

มาตรวัดไฟฟ้า 3 เฟสอัจฉริยะ
3 – Phase Smart Power Meter with IoT

โดย



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3 – Phase Smart Power Meter with IoT



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง มาตรฐานไฟฟ้า3เฟสอัจฉริยะ

ผู้จัดทำ



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรยศ เวียงทอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรยศ เวียงทอง)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

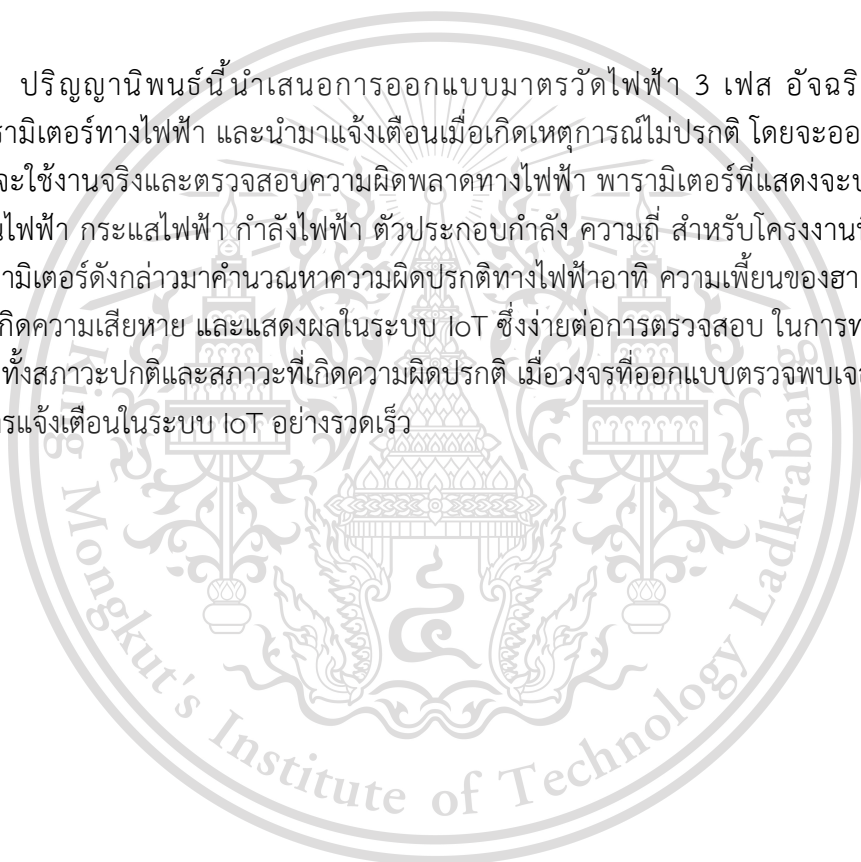
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

หัวข้อปริญญานิพนธ์	มาตรวัดไฟฟ้า 3 เฟส อัจฉริยะ		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายธนัท	สุขุมวานิชกุล	รหัสนักศึกษา 60010426
	นายธัญยพงศ์	ลัทธิกุล	รหัสนักศึกษา 60010464
	นายปิยภพ	วงศ์ปรากฏ	รหัสนักศึกษา 60010619
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรยศ เวียงทอง		
ปีการศึกษา	2563		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ นำเสนอการออกแบบมาตรวัดไฟฟ้า 3 เฟส อัจฉริยะ เพื่อแสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า และนำมาแจ้งเตือนเมื่อเกิดเหตุการณ์ไม่ปกติ โดยจะออกแบบสถานะที่พร้อมจะใช้งานจริงและตรวจสอบความผิดพลาดทางไฟฟ้า พารามิเตอร์ที่แสดงจะประกอบไปด้วย แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ตัวประกอบกำลัง ความถี่ สำหรับโครงการนี้จะเป็นการนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมาคำนวณหาความผิดปกติทางไฟฟ้า อาทิ ความเพี้ยนของฮาร์มอนิกส์รวม ที่ก่อให้เกิดความเสียหาย และแสดงผลในระบบ IoT ซึ่งง่ายต่อการตรวจสอบ ในการทดลองได้จำลองสถานะทั้งสถานะปกติและสถานะที่เกิดความผิดปกติ เมื่อวงจรที่ออกแบบตรวจพบเจอความผิดปกติ จะมีการแจ้งเตือนในระบบ IoT อย่างรวดเร็ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

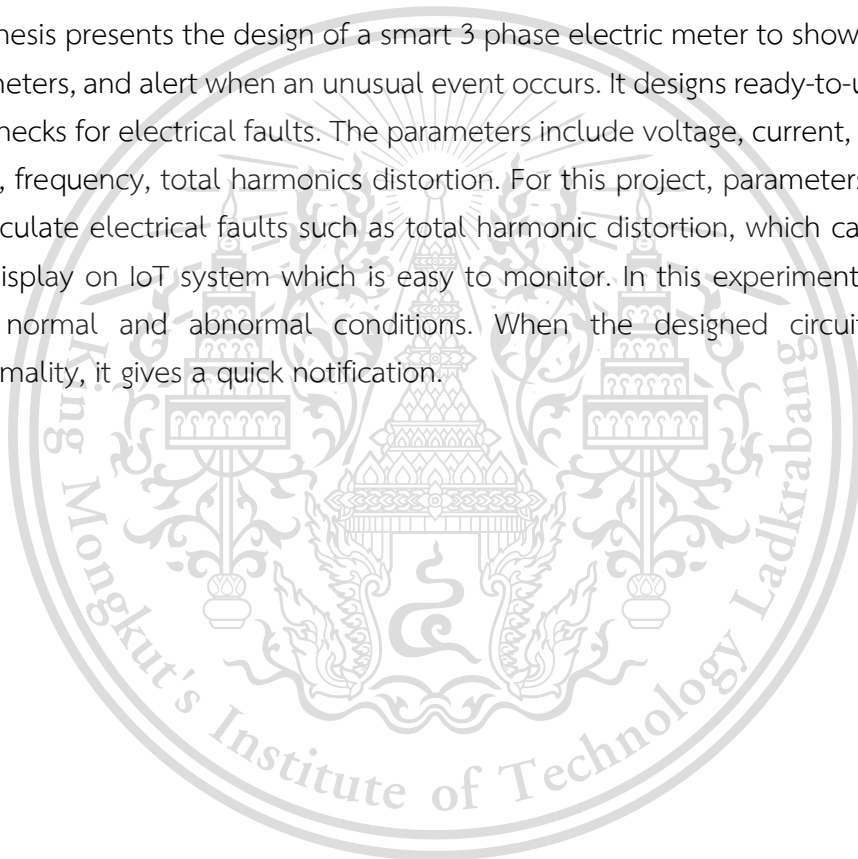
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

Thesis Title	3 – Phase Smart Power Meter with IoT		
Authors	Thanat	Sukhumvanichakul	60010426
	Thanyapong	Latthikul	60010464
	Piyapop	Wongprakot	60010619
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Theerayod Wiangtong		
Year	2020		

ABSTRACT

This thesis presents the design of a smart 3 phase electric meter to show the electrical parameters, and alert when an unusual event occurs. It designs ready-to-use conditions and checks for electrical faults. The parameters include voltage, current, power, power factor, frequency, total harmonics distortion. For this project, parameters will be used to calculate electrical faults such as total harmonic distortion, which causes damage, and display on IoT system which is easy to monitor. In this experiment, we simulate both normal and abnormal conditions. When the designed circuit detects an abnormality, it gives a quick notification.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Forbidden to modify the content, and ^{||} cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ธีรยศ เวียงทอง ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณคณาจารย์หลักสูตรวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ให้ความรู้ ความช่วยเหลือและคำแนะนำทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี รวมถึงขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาทุกท่านสำหรับความช่วยเหลือ คำแนะนำและการอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับการอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัย ขอขอบคุณพี่ๆ น้อง ๆ เพื่อนๆ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้ด้วยดีตลอดการดำเนินงานวิจัย

สุดท้ายต้องขอขอบคุณครอบครัว และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ให้การสนับสนุนตลอดจนคอยให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน

นายธนัท

สุขุมวานิชกุล

รหัสนักศึกษา 60010426

นายฉันทพงษ์

ลัทธิกุล

รหัสนักศึกษา 60010464

นายปิยภพ

วงศ์ปรากฏ

รหัสนักศึกษา 60010619

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Forbidden to modify the content, and ^{III} cite the document when use.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	1
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	1
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2	3
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ความรู้เกี่ยวกับมิเตอร์	3
2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอินเทอร์เน็ต.....	3
2.3 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการสื่อสารผ่านสื่อกลางคอมพิวเตอร์ (Internet of Things : IoT)	3
2.4 หลักการคำนวณ THD (Total Harmonic Distortion).....	3
2.5 หลักการคำนวณ (Fast Fourier Transform: FFT).....	6
บทที่ 3.....	16
วิธีการดำเนินงานและการออกแบบ	16
3.1 ภาพรวมขององค์ประกอบหลักของระบบ.....	16
3.2 การรับส่งข้อมูลระหว่าง PZEM004t-Arduino Mega 2560	16
3.3 การรับส่งข้อมูลระหว่าง Arduino Mega 2560-NodeMCU(ESP8266)	17
3.4 การรับส่งข้อมูลระหว่าง ESP8266-Raspberry Pi 3.....	18
3.5 การเก็บข้อมูลใน InfluxDB (Database) และแสดงผลบน Grafana (Dashboard).....	19
3.6 การจำลองสัญญาณและคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ Total Harmonic Distortion (THD) ใน Arduino Mega 2560 และ MATLAB	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการเก็บข้อมูลใน InfluxDB (Database) และแสดงผลบน Grafana (Dashboard) สำหรับการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนี้ 3.6 การจำลองสัญญาณและคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ Total Harmonic Distortion (THD) ใน

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

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

3.7	แผนผัง Flowchart ลำดับการทำงานของ มาตรฐานไฟฟ้า 3 เฟส อัจฉริยะ	25
3.8	การติดตั้งโปรแกรมใน Raspberry PI 3 B+	26
3.9	การ Publish/Subscribe และขั้นตอนการใช้งาน Node-RED	30
3.10	การใช้งาน Grafana และการดึงข้อมูลจาก Database (InfluxDB)	31
บทที่ 4	.....	35
ผลการทดลอง	.....	35
4.1	ผลการทดสอบการวัดของเซนเซอร์ PZEM004t ใน Serial monitor	35
4.2	ผลเปรียบเทียบระหว่าง PZEM004t กับ SD 9205A วัดโหลดได้ 50 W	35
4.3	ผลการจำลองและคำนวณหาค่า Total Harmonic Distortion ใน Arduino.....	36
4.4	ผลการทดสอบการแสดงผลของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ บน Dashboard ตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้.....	36
4.5	ผลการทดสอบการแจ้งเตือนผ่าน Line Notify.....	39
บทที่ 5	.....	36
สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ	.....	36
5.1	สรุปผลการทดลอง.....	36
5.2	ปัญหาและอุปสรรค.....	36
5.3	ข้อเสนอแนะ.....	36
เอกสารอ้างอิง	.....	40
ภาคผนวก	.....	41
ภาคผนวก ก	.....	48
DATASHEET อุปกรณ์	.....	48
ภาคผนวก ข	.....	79
การเขียนโปรแกรมในส่วนการทำงานต่าง ๆ	.....	79
ส่วนใช้งานเซนเซอร์และคำนวณ THD	.....	79
ส่วนpublish/subscribe โดย NodeMCU (ESP8266)	.....	79
ประวัติผู้เขียน	.....	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สารบัญรูป

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 2.3 Internet of Things	4
รูปที่ 2.3.2 : Node MCU (ESP8266)	5
รูปที่ 2.3.3 PZEM004t.....	6
รูปที่ 2.3.3.1 PZEM-004T-100A Functional block diagram.....	6
รูปที่ 2.3.3.2 PZEM-004T-100A wiring diagram.....	7
รูปที่ 2.3.4 แพลตฟอร์ม Grafana	7
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างความถี่หลักก่อนการมิดเพี้ยนและหลังการมิดเพี้ยน	10
รูปที่ 2.4.1 สมการการคำนวณหาค่า %THD.....	10
รูปที่ 2.4.2 การแปลงจาก Time Domain เป็น Frequency Domain	10
รูปที่ 2.5.1 ไตอะแกรมการไหล(Dataflow Diagram)ของการคำนวณ8	15
รูปที่ 3.1 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์.....	16
รูปที่ 3.2 การต่อวงจรการรับส่งข้อมูลระหว่าง PZEM004t-Arduino Mega 2560	16
รูปที่ 3.4 การต่อวงจรรับส่งข้อมูลระหว่าง Arduino Mega 2560-ESP8266.....	17
รูปที่ 3.11 ตัวอย่างการทำงานของอุปกรณ์โดยผ่าน Broker Mosquitto	18
รูปที่ 3.13 การตั้งชื่อ topic เพื่อรับข้อมูล	19
รูปที่ 3.14 mqtt ส่งข้อมูลต่อไปเก็บไว้ใน Database ชื่อว่า Sensors.....	19
รูปที่ 3.15 ข้อมูลใน Database ชื่อ Sensors.....	20
รูปที่ 3.16 สร้าง Dashboard โดยเชื่อมกับ Database ผ่าน localhost ของ Wifi.....	20
รูปที่ 3.17 Dashboard ที่แสดงผลจากเซนเซอร์.....	21
รูปที่ 3.19 หน้าจอแสดงผลการจำลองสัญญาณรูปคลื่นไซน์และคำนวณเปอร์เซ็นต์ THD ใน Arduino Mega 2560	22
รูปที่ 3.20 หน้าจอแสดงผลการจำลองสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมและคำนวณเปอร์เซ็นต์ THD ใน Arduino Mega 2560	22
รูปที่ 3.21 หน้าจอแสดงผลการจำลองสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมและคำนวณเปอร์เซ็นต์ THD ใน Arduino Mega 2560	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ทางวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้เชิงพาณิชย์ การค้า

ไม่ว่ากรณีใด

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

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

รูปที่ 3.22 หน้าจอแสดงผลการจำลองสัญญาณรูปคลื่นไซน์และค่านวนเปอร์เซ็นต์ THD ใน MATLAB.....	23
รูปที่ 3.23 หน้าจอแสดงผลการจำลองสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมและค่านวนเปอร์เซ็นต์ THDใน MATLAB.....	24
รูปที่ 3.24 หน้าจอแสดงผลการจำลองสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมและค่านวนเปอร์เซ็นต์ THD ใน MATLAB	24
รูปที่ 3.25 แผนผัง Flowchart ลำดับการทำงานของ มาตรฐานไฟฟ้า 3 เฟส อัจฉริยะ	25
รูปที่ 3.26 หน้าต่างตั้งค่า InfluxDB.....	28
รูปที่ 3.27 หน้าต่างหลักของโปรแกรม Node-RED.....	30
รูปที่ 3.28 Node mqtt in.....	30
รูปที่ 3.29 การตั้งค่าการ Publish/Subscribe	31
รูปที่ 3.30 แผนผังการไหลของข้อมูล จาก MQTT ไปยัง InfluxDB	31
รูปที่ 3.31 หน้าต่างเข้าใช้งาน Grafana	32
รูปที่ 3.32 การกำหนดแหล่ง Database.....	32
รูปที่ 3.33 เลือกแหล่ง Database เป็น InfluxDB.....	33
รูปที่ 3.34 การตั้งค่า Data Source.....	33
รูปที่ 3.35 หน้าต่างการตั้งค่า Panel.....	34
รูปที่ 3.36 การปรับแต่ง panel เพื่อใช้ในการแสดงค่าแรงดันที่วัดได้.....	34
รูปที่ 4.1 การแสดงผลใน Serial Monitor.....	15
รูปที่ 4.2 การแสดงผลของค่าพารามิเตอร์ทั้งหมด.....	36
รูปที่ 4.3 กำหนดค่า Threshold ในส่วนการแสดงผล THD	39
รูปที่ 4.4 ผลการทดลองโดยกำหนด Threshold.....	39
รูปที่ 4.5 ค่า THD มีค่าเกินที่กำหนด	39
รูปที่ 4.6 การแจ้งเตือนให้มีการตรวจสอบผ่าน Line.....	40

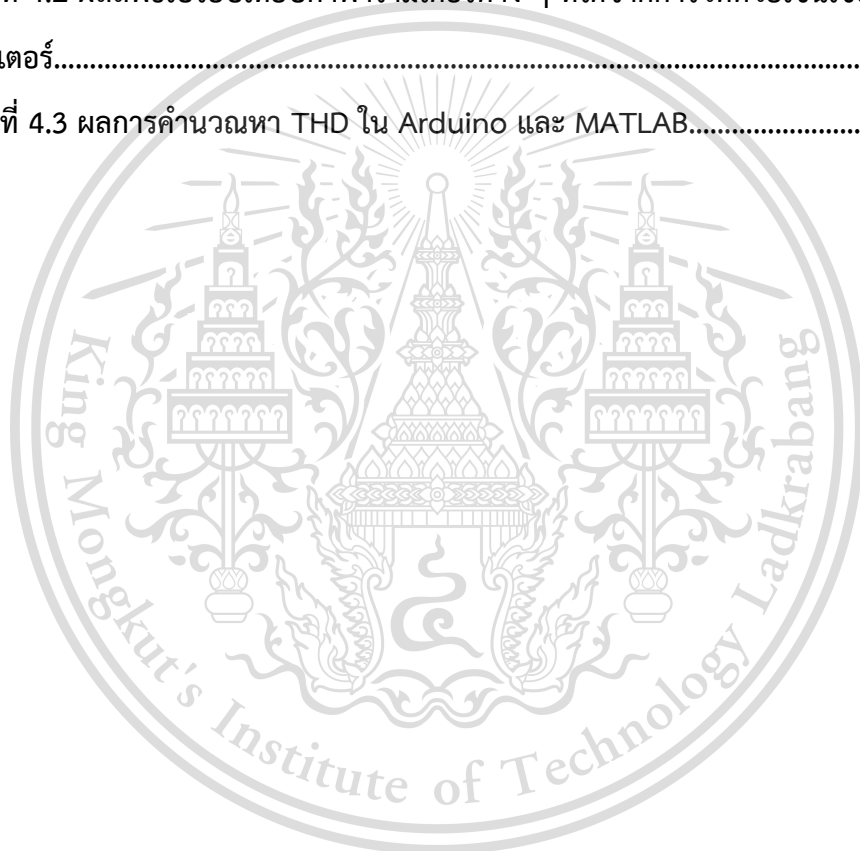
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 2.5.1 เปรียบเทียบปริมาณการคูณและการบวกเลขเชิงซ้อนสำหรับ4การคำนวณDFTตาม นิยามและคำนวณด้วย.....	14
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการวัดพารามิเตอร์โดยเปิดไฟไว้12ชั่วโมง เทียบระหว่าง PZEM004t กับ SD 9205A.	35
ตารางที่ 4.2 ผลลัพธ์เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จากการวัดด้วยเซนเซอร์กับ มัลติมิเตอร์.....	36
ตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณหา THD ใน Arduino และ MATLAB.....	36



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Forbidden to modify the content, and ^{VIII} cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

Smart Grid เป็นระบบสำหรับการส่งไฟฟ้าอัจฉริยะแบบครบวงจรโดยใช้เทคโนโลยีดิจิทัล ตัวระบบจะส่งไฟฟ้าจากผู้ให้บริการ เช่น กฟภ. , กฟน. ไปยังผู้ใช้บริการ เพื่อช่วยบริหารจัดการจัดการพลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ

การใช้งาน Smart Grid จำกัดอยู่ในกลุ่มผู้ใช้ขนาดใหญ่ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม องค์กรธุรกิจ ซึ่งมีปริมาณการใช้ไฟฟ้ามหาศาล ผู้ให้บริการสามารถติดตามการใช้เวลาตลอดเวลา พัฒนาระบบและติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบ สามารถคำนวณการใช้งานไฟฟ้าได้รวดเร็ว เสถียร ลดปัญหาไฟดับ และปรับปรุงเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ต่อมาเมื่อผู้ให้บริการได้พัฒนาระบบได้เลือกนำ Smart Meter มาติดตั้งกับผู้ใช้งานทั่วไปสามารถเรียนรู้ได้ว่ารายละเอียดการใช้ไฟฟ้าแต่ละบ้านเป็นอย่างไร โดยผ่านเทคโนโลยี Internet of Things ที่สามารถตรวจสอบได้บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

จากการนำค่าพารามิเตอร์จาก Smart Meter มาวิเคราะห์สามารถรู้คุณภาพของไฟฟ้าในระบบจากค่าของ Total Harmonic Distortion (THD) หรือคือค่าที่บอกว่าในระบบมี Harmonics อยู่มากน้อยเพียงใดซึ่งมีค่าน้อยยิ่งดี

Harmonics เกิดขึ้นจากความผิดเพี้ยนของคลื่นสัญญาณไซน์ ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบมีการทำงานผิดพลาด อายุการใช้งานสั้นลงหรือชำรุดเสียหาย

ดังนั้นปัญหานี้จึงนำเสนอการออกแบบอุปกรณ์ Smart Meter with IoT ที่สามารถตรวจสอบการใช้งานไฟฟ้า คำนวณ Total Harmonic distortion (THD) และสามารถเข้าถึงได้ผ่านอินเทอร์เน็ต เพื่อตรวจสอบและแจ้งเตือนเมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการทำงานของเซนเซอร์ PZEM-004t และหลักการทำงานของ Smart Meter
2. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ Smart Meter พร้อมออกแบบระบบ Internet of Things
3. วัดผลและตรวจสอบความแม่นยำของเซนเซอร์และการทำงานของอุปกรณ์

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ 3 - Phase Smart Meter with IoT ทดสอบระบบและอุปกรณ์ในการแจ้งเตือนเมื่อเกิดความผิดพลาด

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้อุปกรณ์ 3 - Phase Smart Meter with IoT ที่เสถียรภาพและเชื่อถือได้
2. สามารถแจ้งเตือนได้อย่างรวดเร็ว
3. มีการแสดงผลผ่านระบบอินเทอร์เน็ต

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

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

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

ตาราง 1.1 กำหนดการดำเนินงานของงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ปี / เดือน									
	พ.ศ. 2563					พ.ศ. 2564				
	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค
1. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ 3 - Phase Smart Meter with IoT										
2. เขียนโปรแกรมและเงื่อนไขการใช้งาน										
3. นำค่าที่ได้แสดงผลผ่านทางอินเทอร์เน็ต										
4. รวบรวมและเปรียบเทียบผลการทดลองกับค่าทางทฤษฎี										
5. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง										
6. ทำรายงานเล่มปริญญาานิพนธ์										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยมุ่งศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และนำเสนอสาระสำคัญ ดังนี้คือ ความรู้เกี่ยวกับมิเตอร์ ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอินเทอร์เน็ต แนวคิดเรื่องกระบวนการสื่อสาร ข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการสื่อสารผ่านสื่อกลางคอมพิวเตอร์ (Internet of Things : IoT) หลักการคำนวณ (Fast Fourier Transform : FFT) หลักการคำนวณ (Total Harmonic Distortion) และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้เกี่ยวกับมิเตอร์

ในปัจจุบันเมื่อพิจารณาถึงมิเตอร์ที่ใช้ติดตั้งเพื่อวัดค่าไฟฟ้าตามอาคาร [13] จะพบว่ามิเตอร์ที่ การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟผ.) ติดตั้งให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าตามอาคารจะเป็นแบบที่โอยูมิเตอร์ (TOU Meter : Time of Use Meter) ซึ่งเป็นมิเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นกับขนาด หน่วยที่ใช้ประมวลผลที่ใช้ติดตั้งภายในที่มีความเร็วสูงเมื่อเปรียบเทียบกับมิเตอร์ปกติทั่วไป ซึ่ง คุณสมบัติหลักของที่โอยูมิเตอร์ คือการวัดค่าไฟฟ้าได้อย่างแม่นยำ นอกจากการวัดค่าได้อย่างแม่นยำ แล้ว ยังมีคุณสมบัติในการสื่อสารในรูปแบบของผู้ผลิตและรูปแบบต่างๆ นอกจากนั้นยังสามารถทนทาน ได้ต่อมลภาวะสภาพแวดล้อม ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวจึงเป็นที่นิยมในการนำมาใช้งาน

นอกจากที่โอยูมิเตอร์แล้ว ยังมีมิเตอร์ที่ใช้สำหรับวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าอีกแบบคือ ดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์ (Multifunction Power Meter : MPW) ซึ่งมีขนาดเล็กลงตามหน่วย ประมวลผลที่ใช้ติดตั้งภายใน มีคุณสมบัติในการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆทางไฟฟ้าเพื่อที่จะดูความเป็น ไปของระบบ โดยค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า มุมระหว่างแรงดันและ กระแสไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าต่างๆ และพารามิเตอร์อื่นๆ เป็นต้น โดยจะไม่มี การวัดค่าพลังงานไฟฟ้าแยกตามช่วงเวลาเหมือนแบบที่โอยูมิเตอร์ และมีระบบเชื่อมต่อ สื่อสารเช่นกัน แต่มีคุณสมบัติในการรักษาข้อมูลไม่มากนัก ดังนั้นระบบนี้จึงเป็นที่นิยมในการเลือก นำมาใช้เพื่อที่จะเฝ้าดูความเป็นไปของระบบ และเนื่องจากปัจจุบันหากผู้ใช้งานอยากทราบข้อมูล เหล่านี้แบบต่อเนื่องจึงจำเป็นต้องจัดหาติดตั้งเพื่อตรวจสอบเช็คเอง คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะริเริ่ม ประดิษฐ์อุปกรณ์เหล่านี้ขึ้นมาซึ่งมีราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับมิเตอร์ทั่วไปตามท้องตลาด

2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอินเทอร์เน็ต

อินเทอร์เน็ตเป็นเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ที่เชื่อมโยงโครงข่ายจำนวนมากมาเข้าด้วยกัน มีบทบาทในการสื่อสารข้อมูลในยุคปัจจุบันเป็นอย่างมาก เพื่อที่จะอำนวยความสะดวกในการ ให้บริการสื่อสารข้อมูล สมใจ บุญศิริ [1] ได้กล่าวไว้ว่า อินเทอร์เน็ต คือการเชื่อมโยงระหว่าง ระบบเครือข่ายจำนวนมหาศาลทั่วโลกเข้าด้วยกัน สามารถติดต่อสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลถึงกันได้ โดยสะดวก รวดเร็ว ไม่ว่าข้อมูลนั้นจะอยู่ในรูปแบบใด ไม่ว่าจะเป็น ข้อความตัวอักษร เสียง ภาพ หรือ เอกสารนี้เป็นแม้แต่วิดีโอ ดังนั้นระยะทางในการสื่อสารจึงไม่เป็นปัญหาในการติดต่อสื่อสารอีกต่อไป ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

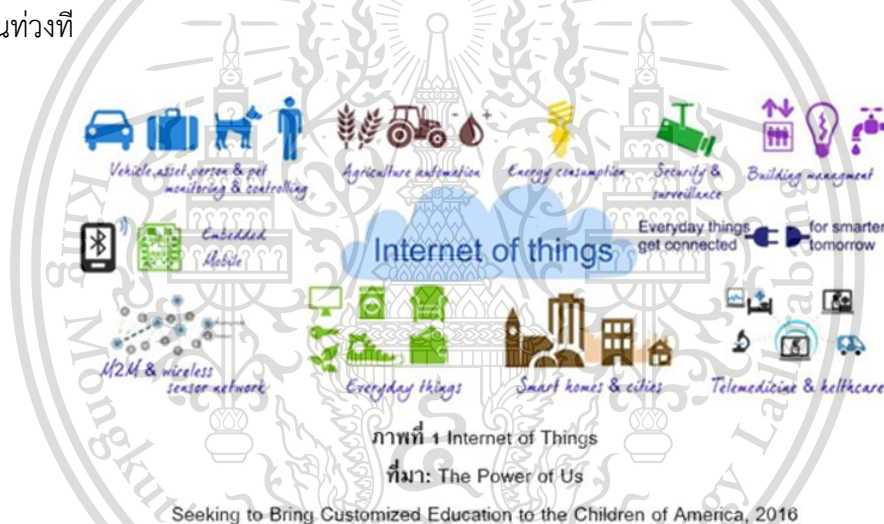
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

กล่าวโดยสรุปคือ อินเทอร์เน็ตมีความสำคัญในการสื่อสารของข้อมูลประเภทต่างๆ เนื่องจากมีการเชื่อมโยงโครงข่ายไว้มหาศาลครอบคลุมทั่วโลก โดยไม่มีปัญหาเรื่องระยะทางเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงสามารถทำให้คนจำนวนมากสามารถสื่อสารข้อมูลได้ในรูปแบบต่างๆ อย่างสะดวก

2.3 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการสื่อสารผ่านสื่อกลางคอมพิวเตอร์ (Internet of Things : IoT)

Internet of Things : IoT ตามนิยามของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ หรือ ITU (International Telecommunication Union) [2] หมายถึง โครงข่ายสื่อสารที่มีการเชื่อมต่ออุปกรณ์สื่อสาร ยานพาหนะต่างๆ เครื่องใช้ไฟฟ้า อาคารสิ่งก่อสร้าง หรือวัตถุอุปกรณ์อื่นๆ โดยอาศัยการฝังระบบอิเล็กทรอนิกส์ ซอฟต์แวร์ อุปกรณ์เซนเซอร์ และส่วนที่มีการเชื่อมต่อโครงข่ายสื่อสาร ที่จะช่วยให้วัตถุหรืออุปกรณ์ดังกล่าวสามารถเก็บข้อมูล หรือสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันได้ (ITU,2012) โดยคำว่า “Things” ใน Internet of Things นั้นสามารถหมายความว่าสามารถสื่อสารข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตได้หลากหลายตามความต้องการ โดยในที่นี้จะพูดถึงการนำไปประยุกต์ใช้เกี่ยวกับระบบการสื่อสารข้อมูลของค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าให้ผู้ใช้งานสามารถทราบได้แบบต่อเนื่องและทันท่วงที



รูปที่ 2.3 Internet of Things

2.3.1 การประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า

ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพจะต้องมีความแม่นยำ การประมวลผลในภาพรวมและมีความเชื่อถือได้ ระบบ IoT จะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในลักษณะการตรวจวัดระยะไกล ในที่นี้คือ Smart Meter [6] ซึ่งจะมีความสามารถในการวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าและสื่อสารข้อมูลได้อย่างแม่นยำและต่อเนื่อง รวมถึงยังสามารถเก็บข้อมูลไว้สำหรับการเรียกดูย้อนหลังได้อีกด้วย เพื่อที่จะส่งข้อมูลไปยังหน่วยประมวลผลกลางเพื่อวิเคราะห์ภาพรวมและส่งข้อมูลให้ผู้ใช้งานทราบในที่สุด

