

การเฝ้าระวังและประเมินผลสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส
ด้วยระบบ AI ร่วมกับ AR

CONDITIONS MONITORING AND ASSESSMENT OF 3-PHASE INDUCTION
MOTOR BY AI AND AR

โดย

นางสาวสโรชา	สาสิทธิ์
นางสาวสาวิตรี	ศรีแก้ว
นายหัตถ์	สุทธิพงษ์
นางสาวอัญญา	ตุนาวา

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

การเฝ้าระวังและประเมินผลสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส
ด้วยระบบ AI ร่วมกับ AR

CONDITIONS MONITORING AND ASSESSMENT OF 3-PHASE INDUCTION
MOTOR BY AI AND AR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONDITIONS MONITORING AND ASSESSMENT OF 3-PHASE INDUCTION MOTOR

BY AI AND AR



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

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2561

การเฝ้าระวังและประเมินผลสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส

ด้วยระบบ AI ร่วมกับ AR

CONDITIONS MONITORING AND ASSESSMENT OF 3-PHASE INDUCTION MOTOR

BY AI AND AR



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.นรุช

จิรสวรรณกุล

รศ.ดร.เฉลิมชาติ

มานพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การเฝ้าระวังและประเมินผลสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ด้วยระบบ AI
ร่วมกับ AR

ผู้จัดทำ

1. นางสาวสโรชา สาสีพันธ์
2. นางสาวสาวิตรี ศรีแก้ว
3. นายหัตถ์ สุทธิพงษ์
4. นางสาวอนัญญา ตุนาวา

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชาติ มานพ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเฝ้าระวังและประเมินผลสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสด้วย ระบบ AI ร่วมกับ AR

นางสาวสโรชา สาลีพันธ์

นางสาวสาวิตรี ศรีแก้ว

นายหัตถ์ สุทธิพงษ์

นางสาวอนัญญา ตุนาวา

ผศ.ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.เฉลิมชาติ มานพ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการพัฒนาและออกแบบระบบติดตามและประเมินสภาวะการทำงานมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยใช้ระบบ AI ร่วมกับ AR โดยการออกแบบประกอบด้วยการนำวงจรวัดค่าพารามิเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส มาใช้ และทำการพัฒนาซอฟต์แวร์แอปพลิเคชันในสมาร์ตโฟนด้วยการวิเคราะห์แบบ AI โดยนำระบบ AI มาประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ซึ่งวิเคราะห์จากค่าพารามิเตอร์ คือ แรงดันไฟฟ้า กระแสและอุณหภูมิ สภาวะการทำงานของมอเตอร์ที่ถูกวิเคราะห์และประเมินสามารถตรวจสอบและรายงานโดยระบบ AR แบบเรียลไทม์ การทำงานของระบบเริ่มต้นด้วยข้อมูลที่ได้รับจากวงจรวัดจะถูกส่งไปยังฐานข้อมูลไพล์เบส จากนั้นซอฟต์แวร์แอปพลิเคชันที่ทำงานด้วยระบบ AI จะดึงข้อมูล เพื่อประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ และผลการประเมินจะถูกรายงานให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ของ Good, Damage และ Seriously Damage พร้อมกับคำแนะนำซึ่งวิเคราะห์และตัดสินใจจากระบบ AI

CONDITIONS MONITORING AND ASSESSMENT OF 3-PHASE INDUCTION MOTOR BY AI AND AR

Ms.Sarocho	Saleepun	
Ms.Sawitri	Srikaew	
Mr.Huth	Suttipong	
Ms.Ananya	Tunawa	
Asst.Prof.Dr.Nirudh	Jisasuwankul	Advisor
Assoc.Prof.Dr.Chalermchart	Manop	Co-Advisor

Abstract

This thesis presents the development of conditions monitoring and assessment system for 3-phase induction motor by implementing AI and AR. The design consists of implementing the 3-phases measuring circuits and developing AI-based diagnostic application software. By using the AI to evaluate operating conditions of the motor continuously, i.e., voltages, currents and temperature, the performance of the motor can then be monitored and reported by AR in the real-time manner. Operation of the system starts with data from the measurement circuit is sent to the Firebase database and then the AI-based application software retrieves the data to evaluate condition of the motor. Finally, evaluation results will then be reported semantically in a percentage of Good, Damage and Seriously Damage together with the expert suggestion of decision using AI.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความเมตตาให้ความช่วยเหลือของท่านอาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมทั้งสองท่าน ท่านแรกกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล ที่กรุณารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและเสียสละเวลาที่มีค่าในการให้คำแนะนำและการชี้แนะแนวทางในการทำให้ปริญญานิพนธ์นี้เป็นไปในขอบเขตที่คณะผู้จัดทำหวังไว้ ตลอดจนการตรวจสอบแก้ไขความเรียบร้อยของปริญญานิพนธ์เล่มนี้เป็นอย่างดี และท่านที่สอง รองศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชาติ มานพ ที่กรุณารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ แนะนำแนวทางอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงาน

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำแนวทางในการทำปริญญานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณณัฐพันธ์ บุญเสนอและคุณนครศักดิ์ แสงศรี เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ให้คำแนะนำเรื่องอุปกรณ์ อีกทั้งยังให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการและยืมเครื่องมือในการทำการทดสอบและทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้เป็นอย่างดี ตลอดจนคุณกมลวรรณ ถาวร เจ้าหน้าที่ห้องธุรการภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จของโครงการนี้

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนให้การสนับสนุน ช่วยเหลือและให้กำลังใจในระหว่างการทำนิพนธ์ รวมทั้งเพื่อนๆ ที่ช่วยเหลือทางความคิดเห็น ช่วยแนะนำแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อปริญญานิพนธ์เล่มนี้ จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VIII
สารบัญตาราง	XIV
บทที่ 1_บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดวิจัย	2
1.4 วิธีการใช้ในโครงการ	2
1.5 แผนการดำเนินงาน	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส (Three phase induction motor)	5
2.1.1 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	5
2.1.2 ความเร็วของมอเตอร์และความเร็วสลลิป	6
2.1.3 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ตัวสเตเตอร์	6
2.1.4 กำลังไฟฟ้า	7
2.2 การติดตามและเฝ้าระวังมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	8
2.3 การใช้โปรแกรมเพื่อจำลองมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยใช้โปรแกรม Matlab	11
2.3.1 พื้นฐานการใช้ Matlab Simulink เบื้องต้น	11
2.3.2 ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร Simulink	11
2.4 ระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence)	12

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.5 ตรรกศาสตร์กำกวม (Fuzzy Logic)	14
2.5.1 ฟัชซีเซต	14
2.5.2 การดำเนินการทางฟัชซีเซต	17
2.5.3 ตัวแปรภาษา (Linguistic Variable)	18
2.5.4 กฎฟัชซี (Fuzzy Rules)	20
2.5.5 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัชซีลอจิก	22
2.5.6 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัชซีลอจิก	23
2.6 ระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (Augmented Reality)	25
2.6.1 บทบาทของระบบสนับสนุนความจริงเสมือน	26
2.6.2 องค์ประกอบของเทคโนโลยีสนับสนุนความจริงเสมือน	28
2.7 โปรแกรมยูนิตี้ทรีดี (Unity 3D)	28
2.8 ไลบรารีวูโฟเรีย เอสดีเค (Vuforia SDK)	29
2.9 โปรแกรมวิชวล สตูดิโอ (Visual Studio)	30
2.10 ภาษาซีชาร์ป (C#)	30
2.11 แพลตฟอร์มไฟร์เบส (Firebase)	31
2.12 อาร์ดูโน้ (Arduino)	32
2.13 บอร์ดประมวลผล NodeMCU Version 3 (ESP8266-12E)	35
2.14 โมดูล PZEM-004T	36
2.15 เซ็นเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิ LM35	38
บทที่ 3_การออกแบบและพัฒนา	39
3.1 การออกแบบระบบการเฝ้าระวังและประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	
3 เฟส	39
3.2 หลักการออกแบบฮาร์ดแวร์	40
3.2.1 วงจรโมดูล PZEM-004T เชื่อมกับ Arduino	40

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2.2 วงจรเซ็นเซอร์ LM35 เชื่อมกับ Arduino	42
3.2.3 วงจร Arduino เชื่อมกับ NodeMCU	43
3.3 หลักการออกแบบซอฟต์แวร์	45
3.3.1 แนวการพัฒนา	46
3.3.2 เครื่องมือที่ใช้พัฒนา	46
3.3.3 รายละเอียดเชิงเทคนิค	47
3.3.4 โครงสร้างของซอฟต์แวร์	48
3.3.5 แผนผังการทำงานของระบบ	55
3.3.6 การเขียนคำสั่งโปรแกรม Arduino IDE	59
3.4 การออกแบบการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ในกรณีต่างๆ	63
3.4.1 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ (Under Voltage)	63
3.4.2 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสสูงกว่าปกติ (Over Voltage)	63
3.4.3 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสไม่สมดุล (Unbalance Voltage)	64
3.4.4 กรณีโหลดเกิน (Overload)	64
3.4.5 กรณีอุณหภูมิเกิน (Over Temperature)	65
3.4.6 แผนผังการจำลองการทดสอบสถานะผิดปกติกรณีต่างๆ	65
3.5 อุปกรณ์การทดลอง	66
3.6 วิธีการทดลอง	67
บทที่ 4 ผลการทดลอง	68
4.1 กรณีแรงดันไฟฟ้าปกติ 3 เฟสสมดุล (Balance Voltage)	68
4.2 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ (Under Voltage)	71
4.3 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสสูงกว่าปกติ (Over Voltage)	74
4.4 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสไม่สมดุล (Unbalance Voltage)	77
4.5 กรณีโหลดเกิน (Overload)	80

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.6 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ (Under Voltage) และโหลดเกิน (Overload)	89
4.7 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสสมดุลและอุณหภูมิเกิน (Over Temperature)	98
บทที่ 5_สรุปผลการทดลอง	100
5.1 บทสรุปของโครงการ	100
5.2 ปัญหาอุปสรรคและแนวทางแก้ไข	101
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อ	102
เอกสารอ้างอิง	103
ภาคผนวก	105
ภาคผนวก ก บทความทางวิชาการ	106
ภาคผนวก ข ข้อมูลอุปกรณ์	113
ประวัติผู้เขียน	123

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	5
2.2 วงจรสมมูลที่สเตเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส	7
2.3 การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของเซตทวินัยและเซตแบบฟuzzy	15
2.4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตฟuzzyแบบวิยุด A	16
2.5 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตฟuzzyแบบต่อเนื่อง A	16
2.6 ยูเนียนของฟuzzyเซต A และ B	17
2.7 อินเตอร์เซกชันของฟuzzy A และ B	18
2.8 คอมพลิเมนต์ของฟuzzyเซต A	18
2.9 ตัวอย่างตัวแปรภาษา	19
2.10 ฟังก์ชันเกาส์เซียน	20
2.11 ฟังก์ชันระฆังคว่ำ	20
2.12 ตัวอย่างปริภูมิรูปแบบการจัดกลุ่มด้วยกฎฟuzzy	21
2.13 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟuzzy	22
2.14 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟuzzyลอจิก	23
2.15 ขั้นตอนที่ 1 ของการประมวลผลแบบฟuzzyลอจิก	23
2.16 ขั้นตอนที่ 2 ของการประมวลผลแบบฟuzzyลอจิก	24
2.17 ขั้นตอนที่ 3 ของการประมวลผลแบบฟuzzyลอจิก	24
2.18 ขั้นตอนที่ 4 ของการประมวลผลแบบฟuzzyลอจิก	25
2.19 การใช้ระบบสนับสนุนความจริงเสมือน	26
2.20 การใช้ระบบสนับสนุนความจริงเสมือนกับเกม	26
2.21 การใช้ระบบสนับสนุนความจริงเสมือนกับการออกแบบบ้าน	27
2.22 โปรแกรม Unity 3D	28
2.23 หน้าต่างการทำงานของโปรแกรม Unity 3D	29
2.24 Vuforia SDK	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.25 โปรแกรม Visual Studio	26
2.26 โปรแกรม C#	26
2.27 แพลตฟอร์มไฟร์เบส (Firebase)	31
2.28 Arduino UNO R3	26
2.29 หน้าต่างการทำงานของโปรแกรม Arduino IDE	26
2.30 ส่วนประกอบแต่ละพอร์ดของ Arduino	27
2.31 บอร์ดประมวลผล NodeMCU Version 3 (ESP-8266-12E)	26
2.32 Pin Difinition ของ NodeMCU	26
2.33 โมดูลสำเร็จรูป PZEM-004T	36
2.34 การต่อวงจรของโมดูล PZEM-004T	26
2.35 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ LM35	26
3.1 ภาพรวมของระบบ	27
3.2 วงจร PZEM-004T เชื่อมกับ Arduino	42
3.3 วงจร LM35 เชื่อมกับ Arduino	43
3.4 วงจร Arduino เชื่อมกับ NodeMCU	44
3.5 วงจรรวมทั้งหมด	44
3.6 (ก) ใช้เทคโนโลยีสนับสนุนความจริงเสมือน AR	45
3.6 (ข) ใช้ Manual Estimating	45
3.7 รายละเอียดหน้าเมนู	48
3.8 รายละเอียดหน้า AR Camera	49
3.9 รายละเอียดหน้า Warning	52
3.10 รายละเอียดหน้าต่าง Manual Estimating (ส่วนกรอกข้อมูล)	52
3.11 รายละเอียดหน้าต่าง Manual Estimating (ส่วนประเมินผล)	53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 รายละเอียดหน้าต่าง How to	54
3.13 รายละเอียดหน้าต่าง Credit	54
3.14 แผนผังการรับข้อมูลจาก Data base	55
3.15 แผนผังการแจ้งเตือนแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ	56
3.16 แผนผังการแจ้งเตือนแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ	57
3.17 แผนผังการแจ้งเตือนกระแสไฟฟ้าสูงกว่าปกติ	58
3.18 แผนผังการแจ้งเตือนกระแสไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ	59
3.19 แผนผังการทำงานของ Arduino	60
3.20 แผนผังการทำงานของ NodeMCU	61
3.21 Nameplate ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส	63
3.22 แผนผังการจำลองสถานะผิดปกติของมอเตอร์กรณีต่างๆ	65
3.23 แผนผังการจำลองสถานะผิดปกติของมอเตอร์กรณีต่างๆ (ต่อ)	65
3.24 อุปกรณ์การทดลอง	66
3.25 QR Code	67
3.26 การใช้งานแอปพลิเคชัน	67
4.1 หน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ของแอปพลิเคชัน AR กรณีแรงดันไฟฟ้าปกติ 3 เฟสสมมูล	69
4.2 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส a กรณีแรงดันไฟฟ้าปกติ 3 เฟสสมมูล	69
4.3 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส b กรณีแรงดันไฟฟ้าปกติ 3 เฟสสมมูล	70
4.4 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส c กรณีแรงดันไฟฟ้าปกติ 3 เฟสสมมูล	70
4.5 หน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ของแอปพลิเคชัน AR กรณีแรงดันไฟฟ้าปกติ 3 เฟสต่ำกว่าปกติ	72
4.6 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส a กรณีแรงดันไฟฟ้าปกติ 3 เฟสต่ำกว่าปกติ	72
4.7 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส b กรณีแรงดันไฟฟ้าปกติ 3 เฟสต่ำกว่าปกติ	73
4.8 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส c กรณีแรงดันไฟฟ้าปกติ 3 เฟสต่ำกว่าปกติ	73

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 หน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ของแอปพลิเคชัน AR กรณีแรงดันไฟฟ้าปกติ 3 เฟสสูงกว่าปกติ	75
4.10 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส a กรณีแรงดันไฟฟ้าปกติ 3 เฟสสูงกว่าปกติ	75
4.11 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส b กรณีแรงดันไฟฟ้าปกติ 3 เฟสสูงกว่าปกติ	76
4.12 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส c กรณีแรงดันไฟฟ้าปกติ 3 เฟสสูงกว่าปกติ	76
4.13 หน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ของแอปพลิเคชัน AR กรณีแรงดันไฟฟ้าปกติ 3 เฟสไม่สมดุล	78
4.14 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส a กรณีแรงดันไฟฟ้าปกติ 3 เฟสไม่สมดุล	78
4.15 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส b กรณีแรงดันไฟฟ้าปกติ 3 เฟสไม่สมดุล	79
4.16 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส c กรณีแรงดันไฟฟ้าปกติ 3 เฟสไม่สมดุล	79
4.17 หน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ของแอปพลิเคชัน AR กรณีโหลด 0 %	81
4.18 หน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ของแอปพลิเคชัน AR กรณีโหลด 50 %	81
4.19 หน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ของแอปพลิเคชัน AR กรณีโหลด 1000 %	82
4.20 หน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ของแอปพลิเคชัน AR กรณีโหลดมากกว่า 100 %	82
4.21 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส a กรณีโหลด 0 %	83
4.22 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส b กรณีโหลด 0 %	83
4.23 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส c กรณีโหลด 0 %	84
4.24 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส a กรณีโหลด 50 %	84
4.25 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส b กรณีโหลด 50 %	85
4.26 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส c กรณีโหลด 50 %	85
4.27 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส a กรณีโหลด 100 %	86
4.28 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส b กรณีโหลด 100 %	86
4.29 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส c กรณีโหลด 100 %	87
4.30 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส a กรณีโหลดมากกว่า 100 %	87
4.31 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส b กรณีโหลดมากกว่า 100 %	88

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.32 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส c กรณีโหลดมากกว่า 100 %	88
4.33 หน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ของแอปพลิเคชัน AR กรณีแรงดันต่ำไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ และโหลด 0 %	90
4.34 หน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ของแอปพลิเคชัน AR กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ และโหลด 50 %	90
4.35 หน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ของแอปพลิเคชัน AR กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ และโหลด 1000 %	91
4.36 หน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ของแอปพลิเคชัน AR กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ และโหลดมากกว่า 100 %	91
4.37 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส a กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติและโหลด 0 %	92
4.38 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส b กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติและโหลด 0 %	92
4.39 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส c กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติและโหลด 0 %	93
4.40 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส a กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติและโหลด 50 %	93
4.41 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส b กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติและโหลด 50 %	94
4.42 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส c กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติและโหลด 50 %	94
4.43 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส a กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติและโหลด 100 %	95
4.44 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส b กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติและโหลด 100 %	95
4.45 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส c กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติและโหลด 100 %	96
4.46 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส a กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ และโหลดมากกว่า 100 %	96
4.47 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส b กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ และโหลดมากกว่า 100 %	97

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.48 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส c กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ และโหลดมากกว่า 100 %	97
4.49 หน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ของแอปพลิเคชัน AR กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสสมดุล และอุณหภูมิเกิน	99



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินโครงการ เดือนสิงหาคม 2561 ถึง เดือนธันวาคม 2561	3
1.2 แผนการดำเนินโครงการ เดือนมกราคม 2562 ถึง เดือนเมษายน 2562	4
2.1 ระดับแรงดันใช้งานของมอเตอร์เหนี่ยวนำตามมาตรฐาน IEC 60034-1	9
2.2 ระดับฉนวนของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ความร้อนสูงสุด	10
2.3 ส่วนประกอบแต่ละพอร์ตและหน้าที่ของ Arduino UNO R3	34
3.1 วงจร PZEM-004T เชื่อมกับ Arduino เฟส a	40
3.2 วงจร PZEM-004T เชื่อมกับ Arduino เฟส b	41
3.3 วงจร PZEM-004T เชื่อมกับ Arduino เฟส c	41
3.4 วงจร LM35 เชื่อมกับ Arduino	42
3.5 วงจร Arduino เชื่อมกับ NodeMCU	43
3.6 เงื่อนไขเมื่อเกิดกรณีผิดปกติต่าง	62
3.7 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ (Under Voltage)	63
3.8 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสสูงกว่าปกติ (Over Voltage)	64
3.9 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสไม่สมดุล (Unbalance Voltage)	64
3.10 กรณีโหลดเกิน (Overload)	64
4.1 ผลการทดลองกรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสสมดุล	68
4.2 ผลการทดลองกรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ (Under Voltage)	71
4.3 ผลการทดลองกรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสสูงกว่าปกติ (Over Voltage)	74
4.4 ผลการทดลองกรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสไม่สมดุล (Unbalance Voltage)	77
4.5 ผลการทดลองกรณีโหลดเกิน (Overload)	80
4.6 ผลการทดลองกรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ (Under Voltage) และโหลดเกิน (Overload)	89
4.7 ผลการทดลองกรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสสมดุลและอุณหภูมิเกิน (Over Temperature)	98

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นในโรงงานอุตสาหกรรม ที่อยู่อาศัย แม้กระทั่งเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไปในชีวิตประจำวัน เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น มีความแข็งแรง โครงสร้างไม่ซับซ้อนง่ายต่อการบำรุงรักษา ทนทานสามารถทำงานได้ในหลากหลายสภาพแวดล้อม อีกทั้งยังสามารถควบคุมความเร็วรอบได้ ซึ่งในการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจำเป็นต้องมีการติดตามสภาวะการทำงานของมอเตอร์นั้น เพื่อเป็นการเฝ้าระวังและป้องกันปัญหาที่อาจส่งผลกระทบต่อมอเตอร์หรือส่งกระทบต่อผู้ใช้งาน เช่น ถ้าหากมอเตอร์ภายในโรงงานอุตสาหกรรมเกิดความเสียหายหรือหยุดทำงานอย่างกะทันหันอาจส่งผลให้โรงงานนั้นไม่สามารถดำเนินการผลิตได้ตามที่วางแผนไว้และส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นเพิ่มมากขึ้น เป็นต้น ดังนั้นการติดตามและประเมินสภาวะของมอเตอร์จึงมีความสำคัญอย่างมาก แต่สำหรับการประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ยังจำเป็นต้องเป็นผู้ที่มีความรู้และความเชี่ยวชาญด้านมอเตอร์โดยตรง เพราะจำเป็นต้องใช้ประสบการณ์เกี่ยวกับการทำงานของมอเตอร์เพื่อมาประเมินสภาวะมอเตอร์จากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่วัดได้ ว่ามอเตอร์นั้นอยู่ในสภาวะพร้อมใช้งานหรือสภาวะควรปรับปรุง จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้มีการศึกษาค้นคว้าในการนำเทคโนโลยีใหม่ที่กำลังเป็นที่นิยมและถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน มาประยุกต์ใช้กับปัญหาการประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ที่กล่าวมาข้างต้น โดยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) หรือ AI ถูกนำมาใช้ในการช่วยตัดสินใจและแก้ปัญหาในด้านต่างๆ โดย AI มีคุณสมบัติคือสามารถคิดและตัดสินใจเองได้ ซึ่งหากมีการนำเทคโนโลยี AI มาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (Augmented Reality) หรือ AR ระบบ AR จะทำหน้าที่ในการแสดงผลสถานะการทำงานของมอเตอร์ที่กำลังทำงานแบบออนไลน์ และแสดงผลสภาวะการทำงานของมอเตอร์ที่ AI ได้ทำการวิเคราะห์ผ่านทางหน้าจอโทรศัพท์มือถือโดยผ่านแอปพลิเคชัน ซึ่งทำให้ผู้ใช้งานเกิดความสะดวก ง่ายต่อความเข้าใจและปลอดภัยในการติดตามสภาวะการทำงานของมอเตอร์ และถ้าหากมอเตอร์เกิดความผิดปกติจะสามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างทันที

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟส
2. เพื่อให้มีความเข้าใจในการประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสโดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม Matlab&Simulink
3. เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟส
4. เพื่อศึกษาและเรียนรู้การรับส่งข้อมูลโดยใช้ Arduino
5. เพื่อศึกษาการนำปัญญาประดิษฐ์ AI (Fuzzy) มาประยุกต์ใช้กับการประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟส
6. เพื่อศึกษาการนำเสนอผลการประเมินสภาวะผ่านระบบสนับสนุนความจริงเสมือน

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดวิจัย

โครงการเล่มนี้เป็นการศึกษาและประยุกต์ใช้เพื่อเฝ้าระวังและประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส (10 kW) โดยนำระบบปัญญาประดิษฐ์มาช่วยในการตัดสินใจ และใช้แอปพลิเคชันที่มีระบบสนับสนุนความจริงเสมือนเป็นตัวช่วยในการแสดงผลลัพธ์ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงได้สะดวกและรวดเร็ว

1. ติดตามค่าตัวแปรที่วัดได้จากมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส คือ กระแส แรงดัน และอุณหภูมิ
2. นำข้อมูลมาประเมินสภาวะการทำงานด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์ AI (Fuzzy)
3. นำเสนอผลลัพธ์การประเมินสภาวะการทำงานผ่านแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือในระบบ Android โดยประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบสนับสนุนความจริงเสมือน

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

ได้ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงการในเรื่องของพารามิเตอร์ที่จะทำให้สามารถประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสได้ คือ อุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส โดยใช้โมดูลวัดค่าสำเร็จรูป ได้ศึกษาหลักการสร้างปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) หรือ AI โดยเป็นการสร้าง AI (Fuzzy) สำหรับใช้ในการจำลองระบบในโปรแกรม Matlab และนำโค้ดจากโปรแกรม Matlab มาประยุกต์ใช้ในการเขียนโปรแกรมประเมินสภาวะการทำงานของ

มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยใช้ DotFuzzy ซึ่งนำค่าพารามิเตอร์ที่เป็นอินพุตสำหรับโปรแกรมจาก firebase ที่สร้างไว้ และแสดงผลการประเมินสภาวะการทำงานผ่านแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือในระบบ Android โดยประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบสนับสนุนความจริงเสมือน

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินโครงการ เดือนสิงหาคม 2561 ถึง เดือนธันวาคม 2561

หัวข้อการดำเนินโครงการ	เดือน	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการ		←→				
2. ศึกษาทฤษฎี โครงสร้างและการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส		←→				
3. ศึกษาโครงสร้าง อุปกรณ์ และการทำงานของเครื่องมือวัดมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส			←→			
4. ศึกษาการรับส่งข้อมูล และการเขียนโปรแกรมผ่าน Arduino			←→			
5. ศึกษาและจำลองวงจรไฟฟ้ามอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ด้วยโปรแกรม Matlab&Simulink			←→			
5. ศึกษาและเรียนรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ Artificial Intelligence (Fuzzy)			←→			
6. ศึกษาการนำ AI (Fuzzy) มาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาต่างๆ			←→			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 แผนการดำเนินโครงการ เดือนมกราคม 2562 ถึง เดือนเมษายน 2562

หัวข้อการดำเนินโครงการ	เดือน			
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. เขียนโปรแกรมประเมินสถานะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (Fuzzy) และใช้โค้ดจาก Fuzzy ที่ได้ ออกแบบไว้ในโปรแกรม Matlab&Simulink ร่วมกับค่าพารามิเตอร์ที่เก็บไว้ใน firebase				
2. จัดทำเครื่องมือวัด พร้อมทดสอบการทำงานโดยใช้จริงกับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส				
3. ทดลองใช้เครื่องมือวัด และโปรแกรมประเมินสถานะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส พร้อมสรุปผลการทดลอง				
4. นำเสนอผลงาน				

โดย  คือ ระยะเวลาที่วางแผนไว้
 คือ ระยะเวลาที่ปฏิบัติจริง

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้รับความรู้เกี่ยวกับหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส
2. สามารถใช้ Matlab&Simulink ประเมินสถานะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ได้
3. สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส เพื่อนำมาใช้ในการประเมินสถานะการทำงานของมอเตอร์ได้
4. ได้รับความรู้เกี่ยวกับการรับ-ส่งข้อมูลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino
5. สามารถนำปัญญาประดิษฐ์ (Fuzzy) มาใช้ในการประเมินสถานะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส
6. สามารถแสดงผลการประเมินสถานะการทำงานผ่านระบบสนับสนุนความจริงเสมือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส (Three phase induction motor)



รูปที่ 2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

2.1.1 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ให้กับขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นที่ขดลวดสเตเตอร์ หมุนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วซิงโครนัส (Synchronous speed : n_s) สามารถหาได้จากสมการที่ 2.1 โดยจะหมุนตัดกับตัวนำโรเตอร์ที่วางอยู่ในสล็อตที่โรเตอร์ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในตัวนำของโรเตอร์ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นที่โรเตอร์ สนามแม่เหล็กหมุนของสเตเตอร์จะผลักและดูดกับขั้วแม่เหล็กที่โรเตอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น ทำให้โรเตอร์หมุนไปตามทิศทางของสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์

$$n_s = \frac{120f}{P} \quad (2.1)$$

โดยที่ n_s คือ ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุน (Synchronous Speed) มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที หรือ rpm (revolutions per minute)

f คือ ความถี่

P คือ จำนวนขั้วแม่เหล็ก

2.1.2 ความเร็วของโรเตอร์และความเร็วสลลิป

มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอกและโรเตอร์แบบฟันขดลวด ในทางปฏิบัติความเร็วรอบของโรเตอร์จะช้ากว่าความเร็วรอบของสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์เสมอ ซึ่งความแตกต่างระหว่างความเร็วรอบของโรเตอร์กับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนหรือความเร็วซิงโครนัส (n_s) เรียกว่า ความเร็วสลลิป (Slip Speed) มีหน่วยเป็นรอบต่อนาทีและสามารถหาเปอร์เซ็นต์ของสลลิปได้จากสมการต่อไปนี้

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (2.2)$$

จากสมการที่ 2.2 ความเร็วของโรเตอร์ที่ค่าสลลิปใดๆ หาได้จากสมการ

$$n_r = (1 - s)n_s \quad (2.3)$$

โดยที่ s คือ ค่าสลลิป

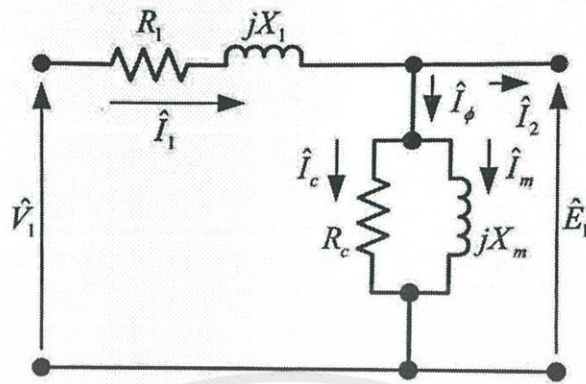
n_s คือ ความเร็วซิงโครนัส

n_r คือ ความเร็วรอบของตัวโรเตอร์

ถ้าโรเตอร์หมุนด้วยความเร็วซิงโครนัสจะไม่ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำกับขดลวดตัวนำในโรเตอร์ ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะไม่เกิดขึ้นที่โรเตอร์และจะไม่เกิดความถี่ขึ้นที่โรเตอร์ด้วย

2.1.3 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ตัวสเตเตอร์

จากวงจรสมมูลที่สเตเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะได้ความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สเตเตอร์ (Stator induced emf : E_1) กับกระแสที่สเตเตอร์จากแรงดันไฟฟ้า (V_1) ที่ป้อนเข้าขดลวดอาร์มาเจอร์ได้จากสมการ 2.4 [2]



รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลที่สเตเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส

$$\hat{V}_1 = \hat{E}_1 + \hat{I}_1(R_1 + jX_1) \quad (2.4)$$

โดยที่ \hat{V}_1 คือ แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าขดลวดอาร์มาเจอร์

E_1 คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สเตเตอร์

I_1 คือ กระแสที่สเตเตอร์

R_1 คือ Stator resistance

X_1 คือ Stator leakage reactance

2.1.4 กำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าอินพุต (P_i) ที่จ่ายให้กับขดลวดทั้ง 3 เฟสของสเตเตอร์จะมีกำลังที่สูญเสีย 2 ส่วน ได้แก่ การสูญเสียที่ขดลวดสเตเตอร์ (P_{CS}) และการสูญเสียในแกนเหล็ก (P_{core}) โดยส่วนกำลังที่เหลือคือกำลังเอาต์พุตของสเตเตอร์ซึ่งเท่ากับกำลังอินพุตของโรเตอร์ (P_2) และพลังงานที่ส่งผ่านไปยังโรเตอร์จะเกิดการสูญเสียจากขดลวดโรเตอร์ (P_{CR}) ดังนั้นกำลังกลที่ออกจากโรเตอร์ (P_m) เป็นผลต่างของ $P_2 - P_{CR}$ และกำลังกลนี้จะเอาชนะการสูญเสียจากความฝืดและแรงต้านลม (P_{loss}) สุดท้ายจะได้กำลังกลออกมา (P_{out}) ที่สามารถส่งให้กับโหลดของมอเตอร์ได้โดยค่าพารามิเตอร์ที่กล่าวมาข้างต้นสามารถหาได้จาก

$$P_i = 3V_1 I_1 \cos \theta_1 \quad (2.4)$$

$$P_2 = P_i - (P_{CS} + P_{core}) \quad (2.5)$$

$$P_m = P_2 - P_{CR} \quad (2.6)$$

$$P_{out} = P_m - P_{loss} \quad (2.7)$$

โดยที่ P_i คือ กำลังไฟฟ้าขาเข้า

P_2 คือ กำลังเอาต์พุตของสเตเตอร์

P_{CS} คือ กำลังสูญเสียที่ขดลวดสเตเตอร์

P_{CR} คือ กำลังสูญเสียที่ขดลวดโรเตอร์

P_m คือ กำลังกลที่ออกจากโรเตอร์

P_{core} คือ กำลังสูญเสียในแกนเหล็ก

P_{loss} คือ กำลังสูญเสียจากความฝืดและแรงต้านลม

P_{out} คือ กำลังกลที่สามารถส่งให้โหลดของมอเตอร์

2.2 การติดตามและเฝ้าระวังมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

ปัจจุบันมีการนำมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งกล่าวได้ว่าทุกโรงงานอุตสาหกรรมนั้นต้องมีมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำอยู่ แม้ว่ามอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะถูกนิยมนำมาใช้อย่างมากก็ตาม แต่มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำก็ยังสามารถเกิดข้อผิดพลาดและอาจเกิดความเสียหาย ซึ่งควรนำมาติดตามและเฝ้าระวังความผิดปกติที่จะเกิดขึ้น เพื่อให้ใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง และสามารถป้องกันและแก้ไขปัญหาได้ทันที โดยจะมีการติดตามผลและเฝ้าระวังในจุดที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดปัญหา[6] ได้แก่ แรงดัน (Voltage Monitoring) กระแส (Current Monitoring) และอุณหภูมิ (Temperature Monitoring) [7]

1. การติดตามและเฝ้าระวังแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า (Voltage Monitoring)

สาเหตุหนึ่งที่ทำให้มอเตอร์เสียหายอาจเกิดมาจากแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าผิดปกติ ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ ความผิดปกตินี้ประกอบด้วย

1.1 แรงดันเกิน (Over-Voltage) การจ่ายแรงดันที่สูงเกินไปให้มอเตอร์เป็นการทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กเข้าสู่ภาวะอิ่มตัว เป็นเหตุให้มอเตอร์ต้องดึงกระแสไฟฟ้ามากขึ้น ผลที่ตามมาคือเกิดความร้อนและอายุการใช้งานก็จะสั้นลงตามไปด้วย ซึ่งมาตรฐาน IEC 60034-1 ระบุให้ใช้ไม่สูงกว่า 105% ของพิกัด

1.2 แรงดันต่ำ (Under-Voltage) การจ่ายแรงดันที่ต่ำเกินไป กระแสไฟฟ้าจะถูกป้อนมากขึ้น เพื่อให้กำลังไฟฟ้าจ่ายคงเดิม ทำให้เกิดความร้อนสูงที่ขดลวดในมอเตอร์ ส่งผลให้ความเป็นฉนวนลดลงและอายุการใช้งานสั้นลงด้วย หรืออีกสาเหตุอาจเกิดจากระยะห่างระหว่างมอเตอร์กับแหล่งจ่ายไฟฟ้า ซึ่งมาตรฐาน IEC 60034-1 ระบุให้ใช้ไม่ต่ำกว่า 95% ของพิกัด

1.3 แรงดันไม่สมดุล (Unbalance-Voltage) ความไม่สมดุลของระดับแรงดันไฟฟ้า ไม่เพียงแต่จะส่งผลต่อการใช้กระแสไฟฟ้าในขดลวดโรเตอร์และสเตเตอร์ไม่เท่ากันแล้ว แต่ยังทำให้เปอร์เซ็นต์กระแสไฟฟ้าที่ไม่สมดุลที่เกิดขึ้นอาจจะมีค่าสูง 6 ถึง 10 เท่าเมื่อเทียบกับเปอร์เซ็นต์ของแรงดันไฟฟ้าที่ไม่สมดุล และผลของการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า จะทำให้เกิดความร้อนของฉนวนขึ้นและทำให้มีผลต่ออายุการใช้งานของมอเตอร์ไฟฟ้าโดยตรง และการเกิดแรงดันไม่สมดุลก็ทำให้แรงบิดของมอเตอร์ไฟฟาลดลงด้วย ไม่เพียงเท่านั้นความเร็วขณะมีโหลดเต็มพิกัดก็จะมีค่าลดลงด้วย อาจสร้างความเสียหายต่อมอเตอร์ตามมา โดยแรงดันเฉลี่ยแต่ละเฟสหาได้จากสมการ 2.8

$$V_{avg} = \frac{V_{ab} + V_{bc} + V_{ca}}{3} \quad (2.8)$$

จากนั้นหาความต่างที่มากที่สุดระหว่างแรงดันเฉลี่ยแต่ละเฟสที่คำนวณกับแรงดันแต่ละเฟสและนำไปคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันไม่สมดุลจากสมการ 2.10

$$\%VB = (\text{ความต่างของแรงดันที่มากที่สุด} \div \text{แรงดันเฉลี่ยแต่ละเฟส}) \times 100\% \quad (2.9)$$

โดยที่ %VB คือ ค่าแรงดันไม่สมดุล

ตารางที่ 2.1 ระดับแรงดันใช้งานของมอเตอร์เหนี่ยวนำตามมาตรฐาน IEC 60034-1

แรงดันไฟฟ้าที่พิกัด (Rated Voltage)	ระดับแรงดันต่ำสุด (Minimum Voltage)		ระดับแรงดันสูงสุด (Maximum Voltage)		ความถี่ไฟฟ้าที่พิกัด (Rated Frequency)
	95%	110%	95%	110%	
220	209	198	231	242	50
230	219	207	242	253	60
380	361	342	399	418	60
460	437	414	483	506	60

