimum flash memory that can be supported is 512 kB;
- OTA is enabled: the minimum flash memory that can be supported is 1 MB.

Several SPI modes can be supported, including Standard SPI, Dual SPI, and Quad SPI.



Therefore, please choose the correct SPI mode when you are downloading into the flash, otherwise firmwares/programs that you downloaded may not work in the right way.

### 4.3. Crystal

Currently, the frequency of crystal oscillators supported include 40MHz, 26MHz and 24MHz. The accuracy of crystal oscillators applied should be  $\pm 10\text{PPM}$ , and the operating temperature range should be between  $-20^{\circ}\text{C}$  and  $85^{\circ}\text{C}$ .

When using the downloading tools, please remember to select the right crystal oscillator type. In circuit design, capacitors C1 and C2, which are connected to the earth, are added to the input and output terminals of the crystal oscillator respectively. The values of the two capacitors can be flexible, ranging from 6pF to 22pF, however, the specific capacitive values of C1 and C2 depend on further testing and adjustment on the overall performance of the whole circuit. Normally, the capacitive values of C1 and C2 are within 10pF if the crystal oscillator frequency is 26MHz, while the values of C1 and C2 are  $10\text{pF} < \text{C1}, \text{C2} < 22\text{pF}$  if the crystal oscillator frequency is 40MHz.

### 4.4. Interfaces

Table 6 Descriptions of Interfaces

Interface	Pin Name	Description
HSPI	IO12(MISO) IO13(MOSI) IO14(CLK) IO15(CS)	SPI Flash 2, display screen, and MCU can be connected using HSPI interface.
PWM	IO12(R) IO15(G) IO13(B)	Currently the PWM interface has four channels, but users can extend the channels according to their own needs. PWM interface can be used to control LED lights, buzzers, relays, electronic machines, and so on.
IR Remote Control	IO14(IR_T) IO5(IR_R)	The functionality of Infrared remote control interface can be implemented via software programming. NEC coding, modulation, and demodulation are used by this interface. The frequency of modulated carrier signal is 38KHz.
ADC	TOUT	ESP8266EX integrates a 10-bit analog ADC. It can be used to test the power-supply voltage of VDD3P3 (Pin3 and Pin4) and the input power voltage of TOUT (Pin 6). However, these two functions cannot be used simultaneously. This interface is typically used in sensor products.
I2C	IO14(SCL) IO2(SDA)	I2C interface can be used to connect external sensor products and display screens, etc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



Interface	Pin Name	Description
UART	<b>UART0:</b> TXD (U0TXD) RXD (U0RXD) IO15 (RTS) IO13 (CTS)	Devices with UART interfaces can be connected with the module. Downloading: U0TXD+U0RXD or GPIO2+U0RXD Communicating: UART0: U0TXD, U0RXD, MTDO (U0RTS), MTCK (U0CTS) Debugging: UART1_TXD (GPIO2) can be used to print debugging information.
	<b>UART1:</b> IO2(TXD)	By default, UART0 will output some printed information when the device is powered on and is booting up. If this issue exerts influence on some specific applications, users can exchange the inner pins of UART when initializing, that is to say, exchange U0TXD, U0RXD with U0RTS, U0CTS.
I2S	<b>I2S Input:</b> IO12 (I2SI_DATA); IO13 (I2SI_BCK); IO14 (I2SI_WS); <b>I2S Output:</b> IO15 (I2SO_BCK); IO3 (I2SO_DATA); IO2 (I2SO_WS).	I2S interface is mainly used for collecting, processing, and transmission of audio data.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



#### 4.5. Absolute Maximum Ratings

Table 7 Absolute Maximum Ratings

Rating	Condition	Value	Unit
Storage Temperature		-40 to 125	°C
Maximum Soldering Temperature		260	°C
Supply Voltage	IPC/JEDEC J-STD-020	+3.0 to +3.6	V

#### 4.6. Recommended Operating Conditions

Table 8 Recommended Operating Conditions

Operating Condition	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Operating Temperature		-40	20	125	°C
Supply voltage	VDD	3.0	3.3	3.6	V

#### 4.7. Digital Terminal Characteristics

Table 9 Digital Terminal Characteristics

Terminals	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Input logic level low	V <sub>IL</sub>	-0.3		0.25VDD	V
Input logic level high	V <sub>IH</sub>	0.75VDD		VDD+0.3	V
Output logic level low	V <sub>OL</sub>	N		0.1VDD	V
Output logic level high	V <sub>OH</sub>	0.8VDD		N	V

Note: Test conditions: VDD = 3.3V, Temperature = 20 °C, if nothing special is stated.