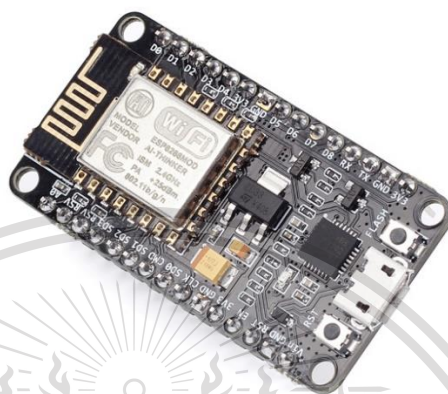
2.3.2 Node MCU (ESP8266)

ผู้พัฒนาตั้งใจจะออก Node MCU ให้เป็น platform ที่ออกแบบทุกอย่างเป็น Node การทำงานย่อย ๆ และ ใช้ภาษา Lua ในการเขียนโปรแกรม แต่ด้วย Platform ที่สะดวกในการใช้งาน

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

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

ทางกลุ่มนักพัฒนาของ ESP8266 ก็เลยนำ Node MCU (ESP8266) มาบรรจุในเป็นบอร์ดหนึ่งของ ARDUINO IDE (ESP8266) ได้จึงได้มีการพัฒนาต่อให้สามารถเขียนในภาษา C++ หลังจากทีบอร์ด Node MCU (ESP8266) นี้มีการพัฒนามน ARDUINO IDE เรียบร้อยแล้ว หากเป็นผู้ที่นิยมเล่นไมโครคอนโทรลเลอร์อยู่ก่อนจะนิยมเล่นเป็นภาษา C/C++ ซึ่งภาษานี้สามารถไปได้กว้างหลากหลายกว่า Lua [7]



รูปที่ 2.3.2 : Node MCU (ESP8266)

2.3.3 Arduino Mega 2560

อุปกรณ์นี้มีความสามารถหลากหลายในการทำงาน เราสามารถที่จะสั่งการให้เป็นไปตามที่ต้องการได้ โดยใช้คำสั่ง ภาษา C++ เพื่อที่จะกำหนดตัวแปรต่างๆ รวมถึงการหาค่าต่างๆที่เราต้องการ โดยในที่นี้ได้ทำการสร้างสัญญาณรูปแบบต่างๆ ขึ้นมา เช่น รูปแบบสัญญาณไซน์ รูปแบบสัญญาณสามเหลี่ยม และรูปแบบสัญญาณสี่เหลี่ยม เพื่อที่จะสามารถนำสัญญาณเหล่านี้มาคำนวณหาค่า %THD(Total Harmonic Distorsion) โดยได้ทำการใส่ฟังก์ชันเพื่อแปลงสัญญาณที่สร้างขึ้นมานี้จาก Time Domain ไปเป็น Frequency Domain เพื่อที่จะสามารถเห็นกราฟแบบแท่งได้ ซึ่งกราฟนี้จะค่าลำดับของแต่ละฮาร์โมนิก ว่ามีค่าเท่าไรบ้าง จากนั้นจึงนำค่าแต่ละลำดับของฮาร์โมนิกมาคำนวณหาค่า %THD(Total Harmonic Distorsion) ได้ แล้วจึงส่งค่าออกไปตาม pin(ขา) ที่เรากำหนด ไปยังอุปกรณ์ต่างๆที่เราต้องการที่จะให้แสดงผล



รูปที่ 2.3.3 Arduino Mega 2560

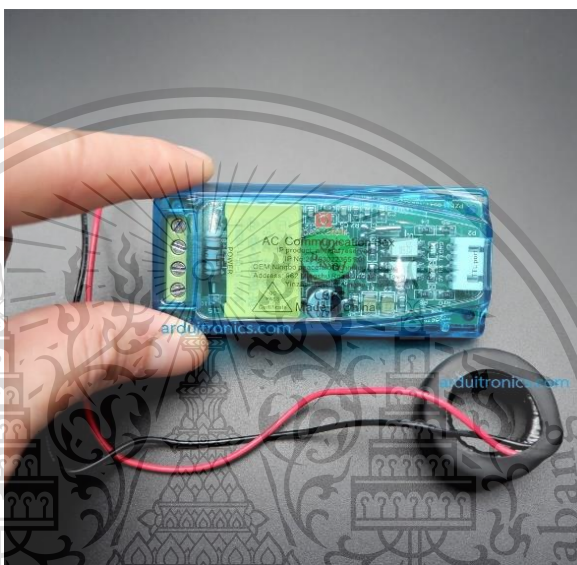
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

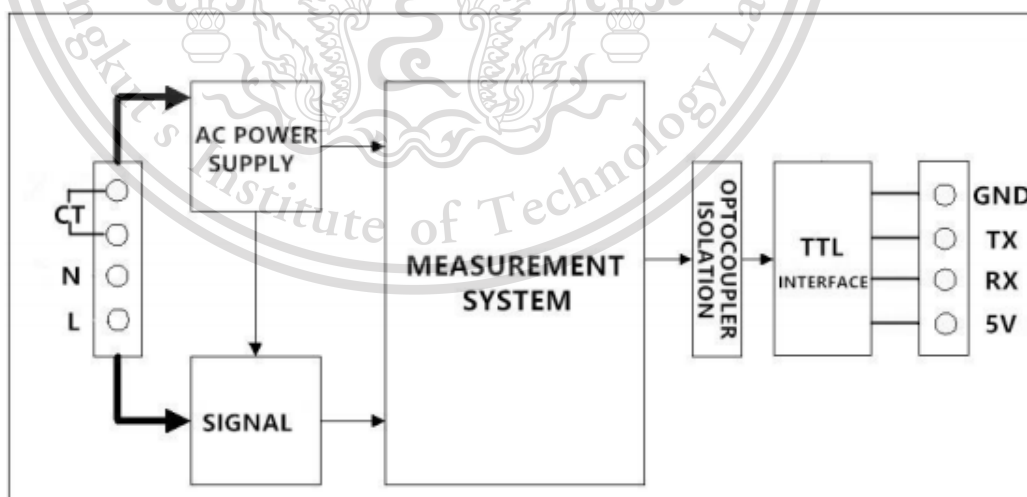
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.4 PZEM004t

โมดูลวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า ใช้วัดแรงดันไฟฟ้าของไฟบ้าน วัดค่ากระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ วัดค่ากำลังไฟฟ้า และวัดค่ากำลังไฟฟ้าต่อชั่วโมง (Wh) ซึ่งสามารถนำค่าเหล่านี้ไปใช้คำนวณค่าไฟฟ้าได้ หรือวัดการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชิ้น ซึ่งในที่นี่เรานำมาเป็นเครื่องมือช่วยในการคำนวณค่าไฟฟ้า เนื่องจากอุปกรณ์นี้มีความสามารถนำมาต่อกับ Arduino และ เขียนคำสั่ง C++ ได้ หลังจากนั้นเราสั่งให้มีการเก็บค่าและส่งค่าออกไปยังผู้ใช้งานให้สามารถเห็นค่าพารามิเตอร์ต่างๆทางไฟฟ้าได้ [8], [9]



รูปที่ 2.3.4 PZEM004t

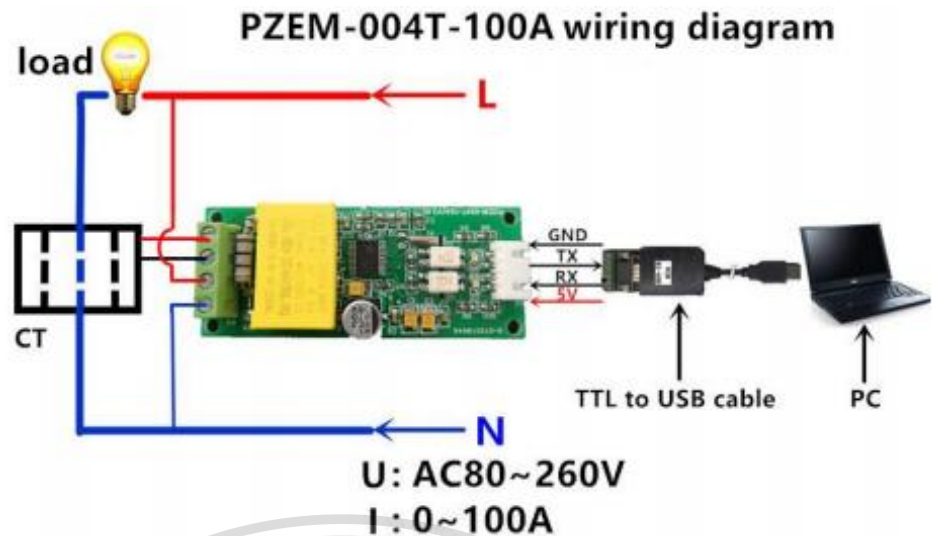


รูปที่ 2.3.4.1 PZEM-004T-100A Functional block diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

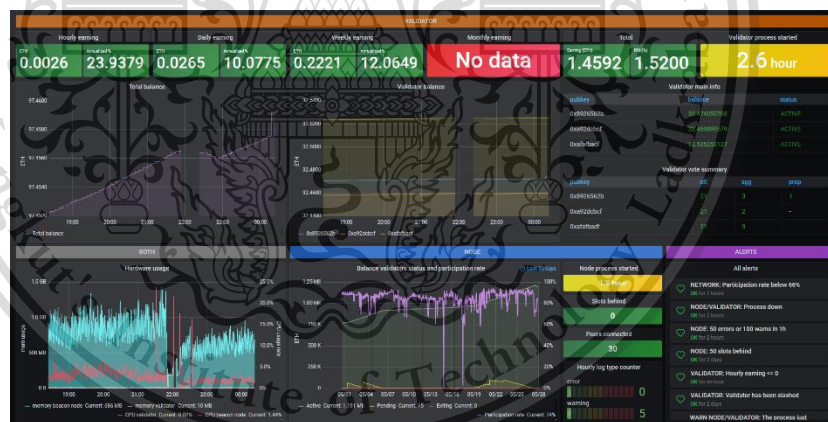
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.3.4.2 PZEM-004T-100A wiring diagram

2.3.5 Grafana

แพลตฟอร์มที่ออกแบบมาเพื่อรองรับงาน IoT ที่จะทำให้อุปกรณ์ต่างๆเชื่อมต่อเข้ากับระบบผ่านทางอินเทอร์เน็ต [10] สามารถควบคุมการทำงานของอุปกรณ์จากระยะไกลผ่านแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์ โดยแพลตฟอร์มนั้นจะสามารถแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆให้ผู้ใช้งานเห็นค่าต่างๆได้ หลังจากมีการเก็บข้อมูลใน InfluxDB ที่รับข้อมูลมาจาก Node-red



รูปที่ 2.3.4 แพลตฟอร์ม Grafana

2.3.6 InfluxDB

เป็นแพลตฟอร์มที่นำเสนอในรูปแบบเวลาที่หลากหลายเพื่อนำไปใช้สังเกตเรียนรู้ และทำให้ระบบแอปพลิเคชันและกระบวนการทางธุรกิจทุกประเภทในสภาพแวดล้อมการทำงานที่หลากหลายเป็นไปโดยอัตโนมัติ โดย InfluxDB [10],[14] คือ time series, metrics และ analytics database ซึ่งเขียนด้วยภาษา Go (Golang: เป็นภาษาที่ถูกสร้างโดย Google) ซึ่งไม่ต้องการการค่า external dependency ใดๆเลย และในปัจจุบันมีเวอร์ชันล่าสุด ซึ่งมีระบบปฏิบัติการสำคัญเข้ามา

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

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

คือการใช้ภาษา SQL, มี HTTP(S) API สามารถเก็บข้อมูลได้อย่างมากเลยทีเดียว และยังติดตั้งได้ง่ายอีกด้วย จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ได้โดยง่าย

2.3.7 Node-RED

[17] ตามที่พูดกันว่า “Node-RED is a visual tool for wiring the Internet of Things” โดยในความหมายของ Internet of Things คือส่วนของ อุปกรณ์ Hardware, APIs ชุดคำสั่ง ในการโต้ตอบหรือสื่อสารกับ Hardware, อีกทั้งยังมีช่องทางออนไลน์จากหน่วยงานบริการต่างๆ ทั้งที่ใช้ได้ฟรีและเสียค่าใช้จ่าย มีการใช้ Browser ในการเขียน Flow ในรูปแบบต่างๆ แล้วจึงกำหนดค่าการทำงาน หลังจากนั้นทำการลากเส้นเชื่อมเข้าด้วยกันตามที่ผู้จัดทำได้คิดวิเคราะห์ไว้ ก็จะเป็นอันว่าเสร็จเรียบร้อย

โดย Node-RED นั้นเราสามารถที่จะนำไปสร้างหรือออกแบบให้มีการแสดงผลในรูปแบบต่างๆที่เราต้องการได้ ในที่นี้ได้ทำการสร้าง node ขึ้นมาเพื่อที่จะรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น แรงดันไฟฟ้า(V) กระแสไฟฟ้า(A) กำลังไฟฟ้า(W) ตัวประกอบกำลัง ค่าความถี่(Hz) และค่าพลังงานไฟฟ้า(kWh) รวมถึงค่า %THD(Total Harmonic Distorsion) โดยรับค่าที่ ส่งมาจาก Node MCU(ESP826) ผ่านทาง MQTT โดยมีระบบ WIFI เป็นตัวเชื่อมของระบบเพื่อที่จะให้สัญญาณสามารถส่งค่าที่ตำแหน่งเดียวกันกับที่เรากำหนดไว้ได้ ในที่นี้นั้น ในแต่ละ node ที่ทำการรับค่ามาจาก Node MCU(ESP8266) นั้นจะมีการกำหนดชื่อ publish ไว้เพื่อที่จะให้ค่าที่เราต้องการส่งไปยัง node ที่เรากำหนดได้อย่างถูกต้อง จากนั้นจึงทำการโยกเส้นระหว่าง node ไปหา payload เพื่อทำการแสดงค่าที่ได้รับมา แล้วจึงทำการออกแบบหน้าต่างการแสดงผลให้รูปแบบสวยงาม และสามารถที่จะตรวจสอบได้โดยง่าย โดยเราสามารถเพิ่มฟังก์ชันการแจ้งเตือนไว้เมื่อค่าที่แสดงผลออกมานั้นเกินกว่าขีดจำกัดที่กำหนด หรือตามที่มาตรฐานได้กำหนดไว้ เช่น เมื่อ %THD(Total Harmonic Distorsion) เกิน 8% ตามที่มาตรฐาน IEEE 519 กำหนดไว้ก็จะมีการแจ้งเตือนออกมาให้ผู้ตรวจสอบหน้าจอแสดงผลได้ทราบ

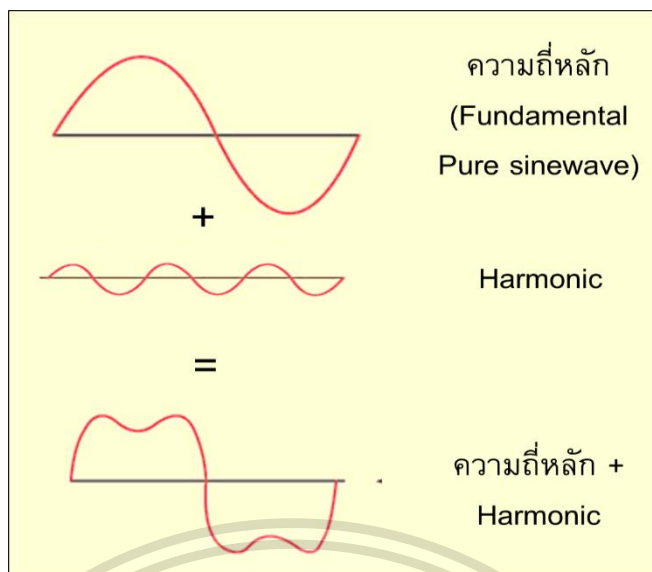
2.4 หลักการคำนวณ THD (Total Harmonic Distortion)

THD (Total Harmonic Distortion) [11] คือค่าความเพี้ยนโดยรวมของสัญญาณ Harmonic ที่เกิดขึ้นเมื่อเทียบกับค่าความถี่หลัก ยกตัวอย่างเช่นสัญญาณ sine wave ที่มีความถี่ 100Hz เข้าไปแต่มีสัญญาณที่เอาต์พุต ออกมาไม่ได้มีแค่ความถี่ 100Hz แต่อาจมี 200Hz 300Hz 500Hz ปนออกมาด้วย ซึ่งจะมีผลทำให้รูปคลื่นที่ออกมามีความผิดเพี้ยนไปจากเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างความถี่หลักก่อนการบิดเบี้ยวและหลังการบิดเบี้ยว

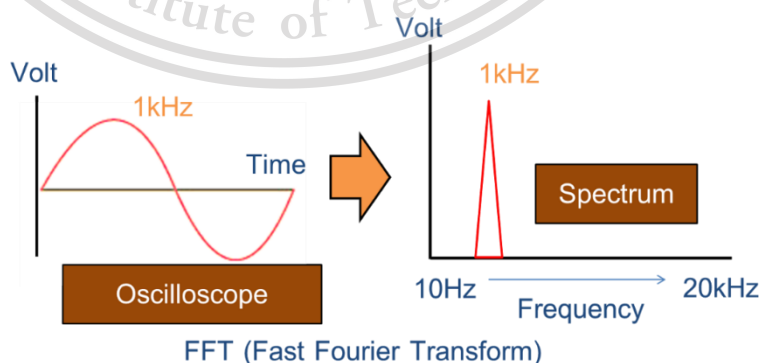
โดยการหาค่า THD นั้นสามารถคำนวณได้จาก

$$THD + N(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (V_N^2) + V_{NOISE}^2}}{V_1} \times 100$$

รูปที่ 2.4.1 สมการการคำนวณหาค่า %THD

การอ่านค่า %THD คือ ค่า %THD ยิ่งมีค่าน้อยหมายความว่าเอาท์พุทที่ออกมานั้น มีค่ายิ่งดีนั่นเอง

แต่เนื่องจากการวัดรูปคลื่น สัญญาณเป็นแบบ sine wave (Time Domain) จาก Oscilloscope จะสามารถทำได้ยากจึงจำเป็นต้องใช้หลักการ Fourier transform ในอยู่ในรูป Frequency Domain ก่อนจึงจะสามารถหาค่าแต่ช่วงความถี่มาคำนวณได้ง่าย



รูปที่ 2.4.2 แสดงการแปลงจาก Time Domain เป็น Frequency Domain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขได้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.5 หลักการคำนวณ (Fast Fourier Transform: FFT)

เทคนิคการวิเคราะห์ฟูรีเยร์ (Fourier Analysis) เป็นเทคนิคสำหรับสำหรับการวิเคราะห์ระบบ และการวิเคราะห์สัญญาณ เครื่องมือสำคัญของการวิเคราะห์ฟูรีเยร์คืออนุกรมฟูรีเยร์ (Fourier Series) ที่ใช้กับการวิเคราะห์เมื่อสัญญาณเป็นสัญญาณที่เป็นคาบ (Periodic signals) และการแปลงฟูรีเยร์ (Fourier Transform) ซึ่งใช้กับการวิเคราะห์ที่สัญญาณไม่เป็นคาบแต่พลังงานจำกัด (Finite energy) ตลอดช่วงเวลา ซึ่งในที่นี้การคำนวณมี 2 รูปแบบคือ แบบ DFT (Discrete Fourier Transform) และแบบ FFT (Fast Fourier Transform) แต่เนื่องจากในทางปฏิบัติการใช้รูปแบบ DFT มีปัญหาที่พบได้บ่อย เช่นการคำนวณในปริมาณมากแล้วอาจเกิดการล่าช้า เป็นต้น ซึ่งข้อจำกัดนี้เราสามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ได้โดยการเลือกใช้รูปแบบ FFT ฉะนั้นเราจะกล่าวอีกแบบหนึ่งได้ว่าเราใช้ FFT ในการคำนวณ DFT เพื่อการประมาณค่าสเปกตรัมของสัญญาณใดๆแทน เนื่องจากรวดเร็วกว่าแบบ DFT ปกติเป็นอย่างมากแต่ปัญหาที่ตามมาอาจจะทำให้เกิดการผิดพลาดของข้อมูลขึ้นมาตามจำนวนข้อมูลที่มากขึ้น

[4], [5] FFT (Fast Fourier Transform) ได้รับการคิดค้นโดยนักคณิตศาสตร์ 2 ท่านชื่อ Cooley และ Tukey โดยทั้งสองท่านได้นำเสนอการคิดค้นนี้ต่อสาธารณชนในปี ค.ศ 1965 หรือปี พ.ศ. 2508 เราเรียกวิธีการคำนวณตามหลักการของ Cooley และ Tukey ว่า Cooley-Tukey FFT หรือ CT-FFT ในที่นี้จะยกตัวอย่างการคำนวณ FFT ขนาด 8 จุดก็คือ การคำนวณ 8 จุด DFT ด้วยอัลกอริธึม FFT ในการแบ่งครั้งแรกตามสมการ

$$X(m) = \sum_{n=0}^3 x(2n)W_4^{mn} + W_8^m \sum_{n=0}^3 x(2n+1)W_4^{mn} = X_0(m) + W_8^m X_1(m) \quad (1)$$

$$X(m+4) = \sum_{n=0}^3 x(2n)W_4^{mn} - W_8^m \sum_{n=0}^3 x(2n+1)W_4^{mn} = X_0(m) - W_8^m X_1(m) \quad (2)$$

โดย

- $X_0(m)$ เป็น DFT ขนาด 4 จุดของ $x(0), x(2), x(4), x(6)$ และ
- $X_1(m)$ เป็น DFT ขนาด 4 จุดของ $x(1), x(3), x(5), x(7)$

รูปที่ 2.5.1 แสดงไดอะแกรมการไหลหลังการแบ่ง 8 จุด DFT เป็น 4 จุด DFT 2 ส่วน และ butterfly operations เพื่อรวมทั้งสองส่วนเข้าด้วยกัน

ส่วนของ $X_0(m)$ หาได้จากการแบ่ง 4 จุด แบบ DFT เป็น 2 จุด แบบ DFT ได้สองส่วนดังนี้

$$X_0(m) = \sum_{n=0}^1 x(4n)W_2^{mn} + W_4^m \sum_{n=0}^1 x(4n+2)W_2^{mn} = X_{0,0}(m) + W_4^m X_{0,1}(m) \quad (3)$$

$$X(m+2) = \sum_{n=0}^1 x(4n)W_2^{mn} - W_4^m \sum_{n=0}^1 x(4n+2)W_2^{mn} = X_{0,0}(m) - W_4^m X_{0,1}(m) \quad (4)$$

โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้เฉพาะในสถาบันการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงเนื้อหาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ในทางเดียวกัน $X_1(m)$ จะได้ว่า

$$X_1(m) = \sum_{n=0}^1 x(4n+1)W_2^{mn} + W_4^m \sum_{n=0}^1 x(4n+3)W_2^{mn} = X_{1,0}(m) + W_4^m X_{1,1}(m) \quad (5)$$

$$X_1(m+2) = \sum_{n=0}^1 x(4n+1)W_2^{(m+2)n} - W_4^m \sum_{n=0}^1 x(4n+3)W_2^{mn} = X_{1,0}(m) - W_4^m X_{1,1}(m) \quad (6)$$

โดย

- $X_{1,0}(m)$ เป็น DFT ขนาด 2 จุดของ $x(1), x(5)$, และ
- $X_{1,1}(m)$ เป็น DFT ขนาด 2 จุดของ $x(3), x(7)$

การวิเคราะห์ 2 จุด แบบ DFT โดย $x(0)$ และ $x(1)$ เป็นอินพุต ตามนิยามจะได้

$$X(0) = \sum_{n=0}^1 x(n)W_2^{0n} = x(0) + x(1) \quad (7)$$

$$X(1) = \sum_{n=0}^1 x(n)W_2^{1n} = x(0) - x(1)W_2 = x(0) - x(1) \quad (8)$$

เนื่องจาก $W_2 = e^{-j2\pi(1/2)} = e^{-j\pi} = -1$ จะเห็นว่าหา 2 จุด แบบ DFT ได้จาก butterfly operation แบบมี twiddle factor เท่ากับ 1 ดังนั้น จะได้

$$X_{0,0}(0) = x(0) + x(4)$$

$$X_{0,0}(1) = x(0) - x(4)$$

$$X_{0,1}(0) = x(2) + x(6)$$

$$X_{0,1}(1) = x(2) - x(6)$$

$$X_{1,0}(0) = x(1) + x(5)$$

$$X_{1,0}(1) = x(1) - x(5)$$

$$X_{1,1}(0) = x(3) + x(7)$$

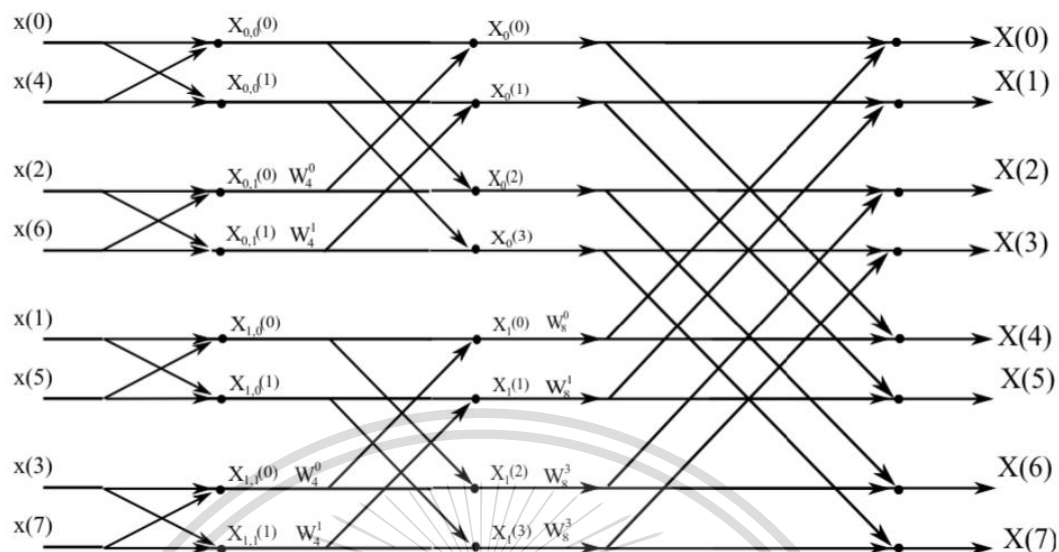
$$X_{1,1}(1) = x(3) - x(7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ซึ่งจาก butterfly operation จำนวน 4 ตัว แต่ละตัวจะมี twiddle factors เท่ากับ 1



รูปที่ 2.5.1 ไตอะแกรมการไหล (dataflow diagram) ของการคำนวณ 8 จุด แบบ DFT ด้วยวิธี CT-FFT ขนาด 8 จุด

ผลจากการคำนวณ 2 จุด แบบ DFT ทั้ง 8 ค่า จะนำไปคำนวณ $X_0(m)$ และ $X_0(m+2)$ สำหรับ $m = 0,1$ และคำนวณ $X_1(m)$ และ $X_1(m+2)$ สำหรับ $m = 0,1$ ตามสมการที่ (3) ถึงสมการที่ (6) จะได้ผลลัพธ์คือ

$$X_0(0) = X_{0,0}(0) + W_4^0 X_{0,1}(0) = X_{0,0}(0) + X_{0,1}(0)$$

$$X_0(2) = X_{0,0}(0) - W_4^0 X_{0,1}(0) = X_{0,0}(0) - X_{0,1}(0)$$

$$X_0(1) = X_{0,0}(1) + W_4^1 X_{0,1}(1) = X_{0,0}(1) - jX_{0,1}(1)$$

$$X_0(4) = X_{0,0}(1) - W_4^1 X_{0,1}(1) = X_{0,0}(1) + jX_{0,1}(1)$$

$$X_1(0) = X_{1,0}(0) + W_4^0 X_{1,1}(0) = X_{1,0}(0) + X_{1,1}(0)$$

$$X_1(2) = X_{1,0}(0) - W_4^0 X_{1,1}(0) = X_{1,0}(0) - X_{1,1}(0)$$

$$X_1(1) = X_{1,0}(1) + W_4^1 X_{1,1}(1) = X_{1,0}(1) - jX_{1,1}(1)$$

$$X_1(4) = X_{1,0}(1) - W_4^1 X_{1,1}(1) = X_{1,0}(1) + jX_{1,1}(1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยได้มาจาก butterfly operation จำนวน 4 ตัวแบบเดียวกัน โดย 2 ตัวมี twiddle factor เท่ากับ 1 ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ถึงแม้ว่าให้คิดเป็นโปรแกรม และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ $W_4^0 = 1$ ส่วนอีก 2 ตัวมี twiddle factor = $W_4 = e^{-j2\pi/4} = e^{-j\pi/2} = -j$

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

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

ผลจากการคำนวณ 2 จุด แบบ DFT ทั้ง 8 ค่าจะถูกเอาไปคำนวณ $X(m)$ และ $X_0(m+4)$ สำหรับ $m = 0,1,2,3$ ตามสมการที่ (1) และสมการที่ (2) จะได้ผลลัพธ์เป็น

$$X(0) = X_0(0) + W_8^0 X_1(0)$$

$$X(1) = X_0(0) - W_8^0 X_1(0)$$

$$X(2) = X_0(1) + W_8^1 X_1(1)$$

$$X(3) = X_0(1) - W_8^1 X_1(1)$$

$$X(4) = X_0(2) + W_8^2 X_1(2)$$

$$X(5) = X_0(2) - W_8^2 X_1(2)$$

$$X(6) = X_0(3) + W_8^3 X_1(3)$$

$$X(7) = X_0(3) - W_8^3 X_1(3)$$

ได้จาก butterfly operation มีจำนวน 4 ตัวซึ่งมี twiddle factor = $W_8^m, m = 0,1,2,3$