2. การติดตามและเฝ้าระวังด้านกระแสไฟฟ้า (Current Monitoring)

การขับภาระทางกลเกินกำลังเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อายุการใช้งานของมอเตอร์ลดลง เมื่อกระแสที่ไหลเกินค่าที่พิกัดจะทำให้มีความร้อนเกิดขึ้น จึงจำเป็นต้องเฝ้าระวัง โดยมาตรฐาน NEMA MG-1 ระบุว่าเมื่อมอเตอร์ทำงานที่แรงดันพิกัด ความถี่ที่พิกัด และกำลังขาออกที่พิกัด กระแสไฟฟ้าจะไม่เปลี่ยนแปลงจาก Nameplate เกิน 10% กล่าวคือกระแสขณะขับโหลดเต็มพิกัดสามารถมีค่าได้ไม่ต่ำกว่า 90% หรือไม่สูงกว่า 110% ของค่าที่ Nameplate ส่วนมาตรฐาน IEC 60034-1 ไม่ได้ระบุช่วงที่เปลี่ยนแปลงได้ของกระแสไฟฟ้าที่ Nameplate แต่ให้ค่าพิกัดที่ Nameplate เป็นค่าที่แน่นอน

3. การติดตามและเฝ้าระวังด้านอุณหภูมิ (Temperature Monitoring)

อีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มอเตอร์มีอายุการใช้งานลดลงหรือเกิดความเสียหายนั้นก็คือการใช้งานมอเตอร์ที่มีอุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน หรืออาจมาจากแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้อุณหภูมิของขดลวดอาร์มาเจอร์เพิ่มขึ้น ฉนวนของขดลวดเสื่อมสภาพลง ดังนั้นจำเป็นต้องมีการติดตามและเฝ้าระวังอุณหภูมิเพื่อป้องกันความเสียหาย ซึ่งเราจำเป็นต้องทราบว่ามอเตอร์ที่เราใช้งานอยู่มีระดับชั้นทางความร้อนหรือเรียกว่า Insulation class อยู่ในระดับใดเพื่อจะสามารถตั้งค่าป้องกันได้เหมาะสม ซึ่งค่าระดับอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ในการออกแบบเป็นไปตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ระดับฉนวนของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ความร้อนสูงสุด

Insulation Class	Maximum Temperature (°C)
O or Y	90
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180
C	220

โดยที่อุณหภูมิสูงสุดนั้นหมายถึงอุณหภูมิห้องสูงสุดรวมกับอุณหภูมิเพิ่มสูงสุดที่ยอมรับได้ และค่าเผื่อทางอุณหภูมิซึ่งคือค่าที่เผื่อไว้ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของขดลวดและอุณหภูมิ การวัดอุณหภูมิทำ

ในขณะสภาวะคงตัว (Steady State) โดยตำแหน่งที่มีอุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ที่กลางมอเตอร์สำหรับมอเตอร์แบบเปิด ส่วนมอเตอร์แบบปิดจะอยู่ที่ตำแหน่งระหว่างกึ่งกลางถึงตำแหน่งที่ได้รับลมระบายความร้อนจากพัดลมน้อยที่สุด

2.3 การใช้โปรแกรมเพื่อจำลองมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยใช้โปรแกรม Matlab

2.3.1 พื้นฐานการใช้ Matlab Simulink เบื้องต้น

โปรแกรม Simulink เป็นโปรแกรมย่อย (Tool Block) ชุดหนึ่งของโปรแกรม Matlab ที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมโดยใช้การจำลองและทดสอบ จะทำงานภายใต้หน้าต่างที่เป็นการเชื่อมต่อทางรูปภาพ (GUI) ของ Simulink เท่านั้น เมื่อเริ่มใช้งาน Simulink จะพบหน้าต่าง Library Simulink ที่ประกอบด้วย Block Diagram ที่เป็นโหมดของอุปกรณ์ต่างๆ ที่จะนำไปใช้ในการจำลองระบบ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ไม่สามารถทำงานได้เพียงตัวเดียวโดดๆ ต้องเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ตัวอื่นๆจึงจะทำงานได้ การเลือกใช้งานโหมดใดโหมดหนึ่งในหน้าต่าง Library Simulink ให้ดับเบิลคลิกไปที่โหมดนั้นแล้วจะปรากฏหน้าต่างแสดงรายละเอียดของ Block ต่างๆ บนหน้าต่าง Library Simulink ของโหมดที่เลือกไว้ออกมา

2.3.2 ตัวอย่างอุปกรณ์ใช้ในวงจร Simulink



AC Voltage Source

แหล่งจ่ายแรงดัน



Current Measurement

โพรบวัดกระแส



Voltage Measurement

โพรบวัดแรงดัน



Mux

แสดงสัญญาณหลายค่าในกราฟเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



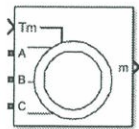
Sum

การบวก



Scope

แสดงกราฟ



Asynchronous Machine

มอเตอร์เหนี่ยวนำ



Constant

ค่าคงที่

2.4 ระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence)

ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence : AI) คือ ศาสตร์แขนงหนึ่งทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีพื้นฐานมาจากวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ชีวะวิทยา จิตวิทยา ภาษาศาสตร์ คณิตศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ เป้าหมายของปัญญาประดิษฐ์ คือ การพัฒนาระบบคอมพิวเตอร์ให้มีพฤติกรรมเลียนแบบมนุษย์รวมทั้งเลียนแบบความเป็นอัจฉริยะของมนุษย์

ลักษณะงานของปัญญาประดิษฐ์

1. Cognitive Science ลักษณะงานนี้วิจัยเพื่อศึกษาว่าสมองของมนุษย์ทำงานอย่างไร จึงมีพื้นฐานที่การประมวลผลสารสนเทศในรูปแบบของมนุษย์ ประกอบด้วยระบบต่างๆ[5] ดังนี้

- ระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert Systems) ระบบนี้จะพยายามลอกเลียนแบบความสามารถของผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์ในการแก้ปัญหาต่างๆ
- ระบบเครือข่ายนิเวรอน (Neural Network) ถูกออกแบบให้เลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ ทั้งส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์
- ระบบ Papnet เป็นระบบที่ใช้ในการแยกความแตกต่าง เช่น แยกความแตกต่างของเซลล์มนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Fuzzy Logic เป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับการใช้กฎพื้นฐานและสามารถทำงานกับข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์หรือกำกวม หรือค่าที่ไม่เที่ยงตรงหรือไม่แน่นอนได้ ซึ่งระบบจะพยายามหาคำตอบให้กับปัญหาที่ไม่มีโครงสร้าง ด้วยการพิจารณาจากข้อมูลที่มีเท่านั้น ระบบนี้ใช้วิธีการหาคำตอบได้กับมนุษย์มากกว่าระบบงานทั่วไป ซึ่งใช้เพียงประโยคเงื่อนไขธรรมดา

- Genetic Algorithm หรืออัลกอริทึมพันธุกรรม ใช้หลักการด้านพันธุกรรมของ ชาร์ล ดาร์วิน โดยหลักการสุ่มแต่ละฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ในการสร้างกระบวนการวิวัฒนาการด้วยตัวเองของระบบในการหาคำตอบที่ดียิ่งขึ้น โดยใช้แนวทางการแก้ไขปัญหามือหนึ่งกับที่สิ่งมีชีวิตปรับตัวเองให้เข้ากับสภาพแวดล้อม

- Intelligent Agents ใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญหรือเทคนิคของปัญญาประดิษฐ์อื่นๆ เพื่อพัฒนาเป็นโปรแกรมประยุกต์ให้กับผู้ใช้ปลายทาง

- ระบบการเรียนรู้ (Learning Systems) เป็นระบบที่สามารถพัฒนาพฤติกรรมของระบบเองด้วยการพัฒนาจากข้อมูลที่ระบบได้รับในระหว่างการประมวลผล

2. Robotics เป็นพื้นฐานของวิศวกรรมและสรีรศาสตร์ เป็นการพยายามสร้างหุ่นยนต์ให้มีความฉลาดและถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ แต่สามารถเคลื่อนไหว ได้เหมือนกับมนุษย์

3. Natural Interface งานด้านนี้ได้ชื่อว่าเป็นงานหลักที่สำคัญที่สุดของปัญญาประดิษฐ์ และพัฒนาบนพื้นฐานของภาษาศาสตร์ จิตวิทยา และวิทยาการคอมพิวเตอร์

- ระบบที่มีความสามารถในการเข้าใจภาษามนุษย์ (Natural Language) รวมเทคนิคของการจดจำคำพูดและเสียงของผู้ใช้งาน ทำให้มนุษย์สามารถพูดหรือสั่งงานกับคอมพิวเตอร์หรือหุ่นยนต์ได้ด้วยภาษามนุษย์

- ระบบภาพเสมือนจริง (Virtual Reality) เป็นการสร้างภาพเสมือนจริงหรือภาพจำลองของเหตุการณ์โดยระบบคอมพิวเตอร์ มีการติดตั้งตัวเซ็นเซอร์ต่างๆไว้กับอุปกรณ์ที่ใช้เป็นอินพุต/เอาต์พุต เพื่อใช้ตรวจจับความเคลื่อนไหวของผู้ใช้งาน ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้งานได้เข้าถึงโลกของภาพเสมือนจริงแบบ 3 มิติ เช่น การสร้างเกมคอมพิวเตอร์แบบ 3 มิติ

- ระบบปัญญาประดิษฐ์แบบผสมผสาน (Hybrid AI Systems) เป็นการนำเอาระบบต่างๆ หรือเทคนิคต่างๆ ของ ปัญญา ประดิษฐ์ที่กล่าวข้างต้นมาบูรณาการเข้าด้วยกันเป็นระบบเดียว ส่วนใหญ่จะเป็น

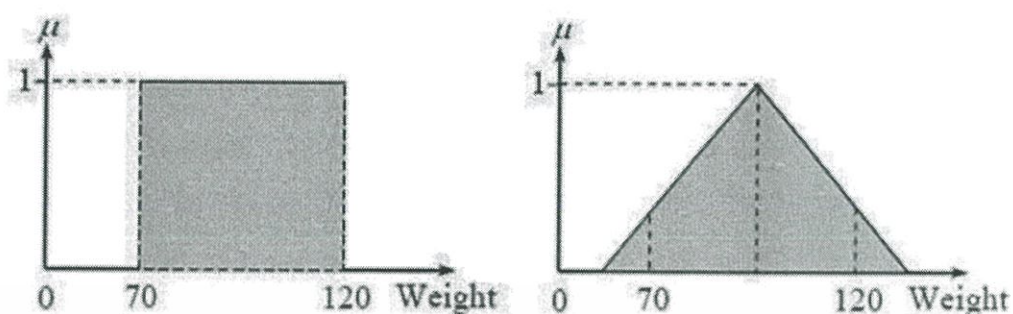
การบูรณาการระหว่างระบบผู้เชี่ยวชาญกับระบบเครือข่ายนิวรอนเข้าด้วยกัน เช่น โปรแกรมประยุกต์ ดาต้าไมนิ่ง ด้านการตลาดและการขายของบริษัท

2.5 ตรรกศาสตร์กำกวม (Fuzzy Logic)

ตรรกศาสตร์กำกวม หรือฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) เป็นศาสตร์ด้านคอมพิวเตอร์ที่ทำงานโดย อาศัยฟัซซีลอจิกที่คิดค้นโดย L. A. Zadeh ในปี ค.ศ. 1965 ฟัซซีลอจิกเป็นตรรกะที่อยู่บนพื้นฐานความเป็นจริงที่ว่า ทุกสิ่งบนโลกแห่งความเป็นจริงไม่ใช่มีเฉพาะสิ่งที่มีความแน่นอนเท่านั้น แต่มีหลายสิ่งหลายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่เที่ยงและไม่แน่นอน (Uncertain) อาจเป็นสิ่งที่คลุมเครือ (Fuzzy) ไม่ใช่ชัดเจน (Exact) เช่น เซตของอายุคน อาจแบ่งเป็น วัยทารก วัยเด็ก วัยรุ่น วัยกลางคน และ วัยชรา จะเห็นได้ว่าใน แต่ละช่วงอายุคนไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าวัยทารกกับวัยเด็กแยกจากกันแน่ชัด ช่วงใด วัยทารกอาจถูกตีความว่าเป็นอายุระหว่าง 0 ถึง 1 ปี บางคนอาจตีความว่าวัยทารกอยู่ในช่วงอายุ 0 ถึง 2 ปี สิ่งเหล่านี้เป็น ตัวอย่างของความไม่แน่นอน ซึ่งเป็นลักษณะทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นทั่วไป เซตของเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอน เช่นนี้เรียกว่า ฟัซซีเซต (Fuzzy Set) [3]

2.5.1 ฟัซซีเซต

ฟัซซีเซตเป็นเซตที่มีขอบเขตที่ราบเรียบ ทฤษฎีฟัซซีเซตจะครอบคลุมทฤษฎีเซตแบบฉบับ โดยฟัซซีเซตยอมให้มีค่าความเป็นสมาชิกของเซตระหว่าง 0 และ 1 ในโลกแห่งความเป็นจริงเซตไม่ใช่มีเฉพาะ เซตแบบฉบับเท่านั้น จะมีเซตแบบฟัซซีด้วย ฟัซซีเซตจะมีขอบเขตแบบฟัซซีไม่ใช่เปลี่ยนแปลงทันทีทันใด จากขาวเป็นดำ ตัวอย่างเช่น นิยามคำว่าคนอ้วนในเซตทวินัยอาจกำหนดเป็นคนที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 70 ถึง 120 กิโลกรัม โดยนิยามแบบฟัซซีเซตอาจกำหนดเป็นคนที่มีความอ้วนประมาณ 80 กิโลกรัม ซึ่งเป็น การให้นิยามที่ไม่แสดงถึงขอบเขตที่แน่นอน ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.3 การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของเซตทวินัยและเซตแบบฟัซซี

2.5.1.1 นิยามของฟัซซีเซต

กำหนดให้ X เป็นเซตที่ไม่ว่าง ฟัซซีเซต A สามารถแสดงลักษณะเฉพาะได้จากฟังก์ชันความเป็นสมาชิกดังสมการที่ 2.10

$$\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1] \quad (2.10)$$

เมื่อ μ_A สามารถตีความเป็นค่าของความเป็นสมาชิกภาพของตัวประกอบ x ในฟัซซีเซต A สำหรับแต่ละฟัซซีเซต (อ่านว่า “ x เป็นสมาชิกของ X ”) สามารถเขียนเป็นเซตของคู่อันดับ (Tuples) ดังสมการที่ 2.11

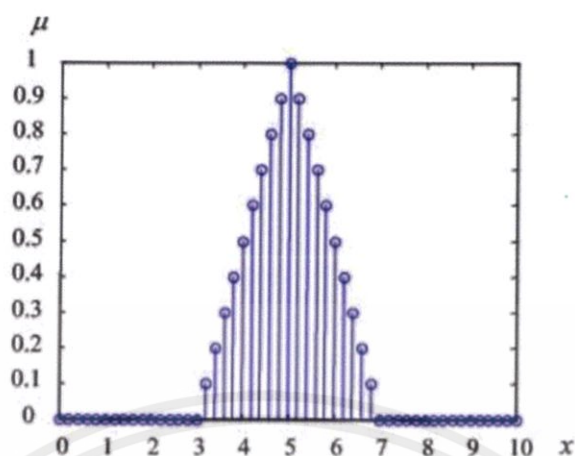
$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\} \quad (2.11)$$

เมื่อ A หมายถึงสมาชิกของฟัซซีเซต (Set Membership), μ_A หมายถึง ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) บางครั้งแทนด้วย $A(x)$ และ X หมายถึงเอกภพสัมพัทธ์ (Universe) หรือประชากร

ถ้า $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ เป็นเซตจำกัด และ A เป็นฟัซซีเซตใน X ซึ่งเป็นชนิดวิฤต (Discrete) และจำกัดสัญลักษณ์ (Notation) ของฟัซซีเซต เขียนได้เป็น

$$A = \left\{ \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_A(x_n)}{x_n} \right\} = \left\{ \sum_{i=0}^n \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \right\} \quad (2.12)$$

และสามารถแสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตฟัซซีแบบวิฤต A ได้ดังรูปที่ 2.10

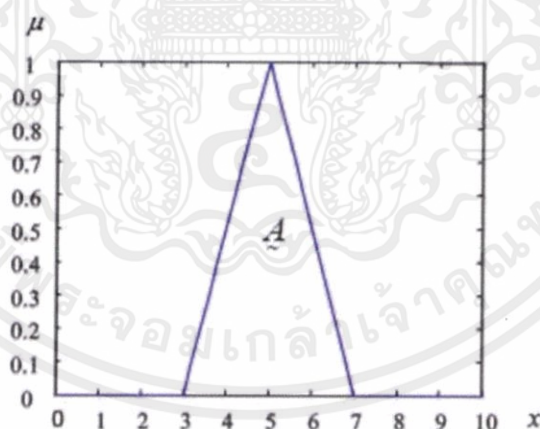


รูปที่ 2.4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตฟuzzyแบบวิฤต A

ถ้าเอกภพสัมพัทธ์ X เป็นค่าต่อเนื่อง (Continuous) สัญกรณ์ (Notation) ของฟuzzyเซต A เขียนได้เป็น

$$A = \left\{ \int \frac{\mu_A(x)}{x} \right\} \quad (2.13)$$

และสามารถแสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตฟuzzyแบบต่อเนื่อง A ได้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.5 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตฟuzzyแบบต่อเนื่อง A

ทฤษฎีฟuzzyเซตสามารถแก้ปัญหาข้อจำกัดของเซตแบบดั้งเดิมได้โดยฟuzzyเซตยอมให้มีค่าหรือดีกรีของความเป็นสมาชิก (Degree of Membership) ซึ่งแสดงด้วยค่าตัวเลขระหว่าง 0 และ 1 หรือเขียนเป็นสัญลักษณ์ $[0, 1]$ โดย

- 0 หมายถึง ไม่เป็นสมาชิกในเซต และ 1 หมายถึง เป็นสมาชิกในเซต
- ค่าระหว่าง 0 กับ 1 เป็นสมาชิกบางส่วนในเซต

การทำเช่นนี้ทำให้เกิดความราบเรียบในการเปลี่ยนจากพื้นที่นอกเซตไปอยู่ในเซตของสมาชิกต่างๆ โดยมีฟังก์ชันสมาชิก (Membership Function) เป็นฟังก์ชันจัดเทียบ (Mapping Function) วัตถุในโดเมนใด ๆ ให้เป็นค่าความเป็นสมาชิกในฟัซซีเซต

ความเป็นสมาชิกสำหรับฟัซซีเซต มีจำนวนระดับความเป็นสมาชิกเป็นอนันต์คือค่าต่อเนื่องในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 1 ซึ่งครอบคลุมการกำหนดสมาชิกแบบฉบับ และเซตแบบฉบับหรือเซตทวินัย (crisp set) จะกำหนดตามดังสมการต่อไปนี้

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (2.14)$$

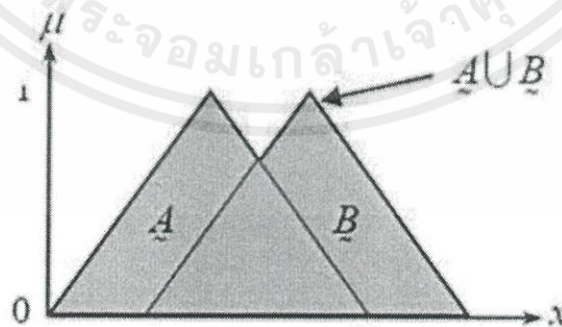
เมื่อ A เป็นเซตแบบฉบับ หรือ เซตแบบทวินัย x เป็นสมาชิกในเซต μ_A เป็นค่าความเป็นสมาชิกในเซต และ $\mu_A(x)$ เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซต A

2.5.2 การดำเนินการทางฟัซซีเซต

การดำเนินการของฟัซซีเซตมีคุณสมบัติเหมือนกับเซตโดยทั่วไป มีการดำเนินการ (operation) อยู่ 3 อย่าง คือ Union, Intersection และ Complement

1. ยูเนียน (Union) จะเป็น OR operation ในสมการ แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.12

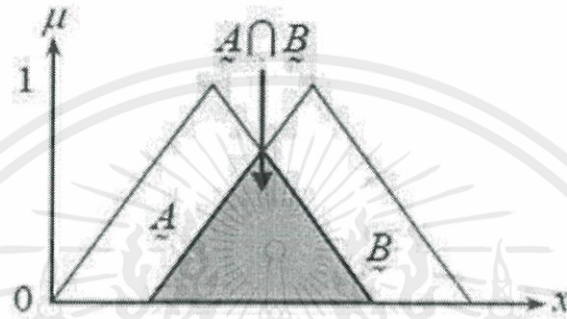
$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (2.15)$$



รูปที่ 2.6 ยูเนียนของฟัซซีเซต A และ B

2. อินเตอร์เซกชัน (Intersection) จะเป็น AND operation ในสมการแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.13

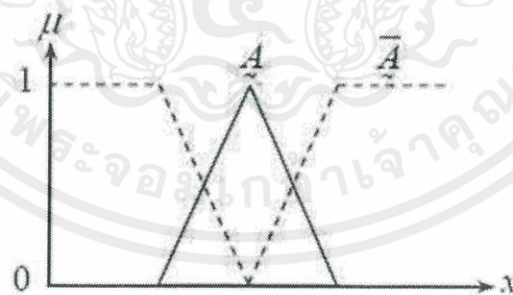
$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (2.16)$$



รูปที่ 2.7 อินเตอร์เซกชันของฟัซซี A และ B

3. คอมพลีเมนต์ (Complement) แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.14

$$\mu_A^-(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (2.17)$$



รูปที่ 2.8 คอมพลีเมนต์ของฟัซซีเซต A

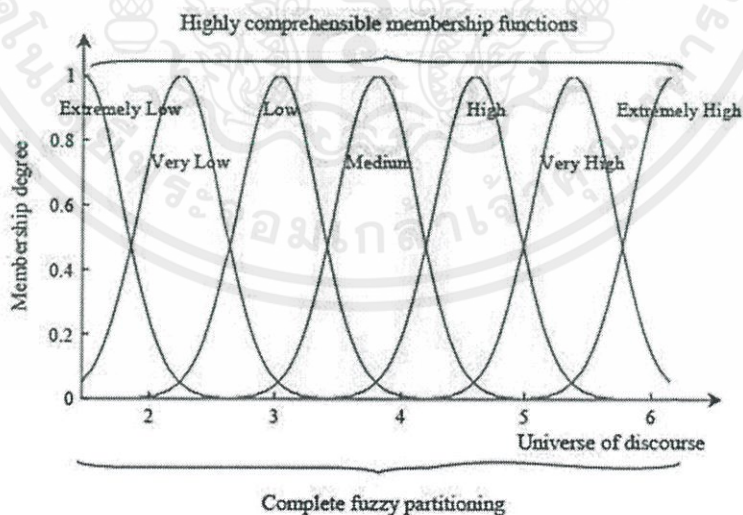
2.5.3 ตัวแปรภาษา (Linguistic Variable)

เซตแบบฟัซซีสามารถประยุกต์ใช้ในการอธิบายค่าของตัวแปรเช่นเดียวกับเซตแบบดั้งเดิม เช่น ประโยค “อุณหภูมิในห้องเย็น” คำว่า “เย็น” เป็นคำที่ใช้แสดงปริมาณอุณหภูมิในทางรูปนัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเขียนได้เป็น ปริมาณอุณหภูมิในห้องเย็น หรือ Temperature Quantity is Cold ตัวแปร Temperature Quantity เป็นตัวแปรภาษา ซึ่งเป็นแนวคิดที่สำคัญมากในตรรกะแบบฟัซซี ตัวแปรภาษาช่วยกำหนดค่าของ สิ่งที่จะอธิบายทั้งในรูปคุณภาพ โดยใช้พจน์ภาษา (linguistic term) และในรูปปริมาณ โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (membership function) ซึ่งแสดงความหมายของเซตแบบฟัซซี พจน์ภาษาใช้สำหรับการแสดงแนวคิดและองค์ความรู้ในการสื่อสารของมนุษย์ ส่วนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีประโยชน์ในการจัดการกับอินพุตที่เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข

ตัวแปรภาษาเป็นการประกอบกัน (composition) ของตัวแปรสัญลักษณ์ (symbolic variable) และตัวแปรเชิงเลข (numerical variable) ตัวอย่างตัวแปรสัญลักษณ์ เช่น “รูปร่าง เป็นทรงกระบอก” (Shape = Cylinder) คำว่า “รูปร่าง” เป็นตัวแปรที่บอกถึงรูปร่างของวัตถุ ตัวอย่างตัวแปรเชิงเลข เช่น “ความสูงเท่ากับ 4 ฟุต” (Height = 4) ตัวแปรเชิงเลขจะมีใช้กันในสาขาทางด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ คณิตศาสตร์ การแพทย์ และอื่น ๆ ส่วนตัวแปรสัญลักษณ์มีความสำคัญในวิทยาการ เกี่ยวกับปัญญาประดิษฐ์และการตัดสินใจ การใช้ตัวแปรภาษาเป็นการรวมตัวแปรเชิงเลขกับตัวแปรสัญลักษณ์เข้าด้วยกัน รูปที่ 2.15 แสดงตัวอย่างเซตตัวแปรภาษาของเซตฟัซซี ได้แก่ Extremely Low, Very Low, Low, Medium, High, Very High และ Extremely High

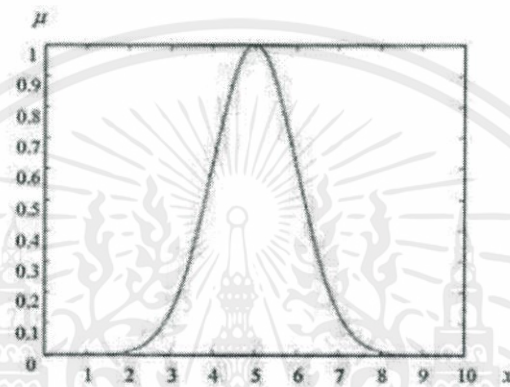


รูปที่ 2.9 ตัวอย่างตัวแปรภาษา

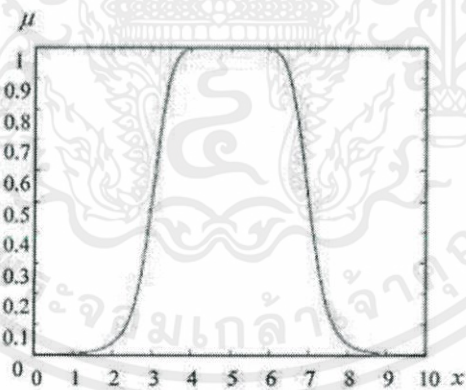
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 กฎฟัซซี (Fuzzy Rules)

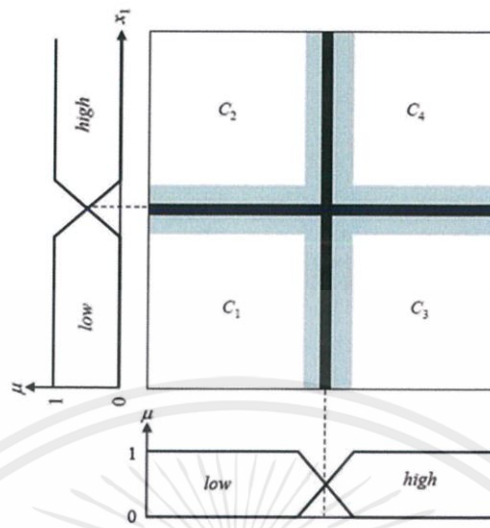
วิทยาการเกี่ยวกับฟัซซีลอจิกมีจำนวนมาก แต่ที่นิยมและการประยุกต์ใช้งานมากที่สุดเห็นจะได้แก่ กฎฟัซซีแบบถ้า-แล้ว (fuzzy if-then rule) ตัวอย่างการใช้กฎในการแยกกลุ่มดังแสดงในรูปที่ 2.16 และรูปที่ 2.17 สำหรับปริภูมิรูปแบบ (pattern space) การจัดกลุ่มด้วยกฎฟัซซีแสดงได้ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.10 ฟังก์ชันเกาส์เซียน



รูปที่ 2.11 ฟังก์ชันระฆังคว่ำ



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างปริภูมิรูปแบบการจัดกลุ่มด้วยกฎฟัซซี

จากรูปที่ 2.18 สามารถเขียนเป็นกฎในรูปประโยคภาษาได้ดังนี้

กฎข้อ 1 : ถ้า x_1 มีค่า low และ x_2 มีค่า low แล้วข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_1

กฎข้อ 2 : ถ้า x_1 มีค่า low และ x_2 มีค่า high แล้วข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_2

กฎข้อ 3 : ถ้า x_1 มีค่า high และ x_2 มีค่า low แล้วข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_3

กฎข้อ 4 : ถ้า x_1 มีค่า high และ x_2 มีค่า high แล้วข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_4

เมื่อ x_1 เป็นตัวแปรภาษาในมิติที่ 1, x_2 เป็นตัวแปรภาษาในมิติที่ 2, low และ high เป็นพจน์ภาษา (linguistic terms) ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นคู่ลำดับของวัตถุที่ต้องการจัดกลุ่ม และ C_1, C_2, C_3 และ C_4 เป็น กลุ่มข้อมูล 1, 2, 3 และ 4

สมมติให้กฎข้อ l , $L = 1, 2, \dots, L$ เป็นลำดับของกฎ ให้ข้อมูลเป็น $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$

เมื่อ n เป็นจำนวนมิติของข้อมูล ให้ $A_{1,i}$ เป็นพจน์ภาษาในกฎข้อที่ l มิติที่ i และให้กลุ่มข้อมูลเป็น C_k , $k = 1, 2, \dots, K$ รูปแบบทั่วไปของกฎฟัซซีสามารถเขียนได้ดังนี้

กฎข้อ 1 : ถ้า x_1 มีค่า $A_{1,1}$ และ x_2 มีค่า $A_{1,2}$ และ ... และ x_n มีค่า $A_{1,n}$ แล้ว ข้อมูล x เป็นกลุ่ม C_1

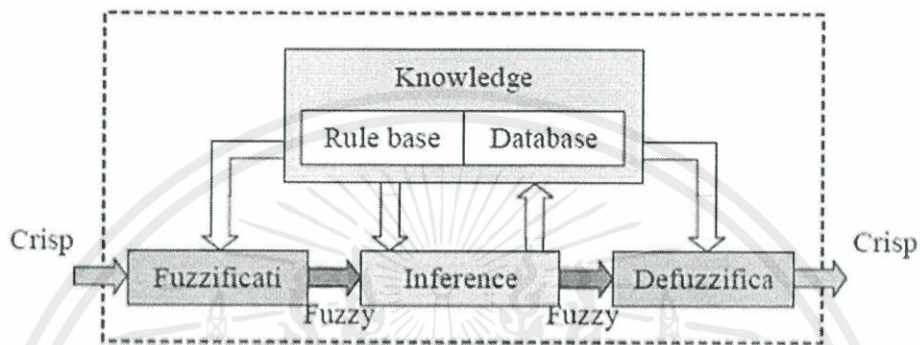
กฎข้อ 2 : ถ้า x_1 มีค่า $A_{2,1}$ และ x_2 มีค่า $A_{2,2}$ และ ... และ x_n มีค่า $A_{2,n}$ แล้ว ข้อมูล x เป็นกลุ่ม C_2

...

กฎข้อ L : ถ้า x_1 มีค่า $A_{L,1}$ และ x_2 มีค่า $A_{L,2}$ และ ... และ x_n มีค่า $A_{L,n}$ แล้ว ข้อมูล x เป็นกลุ่ม C_k

2.5.5 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วนดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.13 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี

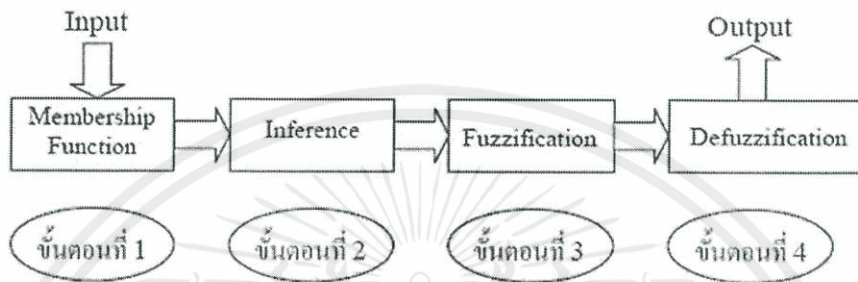
โดยส่วนต่างๆมีหน้าที่ดังนี้

1. ส่วนที่แปลงข้อมูลอินพุตทั่วไปเป็นอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี (Fuzzification) หรือใน รูปแบบเซตฟัซซีหรือเรียกว่าเป็นตัวแปรภาษา (Linguistic Variable)
2. ฐานความรู้ (Knowledge base) เป็นส่วนที่จัดเก็บรวบรวมข้อมูลในการควบคุมประกอบ 2 ส่วนคือ ฐานกฎ (Rule base) และฐานข้อมูล (Database)
 - 2.1 ฐานกฎ (Rule base) ส่วนของการกำหนดวิธีการควบคุม ซึ่งได้จากผู้เชี่ยวชาญในรูปแบบของชุดข้อมูลแบบกฎของภาษา (Linguistic rule)
 - 2.2 ฐานข้อมูล (Database) เป็นการเตรียมส่วนที่จำเป็นเพื่อที่จะใช้ในการกำหนดกฎการควบคุม และการจัดการข้อมูลของตรรกศาสตร์ฟัซซี
3. เครื่องอนุมานหรือการตีความ (Inference Engine) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ตรวจสอบ ข้อเท็จจริงและกฎ เพื่อใช้ในการตีความหาเหตุผล เหมือนกลไกสำหรับควบคุมการใช้ความรู้ในการแก้ไขปัญหา รวมทั้งการกำหนดวิธีการของการตีความเพื่อหาคำตอบ
4. ส่วนที่แปลงการเอาต์พุตให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม (Defuzzification) เป็นการแปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบฟัซซีให้เป็นค่าที่สรุปผลหรือค่าการควบคุมระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.6 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

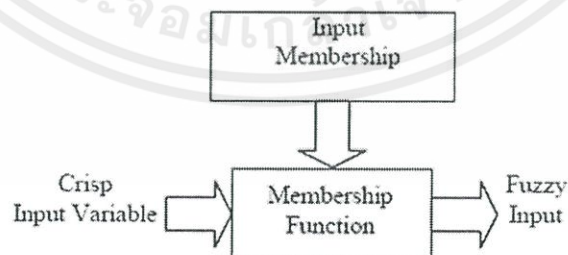
ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิกมีรูปแบบการทำงานเป็นแบ่งออกเป็น 4 ส่วนดังแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.14 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

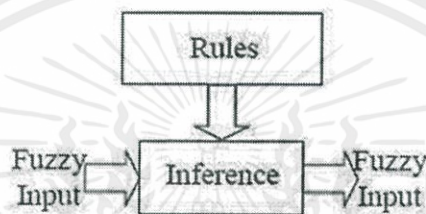
โดยแต่ละขั้นตอนมีกระบวนการดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการแปลงการอินพุตแบบทวินัยเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี โดยจะสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก โดยไม่จำเป็นต้องมีลักษณะเดียวกัน ขึ้นกับคุณลักษณะของแต่ละการอินพุตและความสำคัญต่อการเอาต์พุตที่น่าสนใจ โดยฟังก์ชันจะมีลักษณะเป็นการกำหนดภาษาสามัญ เพื่อให้เป็นอินพุตแบบฟัซซี ดังรูปที่ 2.21



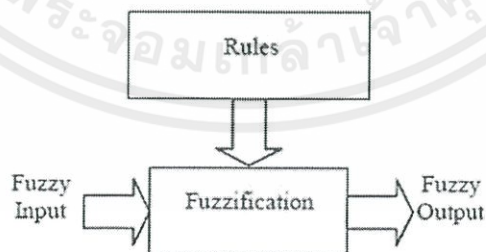
รูปที่ 2.15 ขั้นตอนที่ 1 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างการอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุตที่อาศัยหลักการของการหาเหตุและผล อาจจะมีการเก็บข้อมูล การคาดการณ์จากการตัดสินใจของมนุษย์ หรือค่าจากการทดลอง โดยเขียนเป็นกฎการควบคุมระบบ ซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปแบบ ถ้า (If) และ (And) หรือ (Or) ซึ่งเป็นภาษาสามัญ นำกฎทั้งหมดมาประมวลผลรวมกัน เพื่อการหาตัดสินใจที่เหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 2.22



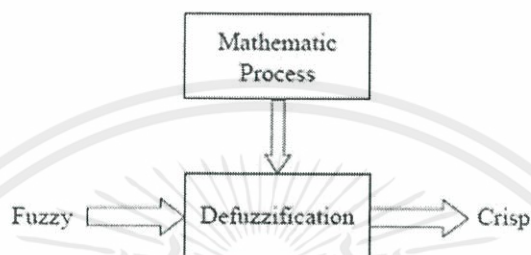
รูปที่ 2.16 ขั้นตอนที่ 2 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนที่ 3 เป็นการหาฟัซซีเอาต์พุต โดยการนำกฎการควบคุมที่สร้างขึ้น ในขั้นตอนที่ 2 มาประมวลผลกับฟัซซีอินพุต โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำค่าที่ได้ประมวลผล วิธีการทำเป็นค่าคลุมเครือ (Fuzzification) วิธีการที่นิยมใช้ในการตีความหาเหตุผลเลือกใช้ Max-Min method และ MaxDot method ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.17 ขั้นตอนที่ 3 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนสุดท้ายหรือขั้นตอนการสรุปเหตุผลฟัซซี โดยจะเปลี่ยนฟัซซี เอาต์พุตให้เป็นทวินัยเอาต์พุตตามรูปที่ 2.24 และด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ เช่น วิธีการหาจุดศูนย์ถ่วง (Central of Gravity) เพื่อนำค่าที่ได้มาใช้ในการตัดสินใจเพื่อควบคุมระบบในสถานการณ์นั้นๆ



