

ระบบวัดและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส
POWER MEASUREMENT AND MONITORING SYSTEM FOR 1-PHASE
INDUCTION MOTOR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

ระบบวัดและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส
POWER MEASUREMENT AND MONITORING SYSTEM FOR 1-PHASE
INDUCTION MOTOR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POWER MEASUREMENT AND MONITORING SYSTEM FOR 1-PHASE
INDUCTION MOTOR



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN AUTOMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ ระบบวัดและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส
Power Measurement and Monitoring System For 1-Phase
Induction Motor

นักศึกษาผู้จัดทำ นายมชวัน มณีสินธพ รหัสนักศึกษา 58010997
นายชिरวิชญ์ รสจันทน์ รหัสนักศึกษา 58011082
นายอิทธิพัทธ์ คำนวนณศิลป์ รหัสนักศึกษา 58011454

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมอัตโนมัติ
ปีการศึกษา 2561

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.กฤษณ์ เสมอพิทักษ์	
ผศ.ดร.อภิณัย ฤกษ์รัตน์	

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ระบบวัดและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายมขวัน	มณีสินธ	รหัสนักศึกษา 58010997
	นายวชิรวิษณุ	รสจันท์	รหัสนักศึกษา 58011082
	นายอิทธิพัทธ์	คำนวนณศิลป์	รหัสนักศึกษา 58011454
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.กฤษณ์	เสมอพิทักษ์	
	ผศ.ดร.อภิณัย	ฤกษ์รัตน์	
ปีการศึกษา	2561		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเทคนิคการสร้างระบบการวัดโดยใช้หม้อแปลงวัดกระแสและหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 1 เฟส ตามลำดับ โดยมีการปรับสภาพสัญญาณกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ด้วยวงจรเรียงกระแส วงจรขยายสัญญาณ และวงจรตรวจจับการผ่านศูนย์เพื่อคำนวณหาค่ากำลังงานไฟฟ้าและค่าประกอบกำลังงานโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP 32 และได้มีการติดตั้งจอแอลซีดีที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแสดงค่าตัวแปรที่สนใจ ซึ่งประกอบด้วยค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้รวมทั้งค่ากำลังงานไฟฟ้าและค่าประกอบกำลังงานที่คำนวณได้ นอกจากนี้ ยังมีการสร้างส่วนเอชเอ็มไอด้วยโปรแกรม Wonderware InTouch ไม่เพียงแต่สำหรับการแสดงค่าตัวแปรที่สนใจทั้งหมดในรูปแบบค่าเวลาจริงและรูปแบบกราฟเทรนด์ด้วยข้อมูลย้อนหลัง 24 ชั่วโมง แต่ก็ยังสำหรับการเฝ้าระวังการใช้กระแสของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่เกินกว่าค่าที่กำหนดอีกด้วย ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และส่วนเอชเอ็มไอได้เลือกใช้โปรโตคอล Modbus TCP/IP จากผลการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเพาเวอร์มิเตอร์รุ่น Primus KM-07 และค่าที่วัดได้จากระบบที่นำเสนอ พบว่า ความผิดพลาดในการวัดอยู่ในช่วง $\pm 5\%$ ยิ่งไปกว่านั้นระบบวัดและแสดงผลที่นำเสนอมีฟังก์ชันการทำงานต่าง ๆ เป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุไว้

คำสำคัญ มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส, เอชเอ็มไอ, การวัดค่ากำลังงานไฟฟ้า, ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32

Thesis Title	Power Measurement and Monitoring System for 1-Phase Induction Motor
Authors	Mr. Markawan Maneesinthop Mr. Wachiravit Rosjan Mr. Ittipat Khamnuansin
Thesis Advisors	Asst. Prof. Dr. Krit Smerpitak Asst. Prof. Dr. Apinai Rerkratn
Academic Year	2018

ABSTRACT

This thesis presents a technique to design and implement a measurement system by using current transformer and transformer to measure the consumed current and supplied voltage of 1-phase induction motor, respectively. The measured current and voltage are processed utilizing the rectifier, amplifier, and zero-crossing detector before sending to a microcontroller modeled ESP 32 for calculating the power and power factor. In order to show interested parameters including the measured current as well as the calculated power and power factor, an LCD display unit is connected with the microcontroller. In addition, a human machine interface (HMI) is created based on the use of the Wonderware InTouch not only to display all interested parameters in real time and 24-hr-historian trend formats but also to monitor the consumed current in excess of a specific value. The communications between the microcontroller and the HMI are performed through the Modbus TCP/IP protocol. Comparison results between the measured values from a power meter modeled Primus KM-07 and the results from the proposed system show that the measurement errors are within $\pm 5\%$. Moreover, experimental results confirm that the functions of the proposed system are agreed with the desired specifications.

Keyword 1-phase induction motor, human machine interface, power measurement, microcontroller ESP32

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร.กฤษณ์ เสมอพิทักษ์ และ ผศ.ดร.อภิณีย์ ฤกษ์รัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ มาโดยตลอดจนโครงการเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณ บิตา มารดา เพื่อน ๆ ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา สุดท้ายนี้ขอขอบคุณอาจารย์ และบุคลากร ภาควิชาวิศวกรรมอัตโนมัติทุกท่านตลอดระยะเวลา 4 ปี สำหรับความรู้ประสบการณ์ คำปรึกษาคำแนะนำ ทั้งเรื่องการเรียนรู้และแนวคิดในการดำเนินชีวิต ที่สามารถนำไปใช้ในการทำโครงการได้ และสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใดให้ถือเป็นความบกพร่องของผู้จัดทำ และขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย



คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ii
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	iii
กิตติกรรมประกาศ	iv
สารบัญ	v
สารบัญตาราง	viii
สารบัญรูป.....	ix
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตปริญญาานิพนธ์	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.6 รายละเอียดของปริญญาานิพนธ์	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 กล่าวนำ.....	5
2.2 มอเตอร์เหนี่ยวนำ	5
2.2.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	5
2.2.2 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	7
2.3 หลักการวัดค่ากำลังงานไฟฟ้า.....	7
2.3.1 ค่ากำลังงานไฟฟ้า.....	7
2.3.2 ค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้า.....	9
2.3.3 หม้อแปลงวัดกระแส	9
2.3.4 วงจรเรียงกระแส	10
2.3.5 วงจรขยายสัญญาณ.....	10
2.3.6 หม้อแปลงไฟฟ้า	11
2.3.7 วงจรตรวจจับการจับผ่านศูนย์.....	11
2.4 หลักการประมวลผลและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้า.....	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	12
2.4.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP 32.....	13
2.4.3 โปรแกรมที่ใช้ในการเขียนชุดคำสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP 32.....	14
2.4.4 Modbus.....	15
2.4.5 การสื่อสารผ่าน Modbus TCP/IP.....	16
2.4.6 ModScan โปรแกรมอ่าน/เขียน Modbus.....	17
2.4.7 เอชเอ็มไอ.....	17
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	19
3.1 กล่าวนำ.....	19
3.2 การออกแบบภาพรวมของระบบวัดและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส.....	20
3.3 การสร้างชุดตรวจวัดและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส.....	23
3.3.1 ส่วนการวัดกระแสไฟฟ้า.....	23
3.3.2 ส่วนการวัดแรงดันไฟฟ้า.....	24
3.3.3 ส่วนการวัดค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้า.....	25
3.3.4 ส่วนการแสดงผลบนจอแอลซีดี.....	25
3.4 การสร้างพลาทฟอร์มจำลองการทำงานของระบบวัดและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับ มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส.....	26
3.5 การเขียนชุดคำสั่งสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP 32.....	28
3.5.1 ชุดคำสั่งในการประกาศค่าตัวแปรที่ใช้.....	28
3.5.2 ชุดคำสั่งในการเชื่อมต่อ WiFi.....	29
3.5.3 ฟังก์ชัน Pin mode, interrupt function, modbus register.....	29
3.5.4 การหาค่าเวลาที่แตกต่างกันของ $\sin v$ และ $\sin i$ ในหน่วย ms.....	30
3.5.5 การอ่านค่ากระแสและการทำ scaling.....	30
3.5.6 การคำนวณหาค่ากำลังงานไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้า.....	31
3.5.7 การส่งค่าที่คำนวณและวัดได้ผ่าน Modbus TCP/IP.....	31
3.5.8 การแสดงค่าที่วัดได้ไปยังจอแอลซีดี.....	32
3.6 สร้างการแสดงผลเอชเอ็มไอ.....	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	36
4.1 การทดลองใช้ชุดอุปกรณ์วัดค่ากำลังงานไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงาน ไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส.....	36
4.2 การแสดงผลผ่านโปรแกรม Wonderware InTouch.....	41
4.2.1 การทดสอบส่วนแสดงผลกราฟแบบ Real time	42
4.2.2 การทดสอบส่วนแสดงผลแบบ Historian Trend.....	42
4.3 ผลการเปรียบเทียบการแสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่ชุดอุปกรณ์วัดและส่วนแสดงผลบนโปรแกรม Wonderware InTouch	44
4.4 ผลการเปรียบเทียบการแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ชุดอุปกรณ์วัดและส่วนแสดงผลบน โปรแกรม Wonderware InTouch	45
4.5 ผลการเปรียบเทียบการแสดงค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าที่ชุดอุปกรณ์วัดและส่วนแสดงผล บนโปรแกรม Wonderware InTouch	46
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	47
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	47
5.2 ปัญหาและอุปสรรค.....	47
5.3 ข้อเสนอแนะ	47
เอกสารอ้างอิง.....	48
ภาคผนวก.....	50

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนดำเนินงาน.....	3
2.1 Modbus Register.....	15
3.1 อุปกรณ์ที่ติดตั้งใช้งานในระบบ.....	21
3.2 การกำหนดค่าตัวแปรที่ใช้ในการแสดงผลบนโปรแกรม Wonderware InTouch.....	33
4.1 ตารางผลการวัดค่าที่อ่านได้จากชุดอุปกรณ์วัดค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส.....	37
4.2 ตารางผลการเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากชุดอุปกรณ์วัดและเพาเวอร์มิเตอร์รุ่น Primus KM-07.....	37
4.3 ตารางผลการเปรียบเทียบค่ากำลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จากชุดอุปกรณ์วัดและเพาเวอร์มิเตอร์รุ่น Primus KM-07.....	38
4.4 ตารางผลการเปรียบเทียบค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จากชุดอุปกรณ์วัดและเพาเวอร์ มิเตอร์รุ่น Primus KM-07.....	39
4.5 ผลการเปรียบเทียบการแสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่ชุดอุปกรณ์วัดและส่วนแสดงผลบนโปรแกรม Wonderware InTouch.....	44
4.6 ผลการเปรียบเทียบการแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ชุดอุปกรณ์วัดและส่วนแสดงผลบนโปรแกรม Wonderware InTouch.....	45
4.7 ผลการเปรียบเทียบการแสดงค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าที่ชุดอุปกรณ์วัดและส่วนแสดงผลบน โปรแกรม Wonderware InTouch.....	46

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	5
2.2 สามเหลี่ยมทางกำลังงานไฟฟ้า.....	7
2.3 หม้อแปลงวัดกระแส YHDC 10 A / 1 V.....	9
2.4 ตัวอย่างวงจรเรียงกระแสและขยายสัญญาณ.....	10
2.5 หม้อแปลงไฟฟ้า 220 VAC / 24 VAC.....	11
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณพัลส์กับคลื่นไซน์ เกิดขึ้นที่ 0, 180 และ 360 องศา.....	12
2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	12
2.8 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP 32.....	14
2.9 ตัวอย่างการเชื่อมต่อ Arduino IDE.....	14
2.10 ลักษณะเฟรมการส่งข้อมูลของ Modbus TCP/IP.....	16
2.11 ตัวอย่างหน้าต่าง Monitoring ค่า Parameter ผ่านโปรแกรม ModScan.....	17
2.12 ตัวอย่าง Intouch Human Machine Interface.....	18
3.1 การทำงานโดยรวมของระบบวัดและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ..	20
3.2 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของระบบ.....	22
3.3 ชุดอุปกรณ์วัดและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส.....	23
3.4 วงจรส่วนการวัดกระแสไฟฟ้า.....	24
3.5 วงจรส่วนการวัดแรงดันไฟฟ้า.....	24
3.6 วงจรส่วนการวัดค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้า.....	25
3.7 วงจรส่วนการแสดงผลบนจอแอลซีดี.....	25
3.8 พลาเน็ตจำลองการทำงานของระบบวัดและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส.....	26
3.9 มอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	27
3.10 Eddy current break.....	27
3.11 การประกาศค่าตัวแปรที่ใช้.....	28
3.12 ชุดคำสั่งในการเชื่อมต่อ WIFI.....	29
3.13 ชุดคำสั่งในการใช้ฟังก์ชัน Pin mode, interrupt function, modbus register.....	29
3.14 ชุดคำสั่งในการหาค่าเวลาที่แตกต่างกันของ sinv และ sini ในหน่วย ms.....	30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.15 ชุดคำสั่งในการอ่านค่า current และการทำ scaling	30
3.16 ชุดคำสั่งในการคำนวณหาค่ากำลังงานไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้า.....	31
3.17 ชุดคำสั่งในการส่งค่าที่คำนวณ และวัดได้ผ่าน Modbus TCP/IP.....	31
3.18 ชุดคำสั่งในการแสดงค่าที่วัดได้ไปยังจอแอลซีดี.....	32
3.19 ส่วนแสดงผลเอชเอ็มไอ.....	34
3.20 หน้าแสดงผลแบบกราฟแบบ Real time.....	34
3.21 หน้าแสดงผลแบบ Historian trend	35
4.1 การทดลองใช้ชุดอุปกรณ์วัดค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส	36
4.2 กราฟเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากชุดอุปกรณ์วัดกำลังงานไฟฟ้า และเพาเวอร์มิเตอร์รุ่น Primus KM-07.....	38
4.3 กราฟเปรียบเทียบค่ากำลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จากชุดอุปกรณ์วัดกำลังงานไฟฟ้า และเพาเวอร์มิเตอร์รุ่น Primus KM-07.....	39
4.4 กราฟเปรียบเทียบค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จากชุดอุปกรณ์วัดกำลังงานไฟฟ้า และเพาเวอร์มิเตอร์รุ่น Primus KM-07	40
4.5 ส่วนแสดงผลภาพรวมบน Wonderware InTouch	41
4.6 ส่วนแสดงผลกราฟแบบ Real time	42
4.7 ส่วนแสดงผลแบบกราฟย้อนหลัง.....	43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

มอเตอร์เหนี่ยวนำ เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลใช้เป็นตัวต้นกำลังหมุนขับโหลดชนิดต่าง ๆ [1] มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นมอเตอร์ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม และสถานประกอบการต่าง ๆ เนื่องจากเป็นมอเตอร์ที่มีความแข็งแรงทางกลมีราคาไม่สูงมาก และใช้งานสะดวกกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยการทำงานของมอเตอร์ต้องคำนึงถึงกำลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการขับโหลด ในการวัดค่ากำลังงานไฟฟ้าจะทำได้หลายวิธีโดยปกติจะนิยมการใช้เพาเวอร์มิเตอร์ (Power Meter) ซึ่งมีต้นทุนค่อนข้างสูงในการดำเนินการวัดค่ากำลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

เพื่อเป็นทางเลือกให้แก่ระบบอุตสาหกรรม และสถานประกอบการต่าง ๆ ที่จะสามารถลดต้นทุนในการวัดค่ากำลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ทางคณะผู้จัดทำจึงจัดทำระบบวัด และแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส โดยการใช้หม้อแปลงวัดกระแส (Current Transformer : CT) และหม้อแปลงไฟฟ้าร่วมกับวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เป็นอุปกรณ์ในการประมวลผล และส่งข้อมูลเพื่อแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าผ่านจอแอลซีดีแทนการใช้เพาเวอร์มิเตอร์ซึ่งมีราคาสูงและรองรับสำหรับผู้ประกอบการที่มีโปรแกรม Wonderware InTouch จะสามารถเสริมส่วนแสดงผลเอชเอ็มไอ (HMI : Human Machine Interface) ได้