ซึ่งเราสามารถเขียนไดอะแกรมการไหลจากการคำนวณ 8 จุด แบบ FFT นี้ได้ตามแสดงในรูปที่ 2.4.1 โดยมีค่าอินพุต $x(n)$ ทางด้านซ้ายเข้าสู่ butterfly operation เพื่อการคำนวณ 2 จุด แบบ DFT มีจำนวน 4 ตัว จะได้ผลลัพธ์คือ $X_{0,0}(m), X_{0,1}(m), X_{1,0}(m)$ และ $X_{1,1}(m)$ สำหรับ $m = 1$ เราเรียนขั้นตอนการคำนวณนี้ว่า stage 1 ผลลัพธ์ที่ได้จาก stage 1 จะเป็นค่าอินพุตให้กับ butterfly operation จำนวน 4 ตัวใน stage ที่ 2 และผลลัพธ์ที่ได้จาก stage นี้จะเป็นค่าอินพุตให้ butterfly operation ใน stage ที่ 3 จากรูปที่ 2.4.1 จะได้

$$\text{จำนวน butterfly operation แต่ละ stage} = N / 4 \quad (9)$$

$$\text{จำนวน stage} = \log_2 N = \log_2 2^k = k \quad (10)$$

$$\text{จำนวน butterfly operation ทั้งหมด} = \frac{N}{2} \log_2 N = \frac{N}{2} \log_2 2^k = \frac{kN}{2} \quad (11)$$

เนื่องจาก butterfly operation หนึ่งตัวมีการคูณเลขเชิงซ้อน 1 ครั้งและการบวกเลขเชิงซ้อน 2 ครั้ง ในการคำนวณ N จุด แบบ DFT ด้วย N จุด แบบ FFT มีการคูณเลขเชิงซ้อนทั้งหมด $\frac{N}{2} \log_2 N$ และมีการบวกเลขเชิงซ้อน $N \log_2 N$ ครั้ง สำหรับการคำนวณตามทีนิยาม การคำนวณ DFT หนึ่งจุดต้องทำการคูณเลขเชิงซ้อนจำนวน N ครั้งและทำการบวก $N-1$ ครั้ง ดังนั้นการคำนวณ N จุด แบบ DFT ตามนิยามต้องการใช้การคูณทั้งหมด N^2 ครั้ง และการบวกทั้งหมด $(N-1)^2$ ตามตารางที่ 1 เปรียบเทียบปริมาณการคูณและการบวกระหว่างการคำนวณ N จุด แบบ DFT ตามนิยาม และการคำนวณด้วย N จุด แบบ FFT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับอาจารย์ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

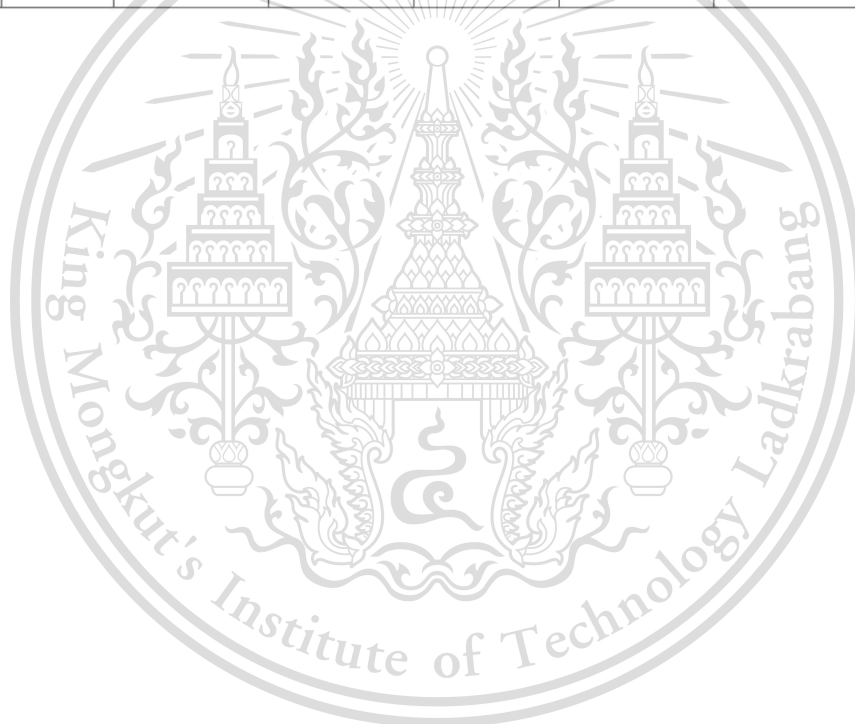
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 2.5.1 เปรียบเทียบปริมาณการคูณและการบวกเลขเชิงซ้อนสำหรับการคำนวณ DFT ตามนิยามและคำนวณด้วย

FFT		จำนวนครั้งของการบวก			จำนวนครั้งของการคูณ		
k	$N = 2^k$	ตามนิยาม	FFT	นิยาม/FFT	ตามนิยาม	FFT	นิยาม/FFT
4	16	225	64	3.5	256	32	8
6	64	3969	384	10.3	4096	192	21.3
8	256	65025	2048	31.8	65536	1024	64
10	1024	1.04×10^6	1.02×10^4	102.2	1.05×10^6	5.12×10^3	204.8
12	4096	1.68×10^7	4.92×10^4	341.2	1.68×10^7	2.46×10^4	682.7
14	16384	2.68×10^8	2.29×10^5	1.17×10^3	2.68×10^8	1.15×10^5	2.34×10^3
16	65536	4.29×10^9	1.05×10^6	4.09×10^3	4.29×10^9	5.24×10^5	8.19×10^3
18	262144	6.87×10^{10}	4.72×10^6	1.45×10^4	6.87×10^{10}	2.36×10^6	2.91×10^4
20	1048576	1.10×10^{12}	2.10×10^7	5.24×10^4	1.10×10^{12}	1.05×10^7	1.05×10^5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานและการออกแบบ

3.1 ภาพรวมขององค์ประกอบหลักของระบบ

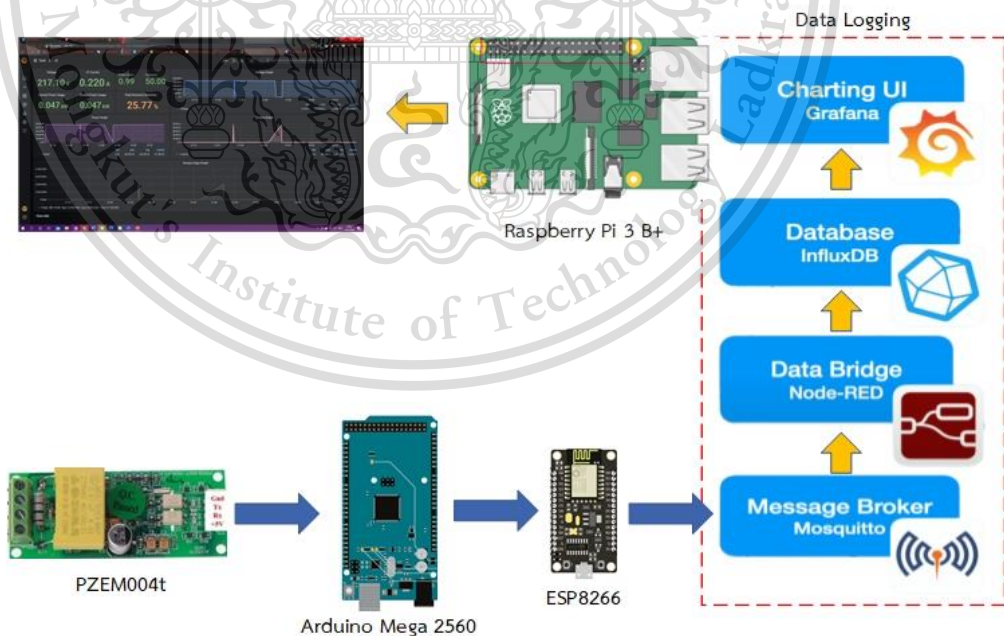
ในการออกแบบการทำงานของมาตรวัดไฟฟ้า 3 เฟสอัจฉริยะ โดยหลักจะประกอบไปด้วย

1. ตัวเซ็นเซอร์วัด โดยใช้โมดูล PZEM004t ซึ่งสามารถวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าได้ 6 ค่าได้แก่ แรงดัน, กระแสไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า, พลังงานไฟฟ้า, ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า, ความถี่ และเป็นข้อมูลดิจิทัลซึ่งสามารถส่งค่าไปยัง Arduino Mega 2560 ด้วย Serial Rx,Tx เพื่อแสดงผล ซึ่งสะดวกในการต่อวงจร

2. Arduino Mega 2560 เป็นอุปกรณ์ที่ต้องใช้ร่วมกับ โมดูล PZEM004t ในการรับข้อมูล และแสดงผล อีกทั้งยังเป็นตัวประมวลผลในการจำลองรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าและคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ Total Harmonic Distortion

3. NodeMCU(ESP8266) ทำหน้าที่เป็นตัวส่งข้อมูลไปยังระบบ Data logging

4. Internet of Things (IoT) ทำหน้าที่เป็นตัวรับและส่งข้อมูล โดยมีโปรแกรม Node-RED รับค่ามาจาก ESP8266 ผ่าน MQTT Protocol และส่งข้อมูลไปเก็บไว้ใน Database (InfluxDB) และออกแบบ Dashboard (Grafana) เพื่อดึงข้อมูลมาแสดง



รูปที่ 3.1 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

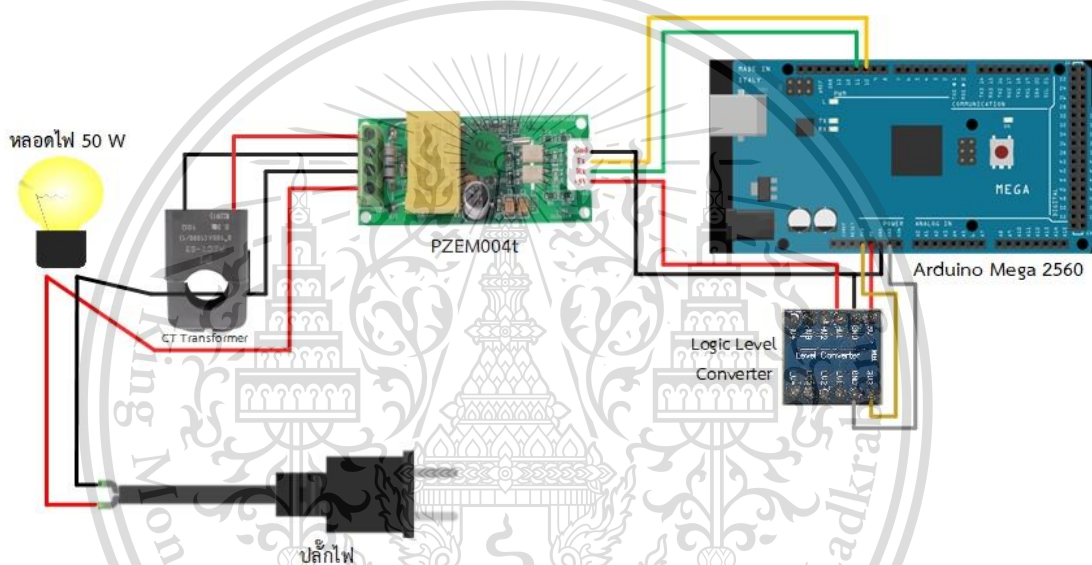
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในการทำงานของอุปกรณ์ แบ่งการทำงานออกเป็นสามส่วน ได้แก่

- 1.การรับส่งข้อมูลระหว่าง PZEM004t-Arduino Mega 2560,
- 2.การรับส่งข้อมูลระหว่าง Arduino Mega 2560-ESP8266,
- 3.การรับส่งข้อมูลระหว่าง ESP8266-Raspberry Pi 3

3.2 การรับส่งข้อมูลระหว่าง PZEM004t-Arduino Mega 2560

วงจรเซนเซอร์ PZEM004t เชื่อมต่อกับไฟบ้าน 1 เฟส 220 Vac สามารถต่อวงจรได้ดังรูปที่ 3.2 เมื่อเชื่อมต่อเสร็จแล้ว ตัวเซนเซอร์จะรับสัญญาณไฟฟ้าซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อกและแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล และส่งค่าออกไปยัง Arduino Mega 2560 เป็นค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ



รูปที่ 3.2 การต่อวงจรการรับส่งข้อมูลระหว่าง PZEM004t-Arduino Mega 2560

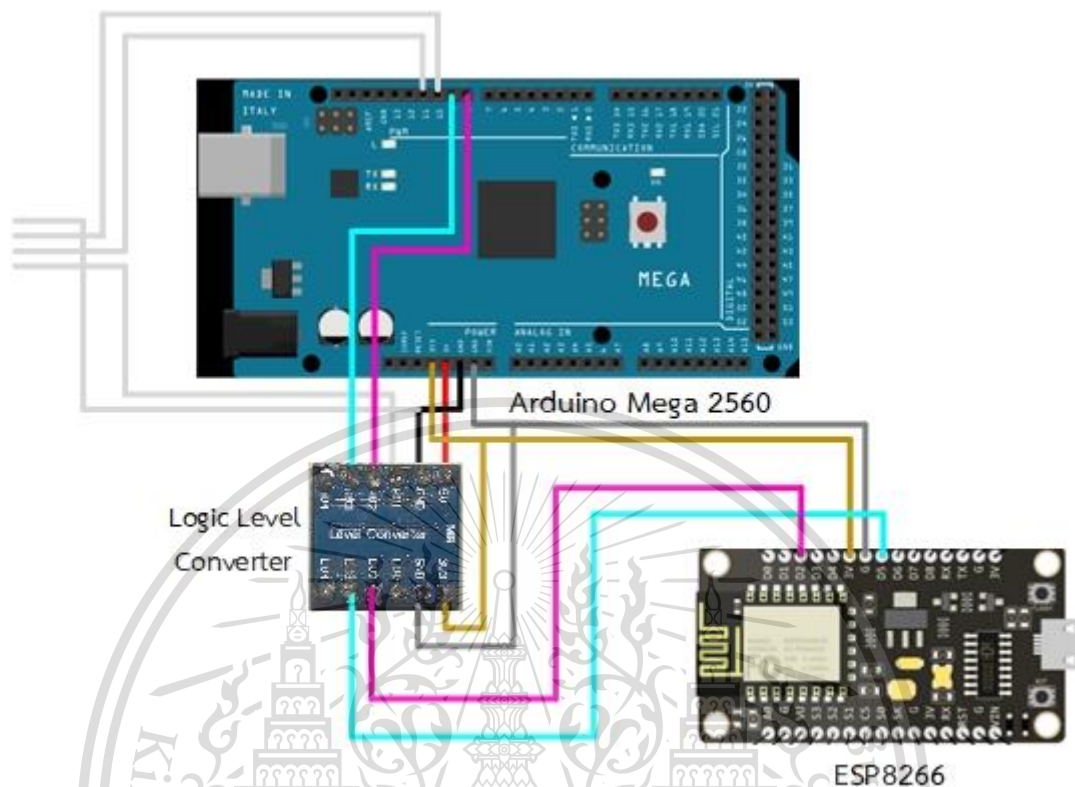
โดยขาสัญญาณ Rx,Tx จากเซนเซอร์ต่อเข้ากับขา GPIO ที่ 11,10 ตามลำดับ และขา Gnd กับ 5V จากเซนเซอร์ต่อเข้ากับ Logic Level Converter ฝั่ง 5 V ที่ต่อมาจาก 5V ของ Arduino Mega 2560 ส่วนฝั่ง 3.3V จะใช้ในส่วนถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3.3 การรับส่งข้อมูลระหว่าง Arduino Mega 2560-NodeMCU(ESP8266)



รูปที่ 3.4 การต่อวงจรรับส่งข้อมูลระหว่าง Arduino Mega 2560-ESP8266

เมื่อ Arduino Mega 2560 รับค่ามาจากเซนเซอร์แล้วจะทำการส่งค่าผ่านทาง Serial ที่กำหนดซึ่งสามารถต่อวงจรได้ดังรูปที่ 3.4 โดยที่ต่อขา GPIO จาก Arduino Mega 2560 ขาที่ 9,8 ต่อที่ฝั่ง 5V ของ Logic Level Converter และออกไปยังฝั่ง 3.3V และต่อไปที่ขา GPIO ที่ 5,2 ของ ESP8266 ตามลำดับ

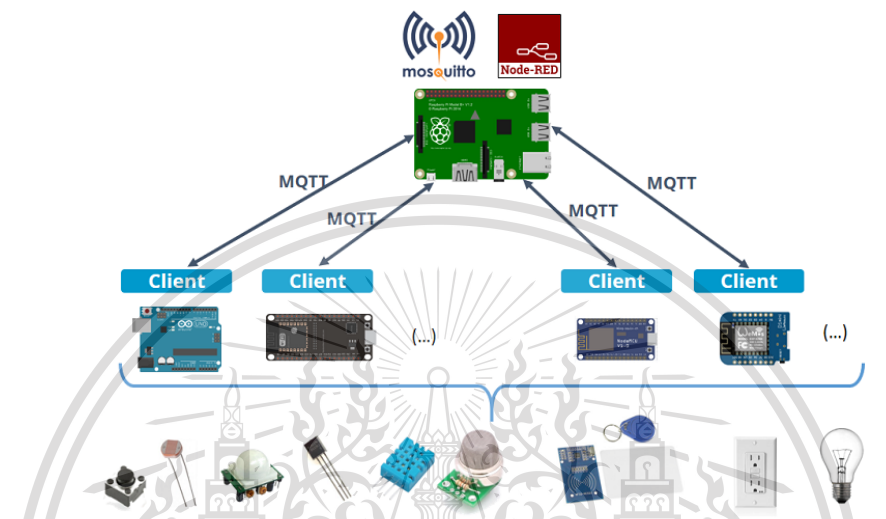
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3.4 การรับส่งข้อมูลระหว่าง ESP8266-Raspberry Pi 3

หลังจากที่ ESP8266 ได้รับค่าแล้ว ESP8266 มีความจำเป็นในการเชื่อมต่อ Wifi เดียวกันกับ Raspberry Pi 3 เพื่อเป็น Hub ให้ Mosquitto (mqtt), InfluxDB, Grafana ได้สื่อสารกันระหว่างอุปกรณ์ หลังจาก ESP8266 ได้ทำการ publish ค่าแต่ละค่าไปแล้ว ซึ่งมี mqtt เป็น Broker ในการรอรับข้อมูล และสามารถตั้งค่าได้ในโปรแกรม Node-RED



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างการทำงานของอุปกรณ์โดยผ่าน Broker Mosquitto

ที่มา : <https://randomnerdtutorials.com/what-is-mqtt-and-how-it-works/>

โดยขั้นตอนการส่งข้อมูลแต่ละค่านั้น จำเป็นต้องตั้งชื่อ topic เดียวกันเพื่อให้อุปกรณ์สื่อสารถึงกันและส่งข้อมูลได้ถูกต้อง

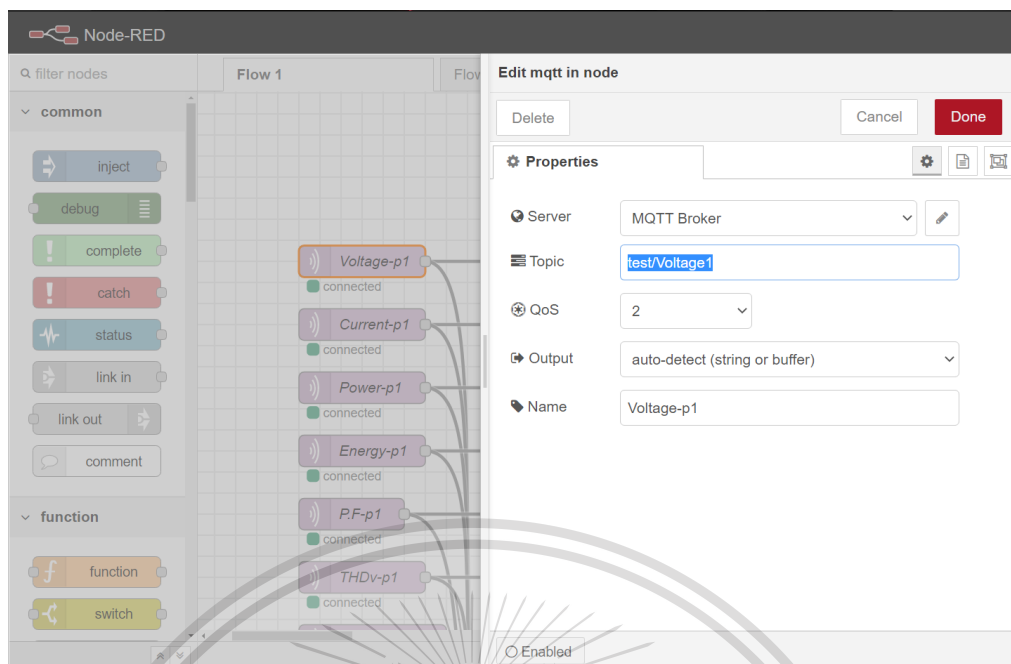
```
ESP-mqtt
Serial.println(power1);
Serial.println(energy1);
Serial.println(frequency1);
Serial.println(pf1);
Serial.println(THD);
}
DataString = "Voltage : "+float(voltage1,4)+" V";
DataString.toCharArray(msg, 50);
Serial.print("Publish message: ");
Serial.println(msg);
client.publish("test/Voltage1", String(voltage1,4).c_str(),true);
```

รูปที่ 3.12 การตั้งชื่อ topic เพื่อส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

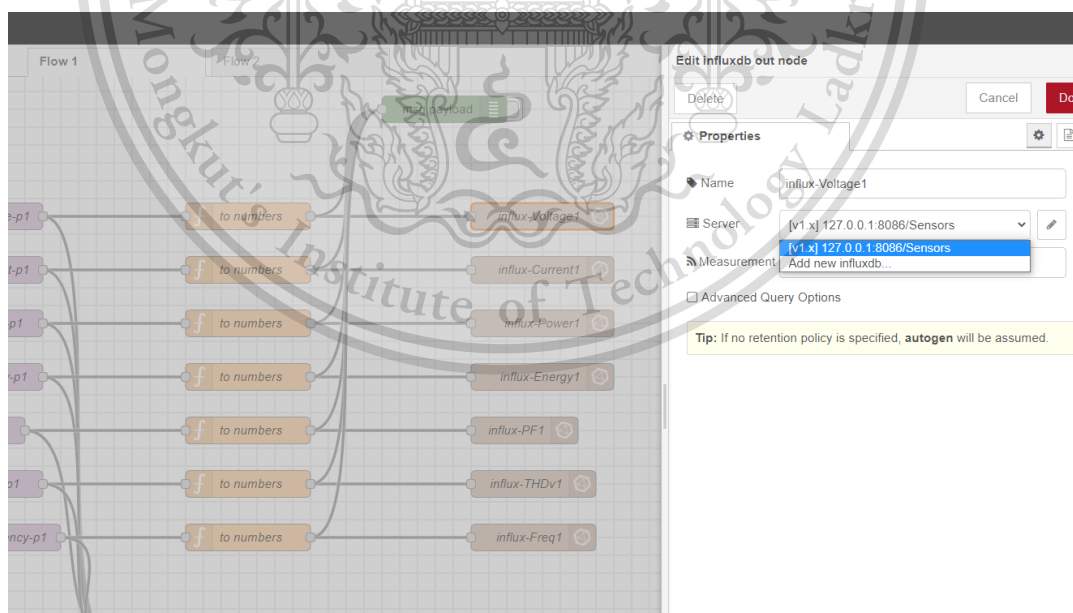
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.13 การตั้งชื่อ topic เพื่อรับข้อมูล

3.5 การเก็บข้อมูลใน InfluxDB (Database) และแสดงผลบน Grafana (Dashboard)

หลังจากที่ mqtt ได้รับข้อมูลแล้ว จะทำการส่งไปยัง InfluxDB เพื่อเก็บข้อมูลไว้ใน Database ที่ได้สร้างขึ้นใน Raspberry Pi 3 ชื่อว่า Sensors ซึ่งใน Database Sensors นั้นจะมีค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ถูกส่งมาเก็บไว้



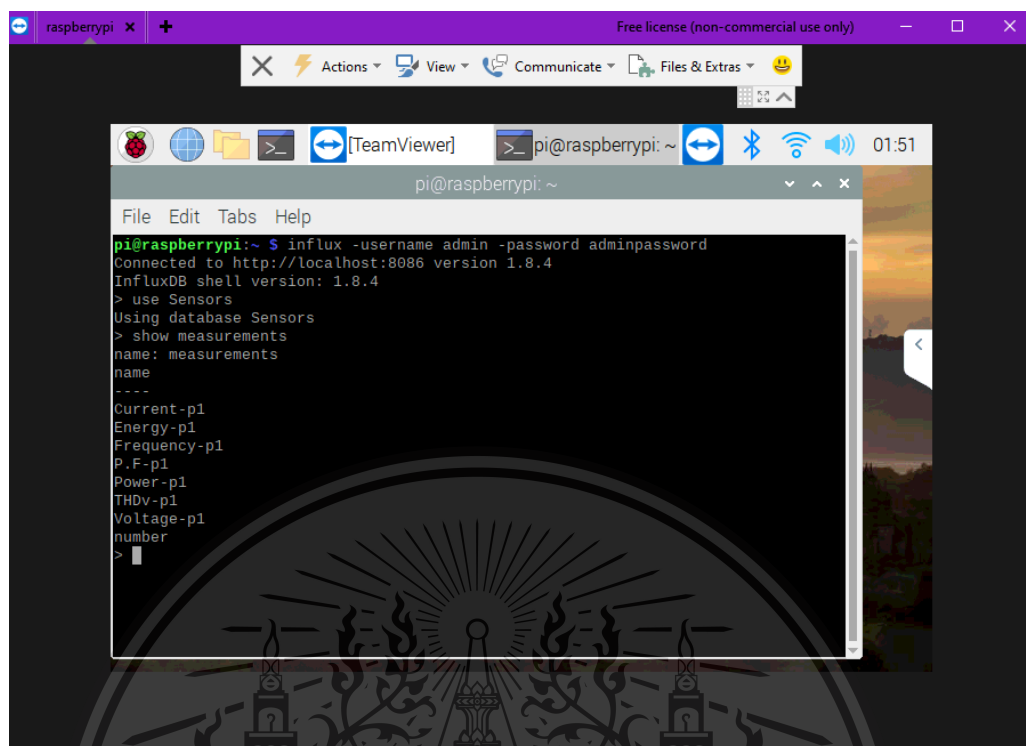
รูปที่ 3.14 mqtt ส่งข้อมูลต่อไปเก็บไว้ใน Database ชื่อว่า Sensors

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สามารถตรวจสอบว่ามีข้อมูลเข้ามาใน Database ได้โดยคำสั่ง Command ใน Raspberry Pi 3



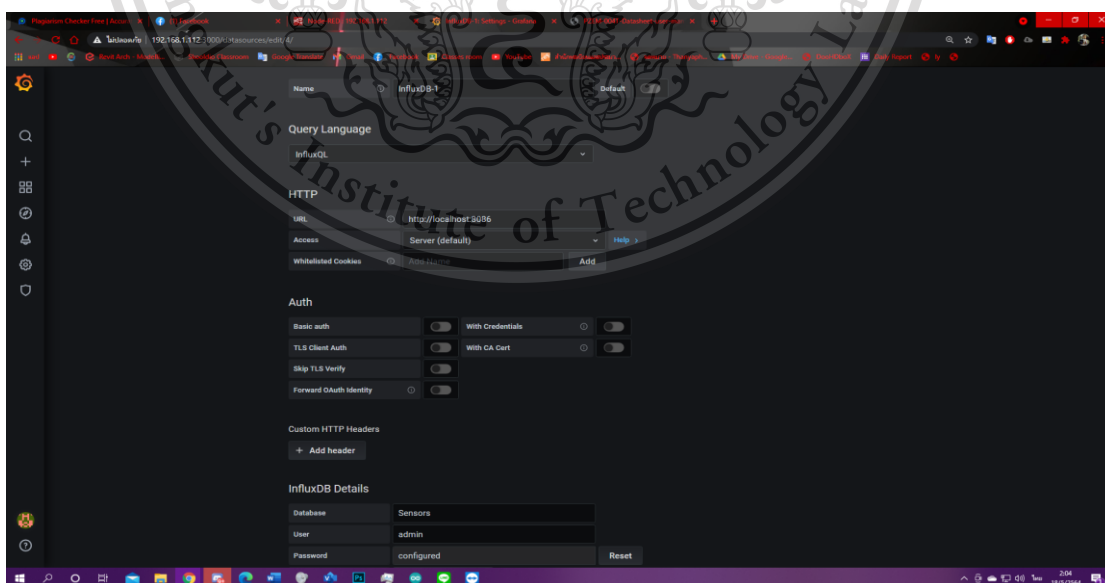
```

pi@raspberrypi: ~
File Edit Tabs Help
pi@raspberrypi:~$ influx -username admin -password adminpassword
Connected to http://localhost:8086 version 1.8.4
InfluxDB shell version: 1.8.4
> use Sensors
Using database Sensors
> show measurements
name: measurements
name
----
Current-p1
Energy-p1
Frequency-p1
P.F-p1
Power-p1
THDv-p1
Voltage-p1
number
>

```

รูปที่ 3.15 ข้อมูลใน Database ชื่อ Sensors

จะเห็นว่ามีข้อมูลที่ได้ส่งมาจาก ESP8266 โดยผ่าน MQTT broker ที่ควบคุมผ่านโปรแกรม Node-RED ไปยัง Database ชื่อว่า Sensors เรียบร้อยแล้ว ในส่วนของ Grafana จะสามารถเห็น Database ได้ก็ต่อเมื่อใช้ host เดียวกันซึ่งได้กล่าวไว้ในภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ รูปที่ 3.16 สร้าง Dashboard โดยเชื่อมกับ Database ผ่าน localhost ของ Wifi ผ่านการตั้งค่า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

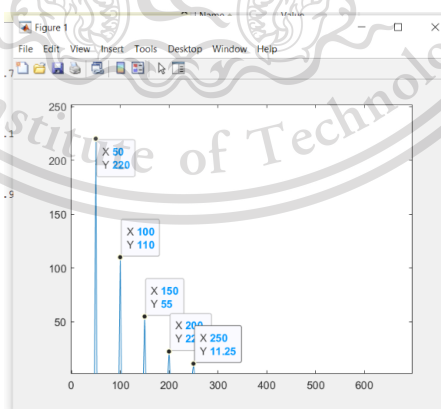
เมื่อเชื่อมกับ Database แล้วจะสามารถดึงข้อมูลที่ถูเก็บไว้มาแสดงผลได้บน Dashboard และขั้นตอนการตั้งค่าการแสดงผลจะกล่าวในภาคผนวก



