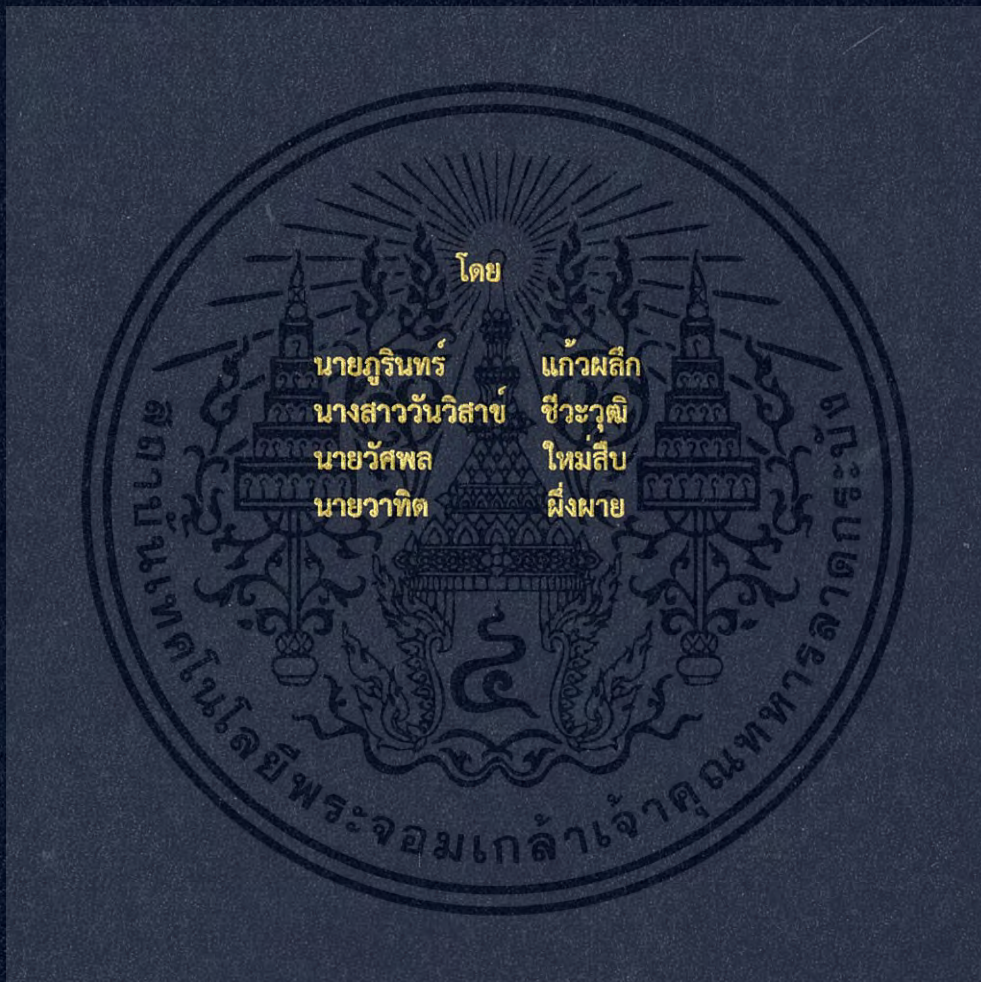


ระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า  
MONITORING SYSTEM FOR GENERATOR SET OPERATION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

ระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า  
MONITORING SYSTEM FOR GENERATOR SET OPERATION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MONITORING SYSTEM FOR GENERATOR SET OPERATION



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

2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2560

ระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า  
MONITORING SYSTEM FOR GENERATOR SET OPERATION



อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ พิชิต ถ้ายอง

ดร.เปี่ยมภูมิ สฤกพฤกษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ผู้จัดทำ

1. นายภูรินทร์ แก้วผลึก
2. นางสาววันวิสาข์ ชีวะวุฒิ
3. นายวัศพล ใหม่สืบ
4. นายวาทีต ผึ้งผาย



..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ พิชิต ล้ายอง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(ดร.เปี่ยมภูมิ สฤกพฤกษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

นายภูรินทร์	แก้วผลึก	
นางสาววันวิสาข์	ชีวะวุฒิ	
นายวิศพล	ไหมสีบ	
นายวาทิต	ฝั่งผาย	
รศ.พิชิต	ลำยอง	อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร.เปี่ยมภูมิ	สฤกพฤกษ์	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
ปีการศึกษา 2560		

### บทคัดย่อ

ปฏิญญาพันธบัตรนี้นำเสนอระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญได้แก่ ระบบตรวจติดตามเครื่องยนต์ดีเซล และระบบตรวจติดตามเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในส่วนของระบบตรวจติดตามเครื่องยนต์ดีเซล จะประกอบไปด้วยระบบตรวจวัดปริมาณเชื้อเพลิงคงเหลือ ระบบตรวจวัดอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น ระบบตรวจวัดอุณหภูมิ และความดันของน้ำมันหล่อลื่น ระบบตรวจวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ระบบตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ ระบบตรวจจับสถานะของไดชาร์จ ระบบตรวจวัดคุณภาพของไอเสีย ระบบตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นของแผงควบคุม ในส่วนของระบบตรวจติดตามเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะประกอบไปด้วย ระบบตรวจวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบตรวจวัดความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบตรวจวัดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และค่าตัวประกอบกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบตรวจจับสถานะของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ระบบตรวจจับสถานะของอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าวัดดิน และระบบตรวจวัดอุณหภูมิโครงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งระบบตรวจติดตามนี้จะอาศัยการรับส่งข้อมูลผ่านเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสิ่ง (Internet of Things: IoT) โดยทำการเก็บข้อมูลในฐานข้อมูลเชิงสปีค (ThingSpeak) เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการประมวลผล และจะทำการแสดงผลผ่านทางเว็บไซต์ซึ่งมีระบบแจ้งเตือนสถานะผิดปกติต่างๆ ของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านทางแอปพลิเคชันทวิตเตอร์ (Twitter application) และมีระบบควบคุมจากระยะไกลซึ่งได้แก่ การควบคุมระบบตรวจติดตาม การควบคุมการเดินเครื่อง และการควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านทางแอปพลิเคชันบลิงค์ (Blynk application) ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลต่างๆ ของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และสามารถควบคุมการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านทางคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์อัจฉริยะ (Smart devices) ต่างๆ ได้โดยไม่ต้องอยู่ที่จุดติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Monitoring System for Generator Set Operation

Mr.Phurin	Kaewpluek	
Ms.Wanwisa	Cheewawod	
Mr.Watsaphon	Maisueb	
Mr.Wathit	PhungPhai	
Assoc.Prof.Pichit	Lumyoung	Advisor
Dr.Piampoom	Sarikprueck	Co-advisor
2017		

## Abstract

This project presents a monitoring system for generator set operation which is composed of two main parts including a diesel engine monitoring system and a generator monitoring system. The parameters measured in the diesel engine monitoring system are the fuel level, the cooling water temperature, the lubricant temperature and pressure, the speed of diesel engine, the voltage and current at battery terminal, the charger status, the amount of carbon monoxide in exhaust air, and the panel temperature and humidity. As for the generator part, the parameters measured in this part are the voltage and current at generator terminal, the frequency of the generator, the active power, the apparent power, the power factor, the main circuit breaker status, the earth-leakage status, and the temperature at the generator frame. This monitoring system transmits the data from various sensors using Internet of Things technology (IoTs). ThingSpeak is used as an Internet of Things platform for this monitoring system to collect data from various sensors for further analysis. In order to provide more convenient to users, this monitoring system displays all the measured parameters on the Website with generator set malfunction alert via the Twitter application. In addition, the generator set is equipped with a remote control system which allow users to either start or stop the monitoring system, the generator set operation, and load distribution system via the Blynk application. Based on these two smart functions, the users can therefore remotely control and monitor the generator set in real time with the Internet access.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรเรื่อง ระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากคณะผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่าน ดังนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.พิชิต ล้ายอง อาจารย์ที่ปรึกษา และ ดร.เปี่ยมภูมิ สฤกพฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดี ทั้งให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อปริญญาบัตรมาด้วยดีโดยตลอด รวมถึงการติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินงาน ตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องของปริญญาบัตร คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของอาจารย์ทั้งสองท่านเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาคิวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่อบรมสั่งสอนให้ความรู้ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติให้แก่คณะผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณบริษัท นำแสงเอ็นจิเนียริง จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในการทำโครงการ รวมถึงการขนส่งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาที่ภาคิวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ขอขอบคุณ คุณเพชร กลิ่นวิเชียร และ คุณชาญปกรณ์ ณ นิโรจน์ นักศึกษาปริญญาโท ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องจักรกลไฟฟ้า (Electrical Machines Research Laboratory: EMRL) ที่ให้แนวคิด ข้อเสนอแนะต่างๆ และการช่วยเหลือในการจัดหาอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงการ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องจักรกลไฟฟ้า ที่ช่วยเหลือในการทำโครงการ รวมถึงกำลังใจและคำแนะนำที่ดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณโชติกา วิมาโร นักศึกษาปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 ภาคิวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ที่ช่วยเหลือและให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการจัดทำเว็บไซต์

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนและให้กำลังใจ ตลอดจนบุคคลต่างๆ ที่ให้ความช่วยเหลืออีกมากที่คณะผู้จัดทำไม่สามารถกล่าวนามได้ทั้งหมด ณ ที่นี้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณและขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้

คณะผู้จัดทำ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	IX
สารบัญตาราง	XIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	3
1.4.1 ระบบตรวจติดตามเครื่องยนต์ดีเซล	3
1.4.2 ระบบตรวจติดตามเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	4
1.4.3 ระบบเก็บข้อมูล	4
1.4.4 ระบบการส่งข้อมูล	4
1.4.5 ระบบควบคุมจากระยะไกล	5
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	5
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ	6
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	7
2.1.1 องค์ประกอบของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	7
2.1.2 หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	9
2.1.3 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	9
2.1.4 ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	9
2.1.5 หลักการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้า	10
2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์	10
2.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์	10
2.2.2 การสื่อสารในรูปแบบไอส์แควร์ซี	11
2.3 เซ็นเซอร์	12
2.3.1 สวิทช์ลูกลอย	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2 เทอร์มิสเตอร์	12
2.3.3 เซ็นเซอร์ตรวจวัดความดันของไหล	13
2.3.4 เซ็นเซอร์ตรวจวัดความเร็วชนิดพาสซีฟ	14
2.3.5 เซ็นเซอร์ตรวจวัดความหนาแน่นของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์	15
2.3.6 เซ็นเซอร์ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	16
2.3.7 เซ็นเซอร์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง	17
2.3.8 เซ็นเซอร์ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	19
2.3.9 เซ็นเซอร์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ	20
2.3.10 เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นแบบดิจิตอล	22
2.4 ออปแอมป์และวงจรพื้นฐาน	22
2.4.1 ออปแอมป์	22
2.4.2 วงจรขยายแบบกลับขั้ว	24
2.4.3 วงจรขยายแบบไม่กลับขั้ว	24
2.4.4 วงจรตามแรงดัน	25
2.4.5 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน	26
2.5 เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ทออฟริงส์	28
2.5.1 อินเทอร์เน็ทออฟริงส์	28
2.4.2 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ทออฟริงส์	28
<b>บทที่ 3 การออกแบบและประกอบสร้าง</b>	<b>30</b>
3.1 ภาพรวมของการออกแบบระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่อง กำเนิดไฟฟ้า	30
3.2 การออกแบบวิธีการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	31
3.2.1 ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงคงเหลือ	31
3.2.2 อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น	31
3.2.3 อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น	31
3.2.4 ความดันน้ำมันหล่อลื่น	31
3.2.5 อุณหภูมิโครงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	31
3.2.6 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์	32
3.2.7 แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	32
3.2.8 กระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.9 ความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	32
3.2.10 สถานะของเซอร์กิตเบรกเกอร์	32
3.2.11 สถานะของอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้ารั่วลงดิน	33
3.2.12 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่	33
3.2.13 กระแสไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่	33
3.2.14 สถานะของไดชาร์จ	33
3.2.15 ปริมาณของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสีย	33
3.2.16 อุณหภูมิและความชื้นของแผงควบคุม	34
3.3 การติดตั้งเซ็นเซอร์ลงบนชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	34
3.3.1 เครื่องยนต์ดีเซล	34
3.3.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	35
3.3.3 แบตเตอรี่สำหรับเครื่องยนต์	36
3.3.4 ถังน้ำมันเชื้อเพลิง	37
3.4 การออกแบบวงจรสำหรับการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับ เซ็นเซอร์ต่างๆ	38
3.4.1 การออกแบบวงจรสำหรับสเลฟ 1	38
3.4.2 การออกแบบวงจรสำหรับสเลฟ 2	40
3.4.3 การออกแบบวงจรสำหรับสเลฟ 3	42
3.4.4 การออกแบบวงจรสำหรับมาสเตอร์ (Master) และสเลฟ 4	44
3.4.5 การออกแบบวงจรสำหรับบอร์ดเสริม	46
3.5 การออกแบบการแสดงผลบน ThingSpeak platform และเว็บไซต์	47
3.5.1 การออกแบบการแสดงผลบน ThingSpeak platform	47
3.5.2 การออกแบบการแสดงผลบนเว็บไซต์	49
3.6 การออกแบบระบบแจ้งเตือนสถานะผิดปกติต่างๆ ของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ผ่านทางแอปพลิเคชันทวิตเตอร์	50
3.7 การออกแบบระบบควบคุมจากระยะไกลผ่านทางแอปพลิเคชันบลู๊ตธูท	51
3.8 การประกอบสร้างระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิด ไฟฟ้า	52
3.9 การติดตั้งระบบตรวจติดตามเข้ากับชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	54
<b>บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ</b>	<b>56</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1 การสอบเทียบและผลการสอบเทียบ	56
4.1.1 การสอบเทียบการตรวจวัดอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น	56
4.1.2 การสอบเทียบการตรวจวัดอุณหภูมิโครงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	56
4.1.3 การสอบเทียบการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	57
4.1.4 การสอบเทียบการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	57
4.1.5 การสอบเทียบการตรวจวัดความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	57
4.1.6 การสอบเทียบการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	58
4.1.7 การสอบเทียบการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าปรากฏของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	58
4.1.8 การสอบเทียบการตรวจวัดตัวประกอบกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	58
4.1.9 การสอบเทียบการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่	59
4.1.10 การสอบเทียบการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่	59
4.2 การทดสอบเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งระบบตรวจติดตาม	59
4.3 ผลการทดสอบการบันทึกข้อมูลใน Micro SD card	60
4.4 ผลการทดสอบการแสดงผลบน ThingSpeak platform	62
4.5 ผลการทดสอบการแสดงผลบนเว็บไซต์	67
4.6 ผลการทดสอบการแจ้งเตือนสถานะผิดปกติต่างๆ ผ่านทางแอปพลิเคชันทวิตเตอร์	68
4.7 ผลการทดสอบการควบคุมจากระยะไกลผ่านทางแอปพลิเคชันบลูทู้ท	78
4.7.1 ผลการทดสอบการควบคุมระบบตรวจติดตามจากระยะไกล	78
4.7.2 ผลการทดสอบการควบคุมการเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากระยะไกล	78
4.7.3 ผลการทดสอบการควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากระยะไกล	79
4.7.4 ผลการทดสอบการหยุดเดินเครื่องฉุกเฉินของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากระยะไกล	80
<b>บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินโครงการ</b>	<b>81</b>
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ	81
5.2 ปัญหา และข้อจำกัด	81
5.3 ข้อเสนอแนะ	82
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>84</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก เอกสารวิชาการ	85
ภาคผนวก ข เอกสารข้อมูลของอุปกรณ์ต่างๆ (Datasheet)	90
ประวัติผู้เขียน	127