รูปที่ 2.18 ขั้นตอนที่ 4 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

จากที่กล่าวมาแล้วนั้นฟัซซีลอจิก คือ ตรรกะกำกวมหรือตรรกะคลุมเครือ นำมาใช้เชื่อมโยงระบบการคำนวณที่แตกต่าง กันของสองระบบ เช่น การทำงานระหว่างสมองกับเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยมักถูกนำไปใช้งานกับระบบที่มี ความแปรปรวนในกระบวนการดำเนินงานสูง ความคลุมเครือของตัวแปรต่างๆ ที่อาจเกิดจากการตีความที่ต่างกัันหรือเป็นข้อมูลที่มาจากการตีความในภาษาธรรมชาติ ด้วยเหตุนี้ฟัซซีลอจิกจึงช่วยให้การ ตีความดังกล่าวชัดเจนขึ้น โดยกำหนดค่าน้ำหนักเพื่อช่วยให้ระบุความแน่นอนของสิ่งที่ต้องการได้อย่างชัดเจน

2.6 ระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (Augmented Reality)

ระบบสนับสนุนความจริงเสมือน เป็นเทคโนโลยีที่นำเทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน (Virtual Reality) ผสมเข้ากับเทคโนโลยีภาพ เพื่อทำให้เห็นเป็นภาพสามมิติในหน้าจอ โดยที่มีองค์ประกอบของสิ่งแวดล้อมจริงผสมผสานกันภาพเสมือนจริง เป็นลักษณะการผสมผสานสภาพแวดล้อมเสมือนจริง (Virtual Environments : VE) มีการโต้ตอบแบบเรียลไทม์ [4],[6]

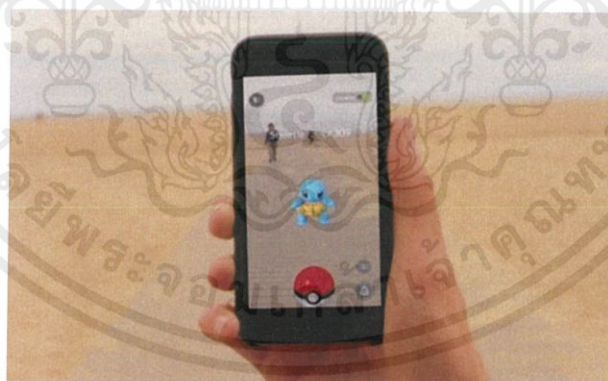


รูปที่ 2.19 การใช้ระบบสนับสนุนความจริงเสมือน

2.6.1 บทบาทของระบบสนับสนุนความจริงเสมือน

ปัจจุบันระบบสนับสนุนความจริงเสมือนได้เข้ามามีบทบาทในหลายด้าน ดังนี้

1. เกมและความบันเทิง ระบบสนับสนุนความจริงเสมือนสามารถนำมาใช้เพื่อเสริมสร้างการเล่น เกมและความบันเทิง โดยเฉพาะเกมที่มีรูปแบบเล่นตามบทบาท หรือเกมอาร์พีจี (Role-playing game : RPG) ทำให้ผู้เล่นเกิดความรู้สึกเป็นส่วนหนึ่งในเกมรูปแบบต่างๆ ได้อย่างเสมือนจริง สำหรับด้านความ บันเทิงมีการนำไปใช้กับการนำเสนอสินค้า การแสดงละคร การโตตอบขององค์กรธุรกิจ



รูปที่ 2.20 การใช้ระบบสนับสนุนความจริงเสมือนกับเกม

2. ด้านการศึกษา ระบบสนับสนุนความจริงเสมือนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคโนโลยี อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา สามารถให้ข้อมูลด้านการศึกษากับผู้เรียนได้ทันที รูปแบบการเรียนรู้แบบนี้ สามารถปรับเปลี่ยนเป็นโลกเสมือนจริงมากขึ้น ทำให้ผู้เรียนเข้าใจในสิ่งที่กำลังเรียนรู้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ด้านการรักษาความปลอดภัยและการป้องกันประเทศ เป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีกับงานด้านการทหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Office of Naval Research and Defense Advanced Research Projects Agency หรือ DARPA ประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นกลุ่มผู้บุกเบิกระบบสนับสนุนความจริงเสมือนนำมาใช้ในการฝึกให้กับทหาร ให้เกิดการเรียนรู้เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมของพื้นที่และข้อมูลต่างๆในพื้นที่รอบ สามารถนำมาให้ฝึกการเคลื่อนไหวของกองกำลังและวางแผนการเคลื่อนกำลังของทหารในฝ่ายเดียวกันและฝ่ายตรงข้ามในพื้นที่สงครามเสมือนจริงและระบบสนับสนุนความจริงเสมือนยังมีบทบาทสำคัญในการบังคับใช้กฎหมายและหน่วยงานข่าวกรอง ระบบจะช่วยให้เจ้าหน้าที่ตำรวจสามารถสร้างมุมมองที่สมบูรณ์ในรายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลพื้นที่ลาดตระเวน

4. ด้านการแพทย์ ระบบสนับสนุนความจริงเสมือนสามารถนำมาใช้ทางด้านศัลยกรรมทางระบบประสาทสัมผัสการรับรู้ ส่งผลให้การดำเนินการผ่าตัดที่มีความเสี่ยงเกิดน้อยลงและมีประสิทธิภาพมากขึ้น และระบบสนับสนุนความจริงเสมือนยังสามารถนำไปใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ทางการแพทย์อื่นๆอีกด้วย เช่น เครื่อง X-ray หรือ MRI เพื่อช่วยให้แพทย์วินิจฉัยทางการแพทย์หรือการตัดสินใจสมบูรณ์มากขึ้น

5. ด้านธุรกิจ สามารถนำเทคโนโลยีนี้มาใช้งานในด้านงานที่เกี่ยวกับอาคารและสิ่งก่อสร้างอื่นๆ เป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการโครงการก่อสร้าง ซึ่งระบบสามารถนำภาพความจริงเสมือนผสมกับภาพจริงที่ได้ทับซ้อนกันระหว่างวัตถุเสมือนจริงของงานก่อสร้างหรือวัสดุต่างๆ ที่ต้องการออกแบบและตรวจสอบความถูกต้องที่แน่นอนกับภาพจริงที่เกิดขึ้นของพื้นที่ก่อสร้าง ช่วยให้วางแผนการตัดสินใจก่อสร้างได้อย่างเหมาะสม



รูปที่ 2.21 การใช้ระบบสนับสนุนความจริงเสมือนกับการออกแบบบ้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 องค์ประกอบของเทคโนโลยีสนับสนุนความจริงเสมือน

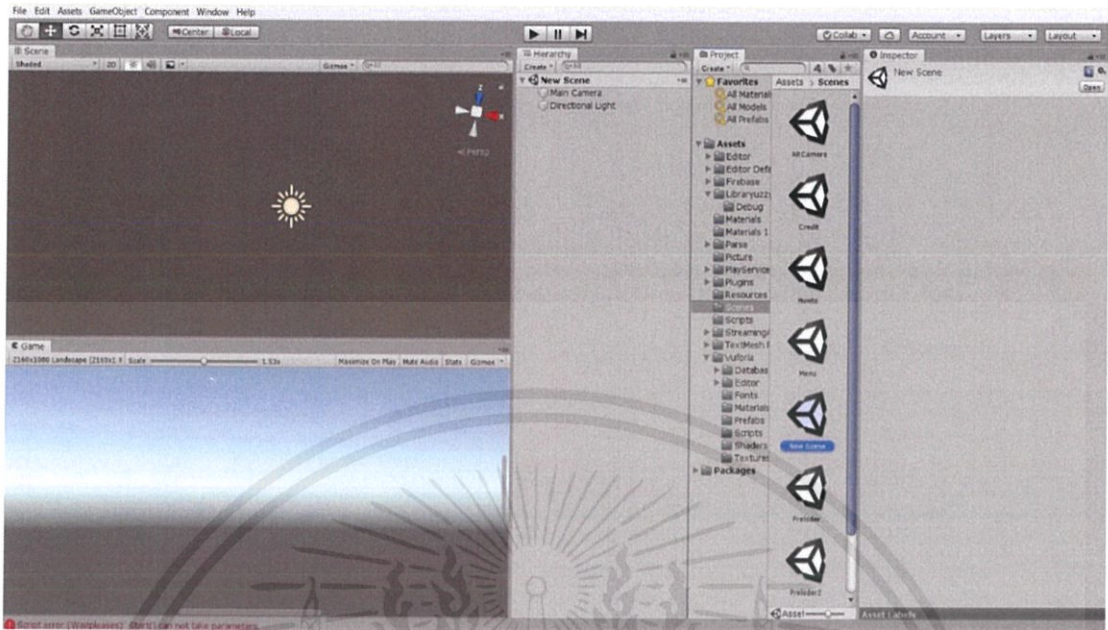
1. Marker หรือ AR Code คือ สัญลักษณ์ที่ใช้กำหนดสิ่งที่เราต้องการ
2. Eye คือ ส่วนที่ใช้จับภาพกับ Marker หรือ AR Code เช่น กล้องโทรศัพท์มือถือ
3. AR Engine คือ ส่วนที่ใช้ประมวลผลเพื่อสร้างวัตถุแบบสามมิติ เช่น ซอฟต์แวร์หรือโปรแกรม
4. Display คือ ส่วนที่ใช้แสดงผล เช่น จอภาพคอมพิวเตอร์หรือหน้าจอสื่อโทรศัพท์มือถือ

2.7 โปรแกรมยูนิตี้ทรีดี (Unity3D)



รูปที่ 2.22 โปรแกรม Unity 3D

ยูนิตี้ คือ เครื่องมือและชุดซอฟต์แวร์สำหรับการสร้างเกม ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ในช่วงแรกๆ ที่รองรับการพอร์ตเกมลงบน Windows , OS X และเว็บเท่านั้นแต่ปัจจุบันได้เพิ่มความสามารถในการพอร์ตลง IOS , Android และแพลตฟอร์มอื่น ๆ เกือบทุกแพลตฟอร์ม โปรแกรมยูนิตี้โดดเด่นกว่าชุดซอฟต์แวร์ที่ใช้สร้างเกมตัวอื่น ๆ เป็นอย่างมากเพราะนอกจากความง่ายในการใช้งาน ความสามารถในการลงพอร์ตต่าง ๆ คุณภาพเกมยังอยู่ในระดับสูงอีกด้วย ดังนั้นปัจจุบันโปรแกรมยูนิตี้จึงเป็นชุดซอฟต์แวร์สำหรับสร้างเกมอันดับหนึ่งและมีผู้ใช้งานมากที่สุด



รูปที่ 2.23 หน้าต่างการทำงานของโปรแกรม Unity 3D

2.8 โลบราสี่วูฟรีเย เอสดีเค (Vuforia SDK)



รูปที่ 2.24 Vuforia SDK

Vuforia เป็น SDK ที่ใช้สร้างโปรแกรมที่แสดงผลในรูปแบบของ AR (Augmented Reality) ซึ่งสามารถใช้สร้างได้ทั้งแบบ 2 และ 3 มิติ ใช้งานร่วมกับโปรแกรมยูนิตีทรีดี (Unity3D) ได้ ในการสร้าง AR แอปพลิเคชัน Vuforia ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญ เพราะตัวแอปพลิเคชันนั้นต้องการฐานข้อมูลหรือ Database ในการจัดเก็บ Target หรือมาร์คเกอร์ ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญในการใช้แอปพลิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 โปรแกรมวิซวล สตูดิโอ (Visual Studio)



รูปที่ 2.25 โปรแกรม Visual Studio

Visual Studio คือ โปรแกรมตัวหนึ่งที่เป็นเครื่องมือที่ช่วยพัฒนาซอฟต์แวร์และระบบต่าง ๆ แต่ยังไม่สามารถพัฒนาเป็นระบบเองได้ เนื่องจากไมโครซอฟต์ได้พัฒนาโปรแกรมและภาษาขึ้นมาควบคู่กันเพื่อให้ใช้งานได้ซึ่งกันและกัน ซึ่งนักโปรแกรมเมอร์จะนำเครื่องมือมาใช้ในการพัฒนาต่อยอดให้เกิดเป็นระบบต่าง ๆ หรือเป็นเว็บไซต์ และแอปพลิเคชันต่าง ๆ

2.10 ภาษาซีชาร์ป (C#)



รูปที่ 2.26 โปรแกรม C#

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C# เป็นภาษาเขียนโปรแกรมแบบ multi-paradigm ซึ่งมีรูปแบบภาษาที่ตายตัว และเป็นรูปแบบบังคับในการเขียน มีฟังก์ชัน และยังเป็นภาษาการเขียนโปรแกรมที่มีคุณสมบัติเป็นแบบออบเจกต์ด้วย ซึ่งมันถูกพัฒนาโดยบริษัท Microsoft โดยภาษา C# นี้ถูกสร้างขึ้นมาให้เขียนง่าย ทันสมัย โดยภาษา C# มีเครื่องมือพัฒนาเป็นจำนวนมากที่สามารถใช้ได้ในการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C# เช่น โปรแกรม Visual Studio ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยโปรแกรม Visual Studio จะช่วยอำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งาน โดยมีฟังก์ชันมากมายที่จะช่วยให้เราเขียนโปรแกรมได้ง่ายขึ้น

2.11 แพลตฟอร์มไฟร์เบส (Firebase)



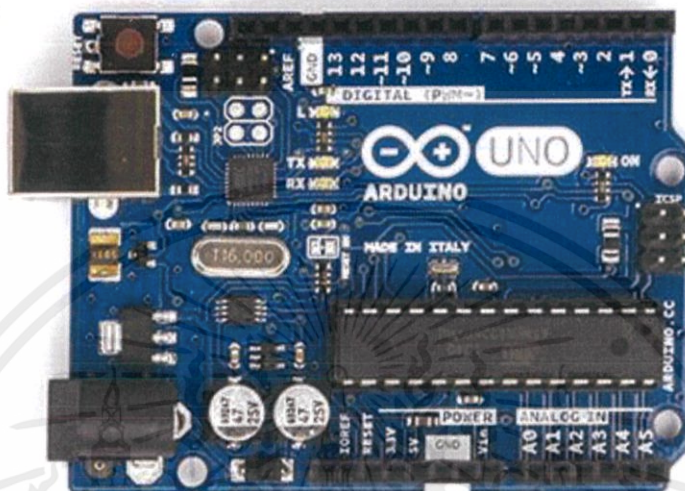
รูปที่ 2.27 แพลตฟอร์มไฟร์เบส (Firebase)

Firebase คือบริการ backend และแพลตฟอร์มที่ครบวงจรสำหรับนักพัฒนาแอปพลิเคชันและโปรแกรมประยุกต์บนเว็บแพลตฟอร์มที่มีเครื่องมือและโครงสร้างพื้นฐานที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อช่วยให้นักพัฒนาสามารถสร้างแอปพลิเคชันที่มีคุณภาพสูง โดย Firebase มีให้บริการที่หลากหลาย ตัวอย่างเช่น

Firebase Realtime Database เป็น NoSQL Cloud Database ที่เก็บข้อมูลในรูปแบบของ JSON และมีการเชื่อมต่อข้อมูลแบบ Realtime กับทุกอุปกรณ์โดยที่เชื่อมต่อแบบอัตโนมัติในมิลลิวินาที รองรับการทำงานเมื่อออฟไลน์ รวมถึงมี Security Rules ให้สามารถออกแบบเงื่อนไขการเข้าถึงข้อมูลทั้งการอ่านและเขียนได้ทั้งระบบ Android, iOS รวมถึงบนเว็บไซต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

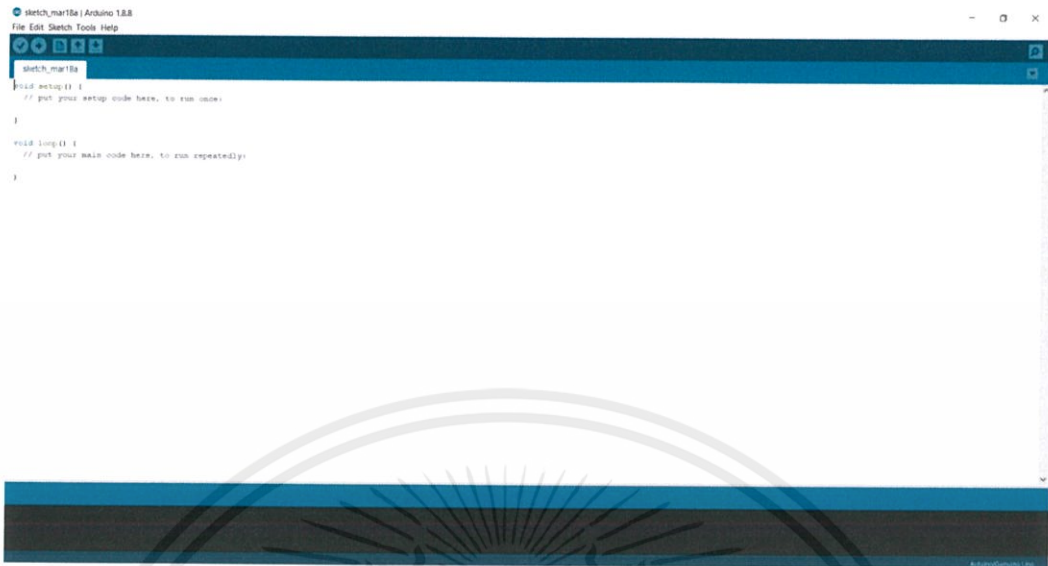
2.12 อาร์ดูโน้ (Arduino)



รูปที่ 2.28 Arduino UNO R3

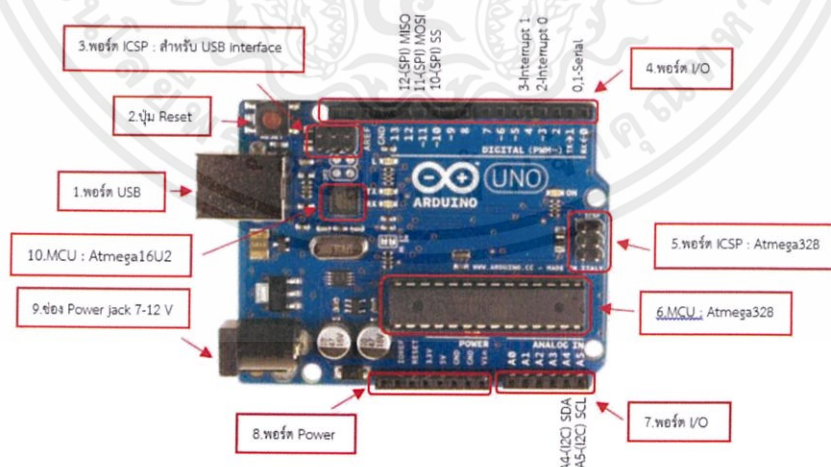
Arduino คือบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ (Open Source) ตัวบอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ใช้งานได้สะดวก สามารถนำไปพัฒนาหรือโปรแกรมได้หลากหลาย จึงเหมาะกับผู้เริ่มต้นศึกษาเป็นอย่างมาก บอร์ด Arduino จึงถือว่าเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ยอดนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลาย โดย Arduino จะมีส่วนประกอบ 2 ส่วนดังนี้

1. ส่วนฮาร์ดแวร์ นั่นก็คือตัวบอร์ดของ Arduino ซึ่งเป็นตัวบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดเล็กที่มีไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR โดยอาร์ดูโน้สามารถเชื่อมต่อผ่าน USB ได้โดยตรง มีหลากหลายรุ่นให้เลือกใช้งานให้เหมาะสม
2. ส่วนซอฟต์แวร์ อาร์ดูโน้จะใช้โปรแกรม Arduino IDE ในการเขียนโปรแกรมโดยใช้เป็นภาษา C/C++ และคอมไพล์ลงบอร์ดโดยผ่านสาย USB



รูปที่ 2.29 หน้าต่างการทำงานของโปรแกรม Arduino IDE

Arduino UNO R3 เป็นรุ่นที่มีความนิยมในการนำมาใช้งานมากที่สุดเนื่องจากมีราคาถูก ใช้งานง่ายเหมาะสำหรับผู้เริ่มใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากใช้คำสั่งพื้นฐาน สามารถความเข้าใจได้ง่าย



รูปที่ 2.30 ส่วนประกอบแต่ละพอร์ตของ Arduino

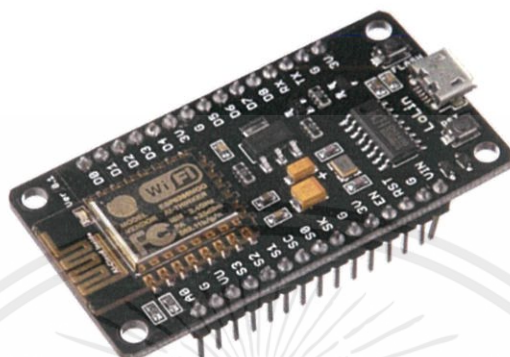
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในรูปแบบที่ แสดงส่วนประกอบแต่ละพอร์ตของบอร์ด Arduino UNO R3 ในแต่ละส่วนมีหน้าที่ซึ่ง แสดงไว้ในในตารางที่ ดังนี้

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบแต่ละพอร์ตและหน้าที่ของบอร์ด Arduino UNO R3

หมายเลข	หน้าที่
1. USB Port	ใช้สำหรับต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่ออัปโหลดโปรแกรมเข้า MCU และ จ่ายไฟให้กับบอร์ด
2. Reset Button	เป็นปุ่มรีเซ็ต ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มทำงานใหม่
3. ICSP Port	ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2
4. I/O Port	ขา 0 ถึง 13 รับสัญญาณดิจิทัลและขา 0 และ 1 มีอีกหน้าที่คือ Tx และ Rx ตามลำดับ และขาที่ 3 5 6 9 10 และ 11 เป็น PWM
5. ICSP Port	เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader ของ Atmega16U2
6. MCU	เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ของ Atmega328
7. I/O Port	เป็นขารับสัญญาณดิจิทัลและสามารถเปลี่ยนเป็นขารับสัญญาณอนาล็อกตั้งแต่ขาที่ 0-5
8. Power Port	เป็นไฟเลี้ยงบอร์ดเมื่อต้องการไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วย ขาไฟเลี้ยง +3.3V,+5V,GND,V _{in}
9. Power Jack	รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12V
10. MCU	เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ของ Atmega16U2 ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2

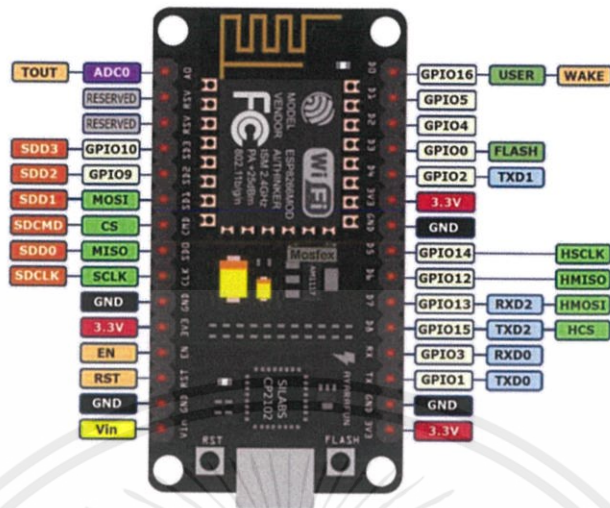
2.13 บอร์ดประมวลผล NodeMCU Version3 (ESP8266-12E)



รูปที่ 2.31 บอร์ดประมวลผล Node MCU Version3 (ESP8266-12E)

NodeMCU คือ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่คล้ายกับ Arduino ที่สามารถเชื่อมต่อกับ WiFi ได้ และยังสามารถเขียนโปรแกรมด้วย Arduino IDE ได้เช่นเดียวกับ Arduino เป็นที่นิยมเช่นเดียวกันกับ Arduino เนื่องจากมีความสะดวกในการใช้งาน เข้าใจง่ายและราคาถูก โดยภายในบอร์ดของ Node MCU ประกอบไปด้วย ESP8266 (ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เชื่อมต่อ WiFi ได้) พร้อมอุปกรณ์ต่างๆ เช่น พอร์ต micro USB สำหรับจ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ดและอัปโหลดโปรแกรมลงบอร์ด ชิพสำหรับอัปโหลดโปรแกรมผ่านสาย USB ชิพแปลงแรงดันไฟฟ้า และขาสำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ เป็นต้น

ESP8266 เป็นชื่อเรียกชิพของโมดูล ESP8266 สำหรับติดต่อสื่อสารมาตรฐาน WiFi ทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 3.0-3.6 โวลต์ ทำงานใช้กระแสเฉลี่ย 80 มิลลิแอมป์ รองรับคำสั่ง deep sleep ในการประหยัดพลังงาน ใช้กระแสน้อยกว่า 10 ไมโครแอมป์ สามารถ wake up กลับมาส่งข้อมูลใช้เวลาน้อยกว่า 2 มิลลิวินาที ภายในมี Low Power MCU 32bit มีวงจร Analog Digital Converter ทำให้สามารถอ่านค่าจากอนาล็อกได้ความละเอียด 10-bit ทำงานได้ที่อุณหภูมิ -40 ถึง 125 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.32 Pin Definition ของ Node MCU V3

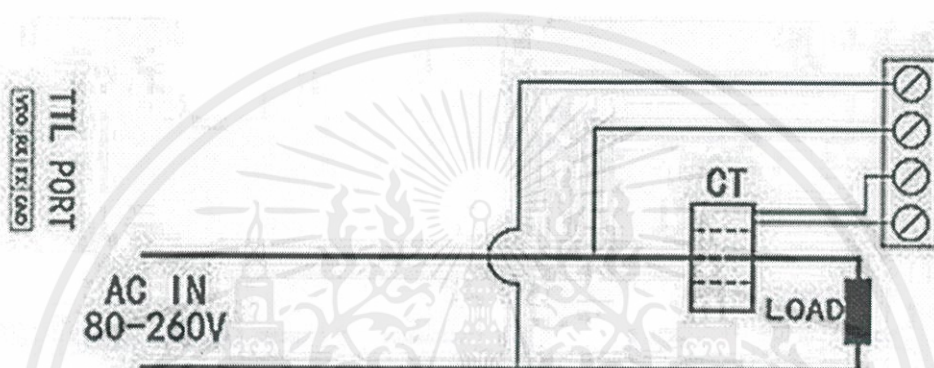
2.14 โมดูล PZEM-004T



รูปที่ 2.33 โมดูลสำเร็จรูป PZEM-004T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PZEM-004T คือ โมดูลวัดไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เป็นโมดูลเดียวที่สามารถวัดได้ทั้งแรงดัน (ตั้งแต่ 80-260 โวลต์) กระแสโดยรองรับกระแสสูงสุด 0-100 แอมป์ กำลังไฟฟ้า 100 แอมป์/22000 วัตต์ ทำงานได้ที่ความถี่ 45-65 Hz หลักการทำงานของโมดูลคือวัดกระแสผ่านขดลวด (Coil) ไม่สัมผัสกับสายไฟ โดยตรง มีเอาต์พุตออกผ่านทาง Serial Tx Rx สามารถใช้งานกับ Arduino และ NodeMCU ได้



รูปที่ 2.34 การต่อวงจรของโมดูล PZEM-004T

การแสดงผลที่วัดได้จากโมดูล

1. กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ในช่วง 0 – 22 กิโลวัตต์ จะแบ่งการแสดงผลได้ดังนี้
 - ค่าที่วัดได้อยู่ในช่วง 0 – 10 กิโลวัตต์ แสดงค่าเป็น 0.000 – 9.999
 - ค่าที่วัดได้อยู่ในช่วง 10 – 22 กิโลวัตต์ แสดงค่าเป็น 10.00 – 22.00
2. พลังงานไฟฟ้าที่วัดได้ในช่วง 0 – 9999 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง จะแบ่งการแสดงผลได้ดังนี้
 - ค่าที่วัดได้อยู่ในช่วง 0 – 10 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง แสดงค่าเป็น 0.00 – 9.999
 - ค่าที่วัดได้อยู่ในช่วง 10 – 100 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง แสดงค่าเป็น 10.00 – 99.99
 - ค่าที่วัดได้อยู่ในช่วง 100 – 1000 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง แสดงค่าเป็น 100.0 – 999.9
 - ค่าที่วัดได้อยู่ในช่วง 1000 – 9999 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง แสดงค่าเป็น 1000 – 9999
3. แรงดันที่วัดได้อยู่ในช่วง 80 – 260 โวลต์ จะแสดงผลเป็น 110.0 – 220.0
4. กระแสที่วัดได้อยู่ในช่วง 0 – 100 แอมป์ จะแสดงผลเป็น 00.00 – 99.99

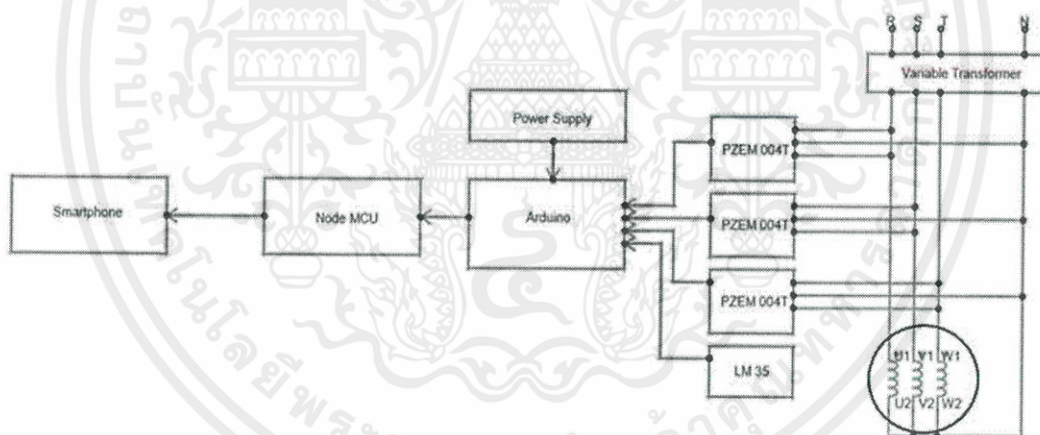
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและพัฒนา

จากการศึกษาทฤษฎีและหลักการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวัด พารามิเตอร์ที่ใช้ในการฝ้าระวังของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างเครื่องมือวัด ศึกษาการใช้ Fuzzy logic ในการประเมินสถานะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส และศึกษาภาษา C# ในการออกแบบสร้างแอปพลิเคชัน และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบบสนับสนุนความจริงเสมือน Augmented Reality (AR) เพื่อแสดงผลการประเมินสถานะการทำงานของมอเตอร์ให้น่าสนใจยิ่งขึ้น จึงแบ่งหลักการงานออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ออกแบบฮาร์ดแวร์ และส่วนที่ออกแบบซอฟต์แวร์

3.1 การออกแบบระบบฝ้าระวังและประเมินสถานะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส



รูปที่ 3.1 ภาพรวมของระบบ

ในภาพรวมการออกแบบระบบฝ้าระวังและประเมินสถานะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ดังรูปที่ 3.1 โดยเลือกใช้โมดูล PZEM-004T วัดค่ากระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส เป็นโมดูลที่มีหม้อแปลงแรงดัน (Voltage Transformer) และหม้อแปลงกระแส (Current Transformer) ที่ทำหน้าที่แปลงค่ากระแสและค่าแรงดันไฟฟ้าให้เป็นค่าที่เหมาะสมกับตัวโมดูล และใน

ส่วนของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิจากมอเตอร์เลือกเซ็นเซอร์ LM35 เพื่อนำค่าต่างๆ ที่วัดได้ส่งไปยังบอร์ดประมวลผล และส่งค่าต่อไปยัง NodeMCU เพื่อสามารถส่งค่าต่างๆ ไปยังระบบประเมินสถานะที่ได้ ออกแบบไว้โดยใช้ Fuzzy logic จัดแสดงผลผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนระบบแอนดรอยด์และใช้เทคโนโลยีระบบสนับสนุนความจริงเสมือนช่วยให้การนำเสนอข้อมูลให้มีความน่าสนใจมากยิ่งขึ้น

3.2 หลักการออกแบบฮาร์ดแวร์

แบ่งการออกแบบวงจรเป็น 3 วงจร ดังนี้

3.2.1 วงจรโมดูล PZEM-004T เชื่อมกับ Arduino

เป็นวงจรที่ใช้วัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โดยวัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมระหว่างแหล่งจ่ายเทียบกับนิวทรัล และวัดกระแสไฟฟ้าใช้ Current Transformer คล้องสายด้านที่มาจากแหล่งจ่ายทั้งสามเฟสที่ละเฟส จากนั้นโมดูลจะแปลงค่าเป็นดิจิตอลส่งค่าไปยัง Arduino ซึ่งมีการเชื่อมต่อ ดังนี้

- PZEM-004T วัดเฟส A

ตารางที่ 3.1 วงจร PZEM-004T เชื่อมกับ Arduino เฟส A

PZEM-004T	Arduino
5V	5V
Rx	9
Tx	8
GND	GND

- PZEM-004T วัดเฟส B

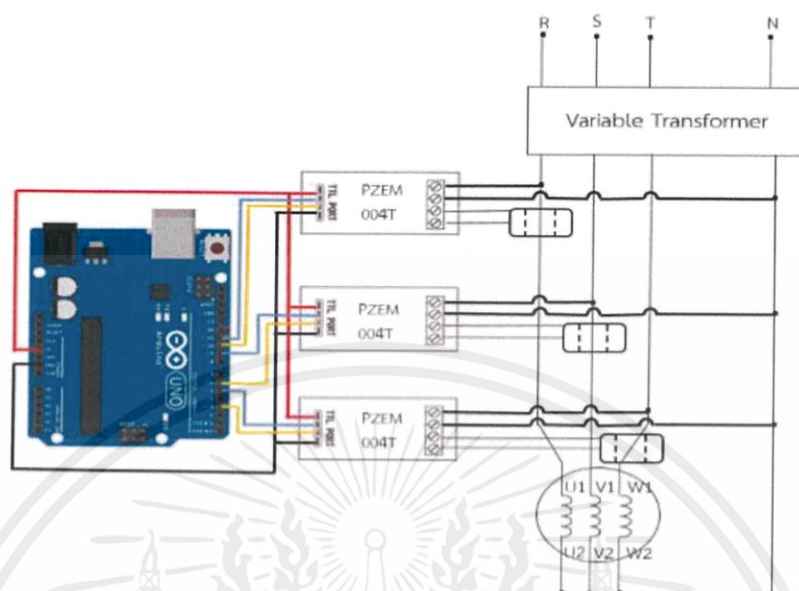
ตารางที่ 3.2 วงจร PZEM-004T เชื่อมกับ Arduino เฟส B

PZEM-004T	Arduino
5V	5V
Rx	11
Tx	10
GND	GND

- PZEM-004T วัดเฟส C

ตารางที่ 3.3 วงจร PZEM-004T เชื่อมกับ Arduino เฟส C

PZEM-004T	Arduino
5V	5V
Rx	13
Tx	12
GND	GND



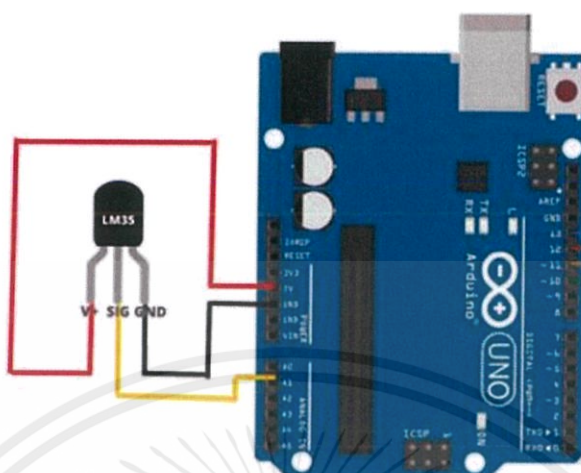
รูปที่ 3.2 วงจร PZEM-004T เชื่อมกับ Arduino

3.2.2 วงจรเซ็นเซอร์ LM35 เชื่อมกับ Arduino

เป็นวงจรวัดอุณหภูมิของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส จากเซ็นเซอร์ LM35 จะวัดค่าอุณหภูมิเป็นสัญญาณ Analog ส่งไปยัง Arduino มีการเชื่อมต่อดังนี้

ตารางที่ 3.4 วงจร LM35 เชื่อมกับ Arduino

LM35	Arduino
V+	5V
SIGNAL	A1
GND	GND



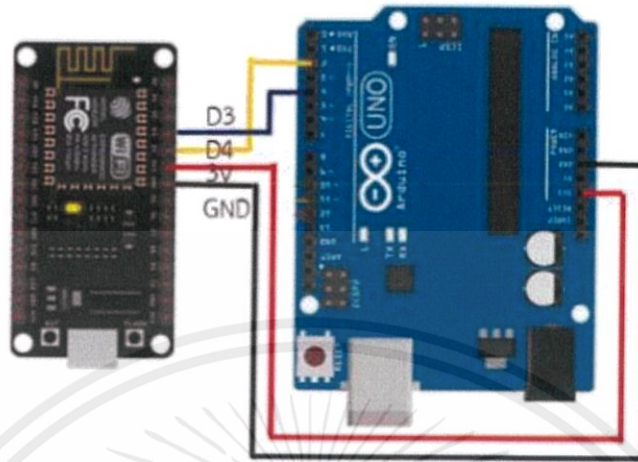
รูปที่ 3.3 วงจร LM35 เชื่อมกับ Arduino

3.2.3 วงจร Arduino เชื่อมกับ NodeMCU

เป็นวงจรที่ต่อเชื่อม Arduino และ NodeMCU เพื่อส่งข้อมูลค่าต่างๆ ที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ทั้งสองชนิดจาก Arduino ไปยัง NodeMCU แล้วทำการอัปโหลดข้อมูลทั้งหมดไปเก็บไว้ยัง Firebase เพื่อให้สะดวกต่อการดึงค่าไปใช้ในการประเมินสถานะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ในแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนต่อไป