โดยค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังงานไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสที่นำมาแสดงสามารถนำไปเพื่อการสังเกตการณ์ หรือต่อยอดประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาค่าไฟที่ต้องจ่ายได้

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์

สร้างระบบวัดค่ากระแสและแรงดันของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส เพื่อนำมาคำนวณหาค่ากำลังงานไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้า โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP 32 พร้อมทั้งสร้างส่วนแสดงผลด้วยจอแอลซีดีในการแสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัด และคำนวณค่ากำลังงานไฟฟ้าและค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าได้ ณ จุดตรวจวัด นอกจากนี้ยังได้สร้างส่วนเอชเอ็มไอเพื่อการเฝ้าระวังการใช้ค่ากระแสเกินของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส และมีการแสดงค่าที่วัดและคำนวณได้โดยใช้โปรแกรม Wonderware InTouch แบบเวลาจริง (Real Time) ยิ่งไปกว่านั้นผู้ใช้ยังสามารถเรียกดูค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังงานไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าที่บันทึกไว้แบบย้อนหลังได้ 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตปริญญานิพนธ์

1. สร้างชุดเซนเซอร์สำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า โดยประกอบด้วย หม้อแปลงวัดกระแสใช้สำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส และหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับวัดค่าแรงดันไฟฟ้า เพื่อส่งข้อมูลที่ตรวจวัดได้ไปยังชุดวงจร

2. สร้างชุดวงจรการรับและแปลงสัญญาณจากชุดเซนเซอร์ ซึ่งชุดวงจรนี้ประกอบด้วย วงจรเรียงกระแสและขยายสัญญาณ (Rectifier and Amplifier) และวงจรตรวจจับการผ่านศูนย์ (Zero Crossing Detector)

3. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP 32 เป็นตัวประมวลผลเพื่อคำนวณหาค่ากำลังงานไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าเพื่อส่งข้อมูลที่ประมวลผลได้ไปยังส่วนแสดงผลจอแอลซีดี ณ จุดตรวจวัด และส่งข้อมูลผ่านโปรโตคอล Modbus TCP/IP ไปยังส่วนแสดงผลเอชเอ็มไอ โดยค่าที่คำนวณได้มีความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 5\%$

4. สร้างส่วนแสดงผลผ่านจอแอลซีดีเพื่อแสดงค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังงานไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ณ จุดตรวจวัด

5. สร้างส่วนแสดงผลเอชเอ็มไอด้วยโปรแกรม Wonderware InTouch โดยส่งข้อมูลผ่านโปรโตคอล Modbus TCP/IP สำหรับการแสดงค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังงานไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าแบบ Real time และแบบ Historian trend ในการดูค่าย้อนหลังได้ 24 ชั่วโมงรวมถึงการแจ้งเตือนเมื่อค่ากระแสไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสเกินค่าที่ตั้งไว้

6. สร้างพลานท์จำลอง ซึ่งประกอบด้วย มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ชุดตรวจวัดค่ากำลังงานไฟฟ้า จอแอลซีดี เราเตอร์ อุปกรณ์เบรกชนิด Eddy current break เพื่อทดสอบฟังก์ชันการทำงานของระบบวัดและแสดงค่าที่นำเสนอ

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. เลือกหัวข้อการทำโครงงาน

2. วางแผนการทำโครงงานและศึกษา การทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสการวัดค่ากำลังงานไฟฟ้า และการเขียนชุดคำสั่งที่ใช้ในการประมวลผลค่ากำลังงานไฟฟ้า

3. สร้างชุดตรวจวัดค่ากำลังงานไฟฟ้ารวมถึงเขียนชุดคำสั่งในการประมวลผลค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

4. เขียนชุดคำสั่งในการเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และระบบแสดงผล

5. ออกแบบและสร้างส่วนแสดงผลผ่านโปรแกรม Wonderware InTouch

6. ทดสอบและปรับปรุงระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาดำเนินการ																			
	ส.ค.				ก.ย.				ต.ค.				พ.ย.				ธ.ค.			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.เลือกหัวข้อการทำ โครงการ	■																			
2. ศึกษาและวางแผนการ ทำโครงการทำโครงการ	■	■	■	■																
3. สร้างชุดตรวจวัดค่า กำลังงานไฟฟ้ารวมถึง เขียนชุดคำสั่งในการ ประมวลค่ากำลังงาน ไฟฟ้า					■	■	■	■												
4. เขียนชุดคำสั่งในการ เชื่อมต่อระหว่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์และ ระบบแสดงผล									■	■	■	■								
5. ออกแบบและสร้าง ส่วนแสดงผลผ่านจอแอล ซีดีและโปรแกรม Wonder Intouch																	■	■	■	■
6. ทดสอบและปรับปรุง ระบบ																				■

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ใช้ติดตั้งเพื่อการวัดและแสดงค่า กระแสไฟฟ้า กำลังงานไฟฟ้า และตัวประกอบกำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส แทนการใช้ เพาเวอร์มิเตอร์ซึ่งมีราคาสูง
2. แสดงค่า กระแสไฟฟ้า ค่ากำลังงานไฟฟ้า และตัวประกอบกำลังงานไฟฟ้าแบบ Real time และแบบ Historian trend ในการดูค่าย้อนหลังรวมถึงการแจ้งเตือนเมื่อเกิด ค่ากระแสไฟฟ้าเกินค่าที่ตั้งไว้ซึ่งค่ากำลังงานไฟฟ้าที่นำมาแสดงสามารถนำไปเพื่อการสังเกตการณ์หรือต่อยอดประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาค่าไฟที่ต้องจ่ายได้

1.6 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์

รายงานฉบับนี้จัดทำทั้งหมด 5 บท โดยที่แต่ละบทมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

บทที่ 1 วัตถุประสงค์และขอบเขตของปริญญานิพนธ์กล่าวถึง ที่มาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์ในหัวข้อความนิยมในการนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในกระบวนการทางการวัดและควบคุมหรือสังเกตการณ์ เพื่อนำมาใช้ในการสร้างระบบวัดและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกล่าวถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการนำมาใช้สร้างระบบวัดและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส เช่น ความรู้เกี่ยวกับมอเตอร์เหนี่ยวนำเบื้องต้น การวัดค่ากำลังงานไฟฟ้า การคิดหาค่ากำลังงานไฟฟ้า ตัวประกอบกำลังงานไฟฟ้า ไมโครคอนโทรลเลอร์ อุปกรณ์เซ็นเซอร์ ระบบการส่งข้อมูลผ่าน Protocol ของ Modbus และส่วนแสดงผลที่เขียนด้วย Wonderware InTouch

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานกล่าวถึงการออกแบบและสร้างระบบวัดและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ตั้งแต่วงจรภายใน การเขียนชุดคำสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านโปรแกรม Arduino IDE และการดึงค่า Parameter จาก Modbus TCP/IP ไปใช้ในส่วนแสดงผลบนโปรแกรม Wonderware InTouch

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลองกล่าวถึงการทดสอบระบบระบบวัดและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส การทดลองวัดค่าขณะมอเตอร์ขณะขับโหลดที่แตกต่างกัน และการทดสอบระบบแสดงผลและการแจ้งเตือนเมื่อค่ากระแสไฟฟ้าเกินค่าที่ตั้งไว้

บทที่ 5 สรุปผลการทำงานและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการสร้างระบบวัดและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

2.2 มอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction motor) [1] เป็นเครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลใช้เป็นตัวต้นกำลังหมุนขับโหลดชนิดต่าง ๆ [1] โดยที่โรเตอร์ไม่ได้รับพลังงานไฟฟ้าโดยตรงแต่จะได้รับพลังงานจากการเหนี่ยวนำของขดลวดโดยในปัจจุบันมอเตอร์เหนี่ยวนำนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นมอเตอร์ที่ใช้งานได้สะดวกกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าของประเทศไทย ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 220 โวลต์ และ 380 โวลต์

2.2.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์ทุกประเภทจะมีส่วนประกอบหลักคล้ายคลึงกันซึ่งจะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ สเตเตอร์และโรเตอร์ แต่จะแตกต่างกันในเรื่องของรายละเอียดของส่วนประกอบปลีกย่อยอื่นๆ



รูปที่ 2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยโครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามารถจำแนกได้ดังนี้

- โครงมอเตอร์ (Frame or Yoke) จะทำด้วยเหล็กหล่อทรงกระบอกกลาง ฐานส่วนล่างจะเป็นขาตั้ง มีกล่องสำหรับต่อสายไฟอยู่ด้านบนหรือด้านข้างโครงจะทำหน้าที่ยึดแกนเหล็กสเตเตอร์ให้แน่นอยู่กับที่ผิวด้านนอกของโครงมอเตอร์ จะออกแบบให้มีลักษณะเป็นครีบ เพื่อช่วยในการระบายความร้อน

- แกนเหล็กสเตเตอร์ (Stator Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบาง ๆ มีลักษณะกลมเจาะตรงกลาง และเจาะร่องภายในโดยรอบแผ่นเหล็กชนิดนี้เรียกว่า ลามิเนท ซึ่งจะถูกเคลือบด้วยซิลิกอนเหล็กแต่ละแผ่นจะมีความหนาประมาณ 0.025 นิ้ว หลังจากนั้นนำไปอัดเข้าด้วยกันจนมีความหนาที่เหมาะสม เรียกว่า แกนเหล็กสเตเตอร์ ขดลวด (Stator Winding) จะมีลักษณะเป็นเส้นลวดทองแดงเคลือบฉนวนที่เรียกว่า อีนาเมล (Enamel) พันอยู่ในร่องของแกนเหล็กสเตเตอร์ตามรูปแบบต่าง ๆ ของการพันมอเตอร์

- โรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel cage rotor) จะประกอบด้วยแผ่นเหล็กบาง ๆ ที่เรียกว่าแผ่นเหล็กลามิเนท ซึ่งจะเป็นแผ่นเหล็กชนิดเดียวกับสเตเตอร์ มีลักษณะเป็นแผ่นกลม ๆ เจาะร่องผิวภายนอกเป็นร่องโดยรอบตรงกลางจะเจาะรูสำหรับสวมเพลลา และจะเจาะรูรอบ ๆ รูตรงกลางที่สวมเพลลาทั้งนี้เพื่อช่วยในการระบายความร้อน และยังทำให้โรเตอร์มีน้ำหนักเบาลง เมื่อนำแผ่นเหล็กไปสวมเข้ากับแกนเพลลาแล้วจะได้เป็นแกนเหล็กโรเตอร์ หลังจากนั้นก็จะใช้แท่งตัวทองแดงหรือแท่งอะลูมิเนียมหล่ออัดเข้าไปในร่องของแกนเหล็กสเตเตอร์เข้าไปวางทั้งสองด้านด้วย วงแหวนตัวนำทั้งนี้เพื่อให้ขดลวดครบวงจรไฟฟ้าหรืออาจนำแกนเหล็กสเตเตอร์เข้าไปในแบบพิมพ์แล้วฉีดอะลูมิเนียมเหลวเข้าไปในร่อง ก็จะได้อะลูมิเนียมอัดแน่นอยู่ในร่องจนเต็ม และจะได้ขดลวดตัวนำแบบกรงกระรอกฝังอยู่ในแกนเหล็ก

- ฝาครอบ (End Plate) ส่วนมากจะทำด้วยเหล็กหล่อ เจาะรูตรงกลาง และคว้านเป็นรูปกลมใหญ่เพื่ออัดแบร็งหรือตลับลูกปืนรองรับแกนเพลลาของโรเตอร์

- ใบพัด (Fan) จะทำด้วยเหล็กหล่อ มีลักษณะเท่ากันทุกครีบเท่ากันทุกครีบ จะสวมยึดอยู่บนเพลลาด้านตรงข้ามกับเพลลาแกน ใบพัดนี้จะช่วยในการระบายอากาศและความร้อน

- ฝาครอบใบพัด (Fan End Plate) จะมีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กเหนียวขึ้นรูปให้มีขนาดสวมฝาครอบได้พอดี มีรูเจาะเพื่อระบายอากาศ และยึดติดกับฝาครอบด้านที่มีใบพัด

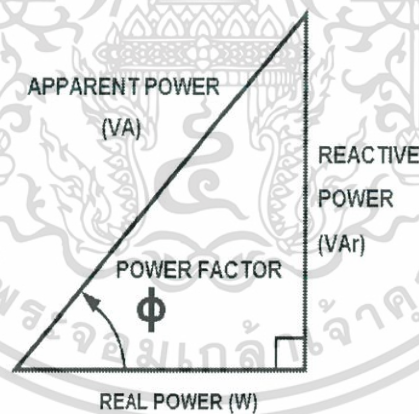
2.2.2 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล โดยส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าคือขดลวดในสเตเตอร์ และส่วนที่ทำหน้าที่ให้พลังงานกล คือ ตัวหมุนหรือโรเตอร์ [1] เมื่อขดลวดในสเตเตอร์ได้รับพลังงานไฟฟ้าแล้วจึงสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาใน สเตเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้จะมีการเคลื่อนที่หรือหมุนไปรอบ ๆ สเตเตอร์ เนื่องจากการต่างเฟสของกระแสไฟฟ้าในขดลวดและการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า ในขณะที่สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปสนามแม่เหล็กจากขั้วเหนือก็จะพุ่งเข้าหาขั้วใต้ ซึ่งจะไปตัดกับตัวนำที่เป็นวงจรถัดหรือขดลวดกรงกระบอกของตัวหมุนหรือโรเตอร์ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าขึ้นในขดลวดของโรเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กของโรเตอร์นี้จะเคลื่อนที่ตามทิศทาง การเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กที่ สเตเตอร์จะทำให้โรเตอร์ของมอเตอร์เกิดพลังงานกลสามารถนำไปใช้ประโยชน์ที่ต้องการหมุนได้

2.3 หลักการวัดค่ากำลังงานไฟฟ้า

2.3.1 ค่ากำลังงานไฟฟ้า

กำลังงานไฟฟ้า (Power) [3] คืออัตราของการผลิต การถ่ายโอน หรือการใช้ พลังงาน ไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยเวลา ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับสามารถแบ่งกำลังงานไฟฟ้าออกเป็น กำลังงาน ไฟฟ้าปรากฏ (S) กำลังงานไฟฟ้าจริง (P) และกำลังงานไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Q)



รูปที่ 2.2 สามเหลี่ยมทางกำลังงานไฟฟ้า (Power Triangle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.2 อธิบายถึงสามเหลี่ยมทางกำลังงานไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วย

กำลังงานไฟฟ้าปรากฏ (apparent power : VA) คือกำลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่วงจร ซึ่งเป็นกำลังงานไฟฟ้าที่ปรากฏให้เห็นทางโวลต์มิเตอร์และแอมป์มิเตอร์ จึงเรียกกำลังงานไฟฟ้าชนิดนี้ว่า “กำลังงานไฟฟ้าที่ปรากฏ” คำนวณได้จากผลคูณของค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดันไฟฟ้า (V_{rms}) กับค่าอาร์เอ็มเอสของกระแสไฟฟ้า (I_{rms}) มีหน่วยเป็นโวลต์-แอมแปร์ (VA)

ในระบบไฟฟ้า 1 เฟสคำนวณได้จากสูตรที่ (1.1)

$$S = V \times I \quad (1.1)$$

โดยที่ S แทนกำลังงานไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลต์-แอมแปร์

V แทนความต่างศักย์มีหน่วยเป็นโวลต์

I แทนกระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็นแอมแปร์

กำลังงานไฟฟ้าจริง (real power : W) คือกำลังงานไฟฟ้าแอกทีฟที่ทำให้เกิดกำลังงาน หรือเกิดงานขึ้นภายในวงจรมักนิยมใช้ค่านี้ในการคำนวณค่าไฟฟ้า คำนวณจากผลคูณของค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดันไฟฟ้ากับค่าอาร์เอ็มเอสของส่วนประกอบกระแสไฟฟ้าที่มีเฟสตรงกันกับแรงดันไฟฟ้าพามีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