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 การเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบ I <sup>2</sup> C bus	11
2.2 หลักการทำงานของสวิทช์ลูกลอย	12
2.3 เซ็นเซอร์ตรวจวัดความดันของไหลแบบไฟฟ้า	14
2.4 สัญญาณเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ตรวจวัดความเร็วชนิดพาสซีฟ	15
2.5 กราฟคุณลักษณะของ MQ-9	15
2.6 วงจรการใช้งานพื้นฐานสำหรับ MQ-9	16
2.7 วงจรการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	16
2.8 (a)-(c) แสดงการเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์	17
2.9 การวัดค่าความต่างศักย์ฮอลล์	19
2.10 วงจรแบ่งแรงดัน	20
2.11 โครงสร้างของ DHT22 Module	22
2.12 สัญลักษณ์แทนออปแอมป์	23
2.13 วงจรสมมูลของออปแอมป์	23
2.14 ออปแอมป์ในแบบอุดมคติ	24
2.15 วงจรขยายแบบกลับขั้ว	24
2.16 วงจรขยายแบบไม่กลับขั้ว	25
2.17 วงจรตามแรงดัน	25
2.18 กราฟคุณลักษณะของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน	26
2.19 ตัวอย่างของวงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบบวก	27
2.20 ตัวอย่างของวงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบลบ	27
2.21 ระบบเปิดปิดไฟภายในบ้านผ่านระบบอินเทอร์เน็ต	28
3.1 ภาพรวมของการออกแบบระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	30
3.2 ตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์ต่างๆ เข้ากับเครื่องยนต์ดีเซล	34
3.3 ลักษณะการติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจวัดความเร็วชนิดพาสซีฟ	35
3.4 ตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์ต่างๆ เข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	36
3.5 ตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์ต่างๆ เข้ากับแบตเตอรี่	37
3.6 ตำแหน่งการติดตั้งสวิทช์ลูกลอยเข้ากับถังน้ำมันเชื้อเพลิง	38
3.7 Schematic design สำหรับสเลฟ 1	39
3.8 PCB design สำหรับสเลฟ 1	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 Schematic design สำหรับสเลฟ 2	41
3.10 PCB design สำหรับสเลฟ 2	42
3.11 Schematic design สำหรับสเลฟ 3	43
3.12 PCB design สำหรับสเลฟ 3	44
3.13 Schematic design สำหรับมาสเตอร์ และสเลฟ 4	45
3.14 PCB design สำหรับมาสเตอร์ และสเลฟ 4	45
3.15 Schematic design สำหรับบอร์ดเสริม	46
3.16 PCB design สำหรับบอร์ดเสริม	47
3.17 กราฟของค่าที่ตรวจวัดได้ ณ เวลาใดๆ	48
3.18 หน้าปัดแสดงค่าที่ตรวจวัดได้ ณ เวลาปัจจุบัน	48
3.19 ตัวอย่างการแสดงผลใน Channel บน ThingSpeak platform	49
3.20 ตัวอย่างการแสดงผลในรูปแบบกราฟของค่าที่ตรวจวัดได้ ณ เวลาใดๆ บนเว็บไซต์	49
3.21 ตัวอย่างการแสดงผลในรูปแบบของหน้าปัดแสดงค่าที่ตรวจวัดได้ ณ เวลาปัจจุบันบนเว็บไซต์	50
3.22 ตัวอย่างข้อความแจ้งเตือนที่ถูกโพสบนหน้าโฮมของบัญชีผู้ใช้งานของระบบตรวจ	51
3.23 ลักษณะของหน้าจอผู้ใช้บนแอปพลิเคชันบลู๊ตธ	51
3.24 บอร์ดสเลฟ 1	52
3.25 บอร์ดสเลฟ 2	52
3.26 บอร์ดสเลฟ 3	53
3.27 บอร์ดมาสเตอร์และสเลฟ 4	53
3.28 บอร์ดเสริม	53
3.29 บอร์ดควบคุมจากระยะไกล	54
3.30 บอร์ดแหล่งจ่ายไฟ	54
3.31 ภายนอกตู้พลาสติกกันน้ำ (ซ้าย) และ ภายในตู้พลาสติกกันน้ำ (ขวา)	54
3.32 ช่องสำหรับเสียบสายเพื่อติดตั้งระบบตรวจติดตามเข้ากับชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	55
3.33 การติดตั้งระบบตรวจติดตามเข้ากับชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	55
4.1 แผงหลอดไฟชนิดหลอดไส้	60
4.2 ชุดโหลดจำลองที่ในการทดสอบ	60
4.3 การแสดงผลค่าปริมาณเชื้อเพลิงคงเหลือ	62
4.4 การแสดงผลค่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 การแสดงผลค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น	62
4.6 การแสดงผลค่าความดันน้ำมันหล่อลื่น	63
4.7 การแสดงผลค่าอุณหภูมิโครงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	63
4.8 การแสดงผลค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์	63
4.9 การแสดงผลค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	63
4.10 การแสดงผลค่ากระแสไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	64
4.11 การแสดงผลค่าความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	64
4.12 การแสดงผลค่ากำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	64
4.13 การแสดงผลค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	64
4.14 การแสดงผลค่าตัวประกอบกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	65
4.15 การแสดงผลค่าสถานะของเซอร์กิตเบรกเกอร์	65
4.16 การแสดงผลค่าสถานะของอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้ารั่วลงดิน	65
4.17 การแสดงผลค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่	65
4.18 การแสดงผลค่ากระแสไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่	66
4.19 การแสดงผลค่าสถานะของไดชาร์จ	66
4.20 การแสดงผลค่าปริมาณของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสีย	66
4.21 การแสดงผลค่าความชื้นของแผงควบคุม	66
4.22 การแสดงผลค่าอุณหภูมิของแผงควบคุม	67
4.23 การแสดงผลการทดสอบในรูปของกราฟบนเว็บไซต์	67
4.24 การแสดงผลการทดสอบในรูปของหน้าปัดบนเว็บไซต์	68
4.25 การแจ้งเตือนเมื่อปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงคงเหลือน้อยกว่า 20 ลิตร	70
4.26 การแจ้งเตือนเมื่ออุณหภูมิน้ำหล่อเย็นสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส	71
4.27 การแจ้งเตือนเมื่ออุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส	71
4.28 การแจ้งเตือนเมื่อความดันน้ำมันหล่อลื่นต่ำกว่า 1 บาร์	72
4.29 การแจ้งเตือนเมื่ออุณหภูมิโครงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส	72
4.30 การแจ้งเตือนเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ำกว่า 200 โวลต์	73
4.31 การแจ้งเตือนเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสูงกว่า 250 โวลต์	73
4.32 การแจ้งเตือนเมื่อกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสูงกว่า 40 แอมแปร์	74
4.33 การแจ้งเตือนเมื่อค่าตัวประกอบกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าน้อยกว่า 0.8	74
4.34 การแจ้งเตือนเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์ต่ำกว่า 1300 รอบต่อนาที	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.35 การแจ้งเตือนเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงกว่า 1700 รอบต่อนาที	75
4.36 การแจ้งเตือนเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ต่ำกว่า 11.5 โวลต์	76
4.37 การแจ้งเตือนเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่สูงกว่า 15 โวลต์	76
4.38 การแจ้งเตือนเมื่อไดชาร์จไม่ทำงานในขณะที่ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงาน	77
4.39 การแจ้งเตือนเมื่ออุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าวางลงดินมีการแจ้งเตือน	77
4.40 ปุ่มควบคุมการเปิดหรือปิดระบบตรวจติดตาม	78
4.41 ปุ่มควบคุมการเริ่มหรือหยุดเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	79
4.42 ปุ่มควบคุมการตัดต่อวงจรการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลด	79
4.43 ปุ่มหยุดเดินเครื่องฉุกเฉิน	80



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน	5
4.1 ผลการสอบเทียบการตรวจวัดอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น	56
4.2 ผลการสอบเทียบการตรวจวัดอุณหภูมิเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	57
4.3 ผลการสอบเทียบการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	57
4.4 ผลการสอบเทียบการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	57
4.5 ผลการสอบเทียบการตรวจวัดความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	58
4.6 ผลการสอบเทียบการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	58
4.7 ผลการสอบเทียบการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าปรากฏของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	58
4.8 ผลการสอบเทียบการตรวจวัดตัวประกอบกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	59
4.9 ผลการสอบเทียบการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่	59
4.10 ผลการสอบเทียบการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่	59
4.11 ข้อมูลผลการทดสอบที่บันทึกใน Micro SD card (ส่วนที่ 1)	61
4.12 ข้อมูลผลการทดสอบที่บันทึกใน Micro SD card (ส่วนที่ 2)	61

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้านับเป็นสิ่งจำเป็น เปรียบเสมือนปัจจัยที่ 5 ในการดำรงชีวิต ไม่ว่าจะเป็นการสื่อสาร การคมนาคม แม้แต่หลอดไฟที่ให้แสงสว่าง เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ล้วนแต่ต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้าในการทำงานทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีพื้นที่ห่างไกลสายส่ง หรือพื้นที่ทุรกันดารที่ระบบไฟฟ้ายังเข้าไม่ถึง โดยอาจจะสร้างพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานอื่นๆ เช่น จากพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม ซึ่งเป็นพลังงานธรรมชาติ โดยมีข้อเสียคือ มีความเสถียรน้อย เนื่องจากขึ้นอยู่กับปัจจัยทางธรรมชาติ นอกจากนี้ยังมีการใช้งานชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในพื้นที่ดังกล่าว เนื่องจากมีความเสถียรสูงกว่า สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน นอกจากนี้ยังมีความสำคัญในการผลิตไฟฟ้าสำรองให้กับอาคาร โรงพยาบาล โรงงานอุตสาหกรรม ฯลฯ เนื่องจากมีการตอบสนองต่อโหลดได้ดี สามารถทำงานได้ทันทีเมื่อแหล่งพลังงานไฟฟ้าหลักเกิดขัดข้อง เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายแก่สถานประกอบการนั้นๆ

ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าส่วนใหญ่นิยมใช้งาน จะเป็นชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบใช้เครื่องยนต์เป็นตัวสร้างพลังงานกลให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยในการใช้งานเครื่องยนต์จำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาตามระยะเวลาที่กำหนด และเพื่อตรวจสอบการทำงานหรือสถานะของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จำเป็นต้องอาศัยเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องในการดำเนินการตรวจสอบ ณ จุดที่ทำการติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น เช่น การตรวจวัดระดับน้ำมันเชื้อเพลิง เจ้าหน้าที่ต้องจุ่มแท่งวัดระดับน้ำมันเชื้อเพลิงในถังเก็บเชื้อเพลิง เป็นต้น ซึ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายและเกิดความลำบากแก่เจ้าหน้าที่ เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ที่จำเป็นจะต้องใช้ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นพื้นที่ห่างไกล

เมื่อพิจารณาถึงปัญหาที่จะเกิดขึ้นกับชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะจำแนกออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่หนึ่ง ส่วนของเครื่องยนต์ เช่น เครื่องยนต์ทำงานผิดปกติ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นหรืออุณหภูมิน้ำมันเครื่องสูงเกินไป ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ตก แบตเตอรี่มีประจุน้อย การสตาร์ทเครื่องยนต์ติดยาก ใช้เวลาในการสตาร์ทนาน เป็นต้น และในส่วนที่สอง ส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เช่น แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วสูงหรือต่ำกว่าพิกัด แรงดันไฟฟ้าไม่คงที่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความร้อนสูงกว่าปกติ เป็นต้น โดยปัญหาทั้งสองส่วนหากไม่ได้รับการแก้ไขได้ทันเวลา เพราะไม่มีระบบตรวจติดตามเลย อาจจะทำให้เกิดความเสียหายกับระบบได้

จากปัญหาที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นคณะผู้จัดทำจึงได้จัดทำระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขึ้นเพื่อให้สามารถตรวจสอบสถานะการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้โดยไม่ต้องอยู่ที่จุดติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น ทำให้ทราบถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นและวางแผนเข้าไปทำการบำรุงรักษาได้ทันท่วงที อีกทั้งยังเป็นการประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายสำหรับการดำเนินการตรวจสอบสถานะการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาและค้นคว้าหลักการการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
2. เพื่อศึกษาหลักการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับเซ็นเซอร์ชนิดต่างๆ
3. เพื่อศึกษาและค้นคว้าหลักการใช้งานเทคโนโลยี Internet of Things ในรูปแบบต่างๆ
4. เพื่อออกแบบระบบตรวจติดตามของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
5. เพื่อวิเคราะห์ประมวลผลความผิดปกติในการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากข้อมูลที่ได้จากระบบตรวจติดตามที่จัดทำขึ้น

## 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการนี้ คือ การออกแบบระบบตรวจติดตามชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ตรวจวัดได้มาแสดงถึงสถานะการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนดังนี้

- ระบบตรวจติดตามเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งจะติดตั้งระบบตรวจวัดปริมาณเชื้อเพลิงคงเหลือ ระบบตรวจวัดอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น ระบบตรวจวัดอุณหภูมิและความดันของน้ำมันหล่อลื่น ระบบตรวจวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ระบบตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ ระบบตรวจจับสถานะของไดชาร์จ ระบบตรวจวัดคุณภาพของไอเสีย ระบบตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นของแผงควบคุม

- ระบบตรวจติดตามเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะติดตั้งระบบตรวจวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบตรวจวัดความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบตรวจวัดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และค่าตัวประกอบกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบตรวจจับสถานะของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ระบบตรวจจับสถานะของอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าวัดดิน และระบบตรวจวัดอุณหภูมิโครงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

โดยที่ระบบตรวจติดตามชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้จะทำการรับส่งข้อมูลผ่านเทคโนโลยี Internet of Things มีการเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล ThingSpeak เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ประมวลผลการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หลังจากนั้นจะทำการแสดงผลผ่านทางเว็บไซต์ ซึ่งมีระบบแจ้งเตือนสถานะผิดปกติต่างๆ และมีระบบควบคุมจากระยะไกลซึ่งได้แก่ การควบคุมระบบตรวจติดตาม การควบคุมการเดินเครื่อง และการควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลต่างๆ ของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และสามารถควบคุมการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านทางคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์อัจฉริยะต่างๆ ได้

## 1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

### 1.4.1 ระบบตรวจติดตามเครื่องยนต์ดีเซล

ระบบตรวจติดตามเครื่องยนต์ดีเซลจะใช้บอร์ด Arduino Nano ในการรับค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดซึ่งติดตั้งตามจุดต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งได้แก่

1.4.1.1 เซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณเชื้อเพลิงคงเหลือ จะใช้ Float level switch โดยติดตั้งที่บริเวณด้านบนของถังเก็บเชื้อเพลิง

1.4.1.2 เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น จะใช้ Negative temperature coefficient Thermistor (NTC Thermistor) แบบ Screw type probe โดยติดตั้งที่ท่อขาเข้าของหม้อน้ำ

1.4.1.3 เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น จะใช้ NTC Thermistor แบบ Screw type probe เช่นเดียวกันกับเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น โดยติดตั้งที่ท่อลำเลียงน้ำมันหล่อลื่น

1.4.1.4 เซ็นเซอร์ตรวจวัดความดันน้ำมันหล่อลื่น จะใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดความดันของไหลแบบไฟฟ้า ซึ่งจะติดตั้งที่ท่อลำเลียงน้ำมันหล่อลื่น

1.4.1.5 เซ็นเซอร์ตรวจวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ จะใช้ Passive speed sensor ซึ่งในการนำมาตรวจวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ จะใช้เฟืองโลหะติดตั้งที่บริเวณเพลลาของโรเตอร์ ซึ่งเป็นวัตถุเป้าหมายของ Passive speed sensor

1.4.1.6 เซ็นเซอร์ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ จะใช้วงจรแบ่งแรงดัน (Voltage divider) โดยติดตั้งที่ขั้วของแบตเตอรี่

1.4.1.7 เซ็นเซอร์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ จะใช้ Hall Effect sensor ซึ่งติดตั้งโดยการคล้องที่สายไฟจากแบตเตอรี่ไปยังแผงควบคุมของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและไดชาร์จ

1.4.1.8 ระบบตรวจจับสถานะของไดชาร์จ จะใช้วงจรตามแรงดัน (Voltage follower) และวงจรแบ่งแรงดัน ซึ่งรับสัญญาณพัลส์แรงดันมาจากไดชาร์จ

1.4.1.9 เซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพไอเสีย จะใช้ MQ-9 Gas sensor ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์ตรวจวัดความหนาแน่นของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) โดยติดตั้งที่บริเวณท่อไอเสียของเครื่องยนต์

1.4.1.10 เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นของแผงควบคุม จะใช้ DHT22 Module ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นแบบดิจิทัล โดยติดตั้งภายในตู้ของระบบตรวจติดตาม

#### 1.4.2 ระบบตรวจติดตามเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ระบบตรวจติดตามเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะใช้บอร์ด Arduino Nano ในการรับค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดซึ่งติดตั้งตามจุดต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และใช้บอร์ดนี้ในการคำนวณหา กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และค่าตัวประกอบกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเซ็นเซอร์ที่มีการติดตั้งที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้แก่

1.4.2.1 เซ็นเซอร์ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะติดตั้งบริเวณ ขั้วสำหรับต่อสายไฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยอาศัยหม้อแปลงแรงดันและวงจรแบ่งแรงดัน เพื่อลดทอนแรงดัน จากนั้นจึงใช้วงจรชดเชยแรงดัน เพื่อให้บอร์ด Arduino Nano สามารถอ่านค่าและคำนวณหาค่าแรงดันที่วัดได้

1.4.2.2 เซ็นเซอร์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะติดตั้งบริเวณ ขั้วสำหรับต่อสายไฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยอาศัยหม้อแปลงกระแสและตัวต้านทานภาระ เพื่อลดทอนกระแสและเปลี่ยนเป็นค่าแรงดัน จากนั้นจึงใช้วงจรชดเชยแรงดัน เพื่อให้บอร์ด Arduino Nano สามารถอ่านค่าและคำนวณหาค่ากระแสที่วัดได้