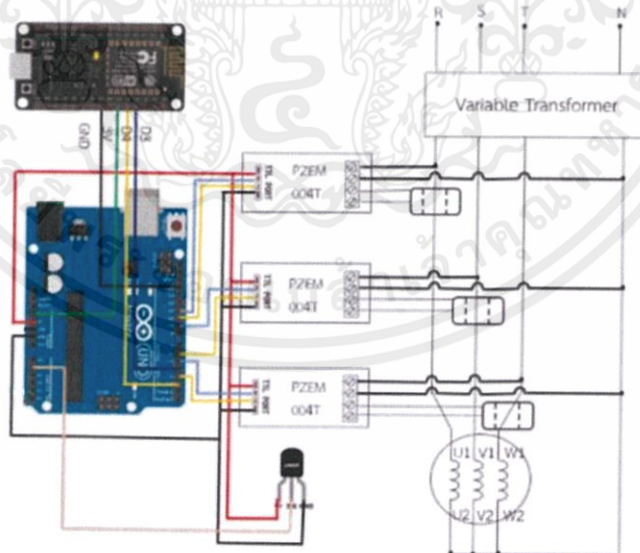
ตารางที่ 3.5 วงจร Arduino เชื่อมกับ NodeMCU

Arduino	NodeMCU
5V	3V
4	D3
2	D4
GND	GND



รูปที่ 3.4 วงจร Arduino เชื่อมกับ NodeMCU

เมื่อต่อเชื่อมอุปกรณ์แต่ละอันเข้าด้วยกันเรียบร้อยแล้วจะได้วงจรสำเร็จดังนี้

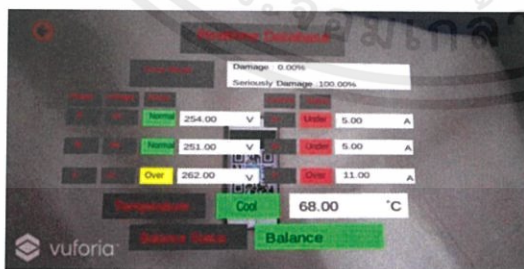


รูปที่ 3.5 วงจรรวมทั้งหมด

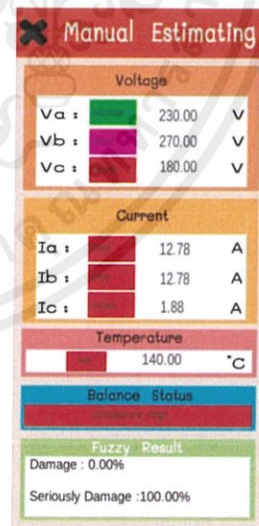
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 หลักการออกแบบซอฟต์แวร์

การออกแบบแอปพลิเคชันเพื่อใช้เฝ้าระวังและประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรกส่วนที่ใช้ประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ซึ่งใช้ Fuzzy logic ในการประเมินสภาวะ ส่วนที่สองแสดงผลการประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์โดยใช้เทคโนโลยีระบบสนับสนุนความจริงเสมือน และส่วนที่สามแสดงผลการประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์โดยไม่ใช้เทคโนโลยีระบบสนับสนุนความจริงเสมือน ส่วนที่สองและสามจะสามารถแสดงผลการประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ได้เหมือนกัน มีข้อแตกต่างคือ ส่วนที่สองจะต้องใช้กล้องส่อง QR code จึงจะดูผลการประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ได้ซึ่งจะเป็นแบบเรียลไทม์และค่าต่างๆ ที่เห็นจะมาจากวงจรที่เราออกแบบเครื่องวัดไว้แล้วข้างต้น และในส่วนนี้จำเป็นต้องใช้อินเทอร์เน็ตทั้งในเครื่องมือวัดและแอปพลิเคชัน ส่วนที่สองผู้ใช้งานจะต้องกรอกข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ ตามที่ระบุไว้ให้ครบ และในส่วนนี้สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องใช้อินเทอร์เน็ต โดยแอปพลิเคชันถูกออกแบบให้มีขั้นตอนการทำงานคร่าวๆ คือ เมื่อเข้าสู่แอปพลิเคชันจะพบกับหน้าต่างเมนูซึ่งสามารถเลือกได้ว่าประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์แบบใช้ AR โดยเข้าไปที่ AR Camera หรือแบบไม่ใช้ AR โดยเข้าไปที่ Manual Estimating



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.6 (ก) ใช้เทคโนโลยีสนับสนุนความจริงเสมือน AR (ข) ใช้ Manual Estimating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 แนวการพัฒนา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตของมนุษย์มากขึ้นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเหล่านี้ทั้งช่วยอำนวยความสะดวก ช่วยลดเวลา และยังคงค่าใช้จ่ายได้อีกด้วย เราจึงได้ประยุกต์เอาเทคโนโลยีเหล่านี้เข้ามาช่วยในการเฝ้าระวังและประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ที่มีการใช้งานมากในอุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องด้วยมอเตอร์มีความสำคัญต่อการดำเนินการผลิตในหลายอุตสาหกรรมทำให้การที่มอเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งต้องหยุดการทำงานลงนั้นอาจส่งผลเสียเป็นอย่างมากต่ออุตสาหกรรมนั้นทั้งกระบวนการผลิต และภาพลักษณ์ขององค์กรย่อมได้รับผลกระทบด้วย จึงได้สร้างแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนที่สามารถประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ได้เพียงมีอินเทอร์เน็ต แอปพลิเคชันจะนำค่าจากเครื่องมือวัดที่ได้จัดทำไว้มาประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ ทำให้สามารถเฝ้าระวังและประเมินสภาวะการทำงานได้อย่างสะดวก และรวดเร็วยิ่งขึ้น

3.3.2 เครื่องมือที่ใช้พัฒนา

การพัฒนาแอปพลิเคชันการเฝ้าระวังและประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ใช้เครื่องมือ และภาษาในการออกแบบแอปพลิเคชัน ดังนี้

3.3.2.1 ภาษาที่ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน

ภาษาที่ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ใช้ในการออกแบบสร้างและพัฒนาแอปพลิเคชัน ส่วนที่ใช้โปรแกรมกับอุปกรณ์วัด และส่วนที่ใช้กับการรับข้อมูลระหว่างแอปพลิเคชันกับไฟร์เบส โดยภาษาที่ใช้ในการพัฒนามีดังนี้

1. ภาษาซีพลัสพลัส (C++) เป็นภาษาที่ใช้บนโปรแกรม Arduino IDE ใช้โปรแกรมให้กับ Arduino และ NodeMCU
2. ภาษาซีชาร์ป (C#) เป็นภาษาที่ใช้พัฒนาแอปพลิเคชันบนโปรแกรม Unity3D และ Microsoft Visual Studio 2017
3. ภาษาเจสัน (JSON) ใช้รับส่งข้อมูลระหว่างแอปพลิเคชันกับไฟร์เบส

3.3.2.2 ระบบปฏิบัติการ

แอปพลิเคชันการเฝ้าระวังและประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เวอร์ชันตั้งแต่ 4.4 (Kit Kat) ขึ้นไป

3.3.3.3 ซอฟต์แวร์

1. Unity3D เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการออกแบบสร้างและพัฒนาแอปพลิเคชันมีจุดเด่นในด้านการออกแบบและกราฟฟิก
2. Microsoft Visual Studio 2017 เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้เขียน source code ซึ่งทำงานร่วมกับ Unity3D ได้
3. Arduino IDE เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้โปรแกรมให้กับ Arduino และ NodeMCU
4. Firebase คือ cloud storage ที่สามารถใช้พัฒนา Realtime application

3.3.3 รายละเอียดเชิงเทคนิค

3.3.3.1 ส่วนนำเข้า (Input)

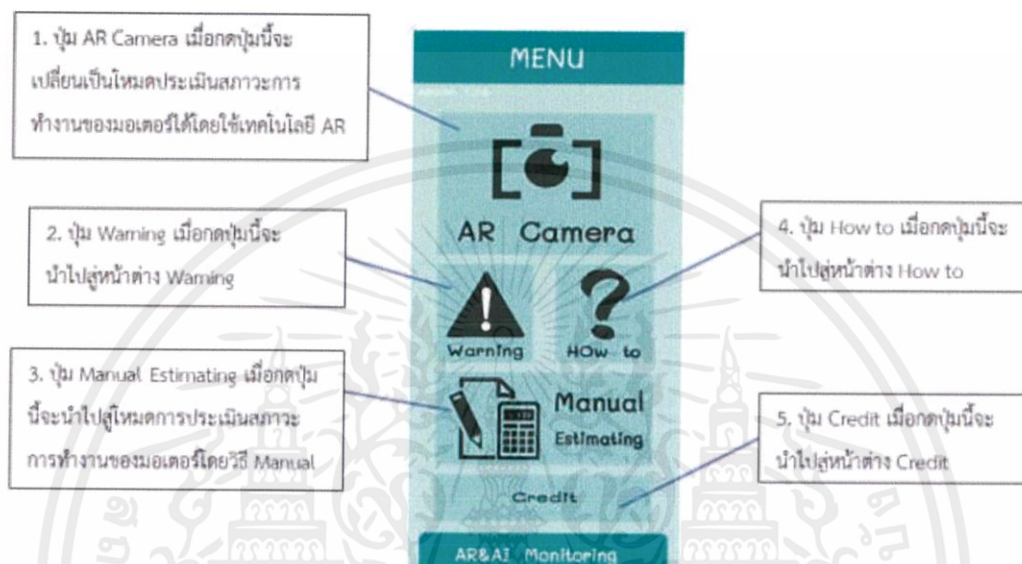
1. ผู้ใช้เรียกใช้แอปพลิเคชันโดยเปิดโปรแกรม
2. ผู้ใช้สามารถเรียกดูการประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ได้ 2 ทาง คือ ดูแบบเรียลไทม์ผ่าน AR หรือ หากทราบค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และอุณหภูมิสามารถกรอกข้อมูลได้เองโดยใช้ Manual Estimating

3.3.3.2 ส่วนนำออก (Output)

แอปพลิเคชันจะแสดงสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ผ่านหน้าจอสมาร์ตโฟน

3.3.4 โครงสร้างของซอฟต์แวร์

3.3.4.1 หน้า MENU

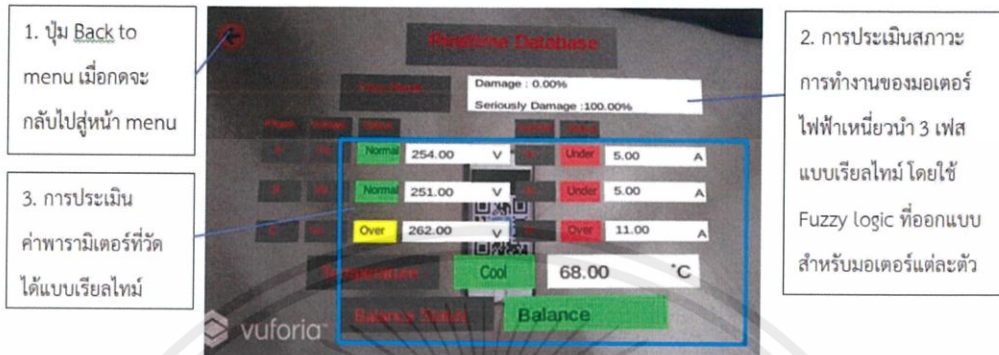


รูปที่ 3.7 รายละเอียดหน้าจอเมนู

หน้าเมนูเป็นหน้าที่ผู้ใช้งานสามารถเลือกได้ว่าต้องการไปยังการทำงานโหมดใดของแอปพลิเคชัน หรือต้องการดูข้อมูลใดของแอปพลิเคชัน โดยสามารถกดเลือกหน้าต่างได้ ดังนี้

1. ปุ่ม AR Camera มีหน้าที่เปลี่ยนจากหน้าต่างเมนูไปยังหน้าต่าง AR Camera
2. ปุ่ม Warning มีหน้าที่เปลี่ยนจากหน้าต่างเมนูไปยังหน้าต่าง Warning
3. ปุ่ม Manual Estimating มีหน้าที่เปลี่ยนจากหน้าต่างเมนูไปยังหน้าต่าง Manual Estimating
4. ปุ่ม How to มีหน้าที่เปลี่ยนจากหน้าต่างเมนูไปยังหน้าต่าง How to
5. ปุ่ม Credit มีหน้าที่เปลี่ยนจากหน้าต่างเมนูไปยังหน้าต่าง Credit

3.3.4.2 หน้า AR Camera



รูปที่ 3.8 รายละเอียดหน้า AR Camera

หน้า AR Camera เป็นกล้องจากสมาร์ตโฟนที่ใช้ส่องเพื่อสแกน QR Code ที่จะสามารถประเมินสถานะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยเมื่อกดเข้ามายังหน้าต่างจะเป็นกล้องให้ผู้นำไปสแกน QR Code แล้วจะปรากฏช่องที่แสดงข้อมูลต่างๆ ดังรูปที่ 3.8 ผู้ใช้สามารถดูได้ว่ามอเตอร์มีสถานะการทำงานในระดับใดซึ่งมี 3 ระดับ คือ Good, Damage และ Seriously Damage ซึ่งทั้งสามระดับนี้จะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ค่านี้วิเคราะห์โดยใช้ Fuzzy logic นอกจากนั้นผู้ใช้งานสามารถที่จะดูว่าพารามิเตอร์แต่ละตัวมีสถานะแบบใดบ้างโดยดูได้จากสี และข้อความดังนี้

1. แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ

1.1 กล่องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีแดง และมีข้อความว่า Under เมื่อแรงดันไฟฟ้าเฟสนั้นต่ำกว่าปกติอย่างมาก

1.2 กล่องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงอมแดง และมีข้อความว่า Under เมื่อแรงดันไฟฟ้าเฟสนั้นต่ำกว่าปกติ

1.3 กล่องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และมีข้อความ Under เมื่อแรงดันไฟฟ้าเฟสนั้นค่อนข้างต่ำกว่าปกติ

1.4 กล่องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว และมีข้อความว่า Normal เมื่อแรงดันไฟฟ้าเฟสนั้นปกติ

2. แรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ

2.1 กล้องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีแดง และมีข้อความว่า Over เมื่อแรงดันไฟฟ้าเฟสหนึ่งสูงกว่าปกติอย่างมาก

2.2 กล้องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงอมแดง และมีข้อความว่า Over เมื่อแรงดันไฟฟ้าเฟสหนึ่งสูงกว่าปกติ

2.3 กล้องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และมีข้อความว่า Over เมื่อแรงดันไฟฟ้าเฟสหนึ่งค่อนข้างสูงกว่าปกติ

2.4 กล้องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว และมีข้อความว่า Normal เมื่อแรงดันไฟฟ้าเฟสหนึ่งปกติ

3. อุณหภูมิสูงกว่าปกติ

3.1 กล้องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีแดง และมีข้อความว่า Hot เมื่ออุณหภูมิร้อนเกินไป

3.2 กล้องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และมีข้อความว่า Warm เมื่ออุณหภูมิสูงเล็กน้อย (ถือว่าเป็นอุณหภูมิทำงานปกติของมอเตอร์)

3.3 กล้องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว และมีข้อความว่า cool เมื่ออุณหภูมิของมอเตอร์ค่อนข้างเย็น

4. แรงดันไฟฟ้าสมดุล

4.1 กล้องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีแดง และมีข้อความว่า Unbalance เมื่อแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลกว่าปกติอย่างมาก

4.2 กล้องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงอมแดง และมีข้อความว่า Unbalance เมื่อแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล

4.3 กล้องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และมีข้อความว่า Unbalance เมื่อแรงดันไฟฟ้าค่อนข้างไม่สมดุล

4.4 กล้องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว และมีข้อความว่า Normal เมื่อแรงดันไฟฟ้าสมดุล

5. กระแสไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ

5.1 กล้องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีแดง และมีข้อความว่า Under เมื่อกระแสไฟฟ้าเฟสนั้นต่ำกว่าปกติอย่างมาก

5.2 กล้องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงอมแดง และมีข้อความว่า Under เมื่อกระแสไฟฟ้าเฟสนั้นต่ำกว่าปกติ

5.3 กล้องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และมีข้อความ Under เมื่อกระแสไฟฟ้าเฟสนั้นค่อนข้างต่ำกว่าปกติ

5.4 กล้องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว และมีข้อความว่า Normal เมื่อกระแสไฟฟ้าเฟสนั้นปกติ

6. กระแสไฟฟ้าสูงกว่าปกติ

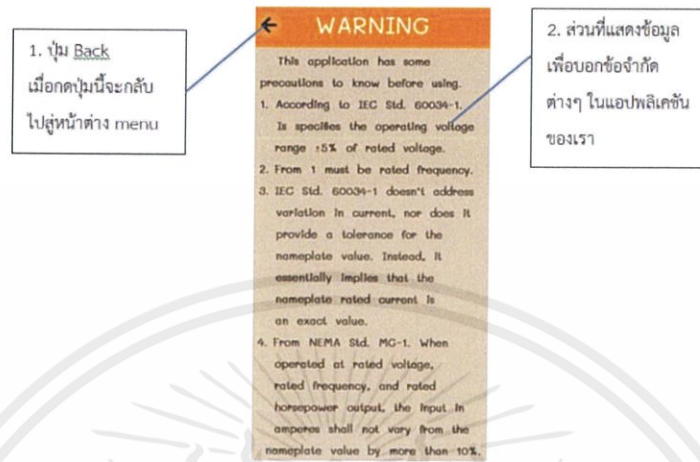
6.1 กล้องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีแดง และมีข้อความว่า Over เมื่อกระแสไฟฟ้าเฟสนั้นสูงกว่าปกติอย่างมาก

6.2 กล้องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงอมแดง และมีข้อความว่า Over เมื่อกระแสไฟฟ้าเฟสนั้นสูงกว่าปกติ

6.3 กล้องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และมีข้อความว่า Over เมื่อกระแสไฟฟ้าเฟสนั้นค่อนข้างสูงกว่าปกติ

6.4 กล้องข้อความจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว และมีข้อความว่า Normal เมื่อกระแสไฟฟ้าเฟสนั้นปกติ

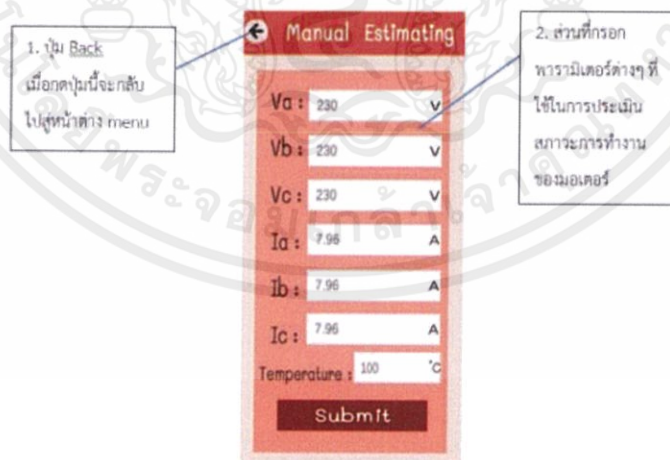
3.3.4.3 หน้า Warning



รูปที่ 3.9 รายละเอียดหน้า Warning

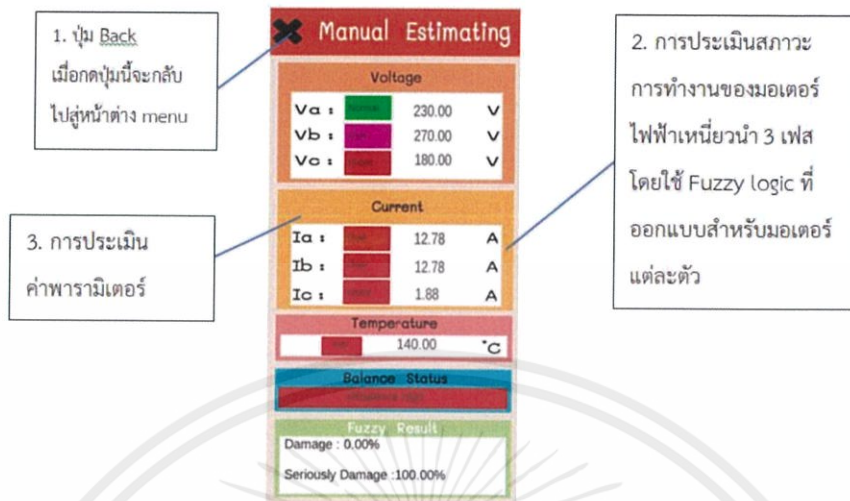
หน้าต่าง Warning นี้เป็นส่วนที่จะบอกรายละเอียดและข้อระวังให้กับผู้ใช้งานแอปพลิเคชัน และสามารถกดปุ่ม Back เพื่อกลับไปยังหน้าต่าง Menu

3.3.4.4 หน้า Manual Estimating



รูปที่ 3.10 รายละเอียดหน้าต่าง Manual Estimating (ส่วนกรอกข้อมูล)

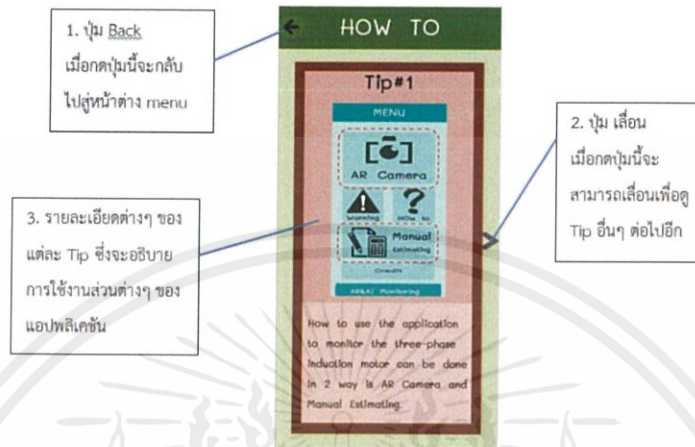
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 รายละเอียดหน้าต่าง Manual Estimating (ส่วนประเมินผล)

หน้าต่าง Manual Estimating จะมีช่องเพื่อให้ผู้ใช้งานกรอกพารามิเตอร์ที่จำเป็นต่อการประเมินสถานะการทำงานของมอเตอร์ที่กำหนดเอาไว้แล้วทั้ง 7 ค่า แล้วเมื่อกรอกข้อมูลครบตามที่กำหนดเอาไว้แล้วนั้นให้ผู้ใช้งานกดปุ่ม submit แล้วแอปพลิเคชันก็จะทำการประเมินสถานะการทำงานของมอเตอร์ออกมา ซึ่งผลการประเมินสถานะการทำงานของมอเตอร์นั้นจะให้ผลลัพธ์ออกมาเหมือนผลลัพธ์ที่ได้จากโหมด AR Camera

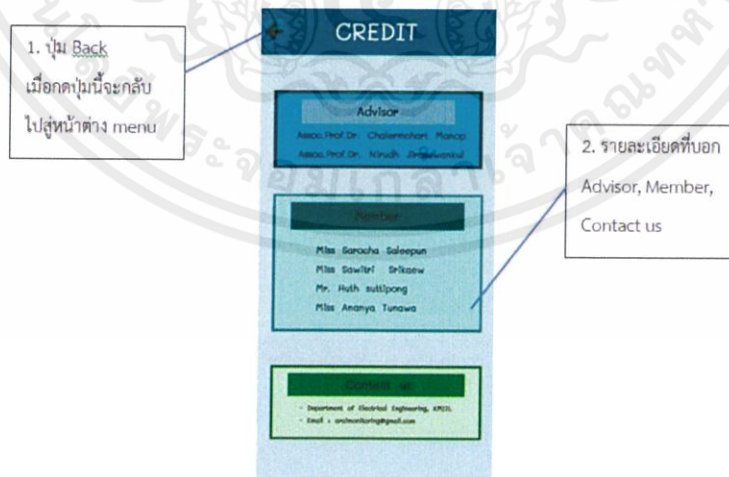
3.3.4.5 หน้า How to



รูปที่ 3.12 รายละเอียดหน้าต่าง How to

หน้าต่างนี้มีรายละเอียดของการใช้งานแอปพลิเคชันในโหมด AR Camera และ Manual Estimating และเมื่อกดปุ่ม Back ก็จะไปสู่หน้าต่างเมนูได้

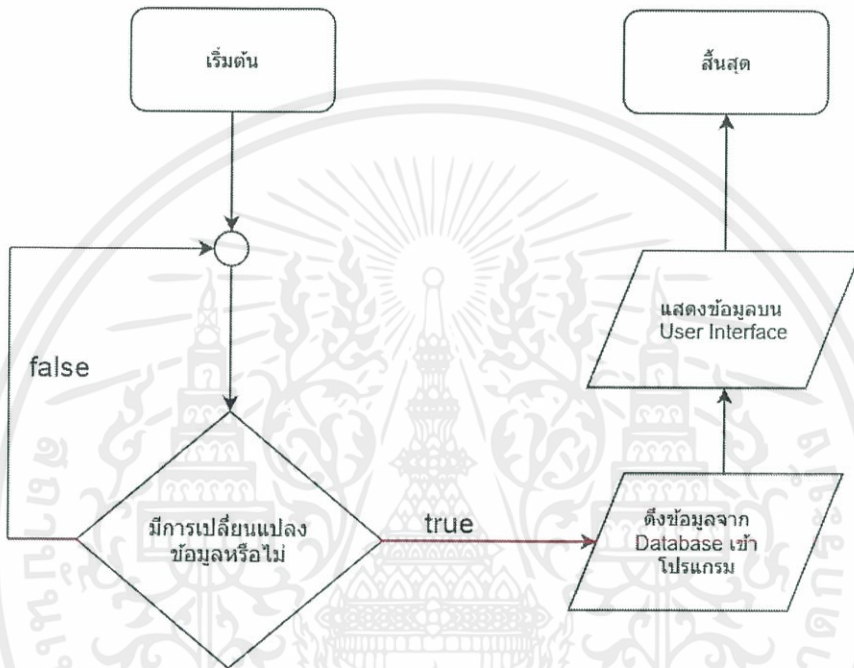
3.3.4.6 หน้า Credit



รูปที่ 3.13 รายละเอียดหน้าต่าง Credit

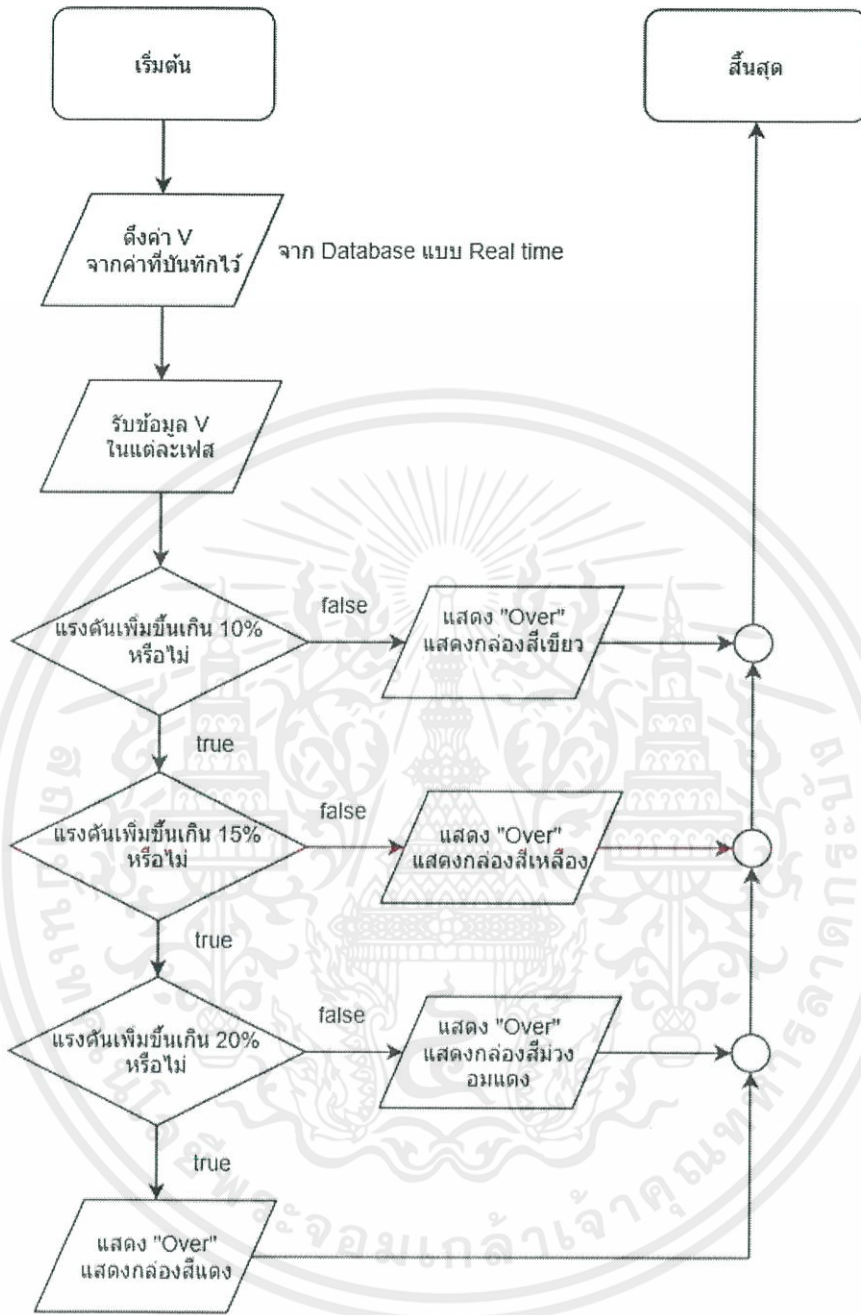
หน้าต่าง Credit นี้แสดงในส่วนของรายชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา รายชื่อสมาชิกในกลุ่ม และ ข้อมูลติดต่อผู้พัฒนา ผู้ใช้งานแอปพลิเคชันสามารถกดปุ่ม Back เพื่อนำกลับไปสู่หน้าต่างเมนู

3.3.5 แผนผังการทำงานของระบบ



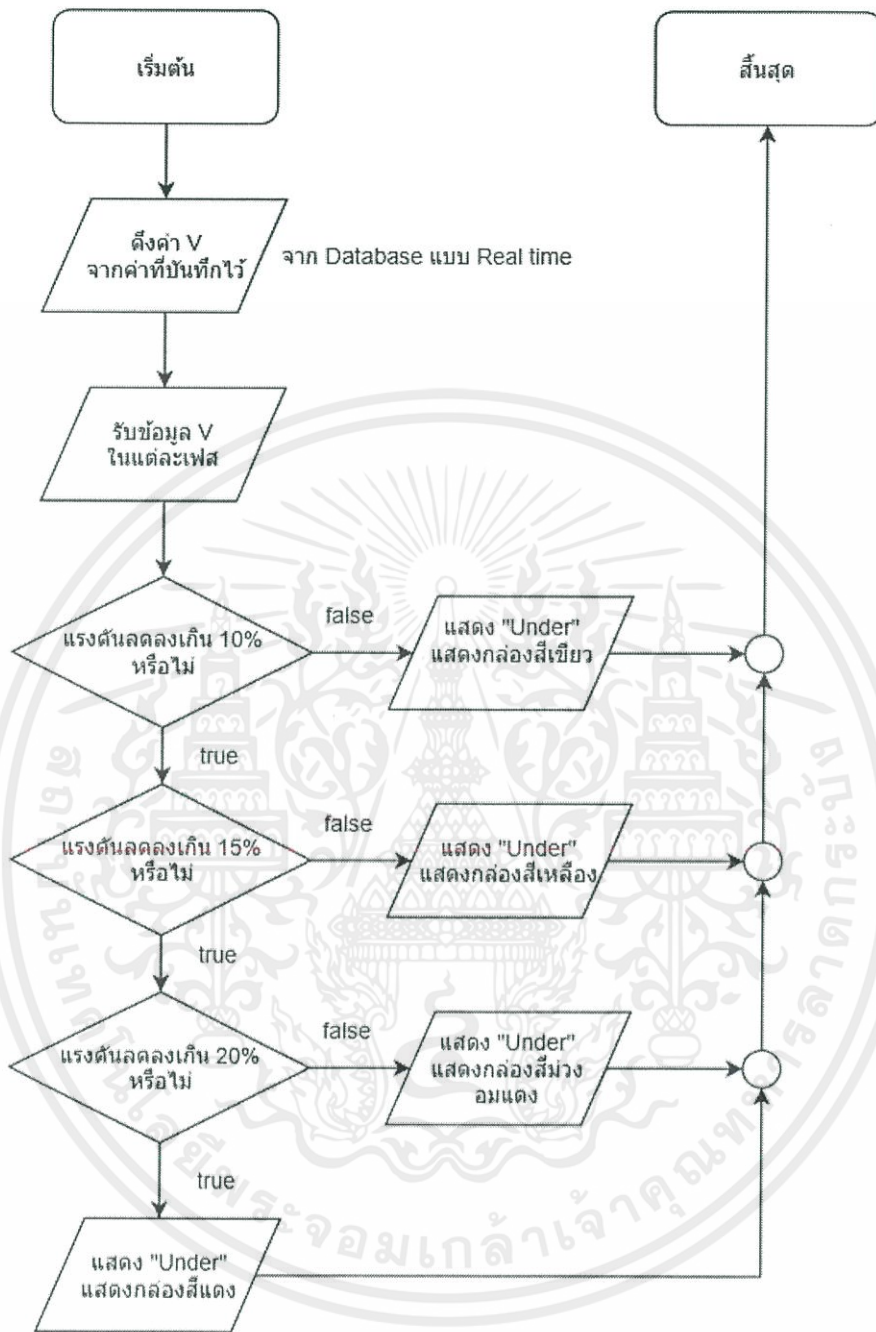
รูปที่ 3.14 แผนผังการรับข้อมูลจาก Database

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



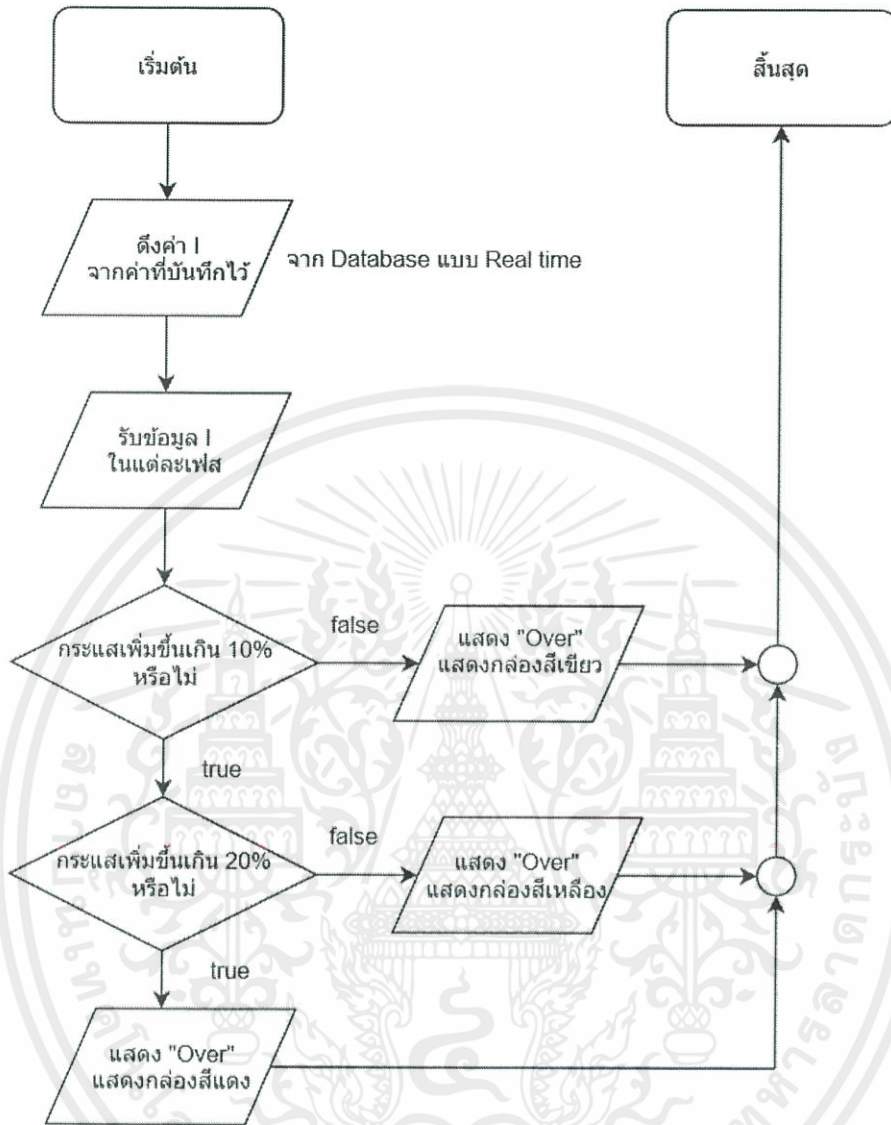
รูปที่ 3.15 แผนผังการแจ้งเตือนแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