ในระบบไฟฟ้า 1 เฟสคำนวณได้จากสูตรที่ (1.2)

$$P = V \times I \cos\theta \quad (1.2)$$

โดยที่ P แทนกำลังงานไฟฟ้ามีหน่วยเป็นวัตต์

V แทนความต่างศักย์มีหน่วยเป็นโวลต์

I แทนกระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็นแอมแปร์

$\cos\theta$ แทนค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้า

กำลังงานไฟฟารีแอกทีฟ (reactive power : VAR) คือกำลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียไปในวงจรในรูปของรีแอกทีฟหรือซึ่งเป็นกำลังงานไฟฟ้าที่ไม่สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้

2.3.2 ค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้า

ค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้า (Power Factor) คือค่าตัวเลขอัตราส่วนของกำลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงหรือ Real Power (P) ทหารด้วยค่ากำลังงานที่ปรากฏ หรือ Apparent Power (S) ซึ่งมีหน่วยเป็นวีเอหรือโวลท์-แอมป์ (VA)

อีกนัยหนึ่งคือปริมาณที่บอกถึงอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดงานจริงกับกำลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ต้องการจากระบบไฟฟ้าตัวประกอบกำลังงานไฟฟ้าอาจมีค่าล้าหลัง (lagging) หรือนำหน้า (leading) โดยมีสูงสุดเท่ากับ 1.00 (หรือ unity)

กำลังงานไฟฟ้าล้าหลังเกิดจากโหลดประเภทเหนี่ยวนำ (inductive load) ที่ทำให้รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าตามหลังแรงดันไฟฟ้า กำลังงานไฟฟ้านำหน้าจะเกิดจากโหลดประเภทความจุไฟฟ้า (capacitive load) ซึ่งรูปคลื่นกระแสไฟฟ้านำหน้าแรงดันไฟฟ้า ส่วนตัวประกอบกำลังงานไฟฟ้า unity เกิดจากโหลดประเภทตัวต้านทาน (resistive load) ที่ทำให้รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าตรงกับแรงดันไฟฟ้า

ในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีโหลดเป็นมอเตอร์หรือหม้อแปลงไฟฟ้าต้องจ่ายค่าไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้จริงจำนวนมาก

2.3.3 หม้อแปลงวัดกระแส

หม้อแปลงวัดกระแส (Current Transformer) [4] เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าหรือลดทอนกระแสไฟฟ้า (Step-down) ที่จะวัดให้เหมาะสมกับพิกัดกระแสไฟฟ้าที่เครื่องมือวัดรับได้ เช่น อัตราส่วน 15/5 A, 50/5 A, 150/5 A, 500/5 A หรือรวมไปจนถึงกระแสที่สูงๆ เช่น 10,000/5 A, 15,000/5 A เป็นต้น



รูปที่ 2.3 หม้อแปลงวัดกระแส YHDC 10 A / 1 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนหม้อแปลงวัดกระแส คืออัตราส่วนของการแปลงกระแสทางด้านอินพุต primary ต่อเอาต์พุต Secondary เช่น Ratio ของ CT 400/5 A คือ 80 ไม่มีหน่วย อธิบายได้คือ “CT มี Primary Current เท่ากับ 400 A และ Secondary Current 5 A มีอัตราส่วนตัวคูณคือ 80

ค่า Burden คือค่ากำลังงานไฟฟ้าที่สูญเสีย (VA) ของขดลวดแปลงกระแสไฟฟ้าหลักการคือเมื่อมีอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกตัวที่ต่ออนุกรมกับขดลวดด้าน secondary มีกำลังงานไฟฟ้าสูญเสียในเครื่องวัดรวมกันกับกำลังงานไฟฟ้าสูญเสียในสายวัดมีค่าภายใต้เบอร์เดนของขดลวดแปลงกระแสแล้ว ความผิดพลาดจากการวัดจะเป็นไปตามคลาส (Class) ของขดลวดแปลงกระแสไฟฟ้านั้น

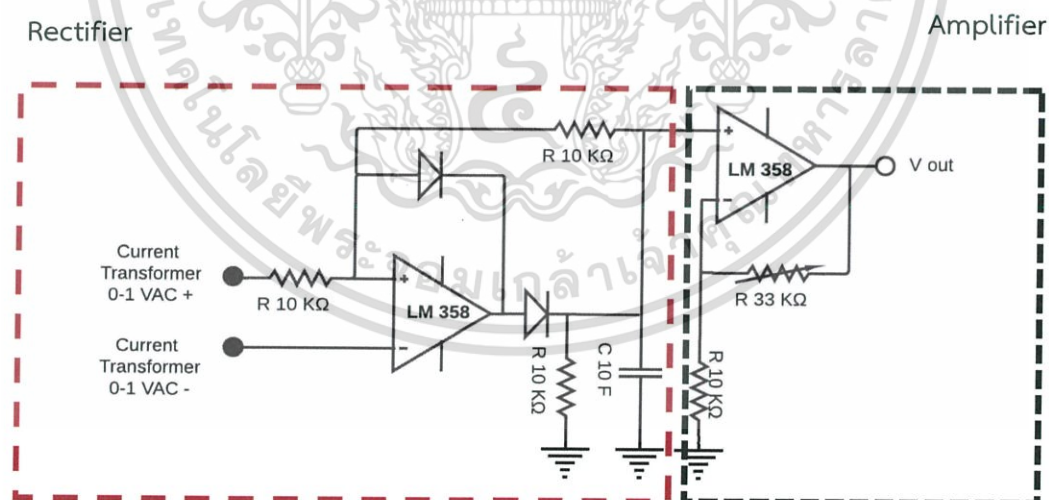
2.3.4 วงจรเรียงกระแส

วงจรเรียงกระแส (Rectifier) [6] คือวงจรไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติในการแปลงสัญญาณกระแสสลับให้กลายเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงหรือมีคุณสมบัติยอมให้ไฟฟ้าไหลผ่านไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งอุปกรณ์ที่นิยมใช้ในการแปลงสัญญาณได้แก่ไดโอด และออปแอมป์

2.3.5 วงจรขยายสัญญาณ

วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) [6] เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ช่วยเพิ่มขนาดหรือกำลังของสัญญาณโดยใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟ และการควบคุมสัญญาณเอาต์พุตให้มีรูปร่างเหมือนสัญญาณอินพุตแต่มีขนาดใหญ่กว่า

ซึ่งในโครงงานนี้วงจรเรียงกระแสและขยายสัญญาณจะทำหน้าที่ขยายและเรียงสัญญาณที่ได้รับจากหม้อแปลงวัดกระแสเพื่อส่งค่าไปประมวลผลที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP 32



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างวงจรเรียงกระแสและขยายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในการส่งผ่านพลังงานจากวงจรไฟฟ้าหนึ่งไปยังอีกวงจรโดยอาศัยหลักการของแม่เหล็กไฟฟ้าโดยปกติจะใช้เชื่อมโยงระหว่างระบบไฟฟ้าแรงสูงและไฟฟ้าแรงต่ำ หม้อแปลงเป็นอุปกรณ์หลักในระบบส่งกำลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 2.5 หม้อแปลงไฟฟ้า 220 VAC / 24 VAC

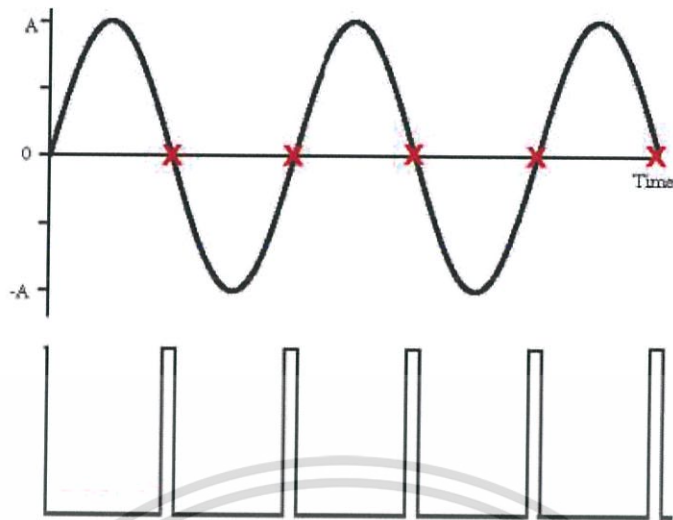
จากรูปที่ 2.5 สามารถจำแนกโครงสร้างของหม้อแปลงได้ดังนี้

- ขดลวดตัวนำปฐมภูมิ (Primary Winding) ทำหน้าที่รับแรงเคลื่อนไฟฟ้า
- ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Winding) ทำหน้าที่จ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้า
- ขั้วต่อสายไฟ (Terminal) ทำหน้าที่เป็นจุดต่อสายไฟกับขดลวด
- แผ่นป้าย (Name Plate) ทำหน้าที่บอกรายละเอียดประจำตัวหม้อแปลง
- อุปกรณ์ระบายความร้อน (Coolant) ทำหน้าที่ระบายความร้อนให้กับขดลวดเช่นอากาศ, พัดลม, น้ำมันหรือใช้ทั้งพัดลม และน้ำมันช่วยระบายความร้อนเป็นต้น
- โครง (Frame) หรือตัวถังของหม้อแปลง (Tank) ทำหน้าที่บรรจุขดลวดแกนเหล็ก

2.3.7 วงจรตรวจจับการจับผ่านศูนย์

วงจรตรวจจับการผ่านศูนย์ (Zero Crossing Detector) [5] คือวงจรที่ใช้เพื่อสร้างพัลส์การซิงค์ที่เกี่ยวข้องกับมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในไฟฟ้ากระแสสลับที่มักใช้ในวงจรควบคุมกำลังซึ่งโดยทั่วไป กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าในไฟฟ้ากระแสสลับจะส่งสัญญาณรูปคลื่นไซน์ (0 -360 องศา) โดยที่วงจรตรวจจับการผ่านศูนย์ที่ทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์จับสัญญาณของกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าที่ผ่านจุดมุมเฟส 0 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณพัลส์กับคลื่นไซน์ เกิดขึ้นที่ 0, 180 และ 360 องศา

2.4 หลักการประมวลผลและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้า

ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ที่ใช้ประมวลผลและรูปแบบการสื่อสารที่ใช้แสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

2.4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) [2] คืออุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก มีความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู, หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน



รูปที่ 2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

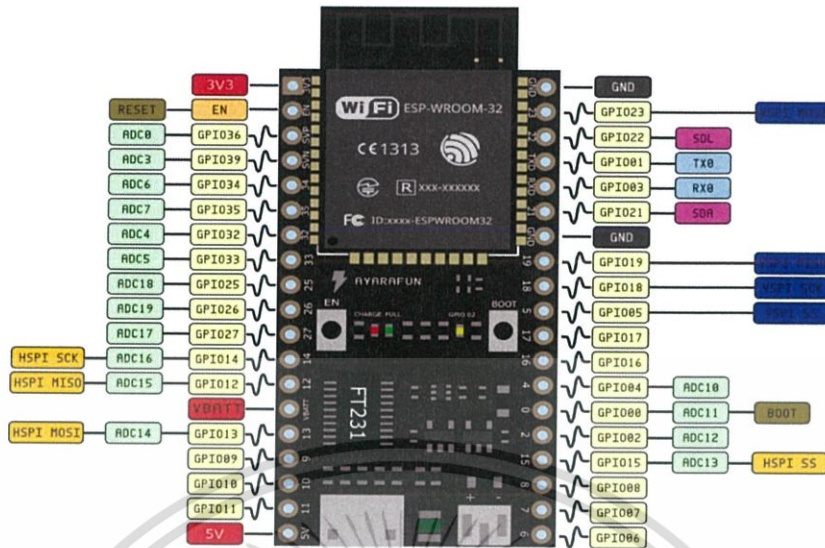
จากรูปที่ 2.7 โครงสร้างโดยทั่วไป ของไมโครคอนโทรลเลอร์ประกอบด้วย

- หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (Central Processing Unit: CPU)
- หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือหน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนกับฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะคือข้อมูลใด ๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนคือหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกับกระตาดขทในการคำนวณของซีพียู และจะเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความจำแรม (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่ว ๆ ไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยงเป็นอีอีพรอม (EEPROM : Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยงก็ตาม
- ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือพอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก ใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุต เพื่อรับสัญญาณ อาจจะใช้การกดสวิทช์ เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุต เพื่อแสดงผลเช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น
- ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS) คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณ จำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus), บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)
- วงจรกำเนิดสัญญาณเวลา เป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับการทำงานจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้น มีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

2.4.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP 32

ESP 32 เป็นชื่อของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รองรับการเชื่อมต่อ WiFi และ Bluetooth 4.2 BLE ในตัว ผลิตโดยบริษัท Espressif จากประเทศจีน โดยตัวไอซี ESP 32 มีสเปคโดยละเอียด ดังนี้ซีพียูใช้สถาปัตยกรรม Tensilica LX6 แบบ 2 แกน สัญญาณนาฬิกา 240 MHz มีแรมในตัว 512 KBรองรับการเชื่อมต่อรอมภายนอกสูงสุด 16 MB มาพร้อมกับ WiFi มาตรฐาน 802.11 b/g/n รองรับการใช้งานทั้งในโหมด Station softAP และ Wi-Fi direct มีบลูทูธในตัว รองรับการใช้งานในโหมด 2.0 และโหมด 4.0 BLE ใช้แรงดันไฟฟ้าในการทำงาน 2.6 V ถึง 3 V ทำงานได้ที่อุณหภูมิ -40°C ถึง 125°C

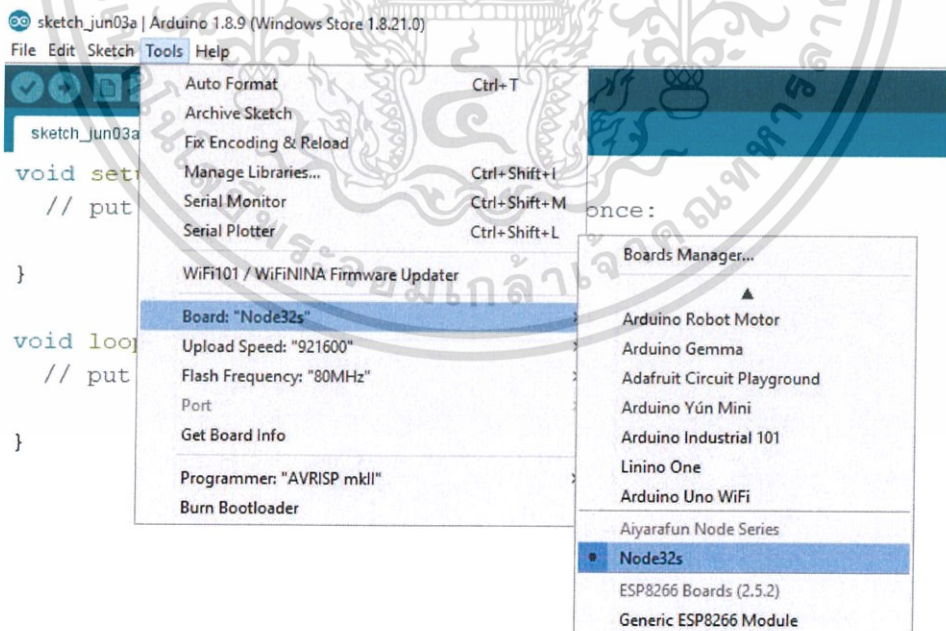
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP 32

2.4.3 โปรแกรมที่ใช้ในการเขียนชุดคำสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP 32

การเขียนโปรแกรมจะเขียนผ่านซอฟต์แวร์ Arduino IDE ซึ่งเป็นฟรีแวร์ที่สามารถดาวน์โหลดได้จาก Website หลักของ Arduino เมื่อเขียนโปรแกรมที่จะใช้เสร็จแล้วให้เลือกบอร์ดที่จะดาวน์โหลดให้ตรงกับบอร์ดที่ใช้งานอยู่ เช่นหากเป็นบอร์ด ESP 32 ให้เลือกดังรูปที่ 2.9 แล้วจึงดาวน์โหลดตามลำดับ



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการเชื่อมต่อ Arduino IDE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 Modbus [8]