1.4.2.3 เซ็นเซอร์ตรวจวัดความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะใช้วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage comparator) ซึ่งรับสัญญาณมาจากวงจรที่ใช้ในการตรวจวัดแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1.4.2.4 ระบบตรวจจับสถานะของเซอร์กิตเบรกเกอร์ จะใช้วงจรตามแรงดัน และวงจรแบ่งแรงดัน ซึ่งรับสัญญาณแรงดันมาจากขั้วของ Tripping coil ของเซอร์กิตเบรกเกอร์

1.4.2.5 ระบบตรวจจับสถานะของอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าวัดดิน จะใช้รีเลย์ 12V โดยรับสัญญาณมาจากอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าวัดดิน

1.4.2.6 เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิโครงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะใช้ NTC Thermistor แบบ Washer type probe โดยติดตั้งที่บริเวณพื้นผิวของโครงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

#### 1.4.3 ระบบเก็บข้อมูล

ระบบเก็บข้อมูลจะใช้บอร์ด Arduino Nano ในการบันทึกข้อมูลลง Micro SD card โดยใช้ Micro SD card module ร่วมกับ Real time clock module สำหรับการบันทึกข้อมูล ณ เวลาใดๆ เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ประมวลผลการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

#### 1.4.4 ระบบการส่งข้อมูล

ระบบการส่งข้อมูลจะใช้บอร์ด NodeMCU 1.0 (ESP-12E Module) ในการเชื่อมต่อกับเครือข่ายไร้สายโดยใช้คลื่นวิทยุ (Wi-Fi) ซึ่งจะทำให้สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ จากนั้นจึงทำการส่งข้อมูลต่างๆ ไปเก็บไว้ที่ฐานข้อมูล ThingSpeak เพื่อนำข้อมูลต่างๆ เหล่านั้นมาใช้ในการ

แสดงผลผ่านทางเว็บไซต์ นอกจากนี้จะใช้บอร์ดนี้ในการแจ้งเตือนสถานะผิดปกติต่างๆ ของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านทางแอปพลิเคชันทวิตเตอร์

ทั้งนี้การรับส่งข้อมูลระหว่างบอร์ดแต่ละบอร์ดจะใช้การรับส่งข้อมูลแบบไอส์แคร์วีซี หรือ Inter-integrated circuit (I<sup>2</sup>C) ซึ่งบอร์ดทั้งหมดจะเชื่อมต่อกันเป็นระบบบัสโดยใช้สายสัญญาณ 2 เส้น คือ Serial data line (SDA) สำหรับรับส่งข้อมูล และ Serial clock line (SCL) สำหรับส่งสัญญาณนาฬิกา โดยที่บอร์ด NodeMCU 1.0 (ESP-12E Module) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นมาสเตอร์ (Master) และบอร์ด Arduino Nano เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสเลฟ (Slave)

#### 1.4.5 ระบบควบคุมจากระยะไกล

ระบบควบคุมจากระยะไกลจะใช้บอร์ด NodeMCU 1.0 (ESP-12E Module) ในการควบคุมรีเลย์ 5V และการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต จากนั้นจึงใช้แอปพลิเคชันบลิงค์ในการควบคุมบอร์ดนี้ผ่านอุปกรณ์อัจฉริยะต่างๆ จากระยะไกลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

### 1.5 แผนการดำเนินโครงการ

#### ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินโครงการ

การดำเนินงาน	ภาคเรียนที่ 1/2560				ภาคเรียนที่ 2/2560		
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษาหลักการการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า							
2. ศึกษาและออกแบบวิธีการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า							
3. ศึกษาวิธีการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับเซ็นเซอร์ชนิดต่างๆ							
4. จัดทำแบบจำลองเพื่อทดสอบการใช้งานเซ็นเซอร์ชนิดต่างๆ							
5. ศึกษาวิธีการรับส่งข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตโดยใช้ฐานข้อมูล ThingSpeak							
6. ศึกษาและออกแบบระบบการแสดงผลผ่านทางเว็บไซต์							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานโครงการ (ต่อ)

การดำเนินงาน	ภาคเรียนที่ 1/2560				ภาคเรียนที่ 2/2560		
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
7. นำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและติดตั้งระบบตรวจติดตามเข้ากับชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า							
8. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า							
9. ศึกษาและออกแบบจัดทำระบบการแจ้งเตือนสถานะการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านทางแอปพลิเคชันทวิตเตอร์							
10. รวบรวมข้อมูลและจัดทำปริญญานิพนธ์							

## 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1. สามารถเข้าใจถึงหลักการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
2. สามารถเข้าใจการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับเซ็นเซอร์ชนิดต่างๆ
3. สามารถใช้งานเทคโนโลยี Internet of Things ในรูปแบบต่างๆ ได้
4. สามารถตรวจสอบสถานะของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านทางเทคโนโลยี Internet of Things ได้
5. สามารถตรวจสอบสถานะการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการตรวจสอบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

##### 2.1.1 องค์ประกอบของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลักในพื้นที่ห่างไกลและเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรองในสถานที่ต่างๆ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการหรือระบบไฟฟ้าในบริเวณนั้นเกิดการขัดข้อง ซึ่งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมี 2 ส่วนที่สำคัญ คือ เครื่องยนต์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยเครื่องยนต์ทำหน้าที่สร้างต้นกำลังทางกลให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเปลี่ยนพลังงานทางกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

2.1.1.1 เครื่องยนต์ โดยขนาดของเครื่องยนต์จะขึ้นอยู่กับพลังงานสูงสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถผลิตได้ ชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่องยนต์มีหลายชนิด เช่น ดีเซล เบนซิน หรือแก๊สธรรมชาติ เครื่องยนต์ขนาดเล็กส่วนใหญ่จะใช้เบนซินเป็นเชื้อเพลิง ในขณะที่เครื่องยนต์ขนาดใหญ่จะใช้ดีเซลหรือแก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง

2.1.1.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำหน้าที่เปลี่ยนต้นกำลังทางกลเป็นกำลังไฟฟ้า ซึ่งปัจจุบันเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีหลายชนิด แต่โดยทั่วไปเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส (Synchronous generator) ซึ่งอาศัยหลักการของ ไมเคิลฟาราเดย์ คือ โรเตอร์จะสร้างสนามแม่เหล็กหมุนตัดผ่านขดลวดสเตเตอร์เพื่อทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดสเตเตอร์

2.1.1.3 ระบบเชื้อเพลิง ซึ่งโดยทั่วไปถังเชื้อเพลิงจะสามารถเก็บเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเดินเครื่องของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้เฉลี่ยเป็นเวลา 6 ถึง 8 ชั่วโมง ในชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กนั้น ถังเชื้อเพลิงจะอยู่ด้านบนของโครงชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งมีส่วนประกอบโดยทั่วไปดังนี้

- ท่อส่งผ่านเชื้อเพลิง ได้แก่ท่อส่งเชื้อเพลิงจากถังเชื้อเพลิงไปที่เครื่องยนต์ และท่อส่งเชื้อเพลิงจากเครื่องยนต์กลับมาที่ถังเชื้อเพลิง

- ตัวกรองเชื้อเพลิง มีหน้าที่แยกน้ำและสารแปลกปลอมออกจากเชื้อเพลิงเพื่อป้องกันส่วนต่างๆ ของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากการสึกหรอหรือการปนเปื้อน

- หัวฉีดเชื้อเพลิง มีหน้าที่ฉีดละอองเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ในเครื่องยนต์

- ท่อระบายอากาศของถังเชื้อเพลิง มีหน้าที่ป้องกันความดันที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการเติมหรือการระบายออกของเชื้อเพลิง

- บั๊มเชื้อเพลิง ในกรณีที่มีถังเก็บเชื้อเพลิงหลักที่ใช้งานในแต่ละวันและถังเก็บเชื้อเพลิงสำรอง เชื้อเพลิงจะถูกปั๊มจากถังเชื้อเพลิงสำรองไปที่ถังเชื้อเพลิงหลักที่ใช้งานในแต่ละวัน

- ท่อระบายออกของเชื้อเพลิง ใช้ในการระบายการล้นของเชื้อเพลิง เพื่อป้องกันการล้นของของเหลวขณะเติมเชื้อเพลิงไปที่ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.1.1.4 ระบบหล่อเย็นและระบบระบายอากาศ เนื่องจากการใช้งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นระยะเวลานานอย่างต่อเนื่อง จะทำให้อุปกรณ์ต่างๆ เกิดความร้อนขึ้น ดังนั้นระบบหล่อเย็นและระบบระบายอากาศจึงมีความจำเป็นอย่างมากในการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกำลังไฟฟ้า น้ำถูกใช้เป็นสารหล่อเย็นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก และไฮโดรเจนถูกใช้เป็นสารหล่อเย็นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่เพราะไฮโดรเจนมีประสิทธิภาพในการดูดซับความร้อนมากกว่าสารหล่อเย็นชนิดอื่นๆ และโดยทั่วไปชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีพัดลมระบายอากาศติดอยู่เพื่อช่วยระบายความร้อนในเบื้องต้น

2.1.1.5 ระบบไอเสีย ซึ่งท่อไอเสียโดยทั่วไปจะทำจากเหล็กหล่อหรือเหล็กกล้า โดยท่อไอเสียจะยึดติดกับเครื่องยนต์ด้วยตัวยึดที่มีความยืดหยุ่นเพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนและความเสียหายกับระบบไอเสีย

2.1.1.6 ระบบหล่อลื่น เนื่องจากชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประกอบไปด้วยส่วนที่เคลื่อนที่ต่างๆ ดังนั้นระบบหล่อลื่นจึงมีความจำเป็นเพื่อป้องกันการเสียดสี การสึกหรอ และเพื่อให้ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน โดยเครื่องยนต์จะถูกหล่อลื่นด้วยน้ำมัน ควรตรวจสอบระดับของน้ำมันหล่อลื่นทุกๆ 8 ชั่วโมงการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และควรตรวจสอบการรั่วไหลของน้ำมันหล่อลื่นทุก 500 ชั่วโมงการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.1.1.7 ตัวชาร์จแบตเตอรี่ ทำหน้าที่ชาร์จไฟเข้าแบตเตอรี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เนื่องจากในการเริ่มต้นการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นจะใช้แบตเตอรี่ในการสตาร์ท

2.1.1.8 หน้าปัดควบคุม มีหน้าที่แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และรับคำสั่งการควบคุมจากผู้ใช้งานมีคุณสมบัติแตกต่างกันขึ้นอยู่กับผู้ผลิต เช่น

- หน้าปัดควบคุมเกี่ยวกับการเดินเครื่องและการหยุดเดินเครื่อง ซึ่งสามารถควบคุมให้เดินเครื่องในเวลาที่กำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการ และควบคุมให้หยุดเดินเครื่องเมื่อไม่ต้องการได้

- หน้าปัดแสดงค่าพารามิเตอร์ของเครื่องยนต์ เช่น ความดันของน้ำมันหล่อลื่น อุณหภูมิของสารหล่อเย็น แรงดันของแบตเตอรี่ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ระยะเวลาการทำงานของเครื่องยนต์ โดยเมื่อค่าพารามิเตอร์ที่ตรวจสอบมีค่าเกินกว่าหรือต่ำกว่าค่าที่กำหนดระบบจะสั่งให้ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหยุดทำงาน

- หน้าปัดควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เช่น แสดงค่าแรงดันขาออกและความถี่

- หน้าปัดควบคุมอื่นๆ

2.1.1.9 โครงชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีหน้าที่รองรับและป้องกันอุปกรณ์ต่างๆ ของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยจะต้องมีการต่อลงดินเพื่อความปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.2 หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นเครื่องจักรกลที่เปลี่ยนรูปพลังงาน จากพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการที่เรียกว่า กฎของฟาราเดย์ คือ แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำจะถูกสร้างขึ้นในตัวนำ เมื่อตัวนำอยู่ในสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งก็คือการหมุนของขดลวดตัดผ่านสนามแม่เหล็ก หรือการหมุนสนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวด พิกัดกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะบอกเป็นโวลต์-แอมป์ (VA) ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าปรากฏที่เครื่องจ่ายออกมา

## 2.1.3 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่กับที่หรือสเตเตอร์ และส่วนที่เคลื่อนที่หรือโรเตอร์

2.1.3.1 ส่วนที่อยู่กับที่หรือสเตเตอร์ (Stator) ประกอบด้วย โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Frame or yoke) แกนเหล็กสเตเตอร์ (Stator core) และขดลวดสเตเตอร์ (Stator winding)

2.1.3.2 ส่วนที่เคลื่อนที่หรือโรเตอร์ (Rotor) ประกอบด้วย เพลาของโรเตอร์ (Shaft) และขดลวดโรเตอร์ (Rotor winding) หรือ แม่เหล็กถาวร (Permanent magnet)

## 2.1.4 ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.1.4.1 จำแนกตามลักษณะกระแสที่สร้างขึ้น ได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternator) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (Dynamo)

2.1.4.2 จำแนกตามจำนวนเฟสของระบบไฟฟ้า ได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิด 1 เฟส (Single-phase generator) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิด 3 เฟส (Three-phase generator)

2.1.4.3 จำแนกตามลักษณะของขดลวดสนามแม่เหล็กที่กระทำกับขดลวดสเตเตอร์ ได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดขดลวดสนามแม่เหล็กอยู่กับที่ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดขดลวดสนามแม่เหล็กหมุน

2.1.4.4 จำแนกตามพิกัดกำลังใช้งาน ได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดกลาง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่

2.1.4.5 จำแนกตามลักษณะการนำไปใช้งาน ได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดสำรอง (Standby generator type) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดสำรองต่อเนื่อง (Continuous generator type) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดจ่ายกำลังหลัก (Base load generator)

2.1.4.6 แบ่งตามลักษณะการออกแบบ ได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดเปลือยติดตั้งอยู่กับที่ (Bare generator) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดตู้ครอบเก็บเสียง (Canopied and sound proof) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดเคลื่อนย้าย (Mobile generator trailer)

### 2.1.5 หลักการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้า

ในกรณีที่ต้องการนำชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาใช้ในการผลิตกำลังไฟฟ้าและจ่ายโหลดร่วมกับระบบไฟฟ้า จะต้องมีการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้า ซึ่งมีหลักการดังนี้

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับระบบไฟฟ้าต้องมีลำดับเฟสเหมือนกัน
- ขนาดของแรงดันจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบไฟฟ้าต้องมีขนาดเท่ากัน
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบไฟฟ้าต้องมีความถี่เท่ากัน
- มุมต่างเฟสระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบไฟฟ้าต้องมีค่าเท่ากับศูนย์

## 2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์

### 2.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) คือ คอมพิวเตอร์ขนาดเล็กซึ่งอยู่ในรูปแบบของวงจรรวม หรือ Integrated circuit (IC) เป็นอุปกรณ์ที่ถูกพัฒนาขึ้นให้มีความสามารถในการคำนวณ ประมวลผล และการตัดสินใจต่างๆ ซึ่งใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบ โดยสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดรูปแบบการควบคุมได้อย่างอิสระตามความต้องการของผู้ใช้งาน

ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะประกอบไปด้วย 4 ส่วนสำคัญดังนี้

- หน่วยประมวลผลกลาง หรือ Central processing unit (CPU) คือ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ มีหน้าที่ในการประมวลผล ซึ่งจะทำงานตามชุดคำสั่งของโปรแกรม โดยไมโครคอนโทรลเลอร์หนึ่งตัวอาจจะมีหน่วยประมวลผลกลางมากกว่าหนึ่งหน่วยได้
- หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) คือ หน่วยความจำที่ใช้สำหรับเก็บรวบรวมชุดคำสั่ง หรือโปรแกรมที่ผู้ใช้งานเขียนขึ้น
- หน่วยความจำข้อมูล (Data memory) คือ หน่วยความจำที่ใช้สำหรับเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล
- อินพุต/เอาต์พุต พอร์ต (I/O ports) คือ ส่วนที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก เพื่อรับหรือส่งข้อมูล เช่น การเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์เพื่อรับสัญญาณหรือข้อมูลต่างๆ หรือการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์แสดงผลต่างๆ

นอกจากส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วนข้างต้นแล้ว การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์จำเป็นต้องอาศัยสัญญาณนาฬิกา (Clock) สำหรับการกำหนดจังหวะในการประมวลผล และการคำนวณต่างๆ ดังนั้นการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องมีการต่อกับอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณนาฬิกา

ในอดีตการเขียนโปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์จะเขียนด้วยภาษาแอสเซมบลี (Assembly) เท่านั้น แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาภาษาระดับสูง (High-level language) สำหรับการเขียนโปรแกรม เช่น ภาษาซี (C), ภาษาไพธอน (Python), จาวาสคริปต์

(JavaScript) เป็นต้น ซึ่งเป็นภาษาที่มีลักษณะใกล้เคียงกับภาษามนุษย์ ทำให้ปัจจุบันการเขียนโปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำได้ง่ายและสะดวกมากยิ่งขึ้น