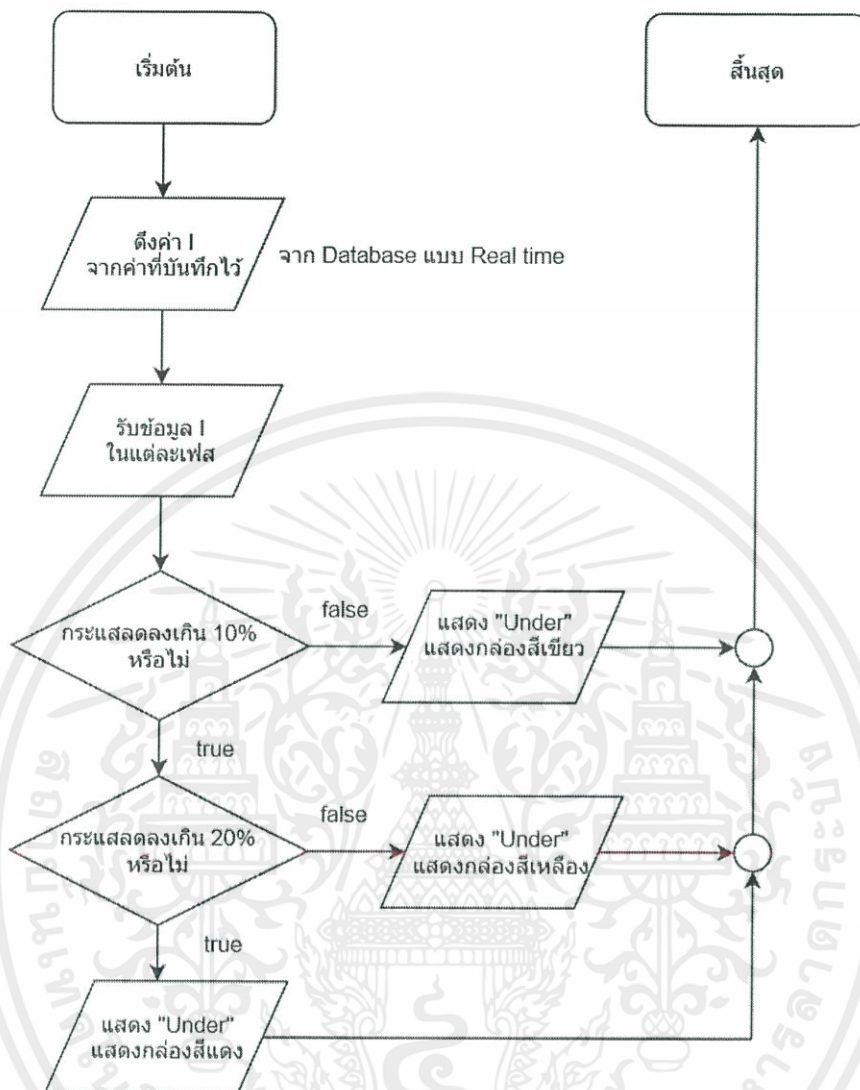


รูปที่ 3.16 แผนผังการแจ้งเตือนแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 แผนผังการแจ้งเตือนกระแสไฟฟ้าสูงกว่าปกติ



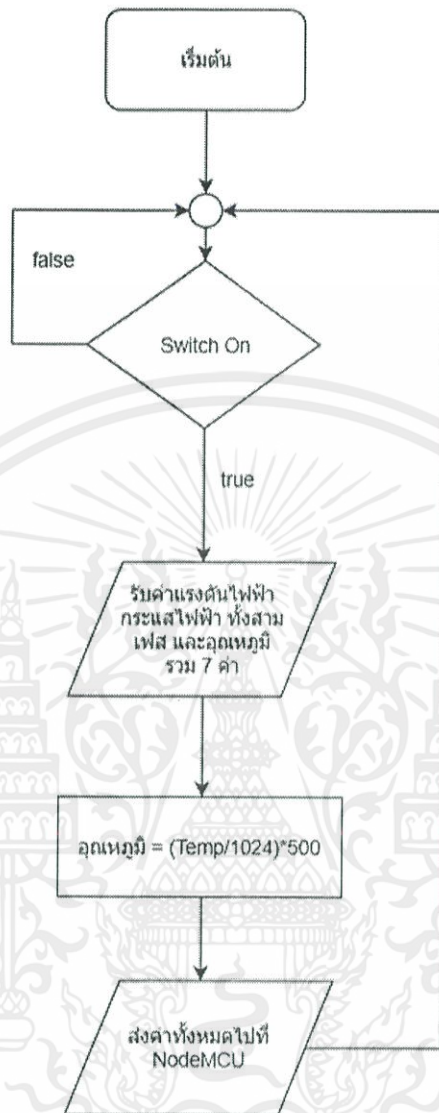
รูปที่ 3.18 แผนผังการแจ้งเตือนกระแสไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ

3.3.6 การเขียนคำสั่งโปรแกรม Arduino IDE

การเขียนโปรแกรม ARduino IDE แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ คำสั่งโปรแกรมของบอร์ด Arduino และคำสั่งโปรแกรมของ NodeMCU

1. คำสั่งโปรแกรมของบอร์ด Arduino

ในส่วนนี้จะเป็นการวัดค่าจากโมดูล PZEM-004T กับเซ็นเซอร์อุณหภูมิ และการส่งค่าที่วัดได้ไปยัง NodeMCU ผ่านทางพอร์ทอนุกรม

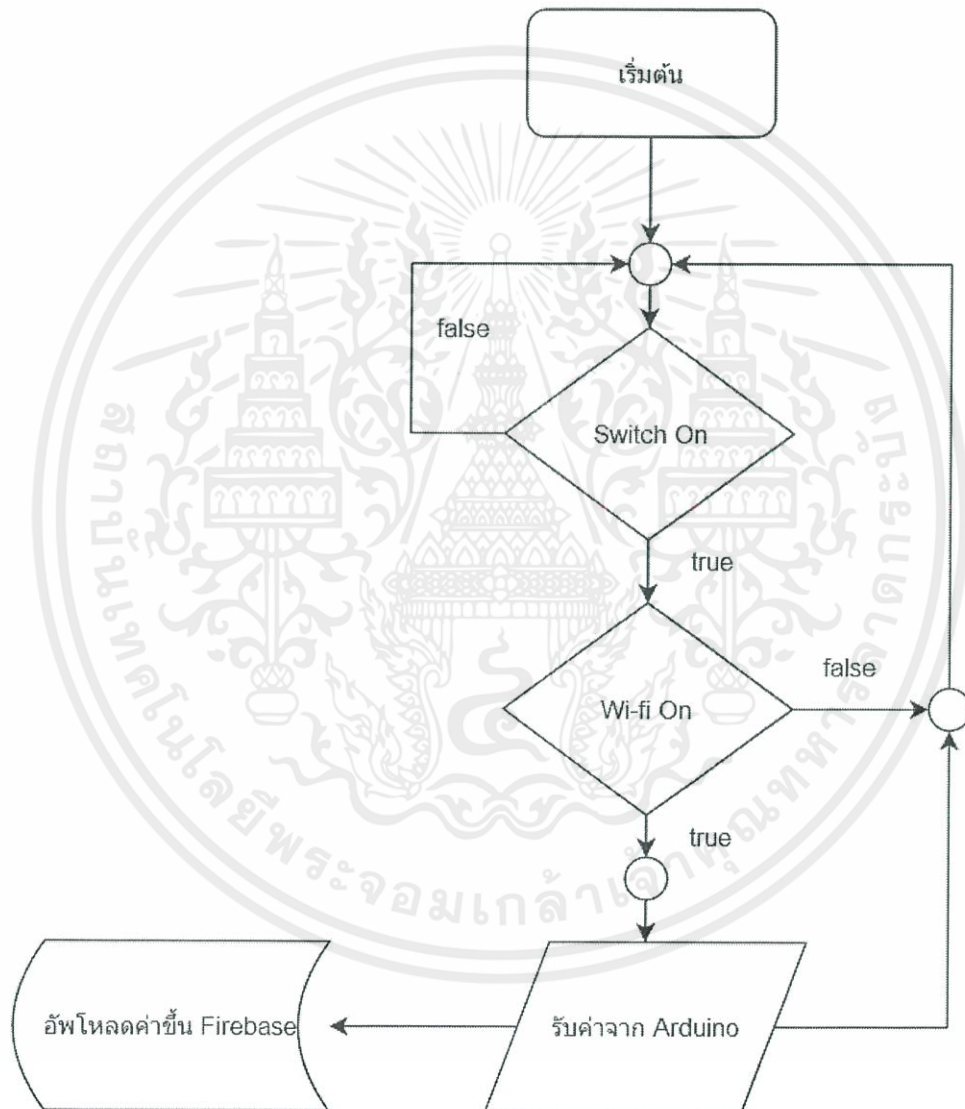


รูปที่ 3.19 แผนผังการทำงานของ Arduino

จากแผนผังจะเห็นว่าเมื่อจ่ายไฟให้บอร์ด Arduino โมดูล PZEM-004T ทั้ง 3 โมดูล จะเริ่มทำการวัดค่าทางไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า รวมทั้งเซ็นเซอร์อุณหภูมิ LM 35 ก็ทำการวัดค่าเช่นเดียวกัน แต่เนื่องจาก LM 35 วัดค่าเป็นอนาล็อกจึงต้องทำการแปลงค่าก่อนส่งค่าไปยัง NodeMCU ทางพอร์ตอนุกรม เราจะส่งทุกค่าเป็นจำนวนทั้งหมด 7 ค่า โดยจะส่งทีละค่าจนครบ และวนกลับเพื่อส่งค่าที่วัดใหม่เรื่อยๆ

2. คำสั่งโรโปรแกรมของ NodeMCU

ส่วนนี้จะเป็นการรับค่าจาก NodeMCU เพื่ออัปเดตข้อมูลขึ้น Database ซึ่งใช้บริการ Firebase จาก google สำหรับเป็นฐานข้อมูลให้แอปพลิเคชัน AR ดึงค่าไปประเมินผลด้วย Fuzzy Logic และแสดงแบบเรียลไทม์



รูปที่ 3.20 แผนผังการทำงานของ NodeMCU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนผังเริ่มต้นการทำงานของ NodeMCU โดยรับค่าจาก Arduino 7 ค่า จากนั้นเชื่อมต่อ WiFi แล้วสร้างฟังก์ชันเพื่อส่งค่าไปเก็บบน Firebase เมื่อส่งค่าครบจึงทำการอัปเดตค่าและส่งค่าวนซ้ำ เช่นนี้ไปเรื่อยๆ โดยในส่วนนี้จะต้องทำการสร้างฟังก์ชันเวลาขึ้นมาเพื่ออัปเดตค่าพร้อมเวลา และวัน เดือนปีสำหรับอ้างอิงการแจ้งเตือนได้ ซึ่งเวลาในการอัปเดตขึ้น Firebase ในแต่ละชุดข้อมูลใช้เวลา 2-3 วินาทีเท่านั้นหลังจากรับค่ามาก็ทำการประมวลผลโดย Fuzzy logic โดยอ้างอิงจากมาตรฐาน IEC-60034 กล่าวว่าแรงดันที่ใช้งานควรไม่เกินในช่วงน้อยกว่า แรงดันพิกัด 10% หรือมากกว่าแรงดันพิกัด 10% และ ส่วนของกระแสที่ไม่ควรเกินที่พิกัดในที่นี้ใช้แรงดันพิกัด 220 โวลต์ (วัดแรงดันไลน์เทียบ Ground) และ กระแสพิกัด 2 แอมแปร์ ต่อแบบสตาร์มีนิวทรอล เราจึงสร้างเงื่อนไขเมื่อเกิดกรณีผิดปกติต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 3.6 เงื่อนไขเมื่อเกิดกรณีผิดปกติต่างๆ

กรณีผิดปกติ	ข้อความที่แจ้งเตือน
แรงดันเฟส A เกิน 10%	Over
แรงดันเฟส B เกิน 10%	Over
แรงดันเฟส C เกิน 10%	Over
แรงดันเฟส A ต่ำกว่า 10%	Under
แรงดันเฟส B ต่ำกว่า 10%	Under
แรงดันเฟส C ต่ำกว่า 10%	Under
แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลเกิน 15	Unbalance
กระแสไฟฟ้าเฟส A เกิน 10%	Over
กระแสไฟฟ้าเฟส B เกิน 10%	Over
กระแสไฟฟ้าเฟส C เกิน 10%	Over
อุณหภูมิเกิน	Hot

3.4 การออกแบบการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ในกรณีต่างๆ

การทดสอบเฟ้าระวังและประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ใช้ขนาดมอเตอร์ตาม Nameplate ดังนี้

1 HP		4 POLE	TYPE	SF-JR
HERTZ		50	FRAME	80M
VOLT	220	380	RATING	CONT
AMP	3.4	2.0	INS CLASS	B
RPM		1400	AMB.TEMP	40 °C
JIS	C	4004	BEARING	6204-6203 ZZ
JP	44	JC 4	SERIAL	702

รูปที่ 3.21 Nameplate ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส

3.4.1 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 ต่ำกว่าปกติ (Under Voltage)

จากมาตรฐาน IEC-60034-1 ระบุว่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในมอเตอร์ต้องไม่ต่ำกว่า 95% ของแรงดันพิกัดนั้นคือ ไม่ต่ำกว่า 209 โวลต์

ตารางที่ 3.7 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ (Under Voltage)

แรงดันไฟฟ้า ต่ำกว่าปกติ	แรงดันไฟฟ้าในแต่ละเฟส		
	เฟส A	เฟส B	เฟส C
3 เฟส	<209	<209	<209

3.4.2 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส สูงกว่าปกติ (Over Voltage)

จากมาตรฐาน IEC-60034-1 ระบุว่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในมอเตอร์ต้องไม่สูงกว่า 105% ของแรงดันพิกัดนั้นคือ ไม่สูงกว่า 231 โวลต์

ตารางที่ 3.8 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสสูงกว่าปกติ (Over Voltage)

แรงดันไฟฟ้าสูง กว่าปกติ	แรงดันไฟฟ้าในแต่ละเฟส		
	เฟส A	เฟส B	เฟส C
3 เฟส	>231	>231	>231

3.4.3 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส ไม่สมดุล (Unbalance Voltage)

กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสไม่สมดุล กำหนดให้ทดสอบที่แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ

1 เฟส เพื่อให้เกิดแรงดันไม่สมดุลเกิน 10

ตารางที่ 3.9 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส ไม่สมดุล (Unbalance Voltage)

แรงดันไฟฟ้าไม่ สมดุล	แรงดันไฟฟ้าในแต่ละเฟส		
	เฟส A	เฟส B	เฟส C
1 เฟส > 10	<210	220	220

3.4.4 กรณีโหลดเกิน (Overload)

จากกระแสที่พิกัดของมอเตอร์ คือ แอมแปร์จะทำการทดสอบโดยใช้โหลดเกิน

กระแสพิกัด

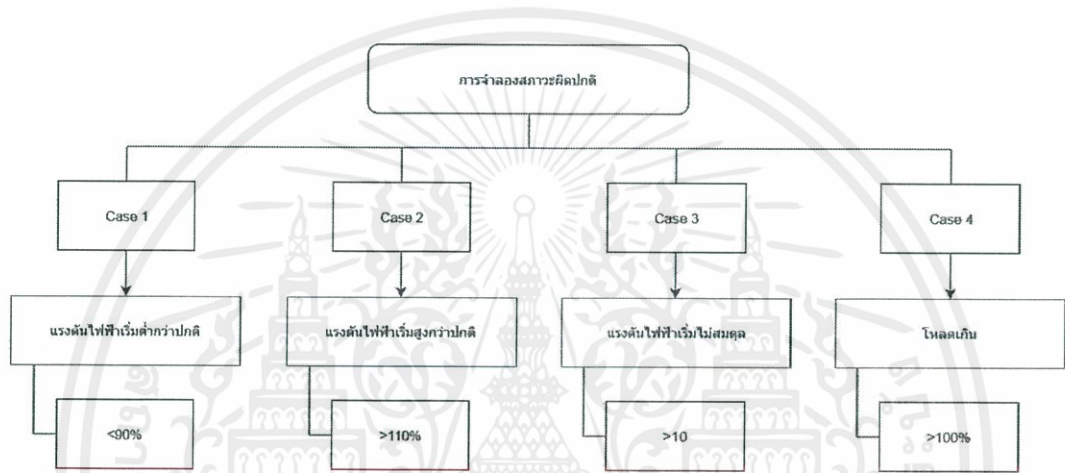
ตารางที่ 3.10 กรณีโหลดเกิน (Overload)

โหลด	กระแสไฟฟ้า (A)
50%	1.0
100%	2.0
> 100%	>2.0

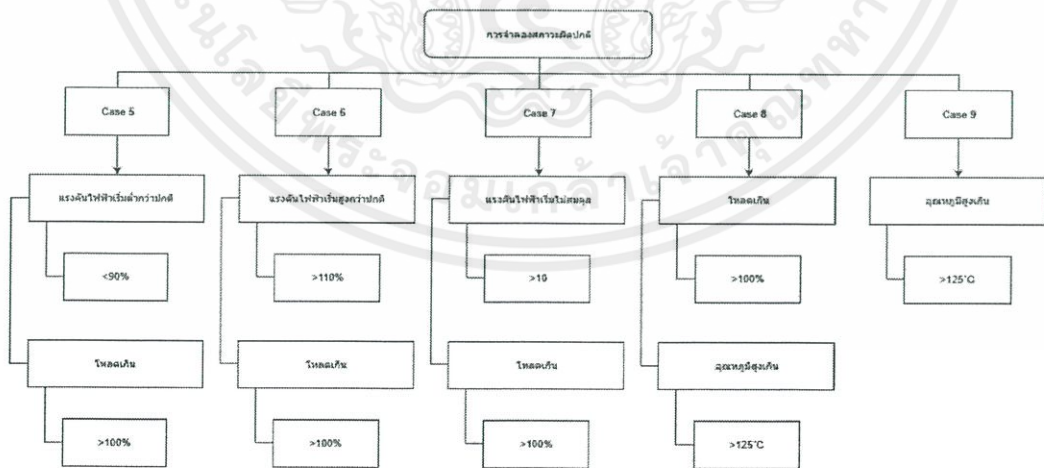
3.4.5 กรณีอุณหภูมิเกิน (Over Temperature)

จากมาตรฐาน IEC 85 มอเตอร์ที่ใช้ฉนวนคลาส B สามารถทนอุณหภูมิได้สูงสุด 130 °C โดยมีอุณหภูมิห้องสูงสุด 40 °C อุณหภูมิเพิ่มสูงสุดที่ยอมรับได้ 80 °C และมีค่าเผื่อทางอุณหภูมิอีก 10 °C

3.4.6 แผนผังการจำลองการทดสอบสภาวะผิดปกติกรณีต่างๆ



รูปที่ 3.22 แผนผังการจำลองสภาวะผิดปกติกรณีต่างๆ



รูปที่ 3.23 แผนผังการจำลองสภาวะผิดปกติกรณีต่างๆ (ต่อ)

3.5 อุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 3.24 อุปกรณ์การทดลอง

1. มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	1	เครื่อง
2. Variable Transformer 3 เฟส	1	เครื่อง
3. โมดูล PZEM-004T	3	โมดูล
4. เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ LM 35	1	ชิ้น
5. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino	1	บอร์ด
6. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU	1	บอร์ด
7. ตุ่มเหล็ก	8	กิโลกรัม
8. สายไฟ	60	เส้น
9. Fuse	3	ตัว
10. Junction box	2	กล่อง
11. Power supply 9 V	1	ชุด
12. ตาชั่งสปริงแบบแขวนพร้อมเชือก และตะขอเกี่ยวตุ้มน้ำหนัก	1	ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 วิธีการทดลอง

ต่อวงจรตามรูปที่ 3.5 โดยต่อมอเตอร์แบบสตาร์มีนิวทรอลใช้ Variable Transformer 3 เฟส จ่ายแรงดันไฟฟ้าผ่านโมดูล PZEM-004T เพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และติดตั้งเซ็นเซอร์อุณหภูมิ LM-35 จากนั้นปรับแรงดัน และจ่ายโหลดตามสถานะที่ผิดปกติตามที่กำหนดเอาไว้ เราจะสามารถตรวจสอบการทำงานของระบบเฝ้าระวังและประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ได้จากแอปพลิเคชัน AR โดยกดเลือกฟังก์ชัน AR Camera ส่องไปที่ QR Code ในรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.26 การใช้งานแอปพลิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

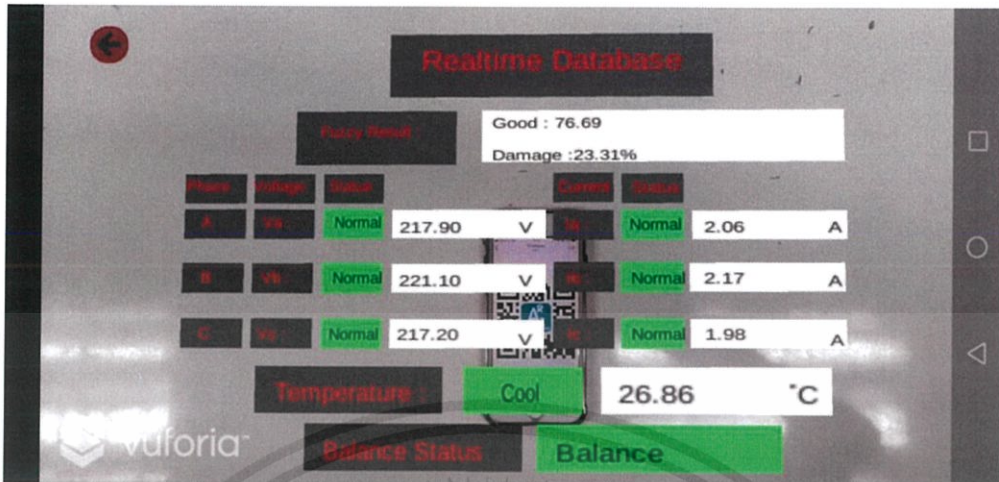
4.1 กรณีแรงดันไฟฟ้าปกติ 3 เฟสสมดุล

4.1.1 ผลการทดลองจากโมดูล PZEM-004T โมดูล LM35 และผลการประเมินสถานะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้วยระบบ AI (Fuzzy)

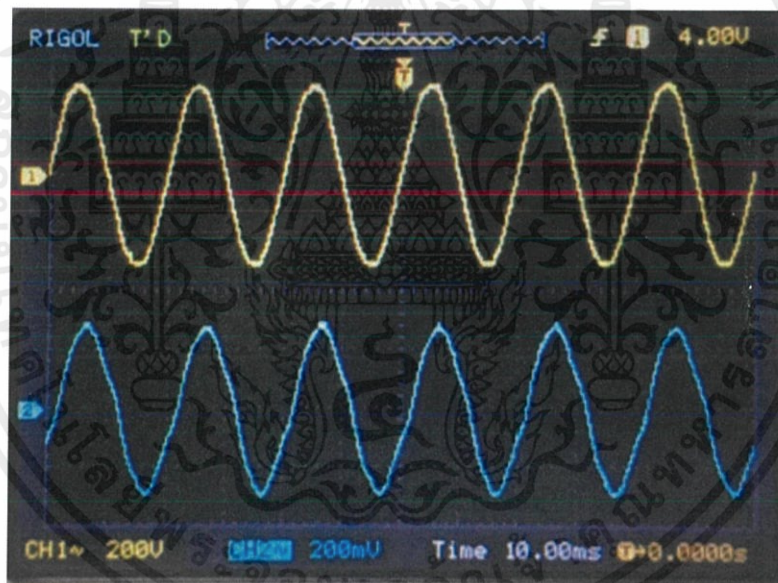
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองกรณีแรงดันไฟฟ้าปกติ 3 เฟสสมดุล

Voltage (V)			Current (A)			Temperature (°C)	Result (%)		
V _a	V _b	V _c	I _a	I _b	I _c		G	D	SD
218.00	221.10	217.60	2.08	2.20	2.01	26.86	100.00	0.00	-
217.90	221.10	217.20	2.06	2.17	1.98	26.86	76.69	23.31	-
217.50	220.90	216.60	1.98	2.10	1.90	27.83	43.17	56.83	-
217.40	220.70	216.60	1.97	2.09	1.89	27.34	38.97	61.03	-
217.70	220.70	216.90	1.99	2.11	1.91	27.34	48.12	51.88	-

เมื่อกำหนดให้ผลการประเมินสถานะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสเป็นสัดส่วนร้อยละระหว่าง G D และ SD โดย G = Good, D = Damage และ SD = Seriously Damage

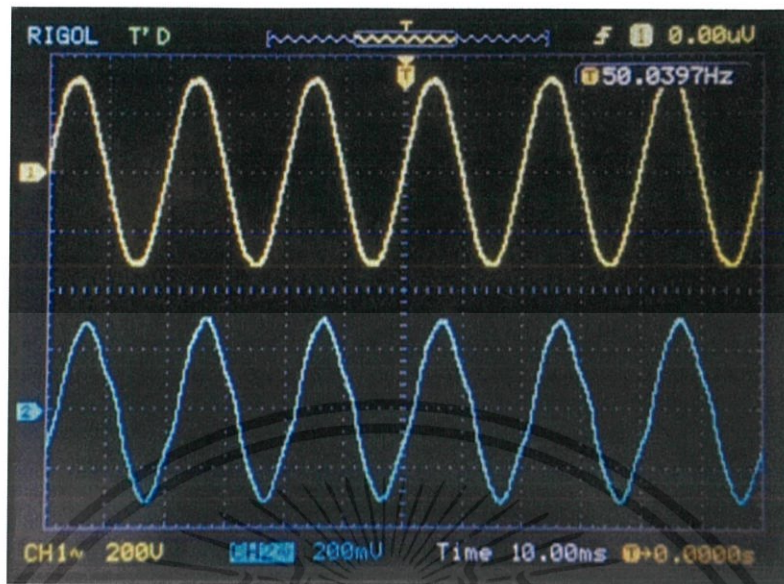


รูปที่ 4.1 หน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ของแอปพลิเคชัน AR กรณีแรงดันไฟฟ้าปกติ 3 เฟสสมดุล

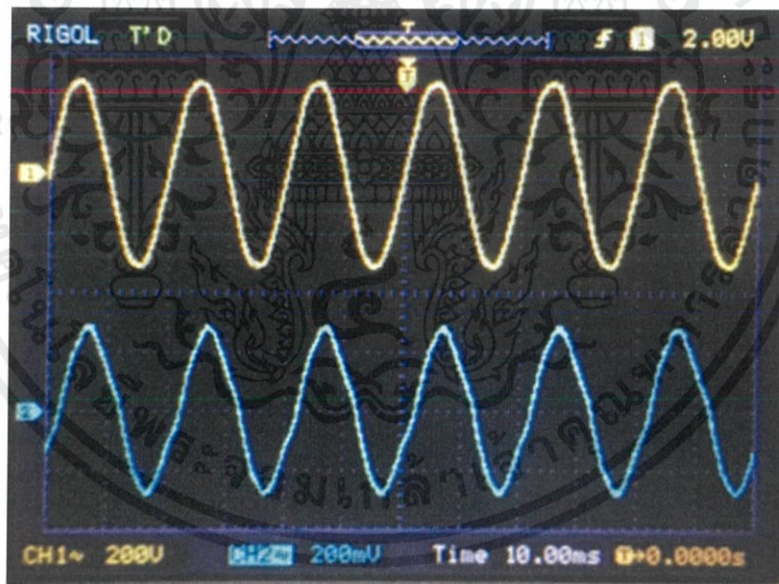


รูปที่ 4.2 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส a กรณีแรงดันไฟฟ้าปกติ 3 เฟสสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส b กรณีแรงดันไฟฟ้าปกติ 3 เฟสสมดุล



รูปที่ 4.4 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส c กรณีแรงดันไฟฟ้าปกติ 3 เฟสสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

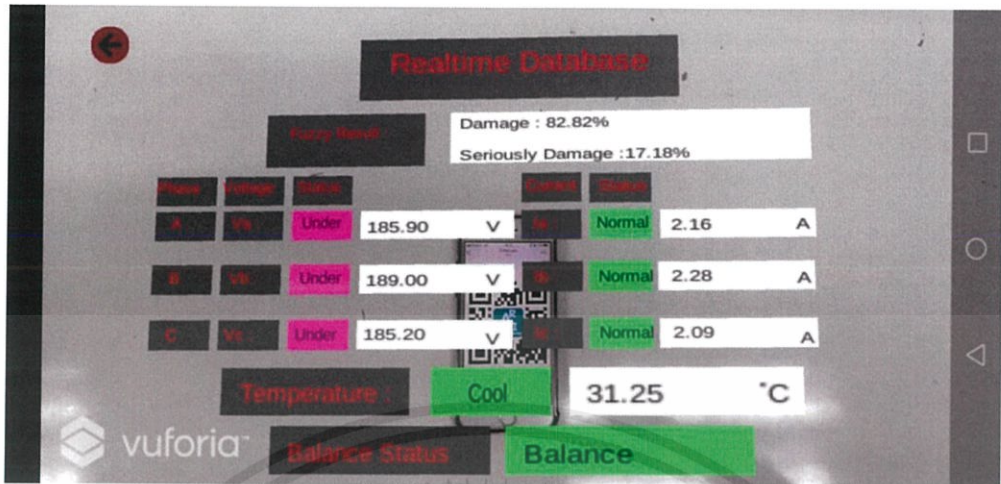
4.2 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ (Under Voltage)

4.2.1 ผลการทดลองจากโมดูล PZEM-004T โมดูล LM35 และผลการประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้วยระบบ AI (Fuzzy)

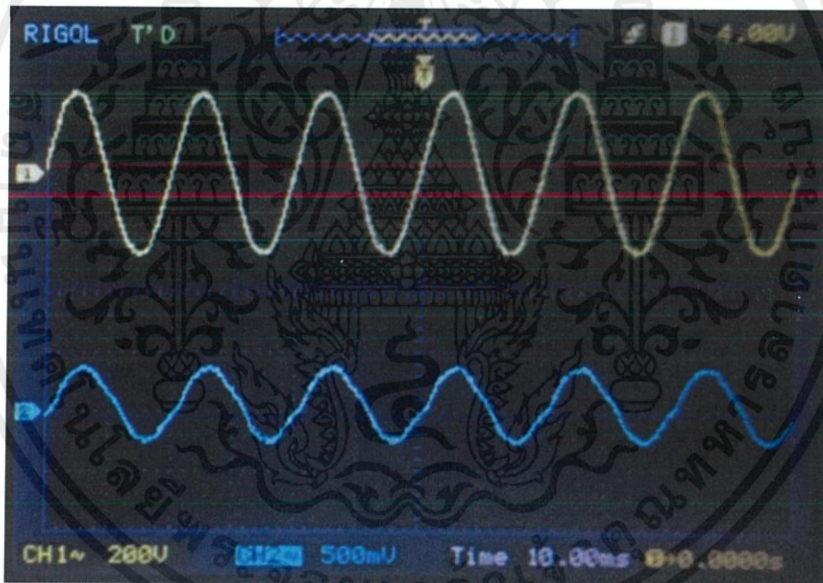
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองกรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ (Under Voltage)

Voltage (V)			Current (A)			Temperature (°C)	Result (%)		
V _a	V _b	V _c	I _a	I _b	I _c		G	D	SD
185.90	189.00	185.20	2.16	2.28	2.09	31.25	-	82.82	17.18
186.30	186.60	185.50	2.15	2.27	2.12	31.25	-	81.61	18.39
179.60	183.10	179.10	2.23	2.35	2.17	31.25	-	41.99	58.01
189.90	192.90	188.70	2.12	2.23	2.04	29.79	15.37	84.63	-
180.10	180.60	176.80	2.25	2.38	2.19	31.74	-	15.55	84.45

เมื่อกำหนดให้ผลการประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสเป็นสัดส่วนร้อยละระหว่าง G D และ SD โดย G = Good, D = Damage และ SD = Seriously Damage

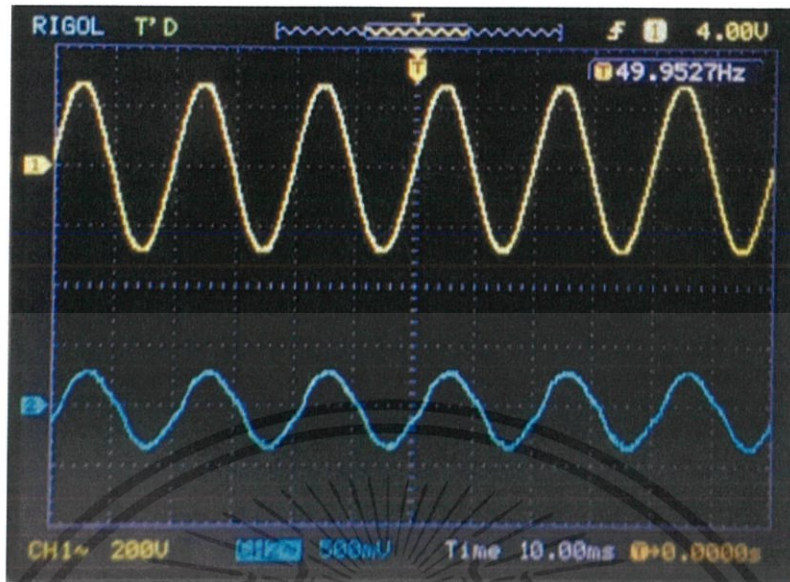


รูปที่ 4.5 หน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ของแอปพลิเคชัน AR กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ

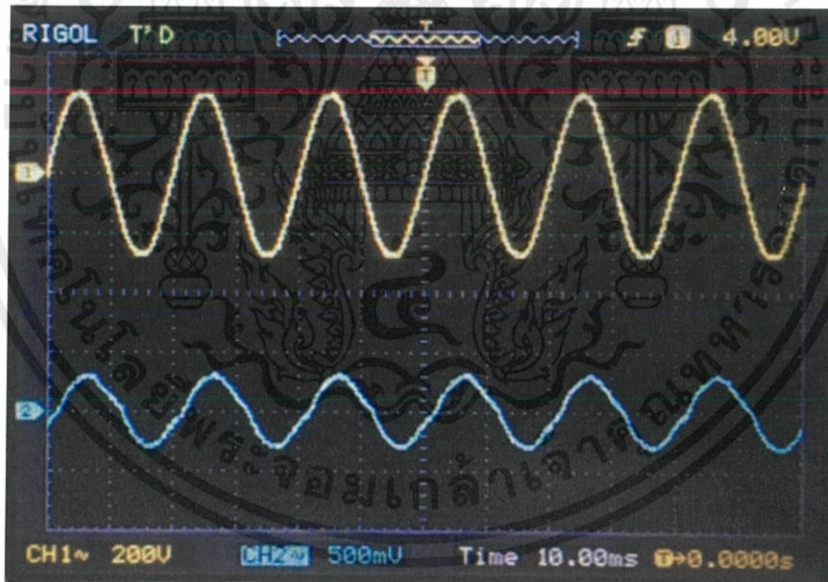


รูปที่ 4.6 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส a กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส b กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ



รูปที่ 4.8 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส c กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

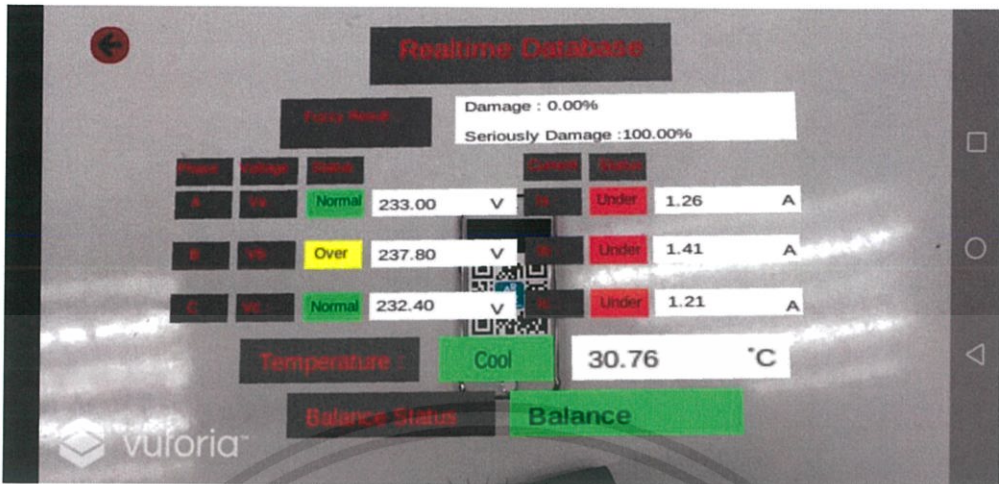
4.3 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสสูงกว่าปกติ (Over Voltage)

4.3.1 ผลการทดลองจากโมดูล PZEM-004T โมดูล LM35 และผลการประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้วยระบบ AI (Fuzzy)

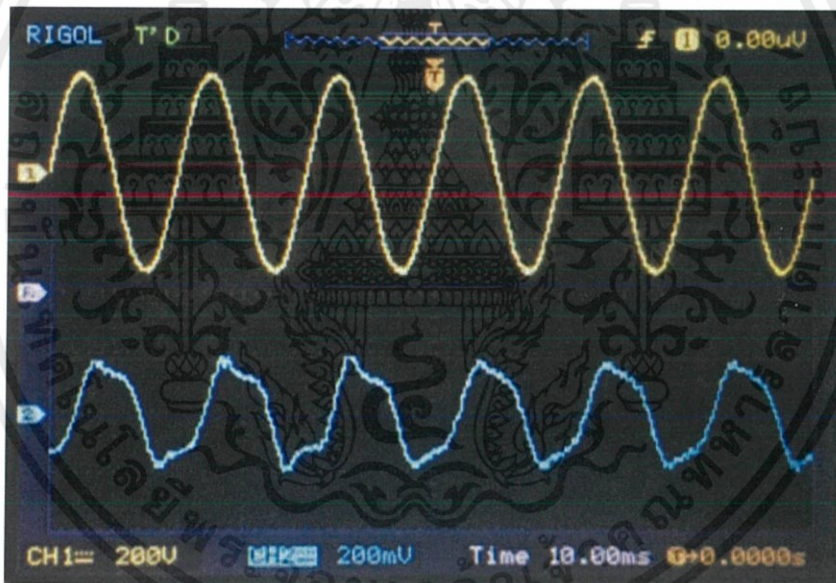
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองกรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสสูงกว่าปกติ (Over Voltage)

Voltage (V)			Current (A)			Temperature (°C)	Result (%)		
V _a	V _b	V _c	I _a	I _b	I _c		G	D	SD
233.00	237.80	232.40	1.26	1.41	1.21	30.76	-	0.00	100.00
238.30	243.80	232.00	1.26	1.51	1.28	31.25	0.20	99.80	-
238.30	243.80	237.00	1.33	1.51	1.28	31.25	0.20	99.80	-
238.70	244.00	238.00	1.33	1.51	1.28	34.67	0.20	99.80	-
232.60	237.40	232.40	1.25	1.41	1.21	31.25	-	0.00	100.00

เมื่อกำหนดให้ผลการประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสเป็นสัดส่วนร้อยละระหว่าง G D และ SD โดย G = Good, D = Damage และ SD = Seriously Damage