Modbus คือโพรโตคอลการสื่อสารที่พัฒนาขึ้นโดยบริษัท Modicon systems ด้วยรูปแบบง่าย ๆ เป็นรูปแบบการส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ที่ต้องการข้อมูลเรียกว่า ModbusMaster ส่วนอุปกรณ์ที่ให้ข้อมูลที่ต้องการเราเรียกว่า Modbus slave

ใน Modbus Network ที่เป็นมาตรฐานนั้นจะมี Master ตัวเดียวแต่ Slave มีได้ถึง 247 ตัว โดยแต่ละตัวจะมี ID ระบุตั้งแต่ 1 ถึง 247 และ Master สามารถ Write ข้อมูลไปยัง Slave ได้

Modbus เป็น Open Protocol หมายความว่าบุคคลทั่วไปสามารถพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้การสื่อสารแบบ Modbus โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายใด ๆ Modbus จึงเป็น Protocol พื้นฐานและนิยมใช้อย่างแพร่หลายในทุกอุตสาหกรรม โดยใช้รับส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ควบคุมกับ Controller หรือระบบประมวลผลข้อมูลต่าง ๆ

Modbus เป็นการสื่อสารโดยการส่งข้อมูลไปตามสายสัญญาณ Serial ระหว่างอุปกรณ์ โดยวิธีการสื่อสารที่ง่ายที่สุดคือการต่อสายสัญญาณ Serial ระหว่าง Master หนึ่งตัวกับ Slave หนึ่งตัว ข้อมูลจะถูกส่งต่อเนื่องกันไปด้วยสัญญาณ 0 หรือ 1 ซึ่งเราเรียกว่า Bit โดยแต่ละบิตจะอยู่ในรูปแบบแรงดันไฟฟ้า (Voltage) โดย 0 จะแทนด้วยแรงดันไฟฟ้านับบวก และ 1 แทนด้วยแรงดันด้านลบ ทำให้สัญญาณ Bit ถูกส่งไปด้วยความเร็ว ความเร็วที่ใช้งานโดยทั่วไปคือ 9600 bps (bits per second)

ข้อมูลต่าง ๆ ของอุปกรณ์ที่เป็น Slave จะเก็บอยู่ในตาราง 4 ตารางที่มีคุณลักษณะต่างกัน โดยสองตารางแรกจะเก็บข้อมูลของแบบ Discrete ที่เป็นค่า On/Off (Coil) ส่วนอีกสองตารางที่เหลือจะเก็บค่าตัวเลข (Register) Coil และ Register ต่างก็มีตารางแบบ Read-only คืออ่านได้อย่างเดียว และ Read-write คืออ่านได้และเขียนข้อมูลลงไปได้

แต่ละตารางจะมีข้อมูล 9999 ค่า Coil หรือ Contact ซึ่งเป็น Discrete แต่ละตัวจะถูกระบุตำแหน่งด้วย Address ตั้งแต่ 0000 ถึง 270E ซึ่งเป็นเลขฐานสิบหก Register แต่ละตัวใช้พื้นที่ 16 bits = 2 bytes = 1 word และมี address ตั้งแต่ 0000 ถึง 270E

ตารางที่ 2.1 Modbus Register

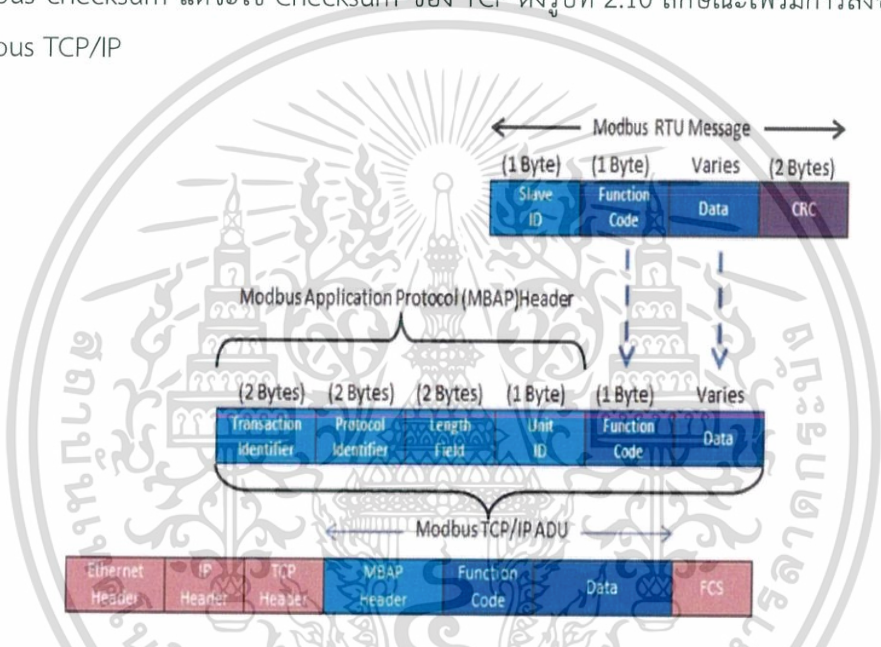
Data Addresses	Coil/Register Numbers	Type	Table Name
0000 to 270E	1-9999	Read-Write	Discrete Output Coils
0000 to 270E	10001-19999	Read-Only	Discrete Input Contacts
0000 to 270E	30001-39999	Read-Only	Analog Input Registers
0000 to 270E	40001-49999	Read-Write	Analog Output Holding Registers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Coil / Register Number จะเป็นเพียง Location name จะไม่ปรากฏอยู่ในข้อมูลที่ถูกรับส่ง แต่ Data Address จะถูกระบุอยู่ในข้อมูล

2.4.5 การสื่อสารผ่าน Modbus TCP/IP

ModbusTCP/IP คือโพรโทคอลที่คล้ายคลึงกับ Modbus RTU แต่เชื่อมต่อกับ TCP เพื่อทำงานบนระบบ Ethernet ซึ่งโครงสร้าง Message ของ Modbus จะทำหน้าที่เป็น Application Protocol ที่จะส่งผ่านไปพร้อมกับ TCP/IP หรือ Transmission Control Protocol และ Internet Protocol ซึ่งเป็นตัวกลางที่ใช้ในการส่ง Message ของ Modbus TCP/IP ในทางปฏิบัติ Modbus TCP จะฝัง Modbus RTU data frame ทั่วไปกับ TCP frame โดยไม่ต้องใช้ Modbus checksum แต่จะใช้ Checksum ของ TCP ดังรูปที่ 2.10 ลักษณะเฟรมการส่งข้อมูลของ Modbus TCP/IP



รูปที่ 2.10 ลักษณะเฟรมการส่งข้อมูลของ Modbus TCP/IP

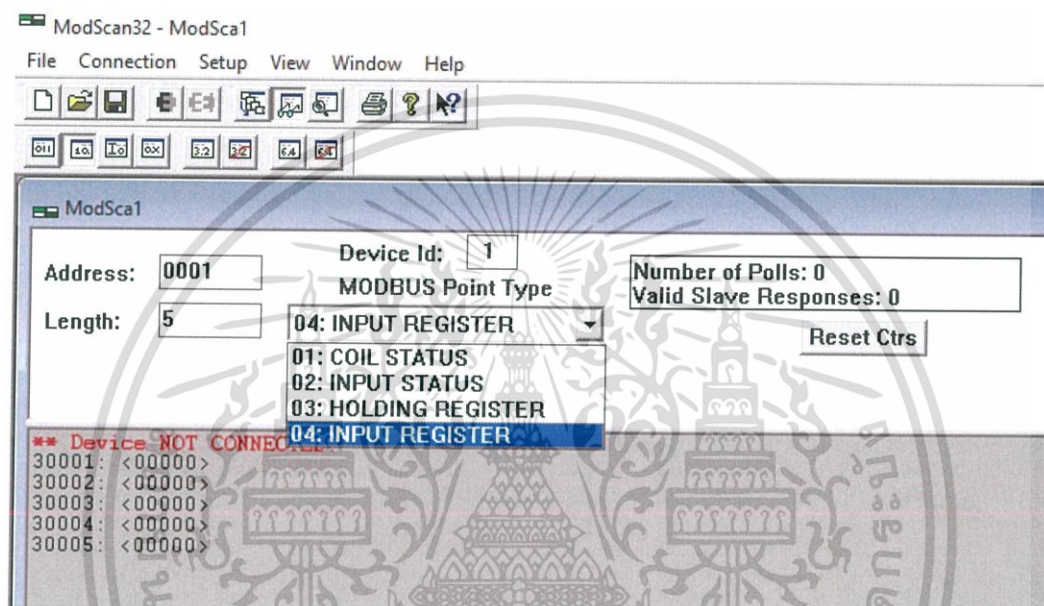
จากรูปที่ 2.10 Modbus Application Protocol (MBAP) จะประกอบด้วยข้อมูล 7 bytes ซึ่งจะวางหน้า Modbus RTU message โดยมีรายละเอียดดังนี้

- Transaction/invocation Identifier (2 Bytes) ใช้จับคู่การแลกเปลี่ยนข้อมูลเมื่อมี Message หลายๆ ชุด ถูกส่งออกมาด้วย TCP เดียวกัน
- Protocol Identifier (2 bytes) ในส่วนจะมีค่าเป็น 0 เสมอ
- Length (2 bytes) เป็นการระบุจำนวน Byte ที่รวมจำนวน Byte ของ unit identifier, function code, data fields
- Unit Identifier (1 byte) เป็นการระบุ ID ของ server ที่อยู่ในระบบสื่อสาร อาจตั้งเป็น 00 ถึง FF ก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6 ModScan โปรแกรมอ่าน/เขียน Modbus

ในระบบอุตสาหกรรมมักจะใช้การสื่อสาร RS 485 และใช้ Protocol ของ Modbus ในการสื่อสารส่งข้อมูลและบางโอกาสก็ต้องการจะอ่านค่าจาก Instrument หรือพีแอลซี (Slave Device) ขึ้นมาเพื่อดูค่า Parameter ที่กล่าวถึง จึงมีโปรแกรมอ่านค่า Modbus เพื่อสะดวกต่อการตรวจดูค่าที่ส่งมาจากอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยรูปที่ 2.11 คือตัวอย่างหน้าต่าง Monitoring ค่า Parameter สามารถเลือก Baud Rate ได้ตั้งแต่ 110-256 Kbps



รูปที่ 2.11 หน้าต่าง Monitoring ค่า Parameter ผ่านโปรแกรม ModScan

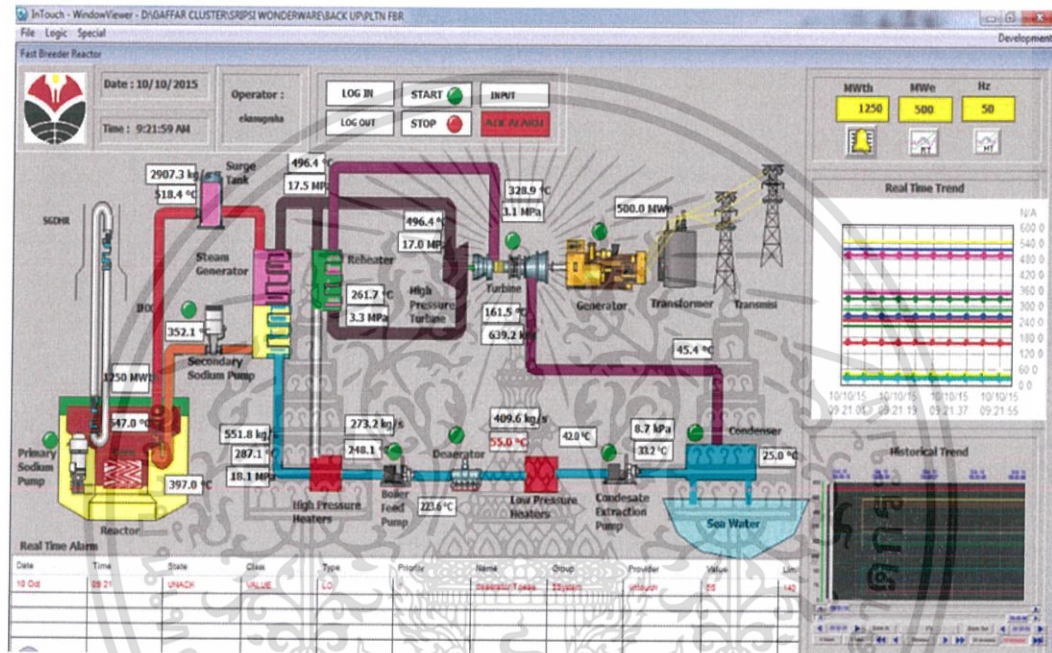
จากรูปที่ 2.11 หน้าต่าง Monitoring ค่า Parameter ผ่านโปรแกรม ModScan สามารถเลือกใช้ได้ 4 Parameter ได้แก่ Coil Status, Input Status, Holding Register, Input Register

2.4.7 เอชเอ็มไอ

เอชเอ็มไอ (HMI) [7] คือการใช้งานร่วมกันระหว่างพีแอลซี กับเครื่องคอมพิวเตอร์จึงเรียกว่า เอชเอ็มไอที่ย่อมาจาก Human Machine Interface โดยนำคอมพิวเตอร์มาเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดต่อระหว่างผู้ใช้งานกับเครื่องจักร เพื่อควบคุม และเป็นจอแสดงผลเอชเอ็มไอรวมไปถึง SCADA เกิดจากความต้องการของผู้ใช้งานที่ต้องการเข้าไปควบคุมระบบที่พีแอลซีเป็นตัวควบคุมอยู่ โดยเอชเอ็มไอนั้นจะเป็นการนำข้อมูลจากพีแอลซีส่งผ่านโครงข่ายของการสื่อสารแบบต่าง ๆ และทำการถอดรหัสและรวบรวมข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ เข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานอุตสาหกรรมในปัจจุบันเกือบทุกประเภทจะมีระบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้พีแอลซีเป็นตัวควบคุมและจะต้องใช้งานร่วมกัน กับเอชเอ็มไอโดยใช้เอชเอ็มไอเป็นตัวสื่อสารระหว่างผู้ใช้งานกับระบบโมดูลพีแอลซี หรือจอแสดงผลต่าง ๆ โดยให้พีแอลซีสั่งงาน ไปที่เครื่องจักรอีกที เพื่อนำไปใช้งานกับเครื่องจักรต่าง ๆ ใน Line ผลิต โดยที่ทาง Energy Scope เลือกใช้เอชเอ็มไอที่เชื่อมต่อกับพีแอลซีต่าง ๆ ได้ทุกยี่ห้อผ่านทาง Digital Communication Ports เช่น RS485, RS232, MODBUS, PROFIBUS, ETHERNET และยังสามารถเชื่อมต่อกับพอร์ต USB ได้โดยตรง