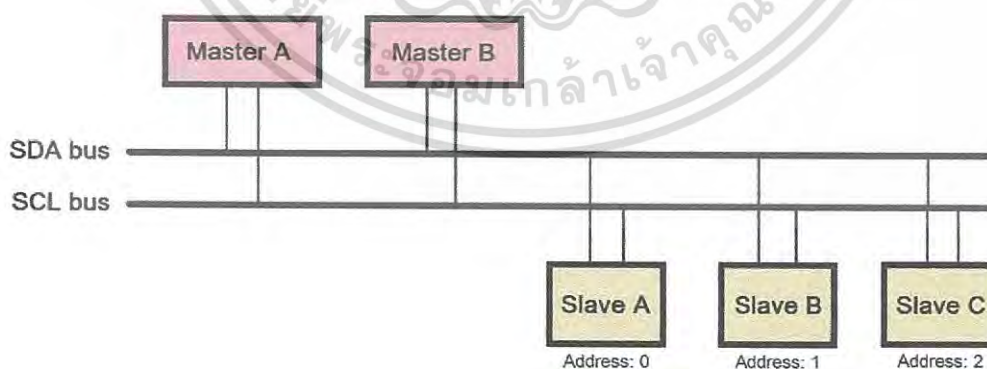
การนำโปรแกรมที่ผู้ใช้งานเขียนขึ้นส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องใช้คอมไพเลอร์ (Compiler) ในการแปลภาษาระดับสูงให้เป็นภาษาระดับต่ำ (Low-level language) หรือภาษาเครื่อง (Machine code) เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องตามความต้องการของผู้ใช้งาน

## 2.2.2 การสื่อสารในรูปแบบไอสแควร์ซี

ไอสแควร์ซี หรือ Inter-integrated circuit (I<sup>2</sup>C) คือ ระบบการสื่อสารของคอมพิวเตอร์รูปแบบหนึ่ง ซึ่งเป็นระบบการสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัส (Synchronous serial transmission) ดังรูปที่ 2.1 กล่าวคือเป็นระบบการสื่อสารที่ใช้สัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูล โดยมีลักษณะเด่นคือ มีการเชื่อมต่อกันเป็นระบบบัส ทำให้สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์หลายๆ อุปกรณ์ได้พร้อมกัน ซึ่งจะมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นมาสเตอร์ (Master) และอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสเลฟ (Slave)

- อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นมาสเตอร์ คือ อุปกรณ์ที่จะส่งสัญญาณสำหรับเริ่มทำการรับส่งข้อมูล สร้างสัญญาณนาฬิกา และส่งสัญญาณสำหรับสิ้นสุดการรับส่งข้อมูล

- อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสเลฟ คือ อุปกรณ์ที่จะถูกกำหนดแอดเดรส (Address) โดยมาสเตอร์ ซึ่งอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสเลฟแต่ละอุปกรณ์จะต้องมีแอดเดรสแตกต่างกัน เพื่อใช้สำหรับการติดต่อสื่อสาร โดยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นมาสเตอร์จะสามารถเลือกสเลฟที่ต้องการทำการรับส่งข้อมูลได้



รูปที่ 2.1 การเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบ I<sup>2</sup>C bus

การสื่อสารในรูปแบบไอสแควร์ซี จะใช้สายสัญญาณ 2 เส้น คือ สายสัญญาณข้อมูล หรือ Serial data line (SDA) และ สายสัญญาณนาฬิกา หรือ Serial clock line (SCL) ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายสัญญาณทั้ง 2 เส้นนี้เป็นสายสัญญาณแบบสองทิศทาง (Bidirectional line) โดยที่ความเร็วในการรับส่งข้อมูลจะขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณนาฬิกา

ในกรณีที่ระบบมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นมาสเตอร์มากกว่าหนึ่งอุปกรณ์ จะต้องมีการประสานสัญญาณนาฬิกา (Clock synchronization) ระบบจึงจะสามารถทำงานได้

## 2.3 เซ็นเซอร์

### 2.3.1 สวิตช์ลुकลอย

สวิตช์ลुकลอย (Float level switch) คือ เซ็นเซอร์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดระดับของเหลว ซึ่งมีหลักการการทำงานคือ เมื่อระดับของเหลวภายในภาชนะที่บรรจุมีการเปลี่ยนแปลง จะส่งผลให้ตำแหน่งของลुकลอยมีการเปลี่ยนแปลง โดยที่ก้านของลुकลอยจะหมุนปรับค่าความต้านทานของตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ ทำให้ค่าความต้านทานมีการเปลี่ยนแปลงตามระดับของเหลวนั้น หลักการทำงานพื้นฐานของสวิตช์ลुकลอยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของสวิตช์ลुकลอย

(Source: <http://vakratoond.com/instrumentation>)

### 2.3.2 เทอร์มิสเตอร์

เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor) คือตัวต้านทานชนิดหนึ่งซึ่งค่าความต้านทานจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงจะทำให้ค่าความต้านทานมีค่าเปลี่ยนแปลงไป โดยที่เทอร์มิสเตอร์จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานมากกว่าตัวต้านทานโดยทั่วไป (ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูงกว่าตัวต้านทานโดยทั่วไป) เทอร์มิสเตอร์ถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง อาทิ อุปกรณ์จำกัดกระแสไฟฟ้ากระชาก (Inrush current limiter), เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ (Temperature sensor), อุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินชนิดสามารถรีเซ็ตได้ด้วยตัวเอง (Self-resetting overcurrent protector) เป็นต้น

เทอร์มิสเตอร์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ซึ่งได้แก่

- เทอร์มิสเตอร์ชนิดค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเป็นลบ หรือ Negative temperature coefficient (NTC) คือเทอร์มิสเตอร์ที่ค่าความต้านทานจะมีค่าแปรผกผันกับอุณหภูมิ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความต้านทานจะมีค่าลดลง หรือในทางกลับกัน เมื่ออุณหภูมิต่ำลง ค่าความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้านทานจะมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเทอร์มิสเตอร์ชนิดนี้นิยมนำมาใช้งานเป็นอุปกรณ์จำกัดกระแสไฟฟ้า กระชาก หรือเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ

- เทอร์มิสเตอร์ชนิดค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเป็นบวก หรือ Positive temperature coefficient (PTC) คือเทอร์มิสเตอร์ที่ค่าความต้านทานจะมีค่าแปรผันตรงกับอุณหภูมิ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความต้านทานจะมีค่าเพิ่มขึ้น หรือในทางกลับกัน เมื่ออุณหภูมิต่ำลง ค่าความต้านทานจะมีค่าลดลง ซึ่งเทอร์มิสเตอร์ชนิดนี้นิยมนำมาใช้งานเป็นอุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกิน ชนิดสามารถรีเซ็ตได้ด้วยตัวเอง

ความแตกต่างระหว่างเทอร์มิสเตอร์กับอาร์ทีดี หรือ Resistance temperature detector (RTD) คือวัสดุที่นำมาใช้ ซึ่งโดยทั่วไปเทอร์มิสเตอร์จะทำมาจากเซรามิก (Ceramic) หรือ พอลิเมอร์ (Polymer) ในขณะที่อาร์ทีดีจะทำมาจากโลหะบริสุทธิ์ ดังนั้นจึงทำให้การตอบสนองต่ออุณหภูมิมีความแตกต่างกัน โดยที่อาร์ทีดีจะสามารถใช้งานในช่วงอุณหภูมิที่กว้างกว่าได้ ส่วนเทอร์มิสเตอร์จะมีความแม่นยำสูงกว่าแต่สามารถใช้งานในช่วงอุณหภูมิที่แคบกว่า ซึ่งประมาณ  $-90^{\circ}\text{C}$  ถึง  $130^{\circ}\text{C}$

การประมาณความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานและอุณหภูมิแบบเชิงเส้นนั้นจะมีความถูกต้องเฉพาะในช่วงอุณหภูมิแคบๆ เท่านั้น ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงนิยมใช้การประมาณความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานและอุณหภูมิด้วยสมการ Steinhart-Hart ซึ่งเป็นสมการกำลังสาม ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.1

$$\frac{1}{T} = A + B \ln R + C(\ln R)^3 \quad (2.1)$$

โดยที่

$A$ ,  $B$  และ  $C$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ Steinhart-Hart ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของเทอร์มิสเตอร์แต่ละตัว

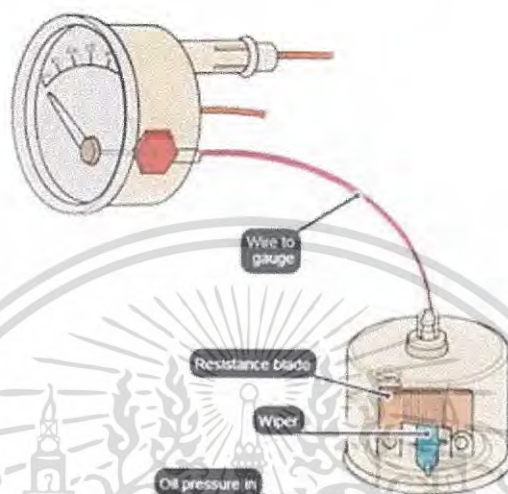
$T$  คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ มีหน่วยเป็นเคลวิน (K)

$R$  คือ ค่าความต้านทาน มีหน่วยเป็นโอห์ม ( $\Omega$ )

### 2.3.3 เซ็นเซอร์ตรวจวัดความดันของไหล

เซ็นเซอร์ตรวจวัดความดันของไหล (Pressure sensor) จะมีหลักๆ ด้วยกันสองแบบ คือ แบบใช้กลไก และ แบบไฟฟ้า โดยเซ็นเซอร์วัดความดันรูปแบบไฟฟ้าดังรูปที่ 2.3 ตัวเซ็นเซอร์จะเป็นเสมือนตัวต้านทานปรับค่าได้ โดยค่าความต้านทานจะขึ้นอยู่กับค่าความดันของของไหล มีหลักการทำงานคือ ของไหลที่จะทำการวัดจะเข้าที่ท่อด้านล่างเซ็นเซอร์ ภายในจะมีแผ่นไดอะแฟรมที่จะขยับตามความดันของของไหล และมีก้านที่ต่ออยู่กับแผ่นไดอะแฟรม ซึ่งก้านเดียวกันนี้จะขยับขึ้น

หรือลงตามแถบความต้านทาน โดยตัวต้านทานจะต่อกับสายไฟออกจากเซ็นเซอร์ ซึ่งเมื่อความดันสูงขึ้นทำให้ไดอะแฟรมยกตัว ก้านเคลื่อนที่ที่จะขยับขึ้น ทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลง การประยุกต์นำเซ็นเซอร์ชนิดนี้ไปใช้งาน ได้แก่ Oil pressure sensor หรือ Fuel pressure sensor ของเครื่องยนต์ เป็นต้น

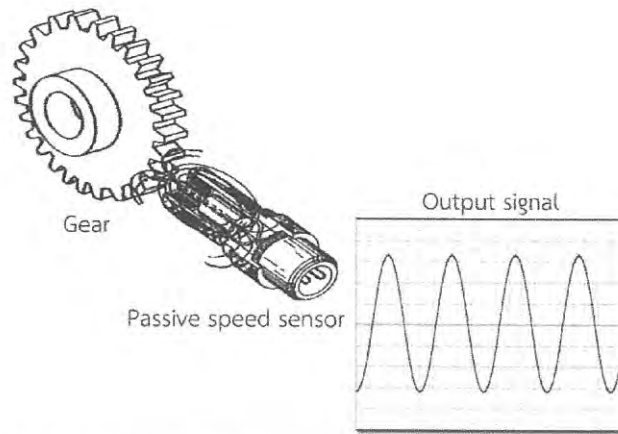


รูปที่ 2.3 เซ็นเซอร์ตรวจวัดความดันของไหลแบบไฟฟ้า

(Source: <https://www.howacarworks.com/illustrations/electric-sensor-units>)

#### 2.3.4 เซ็นเซอร์ตรวจวัดความเร็วชนิดพาสซีฟ

เซ็นเซอร์ตรวจวัดความเร็วชนิดพาสซีฟ (Passive speed sensor) คือ เซ็นเซอร์ตรวจวัดความเร็วที่ไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากภายนอก โดยมีแม่เหล็กถาวรทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กที่มีค่าคงที่ค่าหนึ่ง เมื่อมีวัตถุซึ่งเป็นสารแม่เหล็กเข้ามาที่บริเวณขั้วแม่เหล็กของเซ็นเซอร์ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กในสนามแม่เหล็กนั้น ส่งผลให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดลวดซึ่งเชื่อมต่อกับขั้วเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ สัญญาณเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ชนิดนี้จึงมีลักษณะเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ โดยที่ขนาดและความถี่ของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับความเร็วของอุปกรณ์ที่ทำการตรวจวัด ถ้าหากวัตถุเป้าหมายที่ทำการตรวจวัดมีลักษณะเป็นเฟืองจะทำให้สัญญาณเอาต์พุตที่ได้มีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์ ดังแสดงในรูปที่ 2.4

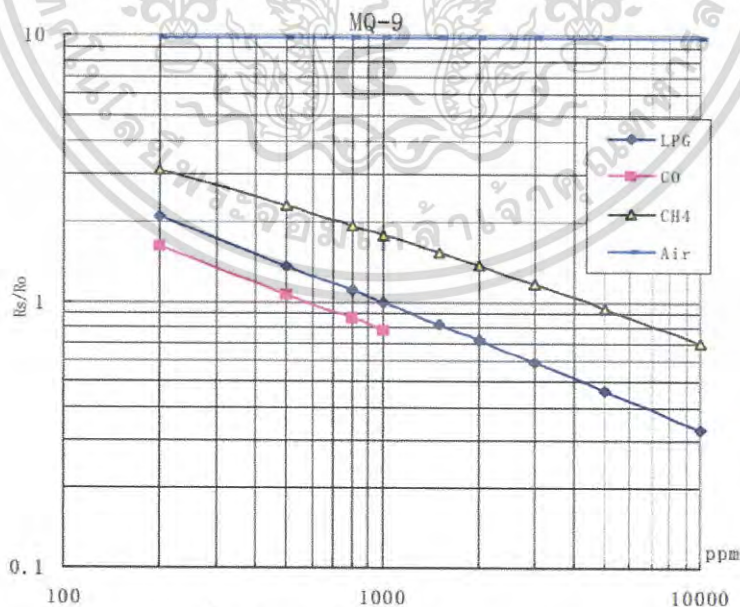


รูปที่ 2.4 สัญญาณเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ตรวจวัดความเร็วชนิดพาสซีฟ

(Source: <http://www.forberg.com/how-variable-reluctance-speed-sensors-work/>)

### 2.3.5 เซ็นเซอร์ตรวจวัดความหนาแน่นของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

เซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดความหนาแน่นของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ คือ MQ-9 Gas sensor โดยเซ็นเซอร์ชนิดนี้จะอาศัยการเกิดปฏิกิริยาของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์กับความร้อนที่ลดลง ทำให้เกิดค่าความต้านทาน ( $R_s$ ) ขึ้น ซึ่งปริมาณของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์จะแปรผกผันกับค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ในสถานะที่อุณหภูมิเท่ากับ  $20^\circ\text{C}$  ความชื้นเท่ากับ 65% และความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 21% เมื่อกำหนดให้  $R_o$  คือ ค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์เมื่อความหนาแน่นของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เท่ากับ 100 ppm ในอากาศบริสุทธิ์

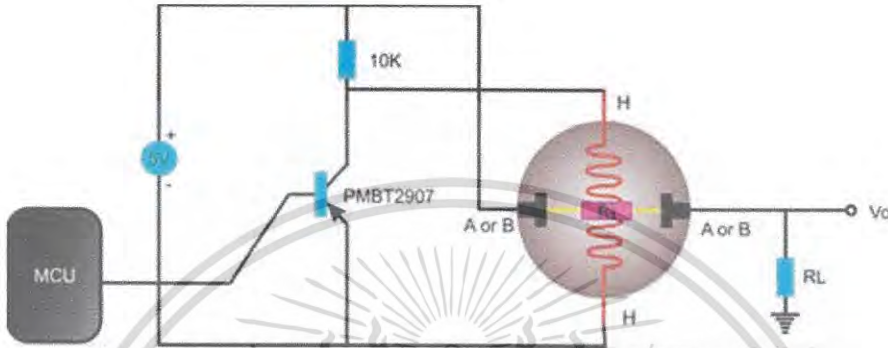


รูปที่ 2.5 กราฟคุณลักษณะของ MQ-9

(Source: <https://www.elecrow.com/wiki/images/f/f2/MQ-9.pdf>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซ็นเซอร์ชนิดนี้จะทำงานโดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดความร้อน (Heater) เพื่อสร้างความร้อนเป็นระยะเวลา 60 วินาที และหยุดจ่ายแรงดันไฟฟ้าเป็นระยะเวลา 90 วินาที เช่นนี้สลับกันไป โดยในช่วงเวลา 90 วินาทีที่หยุดจ่ายแรงดันไฟฟ้านี้จะเป็นช่วงที่ใช้สำหรับการวัดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยการวัดค่าความต้านทานพื้นผิว ( $R_s$ ) ที่เกิดขึ้น ซึ่งวงจรการใช้งานพื้นฐานสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 วงจรการใช้งานพื้นฐานสำหรับ MQ-9  
(Source: <http://www.thaieasyelec.com>)