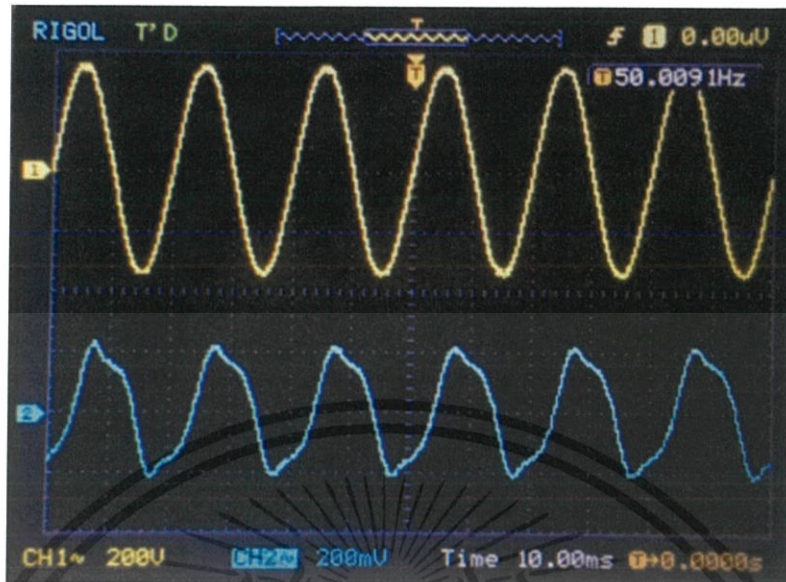


รูปที่ 4.9 หน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ของแอปพลิเคชัน AR กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสสูงกว่าปกติ

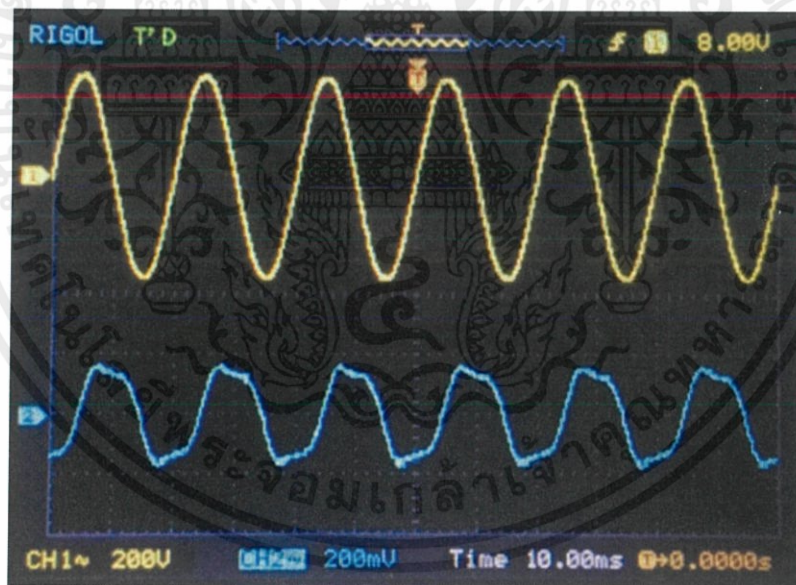


รูปที่ 4.10 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส a กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสสูงกว่าปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส b กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสสูงกว่าปกติ



รูปที่ 4.12 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส c กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสสูงกว่าปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

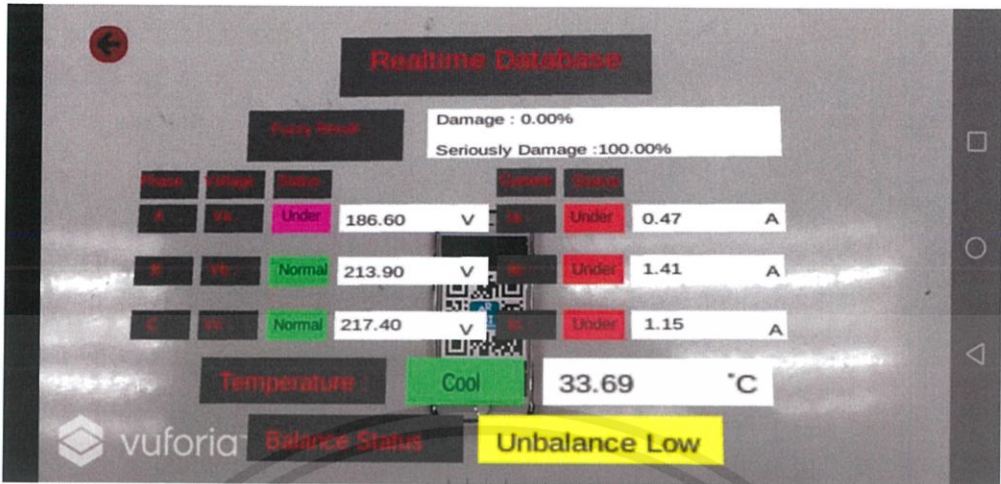
4.4 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสไม่สมดุล (Unbalance Voltage)

4.4.1 ผลการทดลองจากโมดูล PZEM-004T โมดูล LM35 และผลการประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้วยระบบ AI (Fuzzy)

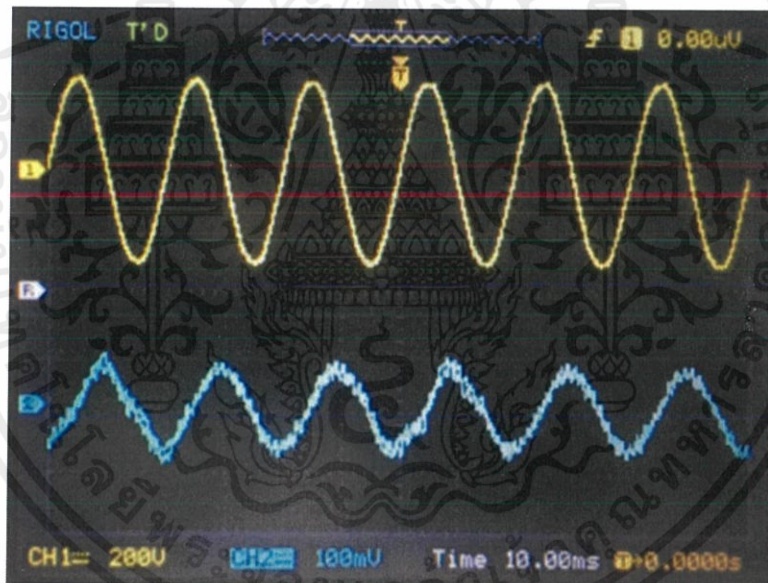
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองกรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสไม่สมดุล (Unbalance Voltage)

Voltage (V)			Current (A)			Temperature (°C)	Result (%)		
V _a	V _b	V _c	I _a	I _b	I _c		G	D	SD
186.60	213.90	217.40	0.47	1.41	1.15	33.69	-	0.00	100.00
180.90	205.80	199.90	0.45	1.42	1.16	33.69	-	0.00	100.00
186.80	214.60	209.40	0.47	1.43	1.16	32.23	-	0.00	100.00
190.90	218.50	216.20	0.48	1.49	1.22	32.23	-	0.00	100.00
192.90	221.90	216.00	0.48	1.50	1.21	32.23	-	0.00	100.00

เมื่อกำหนดให้ผลการประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสเป็นสัดส่วนร้อยละระหว่าง G D และ SD โดย G = Good, D = Damage และ SD = Seriously Damage

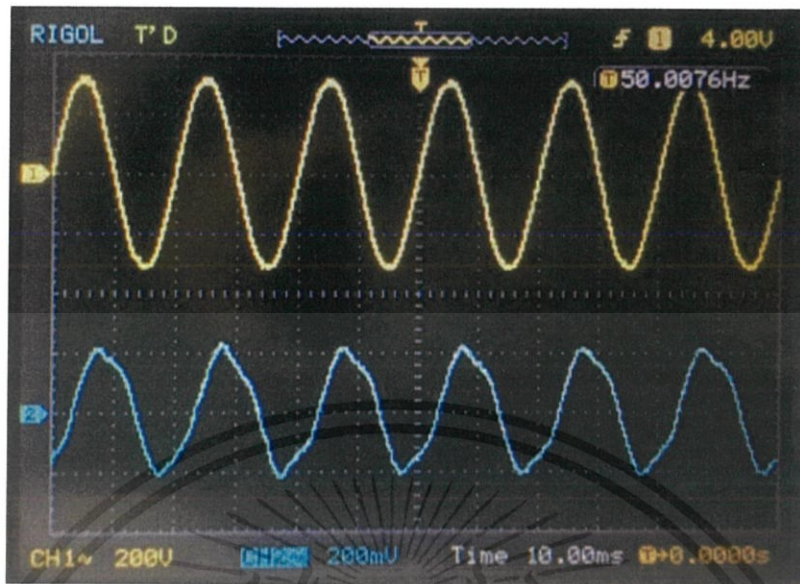


รูปที่ 4.13 หน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ของแอปพลิเคชัน AR กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสไม่สมดุล

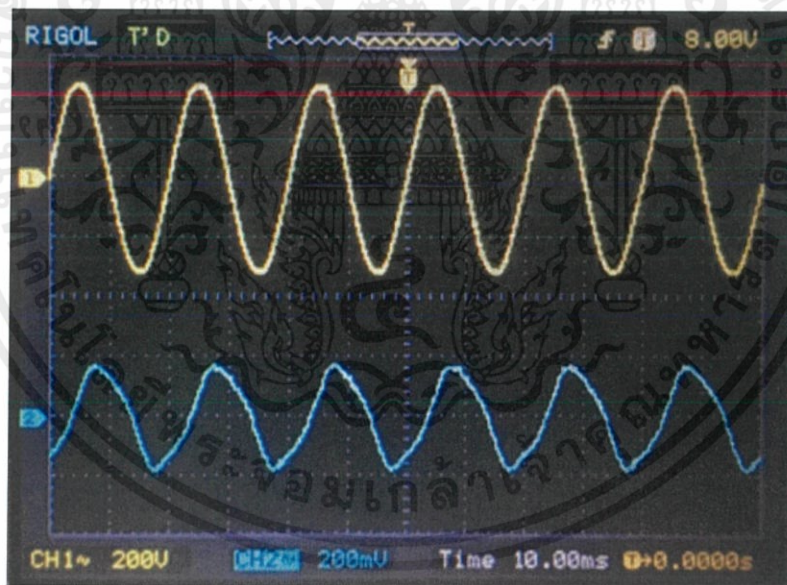


รูปที่ 4.14 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส a กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสไม่สมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส b กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสไม่สมดุล



รูปที่ 4.16 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส c กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสไม่สมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

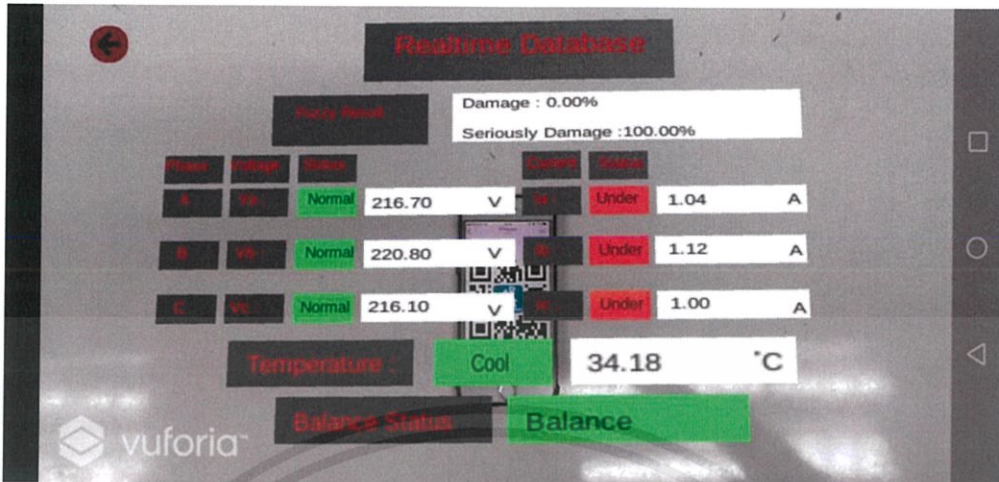
4.5 กรณีโหลดเกิน (Overload)

4.5.1 ผลการทดลองจากโมดูล PZEM-004T โมดูล LM35 และผลการประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้วยระบบ AI (Fuzzy)

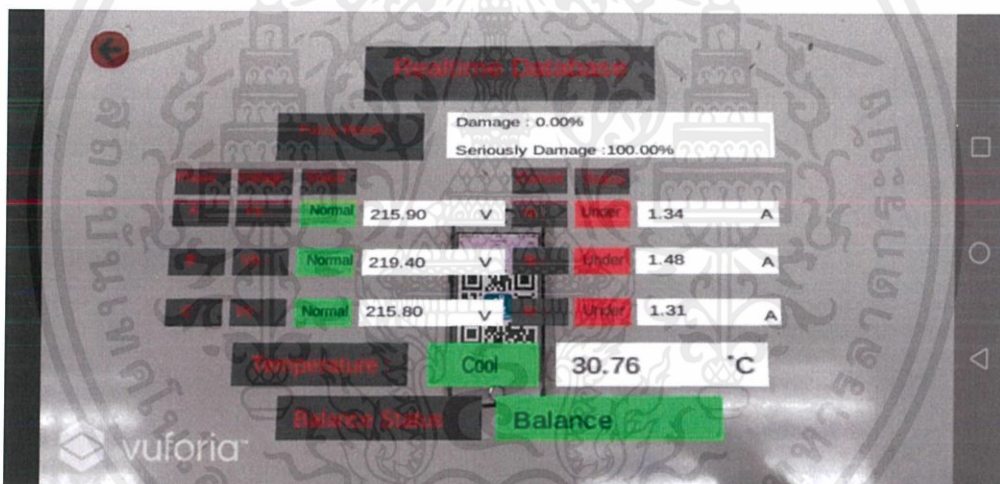
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองกรณีโหลดเกิน (Overload)

Voltage (V)			Current (A)			Temperature (°C)	Result (%)		
V _a	V _b	V _c	I _a	I _b	I _c		G	D	SD
216.70	220.80	216.10	1.04	1.12	1.00	34.18	-	0.00	100.00
215.90	219.40	215.80	1.34	1.48	1.31	30.76	-	0.00	100.00
215.00	220.00	215.50	2.10	2.29	2.06	31.74	11.50	88.50	-
214.80	219.80	215.20	2.23	2.41	2.19	32.71	-	0.00	100.00

เมื่อทดลองในกรณีมีโหลด 0% 50% 100% และมากกว่า 100% ตามลำดับ และกำหนดให้ผลการประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสเป็นสัดส่วนร้อยละระหว่าง G D และ SD โดย G = Good, D = Damage และ SD = Seriously Damage

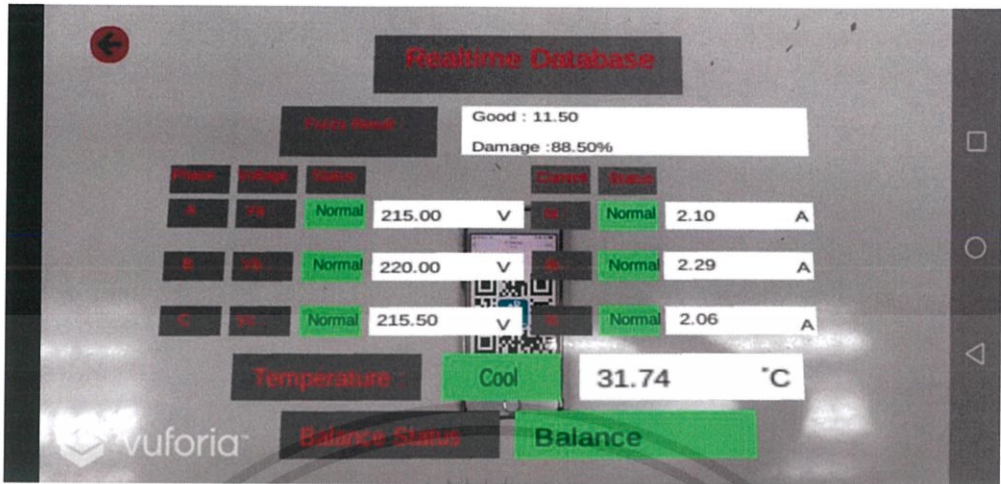


รูปที่ 4.17 หน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ของแอปพลิเคชัน AR กรณีโหลด 0%



รูปที่ 4.18 หน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ของแอปพลิเคชัน AR กรณีโหลด 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 หน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ของแอปพลิเคชัน AR กรณีโหลด 100%



รูปที่ 4.20 หน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ของแอปพลิเคชัน AR กรณีโหลดมากกว่า 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

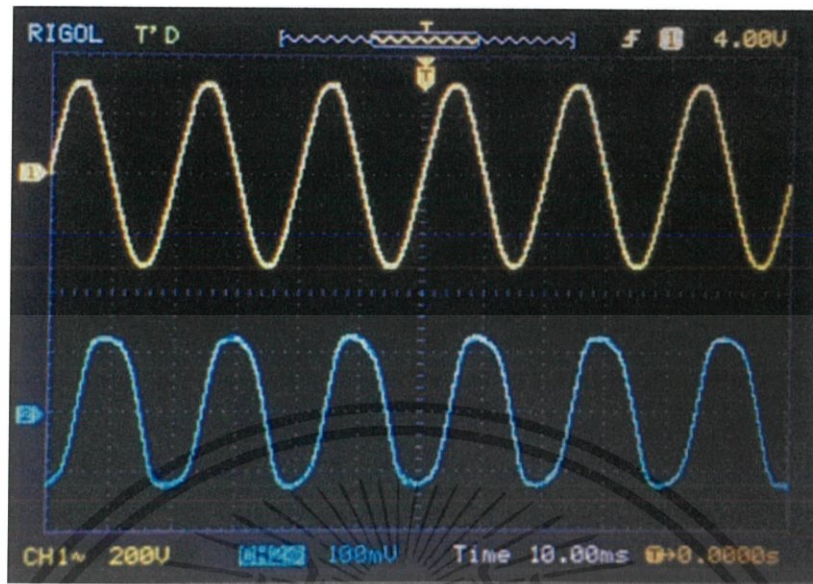


รูปที่ 4.21 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส a กรณีโหลด 0%

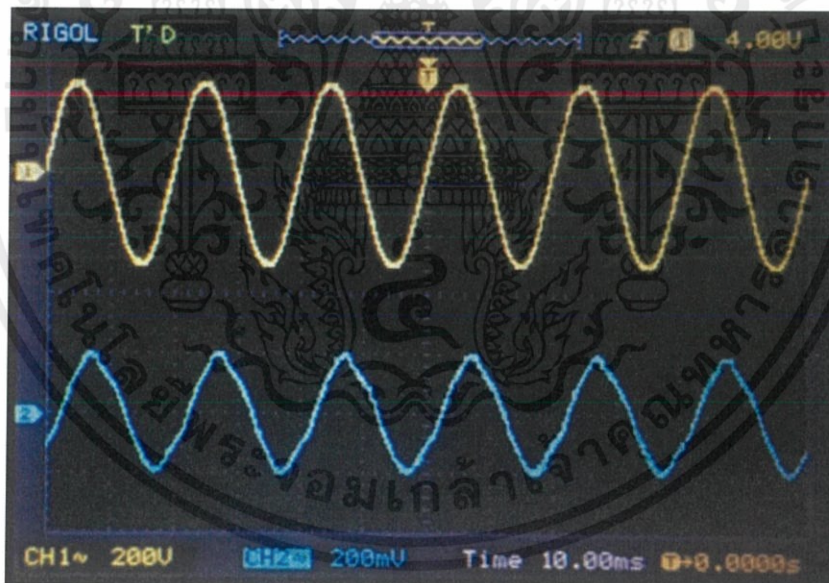


รูปที่ 4.22 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส b กรณีโหลด 0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

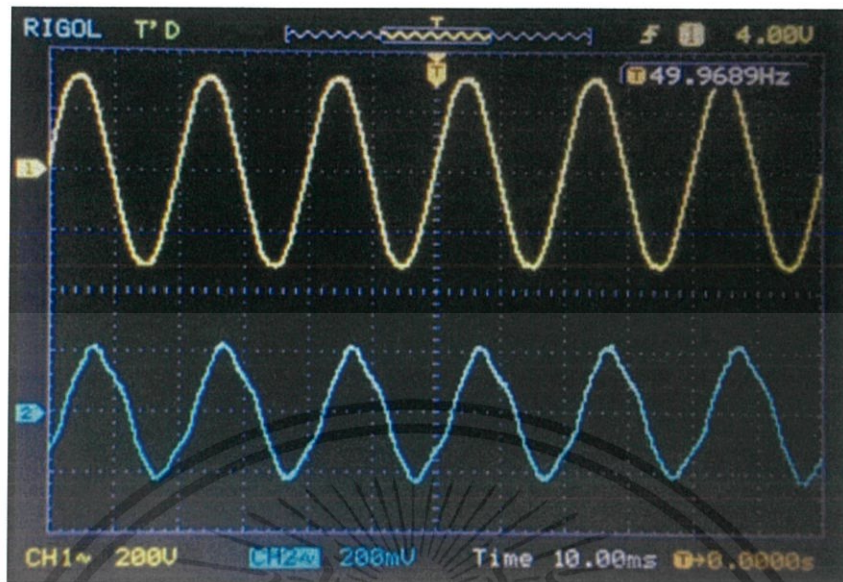


รูปที่ 4.23 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส c กรณียโหลด 0%

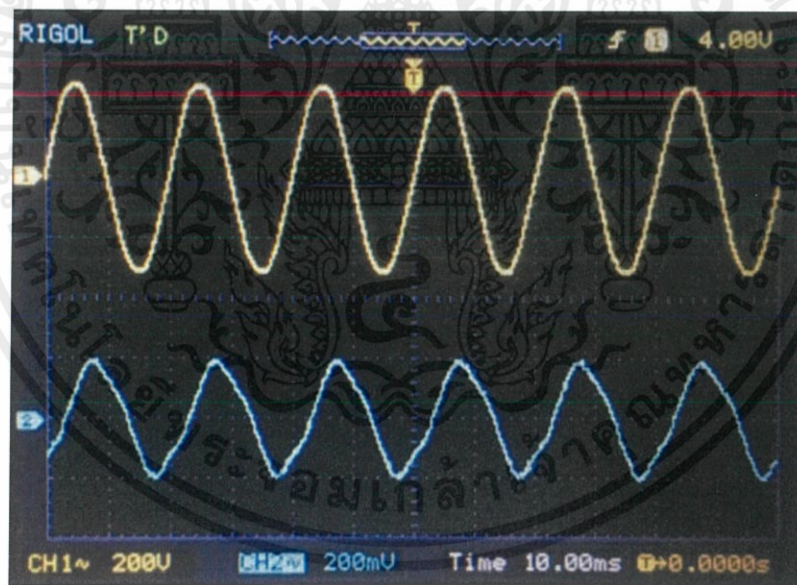


รูปที่ 4.24 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส a กรณียโหลด 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส b กรณีโหลด 50%

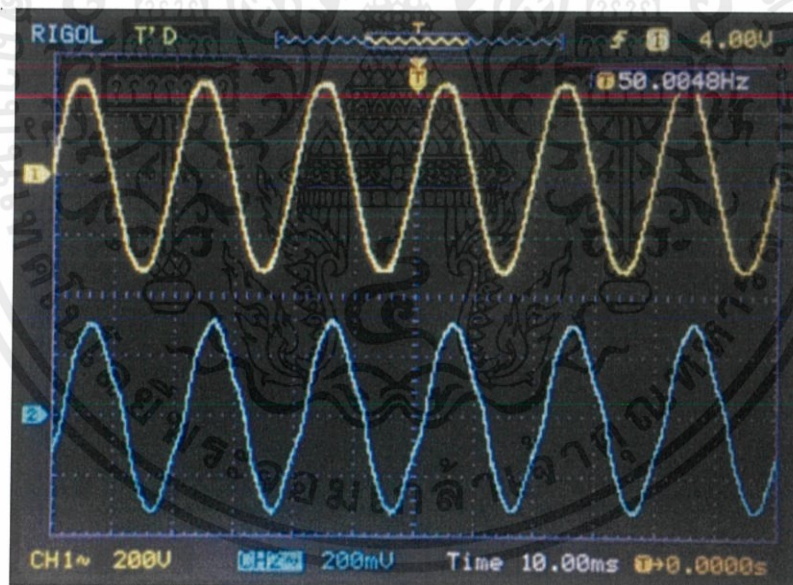


รูปที่ 4.26 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส c กรณีโหลด 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

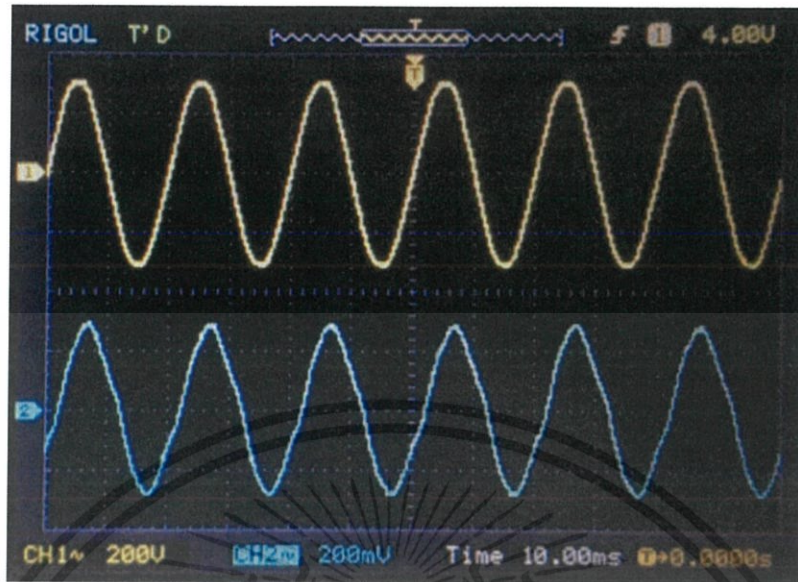


รูปที่ 4.27 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส a ภาระโหลด 100%

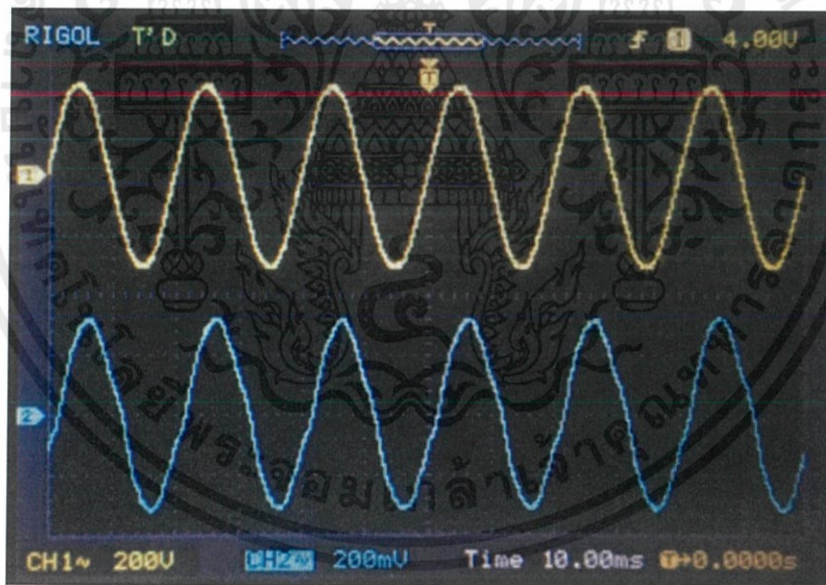


รูปที่ 4.28 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส b ภาระโหลด 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส c กรณีโหลด 100%

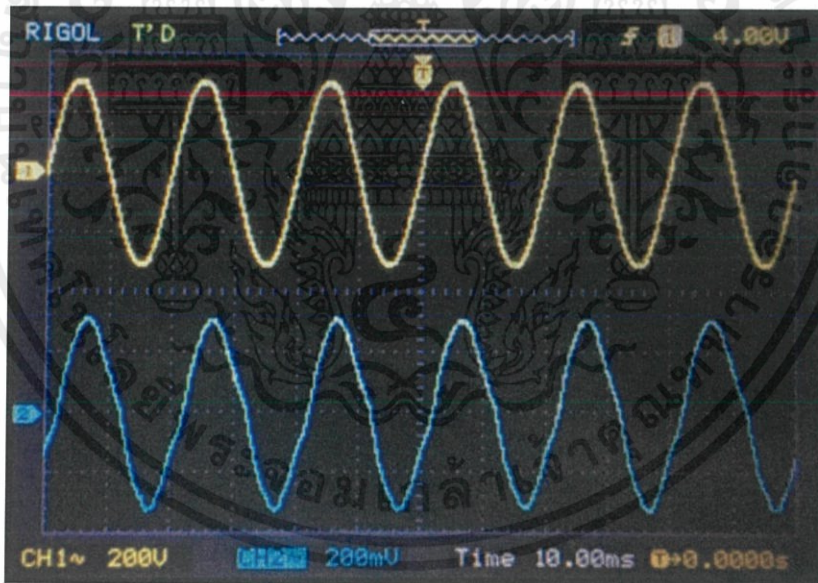


รูปที่ 4.30 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส a กรณีโหลดมากกว่า 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส b กรณีโหลดมากกว่า 100%



รูปที่ 4.32 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส c กรณีโหลดมากกว่า 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

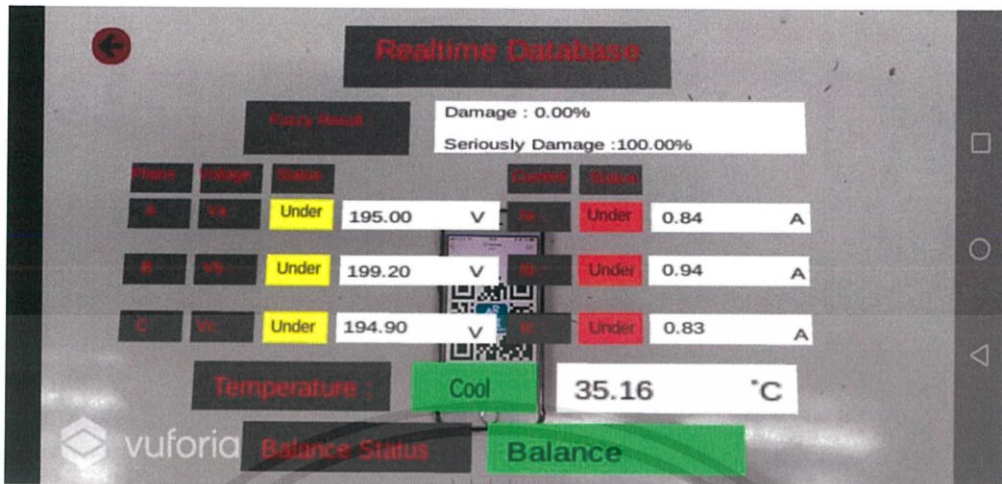
4.6 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ (Under Voltage) และโหลดเกิน (Overload)

4.6.1 ผลการทดลองจากโมดูล PZEM-004T โมดูล LM35 และผลการประเมินสถานะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้วยระบบ AI (Fuzzy)

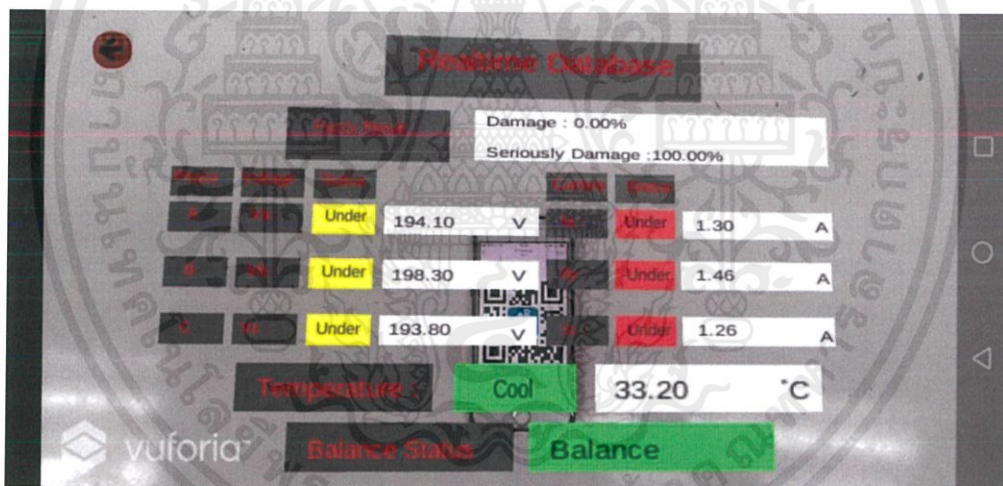
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองกรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ (Under Voltage) และโหลดเกิน (Overload)

Voltage (V)			Current (A)			Temperature (°C)	Result (%)		
V _a	V _b	V _c	I _a	I _b	I _c		G	D	SD
195.00	199.20	194.90	0.84	0.94	0.83	35.16		0.00	100.00
194.10	198.30	193.80	1.30	1.46	1.26	33.20		0.00	100.00
193.50	197.40	193.20	2.20	2.34	2.14	31.74		75.53	24.47
193.20	197.30	193.10	2.36	2.38	2.18	31.74		44.89	55.11

เมื่อทดลองในกรณีมีโหลด 0% 50% 100% และมากกว่า 100% ตามลำดับ และกำหนดให้ผลการประเมินสถานะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสเป็นสัดส่วนร้อยละระหว่าง G D และ SD โดย G = Good, D = Damage และ SD = Seriously Damage

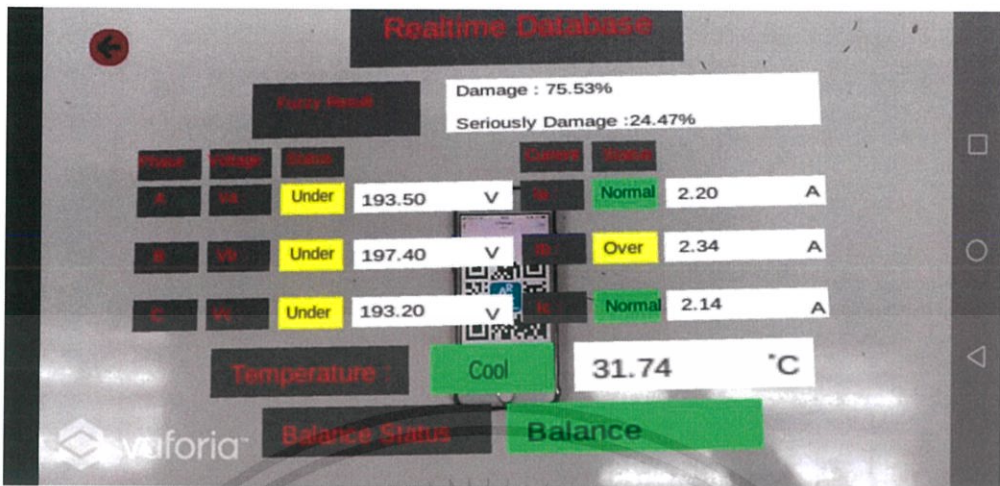


รูปที่ 4.33 หน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ของแอปพลิเคชัน AR กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติและโหลด 0%

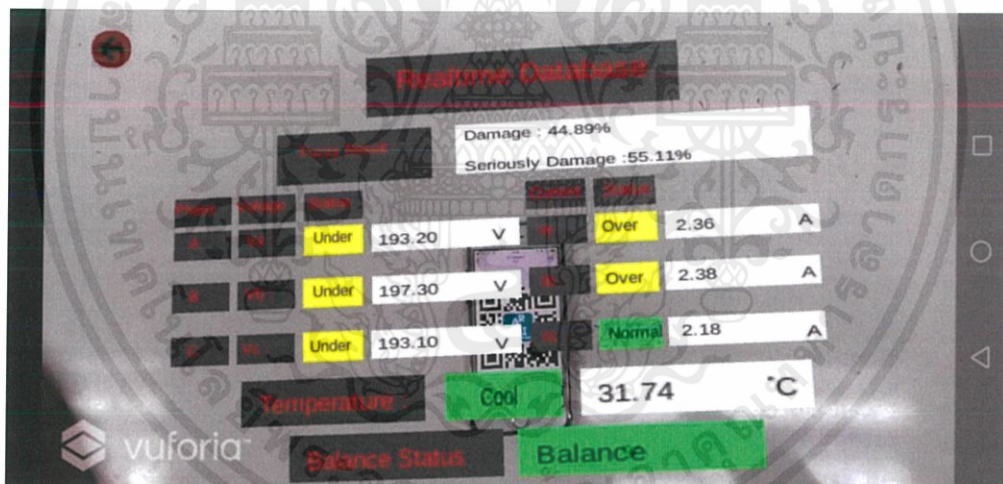


รูปที่ 4.34 หน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ของแอปพลิเคชัน AR กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ และโหลด 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

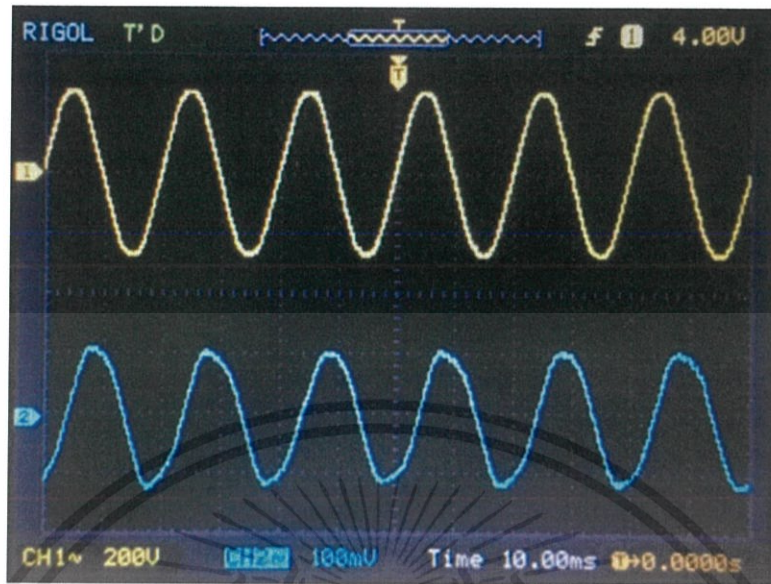


รูปที่ 4.35 หน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ของแอปพลิเคชัน AR กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ และโหลด 100%