รูปที่ 2.12 ตัวอย่าง Intouch Human Machine Interface

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 กล่าวนำ

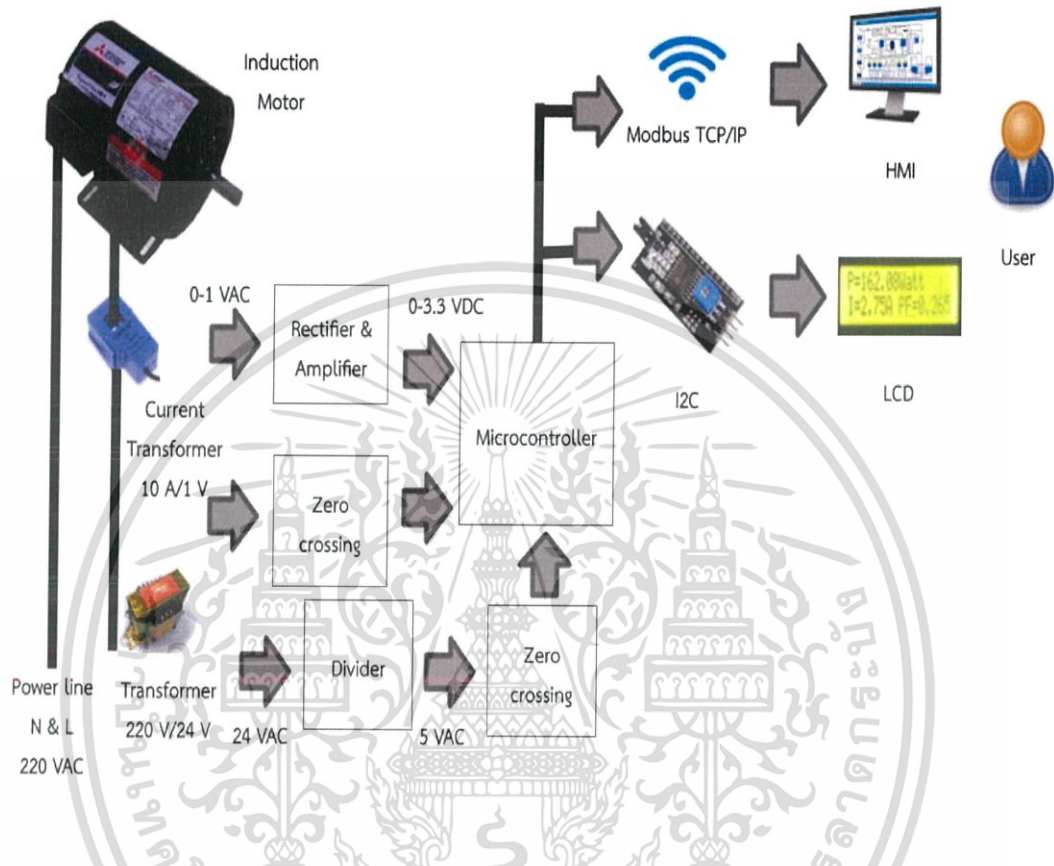
โครงการนี้นำไมโครคอนโทรลเลอร์มาสร้างระบบวัดและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสโดยอุปกรณ์นี้จะถูกติดตั้งเพื่อวัดค่ากำลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส โดยสามารถอ่านค่าผ่านจอแอลซีดีที่จุดวัดและบนส่วนแสดงผลเอชเอ็มไอ

การดำเนินงานเริ่มจากการสร้างชุดตรวจวัดค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส โดยใช้หม้อแปลงวัดกระแสและหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์วัดค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้าที่มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ใช้ในการขับโหลด และใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP 32 เป็นอุปกรณ์ในการประมวลผลค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังงานไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้า เพื่อแสดงผลบนจอแอลซีดี และส่วนแสดงผลบนเอชเอ็มไอ

สร้างส่วนแสดงผลเอชเอ็มไอด้วยโปรแกรม Wonderware InTouch เพื่อใช้แสดงค่าต่าง ๆ ที่วัดได้จากชุดอุปกรณ์ซึ่งประกอบไปด้วยการค่ากระแสไฟฟ้าค่ากำลังงานไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าโดยจะแสดงค่าแบบ Real time และแบบ Historian trend รวมถึงการแจ้งเตือนเมื่อค่ากระแสไฟฟ้าเกินค่าที่ตั้งไว้

สร้างพลานท์จำลองเพื่อทดสอบฟังก์ชันการทำงานของระบบวัดและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

3.2 การออกแบบภาพรวมของระบบวัดและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส



รูปที่ 3.1 การทำงานโดยรวมของระบบวัดและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

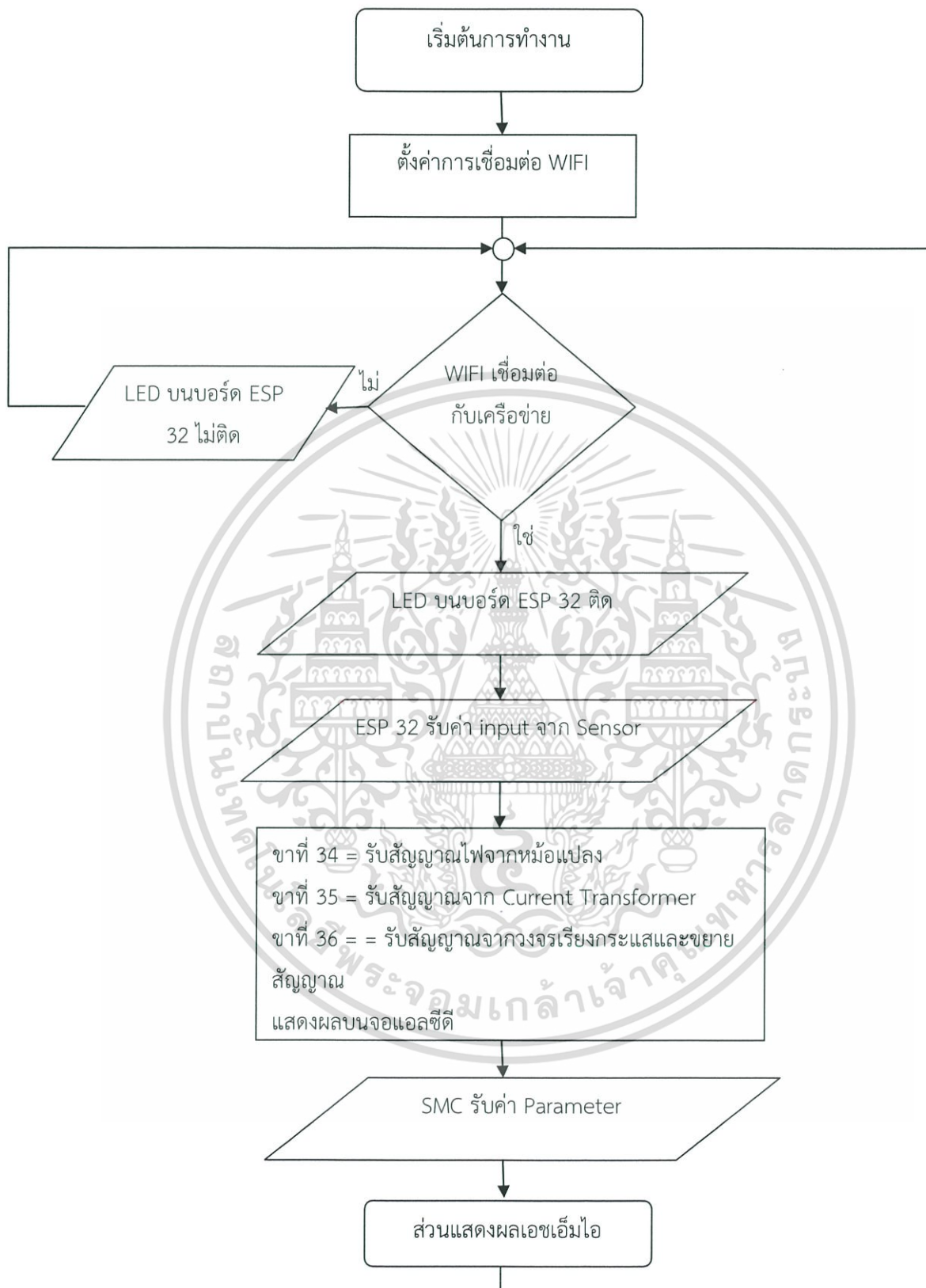
จากรูปที่ 3.1 หลักการทำงานของระบบเริ่มจากหม้อแปลงวัดกระแสรับค่ากระแสไฟฟ้า เปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้าส่งผ่านไปที่วงจรเรียงกระแสและขยายสัญญาณ และวงจรตรวจจับการผ่านศูนย์โดยสัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับการผ่านศูนย์จะถูกนำไปประมวลผลเพื่อหาค่าเวลาเริ่มต้นของกระแสไฟฟ้า ในส่วนของสัญญาณที่ได้จากวงจรเรียงกระแสและขยายสัญญาณจะถูกนำไปประมวลผลเพื่อวัดค่ากระแสในส่วนของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส จะใช้หม้อแปลงไฟฟ้า 220 VAC เป็น 24 VAC แล้วใช้วงจรแบ่งแรงดันเพื่อให้สัญญาณมีค่า 5 VAC จากนั้นสัญญาณจะผ่านไปที่วงจรตรวจจับการผ่านศูนย์เพื่อใช้ประมวลผลในการหาค่าเวลาเริ่มของแรงดันไฟฟ้า โดยส่วนการประมวลผลผู้จัดทำใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP 32 เป็นตัวประมวลผลค่า

กระแสไฟฟ้า ค่ากำลังงานไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้า เพื่อแสดงผลด้วยจอแอลซีดีที่จุดตรวจวัดและส่งผ่านข้อมูลด้วยโปรโตคอล Modbus TCP/IP เพื่อใช้ในส่วนแสดงผลเอชเอ็มไอ

ตารางที่ 3.1 อุปกรณ์ที่ติดตั้งใช้งานในระบบ

อุปกรณ์	หน้าที่การทำงาน
ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP 32	เป็นตัวประมวลผลและส่งค่าเพื่อการแสดงผล
หม้อแปลงวัดกระแส	อุปกรณ์ในการวัดกระแส
หม้อแปลงไฟฟ้า	แปลงไฟ 220 V ให้เหลือ 24 V เพื่อนำมาเข้าวงจรจับผ่านศูนย์
วงจรตรวจจับการผ่านศูนย์	ตรวจจับเวลาการเคลื่อนที่ผ่านค่ามมเฟสที่ 0 องศาของกราฟ รูปคลื่นไซน์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า
วงจรเรียงกระแสและขยายสัญญาณ	ขยายสัญญาณและเรียงกระแสเพื่อส่งค่าไปประมวลผล
จอแอลซีดี	แสดงค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังงานไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้า บนหน้าจอแสดงผล ณ จุดตรวจวัด
เอชเอ็มไอ	แสดงค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังงานไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าบนส่วนแสดงผลเอชเอ็มไอ
Router	ทำหน้าที่เชื่อมต่อ WIFI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



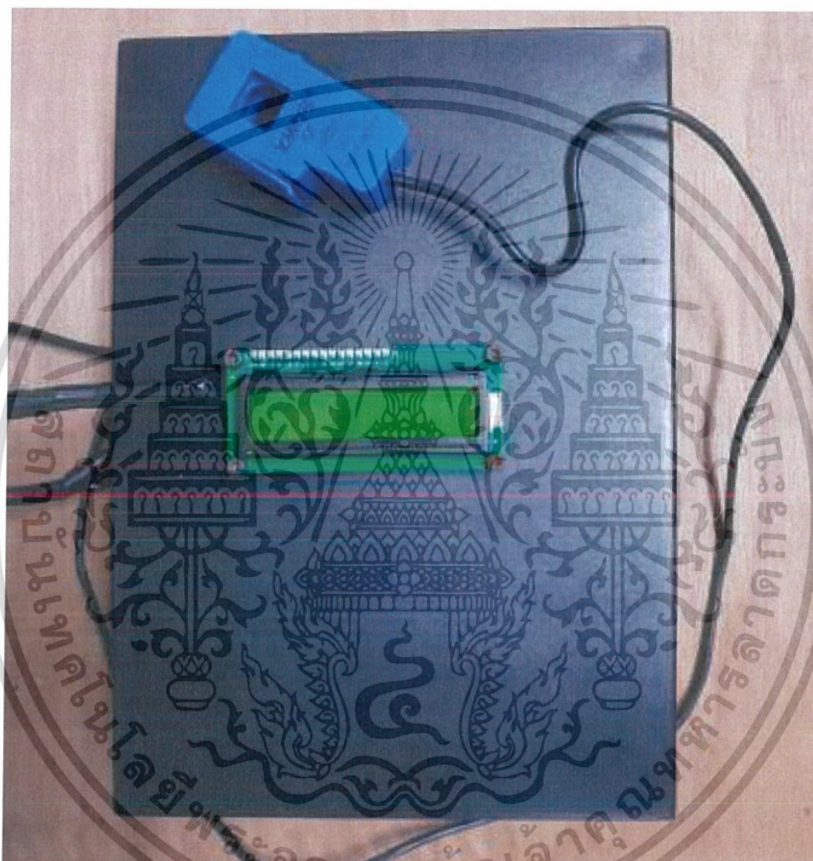
รูปที่ 3.2 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การสร้างชุดตรวจวัดและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1

เฟส

ชุดตรวจวัดค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสประกอบด้วยหม้อแปลงวัดกระแส หม้อแปลงไฟฟ้า วงจรอิเล็กทรอนิกส์ 2 วงจรได้แก่ วงจรเรียงกระแสและขยายสัญญาณ วงจรตรวจจับการผ่านศูนย์ และจอแอลซีดีในการแสดงค่ากระแสไฟฟ้าค่ากำลังงานไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าที่วัดได้จากมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส



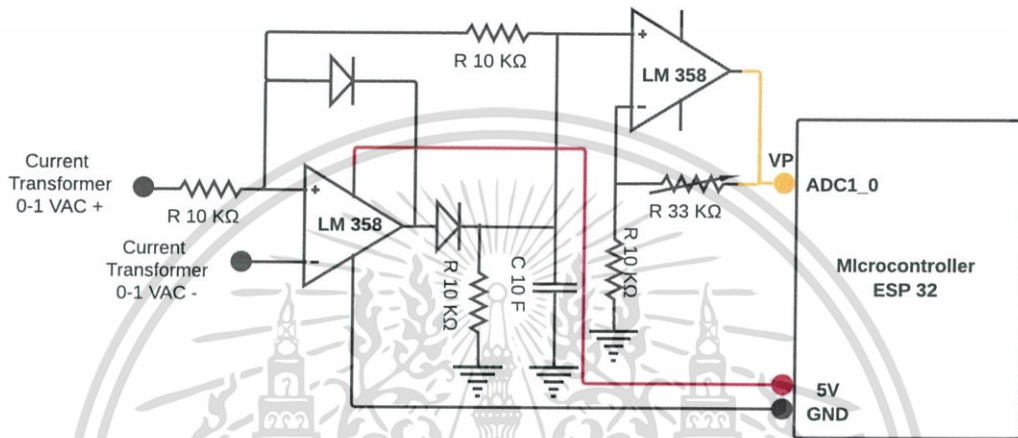
รูปที่ 3.3 ชุดอุปกรณ์วัดและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

3.3.1 ส่วนการวัดกระแสไฟฟ้า

ในส่วนของการวัดกระแสไฟฟ้าทางคณะผู้จัดทำใช้หม้อแปลงวัดกระแสเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าหรือลดทอนกระแสไฟฟ้า (Step down) ที่จะวัดนั้นให้เหมาะสมกับพิภักดกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดกระแสของเครื่องมือวัดรับได้โดยในโครงการนี้ใช้ หม้อแปลงวัดกระแส YHDC 10 A / 1 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

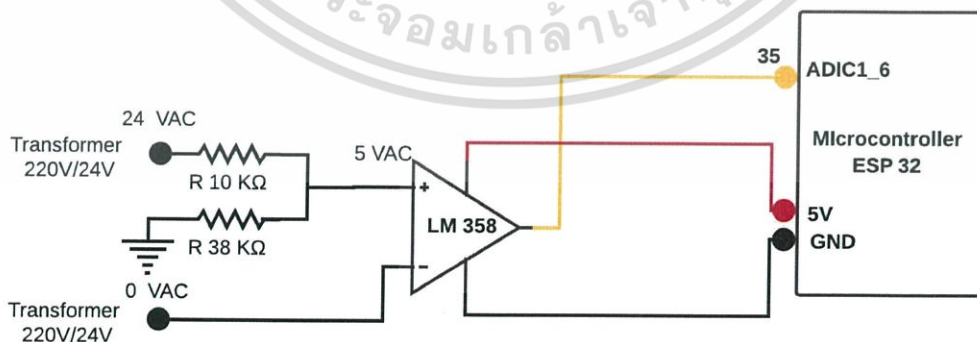
หม้อแปลงวัดกระแสจะวัดค่ากระแสโดยให้เอาต์พุตเป็นโวลต์ (V) จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเข้าวงจรเรียงกระแสและขยายสัญญาณที่มีอัตราขยาย 3.3 เท่า โดยเทียบจากแรงดันสูงสุดของหม้อแปลงวัดกระแสซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 โวลต์เทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเป็นไฟเลี้ยงให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP 32 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.3 โวลต์ซึ่งทำหน้าที่เรียงกระแสและขยายสัญญาณที่ออกจากหม้อแปลงวัดกระแสเนื่องจากค่ากระแสที่วัดได้จะถูกแปลงออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้าที่น้อยมากดังนั้นจึงต้องขยายสัญญาณก่อนนำค่ามาเข้าบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP 32 ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงจรส่วนการวัดกระแสไฟฟ้า