### 2.3.6 เซ็นเซอร์ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

เซ็นเซอร์ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จะใช้หลักการของวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage divider) เป็นวงจรที่ใช้สำหรับแบ่งแรงดันตามอัตราส่วนของตัวต้านทานทั้ง 2 ตัวที่นำมาต่ออนุกรมกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 วงจรการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ต้องการวัดได้จากสมการที่ 2.2

$$V_{dc} = \left( \frac{R_1 + R_2}{R_2} \right) V_{R2} \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.7 เซ็นเซอร์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง

เซ็นเซอร์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้โดยทั่วไป ซึ่งอุปกรณ์นี้จะใช้ในการวัดค่าของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอยู่ภายในสายตัวนำ โดยการนำตัวเซ็นเซอร์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงต่อเข้ากับวงจรไฟฟ้า ณ บริเวณที่ต้องการทราบค่า

เซ็นเซอร์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งได้เป็น 2 ชนิด

- เซ็นเซอร์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้าโดยใช้ตัวต้านทาน (Current sensing resistors)

ซึ่งมีหลักการทำงาน คือ จะทำการต่ออนุกรมตัวต้านทานที่มีค่าน้อยมากเข้าไปบริเวณที่ต้องการจะวัดค่ากระแสไฟฟ้า เรียกว่า ชันท์ (Shunt) เพื่อที่จะไม่กระทบกับค่าของกระแสไฟฟ้าในวงจร และนำโวลต์มิเตอร์มาต่อขนานกับชันท์เพื่อที่จะวัดแรงดันตกคร่อมของชันท์ และนำค่าแรงดันตกคร่อมชันท์ที่ได้คำนวณกลับออกมาเป็นกระแสจากกฎของโอห์ม (Ohm's law) ดังสมการที่ 2.3

$$I = \frac{V_{shunt}}{R_{shunt}}$$

(2.3)

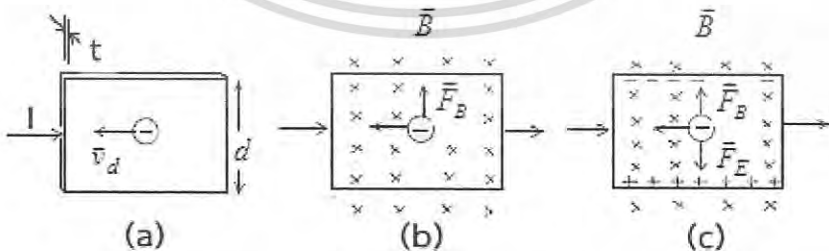
โดยที่

$I$  คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร มีหน่วยเป็นแอมป์ (A)

$V_{shunt}$  คือ แรงดันตกคร่อมของชันท์ มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

$R_{shunt}$  คือ ค่าความต้านทานของชันท์ มีหน่วยเป็นโอห์ม ( $\Omega$ )

- เซ็นเซอร์ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect sensor) ปรากฏการณ์ฮอลล์ถูกค้นพบในปี 1879 โดยนายเอ็ดวิน เฮอร์เบิร์ต ฮอลล์ (Edwin Herbert Hall) ซึ่งพบว่า เมื่อนำแผ่นตัวนำบางไปวางในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก จะทำให้พาหะประจุ (Charge carriers) ที่วิ่งอยู่ภายในตัวนำจะเลี้ยวเบนออกจากแนวเดิม ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าในทิศตั้งฉากกับทิศทางของกระแสไฟฟ้า ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect)



รูปที่ 2.8 (a)-(c) แสดงการเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์

(Source: <https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet3/saowalak/hall/hall.htm>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.8 (a) เมื่อมีกระแสไหลผ่านแผ่นตัวนำบาง จะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่สวนทางกับกระแสด้วยอัตราเร็วลอยเลื่อน (Drift velocity:  $\vec{v}_d$ )

จากรูปที่ 2.8 (b) เมื่อนำแผ่นตัวนำบางเข้าไปบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กในทิศพุ่งเข้าและตั้งฉากกับระนาบแผ่นตัวนำบาง จะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กมากระทำกับอิเล็กตรอน ส่งผลให้อิเล็กตรอนเบนออกไปในทิศทางตามแนวแรงแม่เหล็ก ซึ่งแรงแม่เหล็กสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.4

$$\vec{F}_B = q\vec{v}_d \times \vec{B} \quad (2.4)$$

โดยที่

$\vec{F}_B$  คือ แรงที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

$q$  คือ ประจุพาหะ มีหน่วยเป็นคูลอมบ์ (C)

$\vec{v}_d$  คือ ความเร็วลอยเลื่อน มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)

$\vec{B}$  คือ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเทสลา (T)

รูปที่ 2.8 (c) แรงแม่เหล็กจะผลักอิเล็กตรอนไปบริเวณขอบด้านหนึ่งทำให้เกิดเป็นประจุลบจำนวนมาก และขอบอีกด้านหนึ่งจะกลายเป็นประจุบวกที่จำนวนเท่ากัน ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า เรียกว่า สนามไฟฟ้าฮอลล์ (Hall field:  $E_H$ ) ในแผ่นตัวนำบางมีทิศทางจากประจุบวกไปหาประจุลบ ซึ่งสนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดแรงไฟฟ้า ( $\vec{F}_E$ ) กระทำกับอิเล็กตรอน และเมื่อแรงไฟฟ้าเท่ากับแรงทางแม่เหล็ก จะทำให้อิเล็กตรอนวิ่งในทิศทางสวนกับกระแสไฟฟ้าโดยไม่เลี้ยวเบน

สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้เกิดความต่างศักย์ฮอลล์ (Hall potential difference หรือ Hall voltage:  $V_H$ ) ตามความสัมพันธ์ซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ 2.5

$$V_H = E_H d \quad (2.5)$$

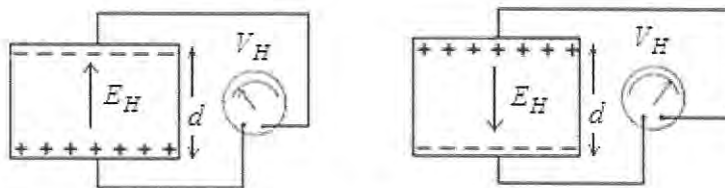
โดยที่

$V_H$  คือ ความต่างศักย์ฮอลล์ มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

$E_H$  คือ สนามไฟฟ้าฮอลล์ มีหน่วยเป็นนิวตันต่อคูลอมบ์ (N/C)

$d$  คือ ความกว้างของแผ่นตัวนำบาง มีหน่วยเป็นเมตร (m)

โดยสามารถวัดค่าของความต่างศักย์ฮอลล์ได้ โดยการต่อโวลต์มิเตอร์คร่อมตัวนำบางที่จุดที่ประจุบวกไปรวมกัน (ขั้วบวก) และจุดที่ประจุลบไปรวมกัน (ขั้วลบ) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าของความต่างศักย์ฮอลล์และค่าของกระแสไฟฟ้าที่ต้องการวัด (กระแสไฟฟ้าซึ่งสร้างสนามแม่เหล็ก) จะสามารถคำนวณหาค่าของกระแสไฟฟ้าที่ต้องการวัดได้



รูปที่ 2.9 การวัดค่าความต่างศักย์ฮอลล์

(Source: <https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet3/saowalak/hal/hall.htm>)

### 2.3.8 เซ็นเซอร์ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

เซ็นเซอร์ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ มีส่วนประกอบหลักคือ หม้อแปลงแรงดัน และวงจรแบ่งแรงดัน

2.3.8.1 หม้อแปลงแรงดัน หรือ Voltage Transformer (VT) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าโดยทั่วไป ซึ่งใช้สำหรับลดระดับแรงดันไฟฟ้าให้สามารถใช้งานกับอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่มีพิกัดแรงดันต่ำได้ โดยอาศัยหลักการของแม่เหล็กไฟฟ้าตามกฎของฟาราเดย์ (Faraday's law) คือเมื่อขดลวดปฐมภูมิได้รับแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ จะทำให้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นที่ขดลวดทุติยภูมิ ซึ่งสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติอัตราส่วนระหว่างขนาดของแรงดันไฟฟ้าปฐมภูมิและขนาดของแรงดันไฟฟ้าทุติยภูมิจะมีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2.6

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.6)$$

โดยที่

$V_1$  คือ ขนาดของแรงดันไฟฟ้าปฐมภูมิ

$V_2$  คือ ขนาดของแรงดันไฟฟ้าทุติยภูมิ

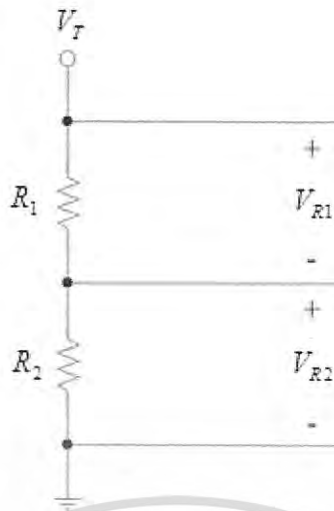
$N_1$  คือ จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ

$N_2$  คือ จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ

สำหรับหม้อแปลงแรงดันจะมีจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิมากกว่าจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าทุติยภูมิซึ่งต่ออยู่กับอุปกรณ์เครื่องมือวัดถูกลดทอนจากระดับแรงดันไฟฟ้าปฐมภูมิซึ่งต่ออยู่กับระบบไฟฟ้า

2.3.8.2 วงจรแบ่งแรงดัน (Voltage divider) เป็นวงจรที่ใช้สำหรับลดระดับแรงดันเพื่อให้ได้ระดับแรงดันที่ต้องการ โดยอาศัยหลักการแบ่งแรงดัน (Voltage division) ของตัวต้านทานซึ่งต่ออนุกรมกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 วงจรแบ่งแรงดัน

ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าแรงดันซึ่งตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัวได้ดังสมการที่ 2.7

และ 2.8

$$V_{R1} = \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) V_T \quad (2.7)$$

$$V_{R2} = \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_T \quad (2.8)$$

### 2.3.9 เซ็นเซอร์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ

เซ็นเซอร์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ มีส่วนประกอบหลักคือ หม้อแปลงกระแส และตัวต้านทานภาระ

2.3.9.1 หม้อแปลงกระแส หรือ Current Transformer (CT) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับลดทอนกระแสไฟฟ้าให้สามารถใช้งานกับอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่มีพิกัดกระแสต่ำได้ หม้อแปลงกระแสจะมีความแตกต่างจากหม้อแปลงกำลัง เนื่องจากลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน ซึ่งหม้อแปลงกระแสจะมีขดลวดปฐมภูมิต่ออนุกรมกับสายไฟเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายไฟนั้น ในอุดมคติอัตราส่วนระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าปฐมภูมิและค่ากระแสไฟฟ้าทุติยภูมิจะมีค่าเท่ากับส่วนกลับของอัตราส่วนระหว่างจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2.9

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$I_1$  คือ ค่ากระแสไฟฟ้าปฐมภูมิ

$I_2$  คือ ค่ากระแสไฟฟ้าทุติยภูมิ

$N_1$  คือ จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ

$N_2$  คือ จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ

หม้อแปลงกระแสสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ชนิดตามการใช้งานดังนี้

- หม้อแปลงกระแสที่ใช้สำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้าให้กับเครื่องมือวัด (Metering current transformer) หม้อแปลงกระแสชนิดนี้จะมีความแม่นยำสูง

- หม้อแปลงกระแสที่ใช้กับระบบป้องกัน (Protective current transformer) หม้อแปลงกระแสชนิดนี้จะให้ค่าความถูกต้องและแม่นยำได้น้อยกว่าแบบที่ใช้สำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้าให้กับเครื่องมือวัด

โดยทั่วไปหม้อแปลงกระแสจะถูกสร้างให้มีพิกัดกระแสไฟฟ้าทุติยภูมิเท่ากับ 5 แอมป์ หรือ 1 แอมป์ เพื่อเป็นมาตรฐานให้กับการผลิตเครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งจะนำมาต่อทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแส

ในทางปฏิบัติจะต้องพิจารณาถึงค่าความต้านทานของขดลวด และค่ารีแอกแตนซ์รั่วไหล (Leakage reactance) ของขดลวด ซึ่งจะทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าทุติยภูมิมีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่ได้จากอัตราส่วนข้างต้น

2.3.9.2 ตัวต้านทานภาระ (Burden resistor) เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์โดยทั่วไปจะทำการวัดค่าในรูปแบบของแรงดันไฟฟ้า ดังนั้นหากต้องการวัดค่ากระแสไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องต่อตัวต้านทานภาระ เพื่อใช้ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานภาระ ซึ่งสามารถคำนวณหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานภาระจากค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานภาระได้จากกฎของโอห์ม (Ohm's law) ดังแสดงในสมการที่ 2.10

$$I_B = \frac{V_B}{R_B} \quad (2.10)$$

โดยที่

$I_B$  คือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานภาระ

$V_B$  คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานภาระ

$R_B$  คือ ค่าความต้านทานของตัวต้านทานภาระ

### 2.3.10 เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นแบบดิจิตอล

เซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น คือ DHT22 Module ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นแบบดิจิตอล โดยการส่งข้อมูลของเซ็นเซอร์ชนิดนี้ จะมีการส่งข้อมูลแบบดิจิตอลทั้งหมด 40 บิต ซึ่งแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนแรกจะมีจำนวน 16 บิต ซึ่งเป็นค่าของอุณหภูมิ ส่วนที่สองจะมีจำนวน 16 บิต ซึ่งเป็นค่าของความชื้นสัมพัทธ์ และส่วนที่สามจะมีจำนวน 8 บิต ซึ่งเป็นค่าที่ใช้สำหรับตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของ DHT22 Module

(Source: <https://sites.google.com/site/paiboon7355/project-2017/mithunayn>)

โครงสร้างของ DHT22 Module สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.11 ซึ่งประกอบด้วยเซ็นเซอร์ 2 ชนิดดังนี้

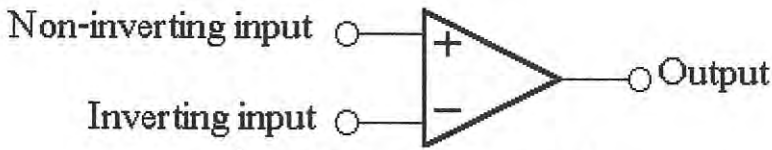
- เทอร์มิสเตอร์ชนิดค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเป็นลบ หรือ NTC Thermistor คือเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิที่ค่าความต้านทานจะมีค่าแปรผกผันกับอุณหภูมิ
- เซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้นชนิดความต้านทาน หรือ Resistive humidity sensor มีหลักการทำงานคือ อาศัยการเปลี่ยนแปลงของค่าความนำไฟฟ้าของตัวกลาง เมื่อมีการดูดซับโมเลกุลของไอน้ำ และไอออนที่แตกตัวจะทำให้ค่าความนำไฟฟ้าของตัวกลางมีค่าเพิ่มขึ้น หรือสามารถกล่าวได้ว่า เมื่อความชื้นสูงขึ้น ค่าความต้านทานของตัวกลางจะมีค่าลดลง

## 2.4 ออปแอมป์และวงจรพื้นฐาน

### 2.4.1 ออปแอมป์

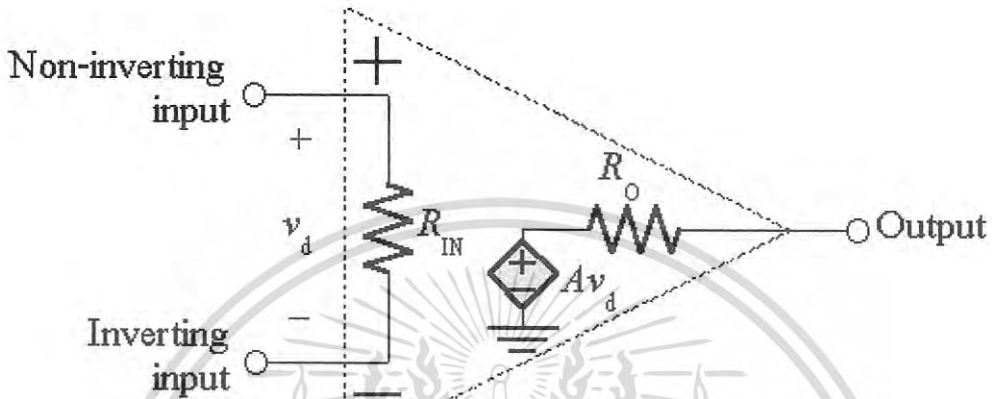
ออปแอมป์ หรือ Operational amplifier (Op-amp) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายแรงดัน โดยมีโครงสร้างภายในเป็นวงจรที่ซับซ้อน ซึ่งประกอบไปด้วย ตัวต้านทาน ทรานซิสเตอร์ ตัวเก็บประจุ และไดโอด จำนวนมาก โดยมีสัญลักษณ์แทนออปแอมป์ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ในการศึกษาเบื้องต้นสามารถแทนออปแอมป์ด้วยวงจรมุมลุดังแสดงในรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 สัญลักษณ์แทนออปแอมป์