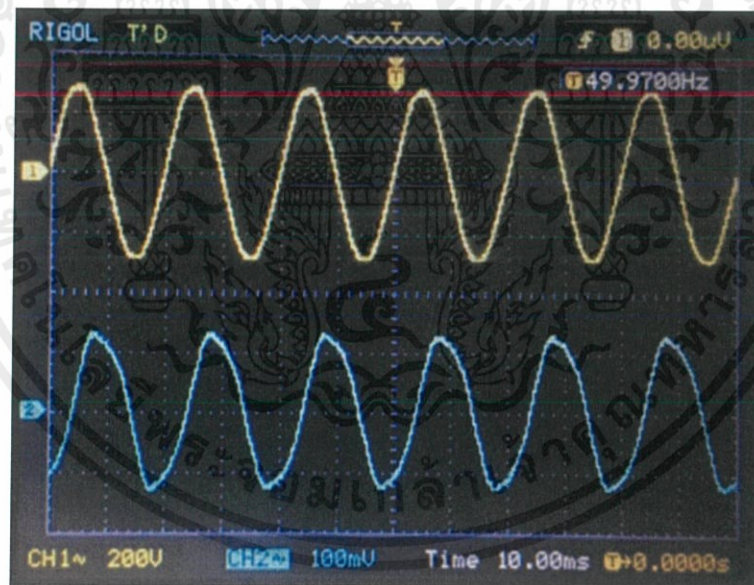


รูปที่ 4.36 หน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ของแอปพลิเคชัน AR กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ และโหลดมากกว่า 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

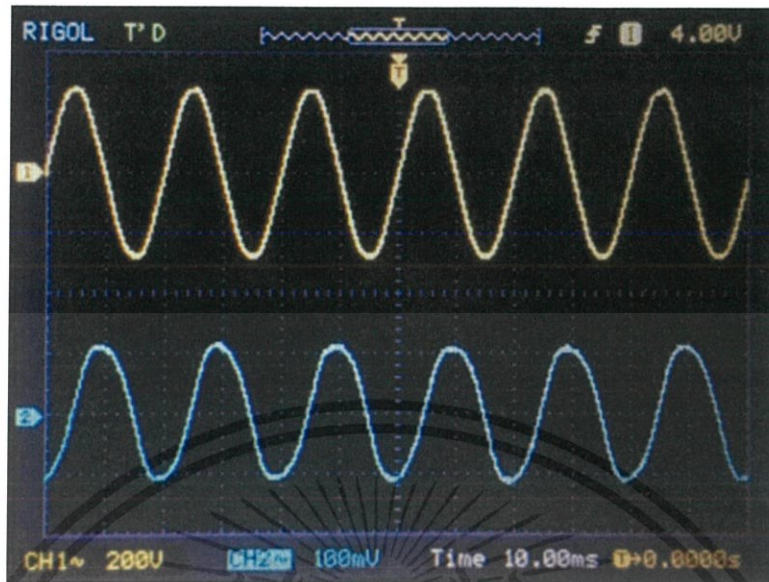


รูปที่ 4.37 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส a กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ และโหลด 0%

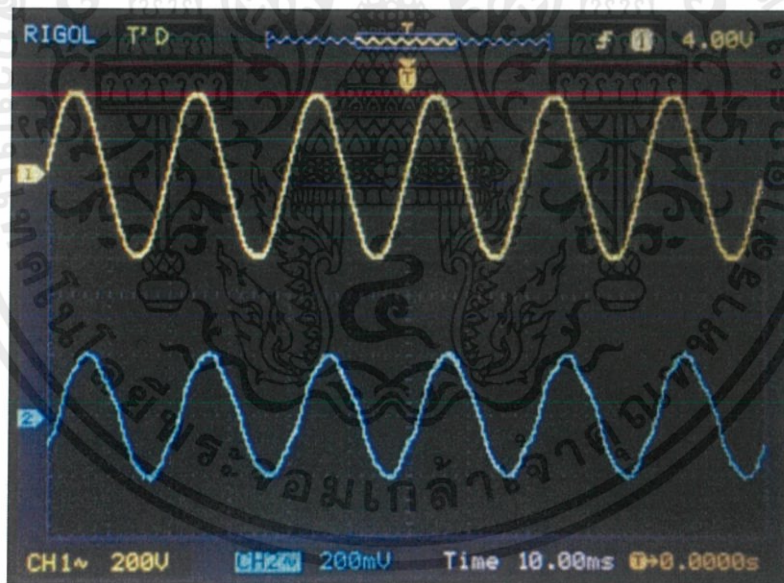


รูปที่ 4.38 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส b กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ และโหลด 0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.39 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส c กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ และโหลด 0%

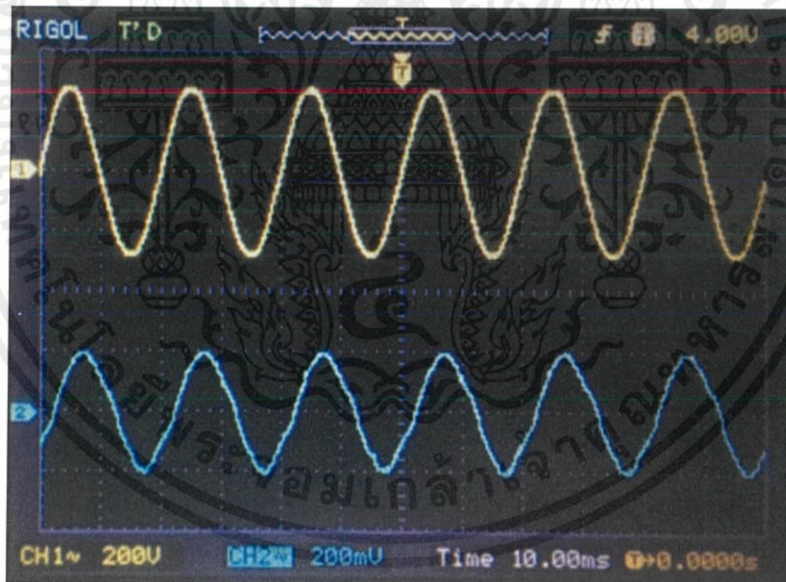


รูปที่ 4.40 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส a กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ และโหลด 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

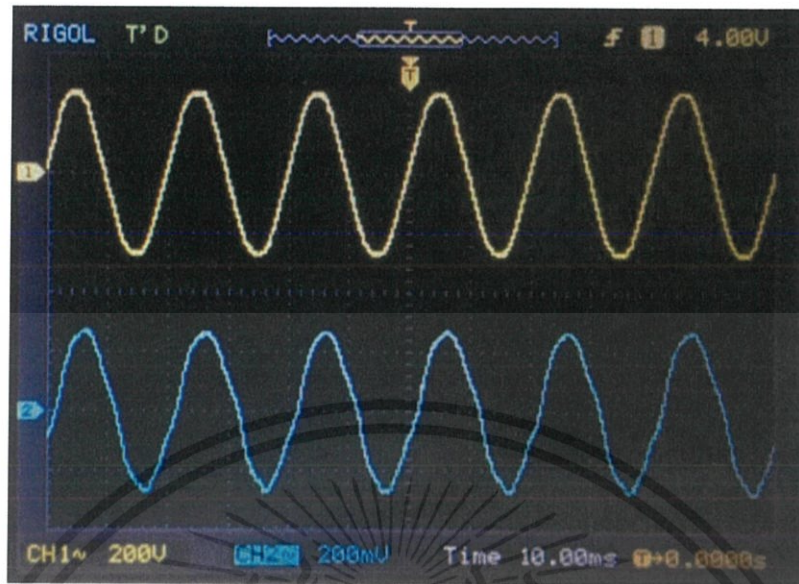


รูปที่ 4.41 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส b กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ และโหลด 50%

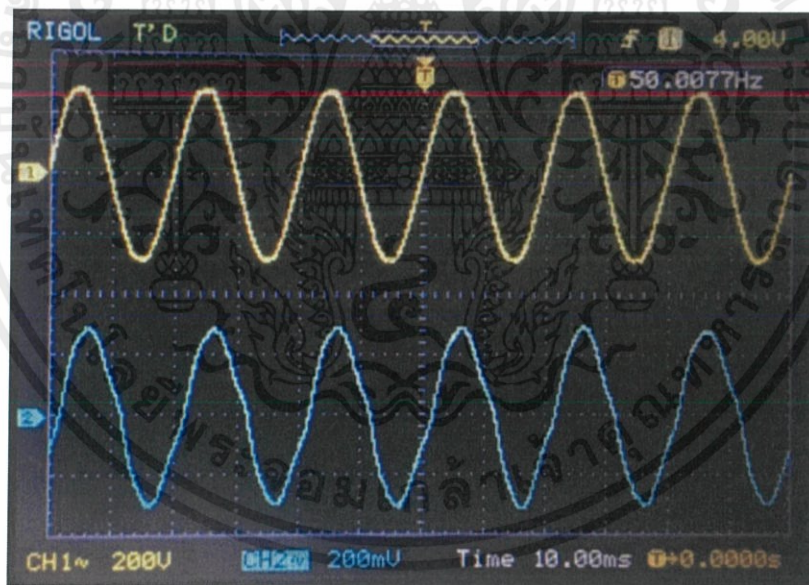


รูปที่ 4.42 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส c กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ และโหลด 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

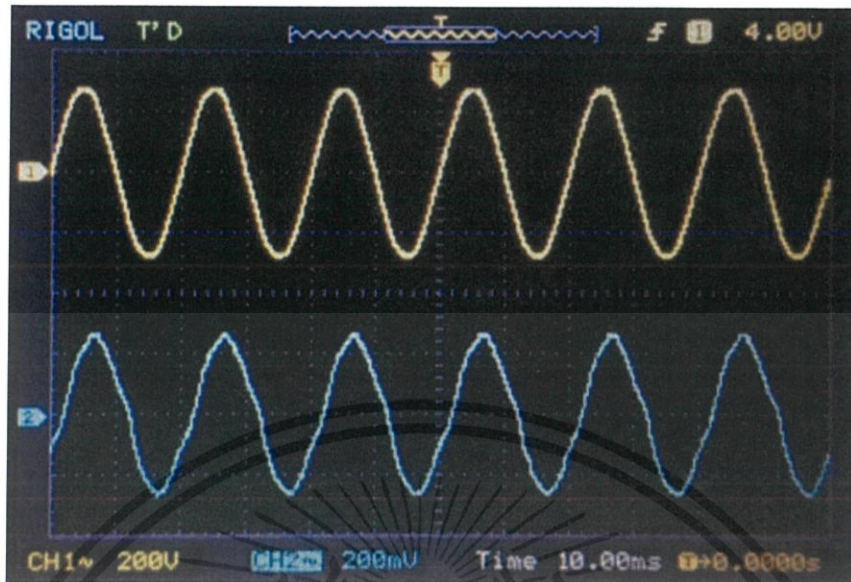


รูปที่ 4.43 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส a กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ และโหลด 100%

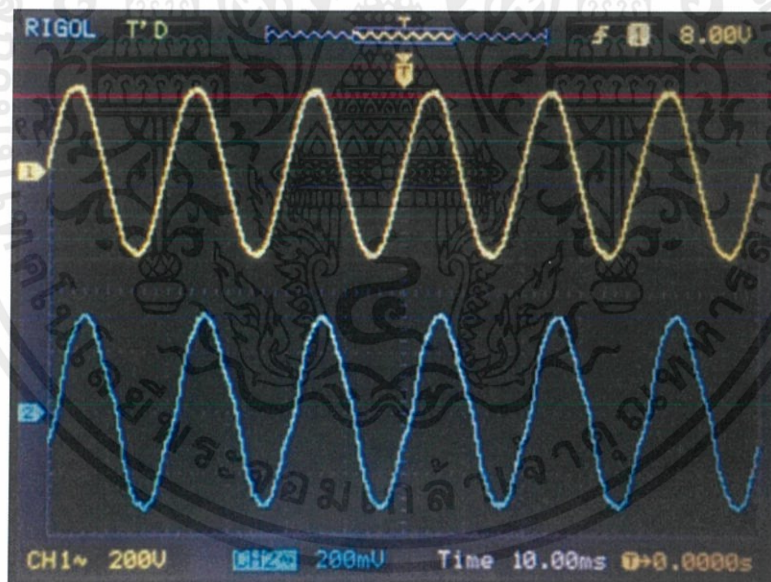


รูปที่ 4.44 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส b กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ และโหลด 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

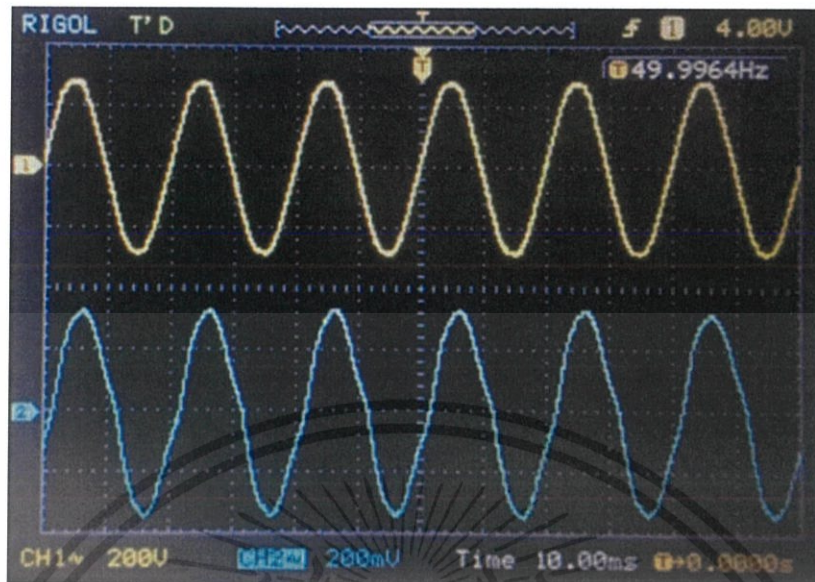


รูปที่ 4.45 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส c กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ และโหลด 100%

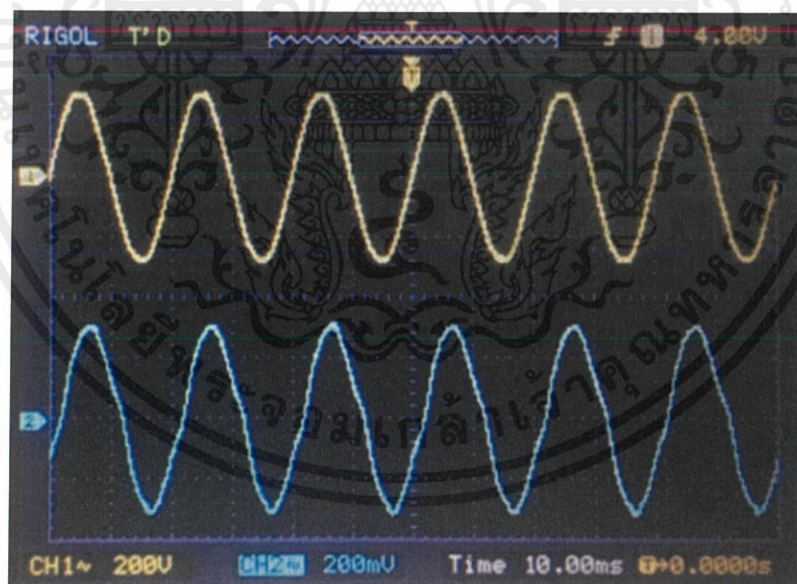


รูปที่ 4.46 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส a กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ และโหลดมากกว่า 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.47 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส b กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ และโหลดมากกว่า 100%



รูปที่ 4.48 กราฟแรงดันและกระแสของเฟส c กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ และโหลดมากกว่า 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

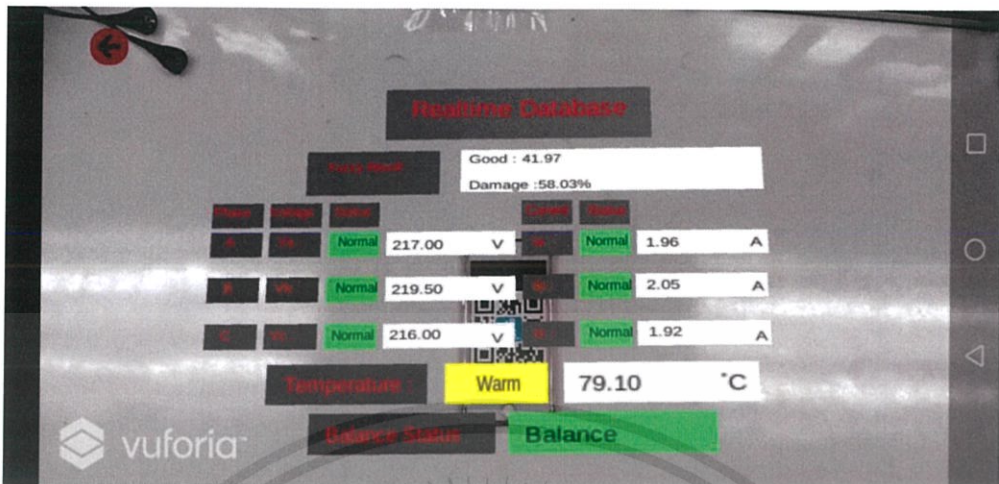
4.7 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสสมดุลและอุณหภูมิเกิน (Over Temperature)

4.7.1 ผลการทดลองจากโมดูล PZEM-004T โมดูล LM 35 และผลการประเมินสถานะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้วยระบบ AI (Fuzzy)

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองกรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสสมดุลและอุณหภูมิเกิน (Over Temperature)

Voltage (V)			Current (A)			Temperature (°C)	Result (%)		
V _a	V _b	V _c	I _a	I _b	I _c		G	D	SD
217.00	219.50	216.00	1.96	2.05	1.92	79.10	41.97	58.03	-
217.00	219.20	215.70	1.96	2.05	1.93	89.36	47.97	52.03	-
217.80	220.90	217.10	1.06	1.09	1.03	88.87	-	0.00	100.00
217.30	219.30	216.10	1.95	2.04	1.92	81.54	22.25	77.75	-
216.90	219.50	215.80	1.96	2.04	1.92	70.31	41.97	58.03	-

เมื่อกำหนดให้ผลการประเมินสถานะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสเป็นสัดส่วนร้อยละระหว่าง G D และ SD โดย G = Good, D = Damage และ SD = Seriously Damage



รูปที่ 4.49 หน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ของแอปพลิเคชัน AR กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส สมดุลและอุณหภูมิเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การเฝ้าระวังและประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสด้วยระบบ AI ร่วมกับ AR จากผลการทดลองพบว่าแอปพลิเคชันสามารถใช้งานได้และเพียงพอที่จะประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสโดยอาศัยระบบ AI ที่ได้พัฒนาขึ้นจากกระบวนการฟิชชันลอจิกและสามารถนำเสนอผลการประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ในรูปแบบ AR ผ่านแอปพลิเคชันได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยแอปพลิเคชันมีรูปแบบการใช้งานที่ง่าย สามารถใช้งานได้ทั้งแบบออฟไลน์(กรอกค่าทางไฟฟ้าเองโดยผู้ใช้งาน) และแบบดึงค่าทางไฟฟ้าขณะที่มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสทำงาน สามารถเฝ้าระวังการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส และบอกผลการประเมินสภาวะการทำงานในขณะที่มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสกำลังทำงานที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจ ทำให้การตรวจสอบหรือการติดตามสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส เพื่อป้องกันอันตรายที่สามารถเกิดขึ้นนั้นมีประสิทธิภาพ ง่ายต่อการใช้งานและมีความสะดวกสบายต่อผู้ใช้งานมากยิ่งขึ้น โดยการทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้ได้ใช้ความรู้ด้านต่างๆ เพื่อให้ได้ผลการทดลองดังกล่าว โดยต้องศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสที่ใช้ในการทดลอง กระบวนการฟิชชันลอจิก การเลือกใช้โมดูลต่างๆ การเขียนคำสั่งควบคุมบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และคำสั่งในการติดต่อสื่อสารระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังระบบฐานข้อมูล การเขียนแอปพลิเคชันที่เชื่อมต่อกับฐานข้อมูล รวมทั้งการนำผลลัพธ์มาแสดงผลผ่านระบบ AR ได้แบบเรียลไทม์

5.1 บทสรุปของโครงการ

การจัดทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้มีการศึกษาและอาศัยความรู้การประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสโดยใช้กระบวนการฟิชชันลอจิกที่ออกแบบและจำลองผลการใช้งานจากโปรแกรม MATLAB ความรู้ในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้โมดูลที่เหมาะสมและใช้งานได้จริงเพื่อวัดค่าทางไฟฟ้า ส่งข้อมูลที่วัดได้ไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รวมทั้งการส่งข้อมูลระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์โดยเชื่อมต่อผ่านอนุกรมและเขียนคำสั่งเพื่อที่จะส่งข้อมูลจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังระบบฐานข้อมูลและการออกแบบสร้างแอปพลิเคชันที่ดึงค่าทางไฟฟ้าที่วัดได้ซึ่งเก็บไว้บนฐานข้อมูลมาประเมินสภาวะด้วยฟิชชันลอจิก แล้วนำเสนอแสดงผลผ่านระบบ AR ได้แบบ

เรียลไทม์อีกด้วย โดยความรู้ที่ต้องใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ดังกล่าวได้ทำการศึกษาจากหนังสือวิชาการ สื่อการเรียนรู้ในรูปแบบวิดีโอ วารสารทางวิชาการรวมถึงอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำปริญญานิพนธ์ ส่งผลให้คณะผู้จัดทำมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องต่างๆ มากยิ่งขึ้น ทั้งการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส กระบวนการฟิชซีลอจิก รูปแบบการใช้งานของโมดูลต่างๆ รูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่าง ฐานข้อมูลกับโมดูล การติดต่อสื่อสารระหว่างฐานข้อมูลกับแอปพลิเคชัน การใช้งานระบบ AR รวมไปถึง การออกแบบแอปพลิเคชัน การทำงานแบบเรียลไทม์ของแอปพลิเคชัน นอกจากนี้ยังได้เรียนรู้ถึงการ ทำงานร่วมกับผู้อื่น การทำงานท่ามกลางสภาวะกดดันเนื่องจากต้องแข่งขันกับเวลาและกระบวนการ การแก้ปัญหาทางวิศวกรรมอย่างเป็นระบบโดยอาศัยความรู้พื้นฐานเดิมและทักษะในการแก้ไขปัญหาเฉพาะ หน้า

5.2 ปัญหาอุปสรรคและแนวทางแก้ไข

1. เนื่องจากมีการติดต่อสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับระบบฐานข้อมูล Firebase เพราะฉะนั้นจะต้องมีการเรียกใช้ Library สำหรับการติดต่อสื่อสารดังกล่าวในการเขียนคำสั่ง โดย Library นี้ อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากการปรับปรุงและอัปเดต Firebase ฉะนั้นหากไม่มีการ อัปเดต Library เมื่อมีการอัปเดต Firebase จะทำให้ไม่สามารถส่งข้อมูลไปยัง Firebase ได้ จึงต้องหมั่น ติดตามข่าวสารหรือการประกาศจาก Firebase อยู่เสมอรวมไปถึงหมั่นอัปเดต Library ต่างๆ ที่ใช้ในการ เขียนคำสั่ง

2. เนื่องจากอินเทอร์เน็ตไร้สายของทางสถาบันต้องการพิสูจน์ยืนยันตัวตนก่อน โดยการกรอก Username และ Password ในเว็บเบราว์เซอร์ก่อนใช้งาน การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตไร้สายของ อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อส่งข้อมูลไปยังระบบฐานข้อมูลจึงไม่สามารถใช้อินเทอร์เน็ตไร้สายของ ทางสถาบันได้ จึงได้ทำการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตไร้สายส่วนตัวที่ไม่ต้องการพิสูจน์ยืนยันตัวตนก่อนใช้งาน แทน เช่น การแชร์การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตผ่านโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น

3. เนื่องจากแอปพลิเคชันที่ได้ออกแบบสร้างขึ้นรองรับเฉพาะระบบ Android เวอร์ชัน ตั้งแต่ 4.4 (kitkat) เป็นต้นไป หากเป็นเวอร์ชันที่ต่ำกว่านี้แอปพลิเคชันจะไม่สามารถทำงานได้ตามที่ ออกแบบไว้ ผู้ใช้งานจึงควรอัปเดตระบบปฏิบัติการ Android ให้มีเวอร์ชันที่สูงกว่าหรือเท่ากับเวอร์ชัน 4.4

4. เนื่องจากแอปพลิเคชันที่สร้างขึ้นมีการใช้งานระบบ AR ในการแสดงผลจึงมีความจำเป็นต้องใช้สัญญาณอินเทอร์เน็ตในการทำงาน หากผู้ใช้งานต้องการที่จะใช้งานระบบดังกล่าวจึงจำเป็นต้องใช้สัญญาณอินเทอร์เน็ตใ้การใช้งานแอปพลิเคชันของเราด้วย แต่ทั้งนี้เราก็ได้ออกแบบแอปพลิเคชันมีโหมดการทำงานให้สามารถประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ได้แม้ไม่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ตเพียงไม่สามารถใ้การแสดงผลด้วยระบบ AR ได้

5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อ

1. สามารถนำทฤษฎีอื่นๆ ที่น่าเชื่อถือรวมถึงประสบการณ์ในการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสมาใช้ในกระบวนการฟuzzyลอจิกเพื่อให้ได้ผลการประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ดังกล่าวที่ถูกต้อง แม่นยำและครอบคลุมมากยิ่งขึ้น
2. เพิ่มปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส เพื่อการวิเคราะห์ ประเมินและการติดตามสภาวะการทำงานได้ครอบคลุมยิ่งขึ้น เช่น กำลังไฟฟ้า ความเร็วรอบ แรงสั่นสะเทือน เป็นต้น
3. เพิ่มความถูกต้องและแม่นยำโดยการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงโมดูลภายในวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน
4. ปรับปรุงแอปพลิเคชันให้สามารถประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ได้หลายๆ แบบในแอปพลิเคชันเดียว
5. ออกแบบสร้างแอปพลิเคชันใ้ใช้งานในระบบอื่นๆ ได้ด้วย เช่น IOS, Windows phone เป็นต้น
6. เพิ่มระบบควบคุมการทำงานโดยใช้อินเทอร์เน็ต เช่น สามารถปิดระบบการทำงานของมอเตอร์ได้ด้วยสมาร์ทโฟน โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Internet of Thing

เอกสารอ้างอิง

- [1] ไชยชาญ หินเกิด, เครื่องกลไฟฟ้า 2, ครั้งที่พิมพ์.3 กรุงเทพฯ, สนพ.สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, 2553.
- [2] พิชิต ล้ายอง, เครื่องจักรกลไฟฟ้า, ครั้งที่พิมพ์.2 กรุงเทพฯ, สนพ.มีน เซอร์วิส ซัพพลาย, 2554.
- [3] ชูพันธ์ รัตนโกคา, “ ความรู้เบื้องต้นทางปัญญาประดิษฐ์, ” เอกสารคำสอน, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2559, หน้า 178-186.
- [4] วิวัฒน์ มีสุวรรณ, “ การเรียนรู้ด้วยการสร้างโลกเสมือนผสมผสานโลกจริง, ” วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, ปีที่13, ฉบับที่ 2, 2554, หน้า 2-5.
- [5] อภิชาติ หัตถนิรันดร์, “ ระบบปัญญาประดิษฐ์, ” www.go.toknow.org/posts/354245,2555.
- [6] กิตติยาภรณ์ ชันทอง, จิรายุ ชมศรี, ชนีสรา ศรีเกิน, ณัฐชน โชติ คำแสง, “ การประยุกต์ใช้ระบบสนับสนุนความจริงเสมือนออกแบบสร้างระบบเฟ้าระวังและตรวจติดตามการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส, ” ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2560.
- [7] Peter Tavner, Li Ran, Jim Penman, Howard Sedding, *Condition Monitoring of Rotating Electrical Machines*, The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom, 2008.
- [8] M. Zeraoulia, A. Mamoune, H. Mangel, M.E.H. Benbouzid, “ A Simple Fuzzy Logic Approach for Induction Motors Stator Condition Monitoring,” *J. Electrical Systems* 1-1, 2005, pp. 16-24.
- [9] O. Uyer, M. Cankas, “ Design of Fuzzy Logic Based Motor Protection System,” *6th International Advanced Technologies Symposium*, 2011, pp. 443-447.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] Jonathan Lonower, Krystian Babilinski, “Augmented Reality for Developers”, Birmingham: Packt Publishing Ltd., 2017
- [11] บทความ “ESP8266 ESP8285 กับการใช้งาน Firebase ระบบฐานข้อมูลเรียลไทม์จาก Google,” www.ioxhop.com, 2560.
- [12] บทความ “การส่งข้อมูลหากันระหว่าง Arduino to Nodemuc Esp8266 โดยผ่าน Serial,” www.9arduino.com, 2560.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การเฝ้าระวังและประเมินผลสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส
ด้วยระบบ AI ร่วมกับ AR**
**CONDITIONS MONITORING AND ASSESSMENT OF 3-PHASE INDUCTION MOTOR
BY AI AND AR**

นางสาวสโรชา สาสีพันธ์, นางสาวสาวิตรี ศรีแก้ว, นายหัตถ์ สุทธิพงษ์, นางสาวอนัญญา คุณาวา

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

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ขอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3515 E-Mail: power@kmitl.com

บทคัดย่อ

ปฏิญานินพนธ์นี้นำเสนอการพัฒนาและออกแบบระบบติดตามและประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยใช้ระบบ AI ร่วมกับ AR โดยการออกแบบประกอบด้วยวงจรวัดค่าพารามิเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส มาใช้และทำการพัฒนาซอฟต์แวร์แอปพลิเคชันในสมาร์ตโฟนด้วยการวิเคราะห์แบบ AI โดยนำระบบ AI มาประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ซึ่งวิเคราะห์จากค่าพารามิเตอร์ คือ แรงดันไฟฟ้า กระแสและอุณหภูมิ สภาวะการทำงานของมอเตอร์ที่ถูกวิเคราะห์และประเมินสามารถตรวจสอบและรายงานโดยระบบ ARแบบเรียลไทม์ การทำงานของระบบเริ่มต้นด้วยข้อมูลที่รับจากวงจรจะถูกส่งไปยังฐานข้อมูล Firebase จากนั้นซอฟต์แวร์แอปพลิเคชันที่ทำงานด้วยระบบ AI จะดึงข้อมูลเพื่อประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ และผลการประเมินจะถูกรายงานให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ของ Good, Damage และ Seriously Damage พร้อมกับคำแนะนำซึ่งวิเคราะห์และตัดสินใจจากระบบ AI

คำสำคัญ : ฟัซซี่ลอจิก, ระบบสนับสนุนความจริงเสมือน, ระบบปัญญาประดิษฐ์, ระบบเฝ้าระวังและประเมินสภาวะ

Abstract

This project presents the development of conditions monitoring and assessment system for 3-phase induction motor by implementing AI and AR. The design consists of implementing the 3-phases measuring circuits and developing AI-based diagnostic application software. By using the AI to evaluate operating conditions of the motor continuously, i.e., voltages, currents and temperature, the performance of the motor can then be monitored and reported by AR in the real-time manner. Operation of the system starts with data from the

measurement circuit is sent to the Firebase database and then the AI-based application software retrieves the data to evaluate condition of the motor. Finally, evaluation results will then be reported semantically in a percentage of Good, Damage and Seriously Damage together with the expert suggestion of decision using AI.

Keywords: Fuzzy logic, Augmented reality, Artificial Intelligence, Conditions monitoring and assessment system

1. บทนำ

ปัจจุบันมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำใช้งานอย่างแพร่หลายไม่ว่าจะเป็นในโรงงานอุตสาหกรรม ที่อยู่อาศัย แม้กระทั่งเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไปในชีวิตประจำวัน เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น มีความแข็งแรง โครงสร้างไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการบำรุงรักษา สามารถทำงานได้ในหลากหลายสภาพแวดล้อม อีกทั้งยังสามารถควบคุมความเร็วรอบได้ ซึ่งการใช้งานมอเตอร์จำเป็นต้องมีการติดตามสภาวะการทำงานของมอเตอร์นั้น เพื่อเป็นการเฝ้าระวังและป้องกันปัญหาที่อาจส่งผลเสียต่อมอเตอร์หรือผู้ใช้งาน เช่น ถ้าหากมอเตอร์ภายในโรงงานอุตสาหกรรมเกิดความเสียหายหรือหยุดทำงานอย่างกะทันหันอาจส่งผลให้โรงงานนั้นไม่สามารถดำเนินการผลิตได้ตามที่วางแผนไว้และส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นเพิ่มมากขึ้น เป็นต้น ดังนั้น การติดตามการทำงานและประเมินสภาวะของมอเตอร์จึงมีความสำคัญอย่างมากสำหรับการประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ยังต้องอาศัยผู้ที่มีความรู้และความเชี่ยวชาญด้านมอเตอร์เพราะจำเป็นต้องใช้ประสบการณ์เกี่ยวกับการทำงานของมอเตอร์ เพื่อมาประเมินผลสภาวะการทำงานของมอเตอร์จากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่วัดได้ จึงได้มีการศึกษาค้นคว้าและทำการทดลองในการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้กับปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น โดย

ปัจจุบันระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) หรือ AI เป็นเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้ในการช่วยตัดสินใจและแก้ปัญหาในด้านต่างๆ โดยคุณสมบัติของ AI นั้นสามารถคิดและตัดสินใจเองได้ ซึ่งเราได้นำระบบดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (Augmented Reality) หรือ AR โดยที่ระบบ AR จะทำหน้าที่บอกสถานะการทำงานของมอเตอร์ที่กำลังทำงานได้แบบเรียลไทม์ และแสดงผลสถานะการทำงานของมอเตอร์ผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน ซึ่งสามารถใช้งานได้สะดวก ง่ายต่อความเข้าใจและปลอดภัยในการติดตามสถานะการทำงานของมอเตอร์และแก้ไขปัญหาได้อย่างทันทั่วทั้ง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การติดตามและเฝ้าระวังมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

ปัจจุบันแม้ว่ามอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเป็นที่นิยมอย่างมากแต่ก็ยังมีข้อผิดพลาดและความเสียหายเกิดกับมอเตอร์อยู่บ่อยครั้ง การเฝ้าระวังความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้น เพื่อให้ใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง สามารถป้องกันและแก้ไขปัญหาได้ทันที ควรมีการติดตามผลและเฝ้าระวังในจุดที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดปัญหา [1] ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า (Voltage Monitoring) กระแสไฟฟ้า (Current Monitoring) และอุณหภูมิ (Temperature Monitoring) [2]

1.การติดตามและเฝ้าระวังแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า (Voltage Monitoring)

สาเหตุหนึ่งที่ทำให้มอเตอร์เสียหายอาจเกิดจากแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าผิดปกติ ซึ่งมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ ความผิดปกตินี้ประกอบด้วย

1.1 แรงดันเกิน (Over-Voltage) การจ่ายแรงดันที่สูงเกินไปให้กับมอเตอร์เป็นการทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กเข้าสู่สถานะอิ่มตัว เป็นเหตุให้มอเตอร์ต้องดึงกระแสไฟฟ้ามากขึ้น ทำให้เกิดความร้อนและอายุการใช้งานก็จะสั้นลงตามไปด้วย ซึ่งมาตรฐาน IEC 60034-1 ระบุให้ใช้ไม่สูงกว่า 105% ของพิกัด

1.2 แรงดันต่ำ (Under-Voltage) การจ่ายแรงดันที่ต่ำเกินไป กระแสไฟฟ้าจะถูกป้อนมากขึ้น เพื่อให้กำลังไฟฟ้าจ่ายคงเดิม ทำให้เกิดความร้อนสูงในขดลวดของมอเตอร์ ส่งผลให้ความเป็นฉนวนลดลงและอายุการใช้งานสั้นลงด้วย หรืออาจเกิดจากระยะห่างระหว่างมอเตอร์กับแหล่งจ่ายไฟฟ้า ซึ่งมาตรฐาน IEC 60034-1 ระบุให้ใช้ไม่ต่ำกว่า 95% ของพิกัด

1.3 แรงดันไม่สมดุล (Unbalance-Voltage) ความไม่สมดุลของระดับแรงดันไฟฟ้าไม่เพียงจะส่งผลให้กระแสไฟฟ้า

ในขดลวดโรเตอร์และสเตเตอร์ไม่เท่ากันแล้วนั้น ยังทำให้กระแสไฟฟ้าไม่สมดุลที่เกิดขึ้นมีเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลสูง 6 ถึง 10 เท่าเมื่อเทียบกับเปอร์เซ็นต์ของแรงดันไฟฟ้าที่ไม่สมดุล และผลของการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า จะทำให้เกิดความร้อนของฉนวนขึ้นและทำให้มีผลต่ออายุการใช้งานของมอเตอร์ไฟฟ้าโดยตรง และการเกิดแรงดันไม่สมดุลก็จะทำให้แรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้าลดลงด้วย โดยแรงดันเฉลี่ยแต่ละเฟสหาได้จากสมการ 2.1

$$V_{avg} = (V_{ab} + V_{bc} + V_{ca}) / 3 \tag{2.1}$$

จากนั้นหาความต่างที่มากที่สุดระหว่างแรงดันเฉลี่ยแต่ละเฟสที่คำนวณกับแรงดันแต่ละเฟสและนำไปคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันไม่สมดุลจากสมการ 2.2

$$\%VB = (\text{ความต่างของแรงดันที่มากที่สุด} \div \text{แรงดันเฉลี่ยแต่ละเฟส}) \times 100\% \tag{2.2}$$

โดยที่ %VB คือ ค่าแรงดันไม่สมดุล

ตารางที่ 2.1 ระดับแรงดันใช้งานของมอเตอร์เหนี่ยวนำตามมาตรฐาน IEC 60034-1

แรงดันไฟฟ้าที่พิกัด (Rated Voltage)	ระดับแรงดันต่ำสุด (Minimum Voltage)		ระดับแรงดันสูงสุด (Maximum Voltage)		ความถี่ไฟฟ้าที่พิกัด (Rated Frequency)
	95%	110%	95%	110%	
220	209	198	231	242	50
230	219	207	242	253	60
380	361	342	399	418	60
460	437	414	483	506	60

2. การติดตามและเฝ้าระวังด้านกระแสไฟฟ้า (Current Monitoring)

การขับภาระทางกลเกินกำลังเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อายุการใช้งานของมอเตอร์ลดลง เมื่อกระแสที่ไหลเกินค่าที่พิกัดจะทำให้มีความร้อนเกิดขึ้น จึงจำเป็นต้องเฝ้าระวัง โดยมาตรฐาน NEMA MG-1 ระบุว่าเมื่อมอเตอร์ทำงานที่แรงดันพิกัด ความถี่ที่พิกัด และกำลังขาออกที่พิกัด กระแสไฟฟ้าจะไม่เปลี่ยนแปลงจาก Nameplate เกิน 10% กล่าวคือกระแสขณะขับโหลดเต็มพิกัดสามารถมีค่าได้ไม่ต่ำกว่า 90% หรือไม่สูงกว่า 110% ของค่าที่ระบุไว้ใน Nameplate ส่วนมาตรฐาน IEC

60034-1 ไม่ได้ระบุช่วงที่เปลี่ยนแปลงได้ของกระแสไฟฟ้าที่ Nameplate แต่ให้ค่าพิกัดที่ Nameplate เป็นค่าที่แน่นอน

3. การติดตามและเฝ้าระวังด้านอุณหภูมิ (Temperature Monitoring)

การใช้งานมอเตอร์ที่มีอุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน หรืออาจมาจากแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้อุณหภูมิของขดลวดอาร์มาเจอร์เพิ่มขึ้น ฉนวนของขดลวดเสื่อมสภาพลง ดังนั้นจำเป็นต้องมีการติดตามและเฝ้าระวังอุณหภูมิเพื่อป้องกันความเสียหาย ซึ่งจำเป็นต้องทราบว่ามีมอเตอร์ที่เราใช้งานอยู่มีระดับชั้นทางความร้อนหรือเรียกว่า Insulation class อยู่ในระดับใดเพื่อจะสามารถตั้งค่าป้องกันได้เหมาะสม โดยที่อุณหภูมิสูงสุดนั้นหมายถึงอุณหภูมิห้องสูงสุดรวมกับอุณหภูมิเพิ่มสูงสุดที่ยอมรับได้และค่าเผื่อทางอุณหภูมิซึ่งคือค่าที่เผื่อไว้ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของขดลวดและอุณหภูมิ การวัดอุณหภูมิให้ทำในขณะที่สถานะคงตัว (Steady State) โดยตำแหน่งที่มีอุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ที่กลางมอเตอร์สำหรับมอเตอร์แบบเปิด ส่วนมอเตอร์แบบปิดจะอยู่ที่ตำแหน่งระหว่างกึ่งกลางถึงตำแหน่งที่ได้รับผลกระทบความร้อนจากพัดลมน้อยที่สุด

2.2 ตรรกศาสตร์กำกวม (Fuzzy Logic)

ตรรกศาสตร์กำกวม หรือฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) เป็นศาสตร์ด้านคอมพิวเตอร์ที่ทำงานโดยอาศัยฟัซซีลอจิกที่คิดค้นโดย

L. A. Zadeh ในปี ค.ศ. 1965 ฟัซซีลอจิกเป็นตรรกะที่อยู่บนพื้นฐานความเป็นจริงที่ว่าทุกสิ่งบนโลกแห่งความเป็นจริง ไม่ใช่มีเฉพาะสิ่งที่มีความแน่นอนเท่านั้น แต่มีหลายสิ่งหลายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่เที่ยงและไม่แน่นอน (Uncertain) อาจเป็นสิ่งที่คลุมเครือ (Fuzzy) ไม่ใช่ชัดเจน (Exact) เช่น เขตของอายุคน อาจแบ่งเป็น วัยทารก วัยเด็ก วัยรุ่น วัยกลางคน และวัยชรา จะเห็นได้ว่าในแต่ละช่วงอายุคนไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าวัยทารกกับวัยเด็กแยกจากกันแน่ชัดช่วงใด วัยทารกอาจถูกตีความว่าเป็นอายุระหว่าง 0 ถึง 1 ปี บางคนอาจตีความว่าวัยทารกอยู่ในช่วงอายุ 0 ถึง 2 ปี สิ่งเหล่านี้เป็นตัวอย่างของความไม่แน่นอน ซึ่งเป็นลักษณะทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นทั่วไป เขตของเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอน เช่นนี้เรียกว่า ฟัซซีเซต (Fuzzy Set) [3]

2.3 ระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (Augmented Reality)

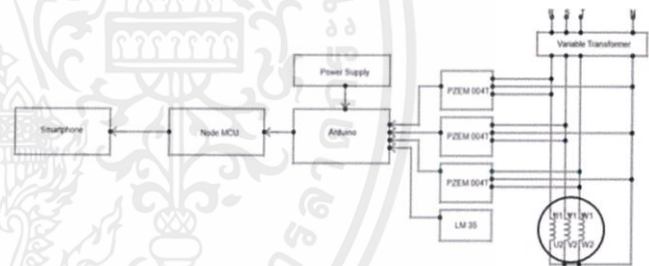
ระบบสนับสนุนความจริงเสมือนเป็นเทคโนโลยีที่นำเทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน (Virtual Reality) ผสมเข้ากับเทคโนโลยีภาพ เพื่อทำให้เห็นเป็นภาพสามมิติในหน้าจอ

โดยที่มีองค์ประกอบของสิ่งแวดล้อมจริงผสมผสานกัน ภาพเสมือนจริง เป็นลักษณะการผสมผสานสภาพแวดล้อมเสมือนจริง (Virtual Environments : VE) มีการโต้ตอบแบบเรียลไทม์ [4],[1]

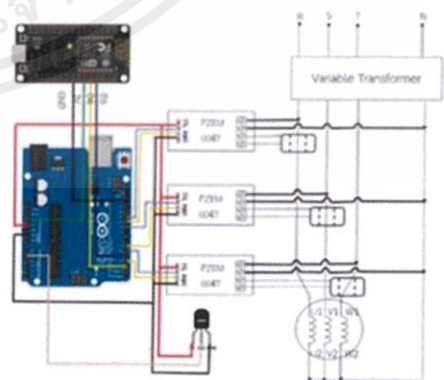
3. การออกแบบและพัฒนา

การออกแบบระบบเฝ้าระวังและประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส เราแบ่งหลักการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ออกแบบฮาร์ดแวร์ และส่วนที่ออกแบบซอฟต์แวร์ โดยเลือกใช้โมดูล PZEM-004T วัดค่ากระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส วัดอุณหภูมิด้วยเซ็นเซอร์ LM35 เชื่อมกับบอร์ด Arduino UNO ส่งข้อมูลด้วย NodeMCU เข้าไปเก็บบนฐานข้อมูล (Firebase) ออกแบบสร้างแอปพลิเคชันในการประเมินผลสภาวะการทำงานของมอเตอร์ด้วย Fuzzy logic แสดงผลลัพธ์ให้มีความน่าสนใจยิ่งขึ้นผ่านสมาร์ตโฟนด้วยระบบสนับสนุนความจริงเสมือน (AR)

3.1 หลักการออกแบบฮาร์ดแวร์

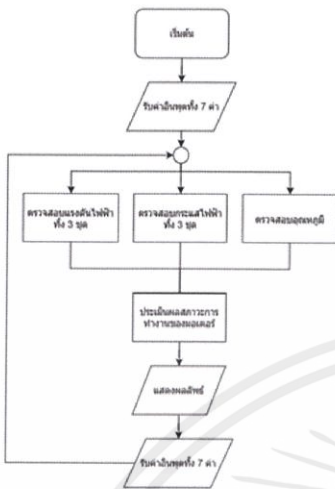


รูปที่ 1 ภาพรวมของระบบ



รูปที่ 2 วงจรรวม

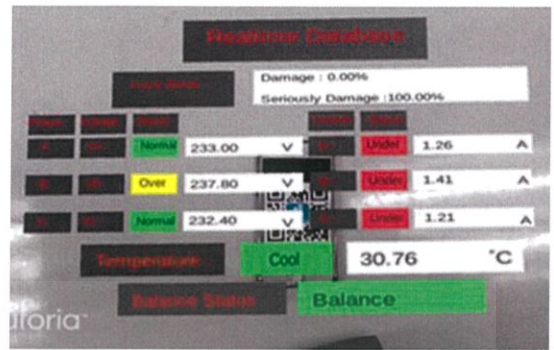
3.2 หลักการออกแบบซอฟต์แวร์



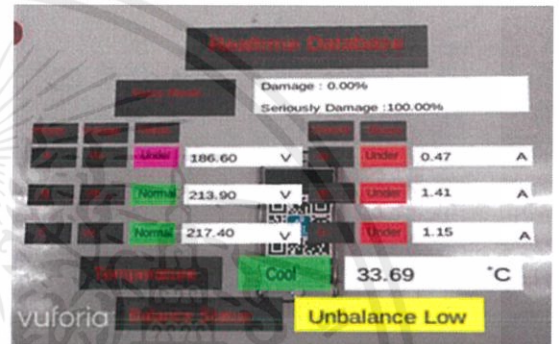
รูปที่ 3 แผนผังการทำงานจากระบบซอฟต์แวร์

4. ผลการทดลอง

การทดลองประเมินผลสภาวะการทำงานของมอเตอร์ในกรณีที่เกิดความผิดปกติต่างๆ รูปที่ 4 ผลการประเมินสภาวะกรณีปกติ รูปที่ 5-10 ผลการประเมินสภาวะกรณีเกิดความผิดปกติกับมอเตอร์ในแบบต่างๆ



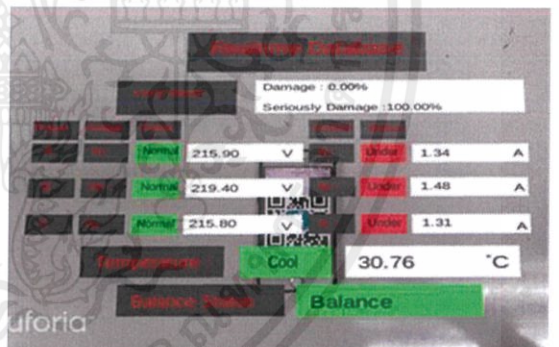
รูปที่ 6 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสสูงกว่าปกติ



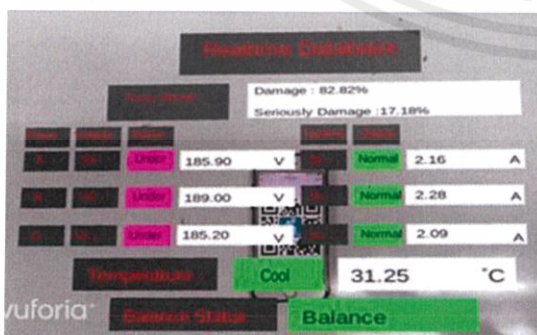
รูปที่ 7 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสไม่สมดุล



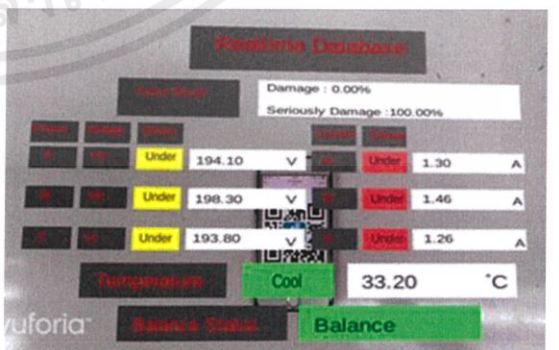
รูปที่ 4 กรณีแรงดันไฟฟ้าปกติ 3 เฟสสมดุล



รูปที่ 8 กรณีโหลดมากกว่า 100%



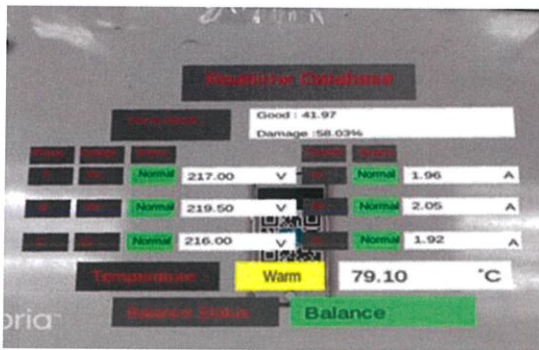
รูปที่ 5 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสต่ำกว่าปกติ



รูปที่ 9 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส ต่ำกว่าปกติและโหลดมากกว่า 100%

100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10 กรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสสมดุลและอุณหภูมิเกิน

5. สรุป

การเฝ้าระวังและประเมินผลสภาวะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ออกแบบวงจรวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าด้วย PZEM-004T จำนวน 3 ชุด วัดอุณหภูมิด้วย LM35 จำนวน 1 ชุด เชื่อมต่อกับ Arduino และ NodeMCU เพื่อส่งค่าขึ้น Firebase ออกแบบแอปพลิเคชันให้ดึงค่าบน Firebase เพื่อประเมินสภาวะการทำงานของมอเตอร์ด้วยพีชชีลอจิก ซึ่งให้ผลลัพธ์เป็นเปอร์เซ็นต์ของ good, damage, seriously damage เพื่อบอกกับผู้ใช้งานว่าขณะนี้มอเตอร์อยู่ที่สภาวะนั้นๆก็เปอร์เซ็นต์ และแสดงผลพร้อมทั้งค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ทั้ง 7 ค่า ด้วยระบบสนับสนุนความจริงเสมือน ซึ่งทั้งวงจรวัดและแอปพลิเคชันให้ผลลัพธ์จากการทดลองเป็นที่น่าพึงพอใจ

อ้างอิง

- [1] กิตติยาภรณ์ ชันทอง, จิรายุ ชมศรี, ชนิศรา ศรีเกิน, ณัฐชน โชติ คำแสง, “ การประยุกต์ใช้ระบบสนับสนุนความจริงเสมือนออกแบบสร้างระบบเฝ้าระวังและตรวจติดตามการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส, ” ปรินญาปพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2560.
- [2] Peter Tavner, Li Ran, Jim Penman, Howard Sedding, Condition Monitoring of Rotating Electrical Machines, The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom, 2008.

- [3] ชูพันธุ์รัตนโกคา, “ ความรู้เบื้องต้นทางปัญหาประดิษฐ์, ” เอกสารคำสอน, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2559, หน้า 178-186.
- [4] วิวัฒน์ มีสุวรรณ, “ การเรียนรู้ด้วยการสร้างโลกเสมือนผสานโลกจริง, ” วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์, ปีที่ 13, ฉบับที่ 2, 2554, หน้า 2-5.

Conditions Monitoring and Assessment of 3-phase Induction Motor by AI and AR

Ms.Sarocha Saleepun¹, Ms.Sawitri Srikaew², Mr.Huth Suttipong³, Ms.Ananya Tunawa⁴
and Asst.Prof.Dr.Nirudh Jirasuwankul⁵, Assoc.Prof.Dr. Chalermchart Manop⁶

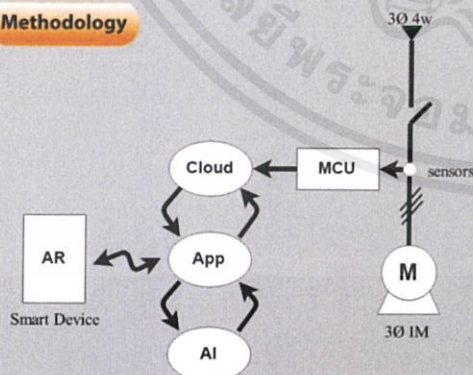
Abstract

This project presents the development of conditions monitoring and assessment system for 3-phase induction motor by implementing AI and AR. The design consists of implementing the 3-phases measuring circuits and developing AI-based diagnostic application software. By using the AI to evaluate operating conditions of the motor continuously, i.e., voltages, currents and temperature, the performance of the motor can then be monitored and reported by AR in the real-time manner. Operation of the system starts with data from the measurement circuit is sent to the Firebase database and then the AI-based application software retrieves the data to evaluate condition of the motor. Finally, evaluation results will then be reported semantically in a percentage of Good, Damage and Seriously Damage together with the expert suggestion of decision using AI.

Introduction

The induction motor is widely used in industrial plants. the use of the motor requires the monitoring of the condition of the motor in order to monitor and prevent problems that may adversely affect the motor or user. Therefore, monitor and evaluate the state of the motor is very important for the evaluation of the working condition of the motor, also relying on people with knowledge in motors because it requires experience in the operation of the motor to evaluate the performance of the motor. And at the present, Artificial intelligence or AI is a technology that is used to help make decisions and solve various problems. We have applied the system together with Augmented Reality or AR. The AR system will tell the status of the motor that is running in real time and display the working condition of the motor through the application on the smartphone which can be used conveniently Easy to understand and safe in tracking motor operating conditions and solving problems promptly.

Methodology



Results

We have recorded the results of the experiment. Which is divided into 7 cases: 3-phase normal and balance voltage, 3-phase under and balance voltage, 3-phase over and balance voltage, 3-phase unbalance voltage, overload, 3-phase under voltage and overload, 3-phase normal balance voltage and high temperature.

Example Case : 3-phase unbalance voltage

Experimental results from the PZEM-004T module, LM35 module, and the evaluation of the working conditions of the induction motor with AI (Fuzzy)

Table 1 3-phase unbalance voltage case

Voltage (V)			Current (A)			Temperature (°C)	Result (%)		
V _a	V _b	V _c	I _a	I _b	I _c		G	D	SD
186.60	213.90	217.40	0.47	1.41	1.15	33.69	-	0.00	100.00
180.90	205.80	199.90	0.45	1.42	1.16	33.69	-	0.00	100.00
186.80	214.60	209.40	0.47	1.43	1.16	32.23	-	0.00	100.00
190.90	218.50	216.20	0.48	1.49	1.22	32.23	-	0.00	100.00
192.90	221.90	216.00	0.48	1.50	1.21	32.23	-	0.00	100.00



Fig.1 case of 3 phase unbalance voltage

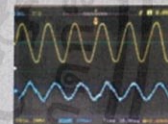


Fig.2 Graph of voltage and current of phase A

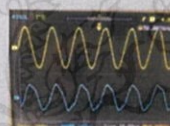


Fig.3 Graph of voltage and current of phase B

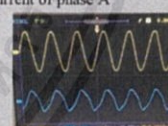


Fig.4 Graph of voltage and current of phase C

Conclusion

From using the application, this application can use well. Easy for using and this application can do work in offline mode and online mode. The conditions assessment result is presented by percent value of Good, Damage and Seriously Damage. In addition, the result present electrical values for monitoring of 3-phase induction motor. And the all result are presented by AR.

References

- [1] Jonathan Lonower, Krystian Babilinski, "Augmented Reality for Developers", Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2017
- [2] O. Uyer, M. Cankas, "Design of Fuzzy Logic Based Motor Protection System," 6th International Advanced Technologies Symposium, 2011, pp. 443-447.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC digital display Multifunction Meter

Product Type: PZEM-004(V3.0)

A. Function

1. Electrical parameter measurement function (voltage, current, active power, energy).
2. Overload alarm function (over power alarm threshold the power flash and the buzzer beeping to alarm).
3. Power alarm threshold preset function (can set power alarm threshold).
4. The reset function of energy key.
5. Store data when power off (store the accumulated energy before power off).
6. Bright red digital display function (display voltage, current, active power, energy).
7. Serial communication function (with TTL serial interface itself, can communicate with a variety of terminal through the pin board, read and set the parameters).

B. Front display and key

I. Display Interface

Display interface is formed by four bright red digital tubes, used to display the voltage, current, power, energy parameters.

II. Display Format

1. Power: Test Range: 0 ~ 22kW
 - Within 0 ~ 10kW, the display format is 0.000 ~ 9.999;
 - Within 10 ~ 22kW, the display format is 10.00 ~ 22.00.
2. Energy: Test Range: 0 ~ 9999kWh
 - Within 0 ~ 10kWh, the display format is 0.000 ~ 9.999;
 - Within 10 ~ 100kWh, the display format is 10.00 ~ 99.99;
 - Within 100 ~ 1000kWh, the display format is 100.0 ~ 999.9;
 - 1000 ~ 9999kWh and above, the display format is 1000 ~ 9999.
3. Voltage: Test Range: 80 ~ 260VAC
 - Display Format is 110.0 ~ 220.0.
4. Current: Test Range: 0 ~ 100A
 - Display Format is 00.00 ~ 99.99.

III. Key

There is a key on the panel, it can be used to reset energy.

The method of reset energy: Long press the key for 5 seconds until the digital on energy display window flicker, then release the key. Short press the key again, then the energy data is cleared and quit the flickering state, now the reset operation is completed; if long press for 5 seconds again until no longer flicker, it means exit the reset state.

C. Wiring diagram

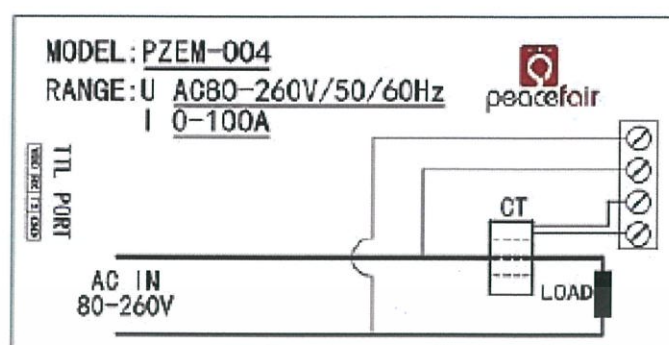


Figure 1 Wiring diagram

The wiring of this module is divided into two parts: the voltage and current test input terminal wiring and the serial communication wiring, as shown in Figure 1; according to the actual needs of the clients, with different TTL pin board to achieve communicate with different terminals.

D. Display Interface

The whole meter panel display window is formed by four windows, they are voltage, current, power and energy; the following are brief description of each parameter display:

1. Voltage Display

Measure and display the current power frequency grid voltage.

2. Current display

Measure and display the current load (appliances) current. There is supplementary instruction that the current test value is from the beginning of 10mA, but this module belongs to high power test equipment, if you care about the mA level current testing accuracy, it is not be recommended.

3. Energy display

Measure and display the current accumulative power consumption. There is supplementary instruction that the minimum unit of the energy metering is 0.001kWh, which means it begins to accumulate from 1Wh, relatively speaking, the resolution is rather high, for the low-power (within 100W) load test, you can observe the accumulative process rather intuitively.

4. Power display

Measure and display the current load power. There is supplementary instruction that the power test value is from the beginning of 0.001kW, which means it begins to test from 1W, but this module belongs to high power test equipment, if you have the requirement of the testing within 1W, it is not be recommended.

E. Serial communication

This module is equipped with TTL serial data communication interface, you can read and set the relevant parameters via the serial port; but if you want to communicate with a device which has USB or RS232 (such as computer), you need to be equipped with different TTL pin board (USB communication needs to be equipped with TTL to USB pin board; RS232 communication needs to be equipped with TTL to RS232 pin board), the specific connection type as shown in Figure 2. In the below table are the communication protocols of this module:

NO.	function	Head	Data1- Data5	Sum
1	voltage	B0	C0 A8 01 01 00 (Computer sends a request to read the voltage value)	1A

		A0	00 E6 02 00 00 (Meter reply the voltage value is 230.2V)	88
2	current	B1	C0 A8 01 01 00 (Computer sends a request to read the current value)	1B
		A1	00 11 20 00 00 (Meter reply the current value is 17.32A)	D2
3	Active power	B2	C0 A8 01 01 00 (Computer sends a request to read the active power value)	1C
		A2	08 98 00 00 00 (Meter reply the active power value is 2200w)	42
4	Read energy	B3	C0 A8 01 01 00 (Computer sends a request to read the energy value)	1D
		A3	01 86 9f 00 00 (Meter reply the energy value is 99999wh)	C9
5	Set the module address	B4	C0 A8 01 01 00 (Computer sends a request to set the address, the address is 192.168.1.1)	1E
		A4	00 00 00 00 00 (Meter reply the address was successfully set)	A4
6	Set the power alarm threshold	B5	C0 A8 01 01 14 (computer sends a request to set a power alarm threshold)	33
		A5	00 00 00 00 00 (Meter reply the power alarm threshold was successfully set)	A5

Illustration of the communication protocol example:

1. Set the communication address: 192.168.1.1

Send command: B4 C0 A8 01 01 00 1E

Reply data: A4 00 00 00 00 00 A4

Note: The above example illustrate that setting the communication address as 192.168.1.1 (the user can set their own address based on their preferences and needs), sending commands and replying data automatically are as shown above, the data are expressed in hexadecimal; the last byte of the sending and replying data are 1E and A4, belong to cumulative sum. At sending commands: $B4 + C0 + A8 + 01 + 01 + 00 = 21E$ (use the hexadecimal addition), the cumulative sum data is 21E, take the last two bytes 1E to be used the cumulative sum data in sending commands; data in reply: $A4 + 00 + 00 + 00 + 00 + 00 = A4$ (use the hexadecimal addition), the cumulative sum data is A4, which is the cumulative sum data in reply.

The explanation of the cumulative sum is now finished, the following parameter examples are the same as this, there is no explanation any more.

2. Set the power alarm threshold: 20 KW

Send command: B5 C0 A8 01 01 14 33

Reply data: A5 00 00 00 00 00 A5

Note: 14 in the sending command is the alarm value (14 is a hexadecimal data representation, which converted to decimal is 20). What you should note is the power alarm value of this module is based on KW units, which means the minimum alarm value is 1KW, the maximum value is 22KW.

3. Read the current voltage

Send command: B0 C0 A8 01 01 00 1A

Reply data: A0 00 E6 02 00 00 88

Note: Reply voltage data is D1D2D3 = 00 E6 02, 00 E6 represent the integer-bit of the voltage, 02 represent the decimal of the voltage, the decimal is one digit, converts 00 E6 to decimal is 230; converts 02 to decimal is 2, so the current voltage value is 230.2V.

4. Read the current current

Send command: B1 C0 A8 01 01 00 1B

Reply data: A1 00 11 20 00 00 D2

Note: Reply current data is D2D3 = 11 20, 11 represent the integer-bit of the current, 20 represent the decimal of the current, the current decimal is two digits, converts 11 to decimal is 17; converts 20 to decimal is 32, so the current current value is 17.32 A.

5. Read the current power

Send command: B2 C0 A8 01 01 00 1C

Reply data: A2 08 98 00 00 00 42

Note: Reply power data is D1D2 = 08 98, converts 08 98 to decimal is 2200, so the current voltage value is 2200W.

6. Read the energy

Send command: B3 C0 A8 01 01 00 1D

Reply data: A3 01 86 9F 00 00 C9

Note: Reply energy data is D1D2D3 = 01 86 9F, converts 01 86 9F to decimal is 99999, so the accumulated power is 99999Wh.

F. Illustration of the communication

1. Connect hard wire according to the wiring diagram in figure 1 and 2.
2. After connect the wire, please choose the communication port, this module's upper computer software support communication port: COM2\COM3\COM4, you can check through device manager, if it is not the above communication port, you should amend it through port.

G. Precautions

1. This module is suitable for indoor, please do not use outdoor.
2. Applied load should not exceed the rated power.
3. Wiring order can't be wrong.

H. Specification parameters

1. Working voltage: 80 ~ 260VAC
2. Test voltage: 80 ~ 260VAC
3. Rated power: 100A/22000W
4. Operating frequency: 45-65Hz
5. Measurement accuracy: 1.0 grade

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in $^{\circ}$ Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^{\circ}\text{C}$ over a full -55 to $+150^{\circ}\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^{\circ}\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^{\circ}\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in $^{\circ}$ Celsius (Centigrade)
- Linear $+10.0\ \text{mV}/^{\circ}\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at $+25^{\circ}\text{C}$)
- Rated for full -55° to $+150^{\circ}\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for 1 mA load

Typical Applications

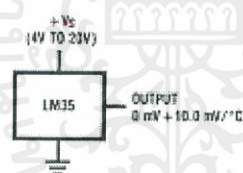
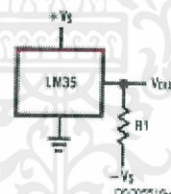


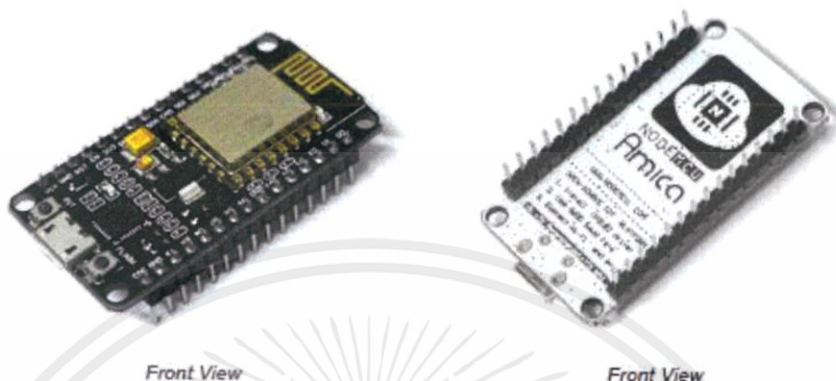
FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor
($+2^{\circ}\text{C}$ to $+150^{\circ}\text{C}$)



Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$
 $V_{\text{out}} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^{\circ}\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^{\circ}\text{C}$
 $= -550\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

NodeMCU ESP8266



Specifications of ESP-12E WiFi Module

Wireless Standard	IEEE 802.11 b/g/n
Frequency Range	2.412 - 2.484 GHz
Power Transmission	802.11b : +16 ± 2 dBm (at 11 Mbps) 802.11g : +14 ± 2 dBm (at 54 Mbps) 802.11n : +13 ± 2 dBm (at HT20, MCS7)
Receiving Sensitivity	802.11b : -93 dBm (at 11 Mbps, CCK) 802.11g : -85 dBm (at 54 Mbps, OFDM) 802.11n : -82 dBm (at HT20, MCS7)
Wireless Form	On-board PCB Antenna
IO Capability	UART, I2C, PWM, GPIO, 1 ADC
Electrical Characteristic	3.3 V Operated 15 mA output current per GPIO pin 12 - 200 mA working current Less than 200 uA standby current
Operating Temperature	-40 to +125 °C
Serial Transmission	110 - 921600 bps, TCP Client 5
Wireless Network Type	STA / AP / STA + AP
Security Type	WEP / WPA-PSK / WPA2-PSK
Encryption Type	WEP64 / WEP128 / TKIP / AES
Firmware Upgrade	Local Serial Port, OTA Remote Upgrade
Network Protocol	IPv4, TCP / UDP / FTP / HTTP
User Configuration	AT + Order Set, Web Android / iOS, Smart Link APP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Technical Specification

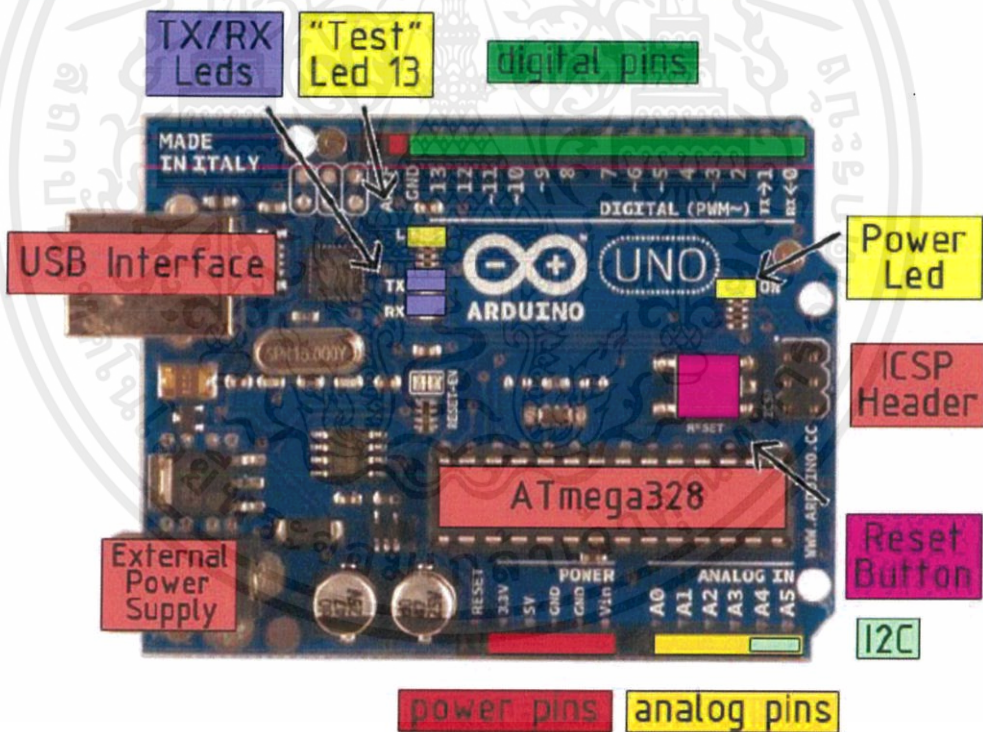


EAGLE files: [arduino-duemilanove-uno-design.zip](#) Schematic: [arduino-uno-schematic.pdf](#)

Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

the board



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The Atmega328 has 32 KB of flash memory for storing code (of which 0.5 KB is used for the bootloader); It has also 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language.
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

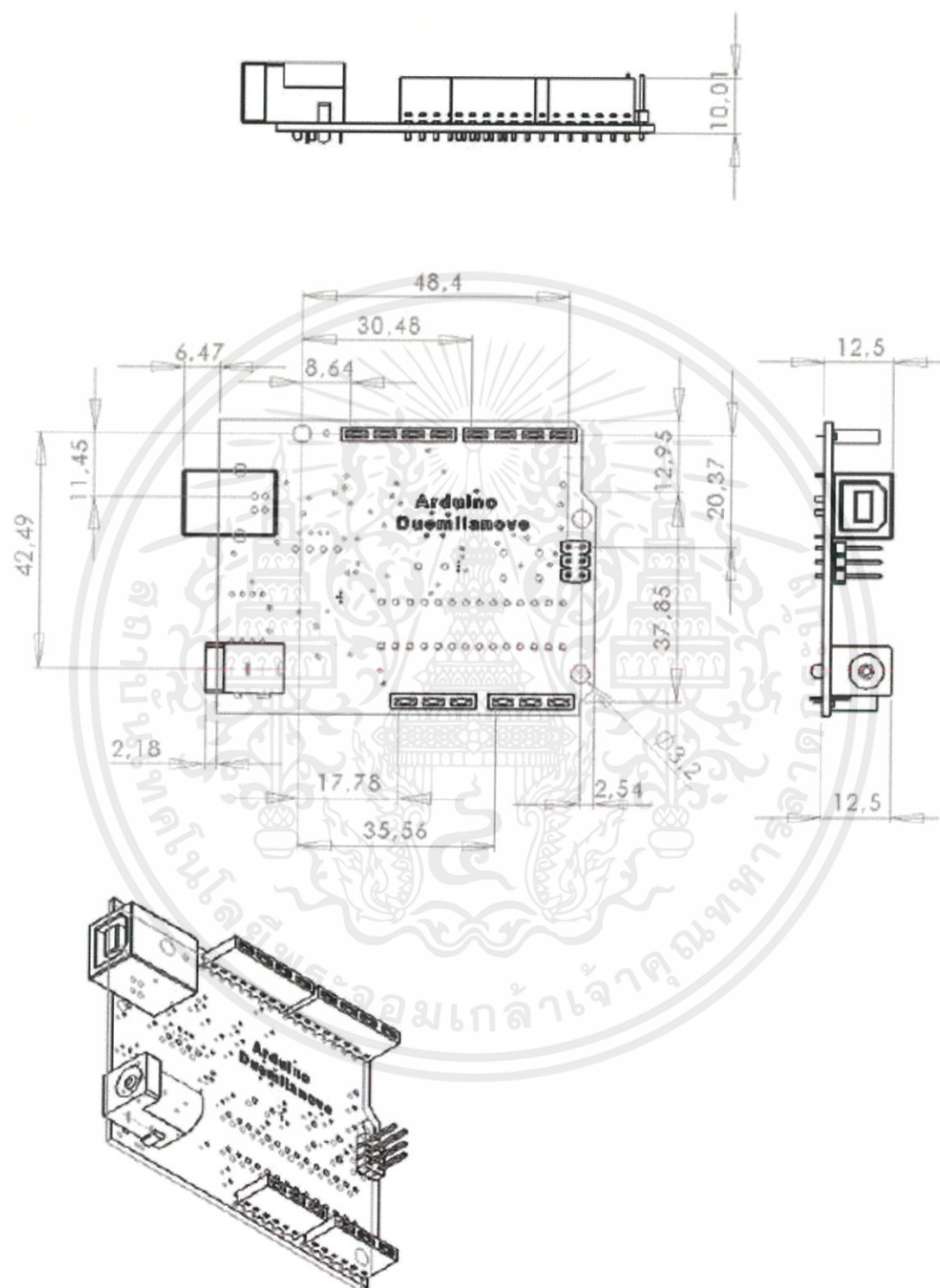
The Uno has 6 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **I²C: 4 (SDA) and 5 (SCL).** Support I²C (TWI) communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

Dimensioned Drawing



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นางสาวสโรชา สาลีพันธ์
วัน เดือน ปีเกิด 10 เมษายน 2540

ประวัติการศึกษา

- ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยขอนแก่น ฝ่ายมัธยมศึกษา (มอดินแดง) ขอนแก่น
- ปีการศึกษา 2561 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ฝึกงานภาคฤดูร้อน โรงไฟฟ้าพลังน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 31 กรกฎาคม 2561



ชื่อ-นามสกุล นางสาวสาวิตรี ศรีแก้ว
วัน เดือน ปีเกิด 26 กุมภาพันธ์ 2540

ประวัติการศึกษา

- ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย สรรบุรี
- ปีการศึกษา 2561 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท ไทยบริดจสโตน จำกัด (หนองแค)
ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 31 กรกฎาคม 2561



ชื่อ-นามสกุล นายหิรัญ สุทธิพงษ์

วัน เดือน ปีเกิด 2 เมษายน 2540

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2557

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

โรงเรียนสารวิทยา กรุงเทพมหานคร

ปีการศึกษา 2561

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน

NIT, Kushiro College

ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 30 มิถุนายน 2561



ชื่อ-นามสกุล นางสาวนัญญา ตุนาวา

วัน เดือน ปีเกิด 20 พฤศจิกายน 2539

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2557

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

โรงเรียนพนมไพรวิทยาคาร จังหวัดร้อยเอ็ด

ปีการศึกษา 2561

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน

บริษัท เอ็นเอชเค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด

ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 31 กรกฎาคม 2561