3.3.2 ส่วนการวัดแรงดันไฟฟ้า

ในส่วนของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าทางคณะผู้จัดทำใช้หม้อแปลงไฟฟ้า 220 VAC/24 VAC เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบการคำนวณค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าโดยแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากหม้อแปลงจะผ่านวงจรแบ่งแรงดันเพื่อให้มีค่าอินพุตที่เหมาะสมในการรับค่ามาประมวลผล

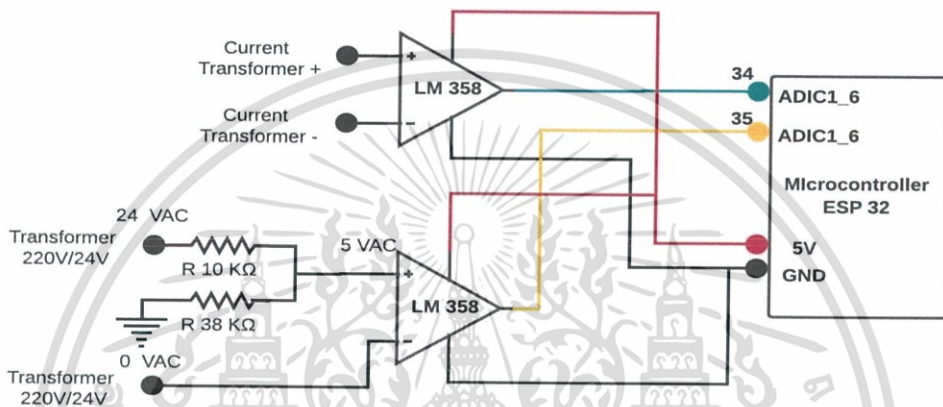


รูปที่ 3.5 วงจรส่วนการวัดแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 ส่วนการวัดค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้า

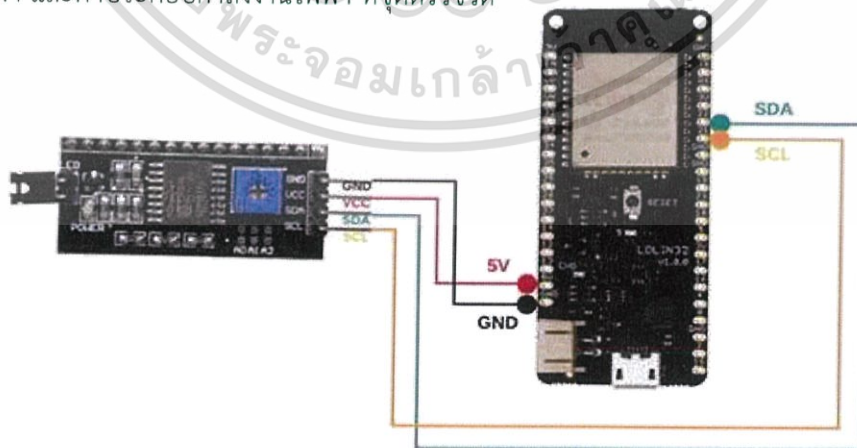
ในส่วนของการวัดค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าทางคณะผู้จัดทำได้สร้างวงจรตรวจจับการผ่านศูนย์เป็นวงจรที่ใช้ในการคำนวณหาค่ามุมเฟสระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความดันไฟฟ้าโดยที่ค่ากระแสไฟจะมีกราฟรูปคลื่นไซน์นำหน้าค่าแรงดันไฟฟ้า ซึ่งวงจรนี้จะทำหน้าที่คำนวณค่าความต่างของมุมเฟสระหว่าง V และ I แล้วจึงนำค่าที่ได้ป้อนเป็นค่าอินพุตให้แก่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP 32 เพื่อใช้ในการหาค่าค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าโดยค่าแรงดันไฟฟ้าได้มาจากหม้อแปลง 220/24 V ส่วนค่ากระแสไฟฟ้าได้จากหม้อแปลงวัดกระแส



รูปที่ 3.6 วงจรส่วนการวัดค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้า

3.3.4 ส่วนการแสดงผลบนจอแอลซีดี

การแสดงผลบนจอแอลซีดีได้ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP 32 โดยจะมีขา VCC SDA SCL และ GND ของบอร์ดจอแอลซีดีตั้งรูปที่ 3.7 ในการแสดงการแสดงผลค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังงานไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้า ที่จุดตรวจวัด



รูปที่ 3.7 วงจรส่วนการแสดงผลบนจอแอลซีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การสร้างพลานท์จำลองการทำงานของระบบวัดและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้า สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

พลานท์จำลองการทำงานของระบบวัดและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสประกอบด้วย มอเตอร์เหนี่ยวนำ กระแสสลับ 220 V อุปกรณ์เบรกชนิด Eddy current break เรเตอร์ และชุดตรวจวัดและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ซึ่งวงจรภายในประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ 2 วงจรได้แก่ วงจรเรียงกระแสและขยายสัญญาณ และวงจรตรวจจับการผ่านศูนย์ โดยที่วงจรทั้งสองวงจรมีหน้าที่ส่งค่าสัญญาณอินพุตเข้าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP 32 แล้วจึงนำค่าที่ได้มาประมวลผลต่อ และแสดงผล เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP 32 เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จึงมีการนำแหล่งจ่ายไฟมาทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP 32 โดยอุปกรณ์ชนิดนี้ต้องการไฟ 3.3 V – 5 V.

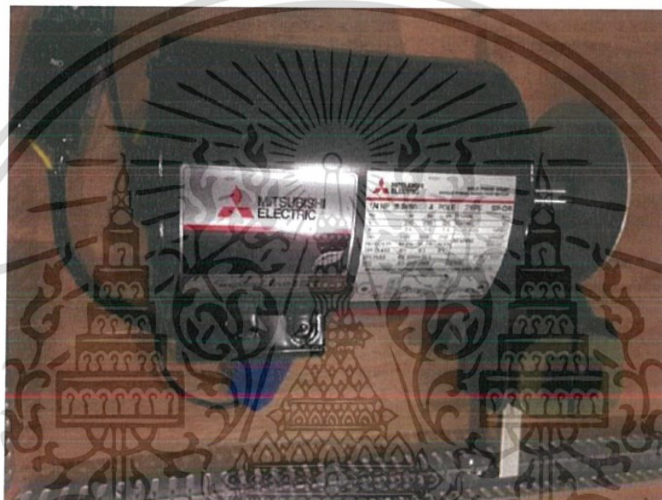


รูปที่ 3.8 พลานท์จำลองการทำงานของระบบวัดและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.8 พลานท์จำลองการทำงานของระบบวัดและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสประกอบด้วย

1. ชุดตรวจวัดค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส
2. Single Phase Induction Motor MITSUBISHI SP-QR มอเตอร์ไฟฟ้า MITSUBISHI รุ่น SP-QR แบบ Horizontal Type 1 PHASE ชนิดสปลิตเฟสมอเตอร์ (Split-Phase Motor) แรงดันไฟฟ้า 220 V ขนาด ¼ HP ความเร็วรอบ 1450 RPM (4P) ความถี่ไฟฟ้า 50 Hz.
3. Eddy current break ใช้แทนโหลดจำลองของพลานท์ โดยการเบรกจะอาศัยแรงแม่เหล็ก



รูปที่ 3.9 มอเตอร์เหนี่ยวนำ



รูปที่ 3.10 Eddy current break

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การเขียนชุดคำสั่งสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP 32

3.5.1 ชุดคำสั่งในการประกาศค่าตัวแปรที่ใช้

```
#include <WiFi.h>
#include <ModbusIP_ESP8266.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
int inv = 34; //ขารับ sinv
float b[100];
int ini = 35; //ขารับ sinv
volatile float rads = 0.01745329;
volatile unsigned long time1; //ตัวแปรที่ใช้เก็บค่าเวลาที่ sinv ณ ขอบขาขึ้น
volatile unsigned long time2; //ตัวแปรที่ใช้เก็บค่าเวลาที่ sini ณ ขอบขาขึ้น
volatile float timebetween; //ตัวแปรที่ใช้ในการเก็บค่าเวลาที่แตกต่างกัน
double cosine;
int i;
float avrb; //ตัวแปรในการเก็บค่า power factor
float sumb;
float current; //ตัวแปรในการเก็บค่ากระแส
float power; //ตัวแปรในการเก็บค่า power
float power1; //ตัวแปรในการเก็บค่า power ที่แสดงบนหน้าจอ LCD
```

รูปที่ 3.11 การประกาศค่าตัวแปรที่ใช้

จากรูปที่ 3.11 เป็นการประกาศค่าตัวแปรอินพุต และการกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณหาค่ากำลังงานไฟฟ้า ค่าเวลาในการเคลื่อนที่มุมเฟสของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า

3.5.2 ชุดคำสั่งในการเชื่อมต่อ WIFI

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  WiFi.begin("project4s", "05122539"); //username และ password
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected");
  Serial.println("IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP()); //แสดง ip address บนหน้าจอ serial monitor
}
```

รูปที่ 3.12 ชุดคำสั่งในการเชื่อมต่อ WIFI

จากรูปที่ 3.12 เป็นการเขียนชุดคำสั่งในการกำหนดการเชื่อมต่อ WIFI กับบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP 32

3.5.3 ฟังก์ชัน Pin mode, interrupt function, modbus register

```
pinMode(inv, INPUT); //กำหนดให้ขา 34 เป็น input
pinMode(ini, INPUT); //กำหนดให้ขา 35 เป็น input
attachInterrupt(inv, sinv, RISING); //ใช้โหมด rising ในการ interrupt sinv
attachInterrupt(ini, sini, RISING); //ใช้โหมด rising ในการ interrupt sini
mb.begin();
mb.addreg(0); //modbus register 30001
mb.addreg(2); //modbus register 30003
mb.addreg(4); //modbus register 30005
```

รูปที่ 3.13 ชุดคำสั่งในการใช้ฟังก์ชัน Pin mode, interrupt function, modbus register

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.13 pin mode, interrupt function, modbus register เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการสร้างสัญญาณจับเวลาในการเคลื่อนที่ของรูปคลื่นไซน์ในกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า และฟังก์ชันการเชื่อมต่อ Modbus

3.5.4 การหาค่าเวลาที่แตกต่างกันของ sinv และ sini ในหน่วย ms

```
void sinv(void){
    time1 = micros();
}
void sini(void){
    time2 = micros();
    if(((time2-time1)*0.001)<=5){
        timebetween = (time2-time1)*0.001;
    }
}
```

รูปที่ 3.14 ชุดคำสั่งในการหาค่าเวลาที่แตกต่างกันของ sinv และ sini ในหน่วย ms

จากรูปที่ 3.14 เป็นชุดคำสั่งในการหาค่ามอดุสที่ต่างกันของค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้าเพื่อนำไปคำนวณหาค่าตัวประกอบกำลังงานไฟฟ้า

3.5.5 การอ่านค่ากระแส และการทำ scaling

```
float sensorValue2 = analogRead(A0); //อ่านค่าจาก(A0)
current = sensorValue2 * (3.3 / 4095.0); //การทำ scaling current
```

รูปที่ 3.15 ชุดคำสั่งในการอ่านค่า current และการทำ scaling

จากรูปที่ 3.15 เป็นชุดคำสั่งในการคำนวณค่าอินพุตที่อ่านได้จากหม้อแปลงวัดกระแสเพื่อแสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสใช้ในการขับโหลด

3.5.6 การคำนวณหาค่ากำลังงานไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้า

```
void loop() {
    static unsigned long Time3 = millis();
    while(i<100){
        cosine = (cos(timebetween*18*rads)); //การหาค่า cosine เพื่อหา pf
        b[i] = cosine;
        sumb = sumb + b[i];
        i = i + 1;
        if (i == 99) {
            float avrb = (sumb/100); //การหาค่าเฉลี่ยของ pf 100 ตัว
            if((millis()-Time3)>2000){ //ทุกๆ 2 วินาที จะส่งค่าผ่าน modbus
                Time3 = millis();
                power = (220*current*avrb*100);
                power1 = (220*current*avrb*10);
            }
        }
    }
}
```

รูปที่ 3.16 ชุดคำสั่งในการคำนวณหาค่ากำลังงานไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.16 เป็นชุดคำสั่งในการคำนวณค่ากำลังงานไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสใช้ในการขับโหลด

3.5.7 การส่งค่าที่คำนวณและวัดได้ผ่าน Modbus TCP/IP

```
mb.iReg(0, ((current)*1000)); //ส่งค่าไปยัง modbus register 30001
mb.iReg(2, (power)); //ส่งค่าไปยัง modbus register 30003
mb.iReg(4, (avrb*10000)); //ส่งค่าไปยัง modbus register 30005
```

รูปที่ 3.17 ชุดคำสั่งในการส่งค่าที่คำนวณและวัดได้ผ่าน Modbus TCP/IP

จากรูปที่ 3.17 เป็นชุดคำสั่งในการส่งค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังงานไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์เหนี่ยวนำมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสใช้ในการขับโหลด ผ่านโปรโตคอลModbus TCP/IP เพื่อใช้ในส่วนแสดงผลเอชเอ็มไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.8 การแสดงค่าที่วัดได้ไปยังจอแอลซีดี