รูปที่ 3.17 Dashboard ที่แสดงผลจากเซนเซอร์

3.6 การจำลองสัญญาณและคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ Total Harmonic Distortion (THD) ใน Arduino Mega 2560 และ MATLAB

ในการศึกษานี้ได้จำลองสัญญาณจาก Arduino Mega 2560 เพื่อใช้ในการคำนวณหา Total Harmonic Distortion โดยการสร้างสมการสัญญาณต่าง ๆ (ไซน์, สามเหลี่ยม, สี่เหลี่ยม) ใน Time domain เพื่อจำลองรูปแบบสัญญาณความถี่ของสัญญาณไฟฟ้า และกำหนดให้เป็นอินพุต และนำไปคำนวณ เนื่องจาก Time domain นำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ THD ได้ยากจึงจำเป็นต้องใช้ Fourier Transform เพื่อแปลงสัญญาณเป็น Frequency Domain ซึ่งในที่นี้จะใช้แบบ Fast Fourier Transform



รูปที่ 3.18 Frequency Domain ใน MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

570.000000Hz 0.0000
572.500000Hz 0.0000
575.000000Hz 0.0000
577.500000Hz 0.0000
580.000000Hz 0.0000
582.500000Hz 0.0000
585.000000Hz 0.0000
587.500000Hz 0.0002
590.000000Hz 0.0005
592.500000Hz 0.0002
595.000000Hz 0.0000
597.500000Hz 0.0000
600.000000Hz 0.0000
602.500000Hz 0.0000
605.000000Hz 0.0000
607.500000Hz 0.0000
610.000000Hz 0.0000
612.500000Hz 0.0000
615.000000Hz 0.0000
617.500000Hz 0.0000
620.000000Hz 0.0000
622.500000Hz 0.0000
625.000000Hz 0.0000
627.500000Hz 0.0000
630.000000Hz 0.0000
632.500000Hz 0.0000
635.000000Hz 0.0000
637.500000Hz 0.0000

f1=50.097846Hz 237.2044
f2=100.195693Hz 0.0009
f3=150.293548Hz 0.0001
f4=200.391387Hz 0.0001
f5=250.489227Hz 0.0000

%THD = 0.00 %
    
```

รูปที่ 3.19 หน้าจอแสดงผลการจำลองสัญญาณรูปคลื่นไซน์และคำนวณเปอร์เซ็นต์ THD ใน Arduino Mega 2560

```

570.000000Hz 0.0000
572.500000Hz 0.0001
575.000000Hz 0.0001
577.500000Hz 0.0001
580.000000Hz 0.0000
582.500000Hz 0.0000
585.000000Hz 0.0000
587.500000Hz 0.0002
590.000000Hz 0.0005
592.500000Hz 0.0002
595.000000Hz 0.0000
597.500000Hz 0.0000
600.000000Hz 0.0000
602.500000Hz 0.0000
605.000000Hz 0.0000
607.500000Hz 0.0000
610.000000Hz 0.0000
612.500000Hz 0.0000
615.000000Hz 0.0000
617.500000Hz 0.0000
620.000000Hz 0.0001
622.500000Hz 0.0000
625.000000Hz 0.0000
627.500000Hz 0.0000
630.000000Hz 0.0000
632.500000Hz 0.0000
635.000000Hz 0.0000
637.500000Hz 0.0020

f1=50.097846Hz 237.2038
f2=100.195693Hz 118.6029
f3=150.293548Hz 59.3016
f4=200.391387Hz 29.6508
f5=250.489227Hz 14.8253

%THD = 57.62 %
    
```

รูปที่ 3.20 หน้าจอแสดงผลการจำลองสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมและคำนวณเปอร์เซ็นต์ THD ใน Arduino Mega 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

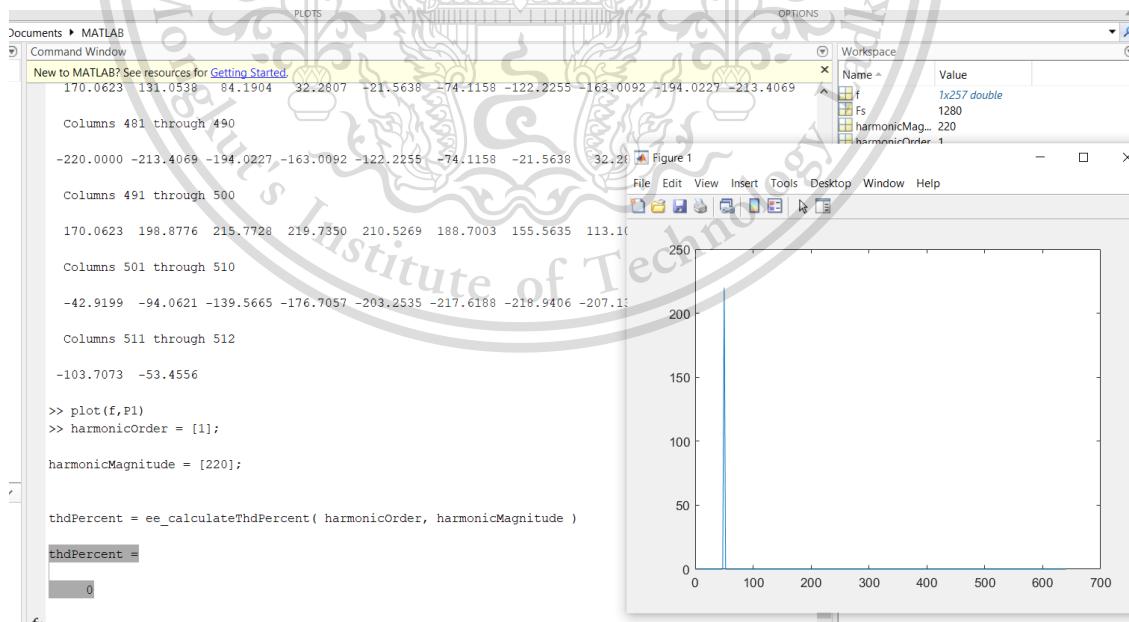
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
570.000000Hz 0.0001
572.500000Hz 0.0000
575.000000Hz 0.0001
577.500000Hz 0.0000
580.000000Hz 0.0000
582.500000Hz 0.0000
585.000000Hz 0.0000
587.500000Hz 0.0002
590.000000Hz 0.0005
592.500000Hz 0.0002
595.000000Hz 0.0000
597.500000Hz 0.0000
600.000000Hz 0.0000
602.500000Hz 0.0000
605.000000Hz 0.0000
607.500000Hz 0.0000
610.000000Hz 0.0000
612.500000Hz 0.0000
615.000000Hz 0.0000
617.500000Hz 0.0000
620.000000Hz 0.0000
622.500000Hz 0.0000
625.000000Hz 0.0000
627.500000Hz 0.0000
630.000000Hz 0.0000
632.500000Hz 0.0000
635.000000Hz 0.0000
637.500000Hz 0.0000

f1=50.097846Hz 237.2044
f2=100.195693Hz 0.0011
f3=150.293548Hz 59.3013
f4=200.391387Hz 0.0004
f5=250.489227Hz 14.8253

%THD = 25.77
```

รูปที่ 3.21 หน้าจอแสดงผลการจำลองสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมและคำนวณเปอร์เซ็นต์ THD ใน Arduino Mega 2560

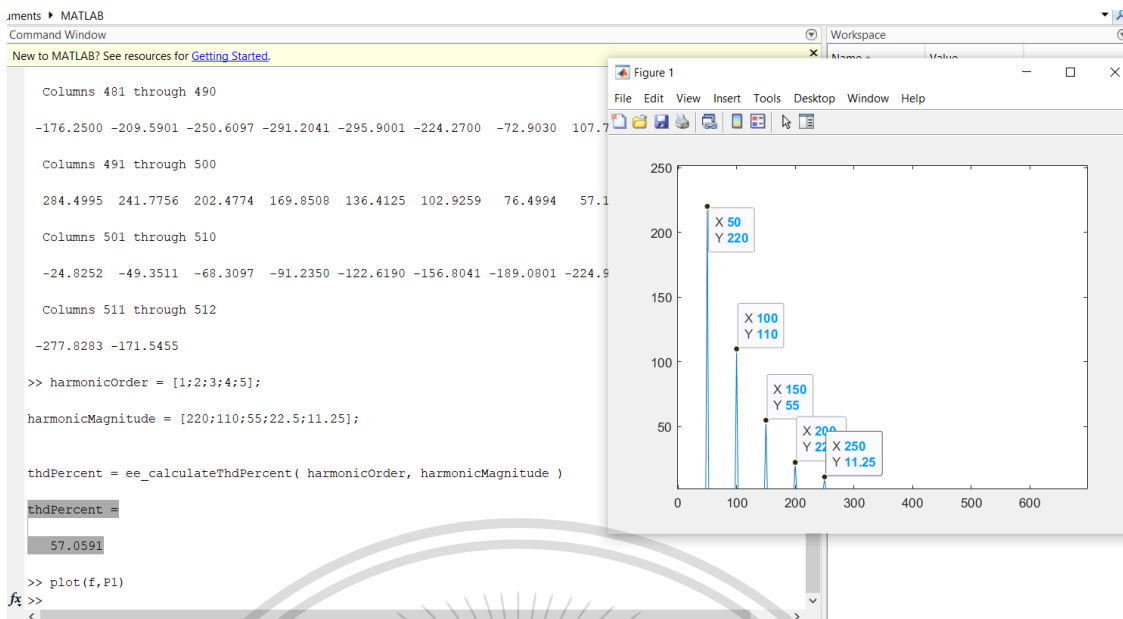


รูปที่ 3.22 หน้าจอแสดงผลการจำลองสัญญาณรูปคลื่นไซน์และคำนวณเปอร์เซ็นต์ THD ใน MATLAB

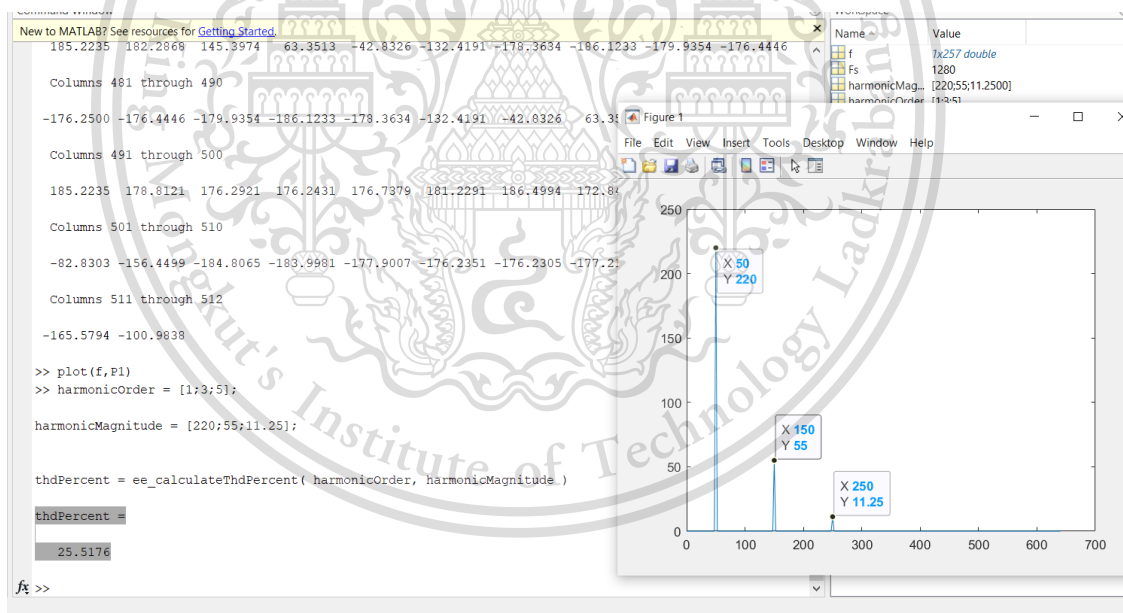
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 3.23 หน้าจอแสดงผลการจำลองสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมและคำนวณเปอร์เซ็นต์ THD ใน MATLAB



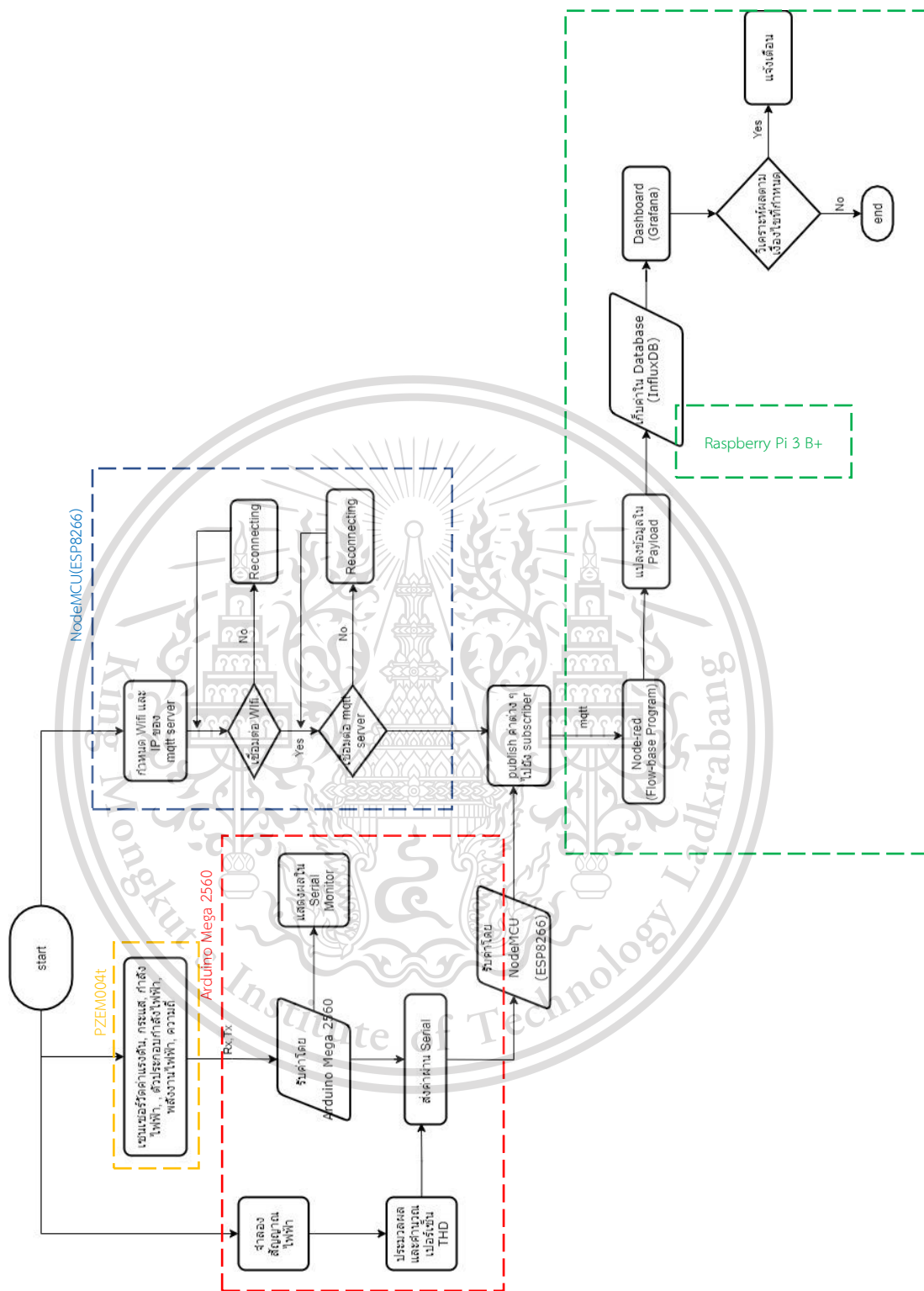
รูปที่ 3.24 หน้าจอแสดงผลการจำลองสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมและคำนวณเปอร์เซ็นต์ THD ใน MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3.7 แผนผัง Flowchart ลำดับการทำงานของ มาตรการไฟฟ้า 3 เฟส อัจฉริยะ



รูปที่ 3.25 แผนผัง Flowchart ลำดับการทำงานของ มาตรการไฟฟ้า 3 เฟส อัจฉริยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

จากรูปเริ่มต้นโดยเซนเซอร์เริ่มการทำงานโดยมีตัวแปรรอรับค่าจากเซนเซอร์ซึ่งได้ให้มีการแสดงผลใน Serial monitor ใน Arduino Mega 2560 จะส่งค่าไปที่ NodeMCU(ESP8266) โดยผ่าน Serial ในส่วนนี้เริ่มต้นการทำงานโดยให้ ESP8266 เชื่อมต่อกับ Wifi host และ MQTT server ที่เราได้กำหนดไว้ เมื่อเชื่อมต่อได้แล้วจะทำการ publish ค่าที่ได้รับจาก Arduino Mega 2560 ไปยัง Node-RED เพื่อส่งต่อไปยัง Database(InfluxDB) และสามารถนำค่าต่าง ๆ ไปแสดงบน Dashboard(Grafana) และมีการแจ้งเตือนกลับมา

3.8 การติดตั้งโปรแกรมใน Raspberry PI 3 B+

ในส่วนของอุปกรณ์ Raspberry PI 3 B+ ที่ใช้ในระบบ IoT มีความจำเป็นที่จะต้องติดตั้งโปรแกรม ดังนี้

3.8.1 การติดตั้งระบบปฏิบัติการใน Raspberry PI 3 B+

ระบบปฏิบัติการ Raspbian บน Raspberry Pi ซึ่งถือเป็นระบบปฏิบัติการมาตรฐาน ในการลงครั้งนี้จะใช้วิธีการแบบ NOOBS หรือดาวน์โหลด Image File แบบ NOOBS ซึ่งเป็นวิธีการแบบใหม่และง่ายที่สุด โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียม (Micro SD Card 16GB Class 10 + RaspberryPi 2/3)
2. ดาวน์โหลด NOOBS .Zip File ที่ <https://www.raspberrypi.org/downloads/>
3. Format SD Card และแตกไฟล์ NOOBS ลงใน SD Card
4. ใส่ SD Card ใน Raspberry จากนั้นเปิดเครื่อง จะพบหน้าจอติดตั้ง Raspbian OS
5. รอติดตั้งเสร็จ ใช้เวลาประมาณ 20-30 นาที จากนั้นกด Restart
6. เสร็จการติดตั้ง

ซึ่งในระบบปฏิบัติการเวอร์ชันรุ่นล่าสุดจะมี Node-RED ติดตั้งไว้ให้เรียบร้อยแล้วซึ่งสามารถใช้งานได้ทันทีหลังจากติดตั้งระบบปฏิบัติการเสร็จ

3.8.2 การติดตั้ง Mosquitto MQTT Broker ใน Raspberry PI 3 B+

เปิด Command ใน Raspberry Pi แล้วใช้คำสั่งต่อไปนี้

```
sudo apt install mosquitto mosquitto-
```

โปรแกรมจะดาวน์โหลดและติดตั้งเองอัตโนมัติจนเสร็จใน Raspberry Pi ซึ่งใช้เวลาไม่นานและเพื่อสร้างความปลอดภัยให้กับระบบ ควรสร้าง User และ Password ใหม่ โดยใช้คำสั่งต่อไปนี้

```
echo "mqtt_username:mqtt_password" > pwfile
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

คำสั่งนี้จะเป็นการตั้งชื่อ User : mqtt_username และตั้งรหัสผ่าน Password : mqtt_password หลังจากนั้นให้เริ่มการทำงานของ MQTT ใหม่ โดยใช้คำสั่ง

```
sudo /etc/init.d/mosquitto restart
```

โปรแกรม Mosquitto จะเริ่มการทำงานใหม่และหากมีการเชื่อมต่อกับ MQTT Broker ที่เราได้ติดตั้งและสร้าง User ใหม่จะต้องเข้ารหัสที่เราได้กำหนดไว้เท่านั้น

3.8.3 การติดตั้ง InfluxDB ใน Raspberry PI 3 B+

เริ่มโดยการใช้คำสั่งเตรียมเพื่อดึงข้อมูลจาก Official InfluxDB

```
wget -qO- https://repos.influxdata.com/influxdb.key | sudo apt-key add -
```

จากนั้นตรวจสอบให้แน่ใจว่า Codename ของระบบปฏิบัติการ Raspbian ที่ได้ติดตั้ง ใช้ชื่อว่าอะไร

```
lsb_release -a
```

จะเห็นว่า Codename ของระบบปฏิบัติการชื่อ buster จากนั้นให้ใช้คำสั่ง

```
echo "deb https://repos.influxdata.com/debian buster stable" | sudo tee /etc/apt/sources.list.d/influxdb.list
```

เมื่อมี Installer พร้อมสำหรับการติดตั้งแล้ว ให้เริ่มการอัปเดตด้วยคำสั่ง

```
sudo apt update
```

ทำการติดตั้งโปรแกรม InfluxDB ด้วยคำสั่ง

```
sudo apt install influxdb
```

ตั้งค่าระบบจัดการ เพื่อให้ InfluxDB เริ่มต้นการทำงานใหม่ทุกครั้งหลังจากเปิดเครื่อง Raspberry PI

```
sudo systemctl unmask influxdb
```

```
sudo systemctl enable influxdb
```

```
sudo systemctl start influxdb
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและตัดทอนลิขสิทธิ์เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3.8.4 ขั้นตอนการสร้าง Database ใน InfluxDB เริ่มต้นการใช้งานโดยใช้คำสั่ง

```
influx
```

จากนั้นสร้าง User โดยใช้ชื่อ admin และใช้ password : adminpassword โดยใช้คำสั่ง

```
CREATE USER admin WITH PASSWORD 'adminpassword' WITH ALL PRIVILEGES
```

ออกจากการใช้งาน

```
exit
```

ในการตั้งค่าเพื่อให้มีการรับรองก่อนเข้าใช้งาน InfluxDB ต้องเข้าไปแก้ไขใน Configuration โดยใช้คำสั่ง

```
sudo nano /etc/influxdb/influxdb.conf
```

จากนั้นจะเข้ามาในหน้าต่างนี้

```
## Welcome to the InfluxDB configuration file.
# The values in this file override the default values used by the system if
# a config option is not specified. The commented out lines are the configuration
# field and the default value used. Uncommenting a line and changing the value
# will change the value used at runtime when the process is restarted.

# Once every 24 hours InfluxDB will report usage data to usage.influxdata.com
# The data includes a random ID, os, arch, version, the number of series and other
# usage data. No data from user databases is ever transmitted.
# Change this option to true to disable reporting.
# reporting-disabled = false

# Bind address to use for the RPC service for backup and restore.
# bind-address = "127.0.0.1:8088"

###
### [meta]
###
### Controls the parameters for the Raft consensus group that stores metadata
### about the InfluxDB cluster.
###

[meta]
# Where the metadata/raft database is stored
```

Read 592 lines

GH Get Help	WO Write Out	WH Where Is	AK Cut Text	AJ Justify	AC Cur Pos	M-U Undo	M-A Mark Text
AX Exit	WR Read File	WR Replace	AU Uncut Text	AT To Spell	AG Go To Line	M-E Redo	M-C Copy Text

รูปที่ 3.26 หน้าต่างตั้งค่า InfluxDB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ให้กด CTRL + W เพื่อหาคำว่า HTTP และแก้ไขตามนี้

```
auth-enabled = true
pprof-enabled = true
pprof-auth-enabled = true
ping-auth-enabled = true
```

จากนั้นกด CTRL + X และกด Y จากนั้น ENTER และใช้คำสั่งเริ่มการทำงานของ InfluxDB ใหม่เพื่อให้การตั้งค่าใหม่ทำงาน

```
sudo systemctl restart influxdb
```

เริ่มการใช้งาน InfluxDB โดยครั้งนี้จำเป็นต้องใส่ Username และ Password ด้วย

```
influx -username admin -password adminpassword
```

จากนั้นสร้าง Database ที่มีชื่อว่า Sensors โดยใช้คำสั่ง

```
CREATE DATABASE Sensors
```

จากนั้นใช้คำสั่งเพื่อออกจากการใช้งาน

```
exit
```

3.8.5 การติดตั้ง Grafana ใน Raspberry Pi 3 B+

เช่นเดียวกับการติดตั้ง InfluxDB โดยเริ่มจากการใช้คำสั่งเตรียมเพื่อดึงข้อมูลจาก

Official Grafana

```
wget -q -O - https://packages.grafana.com/gpg.key | sudo apt-key add -
```

จากนั้นให้ใช้คำสั่ง

```
echo "deb https://packages.grafana.com/oss/deb stable main" | sudo tee -a
/etc/apt/sources.list.d/grafana.list
```

อัปเดต Installer และทำการติดตั้ง Grafana ด้วยคำสั่ง

```
sudo apt update
sudo apt install grafana
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุใดก็ตามที่ทำให้เอกสารนี้ถูกเผยแพร่ไปยังที่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาต
โดยใช้คำสั่ง

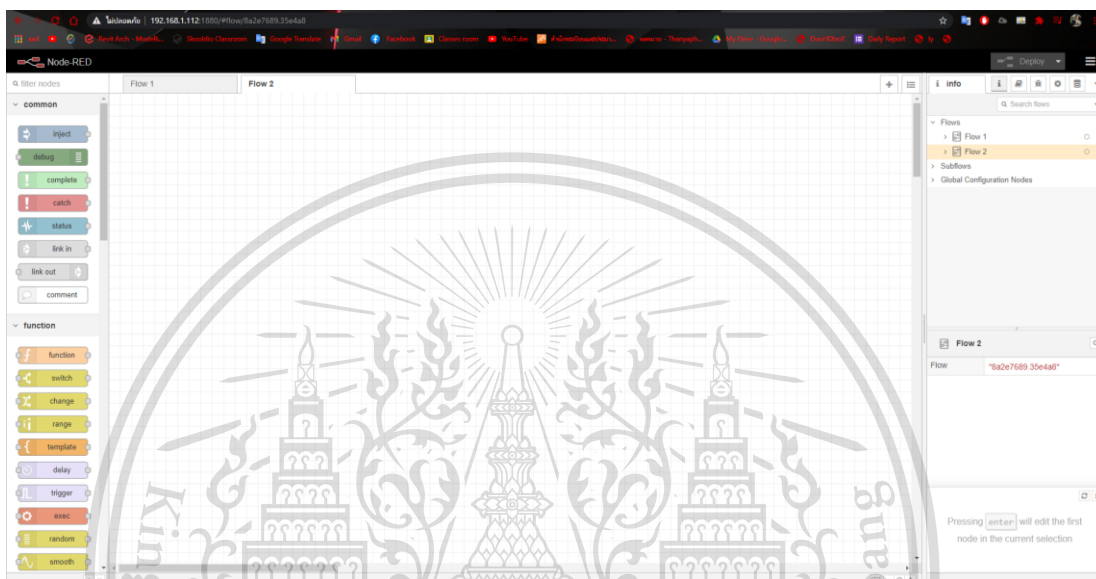
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