(Source: <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/286/16/1/electric>)



รูปที่ 2.13 วงจรสมมูลของออปแอมป์

(Source: <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/286/16/1/electric>)

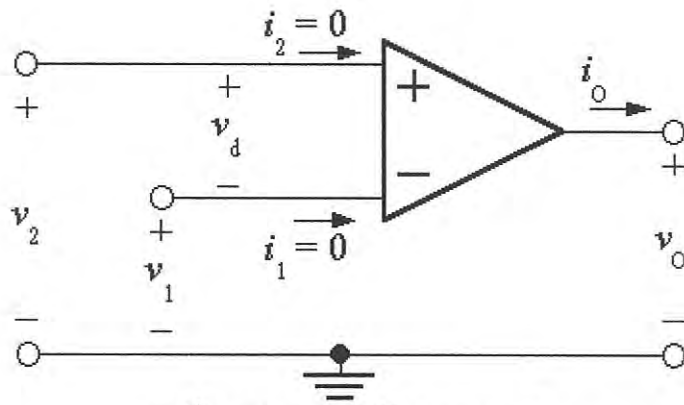
ออปแอมป์มีขั้วอินพุต 2 ขั้ว คือ ขั้วอินพุตบวก หรือ Non-inverting terminal และ ขั้วอินพุตลบ หรือ Inverting terminal และมีขั้วเอาต์พุต 1 ขั้ว

จากวงจรสมมูลของออปแอมป์ ส่วนทางด้านอินพุตของออปแอมป์จะประกอบด้วย ค่าความต้านทาน  $R_{IN}$  โดยจะมีแรงดันตกคร่อมระหว่างขั้วอินพุตบวกและขั้วอินพุตลบ เท่ากับ  $v_d$  และส่วนทางด้านเอาต์พุตจะประกอบด้วยค่าความต้านทาน  $R_O$  และแหล่งจ่ายแรงดันที่ควบคุมด้วยแรงดันที่มีค่าเท่ากับ  $Av_d$  โดยที่ค่า  $A$  คือ อัตราขยายวงเปิด (Open loop gain) ของออปแอมป์

เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์วงจรจึงมีการกำหนดให้ออปแอมป์เป็นออปแอมป์ในแบบอุดมคติ (Ideal Op-amp) ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

- อัตราขยายวงเปิดมีค่าเป็นอนันต์
- ค่าความต้านทาน  $R_{IN}$  มีค่าเป็นอนันต์
- ค่าความต้านทาน  $R_O$  มีค่าเท่ากับศูนย์

จากคุณสมบัติข้างต้นจะทำให้ให้ออปแอมป์ในแบบอุดมคติ ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าขั้วอินพุตทั้งสองขั้วมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.14

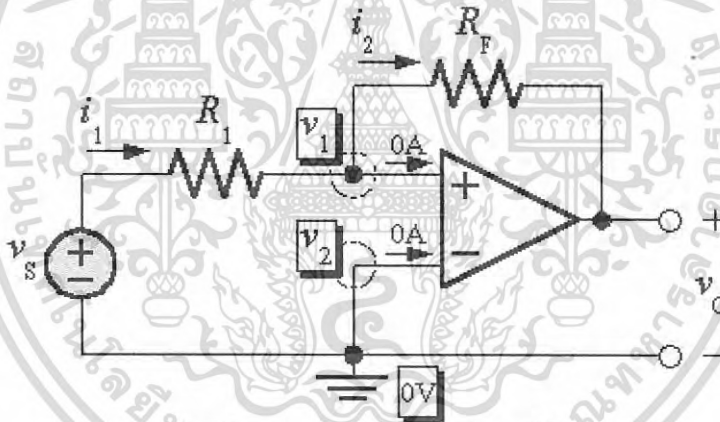


รูปที่ 2.14 ออปแอมป์ในแบบอดุมคติ

(Source: <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/286/16/1/electric>)

#### 2.4.2 วงจรขยายแบบกลับขั้ว

วงจรขยายแบบกลับขั้ว (inverting amplifier) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.15 โดยที่อัตราขยายของวงจรมีค่าลบสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.11



รูปที่ 2.15 วงจรขยายแบบกลับขั้ว

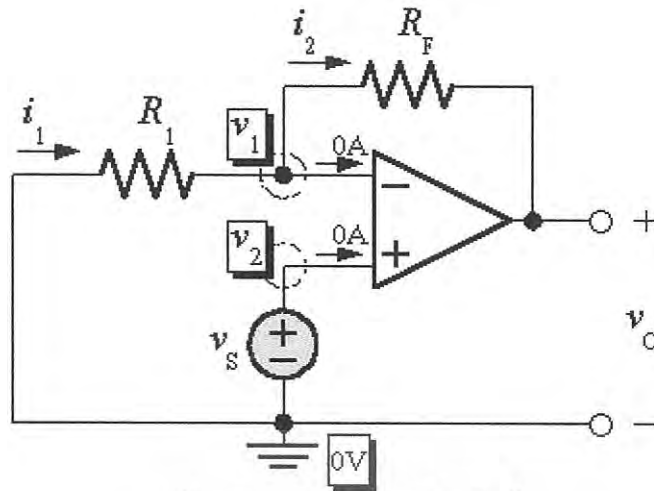
(Source: <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/286/16/1/electric>)

$$\frac{v_o}{v_s} = -\frac{R_F}{R_1} \quad (2.11)$$

#### 2.4.3 วงจรขยายแบบไม่กลับขั้ว

วงจรขยายแบบไม่กลับขั้ว (Non-inverting amplifier) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.16 โดยที่อัตราขยายของวงจรมีค่าบวกสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



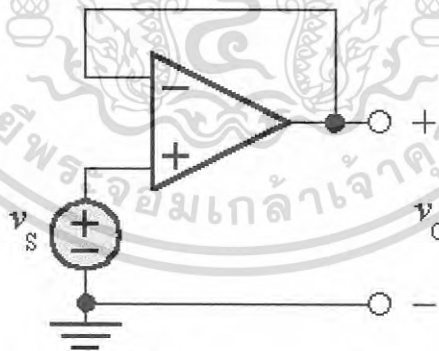
รูปที่ 2.16 วงจรขยายแบบไม่กลับขั้ว

(Source: <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/286/16/1/electric>)

$$\frac{v_o}{v_s} = 1 + \frac{R_F}{R_1} \quad (2.12)$$

#### 2.4.4 วงจรตามแรงดัน

วงจรตามแรงดัน (Voltage follower) คือวงจรที่มีอัตราขยายเท่ากับ 1 ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.17 โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอินพุตสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.13



รูปที่ 2.17 วงจรตามแรงดัน

(Source: <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/286/16/1/electric>)

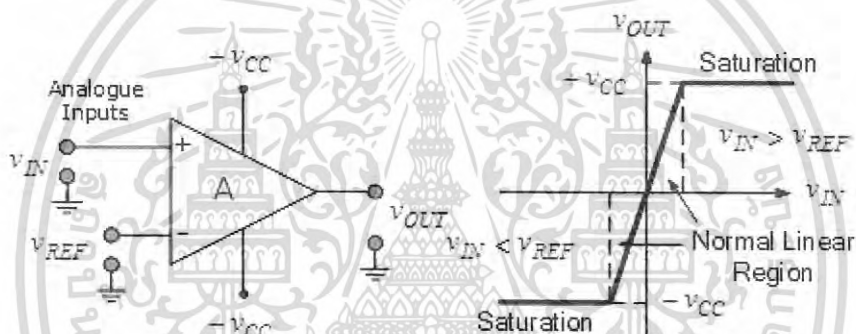
$$v_o = v_s \quad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.5 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage comparator) คือวงจรที่ใช้เปรียบเทียบระดับแรงดันค่าหนึ่ง ( $v_{IN}$ ) กับระดับแรงดันอีกค่าหนึ่งหรือเรียกว่าระดับแรงดันอ้างอิง ( $v_{REF}$ ) และสร้างสัญญาณเอาต์พุตจากผลการเปรียบเทียบนี้

วงจรเปรียบเทียบแรงดันนี้เป็นการนำออปแอมป์มาใช้ในโหมดวงเปิด (Open loop mode) กล่าวคือ เป็นวงจรที่ไม่มีการป้อนกลับทั้งแบบบวกและแบบลบ สัญญาณเอาต์พุตของวงจรมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่างสถานะอิ่มตัวสองสถานะ เนื่องจากในโหมดวงเปิดจะทำให้วงจรมีอัตราขยายเท่ากับอัตราขยายวงเปิดของออปแอมป์ซึ่งมีค่าสูงมาก ดังนั้นค่าแรงดันเอาต์พุต ( $v_{OUT}$ ) ของวงจรมีค่าอิ่มตัวที่ค่าแรงดันของแหล่งจ่ายไฟบวก ( $+v_{CC}$ ) และค่าแรงดันของแหล่งจ่ายไฟลบ ( $-v_{CC}$ ) ของออปแอมป์ โดยที่ค่าแรงดันเอาต์พุตจะอิ่มตัวที่ค่าใดนั้นขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของผลการเปรียบเทียบแรงดันอินพุต



รูปที่ 2.18 กราฟคุณลักษณะของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

(Source: <https://www.electronics-tutorials.ws/opamp/op-amp-comparator.html>)

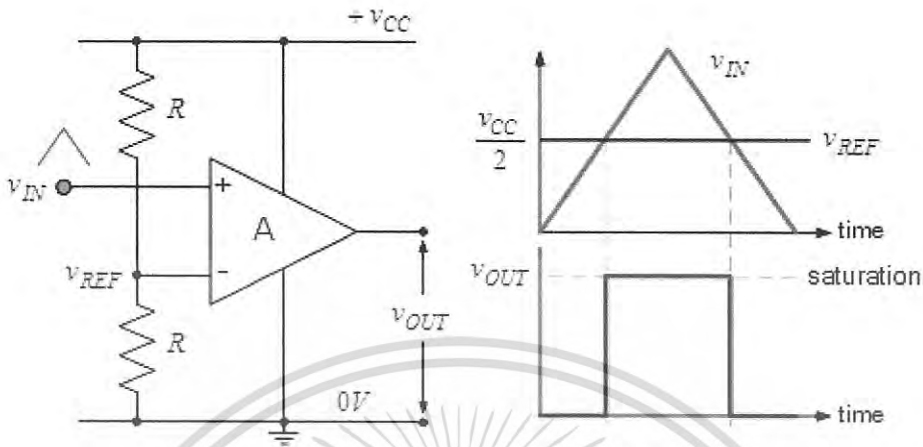
จากรูปที่ 2.18 ถ้าระดับแรงดัน  $v_{IN}$  มีค่าน้อยกว่าระดับแรงดันอ้างอิง จะได้ว่าค่าแรงดันที่ขั้วอินพุตบวกมีค่าน้อยกว่าค่าแรงดันที่ขั้วอินพุตลบ ทำให้ค่าแรงดันเอาต์พุตมีค่าอิ่มตัวที่ค่าแรงดันของแหล่งจ่ายไฟลบ และถ้าระดับแรงดัน  $v_{IN}$  มีค่ามากกว่าระดับแรงดันอ้างอิง จะได้ว่าค่าแรงดันที่ขั้วอินพุตบวกมีค่ามากกว่าค่าแรงดันที่ขั้วอินพุตลบ ทำให้ค่าแรงดันเอาต์พุตมีค่าอิ่มตัวที่ค่าแรงดันของแหล่งจ่ายไฟบวก ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ข้างต้นได้ดังสมการที่ 2.14

$$v_{OUT} = \begin{cases} -v_{CC} & \text{for } v_{IN} < v_{REF} \\ +v_{CC} & \text{for } v_{IN} > v_{REF} \end{cases} \quad (2.14)$$

2.4.5.1 วงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบบวก (Positive voltage comparator) คือวงจรเปรียบเทียบแรงดันที่มีการป้อนแรงดันอินพุตเข้าที่ขั้วอินพุตบวก และมีการป้อนแรงดันอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

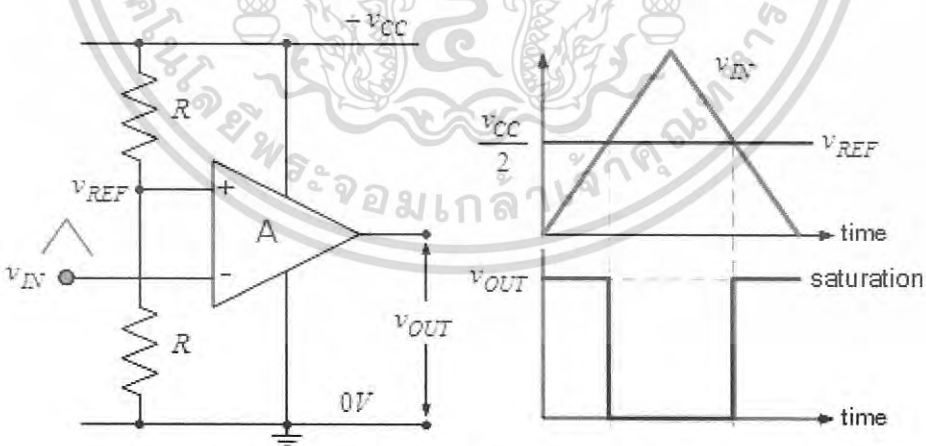
เข้าที่ขั้วอินพุทลบของออปแอมป์ ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างของวงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบบวกได้ ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างของวงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบบวก

(Source: <https://www.electronics-tutorials.ws/opamp/op-amp-comparator.html>)

2.4.5.2 วงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบลบ (Negative voltage comparator) คือ วงจรเปรียบเทียบแรงดันที่มีการป้อนแรงดันอินพุทเข้าที่ขั้วอินพุทลบ และมีการป้อนแรงดันอ้างอิงเข้าที่ขั้วอินพุทบวกของออปแอมป์ ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างของวงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบลบได้ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 ตัวอย่างของวงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบลบ

(Source: <https://www.electronics-tutorials.ws/opamp/op-amp-comparator.html>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของฟิงส์

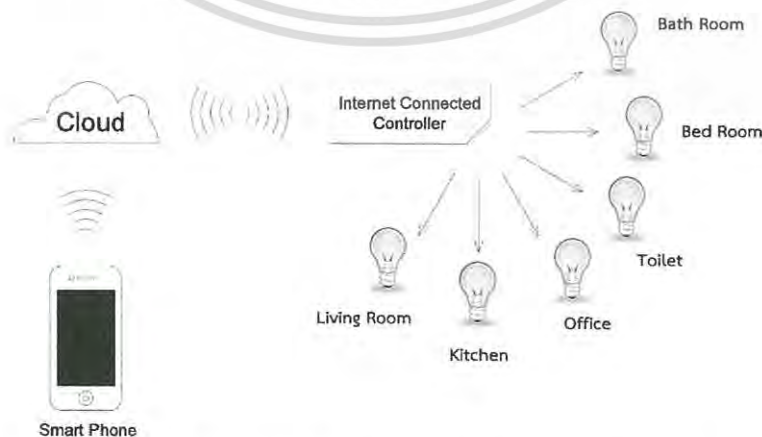
### 2.5.1 อินเทอร์เน็ตของฟิงส์

อินเทอร์เน็ตของฟิงส์ มาจากคำว่า Internet of Things หรือ IoTs คือระบบโครงข่ายที่เชื่อมโยงสิ่งต่างๆ กับมนุษย์ ซึ่งอาศัยการส่งผ่านข้อมูลบนระบบอินเทอร์เน็ตโดยไม่จำเป็นต้องใช้การสื่อสารระหว่างมนุษย์กับมนุษย์ หรือ มนุษย์กับคอมพิวเตอร์ เมื่ออุปกรณ์หรือสิ่งต่างๆ ถูกติดตั้งกับเซ็นเซอร์ที่เชื่อมต่ออยู่กับแพลตฟอร์มของอินเทอร์เน็ตของฟิงส์ แพลตฟอร์มนี้จะรวบรวมและเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์หรือเซ็นเซอร์หลายๆ ชนิด เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ แจ้งเตือน และคาดการณ์ปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในอนาคต

คำว่า ฟิงส์ (Things) จากอินเทอร์เน็ตของฟิงส์สามารถเป็นได้ทั้ง มนุษย์ เช่นผู้ป่วยที่ได้รับการปลูกถ่ายหัวใจ ซึ่งจะต้องติดตั้งระบบตรวจติดตามหัวใจ สัตว์ เช่นสัตว์เลี้ยงในฟาร์มที่ถูกติดตั้งเซ็นเซอร์เพื่อบ่งบอกถึงอัตลักษณ์ อุปกรณ์ต่างๆ เช่นรถยนต์ที่ติดตั้งเซ็นเซอร์ต่างๆ เพื่อแจ้งคนขับในสถานการณ์ต่างๆ หรือจะเป็นสิ่งต่างๆ ในธรรมชาติหรือสิ่งของที่มนุษย์สร้างขึ้นซึ่งสามารถกำหนดไอพีแอดเดรส (IP Address) และสามารถส่งข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตได้