```

lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("P=");
lcd.setCursor(2, 0);
lcd.print("power1") //การแสดงผลค่า power บนหน้าจอ LCD
lcd.setCursor(8, 0);
lcd.print("Watt")
lcd.setCursor(8, 1);
lcd.print("PF=");
lcd.setCursor(11, 1);
lcd.print("avrb"); //การแสดงผลค่า pf บนหน้าจอ LCD
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("I=");
lcd.setCursor(2, 1);
lcd.print("current"); //การแสดงผลค่า current บนหน้าจอ LCD
lcd.setCursor(6, 1);
lcd.print("A");

```

รูปที่ 3.18 ชุดคำสั่งในการแสดงค่าที่วัดได้ไปยังจอแอลซีดี

จากรูปที่ 3.18 เป็นชุดคำสั่งในการส่งค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังงานไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสใช้ในการขับเคลื่อน เพื่อใช้ในส่วนแสดงผลผ่านจอแอลซีดี

3.6 สร้างการแสดงผลเอชเอ็มไอ

การสร้างส่วนแสดงผลเอชเอ็มไอจะใช้โปรแกรม Wonderware InTouch ซึ่งจะนำค่ากระแสไฟฟ้าค่ากำลังงานไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้า ที่ผ่านการคำนวณ และประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์มาแสดง โดยจะประกอบไปด้วย ส่วนแสดง ค่ากระแสไฟฟ้าค่ากำลังงานไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้า แบบ Real time การแสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์วัด การแสดงสถานะการทำงานของมอเตอร์ สถานะการแจ้งเตือนเมื่อมอเตอร์รับภาระโหลดเกิน รวมถึงการแสดงผลย้อนหลังของค่ากระแสไฟฟ้าค่ากำลังงานไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้า ผ่านการรายงานแบบ Historian Trend

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 การกำหนดค่าตัวแปรที่ใช้ในการแสดงผลบนโปรแกรม Wonderware InTouch

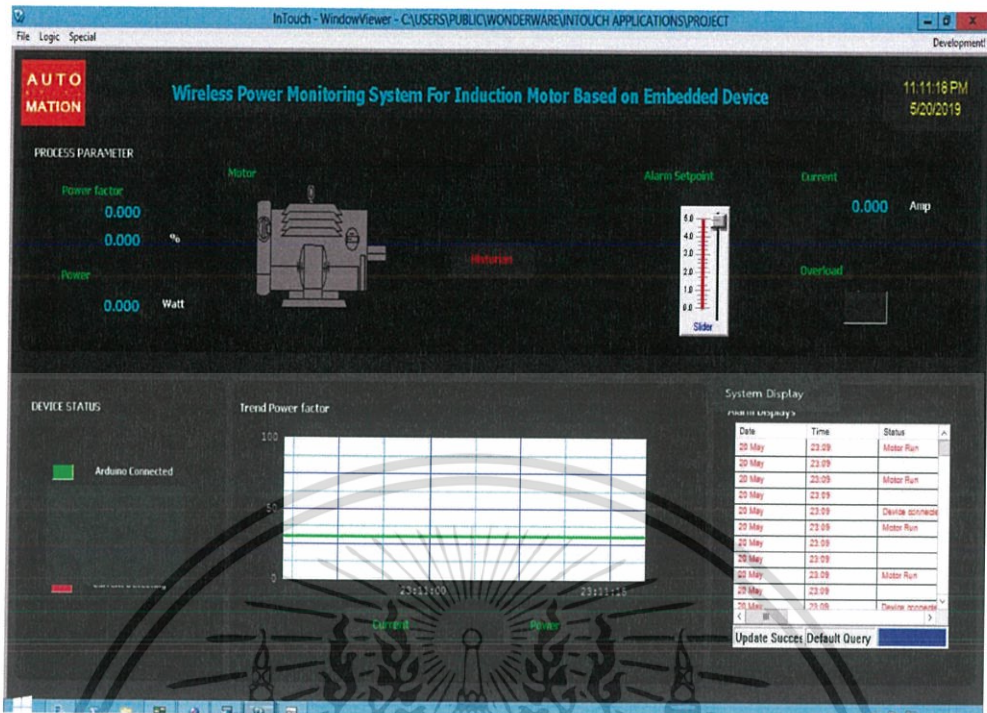
Variable	Data Type	InTouch Tag name	Modbus Register
Current	Float	CU	30001
Power	Float	PO	30003
Avrb	Float	PF	30005

จากตารางที่ 3.2 คือการกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการประมวลผลบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่งค่าไปแสดงผลที่ส่วนแสดงผลบนโปรแกรม Wonderware InTouch โดยมีกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

- CU แทนตัวแปรของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ ซึ่งจะแสดงเป็นตัวเลขที่มีจุดทศนิยม
- PO แทนตัวแปรของกำลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ซึ่งจะแสดงเป็นตัวเลขที่มีจุดทศนิยม
- Avrb แทนตัวแปรของค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ซึ่งจะแสดงเป็นตัวเลขที่มีจุดทศนิยม
- Rads แทนค่ามุมเฟสของรูปคลื่นไซน์ที่เกิดจากมอเตอร์เหนี่ยวนำ
- Time between แทนค่าระยะเวลาที่ห่างกันของขอบขาขึ้นของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า
- Time 1 แทนเวลารูปคลื่นไซน์ของแรงดันไฟฟ้า
- Time 2 แทนเวลารูปคลื่นไซน์ของกระแสไฟฟ้า

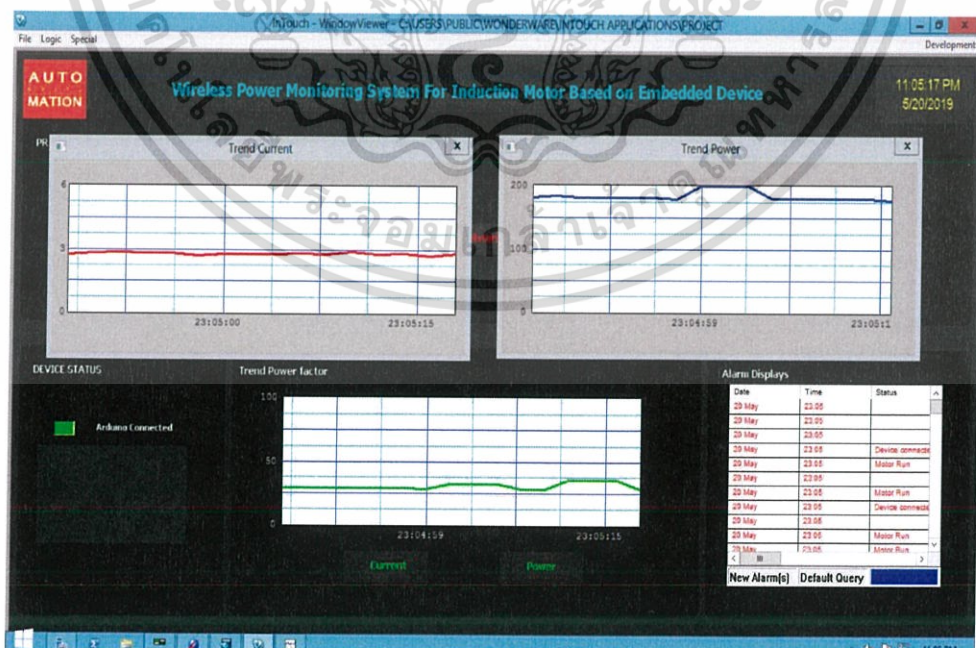
โดยที่ค่าตัวแปรต่าง ๆ จะนำมาใช้ในการออกแบบการสร้างส่วนแสดงผลด้วยโปรแกรม Wonderware InTouch เพื่อใช้แสดงค่าต่าง ๆ ที่วัดได้จากชุดอุปกรณ์ซึ่งประกอบไปด้วยการค่ากระแสไฟฟ้ากำลังงานไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าโดยจะแสดงค่าแบบ Real time และแบบ Historian trend

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



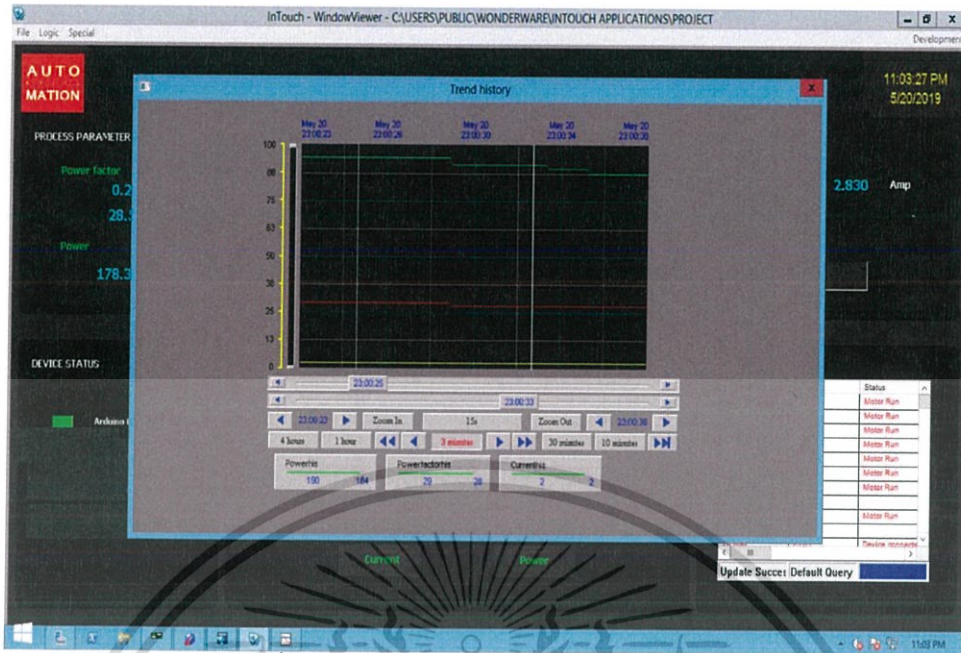
รูปที่ 3.19 ส่วนแสดงผลเอเอ็มไอ

จากรูปที่ 3.19 แสดงหน้าจอหลักของระบบ รายงานค่าที่วัดได้จากมอเตอร์เหนี่ยวนำซึ่งประกอบไปด้วยกระแสไฟฟ้ากำลังงานไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าโดยจะแสดงค่าแบบ Real time และแสดงค่าในรูปแบบของกราฟได้ดังรูปที่ 3.20 และรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.20 หน้าแสดงผลแบบกราฟแบบ Real time

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



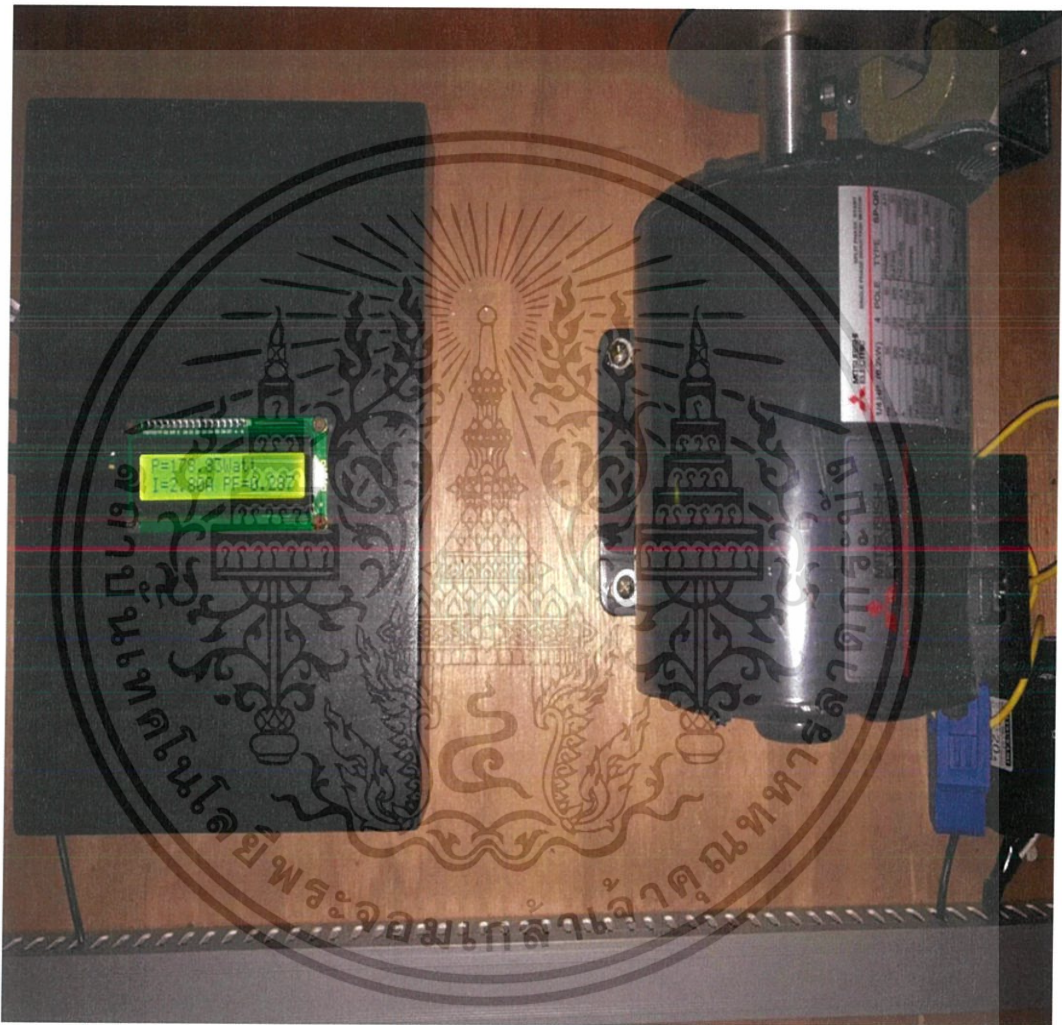
รูปที่ 3.21 หน้าแสดงผลแบบ Historian trend

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองใช้ชุดอุปกรณ์วัดวัดค่ากำลังงานไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส



รูปที่ 4.1 การทดลองใช้ชุดอุปกรณ์วัดวัดค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

จากรูปที่ 4.1 ทำการทดลองวัดค่ากระแสไฟฟ้า กำลังงานไฟฟ้า และค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าขณะขับโหลดที่แตกต่างกัน โดยใช้ Eddy current break แทนโหลด ซึ่งจะมีระยะการเบรก 3 ระยะโดยแบ่งตามพื้นที่ผิวสัมผัส (Surface) มีผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางผลการวัดค่าที่อ่านได้จากชุดอุปกรณ์วัดค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส โดย Eddy current break

Surface (cm ²)	Current (A)	Power (W)	Power factor
0	2.720	162.355	0.265
1.15	2.790	178.830	0.287
3.10	2.850	190.660	0.305

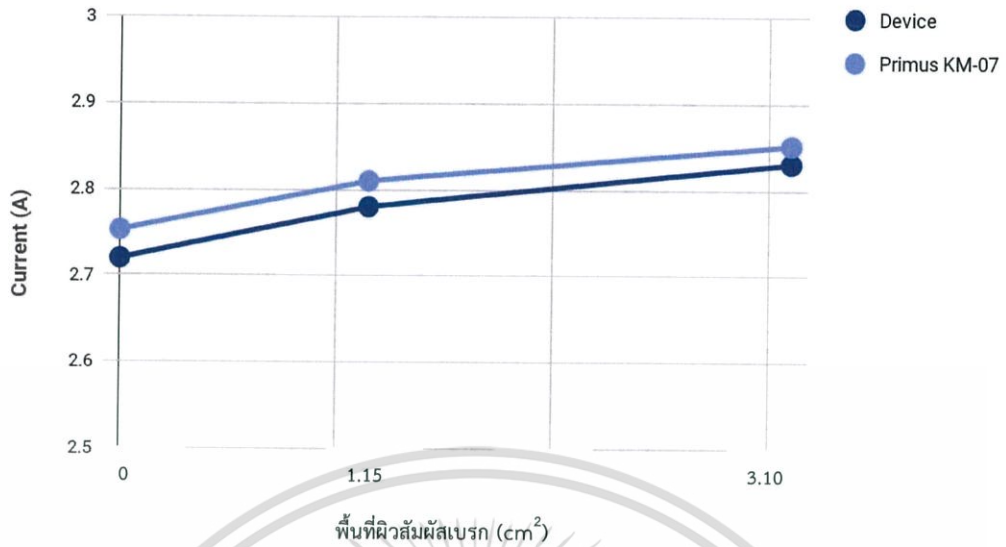
นำค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากจอแอลซีดีของชุดตรวจวัดมาเปรียบเทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากเพาเวอร์มิเตอร์รุ่น Primus KM-07 ได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางผลการเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากชุดอุปกรณ์วัด และเพาเวอร์มิเตอร์รุ่น Primus KM-07

Surface (cm ²)	Current (A) Device (LCD)	Current (A) Primus KM-07	Current Error (%)
0	2.720	2.753	-1.199
1.15	2.790	2.810	-0.712
3.10	2.850	2.851	- 0.035

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากชุดอุปกรณ์วัดกำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสซึ่งมีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่อ่านได้จาก เพาเวอร์มิเตอร์รุ่น Primus KM-07 มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด คือ -1.199 % และมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุด คือ - 0.035 % นำผลการเปรียบเทียบมาสร้างกราฟได้ดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากชุดอุปกรณ์วัดกำลังงานไฟฟ้า และเพาเวอร์มิเตอร์รุ่น Primus KM-07

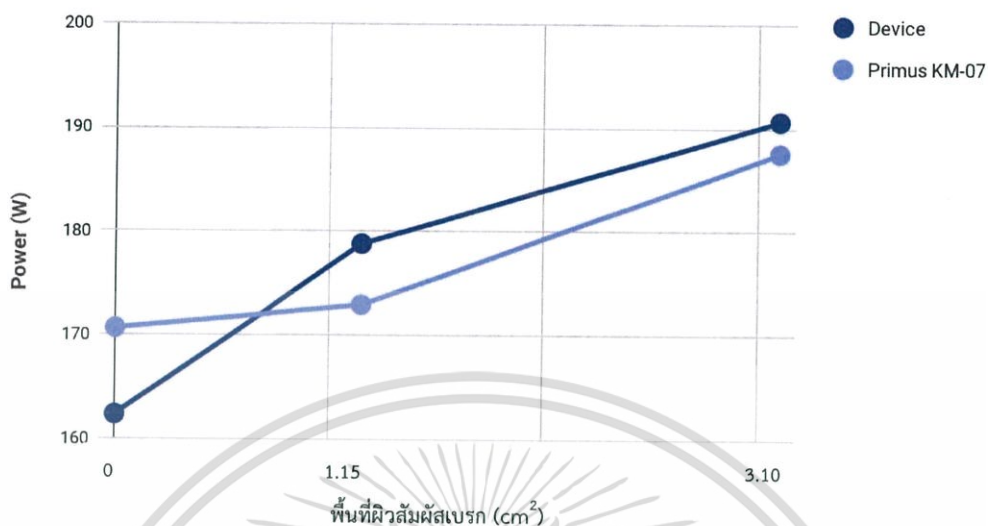
นำค่ากำลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จากจอแอลซีดีของชุดตรวจวัดมาเปรียบเทียบกับค่ากำลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จาก เพาเวอร์มิเตอร์รุ่น Primus KM-07 ได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตารางผลการเปรียบเทียบค่ากำลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จากชุดอุปกรณ์วัด และเพาเวอร์มิเตอร์รุ่น Primus KM-07

Surface (cm ²)	Power (W) Device (LCD)	Power (W) Primus KM-07	Power Error (%)
0	162.355	170.669	-4.871
1.15	178.830	172.949	3.400
3.10	190.660	187.581	1.641

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าค่ากำลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จากชุดอุปกรณ์วัดกำลังงานไฟฟ้า สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสซึ่งมีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่อ่านได้จาก เพาเวอร์มิเตอร์รุ่น Primus KM-07 ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด คือ -4.871 % และมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุด คือ 1.614 % นำผลการเปรียบเทียบมาสร้างกราฟได้ดังรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบค่ากำลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จากชุดอุปกรณ์วัดกำลังงานไฟฟ้าและเพาเวอร์มิเตอร์รุ่น Primus KM-07

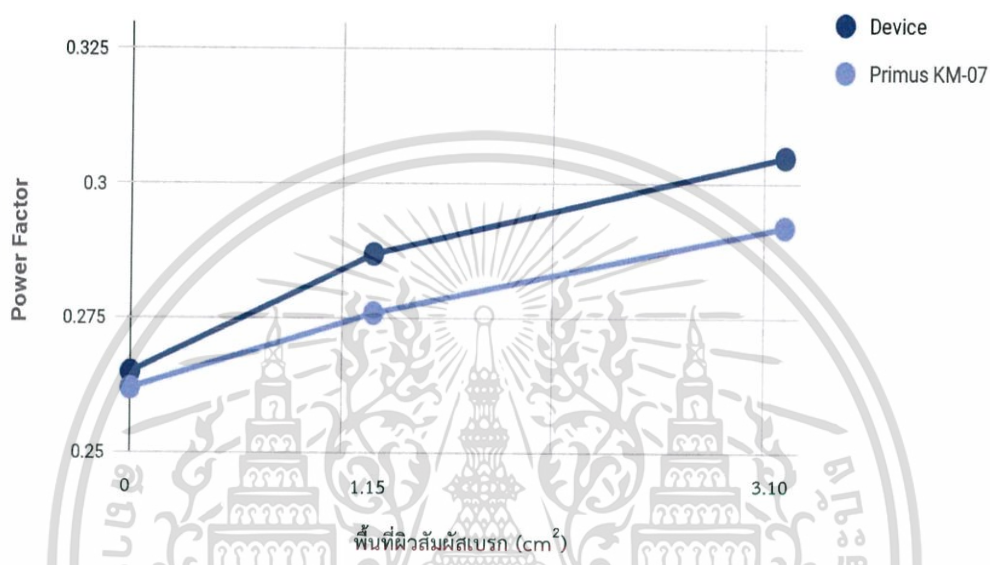
นำค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จากจอแอลซีดีของชุดตรวจวัดมาเปรียบเทียบกับค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จาก เพาเวอร์มิเตอร์รุ่น Primus KM-07 ได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ตารางผลการเปรียบเทียบค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จากชุดอุปกรณ์วัด และเพาเวอร์มิเตอร์รุ่น Primus KM-07

Surface (cm ²)	Power factor Device (LCD)	Power factor Primus KM-07	Power factor Error (%)
0	0.265	0.262	1.145
1.15	0.287	0.276	3.986
3.10	0.305	0.292	4.452

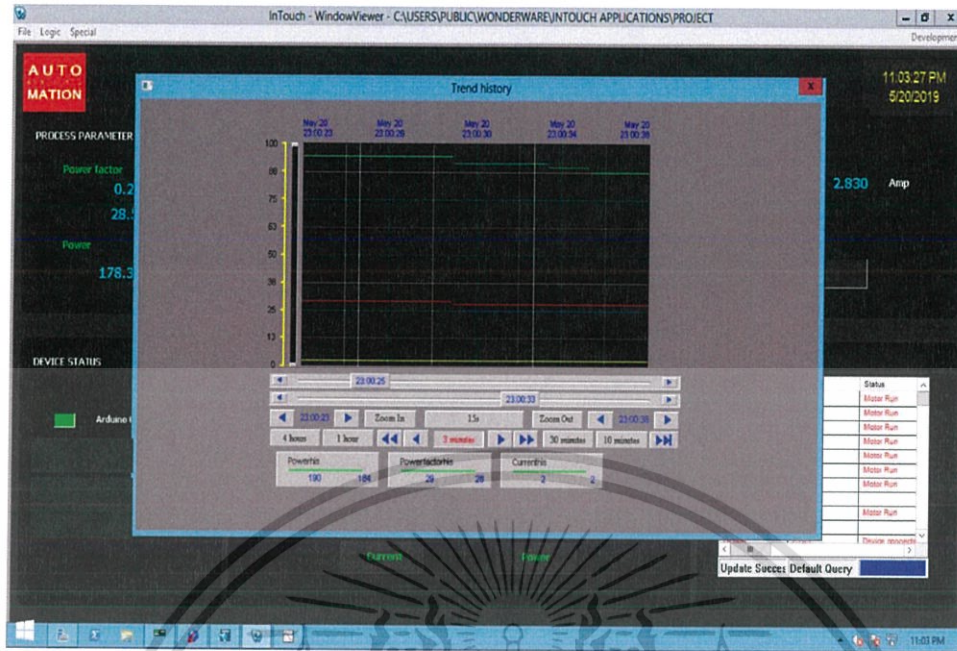
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นว่าค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จากชุดอุปกรณ์วัดกำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าที่อ่านได้จาก เพาเวอร์มิเตอร์รุ่น Primus KM-07 ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด คือ 4.452 % และมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุด คือ 1.145 % ดังตารางข้างต้นนำผลการเปรียบเทียบมาสร้างกราฟได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จากชุดอุปกรณ์วัดกำลังงานไฟฟ้าและเพาเวอร์มิเตอร์รุ่น Primus KM-07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





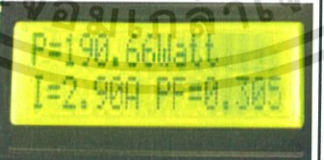



รูปที่ 4.7 ส่วนแสดงผลแบบกราฟย้อนหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการเปรียบเทียบการแสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่ชุดอุปกรณ์วัดและส่วนแสดงผลบนโปรแกรม Wonderware InTouch

ตารางที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบการแสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่ชุดอุปกรณ์วัดและส่วนแสดงผลบนโปรแกรม Wonderware InTouch







พื้นที่ผิวสัมผัสเบรก (cm ²)	ส่วนแสดงผลจอแอลซีดี	ส่วนแสดงผลบนโปรแกรม Wonderware InTouch
0		
1.15		
3.10		

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากชุดอุปกรณ์วัดกำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส และส่วนแสดงผลบนโปรแกรม Wonderware InTouch มีค่าตรงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการเปรียบเทียบการแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ชุดอุปกรณ์วัดและส่วนแสดงผลบนโปรแกรม Wonderware InTouch

ตารางที่ 4.6 ผลการเปรียบเทียบการแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ชุดอุปกรณ์วัดและส่วนแสดงผลบนโปรแกรม Wonderware InTouch




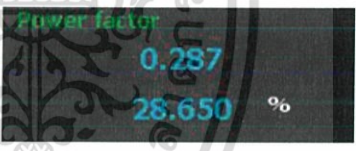
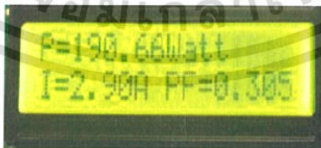
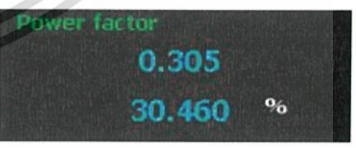
พื้นที่ผิวสัมผัสเบรก (cm ²)	ส่วนแสดงผลจอแอลซีดี	ส่วนแสดงผลบนโปรแกรม Wonderware InTouch
0		
1.15		
3.10		

จากตารางที่ 4.6 จะเห็นว่าค่ากำลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จากชุดอุปกรณ์วัดกำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส และส่วนแสดงผลบนโปรแกรม Wonderware InTouch มีค่าตรงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการเปรียบเทียบการแสดงค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าที่ชุดอุปกรณ์วัดและส่วนแสดงผลบนโปรแกรม Wonderware InTouch

ตารางที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบการแสดงค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าที่ชุดอุปกรณ์วัด และส่วนแสดงผลบนโปรแกรม Wonderware InTouch

พื้นที่ผิวสัมผัสเบรก (cm ²)	ส่วนแสดงผลจอแอลซีดี	ส่วนแสดงผลบนโปรแกรม Wonderware InTouch
0		
1.15		
3.10		

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นว่าค่าประกอบกำลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จากชุดอุปกรณ์วัดกำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส และส่วนแสดงผลบนโปรแกรม Wonderware InTouch มีค่าตรงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินงานพบว่าระบบวัดและแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสสามารถนำไปใช้ติดตั้งในการดำเนินการวัดค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสแทนการใช้ เพาเวอร์มิเตอร์ได้แต่เนื่องจากวงจรที่สร้างขึ้นมีสัญญาณรบกวนที่เกิดจากหม้อแปลงวัดกระแสทำให้เกิดการคำนวณผิดพลาด การนำไปประยุกต์ใช้ยังต้องพัฒนาด้านวงจรให้สมบูรณ์มากขึ้น

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

5.2.1 การเขียนชุดคำสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์จำเป็นต้องมีไลบรารีซึ่งคอมพิวเตอร์บางเครื่องไม่สามารถติดตั้งส่วนประกอบเหล่านี้ได้

5.2.2 สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจาก หม้อแปลงวัดกระแส ทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนในการคำนวณค่า กระแสไฟฟ้า กำลังงานไฟฟ้า และตัวประกอบกำลังงานไฟฟ้า

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 เลือกใช้ หม้อแปลงวัดกระแสที่มีเสถียรภาพ เพื่อลดสัญญาณรบกวน

5.3.2 ผู้สนใจโครงการนี้ควรศึกษาเรื่องการเขียนชุดคำสั่ง เพื่อการนำไปประยุกต์ใช้ที่หลากหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] “มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา :
<https://sites.google.com/site/academicinstalleddoorsstc/hnwy-kar-reiyn-ru1>, เข้าถึงเมื่อ: กันยายน.2018
- [2] “ไมโครคอนโทรลเลอร์” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา :
<http://www.moro.co.th/%E0%B9%84%E0%B8%A1%E0%B9%82%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%84%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B9%82%E0%B8%97%E0%B8%A3%E0%B8%A5%E0%B9%80%E0%B8%A5%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C/>, เข้าถึงเมื่อ: กันยายน.2018
- [3] “ไมโครคอนโทรลเลอร์” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา :
http://www.electricmart.com/index.php?route=module/article/detail&article_id=22, เข้าถึงเมื่อ: กันยายน.2018
- [4] “หม้อแปลงวัดกระแส” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา :
<https://www.arduinothai.com/product/677/ct-sensor-sct-013-100a-50ma>, เข้าถึงเมื่อ: ตุลาคม.2018
- [5] “วงจรตรวจจับการผ่านศูนย์” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา :
http://www.bristolwatch.com/ele2/zero_crossing.htm, เข้าถึงเมื่อ: ตุลาคม.2018
- [6] “วงจรเรียงกระแสและขยายสัญญาณ” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา :
<https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%95%E0%B8%B1%E0%B8%A7%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%87%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B9%81%E0%B8%AA>, เข้าถึงเมื่อ: ตุลาคม.2018
- [7] “เอชเอ็มไอ” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.energyscopethai.com/hmi-programming/>, เข้าถึงเมื่อ: ตุลาคม.2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[8] “Modbus” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <https://riverplus.com/2011/08/18/plc-protocol-การสื่อสารแบบ-modbus-protocol/>, เข้าถึงเมื่อ: ตุลาคม.2018



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดคำสั่งในโปรแกรม Arduino IDE