```
sudo systemctl enable grafana-server
sudo systemctl start grafana-server
```

3.9 การ Publish/Subscribe และขั้นตอนการใช้งาน Node-RED

โดยการเข้าใช้งาน Node-RED ให้ไปที่ Web Browser แล้วใส่ IP Address ของ Raspberry PI 3+ ที่ต่อกับ Wifi ที่กำหนดไว้ โดยใช้พอร์ต 1880 เช่น <http://192.168.1.112:1880>



รูปที่ 3.27 หน้าต่างหลักของโปรแกรม Node-RED

การ Publish/Subscribe นั้นเป็นการส่งข้อมูลระหว่าง Topic ชื่อเดียวกัน และเชื่อมต่อกับ MQTT Server เดียวกัน ซึ่งส่วนการ Subscribe จะใช้ node : mqtt in เพื่อ subscribe topic ที่ถูก publish มาซึ่งในส่วนของการ Publish นั้นจะอยู่ในการโปรแกรมการทำงานของ NodeMCU (ESP8266) ภาคผนวก ฉ

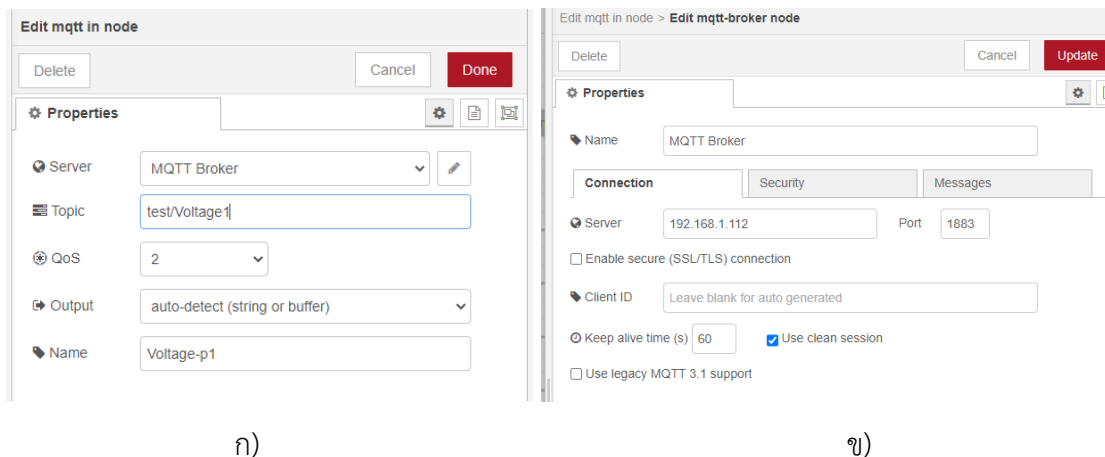


รูปที่ 3.28 Node mqtt in

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

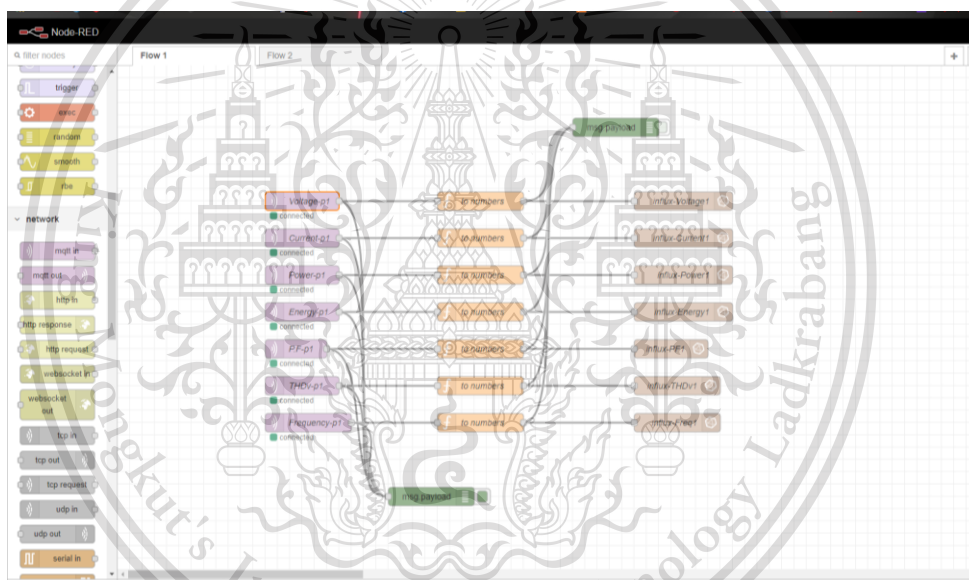


ก)

ข)

รูปที่ 3.29 การตั้งค่าการ Publish/Subscribe

เมื่อ ก) การตั้งค่าชื่อ Topic ใน Node mqtt ใน ข) การตั้ง IP Address ให้ตรงกับ MQTT Server



รูปที่ 3.30 แผนผังการไหลของข้อมูลจาก mqtt ไปยัง InfluxDB

3.10 การใช้งาน Grafana และการดึงข้อมูลจาก Database (InfluxDB)

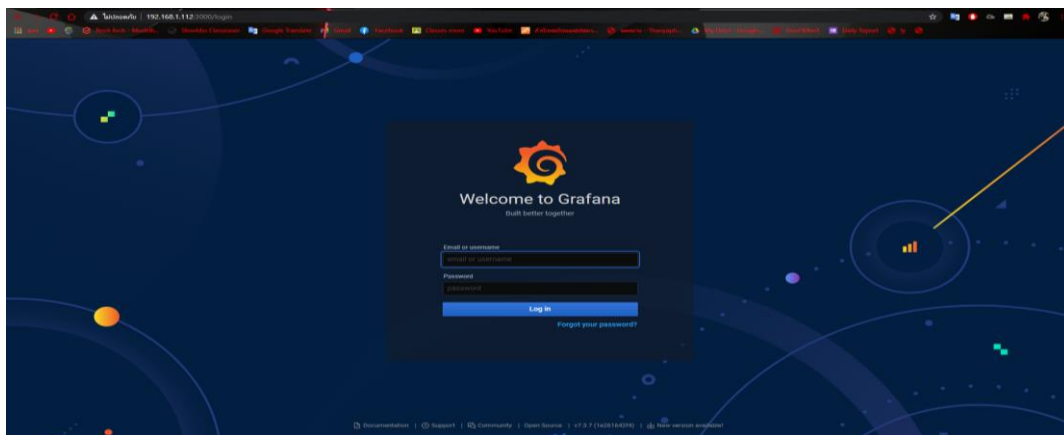
ในการดึงข้อมูลจาก นั้นมีความสะดวกและง่ายเนื่องจาก Grafana และ Database InfluxDB ได้ติดตั้งไว้ในอุปกรณ์เดียวกัน โดยมีวิธีการดังนี้

1. การเข้าใช้งาน Grafana ปฏิบัติเช่นเดียวกับการเข้าใช้งาน Node-RED โดยไปที่ Web Browser และใส่ IP Address ของ Raspberry Pi 3+ ที่ต่อกับ Wifi ที่กำหนดไว้ โดยใช้พอร์ต 3000 เช่น <http://192.168.1.112:3000> จะขึ้นหน้าต่างดังรูป 3.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

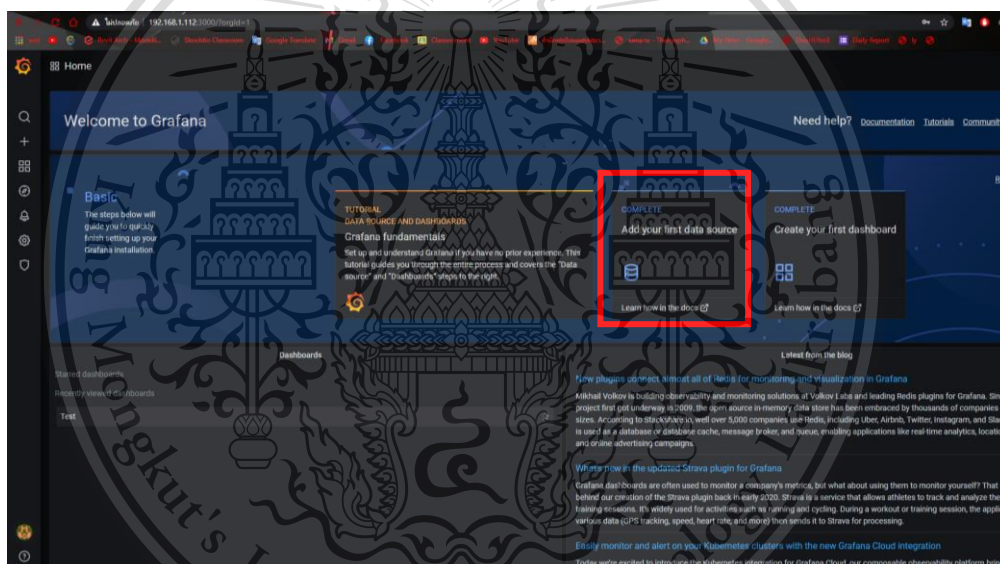
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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



รูปที่ 3.31 หน้าต่างเข้าใช้งาน Grafana

- เมื่อ Log in ด้วย Username และ Password ที่ได้ตั้งไว้ตอนติดตั้งโปรแกรมแล้ว จะเข้ามาในหน้าตาหลักและคลิกไปที่ Add your first data source ดังรูปที่ 3.32 เพื่อกำหนดแหล่ง Database ที่ต้องการ

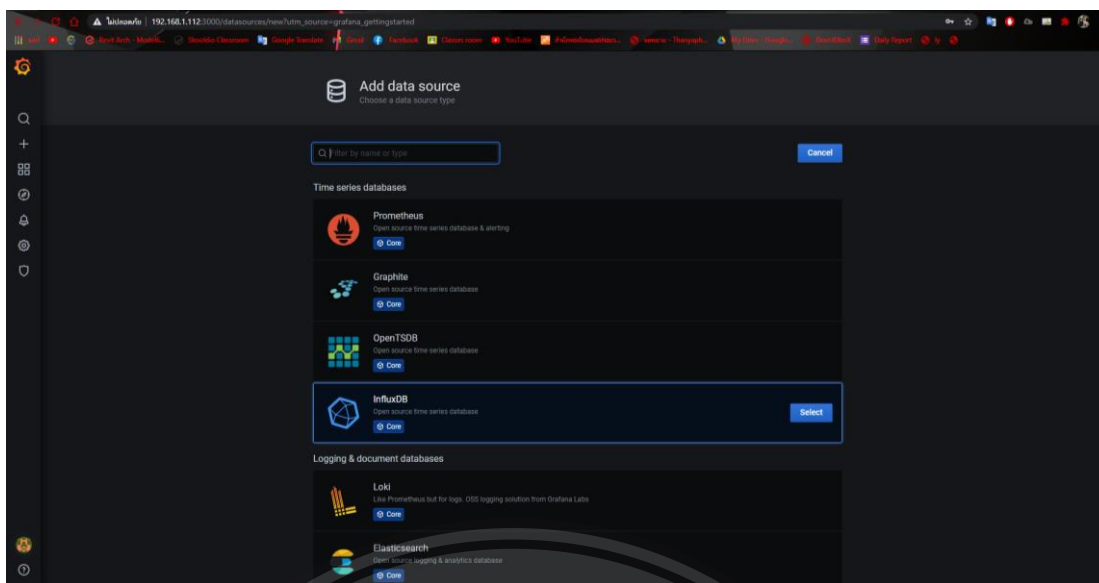


รูปที่ 3.32 การกำหนดแหล่ง Database

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

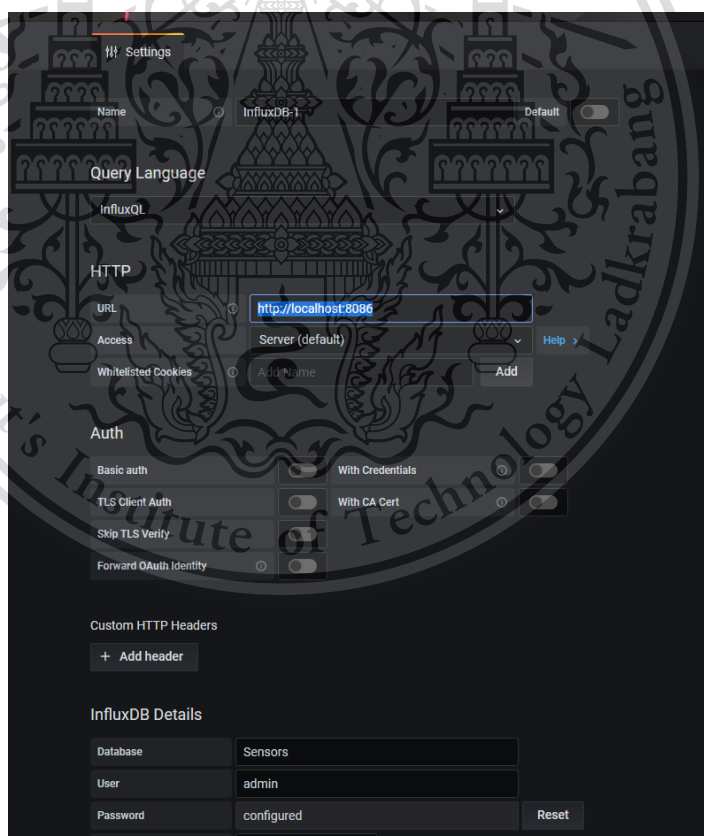
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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



รูปที่ 3.33 เลือกแหล่ง Database เป็น InfluxDB

- ตั้งค่า Data source โดยกรอก HTTP Url, Database, User, และ Password ดังรูป 3.34 จากนั้นกด Save & Test



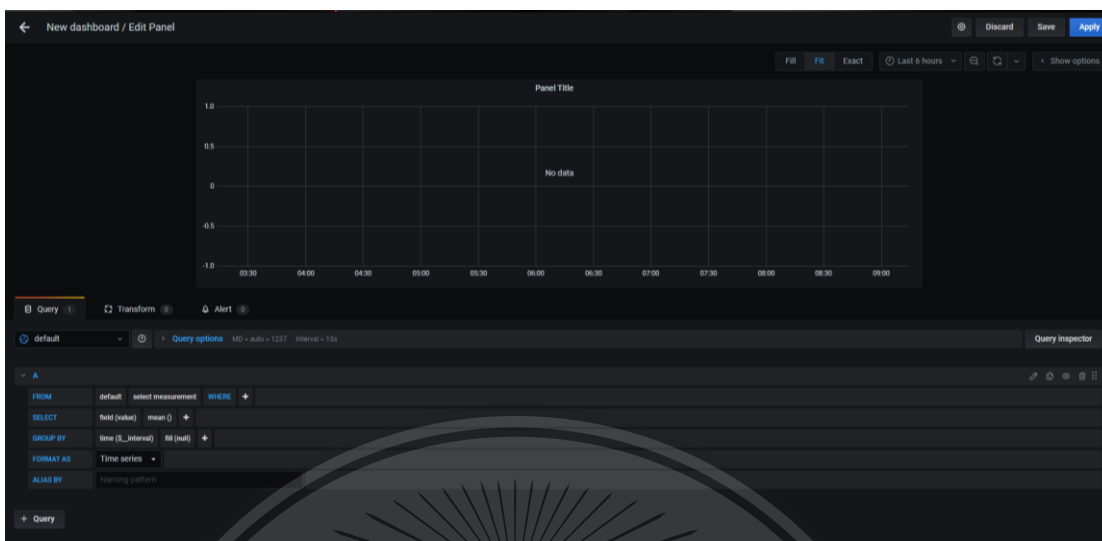
รูปที่ 3.34 การตั้งค่า Data Source

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

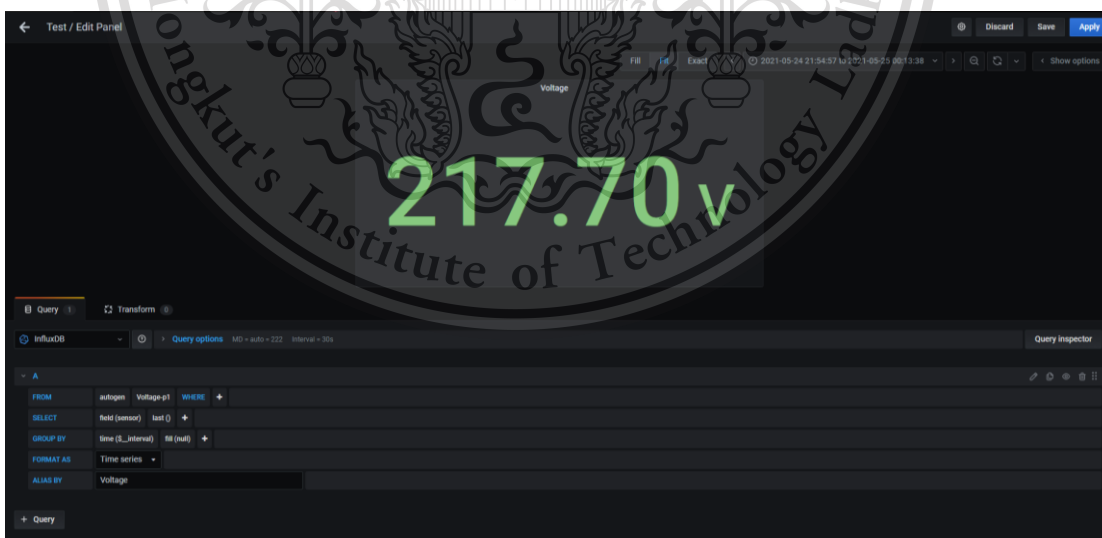
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- เข้าไปที่ Dashboard ที่แทบซ้ายแล้วกด New Dashboard ให้กด Add new panel เพื่อสร้าง panel ที่ต้องการแสดงข้อมูลแต่ละค่า



รูปที่ 3.35 หน้าต่างการตั้งค่า Panel

- ในส่วนด้านล่างของรูป 3.35 จะเห็นคำว่า select measurement ให้เลือกซึ่งจะมีให้เลือกตามชื่อที่ได้ตั้งไว้ในแต่ละค่า ดังรูปที่ 3.30 และเปลี่ยนจาก default กับ field(value) เป็น autogen กับ field Sensors ตามลำดับ จากนั้นสามารถปรับแต่งการแสดงผลของค่าใน panel ได้ตามสะดวก



รูปที่ 3.36 การปรับแต่ง panel เพื่อใช้ในการแสดงค่าแรงดันที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบการวัดของเซนเซอร์ PZEM004t ใน Serial monitor

ผลจากการทดลองวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากวงจรรูปที่ 3.2 เพื่อตรวจสอบการทำงานของเซนเซอร์โดยใช้โหลดเป็นหลอดไส้ขนาด 50 W ในการวัด



รูปที่ 4.1 การแสดงผลใน Serial Monitor

จากรูปจะเห็นได้ว่าการแสดงค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากเซนเซอร์โดยเปิดไฟทิ้งไว้ 1 ชม. และนำค่ามาเฉลี่ยเพื่อนำไปเปรียบเทียบ

ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จากการวัดด้วยเซนเซอร์กับ มัลติมิเตอร์

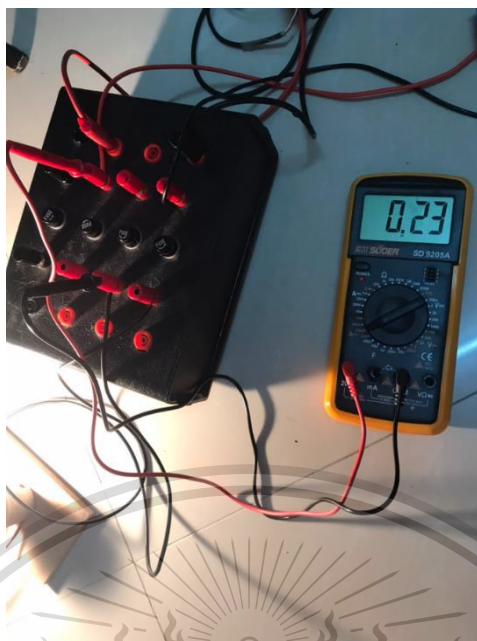
Parameters\Measurements	PZEM004t	SD 9205A
Voltage (V)	218.10	216
Current (A)	0.22	0.23
Power (W)	47.90	-
Energy (kWh)	0.130	-
Power Factor	0.99	-
Frequency (Hz)	49.9	50

จากตารางที่ 4.1 จะมีค่าพารามิเตอร์แรงดันไฟฟ้า(V) กระแสไฟฟ้า(A) กำลังไฟฟ้า(W) พลังงานไฟฟ้า(kWh) ค่าตัวประกอบกำลัง ความถี่(Hz) โดยเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดด้วยเซนเซอร์ PZEM004t กับ มัลติมิเตอร์ SD-9205A โดยมัลติมิเตอร์มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของแรงดันไฟฟ้า $\pm 1.2\%$ กระแสไฟฟ้า $\pm 2\%$ ความถี่ $\pm 1.5\%$ จาก Datasheet ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

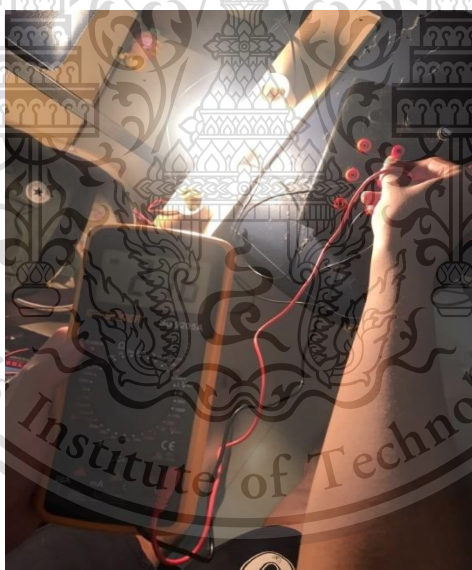
เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้วัดจากเซนเซอร์กับมัลติมิเตอร์จะมีค่าความผิดพลาดของแรงดันไฟฟ้า $\pm 0.9722\%$ กระแสไฟฟ้า $\pm 4.3478\%$ ความถี่ ± 0.200 ตามลำดับ

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

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



รูปที่ 4.1.1 ตัวอย่างการวัดแรงดันด้วยมัลติมิเตอร์ SD 9205A



รูปที่ 4.1.2 ตัวอย่างการวัดกระแสด้วยมัลติมิเตอร์ SD 9205A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

4.2 ผลเปรียบเทียบระหว่าง PZEM004t กับ SD 9205A วัดหลอดไส้ 50 W

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการวัดพารามิเตอร์โดยเปิดไฟไว้ 12 ชั่วโมง เทียบระหว่าง PZEM004t กับ SD 9205A

Devices Times(hr)	PZEM004t						METER					
	V (v)	I (A)	P (W)	p.f.	f (Hz)	E (kWh)	V (v)	I (A)	P (W)	p.f.	f (Hz)	E (kWh)
1	219.2	0.23	49.4	0.98	50	0.135	219.3	0.23	-	-	49.9	-
2	218.3	0.22	47.5	0.99	49.9	0.266	218.2	0.22	-	-	49.9	-
3	218.4	0.21	46.4	0.97	49.7	0.381	218.3	0.22	-	-	50	-
4	219.1	0.23	49.3	0.98	49.9	0.532	219.3	0.22	-	-	49.8	-
5	218.2	0.22	47.6	0.99	50	0.645	218.5	0.23	-	-	49.9	-
6	219.8	0.23	48.1	0.99	49.9	0.786	220.1	0.22	-	-	49.9	-
7	220.1	0.23	49	0.99	49.99	0.924	219.5	0.22	-	-	49.9	-
8	218.4	0.22	47.2	0.98	49.9	1.024	219	0.21	-	-	50	-
9	218.8	0.22	47.1	0.98	49.9	1.152	218.5	0.21	-	-	50	-
10	219.5	0.23	49	0.99	50	1.310	219.3	0.22	-	-	50.1	-
11	218.9	0.22	48	0.99	49.9	1.430	218.7	0.22	-	-	49.9	-
12	219.2	0.23	48.4	0.99	49.9	1.584	220.4	0.21	-	-	50	-

จากตารางที่ 4.2 พบว่าหลังจากเก็บค่าพารามิเตอร์ แรงดันไฟฟ้า(V) กระแสไฟฟ้า(A) กำลังไฟฟ้า(W) พลังงานไฟฟ้า(kWh) ค่าตัวประกอบกำลัง และความถี่(Hz) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากเซนเซอร์ PZEM004t กับ มัลติมิเตอร์ SD-9205A จะทราบว่าค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ PZEM004t วัดได้ มีค่าอยู่ในช่วงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของ มัลติมิเตอร์ SD-9205A ซึ่งทางคณะผู้จัดทำได้ใช้เป็นค่าอ้างอิง จึงสามารถยอมรับได้ โดยค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของมัลติมิเตอร์ SD-9205A ได้ถูกกล่าวไว้แล้วที่ตารางที่ 4.1 ซึ่งอ้างอิงจาก Datasheet ของมัลติมิเตอร์ SD-9205A ที่ภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

4.4 ผลการจำลองและคำนวณหาค่า Total Harmonic Distortion ใน Arduino

ตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณหา %THD ใน Arduino และ MATLAB

รูปสัญญาณ	%THD(Arduino)	%THD(MATLAB)
Sine wave	0	0.0000
Triangle wave	57.62	57.0591
Square wave	25.77	25.5176

จากตารางที่ 4.3 เป็นการเปรียบเทียบค่า%THDจากการวัดในArduinoและMATLABโดยจะเห็นว่าในสัญญาณรูป Sine มีค่าเท่ากับสัญญาณรูปสามเหลี่ยมมีค่าความผิดพลาด $\pm 0.9830\%$ สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมมีค่าความผิดพลาด $\pm 0.9891\%$

4.4 ผลการทดสอบการแสดงผลของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ บน Dashboard ตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้

การทดสอบการแสดงผลของค่าพารามิเตอร์ตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้ ซึ่งประกอบไปด้วย

4.4.1 การทดสอบในส่วนการแสดงผลทั้งหมด



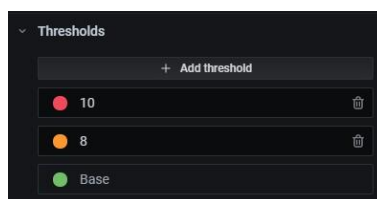
รูปที่ 4.2 ผลของค่าพารามิเตอร์ทั้งหมด

4.4.2 การทดสอบการเปลี่ยนสีของ Threshold

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้วางไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า
 ในการตั้ง Threshold นั้นจะตั้งใน panel ที่แสดงค่า Total Harmonic Distortion
 ไม่ว่าจะกรณีใดเท่านั้น โดยมี การตั้งค่าดังรูปที่ 4.3 หากค่า %THD มีค่าน้อยกว่า 8 จะเป็นสีเขียว หากมีค่ามากกว่า 8
 แต่ไม่น้อยกว่า 10 จะเป็นสีส้มและหากมีค่ามากกว่า 10 จะเป็นสีแดง

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

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



รูปที่ 4.3 กำหนดค่า Threshold ในส่วนการแสดงผล %THD



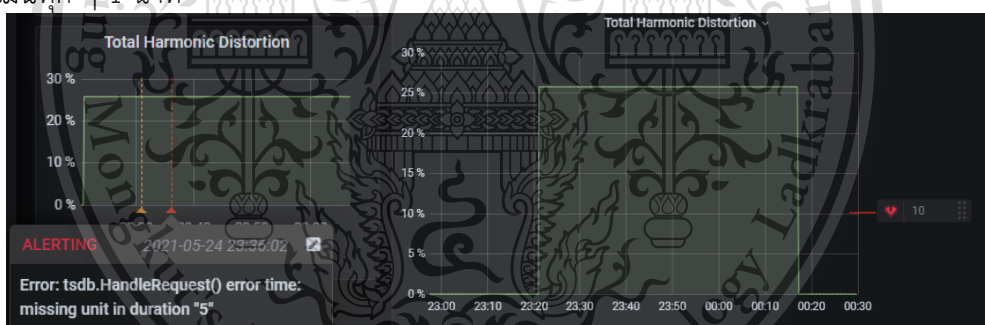
ก)

ข)

รูปที่ 4.4 ผลการทดลองโดยกำหนด Threshold
เมื่อ ก) ค่า %THD น้อยกว่า 8 ข) ค่า %THD มากกว่า 10

4.5 ผลการทดสอบการแจ้งเตือนผ่าน Line Notify

เมื่อค่า THD มีค่าเกินกว่าที่กำหนดไว้ จะมีการแจ้งเตือนผ่าน Line Notify โดยมีเงื่อนไขให้
ประเมินทุก ๆ 1 นาที

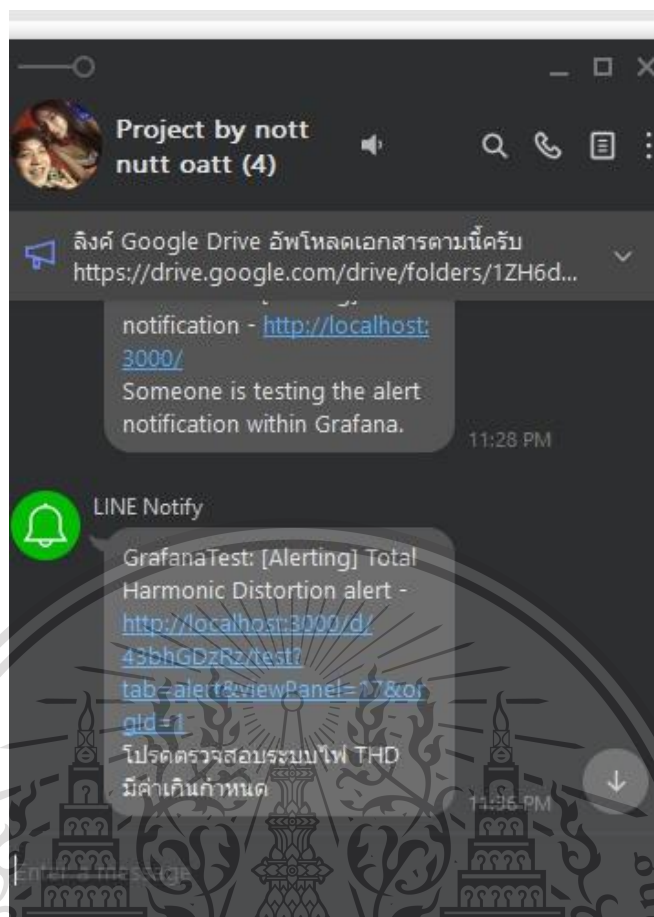


รูปที่ 4.5 ค่า %THD มีค่าเกินที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 4.6 การแจ้งเตือนให้มีการตรวจสอบผ่าน Line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

อุปกรณ์มาตรวัดไฟฟ้า 3 เฟสอัจฉริยะ พร้อมระบบ IoT ได้ถูกออกแบบและสร้างขึ้นโดยมีความสามารถในการวัดปริมาณพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าได้ เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าต่อชั่วโมง ความถี่สัญญาณไฟฟ้า ตัวประกอบกำลัง และ เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดฮาร์โมนิกสร่วม โดยสามารถแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ขึ้นบน Grafana สามารถบันทึกข้อมูลและตรวจสอบข้อมูลย้อนหลังได้ การตรวจสอบคุณภาพทางไฟฟ้าและจัดสรรพลังงานได้สะดวกโดยผ่านระบบอินเทอร์เน็ต นอกจากนี้อุปกรณ์มาตรวัดยังสามารถใช้ตรวจสอบได้ผ่านทางระบบอินเทอร์เน็ตสามารถลดต้นทุนในการพัฒนา Smart Grid เพราะสามารถใช้ประโยชน์จากพื้นฐานที่มีอยู่แล้วเช่น สถานีฐานของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ครอบคลุมทั่วประเทศ ซึ่งเป็นผลดีต่อภาคเอกชนในการลดต้นทุน และเพื่อลดการเกิดผลกระทบเมื่อเกิดความผิดพลาดทางฮาร์โมนิกสร่วมเช่น พิวส์มีขนาดร้อนขึ้น รีเลย์ทำงานผิดพลาด ผลกระทบกับอุปกรณ์ไฟฟ้า(สายไฟฟ้า หม้อแปลง มอเตอร์ ฯลฯ) หรืออุปกรณ์มีความร้อนสูงขึ้น สำหรับการเกิดข้อผิดพลาดฮาร์โมนิกสร่วมในระดับแรงจะต้องมีการวิเคราะห์อย่างจริงจังข้อมูลที่ได้จากมาตรวัดไฟฟ้า 3 เฟสจะเป็นประโยชน์ในส่วนนี้ด้วย จากข้อมูลทั้งหมดอุปกรณ์มาตรวัดไฟฟ้า 3 เฟสอัจฉริยะพร้อมระบบIoT จะสามารถเป็นแนวทางการตรวจสอบคุณภาพไฟฟ้ารูปแบบใหม่ในระบบมาตรวัดไฟฟ้าในประเทศไทยได้

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

จากผลการทดลองในการศึกษานี้จะเห็นได้ว่ายังมีความคลาดเคลื่อนและความไม่แม่นยำของอุปกรณ์ที่ใช้วัด รวมถึงการออกแบบการทดลอง และด้วยสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19 ทำให้ไม่สามารถใช้อุปกรณ์ภายในห้องปฏิบัติการได้ จึงทำให้เป็นอุปสรรคแก่การศึกษาของผู้ศึกษา

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองไฟฟ้าชนิด 1 เฟสนี้ ทางคณะผู้จัดทำเห็นว่าสามารถนำไปต่อยอดใช้กับไฟฟ้าระบบ 3 เฟส 4 สาย หรือ 3 เฟสได้ เนื่องจากมีหลักการในการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ รวมถึงการคำนวณหาค่า %THD (Total Harmonic Distortion) เพื่อใช้ในการตรวจสอบหรือตรวจเช็คคุณภาพไฟฟ้าในแต่ละเฟสได้ ซึ่งเป็นการคิดคำนวณต่อเฟสเท่านั้น นอกจากนี้สามารถคำนวณหาค่า Unbalance ของไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส ได้อีกด้วยตามสมการของมาตรฐาน NEMA standard MG1-1998 เนื่องจากเราสามารถทราบค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟสได้ เราจึงสามารถคำนวณหาค่า Unbalance ได้ ซึ่งค่าที่เราสามารถหาจากไฟฟ้าระบบ 3 เฟส ได้นี้ จะทำให้มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบคุณภาพไฟฟ้าได้มากยิ่งขึ้น โดยค่าพวกนี้มีค่ามาตรฐานที่สามารถรองรับได้อยู่ ถ้าเกิดค่าเหล่านี้เกินเกินค่ามาตรฐานก็อาจจะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านเกิดการเสียหายได้ และในกรณีที่เลวร้ายที่สุดหลังจากการตรวจพบค่าพวกนี้เกินค่ามาตรฐานมากๆ อาจจะบอกได้ว่าเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมใจ บุญศิริ, อินเทอร์เน็ตนานาชาติสาระแห่งการบริการ, กรุงเทพฯ: สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, 2538.
- [2] ITU (International Telecommunication Union), INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION REGULATIONS, GENEVA, 1989, ISBN 92-61-03921-9.
- [3] พิณีจ กำนอม, ENE, KMUTT, “DFT และ FFT,” วารสารวิชาการอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม, หน้า 1-33.
- [4] Paul Heckbert, “Fourier Transforms and the Fast Fourier Transform (FFT) Algorithm,” *Computer Graphics* 2, Feb. 1995, pp. 15-463.
- [5] E. Oran Brigham, THE FAST FOURIER TRANSFORM AND ITS APPLICATIONS, AvanteK, Inc., 1988
- [6] IoT Smart Meter, มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ นวัตกรรมที่พัฒนาโดย มจพ. และเอไอเอส. [ระบบออนไลน์] สืบค้นเมื่อ 12 ธันวาคม 2563, จาก <https://www.salika.co/2019/05/25/iot-smart-meter-innovation-by-ais-kmutnb/>
- [7] Node MCU (ESP8266), รู้จักกับ Arduino ESP8266 (Node MCU). [ระบบออนไลน์] สืบค้นเมื่อ 13 ธันวาคม 2563, จาก <http://www.ayarafun.com/2015/08/introduction-arduino-esp8266-nodemcu/>
- [8] PZEM004t, PZEM-004T AC Digital Power Energy Meter Module. [ระบบออนไลน์] สืบค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2563, จาก <https://www.arduitronics.com/product/2047/pzem-004t-v3-0-ac-digital-power-energy-meter-module>
- [9] PZEM004t, PZEM-004T V3.0 User Manual. [ระบบออนไลน์] สืบค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2563, จาก <https://innovatorsguru.com/wp-content/uploads/2019/06/PZEM-004T-V3.0-Datasheet-User-Manual.pdf>
- [10] Grafana, วิธีการติดตั้ง Telegraf, InfluxDB และ Grafana (Tig Stack) บน Ubuntu Linux. [ระบบออนไลน์] สืบค้นเมื่อ 20 ธันวาคม 2563, จาก <https://th.admininfo.info/c-mo-instalar-telegraf>
- [11] THD (Total Harmonic Distortion), ทำความรู้จักกับ THD (Total Harmonic Distortion). [ระบบออนไลน์] สืบค้นเมื่อ 10 ธันวาคม 2563, จาก <http://analog60.blogspot.com/2015/07/thd-total-harmonic-distortion.html>
- [13] ความรู้เกี่ยวกับมิเตอร์, ความรู้เกี่ยวกับมิเตอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า. [ระบบออนไลน์] สืบค้นเมื่อ 18 ธันวาคม 2563, จาก http://dric.nrct.go.th/direct_download.php?bibid=308521&doc_id=773990&name_dw=Chap_2.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

- [14] InfluxDB, **ติดตั้งและใช้งาน InfluxDB เบื้องต้น**. [ระบบออนไลน์] สืบค้นเมื่อ 20 ธันวาคม 2563, จาก <https://thaiopensource.org/%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%94%E0%B8%95%E0%B8%B1%E0%B9%89%E0%B8%87%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B9%83%E0%B8%8A%E0%B9%89%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99-influxdb-%E0%B9%80%E0%B8%9A%E0%B8%B7%E0%B9%89%E0%B8%AD/#:~:text=InfluxDB%20%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%20time%20series%2C%20metrics,S%20API%2C%20%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%96%E0%B9%80%E0%B8%81%E0%B9%87%E0%B8%9A%20data>
- [15] Raspberry Pi3 B+, **ทำความรู้จัก Raspberry Pi**. [ระบบออนไลน์] สืบค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2563, จาก <http://www2.crma.ac.th/itd/Know/RBPI/index.asp>
- [16] Raspberry Pi3 B+, **Raspberry Pi คืออะไร**. [ระบบออนไลน์] สืบค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2563, จาก <https://poundxi.com/raspberry-pi-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3/>
- [17] Node-RED คืออะไร [ระบบออนไลน์] สืบค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2563, จาก <https://supotsaeaa.wordpress.com/2015/08/28/node-red-คืออะไร/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

การวิเคราะห์ฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต Harmonic Analysis in Electrical Power System Using 8 Bits Microcontroller

คมสัน ภูมาลี*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอ การวิเคราะห์ฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ปัจจุบันมีอุปกรณ์ไฟฟ้าจำนวนมากเป็นแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิก การมีฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าทำให้เกิดผลเสียต่อระบบไฟฟ้ามากมาย ดังนั้นในหลายประเทศจึงได้กำหนดมาตรฐานฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า เหตุนี้การวัดและวิเคราะห์ฮาร์มอนิกจึงมีความจำเป็น แต่เครื่องวัดและวิเคราะห์ฮาร์มอนิกเป็นเครื่องวัด ที่มีการคำนวณยุ่งยากและซับซ้อน ทำให้เครื่องวัดดังกล่าวมีราคาแพงและนำเข้าจากต่างประเทศ งานวิจัยนี้เสนอ เครื่องวัดฮาร์มอนิกโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต เนื่องจากเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่มีใช้งานแพร่หลาย มีราคาถูกและมีการพัฒนามาก จนสามารถใช้กับงานคำนวณที่ซับซ้อน เช่นการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกได้ สำหรับการทดสอบเครื่องวัดที่จัดทำขึ้น ได้ทดสอบโดยทำการวัดเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมาตรฐานต่างประเทศ ที่มีชื่อคือ YOKOGAWA WT 110 ผลทดสอบแสดงให้เห็นว่า เครื่องวัดและวิเคราะห์ฮาร์มอนิกที่จัดทำขึ้น ผลการวัดใกล้เคียงกับเครื่องวัดต่างประเทศ โดยพบค่าความผิดพลาดสูงสุดที่ 4.35%

Abstract

This research presents the analysis of harmonic in the power system by using 8 bits microcontroller. Currently there are millions of Electrical devices available and connected in the power system. These electrical devices are a source of harmonic. The harmonic causes a lot of issues in the Electrical Power System. Many countries have defined the standard harmonic in the Electrical Power System. This drives

the necessity of the harmonic analysis. The difficulty and complexity of harmonic measurement and analysis drive the cost of this measuring equipment imported from overseas. This research presents the Harmonic Measuring equipment that uses 8 bits microcontroller. This microcontroller is widely used, cost effective and well developed to be able to handle the complexity calculation like Harmonic Analysis. The testing of this measuring equipment is performed by comparing the reading from the equipments made from this research project against the yokogawa wt110 that is the Harmonic Measuring equipment commercially available in the market that has been imported from overseas. The result shows satisfactory result with maximum 4.35% different between 2 equipments being tested.

1. บทนำ

การวัดฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลัง เป็นการวัดฮาร์มอนิกของแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้า สัญญาณฮาร์มอนิกมีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่มูลฐาน (ความถี่มูลฐานในระบบไฟฟ้ามีค่า 50 Hz) การมีฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าทำให้เกิดปัญหากับระบบไฟฟ้า [1] และทำให้คุณภาพของระบบไฟฟ้าต่ำลง [2] ดังนั้นในหลายประเทศจึงได้กำหนดมาตรฐานของฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าขึ้น [3] สำหรับประเทศไทยผู้รับผิดชอบได้แก่การไฟฟ้าฝ่ายผลิต การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และ การไฟฟ้านครหลวง ได้ร่วมกันกำหนดมาตรฐานฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าเช่นกัน [4] ดังนั้นการวัดฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าจึงมีความจำเป็น ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบระบบไฟฟ้าว่ามีฮาร์มอนิกเกินกว่ามาตรฐานหรือไม่ ถ้ามีฮาร์มอนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
* อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only,³² not allowed for commercial use.

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

หลักการกำหนดมาตรฐานฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลัง
Principle to determine harmonics standard in power system

ทรงยศ บุญปั้น และ รศ.ดร.เกียรติยuth กวีญาณ¹

Songyot Boonpan and Assoc. Prof. Dr. Kiatiyuth Kveeyarn

บทคัดย่อ

มาตรฐานฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลัง ถูกกำหนดขึ้นโดยแต่ละประเทศซึ่งแตกต่างกัน งานวิจัยนี้เสนอวิธีและหลักการกำหนดมาตรฐานฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งพบว่าขึ้นอยู่กับโครงสร้างของระบบ ระดับแรงดันและโหลดไม่เชิงเส้นที่สร้างฮาร์มอนิก เมื่อนำวิธีและหลักการที่ได้มาคำนวณเปรียบเทียบกับมาตรฐานของแต่ละประเทศ พบว่าใกล้เคียงและสามารถยอมรับได้

ABSTRACT

Harmonics standard in power system of each country is different. This research presents the method and principle to determine harmonics standard in power system. It is found that it depends on the structure of system, voltage level and nonlinear load which is harmonic source. After calculation and comparison with the standard of each country, the results are appropriate and acceptable.

Key Word: Harmonic, Harmonics standard, Structure of power system, Voltage level.

E-mail address: t_8060@yahoo.com

คำนำ

ปัจจุบันปัญหาเรื่องของคุณภาพกำลังไฟฟ้าเป็นที่สนใจอย่างมากในกลุ่มวิศวกรไฟฟ้ากำลัง เช่น แรงดันตก แรงดันเกิน แรงดันกระเพื่อมและฮาร์มอนิก เป็นต้น ฮาร์มอนิกเป็นส่วนหนึ่งของคุณภาพไฟฟ้า มีหลายประเทศได้ให้ความสนใจและศึกษารวมทั้งได้กำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับการจำกัดระดับฮาร์มอนิกให้มีระดับที่ยอมรับได้ในระบบไฟฟ้า จากการศึกษาพบว่ามาตรฐานของแต่ละประเทศที่กำหนดขึ้นมีค่าต่างกันซึ่งอาจเป็นเพราะมีข้อจำกัดในการกำหนดมาตรฐาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาที่มาของมาตรฐานฮาร์มอนิกของแต่ละประเทศ

¹ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ 10900

Department of Electrical Engineering Kasetsart University, 50 Phaholyothin Rd., Ladyao, Jatujak, Bangkok, Thailand, 10900.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

On the Definition of Total Harmonic Distortion and Its Effect on Measurement Interpretation

Doron Shmilovitz

Abstract—The existence of two different definitions for total harmonic distortion (one in comparison to the fundamental and one in comparison to the signal's root mean square) might cause ambiguity and misinterpretation of measured data. The difference between those definitions is stressed out in this letter. It is suggested that total harmonic distortion measurements in the context of power systems should always adopt the first definition and never the second.

Index Terms—Harmonic distortion, nonlinear load, nonsinusoidal waveforms, power measurements, power meters.

I. INTRODUCTION

TOTAL harmonic distortion (THD) is an important figure of merit used to quantify the level of harmonics in voltage or current waveforms. Two different definitions for THD may be found in the literature. According to one definition, the harmonic content of a waveform is compared to its fundamental [1], [2]. By the second definition, the harmonic content of a waveform is compared to the waveform's rms value [3]. In order to distinguish between the two, the former is occasionally denoted by THD_F and the second by THD_R . For instance, current THDs are defined as

$$\text{THD}_F = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1}; \quad \text{THD}_R = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2}} \quad (1)$$

where I_n are either the rms values or the amplitudes of the harmonics. At low values of THD, there is not much difference between the two. However, the two definitions may cause ambiguity, confusion, and misinterpretation when measuring waveforms of high harmonic content.

The relation and difference between the two definitions of THD are stressed in this letter. Usage of THD_F rather than THD_R is advocated.

II. RELATION BETWEEN THD_F AND THD_R

Actually there is a consensus as to the basic definition of THD in the context of power measurements, by which it is defined with respect to the fundamental [1], [2], [4].

It seems that the second definition THD_R was inherited from the area of audio amplifiers, where the THD serves as a measure of the systems linearity and its numerical value is always much less than 1 (it practically ranges from 0.1–0.3% in Hi-Fi systems up to a few percent in conventional audio systems). Thus,

Manuscript received August 4, 2003; revised December 11, 2003. This work was supported in part by the Israeli Ministry of National Infrastructure and Energy under Grant 551-171. Paper no. PELS-00101-2003.

The author is with the Faculty of Engineering, Tel Aviv University, Tel Aviv 69978, Israel (e-mail: shmilov@eng.tau.ac.il).

Digital Object Identifier 10.1109/TPWRD.2004.839744

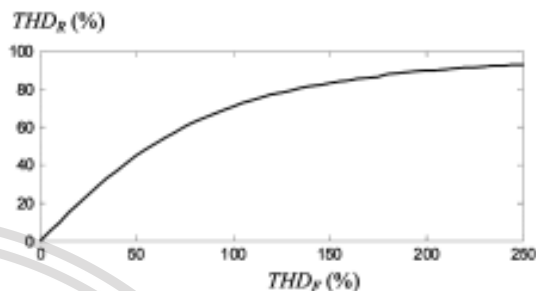


Fig. 1. Total harmonic distortion in percent of the signals rms versus its basic definition (in percentage of the fundamental) yields (4).

for this range of THD values, the error caused by mixing up the two definitions of THD was acceptable. For instance, if the actual THD (THD_F) is 10%, THD_R will have the value of 9.95% (less than a 0.5% difference). Moreover, with the older type, analog distortion analyzers incorporated for amplifier testing, it is easier to measure THD_R ; the nominator in (1) is obtained by filtering out the fundamental with a notch filter, and the denominator is simply the signal's rms value. These two quantities are related by (2) and plotted in Fig. 1

$$\text{THD}_R = \frac{\text{THD}_F}{\sqrt{1 + \text{THD}_F^2}} \quad (2)$$

Evidently, at high values of THD, the difference becomes essential. THD_R cannot exceed 100% whereas THD_F may reach higher values when the spectral energy of the harmonics exceeds that of the fundamental (mathematically, it may reach infinity if a waveform contains no fundamental).

III. INTERPRETATION AND ACCURACY ISSUES

High current THDs are quite common in electronic loads [5], [6]. For instance, values of 140–170% are typical for currents drawn by peak detection rectifiers (Fig. 2). Fig. 1 shows that at high THDs, large variations in THD_F manifest in very little variation in THD_R , and vice versa, small differences of THD_R are, in fact, large differences in the THD (THD_F) content. This can be quantified by the sensitivity of the THD with respect to variations in THD_R , defined by

$$S_{\text{THD}_F}^{\text{THD}_R} = \frac{\partial \text{THD}_F}{\partial \text{THD}_R} \cdot \left(\frac{\text{THD}_R}{\text{THD}_F} \right) \quad (3)$$

$$S_{\text{THD}_R}^{\text{THD}_F} = \frac{\sqrt{1 + \text{THD}_F^2}}{\sqrt{1 + \text{THD}_F^2} - \text{THD}_F} \quad (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

SD 9205A

1. INTRODUCTION

This DT92 Advanced Series Digital Multimeter is a compact precision, battery operated, LCD display 3-½ or 4-½ digits Digital Instrument.

Superiority:

- ✓ High accuracy
- ✓ Large rotational folded LCD display, button release lock
- ✓ Digital height 25mm
- ✓ Single 32 position rotary switch for FUNCTION and RANGE selection, allows fast and convenient operation.
- ✓ Curvilinear mode soft case.
- ✓ Colored indication jack with fully protection test leads.
- ✓ Lower overage power Auto-Power Off
- ✓ Data hold for easy reading

2. GENERAL SPECIFICATION

- 1) Display: 3-½ digits LCD with a maximum reading of 1999. (Model DT9203A/DT9204A is 4-½ digit maximum reading of 19999.)
- 2) Measurement rate: updates 2-3/sec.
- 3) Over range indication: "1" figure only in the display
- 4) Automatic negative polarity indication.
- 5) The "BAT" is displayed when the battery voltage drops below the operating voltage.