### 2.5.2 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของฟิงส์

ในปัจจุบันเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของฟิงส์ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีการเก็บฐานข้อมูล ทำให้สามารถเรียกดูข้อมูลต่างๆ ณ เวลาปัจจุบันได้ หรือแม้กระทั่งสั่งการผ่านอินเทอร์เน็ต เพื่อให้สิ่งต่างๆ ทำงานได้ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่จะเปลี่ยนการทำงานให้มีความสะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น โดยเทคโนโลยีนี้สามารถนำมาใช้งานได้ตั้งแต่ในบ้าน เช่นระบบเปิดปิดไฟภายในบ้านผ่านระบบอินเทอร์เน็ต จนกระทั่งประยุกต์ใช้กับโรงงานที่มีระบบตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องจักรภายในโรงงาน ทำให้เจ้าหน้าที่ที่บำรุงรักษาสามารถรู้ได้ทันทีหากมีอุปกรณ์ขัดข้องและยังสามารถนำข้อมูลที่ถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูลมาวิเคราะห์ถึงเหตุที่ทำให้อุปกรณ์ขัดข้องได้



รูปที่ 2.21 ระบบเปิดปิดไฟภายในบ้านผ่านระบบอินเทอร์เน็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.21 เป็นตัวอย่างของระบบเปิดปิดไฟภายในบ้านโดยการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสิ่งมาประยุกต์ใช้ เพื่ออำนวยความสะดวกในการใช้ชีวิตประจำวัน กล่าวคือ ผู้ใช้งานสามารถควบคุมการเปิดปิด ซึ่งอาจรวมไปถึงการปรับความสว่าง และการปรับโทนสี ของหลอดไฟแต่ละดวงภายในบ้าน ผ่านทางอุปกรณ์อัจฉริยะต่างๆ อาทิเช่น โทรศัพท์มือถือ (Smart phone) โดยการสั่งการผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมการทำงานของตัวควบคุมซึ่งเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ตอยู่ได้ โดยที่ตัวควบคุมในตัวอย่างระบบนี้จะมีหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของหลอดไฟ ตามสถานที่ต่างๆ ภายในบ้าน

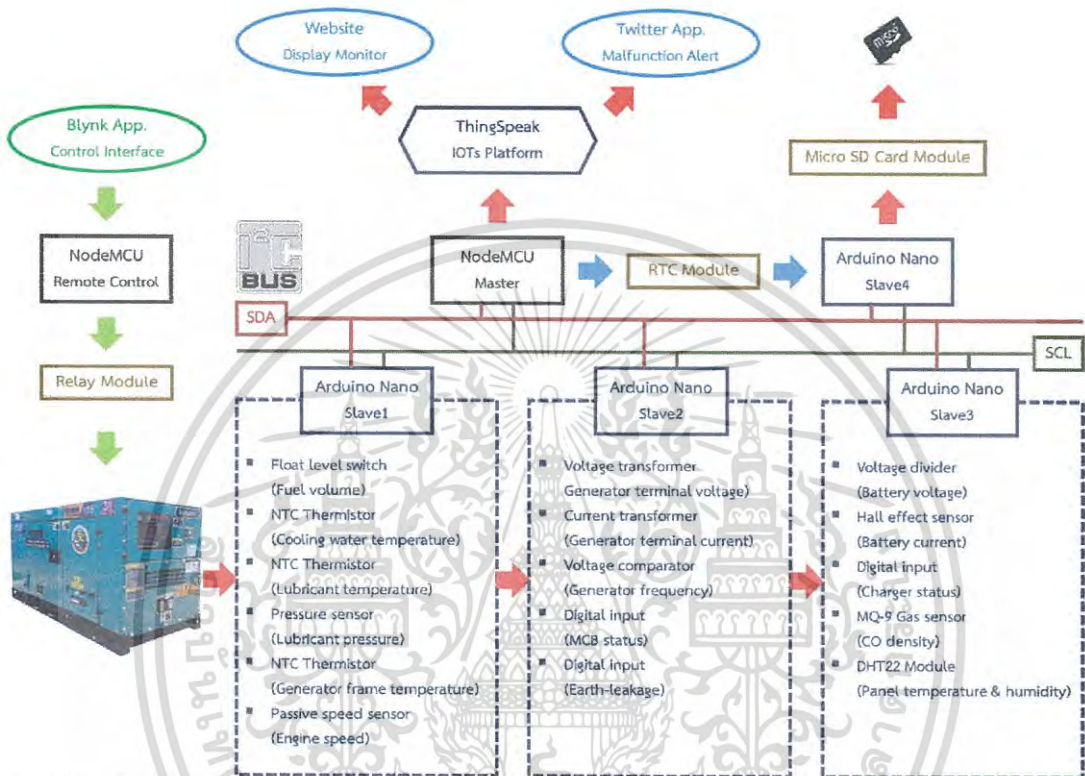


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## การออกแบบและประกอบสร้าง

### 3.1 ภาพรวมของการออกแบบระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 3.1 ภาพรวมของการออกแบบระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

โครงการนี้ได้ออกแบบระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะใช้เซ็นเซอร์ในการตรวจวัดข้อมูลต่างๆ ของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 3.1 จะเห็นว่าระบบนี้ได้แบ่งเซ็นเซอร์ออกเป็น 3 ชุด โดยเซ็นเซอร์แต่ละชุดจะส่งข้อมูลไปยัง Arduino Nano ซึ่งทำหน้าที่เป็นสเลฟทั้ง 3 ตัว จากนั้น Arduino Nano จะส่งข้อมูลต่างๆ ไปยัง NodeMCU ซึ่งทำหน้าที่เป็นมาสเตอร์ โดยที่การรับส่งข้อมูลทั้งหมดจะผ่าน I<sup>2</sup>C bus

เมื่อ NodeMCU รับข้อมูลมาจาก Arduino Nano (สเลฟ 1-3) ทั้งหมดแล้ว จะทำการส่งข้อมูลที่รับมาเป็น 2 ทาง ทางแรกคือ ส่งข้อมูลผ่านการเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย (Wi-Fi) เพื่อเก็บข้อมูลที่ฐานข้อมูล ThingSpeak จากนั้นจึงนำข้อมูลเหล่านั้นมาแสดงผลบนเว็บไซต์ และแจ้งเตือนสถานะผิดปกติต่างๆ ผ่านทางแอปพลิเคชันทวิตเตอร์ และทางที่สองคือ ส่งข้อมูลไปยัง Arduino Nano (สเลฟ 4) ซึ่งต่อกับ Micro SD card module โดยจะเป็นหน่วยเก็บข้อมูล เพื่อสำรองข้อมูลในกรณีที่ขาดการเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ต ซึ่งจะบันทึกข้อมูลพร้อมระบุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาของข้อมูลนั้น โดยอาศัย Real time clock module โดยในกรณีที่มีการเชื่อมต่อกับระบบ อินเทอร์เน็ต Real time clock module จะถูกอัปเดตเวลาโดยอัตโนมัติ

นอกจากนี้ระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมี NodeMCU ซึ่งทำหน้าที่รับคำสั่งจากผู้ใช้งานผ่านทางแอปพลิเคชันบลูทูธบนอุปกรณ์อัจฉริยะต่างๆ จากนั้น NodeMCU จึงทำการควบคุม Relay module เพื่อสั่งการชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้ทำงาน ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

### 3.2 การออกแบบวิธีการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

#### 3.2.1 ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงคงเหลือ

ใช้สวิตช์ลูกลอยสำหรับวัดระดับปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงในถังน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อ ตรวจสอบปริมาณคงเหลือ ซึ่งจะสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานจะมีปริมาณ น้ำมันเชื้อเพลิงเพียงพอตลอดระยะเวลาการทำงานหรือไม่

#### 3.2.2 อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น

ใช้ NTC Thermistor แบบ Screw type probe สำหรับวัดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น ติดตั้งเพื่อตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ว่าอยู่ในระดับปกติหรือไม่ ซึ่งโดยปกติ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นภายในเครื่องยนต์จะมีค่าประมาณ 70 - 90 องศาเซลเซียส

#### 3.2.3 อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น

ใช้ NTC Thermistor แบบ Screw type probe ซึ่งติดตั้งเพื่อตรวจวัดอุณหภูมิ น้ำมันหล่อลื่นภายในเครื่องยนต์ว่ามีค่าเท่ากับอุณหภูมิในสภาวะปกติหรือไม่ ซึ่งโดยปกติอุณหภูมิ น้ำมันหล่อลื่นภายในเครื่องยนต์จะมีค่าประมาณ 70 - 90 องศาเซลเซียส

#### 3.2.4 ความดันน้ำมันหล่อลื่น

ใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดความดันของไหลแบบไฟฟ้า ซึ่งติดตั้งเพื่อตรวจวัดระดับของ น้ำมันหล่อลื่นที่ไหลภายในเครื่องยนต์ และวัดความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น โดยเมื่อค่าความหนืดของ น้ำมันหล่อลื่นลดลง (น้ำมันหล่อลื่นเสื่อมสภาพ) หรือระดับน้ำมันหล่อลื่นไม่เพียงพอ ความดัน น้ำมันหล่อลื่นที่วัดได้จะลดลง การใช้งานเครื่องยนต์ในสภาวะปกติจะมีค่าความดันน้ำมันหล่อลื่น ประมาณ 4-6 บาร์

#### 3.2.5 อุณหภูมิโครงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ใช้ NTC Thermistor แบบ Washer type probe โดยติดตั้งเพื่อตรวจวัดอุณหภูมิ โครงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าว่ามีค่าเท่ากับในสภาวะปกติหรือไม่ ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจเกิดมาจากการใช้งานเกินพิกัด หรือความเสื่อมสภาพของขดลวด ทำให้เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน จึงเกิดเป็นความร้อนสูงขึ้น

### 3.2.6 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์

ใช้ Passive speed sensor โดยติดตั้งเพื่อตรวจวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ว่า เครื่องยนต์หมุนที่ความเร็วรอบที่กำหนดไว้หรือไม่ ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานเมื่อเดินเครื่องเบา จะมีความเร็วรอบประมาณ 800 รอบต่อนาที และเมื่อเดินเครื่องใช้งาน จะมีความเร็วรอบประมาณ 1500 รอบต่อนาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพิกัดความเร็วเชิงโคจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

### 3.2.7 แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ใช้หม้อแปลงแรงดัน และวงจรสำหรับวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งติดตั้งเพื่อวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าว่ามีค่าเท่ากับในสภาวะปกติหรือไม่ ซึ่งเกณฑ์ปกติ จะมีค่าแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยวัดจากสายเส้นไฟกับสายนิวทรัลจะมีค่าประมาณ 220 โวลต์

### 3.2.8 กระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ใช้หม้อแปลงกระแส และวงจรสำหรับวัดกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งติดตั้งเพื่อวัดกระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าว่ามีค่าเหมาะสมกับโหลดที่จ่ายอยู่หรือไม่ หรือมีค่าเกินพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือไม่

### 3.2.9 ความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ใช้วงจรเปรียบเทียบแรงดันสำหรับสร้างสัญญาณพัลส์ซึ่งมีความถี่เท่ากับความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งติดตั้งเพื่อวัดความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าว่ามีค่าเหมาะสมหรือไม่ โดยเฉพาะในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการขนานชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้า สำหรับในประเทศไทยความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถขนานเข้ากับระบบไฟฟ้าได้จะต้องมีค่าประมาณ 50 เฮิรตซ์

### 3.2.10 สถานะของเซอร์กิตเบรกเกอร์

ใช้วิธีการรับสัญญาณดิจิทัลมาจากขั้วของทริปปิ้งคอยล์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ เพื่อตรวจสอบสถานะของเซอร์กิตเบรกเกอร์ว่าขณะนั้นอยู่ในสถานะเปิดวงจร หรือปิดวงจร

### 3.2.11 สถานะของอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้ารั่วลงดิน

ใช้วิธีการรับสัญญาณดิจิทัลมาจากอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้ารั่วลงดิน เพื่อตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินว่าขณะนั้นมีการแจ้งเตือนกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินหรือไม่

### 3.2.12 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่

ใช้วงจรแบ่งแรงดัน ซึ่งติดตั้งเพื่อตรวจวัดค่าแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่ในสถานะต่างๆ ว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์ปกติหรือไม่ ซึ่งเกณฑ์ปกติขณะดับเครื่องยนต์จะมีค่าแรงดันประมาณ 12 โวลต์ และในขณะที่เดินเครื่องยนต์หรือขณะชาร์จประจุเข้าแบตเตอรี่จะมีค่าแรงดันประมาณ 14.4 โวลต์

### 3.2.13 กระแสไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่

ใช้เซ็นเซอร์ปรากฏการณ์ฮอลล์ ซึ่งติดตั้งเพื่อทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ขณะเดินเครื่อง หรือค่ากระแสไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จ่ายออกไปยังแผงควบคุมชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์ได้ว่ากระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางใด สัมพันธ์กับการทำงานของเครื่องยนต์หรือไม่ แบตเตอรี่ที่นำมาใช้งานเหมาะสมกับเครื่องยนต์หรือไม่

### 3.2.14 สถานะของไดชาร์จ

ใช้วิธีการรับสัญญาณดิจิทัลมาจากไดชาร์จ เพื่อตรวจสอบสถานะของไดชาร์จว่าขณะที่ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงาน ไดชาร์จมีการชาร์จประจุเข้าแบตเตอรี่หรือไม่ ซึ่งถ้าหากไดชาร์จทำงานผิดปกติ หรือไม่มีการชาร์จประจุเข้าแบตเตอรี่ขณะที่ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงาน จะทำให้แบตเตอรี่หมด หรือเกิดความเสียหายกับแบตเตอรี่ได้

### 3.2.15 ปริมาณของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสีย

ใช้ MQ-9 Gas sensor โดยติดตั้งเพื่อตรวจวัดปริมาณของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ออกมาจากเครื่องยนต์ว่ามีปริมาณมากหรือน้อยเพียงใด เพื่อใช้ในการพิจารณาในเรื่องของความสามารถในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ว่ามีการเผาไหม้สมบูรณ์หรือไม่สมบูรณ์ ซึ่งถ้าหากเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะเกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในปริมาณที่มาก ซึ่งเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม โดยการตรวจวัดค่าดังกล่าวอาจนำไปสู่การปรับปรุงแก้ไขเครื่องยนต์ให้มีการเผาไหม้ที่ดีขึ้น

### 3.2.16 อุณหภูมิและความชื้นของแผงควบคุม

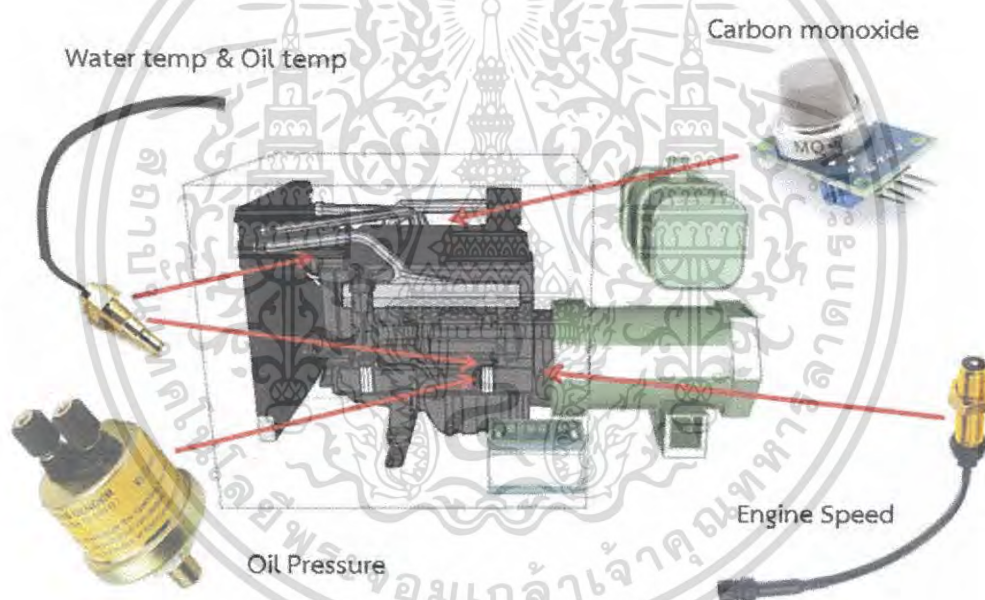
ใช้ DHT22 module โดยติดตั้งเพื่อตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้ของระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งถ้าหากมีอุณหภูมิสูงหรือมีความชื้นสัมพัทธ์สูงผิดปกติ อาจส่งผลกระทบต่อระบบการทำงานต่างๆ ได้

### 3.3 การติดตั้งเซ็นเซอร์ลงบนชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในการติดตั้งอุปกรณ์และเซ็นเซอร์เพื่อทำการตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถพิจารณาชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ออกเป็น 4 ส่วนหลัก ดังนี้

#### 3.3.1 เครื่องยนต์ดีเซล

การออกแบบตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์หรือเซ็นเซอร์ในส่วน of เครื่องยนต์ดีเซล สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์ต่างๆ เข้ากับเครื่องยนต์ดีเซล