Shenzhen Anxinke Technology CO;LTD

<http://www.ai-thinker.com>

14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



## 5. RF Performance

Description	Min.	Typ.	Max	Unit
Input frequency	2400		2483.5	MHz
Input impedance		50		ohm
Input reflection			-10	dB
Output power of PA for 72.2Mbps	15.5	16.5	17.5	dBm
Output power of PA for 11b mode	19.5	20.5	21.5	dBm
<b>Sensitivity</b>				
CCK, 1Mbps		-98		dBm
CCK, 11Mbps		-91		dBm
6Mbps (1/2 BPSK)		-93		dBm
54Mbps (3/4 64-QAM)		-75		dBm
HT20, MCS7 (65Mbps, 72.2Mbps)		-72		dBm
<b>Adjacent Channel Rejection</b>				
OFDM, 6Mbps		37		dB
OFDM, 54Mbps		21		dB
HT20, MCS0		37		dB
HT20, MCS7		20		dB

Table 10 RF Performance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



## 6. Power Consumption

Parameters	Min	Typical	Max	Unit
Tx802.11b, CCK 11Mbps, P OUT=+17dBm		170		mA
Tx 802.11g, OFDM 54Mbps, P OUT =+15dBm		140		mA
Tx 802.11n, MCS7, P OUT =+13dBm		120		mA
Rx 802.11b, 1024 bytes packet length, -80dBm		50		mA
Rx 802.11g, 1024 bytes packet length, -70dBm		56		mA
Rx 802.11n, 1024 bytes packet length, -65dBm		56		mA
Modem-Sleep <sup>①</sup>		15		mA
Light-Sleep <sup>②</sup>		0.9		mA
Deep-Sleep <sup>③</sup>		10		uA

**Table 11 Power Consumption**

① Modem-Sleep requires the CPU to be working, as in PWM or I2S applications. According to 802.11 standards (like U-APSD), it saves power to shut down the Wi-Fi Modem circuit while maintaining a Wi-Fi connection with no data transmission. E.g. in DTIM3, to maintain a sleep 300ms-wake 3ms cycle to receive AP's Beacon packages, the current is about 15mA.

② During Light-Sleep, the CPU may be suspended in applications like Wi-Fi switch. Without data transmission, the Wi-Fi Modem circuit can be turned off and CPU suspended to save power according to the 802.11 standard (U-APSD). E.g. in DTIM3, to maintain a sleep 300ms-wake 3ms cycle to receive AP's Beacon packages, the current is about 0.9mA.

③ Deep-Sleep does not require Wi-Fi connection to be maintained. For application with long time lags between data transmission, e.g. a temperature sensor that checks the temperature every 100s, sleep 300s and waking up to connect to the AP (taking about 0.3~1s), the overall average current is less than 1mA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



## 7. Reflow Profile

Table 12 Instructions

T <sub>S</sub> max to T <sub>L</sub> (Ramp-up Rate)	3°C/second max
Preheat	
Temperature Min.(T <sub>S</sub> Min.)	150°C
Temperature Typical.(T <sub>S</sub> Typ.)	175°C
Temperature Min.(T <sub>S</sub> Max.)	200°C
Time(T <sub>S</sub> )	60~180 seconds
Ramp-up rate (T <sub>L</sub> to T <sub>P</sub> )	3°C/second max
Time Maintained Above: --Temperature(T <sub>L</sub> )/Time(T <sub>L</sub> )	217°C/60~150 seconds
Peak Temperature(T <sub>P</sub> )	260°C max. for 10 seconds
Target Peak Temperature (T <sub>P</sub> Target)	260°C +0/-5°C
Time within 5°C of actual peak(t <sub>p</sub> )	20~40 seconds
T <sub>S</sub> max to T <sub>L</sub> (Ramp-down Rate)	6°C/second max
Tune 25°C to Peak Temperature (t)	8 minutes max