- 6) Full range over load protection.
- 7) Capacitance measurement Auto-Zeroing.
- 8) Auto Power Off: It will be automatically cut off in about 15 minutes after the power is turned on. It needs to be turned off and turned on again to continue the power.
- 9) Operating temperature: 0°C-40°C, 0-75% R.H.
Storage temperature: -10°C-50°C, 0-75% R.H.
- 10) Power: Single standard 9V battery IEC 6F22/NEDA 1604, JIS 006P.
- 11) Dimensions: 191L*89W*35Hmm.
- 12) Weight: approx 310g (including battery)
- 13) Accessories: test leads (pair), spare fuse 0.5A piece in case (model DT9201A fuse 2A), K-type thermocouple wire (model DT9207A/DT9208A only), operator's manual.

3. ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Accuracy is given as ± (% of reading ± number of least significant digits) for one year, at 23°C±5°C RH<75%

- 1) DCV

Range	Accuracy						
	DT9201A	DT9202A	DT9203A	DT9204A	DT9205A	DT9206A	DT9207A/DT9208A
200mV	0.5%±1		0.1%±2				0.5%±1
2V		0.5%±2		0.1%±5			0.5%±2
20V							
200V							
1000V	0.8%±2		0.2%±5				0.8%±2

Input impedance: 10MΩ on all range

2) ACV

Range	Accuracy						
	DT9201A	DT9202A	DT9203A	DT9204A	DT9205A	DT9206A	DT9207A/DT9208A
200mV	1.2%±5	1.2%±5	—	—	1.2%±5	—	1.2%±5
2V							
20V				1.0%±5			1.0%±5
200V							
750V					1.2%±5		

Input impedance: 10MΩ

Frequency range: 40 ~ 400Hz

3) DCA

Range	Accuracy						
	DT9201A	DT9202A	DT9203A	DT9204A	DT9205A	DT9206A	DT9207A/DT9208A
200μA	2%±5	—	—	—	—	—	2%±5
2000μA							
20mA	1.0%±3	1.0%±3	1.0%±3	1.0%±3	1.0%±3	1.0%±3	1.0%±3
200mA	1.5%±5	1.5%±5	1.0%±5	1.0%±5	1.5%±5	1.5%±5	1.5%±5
2A							
10A					2.0%±10		

Measuring voltage drop: 200mV

4) ACA

Range	Accuracy						
	DT9201A	DT9202A	DT9203A	DT9204A	DT9205A	DT9206A	DT9207A/DT9208A
200μA	3%±7	—	—	—	—	—	—
2000μA	1.8%±3	—	—	—	—	—	—
20mA	1.2%±5	1.2%±5	1.2%±10	1.2%±10	1.2%±5	1.2%±5	1.2%±5
200mA	2.0%±5	2.0%±5	—	—	1.0%±5	2.0%±5	2.0%±5
2A							
10A					2.0%±10		

Measuring voltage drop: 200mV

Frequency range: 40 ~ 400Hz

5) CAPACITANCE

Range	Accuracy						
	DT9201A	DT9202A	DT9203A	DT9204A	DT9205A	DT9206A	DT9207A/DT9208A
2nF	—	—	—	—	—	—	—
20nF	—	4.0%±3	4.0%±3	4.0%±3	4.0%±3	4.0%±3	4.0%±3
200nF	—						
2μF	—						
200μF	—	4.0%±5	4.0%±5	4.0%±5	4.0%±5	4.0%±5	4.0%±5

6) OHM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

Range	Accuracy						
	DT9201A	DT9202A	DT9203	DT9204A	DT9205A	DT9206A	DT9207A	DT9208A
200Ω	1.0%±10						
2KΩ	1.0%±3						
20KΩ	1.0%±5						
200KΩ	1.0%±5						
2MΩ	1.0%±5						
20MΩ	5%±20	5%±20	5%±20	5%±20	5%±20	5%±20	5%±20

7) TEMPERATURE (DT9207A & DT9208A only)

Range	Accuracy	
	DT9207A	DT9208A
-40°C ~ 400°C	0.75%±3	0.75%±3
400°C ~ 1000°C	1.5%±15	1.5%±15

With K-type thermocouple wire

8) FREQUENCY TEST

Range	Accuracy							
	DT9201A	DT9202A	DT9203A	DT9204A	DT9205A	DT9206A	DT9207A	DT9208A
2KHz	—	—	—	—	—	—	—	—
20KHz	—	—	1.5%±10	1.5%±10	—	1.5%±10	—	1.5%±10

Sensitivity: 100mV rms

4. PRECAUTIONS AND PREPARATIONS FOR MEASUREMENT

- 1) Be sure that battery is correctly placed in the battery case and connected to the battery snap.
- 2) Don't exceed the input limit shown below:

Function Range	Input terminals	Maximum input
DCV 200mV	V/OHM COM	250VDC
ACV 200mV		250VAC
DCV 2~1000V		1000VDC
ACV 2~750V		750VAC
OHM	V/OHM COM	250V DC/AC
Freq	V/OHM/Hz COM	
Logic	V/OHM COM	
Diode	V/OHM COM	
DCA 200mA	A COM	200mA DC/AC
ACA 200mA		
DCA 2A		2A DC/AC
ACA 2A		
DCA 20A	20A COM	20A DC/AC

- 3) Inspect the test leads for damaged insulation or exposed metal. Check Test lead continuity. Damaged leads should be replaced.
- 4) Select the proper function and range for your measurement.
- 5) Check the input terminal position for red test lead depends on measurement ranges.

- a) When only the figure "1" is displayed, over range is being indicated and the function range switch has to be set to a higher range.
- b) Excessive current will be below the fuse that must be replaced when the input is from "A" terminal. Fuse type is 0.5A (model DT9201A use 2A).
- c) The 20A range is not protected by a fuse, maximum 10A continuous, maximum 20A measuring time must be less than 15 seconds.

5.3 RESISTANCE MEASUREMENT

- 1) Connect black test lead to "COM" terminal and red test lead to the "V/OHM" input terminal.
- 2) Set the function range switch to the OHM range.
- 3) Connect the test leads across the resistance under measurement and read the display value.

Note:

- a) The polarity of the red test lead is "+".
- b) When the input is not connected, i.e. at open circuit the figure "1" will be displayed for the over range condition.
- c) If the resistance value being measured exceeds the maximum value of the range selected, an over range indication "1" will be displayed and function range switch must be set to a higher range.
- d) 200MΩ range has a 10 digits (1MΩ) constant, the figure will appear in short circuit status it should be subtracted from measurement result, for instance: when measuring 100MΩ resistor, figure 101.0 will shown in display and the last 10 digits should be subtracted.

5.4 CAPACITANCE MEASUREMENT

- 1) Set the function range switch at the "Cx" position. Before connecting the capacitor, the display that could be zeroed automatically slows.
- 2) Connect the test capacitor to the "Cx" input socket (not test leads) and read the display value.

Note: The tested capacitor should be discharged before the testing procedure. Never apply voltage to the "Cx" input socket, or serious damage may result.

5.5 FREQUENCY MEASUREMENT

- 1) Set the function range switch at the required "Hz" position.

- 6) Either one of the test leads should be taken off from the circuit under test when changing the test ranges.
- 7) To avoid electrical shock or damage to the meter; Do not apply more than 500V between any terminal and earth ground.
- 8) To avoid electronic shock, use caution when working above 60VDC or 25VAC rms, such voltage pose a shock hazard.
- 9) When finished the measurement, switch off the power. Be sure to remove the battery when it is not used for a long time to avoid leakage problem.
- 10) Do not tamper with the circuitry to avoid damage.
- 11) Do not use or store the instrument in a place of direct sunlight, high temperature and high humidity.

5. METHOD OF MEASUREMENT

5.1 DCV & ACV MASUREMENT

- 1) Set the Function range switch at the required position.
- 2) Connect black test lead to "COM" terminal and red test lead to the "V/OHM" input terminal.
- 3) Connect test leads to measuring point and read the display value the polarity of the red lead connection will be indicated at the same time as the voltage.

Note:

- a) If the voltage to be tested is unknown beforehand, set the Function range switch to the highest range and work down.
- b) When only the figure "1" is displayed over range is being indicated and the function range switch has to be set to a higher range.
- c) Never try to measure the voltage above 1000V! Although the indication is possible to show, there is danger of damaging the internal circuitry.

5.2 DCA & ACA MEASUREMENT

- 1) Connect the black test lead to the "COM" terminal and the red test lead to "A" terminal for a maximum of 0.5A (model DT9201A maximum 2A)
- 2) Set the function range switch at the required position.
- 3) Connect test leads to measuring points and read the display value. The polarity at the red test lead connection will be indicated at the same time as the current.

Note:

- a) If the current range is unknown beforehand, set the function range switch to the highest range and work down.

- 2) Connect test leads to measuring points and read the display value.

Note: Do not apply more than 250V rms to the input. Indication is possible a voltage higher than 100V rms, but reading maybe out of specification.

5.6 TEMPERATURE MEASUREMENT

- 1) Set the function range switch at the "TEMP" position.
- 2) Be sure the polarity of the thermocouple, put the cold end (free end) of the thermocouple sensor into the temperature testing holes.
- 3) The working end (testing end) on or inside the object being tested.
- 4) The value of the temperature is shown on the display in degrees centigrade (°C).

Note:

- a) The testing temperature is displayed automatically when the thermocouple is put into the testing holes.
- b) The surrounding temperature is shown when the circuit of the sensor is cut off.
- c) The limit temperature measured by the thermocouple given together with the instrument is 250°C, 300°C is acceptable within short period.

5.7 DIODE & CONTINUITY TEST

- 1) Set the function range switch at the "hFE" position.
- 2) Connect the black test lead to "COM" terminal and red test lead to "V/OHM" input terminal. (Note: the polarity of the red test lead is "+").
- 3) This range with "AUDIBLE CONTINUITY TEST" function. Built-in buzzer sounds if the resistance between two probes is less than 30±10Ω.
- 4) Connect the test leads across the diode and read the display value.

Note:

- a) When the input is not connected, i.e. at open circuit, the figure "1" will be displayed.
- b) Test condition: Forward DC current approx.1mA. Reversed DC voltage approx. 2.8V.
- c) The meter displaye the forward voltage drop and displays figure "1" for overload when the diode is reversed.

5.8 TRANSISTOR hFE TEST

- 1) Set the function range switch to the "hFE" position.
- 2) Make sure the transistor is "NPN" or "PNP" type.
- 3) Transistor correct insert to E.B.C connector.
- 4) Display reading is approx. transistor hFE value.

Note:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

Test condition: Base current approx. 10 μ A. V_{ce} approx. 2.8V

5.9 LOGIC TEST (DT9208A only)

- 1) Set the function range switch at "LOGIC" position.
- 2) Connect black test lead to "COM" terminal and red test lead to the "V/OHM/Hz" input terminal.
- 3) Check the logic circuit voltage, only 5V logic level circuit can be tested.
- 4) Connect the black test probe to the logic circuit negative power supply point. Connect the red test lead probe to the logic circuit test point.
- 5) Testing Level > 2.4V, logic high 1 level the figure "▲" will be displayed. Test level < 0.7V, logic low 0 level the figure "▼" will be displayed and buzzer sounds.

When the testing level is not connected the figure "▲" will be displayed.

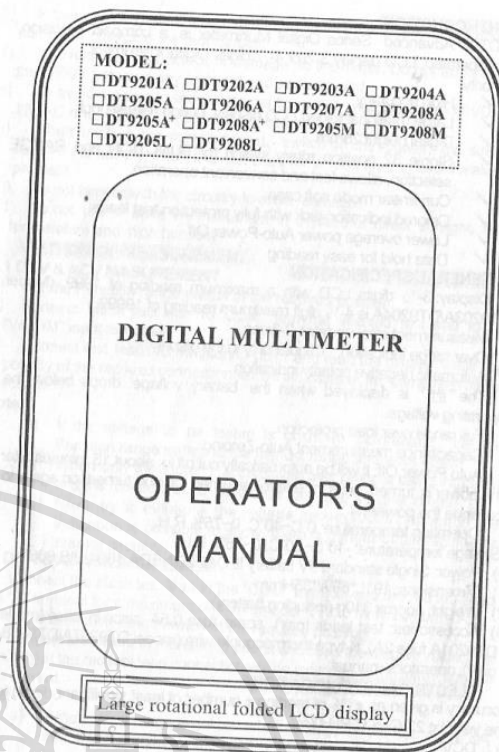
Note: When the function range switch at "LOGIC" position, the figure "1" is displayed, without over range inclusion and descript the internal circuitry is connected.

6. LCD DISPLAY PANEL ANGLE SELECTION

LCD display panel is locked in lie down position in normal operating condition and storage, when the usage needs to change the display panel angle, push down the button which is above the top case, the display panel locking will be released. The display panel can be rotated to the best angle.

7. BATTERY AND FUSE REPLACEMENT

- 1) Battery and fuse replacement should only done after the test leads have been disconnected and power is off.
- 2) Loosen screws with suitable screwdriver and remove case bottom.
- 3) The meter is power by a single 9V battery (IEC 6F22, NEDA 1604, JIS 006P). Snap the battery connector leads to the terminals of a new battery and reinsert the battery into the case top. Dress the battery leads so that they will not be pinched between the case bottom and case top.
- 4) The meter is protected fast fuse 0.5A/250V (mode 1 DT9201A is protected fuse 2A/250V only), dimensions is Φ 5*20mm.
- 5) Replace the case bottom and reinstall the three screws. Never operate the meter unless the case bottom is fully closed.



PZEM004t

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

PZEM-004T V3.0 User Manual

Overview

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

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

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

1. Function description

1.1 Voltage

1.1.1 Measuring range: 80~260V

1.1.2 Resolution: 0.1V

1.1.3 Measurement accuracy: 0.5%

1.2 Current

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

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

1.2.3 Resolution: 0.001A

1.2.4 Measurement accuracy: 0.5%

1.3 Active power

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

1.3.2 Starting measure power: 0.4W

1.3.3 Resolution: 0.1W

1.3.4 Display format:

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

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

1.3.5 Measurement accuracy: 0.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

1.4 Power factor

1.4.1 Measuring range: 0.00~1.00

1.4.2 Resolution: 0.01

1.4.3 Measurement accuracy: 1%

1.5 Frequency

1.5.1 Measuring range: 45Hz~65Hz

1.5.2 Resolution: 0.1Hz

1.5.3 Measurement accuracy: 0.5%

1.6 Active energy

1.6.1 Measuring range: 0~9999.99kWh

1.6.2 Resolution: 1Wh

1.6.3 Measurement accuracy: 0.5%

1.6.4 Display format:

<10kWh, the display unit is Wh(1kWh=1000Wh), such as: 9999Wh

≥10kWh, the display unit is kWh, such as: 9999.99kWh

1.6.5 Reset energy: use software to reset.

1.7 Over power alarm

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

1.8 Communication interface

RS485 interface.

2 Communication protocol

2.1 Physical layer protocol

Physical layer use UART to RS485 communication interface

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

2.2 Application layer protocol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

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

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

2.3 Read the measurement result

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

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

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

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

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

Abnormal code analyzed as following (the same below)

- 0x01,Illegal function
- 0x02,Illegal address
- 0x03,Illegal data
- 0x04,Slave error

The register of the measurement results is arranged as the following table

Register address	Description	Resolution
0x0000	Voltage value	1LSB correspond to 0.1V
0x0001	Current value low 16 bits	1LSB correspond to 0.001A
0x0002	Current value high 16 bits	
0x0003	Power value low 16 bits	1LSB correspond to 0.1W
0x0004	Power value high 16 bits	
0x0005	Energy value low 16 bits	1LSB correspond to 1Wh
0x0006	Energy value high 16 bits	
0x0007	Frequency value	1LSB correspond to 0.1Hz
0x0008	Power factor value	1LSB correspond to 0.01
0x0009	Alarm status	0xFFFF is alarm, 0x0000 is not alarm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

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

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

The correct reply from the slave is as following:

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

The above data shows

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

2.4 Read and modify the slave parameters

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

The register is arranged as the following table

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

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

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

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

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

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

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

For example, the master sets the address of the slave

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

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

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

2.5 Reset energy

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

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

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

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

2.6 Calibration

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

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

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

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

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

2.7 CRC check

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

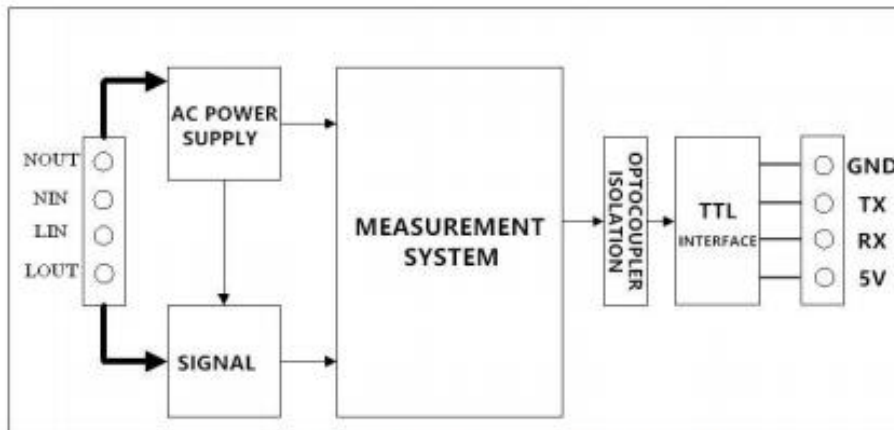
The value of the CRC check is a frame data divide all results of checking all the bytes except the CRC check value.

3 Functional block diagram

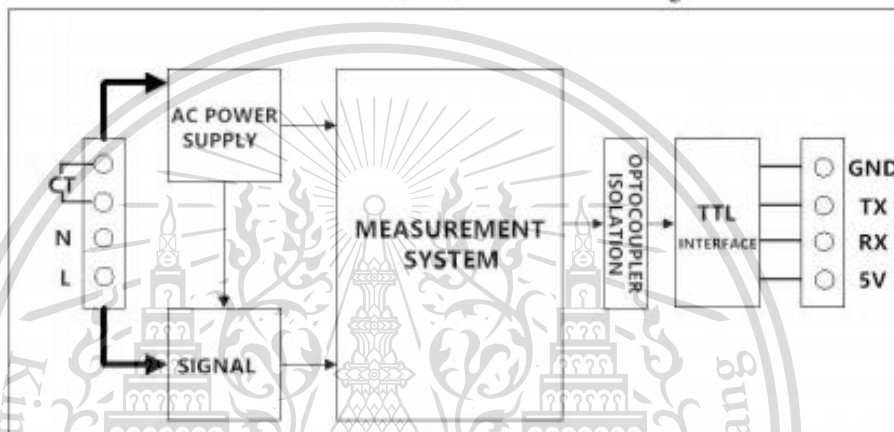
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



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



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

4 Wiring diagram
PZEM-004T-10A wiring diagram



Picture 4.1 PZEM-004T-10A wiring diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



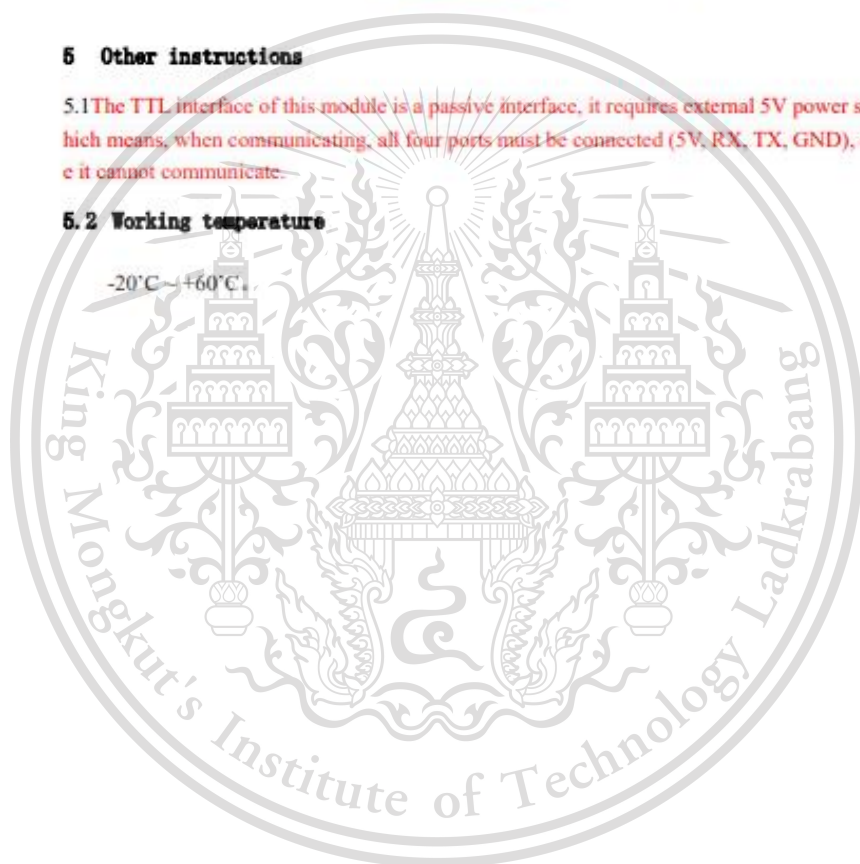
Picture 4.2 PZEM-004T-100A wiring diagram

5 Other instructions

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

5.2 Working temperature

-20°C ~ +60°C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

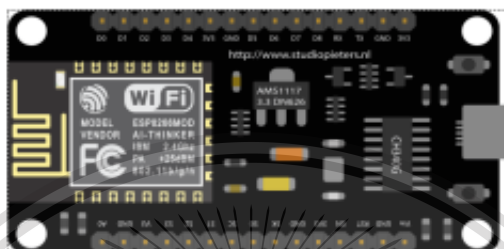
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

NodeMCU (ESP8266)

NodeMCU V3 For Fast IoT Application Development

Authors: Ali Al Dahoud and Mohamed Fezari
Faculty of IT, Al-Zaytoonah University Amman



The best way to develop quickly an IoT application with less Integrated circuits to add is to choose this circuit "NodeMCU". Today we will give a detailed Introduction on NodeMCU V3. It is an open-source firmware and development kit that plays a vital role in designing a proper IoT product using a few script lines.

The module is mainly based on ESP8266 that is a low-cost Wi-Fi microchip incorporating both a full TCP/IP stack and microcontroller capability. It is introduced by manufacturer Espressif Systems. The ESP8266 NodeMcu is a complex device, which combines some features of the ordinary Arduino board with the possibility of connecting to the Internet.

Arduino Modules and Microcontrollers have always been a great choice to incorporate automation into the relevant project. But these modules come with a little drawback as they don't feature a built-in WiFi capability, subsequently, we need to add external WiFi protocol into these devices to make them compatible with the internet channel.

This is the famous NodeMCU which is based on ESP8266 WiFi SoC. This is version 3 and it is based on ESP-12E (An ESP8266 based WiFi module). NodeMCU is also an open-source firmware and development kit that helps you to prototype your IOT product within a few LUA script lines, and of course you can always program it with Arduino IDE.

In this article, We will try present useful details related to this WiFi Development Kit, its main features, pinout and everything we need to know about this module and the application domain.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

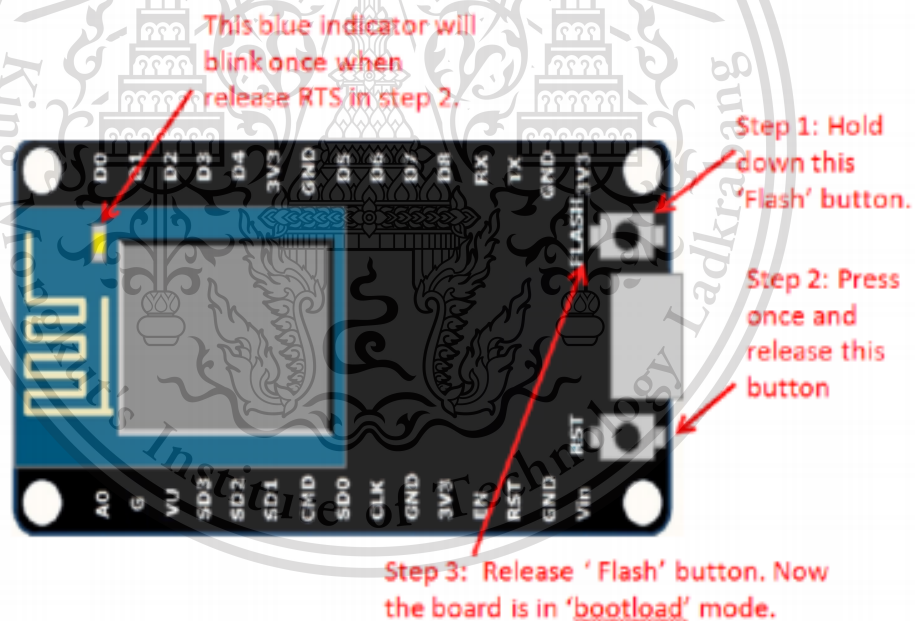
Introduction NodeMCU V3

NodeMCU V3 is an open-source firmware and development kit that plays a vital role in designing an IoT product using a few script lines.

Multiple GPIO pins on the board allow us to connect the board with other peripherals and are capable of generating PWM, I2C, SPI, and UART serial communications.

- The interface of the module is mainly divided into two parts including both Firmware and Hardware where former runs on the ESP8266 Wi-Fi SoC and later is based on the ESP-12 module.

The firmware is based on Lua – A scripting language that is easy to learn, giving a simple programming environment layered with a fast scripting language that connects you with a well-known developer community.



And open source firmware gives you the flexibility to edit, modify and rebuilt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

the existing module and keep changing the entire interface until you succeed in optimizing the module as per your requirements.

- USB to UART converter is added on the module that helps in converting USB data to UART data which mainly understands the language of serial communication.

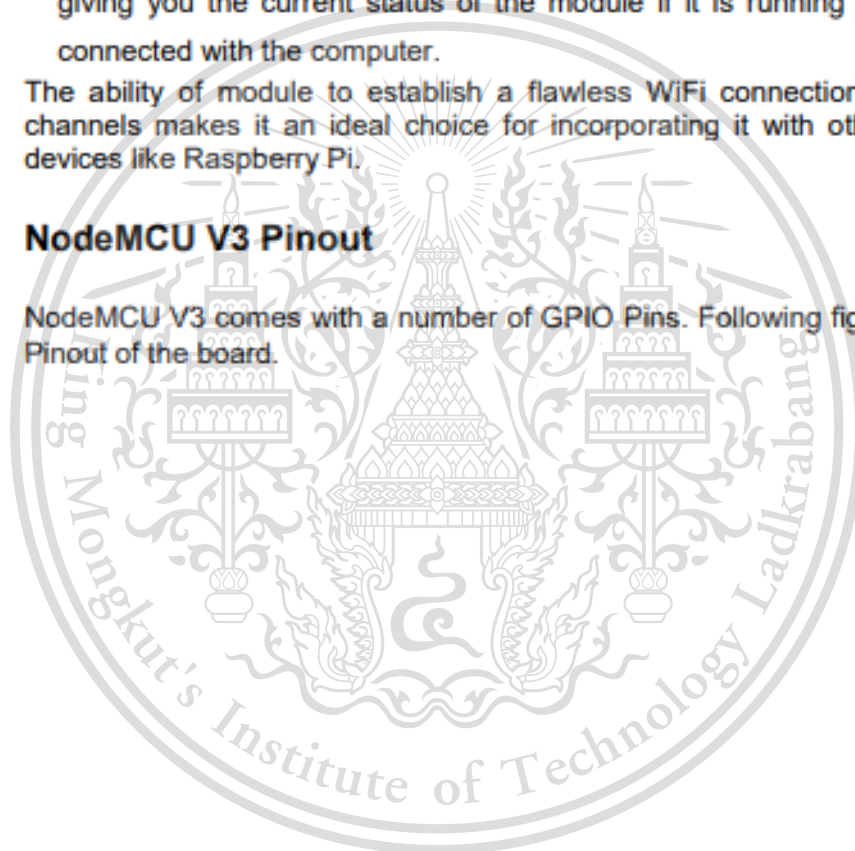
Instead of the regular USB port, MicroUSB port is included in the module that connects it with the computer for dual purposes: programming and powering up the board.

- The board incorporates status LED that blinks and turns off immediately, giving you the current status of the module if it is running properly when connected with the computer.

The ability of module to establish a flawless WiFi connection between two channels makes it an ideal choice for incorporating it with other embedded devices like Raspberry Pi.

NodeMCU V3 Pinout

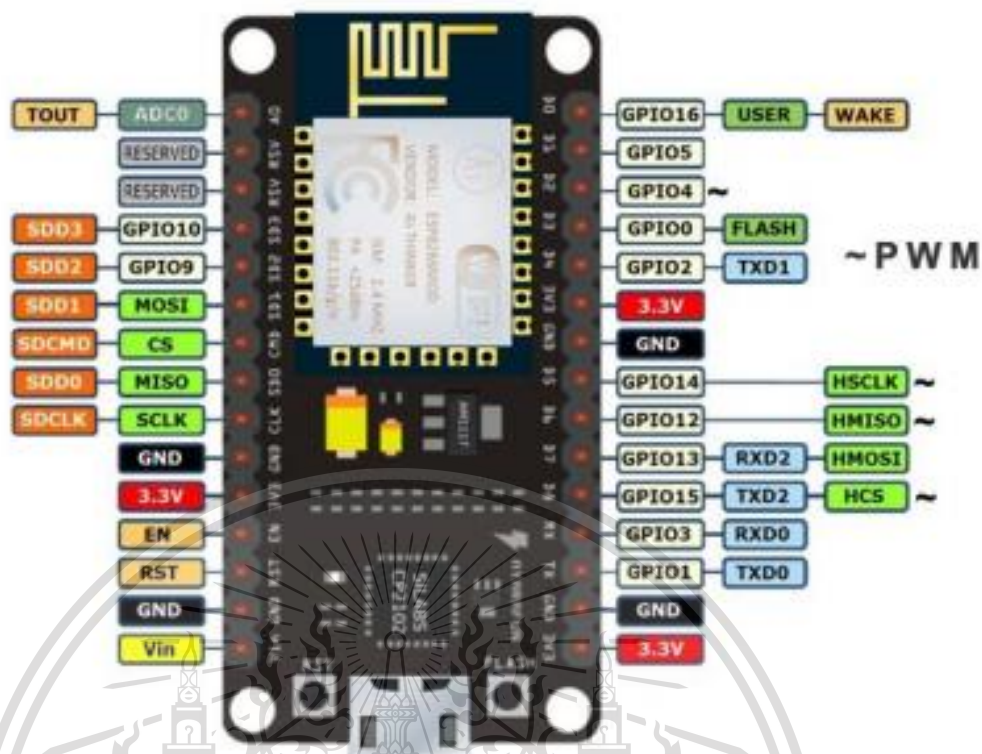
NodeMCU V3 comes with a number of GPIO Pins. Following figure shows the Pinout of the board.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



- There is a candid difference between Vin and VU where former is the regulated voltage that may stand somewhere between 7 to 12 V while later is the power voltage for USB that must be kept around 5 V

Features

1. Open-source
2. Arduino-like hardware
3. Status LED
4. MicroUSB port
5. Reset/Flash buttons
6. Interactive and Programmable
7. Low cost
8. ESP8266 with inbuilt wifi
9. USB to UART converter
10. GPIO pins
11. Arduino-like hardware IO
12. Advanced API for hardware IO, which can dramatically reduce the redundant work for configuring and manipulating hardware.
13. Code like arduino, but interactively in Lua script.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

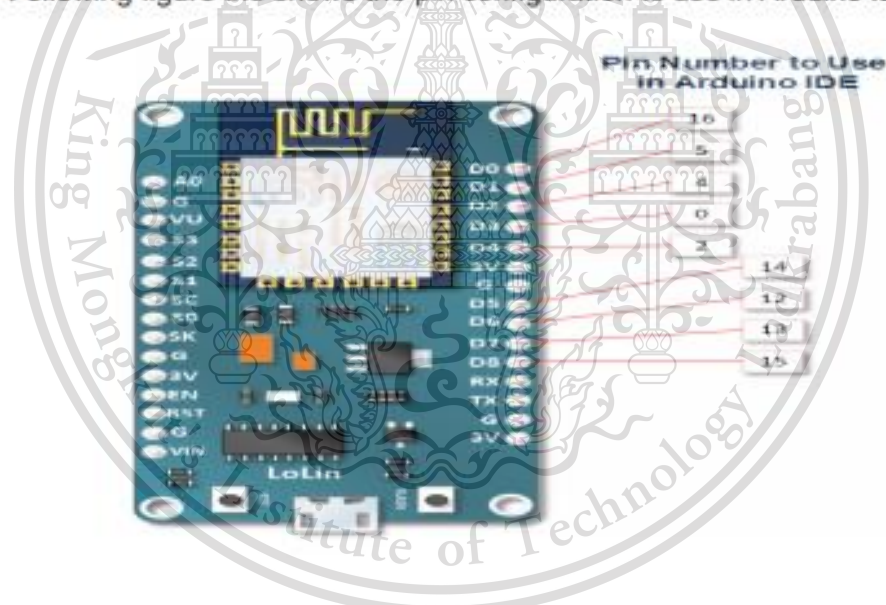
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

14. Nodejs style network API
15. Event-driven API for network applicaitons, which faciliates developers writing code running on a 5mm*5mm sized MCU in Nodejs style.
16. Greatly speed up your IOT application developing process.
17. Lowest cost WI-FI
18. Less than \$2 WI-FI MCU ESP8266 integrated and esay to prototyping development kit.
19. We provide the best platform for IOT application development at the lowest cost.

As mentioned above, a cable supporting micro USB port is used to connect the board. As you connect the board with a computer, LED will flash. You may need some drivers to be installed on your computer if it fails to detect the NodeMCU board. You can download the driver from [this page](#).

Note: We use Arduino IDE software for programming this module. It is important to note that the pin configuration appearing on the board is different from the configuration we use to program the board on the software i.e. when we write code for targeting pin 16 on the Arduino IDE, it will actually help is laying out the communication with the D0 pin on the module.

Following figure the shows the pin configuration to use in Arduino IDE.



How to Power NodeMCU V3

We can see from the pinout image above, there are five ground pins and three 3V3 pins on the board. The board can be powered up using the following three ways.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

USB Power. It proves to an ideal choice for loading programs unless the project you aim to design requires separate interface i.e. disconnected from the computer.

Provide 3.3V. This is another great option to power up the module. If you have your own off-board regulator, you can generate an instant power source for your development kit.

Power Vin. This is a voltage regulator that comes with the ability to support up to 800 mA. It can handle somewhere between 7 to 12 V. You cannot power the devices operating at 3.3 V, as this regulator unable to generate as low as 3.3V.

Programming

Step 1: Installing the Firmware



In NodeMCU Boards the first thing you need is to install the Firmware to the board

the following method works for all NodeMCU Boards

1. Open the NodeMCU flasher master folder than open the win32/win64 folder as your computer. now open the folder Release than double click ESP8266Flasher.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

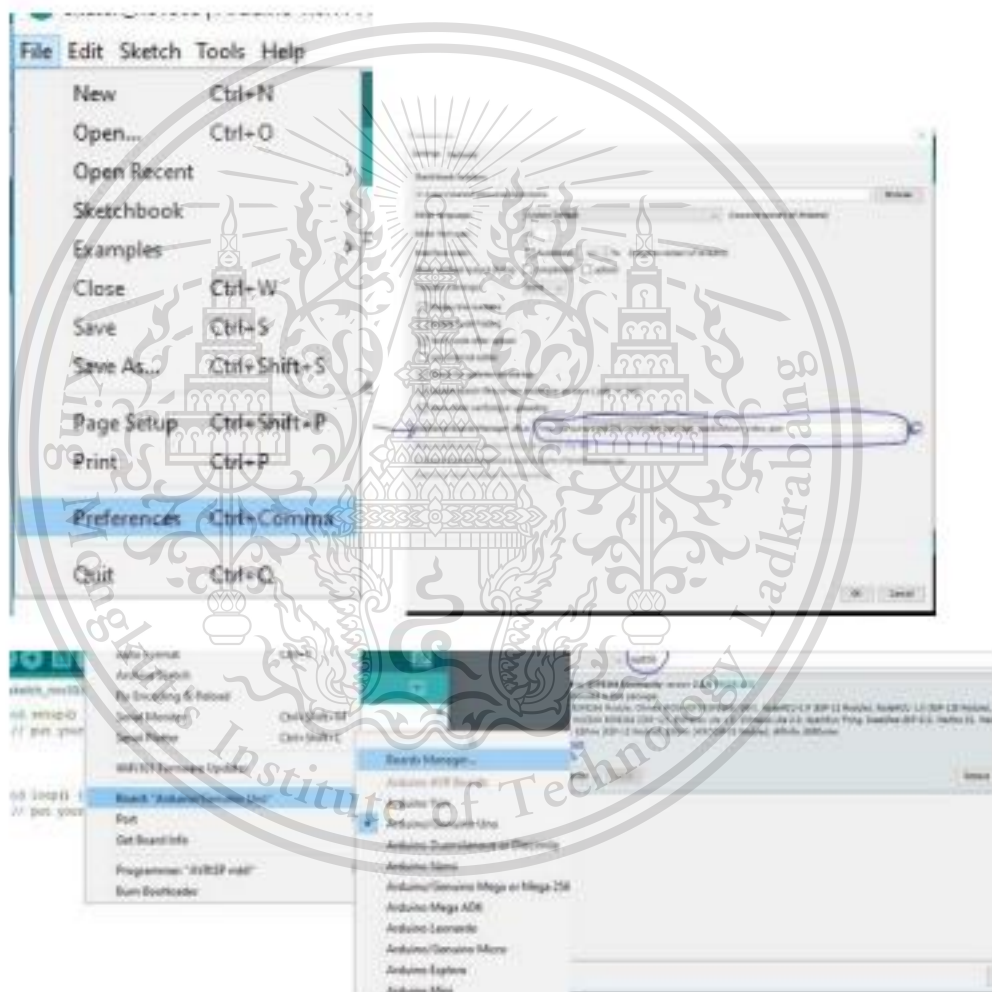
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

2. Select the COM Port.
3. Goto config tab
4. click on the small gear and open up the firmware which you have downloaded
5. go to the advanced tab and select the desired Baudrate
6. Goto the Operation tab and click on Flash Button.

Add Tip Ask Question Comment Download

Step 2: Preparing the Arduino IDE



After installing the firmware you are ready to do the programming with the ESP8266

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

1. Install the Arduino IDE
2. open the Arduino IDE from the desktop icon
3. Click on File tab and than open preferences
4. In the additional Boards Manager URLs add the following link
(http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json) and click OK
5. Goto Tools>Boards>Boards Manager
6. In the search field type esp8266 click the esp8266 by ESP8266 Community option and click Install

Step 3: Code...

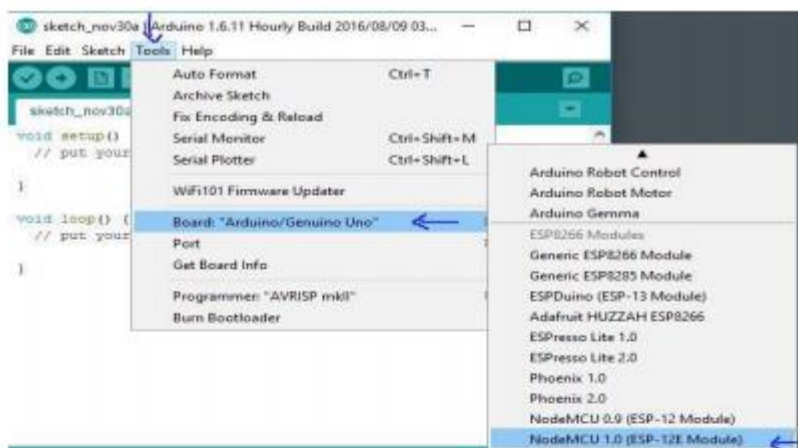
Now we can do whatever you want with your NodeMCU board
Following is an example for led blinking with NodeMCU board via webserver

- In arduino IDE goto tools>Boards>select NODEMCU 1.0 (ESP - 12E Module)
- again goto tools and select port.
- Change the Wifi name and password from the following code.
- Now click on Upload button to upload the following code.
- Connect the led's positive leg on D9 pin of board and negative to the ground of the code.
- Power up the board and open the serial monitor from arduino IDE
- after connecting to the wifi it will show you the IP address.
- type that IP address on the web browser(Edge, Chrome, Firefox etc..)
- A webpage will open you can change the status of LED by turning it ON or OFF.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



Copy, Paste and Upload the Tutorial Sketch

The sketch is one that comes as an example from ESP8266.COM.