```
#include <WiFi.h>
#include <ModbusIP_ESP8266.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
int inv = 34;//ขาจับ sinv
float b[100];
int ini = 35;//ขาจับ sinv
volatile float rads = 0.01745329;
volatile unsigned long time1;//ตัวแปรที่ใช้เก็บค่าเวลาที่ sinv ณ ขอบขาขึ้น
volatile unsigned long time2;//ตัวแปรที่ใช้เก็บค่าเวลาที่ sini ณ ขอบขาขึ้น
volatile float timebetween;//ตัวแปรที่ใช้ในการเก็บค่าเวลาที่แตกต่างกันของ sinv และ
sini ณ ขอบขาขึ้น
double cosine;
int i;
float avrb;//ตัวแปรในการเก็บค่า pf
float sumb;
float current;//ตัวแปรในการเก็บค่ากระแส
float power;//ตัวแปรในการเก็บค่า power
float power1;//ตัวแปรในการเก็บค่า power ที่แสดงบนหน้าจอ LCD
const int SENSOR_IREG = 0;
ModbusIP mb;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  WiFi.begin("project4s", "05122539");//username และ password
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected");
  Serial.println("IP address: ");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.println(WiFi.localIP());//แสดง ip address บนหน้าจอ serial monitor
pinMode(inv, INPUT);
pinMode(ini, INPUT);
attachInterrupt(inv, sinv, RISING);//ใช้โหมด rising ในการ interrupt sinv
attachInterrupt(ini, sini, RISING);//ใช้โหมด rising ในการ interrupt sini
mb.begin();
mb.addreg(0);//modbus register 30001
mb.addreg(2);//modbus register 30003
mb.addreg(4);//modbus register 30005
lcd.begin();
lcd.backlight();//เปิดแสงสีดาบนหน้าจอ LCD
}
void loop() {
static unsigned long Time3 = millis();
while(i<100){
cosine = (cos(timebetween*18*rads));//การหาค่า cosine เพื่อหา pf
b[i] = cosine;
sumb = sumb + b[i];
i = i + 1;
if (i == 99) {
float avrb = (sumb/100);//การหาค่าเฉลี่ยของ pf 100 ตัว
if((millis()-Time3)>2000){ //ทุกๆ 2 วินาที จะส่งค่าผ่าน modbus
Time3 = millis();
power = (220*current*avrb*100);
power1 = (220*current*avrb*10);
mb.lreg(2, (power));//ส่งค่าไปยัง modbus register 30003
mb.lreg(4, (avrb*10000));//ส่งค่าไปยัง modbus register 30005
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("P=");
lcd.setCursor(2, 0);
lcd.print("power1");//การแสดงค่า power บนหน้าจอ LCD
lcd.setCursor(8, 0);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lcd.print("Watt")
lcd.setCursor(8, 1);
lcd.print("PF=");
lcd.setCursor(11, 1);
lcd.print("avrb");//การแสดงผลค่า pf บนหน้าจอ LCD
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("I=");
lcd.setCursor(2, 1);
lcd.print("current");//การแสดงผลค่า current บนหน้าจอ LCD
lcd.setCursor(6, 1);
lcd.print("A");
}
sumb = 0;
i = 0;
}
float sensorValue2 = analogRead(A0);//อ่านค่าจาก(A0)
mb.task();
current = sensorValue2 * (3.3 / 4095.0);//การทำ scaling current
mb.iReg(0, ((current)*1000));//ส่งค่าไปยัง modbus register 30001
}
}
void sinv(void){
time1 = micros();
}
void sini(void){
time2 = micros();
if(((time2-time1)*0.001)<=5){
timebetween = (time2-time1)*0.001;//การป้องกันไม่ให้เกิดการ interrupt ผิดจุด
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้