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



### 8. Schematics

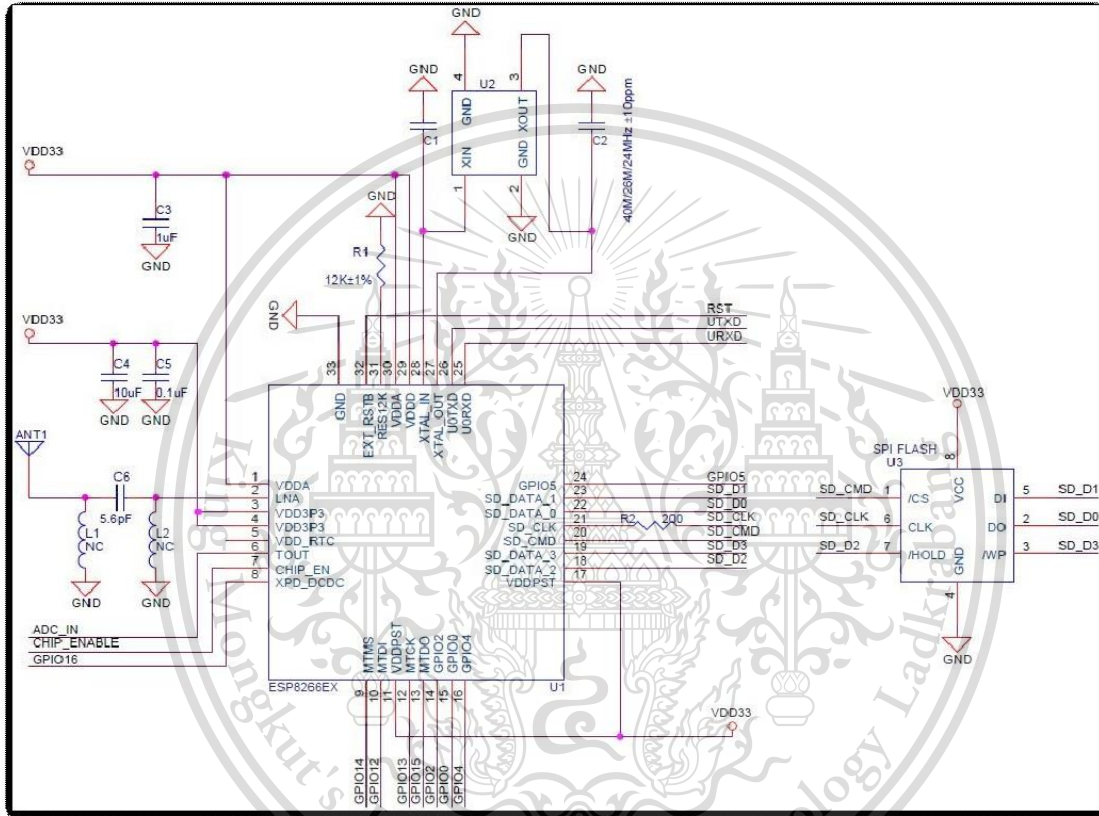


Figure 4 Schematics of Esp-12E WiFi Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



#### Product details of PEACEFAIR PZCT-02 Split Core Current Transformer Coil Sensor for 100A Amp Energy Meter

- This is a mini split base current transformer; it's the smallest one compared to the similar products (output 100MA)
- The diameter of inner hole is 16mm, the accuracy is  $\leq 0.5$  grade
- Using snap joint structure, it can be fixed to the cable directly through nylon ties
- Built-in input coil; small and light, easy to install

#### Descriptions:

This is a mini split base current transformer; it's the smallest one compared to the similar products (output 100MA). Fully enclosed, good mechanical properties and environmental resistance, strong voltage isolation capability, safety and reliability. Used for energy meter in special; AC 220v, 380v power supply can both be applied.

#### Features:

This is a mini split base current transformer; it's the smallest one compared to the similar products (output 100MA).

The diameter of inner hole is 16mm, the accuracy is  $\leq 0.5$  grade,

Using snap joint structure, it can be fixed to the cable directly through nylon ties.

Built-in input coil; small and light, easy to install.

Fully enclosed, good mechanical properties and environmental resistance, strong voltage isolation capability, safety and reliability.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

**Specifications:**

Brand: PEACEFAIR

Model: PZCT-02

Environment temperature: -40°C~+85°C

Relative humidity: ≤ 90%(40°C)

Working frequency: 50Hz~60Hz

Insulation endurance grade: B grade (130°C)

Insulation resistance: &gt;1000MΩ normally

Dielectric strength: can afford power frequency 1000V/1minute

Flame resistance: Conform to UL94-Vo grade

Internal resistance: 10Ω

Measuring range: 0-100A

Weight:59g

**Application:**

1. The current transformer is used for energy meter in special; AC 220v, 380v power supply can both be applied.
2. When you fix the energy meter, you don't need to cut off the power if you use this product.

**Package Included:**

1 x Current Transformer

**Note:**

1. The CT primary should be connected in series with the test current loop, the secondary should be as work in the short-circuit state.
2. The secondary circuit is not allowed open circuit, so please do not install fuse.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายชัชณพงค์ พงษ์จันทร์  
วัน เดือน ปีเกิด 26 พฤศจิกายน พ.ศ. 2541

## ประวัติการศึกษา

- ปีการศึกษา 2559 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย  
โรงเรียนพิบูลวิทยาลัย ลพบุรี
- ปีการศึกษา 2563 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ฝึกงานภาคฤดูร้อน อาคารเจ้าคุณทหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 31 กรกฎาคม 2563



ชื่อ-นามสกุล นายเจษฎา วินัยโกศล  
วัน เดือน ปีเกิด 28 สิงหาคม พ.ศ. 2541

## ประวัติการศึกษา

- ปีการศึกษา 2559 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย  
โรงเรียนอำนาจเจริญ อำนาจเจริญ
- ปีการศึกษา 2563 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ฝึกงานภาคฤดูร้อน อาคารเจ้าคุณทหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 31 กรกฎาคม 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ชื่อ-นามสกุล นายณัฏพงษ์ ทิพยนาสา

วัน เดือน ปีเกิด 6 กันยายน พ.ศ. 2542

### ประวัติการศึกษา

- ปีการศึกษา 2559 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย  
โรงเรียนอุดรพิทยานุกูล อุดรธานี
- ปีการศึกษา 2563 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ฝึกงานภาคฤดูร้อน อาคารเจ้าคุณทหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 31 กรกฎาคม 2563



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.