```
#include "ESP8266WiFi.h"

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  // Set WiFi to station mode and disconnect from an AP if it was
  // previously connected
  WiFi.mode(WIFI_STA);
  WiFi.disconnect();
  delay(2000);
  Serial.println("Setup done");
}

void loop() {
  Serial.println("scan start");

  int n = WiFi.scanNetworks(); // WiFi.scanNetworks will return the
  // number of networks found
  Serial.println("scan done");
  if (n == 0)
    Serial.println("no networks found");
  else
  {
    Serial.println(n);
    Serial.println(" networks found");
    for (int i = 0; i < n; ++i)
    {
      // Print SSID and RSSI for each network found
    }
  }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

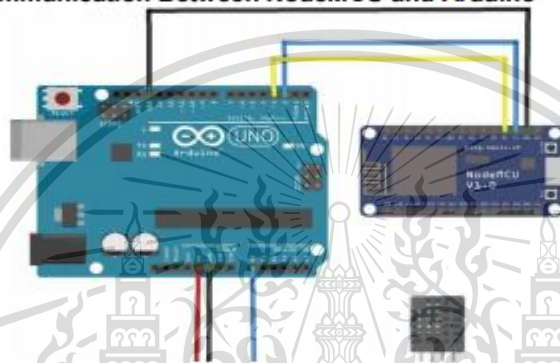
```

Serial.print(i + 1);
Serial.print(" : ");
Serial.print(WiFi.SSID(i));
Serial.print(" (");
Serial.print(WiFi.RSSI(i));
Serial.print(")");
Serial.println((WiFi.encryptionType(i) == ENC_TYPE_NONE)? " " :
"+");
delay(10);
}
Serial.println("");

// Wait a bit before scanning again
delay(5000);
}

```

Serial Communication Between NodeMCU and Arduino



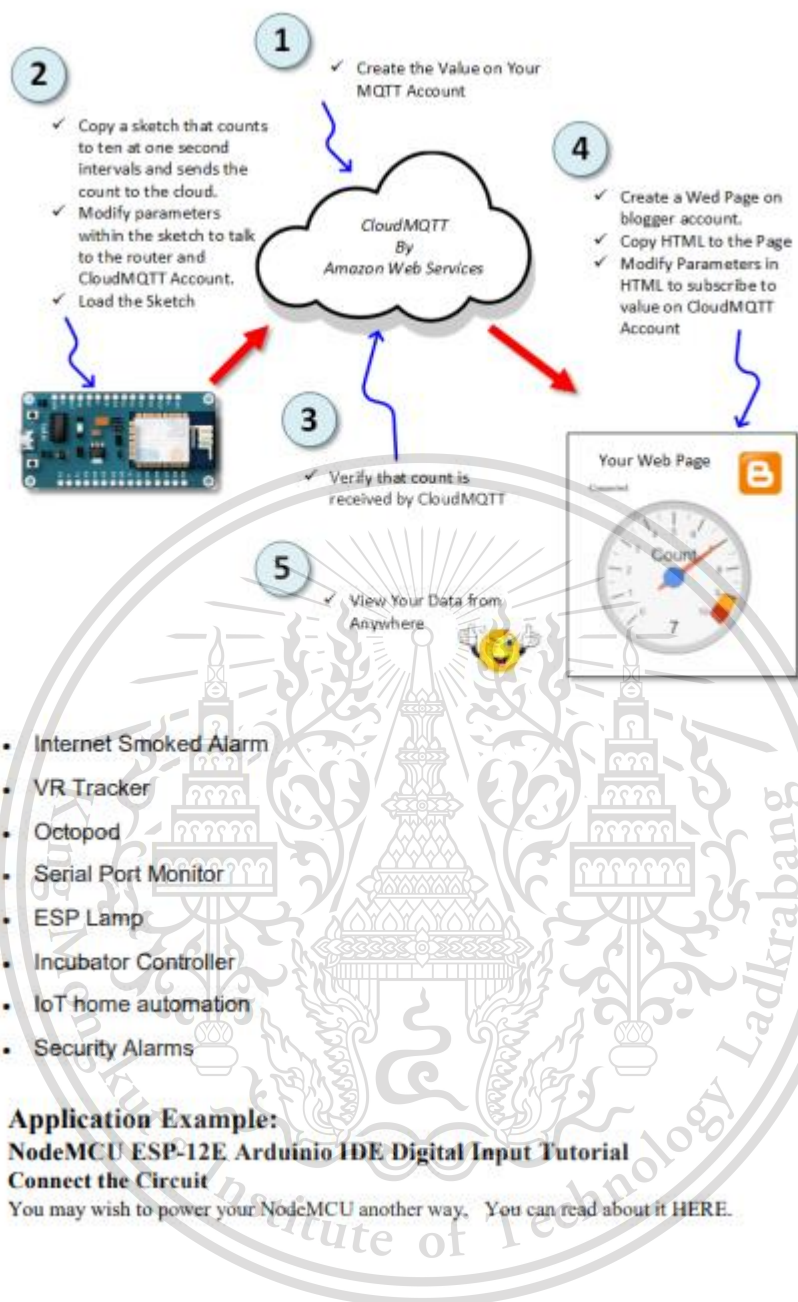
Projects and Applications

NodeMCU V3 is mainly used in the WiFi Applications which most of the other embedded modules fail to process unless incorporated with some external WiFi protocol. Following are some major applications used for NodeMCU V3.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

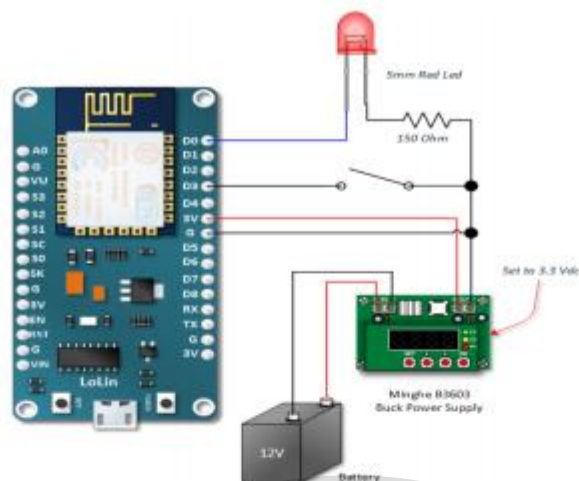
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



Copy, Paste and Upload the Code

The code is real simple works as follows:

- The input is read from switch pin. If switch is closed, it will read a low.
- The LED output pin is set to the opposite of the switch pin. If the switch is closed, the output pin will be set to a high. A high will turn on the LED.

```
int switchPin = 0;
int LedPin = 16;
int switchValue;

void setup() {
  pinMode(LedPin, OUTPUT);
  pinMode(switchPin, INPUT_PULLUP);
}

void loop() {
  // Read the switch value
  switchValue = digitalRead(switchPin);
  // Set the LED output pin. If a low is read on the sw
  // input pin
  digitalWrite(LedPin, !switchValue);
}
```

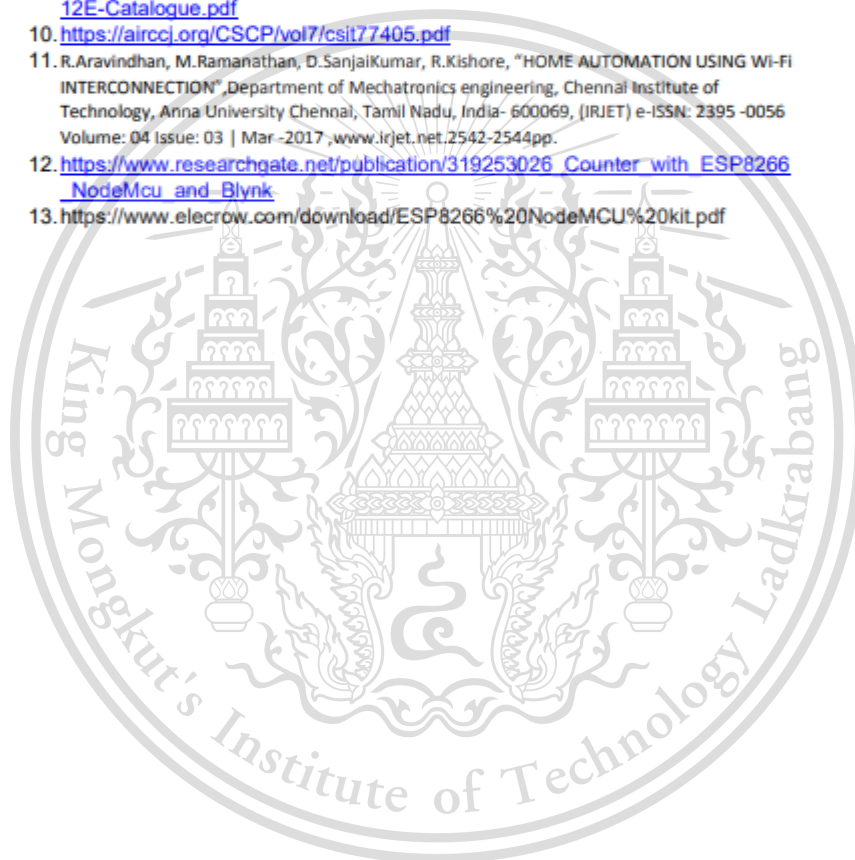
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

References

1. <https://www.instructables.com/id/Getting-Started-With-ESP8266LiLon-NodeMCU-V3Flash/>
2. <https://www.c-sharpcorner.com/article/blinking-led-by-esp-12e-nodemcu-v3-module-using-arduinoide/>
3. <https://www.cytron.io/p-nodemcu-v3>
4. <http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/arduino-projects-tips-and-more/arduino-esp8266-lolin-nodemcu-getting-started/>
5. <http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/arduino-projects-tips-and-more/nodemcu-esp-12e-use-cloudmtt-to-display-on-a-gauge-on-blogger/>
6. <http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/arduino-projects-tips-and-more/arduino-ide-nodemcu-esp-12e-digital-input-basics/>
7. <http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/arduino-projects-tips-and-more/nodemcu-io-basics-pwm/>
8. www.handsontec.com/pdf_learn/esp8266-V10.pdf
9. <https://einstronic.com/wp-content/uploads/2017/06/NodeMCU-ESP8266-ESP-12E-Catalogue.pdf>
10. <https://airccj.org/CSCP/vol7/csit77405.pdf>
11. R.Aravindhan, M.Ramanathan, D.SanjaiKumar, R.Kishore, "HOME AUTOMATION USING WI-FI INTERCONNECTION", Department of Mechatronics engineering, Chennai Institute of Technology, Anna University Chennai, Tamil Nadu, India- 600069, (IRJET) e-ISSN: 2395 -0056 Volume: 04 Issue: 03 | Mar -2017 ,www.irjet.net.2542-2544pp.
12. https://www.researchgate.net/publication/319253026_Counter_with_ESP8266_NodeMcu_and_Blynk
13. <https://www.elecrow.com/download/ESP8266%20NodeMCU%20kit.pdf>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

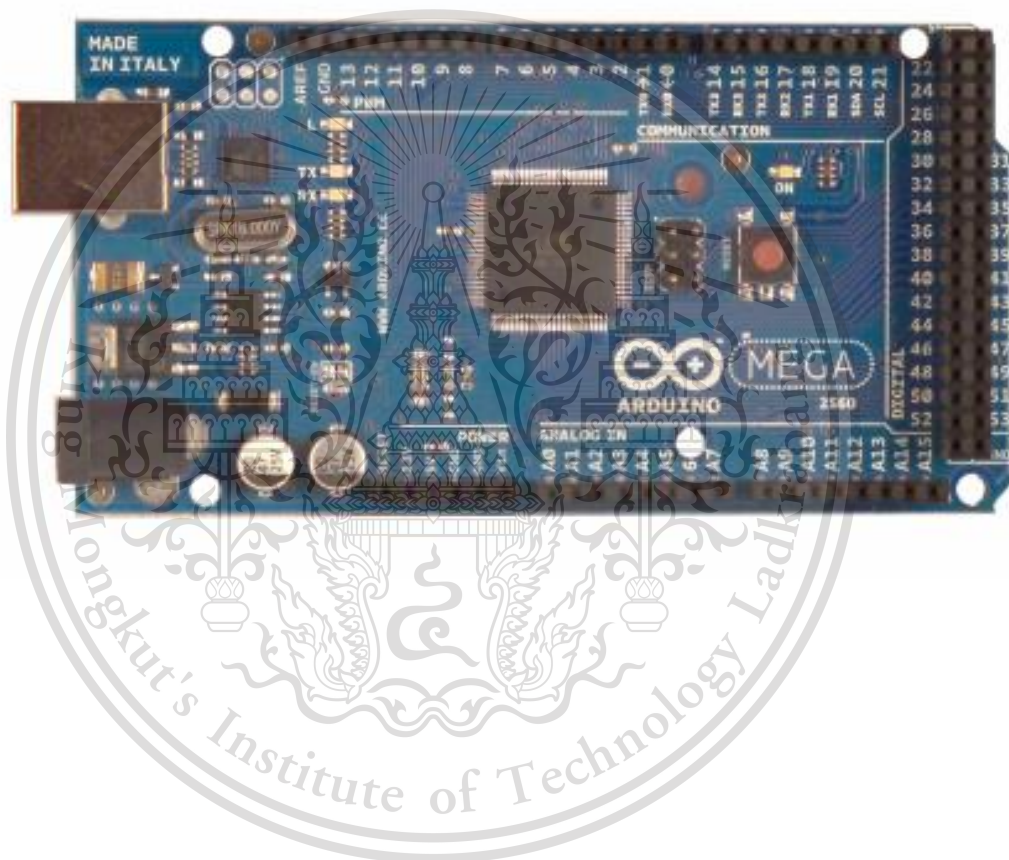
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

Arduino Mega 2560



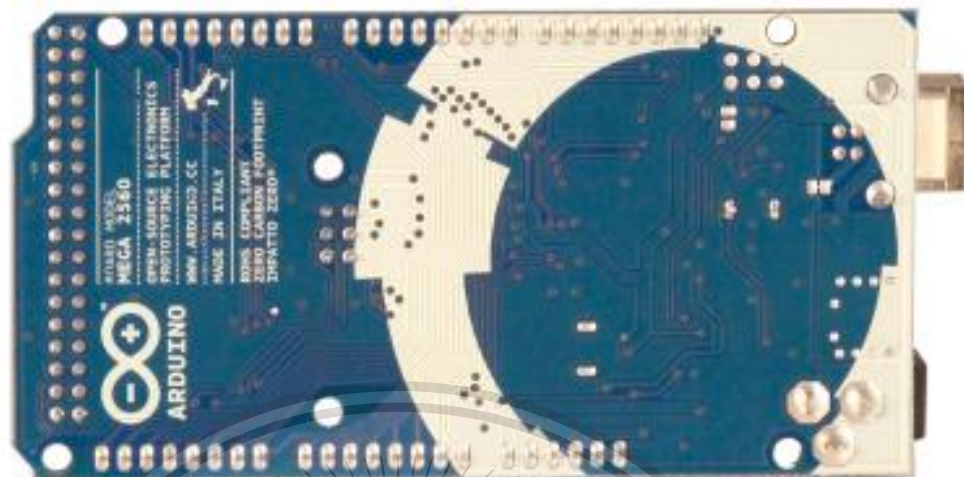
Arduino Mega 2560 Datasheet



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



Overview

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 ([datasheet](#)). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

Schematic & Reference Design

EAGLE files: [arduino-mega2560-reference-design.zip](#)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

Schematic: [arduino-mega2560-schematic.pdf](#)

Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

Power

The Arduino Mega 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 Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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 ATmega2560 has 256 KB of flash memory for storing code (of which 8 KB is used for the bootloader), 8 KB of SRAM and 4 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 54 digital pins on the Mega 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); Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. Pins 0 and 1 are also connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), and 21 (interrupt 2).** 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: 0 to 13.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS).** These pins support SPI communication using the [SPI library](#). The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Uno, Duemilanove and Diecimila.
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

- **I²C: 20 (SDA) and 21 (SCL).** Support I²C (TWI) communication using the [Wire library](#) (documentation on the Wiring website). Note that these pins are not in the same location as the I²C pins on the Duemilanove or Diecimila.

The Mega2560 has 16 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 is it possible to change the upper end of their range using the AREF pin and `analogReference()` function.

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.

Communication

The Arduino Mega2560 has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega2560 provides four hardware UARTs for TTL (5V) serial communication. An ATmega8U2 on the board channels one of these over USB and provides a virtual com port to software on the computer (Windows machines will need a .inf file, but OSX and Linux machines will recognize the board as a COM port automatically). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the ATmega8U2 chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Mega2560's digital pins.

The ATmega2560 also supports I²C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a [Wire library](#) to simplify use of the I²C bus; see the [documentation on the Wiring website](#) for details. For SPI communication, use the [SPI library](#).

Programming

The Arduino Mega can be programmed with the Arduino software ([download](#)). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega2560 on the Arduino Mega comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

communicates using the original STK500 protocol ([reference, C header files](#)). You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Mega2560 is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega2560 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload. This setup has other implications. When the Mega2560 is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Mega2560. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Mega2560 contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

USB Overcurrent Protection

The Arduino Mega2560 has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics and Shield Compatibility

The maximum length and width of the Mega2560 PCB are 4 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

The Mega2560 is designed to be compatible with most shields designed for the Uno, Diecimila or Duemilanove. Digital pins 0 to 13 (and the adjacent AREF and GND pins), analog inputs 0 to 5, the power header, and ICSP header are all in equivalent locations. Further the main UART (serial port) is located on the same pins (0 and 1), as are external interrupts 0 and 1 (pins 2 and 3 respectively). SPI is available through the ICSP header on both the Mega2560 and Duemilanove / Diecimila. *Please note that I²C is not located on the same pins on the Mega (20 and 21) as the Duemilanove / Diecimila (analog inputs 4 and 5).*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

generally acceptable and both system owners or operators and users must work cooperatively to keep actual voltage distortion below objectionable levels. The underlying assumption of these recommended limits is that by limiting harmonic current injections by users, voltage distortion can be kept below objectionable levels. In the event that limiting harmonic currents alone does not result in acceptable levels of voltage distortion, system owners or operators should take action to modify system characteristics so that voltage distortion levels are acceptable. The acceptable voltage distortion levels form the basis of the harmonic voltage limits in 5.1.

The recommended limits in this clause apply only at the point of common coupling and should not be applied to either individual pieces of equipment or at locations within a user's facility. In most cases, harmonic voltages and currents at these locations could be found to be significantly greater than the limits recommended at the PCC due to the lack of diversity, cancellation, and other phenomena that tend to reduce the combined effects of multiple harmonic sources to levels below their algebraic summation.

5.1 Recommended harmonic voltage limits

At the PCC, system owners or operators should limit line-to-neutral voltage harmonics as follows:

- Daily 99th percentile very short time (3 s) values should be less than 1.5 times the values given in Table 1.
- Weekly 95th percentile short time (10 min) values should be less than the values given in Table 1.

All values should be in percent of the rated power frequency voltage at the PCC. Table 1 applies to voltage harmonics whose frequencies are integer multiples of the power frequency.

Table 1—Voltage distortion limits

Bus voltage V at PCC	Individual harmonic (%)	Total harmonic distortion THD (%)
$V \leq 1.0 \text{ kV}$	5.0	8.0
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3.0	5.0
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	1.0	1.5

*High-voltage systems can have up to 2.0% THD where the cause is an HVDC terminal whose effects will have attenuated at points in the network where future users may be connected.

Information on voltage interharmonic limits is given in Annex A and is based on lamp flicker assessed using the measurement technique described in IEEE Std 1453 and IEC 61000-4-15. The information of Annex A is not based on the effects of interharmonics on other equipment and systems such as generator mechanical systems, motors, transformers, signaling and communication systems, and filters. Due consideration should be given to these effects and appropriate interharmonic current limits should be developed starting from the information in Annex A on a case-by-case basis using specific knowledge of the supply system, connected user loads, and provisions for future users.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ส่วนใช้งานเซนเซอร์และคำนวณ THD

```
#include <PZEM004Tv30.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include "arduinoFFT.h"
```

```
PZEM004Tv30 pzem1(10, 11);
SoftwareSerial UnoSerial(9, 8);
```

```
const uint16_t samples = 512;
const float signalFrequency = 50;
const float signalFrequency1 = 120;
const uint16_t samplingFrequency = 1280;
const uint16_t amplitude = 220;
const uint16_t amplitude1 = 120;
```

```
float vReal[samples];
float vImag[samples];
```

```
ArduinoFFT<float> FFT = ArduinoFFT<float>(vReal, vImag, samples,
samplingFrequency);
```

```
#define SCL_INDEX 0x00
#define SCL_TIME 0x01
#define SCL_FREQUENCY 0x02
#define SCL_PLOT 0x03
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
  pinMode(9, INPUT);
```

```
  pinMode(8, OUTPUT);
```

```
  UnoSerial.begin(115200);
```

```
  Serial.begin(115200);
```

```
  while (!Serial);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนใจสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

Serial.println("Ready");
}

void loop()
{
  /* Build raw data */
  float cycles = (((samples) * signalFrequency) / samplingFrequency);
  float cycles1 = (((samples) * signalFrequency1) / samplingFrequency);
  for (uint16_t i = 0; i < samples; i++)
  {
    vReal[i] = float((amplitude * (sin((i * (TWO_PI * cycles)) / samples))))

    vImag[i] = 0.0; //Imaginary part must be zeroed in case of looping to avoid wrong
calculations and overflows

  }

  FFT.windowing(FFTWindow::Hamming, FFTDirection::Forward);
  FFT.compute(FFTDirection::Forward);
  FFT.complexToMagnitude();
  PrintVector(vReal, (samples >> 1), SCL_FREQUENCY);
  delay(5000);
}

void PrintVector(float *vData, uint16_t bufferSize, uint8_t scaleType)
{
  float max[5];
  float N = FFT.majorPeak();
  float THD;
  for (uint16_t i = 0; i < bufferSize; i++)
  {
    float abscissa;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 switch (scaleType)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

case SCL_INDEX:
    abscissa = (i * 1.0);
    break;
case SCL_TIME:
    abscissa = ((i * 1.0) / samplingFrequency);
    break;
case SCL_FREQUENCY:
    abscissa = ((i * 1.0 * samplingFrequency) / samples);
    break;
}
//if(abscissa>50){
Serial.print(abscissa, 6);
if (scaleType == SCL_FREQUENCY)
    Serial.print("Hz");
Serial.print(" ");
Serial.println(vData[i], 4);

if (abscissa >= 0.9 * N && abscissa <= (N)) max[0] = vData[i];
if (abscissa >= 1.9 * N && abscissa <= (2 * N)) max[1] = vData[i];
if (abscissa >= 2.9 * N && abscissa <= (3 * N)) max[2] = vData[i];
if (abscissa >= 3.9 * N && abscissa <= (4 * N)) max[3] = vData[i];
if (abscissa >= 4.9 * N && abscissa <= (5 * N)) max[4] = vData[i];
}

float x1 = N;
float x2 = 2 * N;
float x3 = 3 * N;
float x4 = 4 * N;
float x5 = 5 * N;
Serial.println(" ");
Serial.print("f1=");
Serial.print(x1, 6);
Serial.print("Hz");
Serial.print(" ");
Serial.print(" ");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

Serial.println(max[0], 4);
Serial.print("f2=");
Serial.print(x2, 6);
Serial.print("Hz");
Serial.print(" ");
Serial.println(max[1], 4);
Serial.print("f3=");
Serial.print(x3, 6);
Serial.print("Hz");
Serial.print(" ");
Serial.println(max[2], 4);
//Serial.print(" ");
Serial.print("f4=");
Serial.print(x4, 6);
Serial.print("Hz");
Serial.print(" ");
Serial.println(max[3], 4);
//Serial.print(" ");
Serial.print("f5=");
Serial.print(x5, 6);
Serial.print("Hz");
Serial.print(" ");
Serial.println(max[4], 4);
Serial.println(" ");
THD = (sqrt(((max[1] * max[1]) + (max[2] * max[2]) + (max[3] * max[3]) + (max[4] *
max[4]))) / max[0]) * 100;
Serial.print("%THD = ");
Serial.print(THD);
Serial.println(" %");

Serial.print("Phase1\n");

float voltage1 = pzem1.voltage();
if ( !isnan(voltage1) ) {
  Serial.print("Voltage1: "); Serial.print(voltage1); Serial.println("V");
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลิขสิทธิ์งานนี้ให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

} else {
    Serial.println("Error reading voltage1");
}
float current1 = pzem1.current();
if ( !isnan(current1) ) {
    Serial.print("Current1: "); Serial.print(current1); Serial.println("A");
} else {
    Serial.println("Error reading current1");
}
float power1 = pzem1.power();
if ( !isnan(power1) ) {
    Serial.print("Power1: "); Serial.print(power1); Serial.println("W");
} else {
    Serial.println("Error reading power1");
}
float energy1 = pzem1.energy();
if ( !isnan(energy1) ) {
    Serial.print("Energy1: "); Serial.print(energy1, 3); Serial.println("kWh");
} else {
    Serial.println("Error reading energy1");
}
float frequency1 = pzem1.frequency();
if ( !isnan(frequency1) ) {
    Serial.print("Frequency1: "); Serial.print(frequency1, 1); Serial.println("Hz");
} else {
    Serial.println("Error reading frequency1");
}
float pf1 = pzem1.pf();
if ( !isnan(pf1) ) {
    Serial.print("PF1: "); Serial.println(pf1);
} else {
    Serial.println("Error reading power factor1");
}
//Serial.println(voltage1, 2);
UnoSerial.print(voltage1);

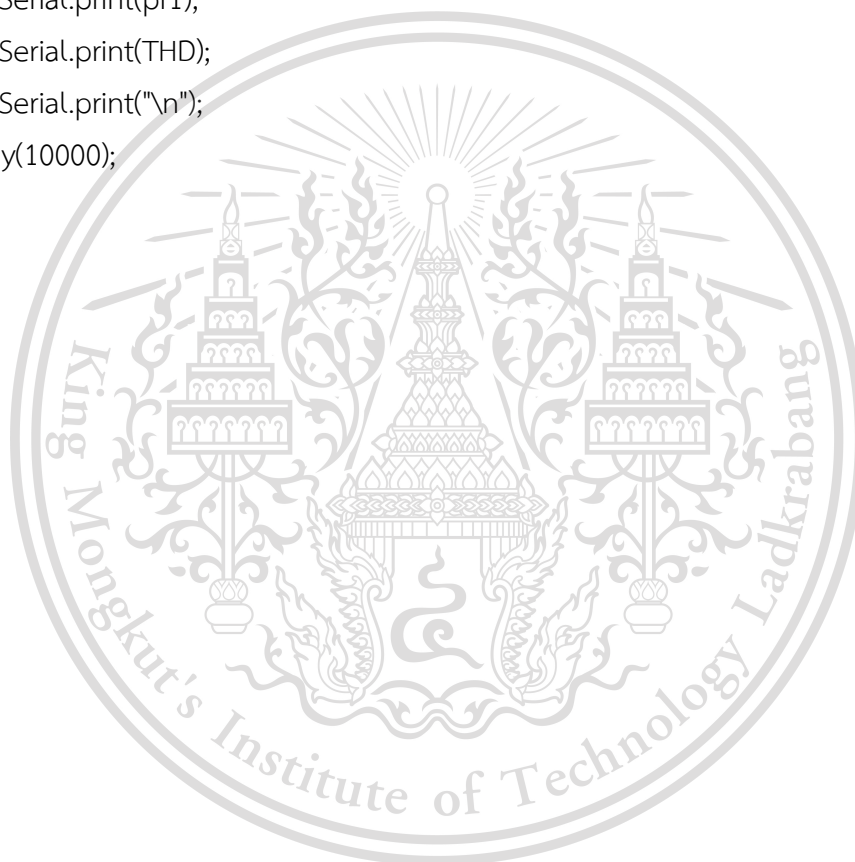
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```
UnoSerial.print(" ");  
UnoSerial.print(current1);  
UnoSerial.print(" ");  
UnoSerial.print(power1);  
UnoSerial.print(" ");  
UnoSerial.print(energy1);  
UnoSerial.print(" ");  
UnoSerial.print(frequency1);  
UnoSerial.print(" ");  
UnoSerial.print(pf1);  
UnoSerial.print(THD);  
UnoSerial.print("\n");  
delay(10000);  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ส่วนpublish/subscribe โดย NodeMCU (ESP8266)

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include "arduinoFFT.h"
#include <SoftwareSerial.h>

const char* ssid = "nuttsufw";
const char* password = "Nutnice0308410";
const char* mqtt_server = "192.168.1.112";
const char mqtt_username[50] = "mqtt_username";
const char mqtt_password[50] = "mqtt_password";
const int mqtt_port = 1883;
WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);
long lastMsg = 0;
char msg[50];

int value = 0;
String DataString;
void setup_wifi() {
  delay(10);
  Serial.println();
  Serial.print("Connecting to ");
  Serial.println(ssid);
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  randomSeed(micros());
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected");
  Serial.println("IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
}

void reconnect() {
  while (!client.connected()) {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

Serial.print("Attempting MQTT connection...");
String clientId = "ESP8266Client-";
clientId += String(random(0xffff), HEX);
if (client.connect(clientId.c_str(), mqtt_username, mqtt_password)) {
  Serial.println("connected");
  client.publish("mynew/test", "hello world");
  // ... and resubscribe
  client.subscribe("inTopic");
} else {
  Serial.print("failed, rc=");
  Serial.print(client.state());
  Serial.println(" try again in 5 seconds");
  delay(5000);
}
}
}
SoftwareSerial NodeSerial(D2, D5);
void setup() {
  delay(10000);
  Serial.begin(115200);

  Serial.println();
  Serial.print("Connecting to wifi: ");
  Serial.println(ssid);

  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected");
  Serial.println("IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นแต่กรณีที่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```
pinMode(D2, OUTPUT);
Serial.begin(115200);

NodeSerial.begin(115200); // RX | TX
Serial.println();
Serial.println("NodeMCU/ESP8266 Run");

}
```

```
void loop() {
  if (!client.connected()) {
    if (!client.connected()) {
      Serial.print("Attempting MQTT connection...");
      if (client.connect("ESP8266Client", mqtt_username, mqtt_password)) {
        Serial.println("connected");
        client.subscribe("/mynew/LED");
      } else {
        Serial.print("failed, rc=");
        Serial.print(client.state());
        Serial.println(" try again in 5 seconds");
        delay(5000);
        return;
      }
    }
    reconnect();
  }
  client.loop();
  long now = millis();
  if (now - lastMsg > 4000) {
    lastMsg = now;
    while (NodeSerial.available() > 0)
    {
```

```
float voltage1 = NodeSerial.parseFloat();
```

```
float current1 = NodeSerial.parseFloat();
```

```
float power1 = NodeSerial.parseFloat();
```

```
float energy1 = NodeSerial.parseFloat();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นแต่เพื่อการศึกษา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

float frequency1 = NodeSerial.parseFloat();
float pf1 = NodeSerial.parseFloat();
float THD = NodeSerial.parseFloat();

if (NodeSerial.read() == '\n')
{
  Serial.print("NodeMCU or ESP8266");
  Serial.print(" : ");
  Serial.println(voltage1);
  Serial.println(current1);
  Serial.println(power1);
  Serial.println(energy1);
  Serial.println(frequency1);
  Serial.println(pf1);

  Serial.println(THD);
}
DataString = "Voltage : "+float(voltage1,4)+" V";
DataString.toCharArray(msg, 50);
Serial.print("Publish message: ");
Serial.println(msg);
client.publish("test/Voltage1", String(voltage1,4).c_str(),true);

DataString = "Current : "+String(current1,4)+" A";
DataString.toCharArray(msg, 50);
Serial.print("Publish message: ");
Serial.println(msg);
client.publish("test/Current1", String(current1,4).c_str(),true);

DataString = "Power : "+String(power1,4)+" Watt";
DataString.toCharArray(msg, 50);
Serial.print("Publish message: ");
Serial.println(msg);
client.publish("test/Power1", String(power1,4).c_str(),true);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นที่มีเหตุที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องขออนุญาตเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

Serial.print("Publish message: ");
Serial.println(msg);
client.publish("test/Energy1", String(energy1,4).c_str(),true);

DataString = "Frequency : "+String(frequency1,4)+" Hz";
DataString.toCharArray(msg, 50);
Serial.print("Publish message: ");
Serial.println(msg);
client.publish("test/Frequency1", String(frequency1,4).c_str(),true);

DataString = "Power factor : "+String(pf1,4) + " ";
DataString.toCharArray(msg, 50);
Serial.print("Publish message: ");
Serial.println(msg);
client.publish("test/Pf1", String(pf1,4).c_str(),true);

DataString = "THDv : "+String(THD,4) + " %";
DataString.toCharArray(msg, 50);
Serial.print("Publish message: ");
Serial.println(msg);
client.publish("test/THDv", String(THD,4).c_str(),true);

}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ นามสกุล นาย ธนัท สุขุมวานิชกุล
 วัน เดือน ปีเกิด 20 กรกฎาคม 2541
 ประวัติการศึกษา 2560 วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
 ลาดกระบัง



ชื่อ นามสกุล นาย ธันยพงศ์ ลัทธิกุล
 วัน เดือน ปีเกิด 3 สิงหาคม 2541
 ประวัติการศึกษา 2560 วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
 ลาดกระบัง



ชื่อ นามสกุล นาย ปิยภพ วงศ์ปรากฏ
 วัน เดือน ปีเกิด 26 สิงหาคม 2541
 ประวัติการศึกษา 2560 วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
 ลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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