3.3.1.1 NTC Thermistor แบบ Screw type probe สำหรับวัดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น โดยติดตั้งบริเวณท่อน้ำหล่อเย็นฝั่งน้ำออกจากเครื่องยนต์ เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้ตัวเครื่องยนต์มากที่สุด และเป็นตำแหน่งที่มีช่องสำหรับติดตั้งเซ็นเซอร์ โดยเทอร์มิสเตอร์ที่ใช้งานมีค่าความต้านทานที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ประมาณ 200 โอห์ม

3.3.1.2 NTC Thermistor แบบ Screw type probe สำหรับวัดอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่น โดยติดตั้งบริเวณทางเดินน้ำมันหล่อลื่นบนตัวเครื่องยนต์ เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่มีช่อง

สำหรับติดตั้งเซ็นเซอร์ โดยเทอร์มิสเตอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นมีค่าความต้านทานที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เท่ากับ 100 กิโลโอห์ม

3.3.1.3 เซ็นเซอร์วัดความดันของไหลแบบไฟฟ้าสำหรับวัดความดันของน้ำมันหล่อลื่น โดยติดตั้งบริเวณส่วนปลายของทางเดินน้ำมันหล่อลื่นบนตัวเครื่องยนต์ โดยเซ็นเซอร์วัดความดันของไหลที่นำมาใช้งาน มีขนาดพิคัดความดันที่สามารถวัดได้ คือ 0 – 10 บาร์ และให้เอาท์พุทเป็นค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงตามความดันที่วัดได้ คือ 10 – 184 โอห์ม

3.3.1.4 เซ็นเซอร์ตรวจวัดความเร็วชนิดพาสซีฟสำหรับตรวจวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ โดยติดตั้งบนตัวเครื่องยนต์ ณ ตำแหน่งที่อยู่แนวเดียวกับ ฟลายวีล (Flywheel) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 เนื่องจากฟลายวีลจะมีซี่เฟือง สำหรับเป็นวัตถุเป้าหมายของเซ็นเซอร์

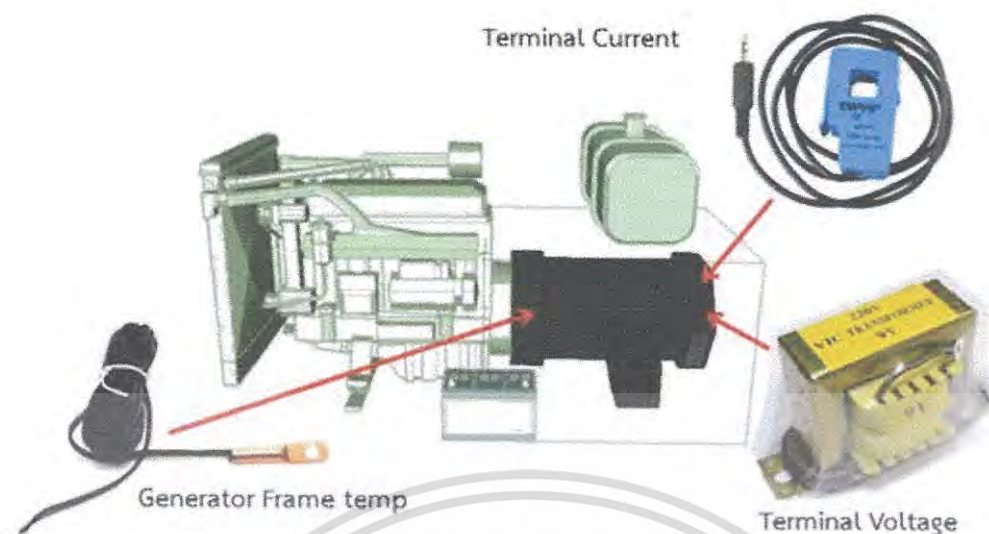


รูปที่ 3.3 ลักษณะการติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจวัดความเร็วชนิดพาสซีฟ

3.3.1.5 MQ-9 Gas sensor สำหรับวัดระดับปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ โดยทำการติดตั้งบริเวณส่วนปลายของท่อไอเสีย

### 3.3.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การออกแบบตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์หรือเซ็นเซอร์ในส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 3.4 ตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์ต่างๆ เข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

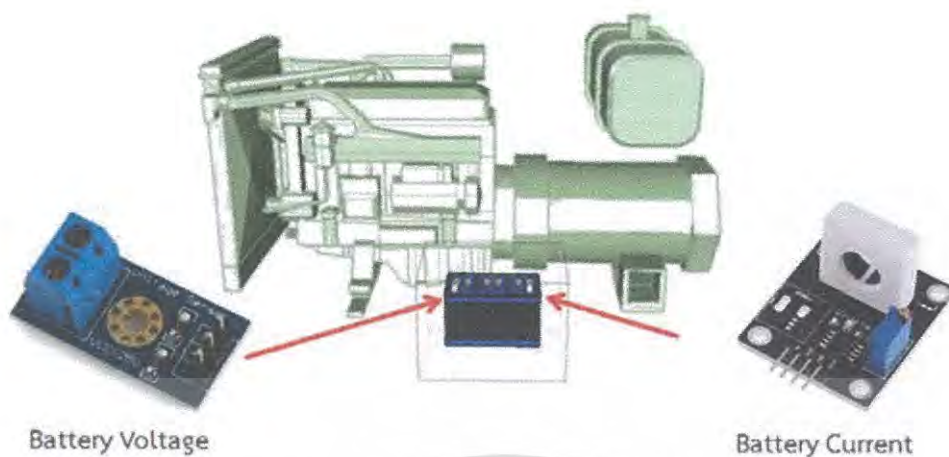
3.3.2.1 สายไฟสำหรับวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะทำการติดตั้งสายไฟที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และต่อมายังหม้อแปลงแรงดัน ซึ่งต่ออยู่กับวงจรการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ โดยหม้อแปลงแรงดันที่ใช้งานมีขนาดพิกัดแรงดันปฐมภูมิเท่ากับ 220 โวลต์ และพิกัดแรงดันทุติยภูมิเท่ากับ 9 โวลต์

3.3.2.2 หม้อแปลงกระแสสำหรับวัดกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะติดตั้งด้วยการคล้องบริเวณสายไฟที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยหม้อแปลงกระแสที่ใช้มีพิกัดกระแสปฐมภูมิเท่ากับ 100 แอมแปร์ และพิกัดกระแสทุติยภูมิเท่ากับ 50 มิลลิแอมแปร์

3.3.2.3 NTC Thermistor แบบ Washer type probe สำหรับวัดอุณหภูมิโครงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยการติดตั้งจะขันสกรูที่โครงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออก และติดตั้งโพรบซึ่งมีลักษณะเป็นแหวนรองลงไป และขันสกรูเข้าที่เดิม โดยเทอร์มิสเตอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิโครงเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าความต้านทานที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เท่ากับ 10 กิโลโอห์ม

### 3.3.3 แบตเตอรี่สำหรับเครื่องยนต์

การออกแบบตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์หรือเซ็นเซอร์ในส่วนของแบตเตอรี่สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.5 ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้



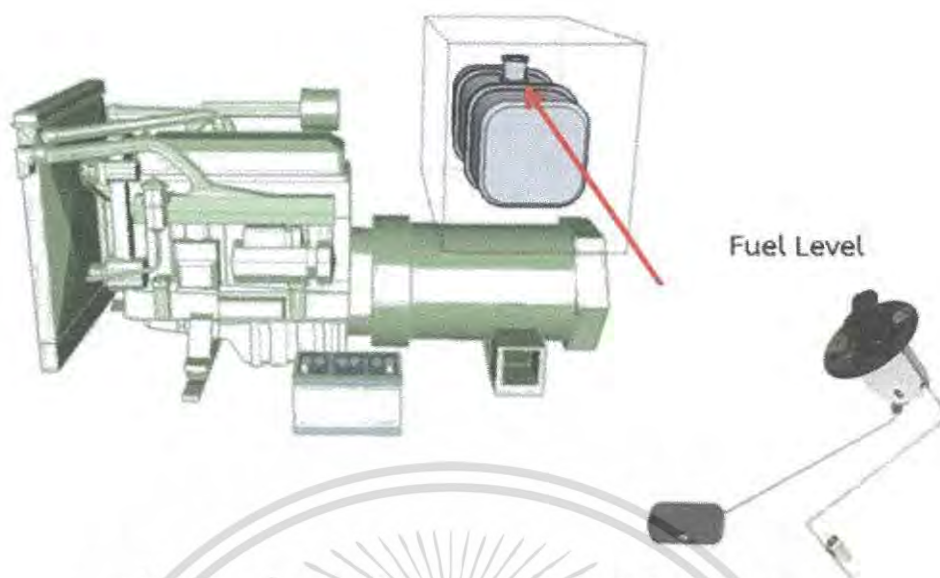
รูปที่ 3.5 ตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์ต่างๆ เช้ากับแบตเตอรี่

3.3.3.1 เซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ จะติดตั้งโดยการต่อสายจากขั้วบวกและขั้วลบของแบตเตอรี่ เข้ากับ Vcc pin และ Gnd pin ของเซ็นเซอร์ตามลำดับ โดยเซ็นเซอร์ที่ใช้งานเป็นวงจรแบ่งแรงดัน ซึ่งมีพิกัดแรงดันอินพุท 25 โวลต์ และพิกัดแรงดันเอาต์พุท 5 โวลต์

3.3.3.2 เซ็นเซอร์ปรากฏการณ์ฮอลล์ ซึ่งติดตั้งโดยการคล้องที่สายไฟจากแบตเตอรี่ไปยังแผงควบคุมของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและไดชาร์จ เพื่อทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ขณะเดินเครื่อง หรือค่ากระแสไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จ่ายออกไปยังแผงควบคุมชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยเซ็นเซอร์ปรากฏการณ์ฮอลล์ที่ใช้สามารถทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรงได้สูงสุด 50 แอมแปร์ ซึ่งมีความละเอียดในการวัดเท่ากับ 32 มิลลิโวลต์ต่อแอมแปร์

### 3.3.4 ถังน้ำมันเชื้อเพลิง

ในส่วน of ถังน้ำมันเชื้อเพลิงจะมีเซ็นเซอร์เพียงอย่างเดียว คือ สวิตช์ลากลอยสำหรับวัดระดับปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงในถังเก็บเชื้อเพลิง ซึ่งตำแหน่งการติดตั้งแสดงได้ดังรูปที่ 3.6 โดยความสามารถในการวัดระดับน้ำมันเชื้อเพลิงของสวิตช์ลากลอยที่ใช้ คือ 0 - 17.44 เซนติเมตร และให้เอาต์พุทเป็นค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงตามระดับน้ำมันเชื้อเพลิงที่วัดได้ คือ 17.2 - 122.3 โอห์ม



รูปที่ 3.6 ตำแหน่งการติดตั้งสวิทช์ลูกลอยเข้ากับถังน้ำมันเชื้อเพลิง

### 3.4 การออกแบบวงจรสำหรับการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับเซ็นเซอร์ต่างๆ

การออกแบบวงจรสำหรับการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับเซ็นเซอร์ต่างๆ คณะผู้จัดทำได้เลือกใช้โปรแกรม Altium Designer v16.1.7 เพื่อนำมาทำการออกแบบในส่วนนี้ ซึ่งการออกแบบวงจรด้วยโปรแกรม Altium Designer v16.1.7 จะต้องทำการออกแบบในลักษณะที่เป็น Schematic design ก่อนแล้วจึงจะทำการออกแบบในลักษณะที่เป็นแผ่นวงจรพิมพ์ หรือ Printed circuit board (PCB) ต่อไป โดยที่ระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถแบ่งการออกแบบวงจรสำหรับการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับเซ็นเซอร์ต่างๆ ได้เป็น 5 ส่วนดังนี้

#### 3.4.1 การออกแบบวงจรสำหรับสเลฟ 1

สเลฟ 1 เป็นส่วนที่มีหน้าที่ในการวัดปริมาณเชื้อเพลิงคงเหลือ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ความดันน้ำมันหล่อลื่น และอุณหภูมิเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และมีหน้าที่ส่งข้อมูลที่วัดได้ไปที่มาสเตอร์ผ่านทาง I<sup>2</sup>C bus ดังแสดงในรูปที่ 3.7 โดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับบอร์ดนี้คือ Arduino Nano ซึ่งทำหน้าที่เป็นสเลฟ และได้ออกแบบให้มีช่องสำหรับเสียบสายจากเซ็นเซอร์ต่างๆ ช่องสำหรับเชื่อมต่อกับ I<sup>2</sup>C bus และช่องสำหรับจ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด ดังนี้

- Terminal 1: สำหรับเสียบสายเพื่อรับสัญญาณสถานะการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัล และสำหรับเสียบสายจาก NTC Thermistor แบบ Screw type probe ซึ่งใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นด้วยวิธีการแบ่งแรงดัน

- Terminal 2: สำหรับเสียบสายจาก NTC Thermistor แบบ Screw type probe ซึ่งใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นด้วยวิธีการแบ่งแรงดัน และสำหรับเสียบสายจาก NTC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thermistor แบบ Washer type probe ซึ่งใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยวิธีการแบ่งแรงดัน

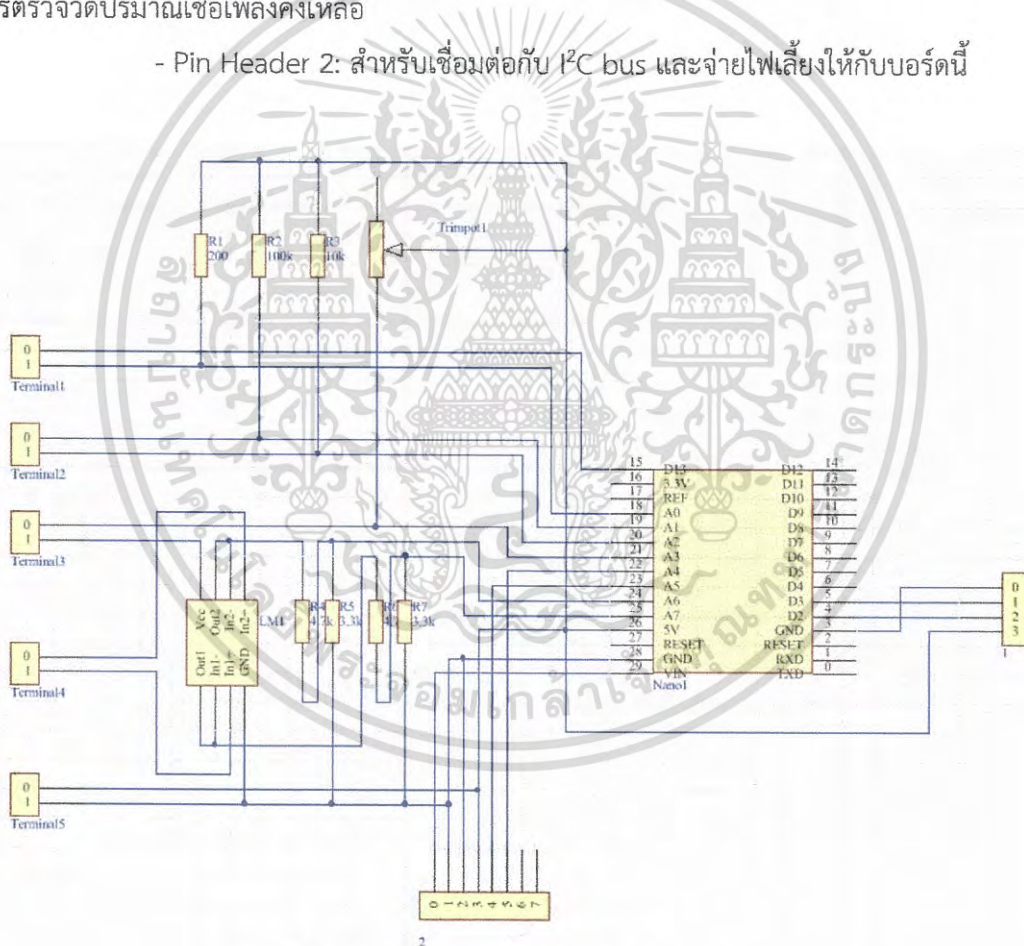
- Terminal 3: สำหรับเสียบสายจากสวิตช์ลากลอย ซึ่งใช้ในการตรวจวัดปริมาณเชื้อเพลิงคงเหลือด้วยวิธีการแบ่งแรงดัน และสำหรับเสียบสายเพื่อรับแหล่งจ่ายไฟ 12 โวลต์จากแบตเตอรี่

- Terminal 4: สำหรับเสียบสายจาก NTC Thermistor แบบ Screw type probe ซึ่งใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นด้วยวงจรตามแรงดัน และสำหรับเสียบสายจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดความดันของไหลแบบไฟฟ้า ซึ่งใช้ในการตรวจวัดความดันน้ำมันหล่อลื่นด้วยวงจรตามแรงดัน

- Terminal 5: สำหรับเสียบสายในกรณีที่ต้องการใช้แหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์จากบอร์ด

- Pin Header 1: สำหรับเสียบสายจากอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ ซึ่งเป็นวิธีสำรองในการตรวจวัดปริมาณเชื้อเพลิงคงเหลือ

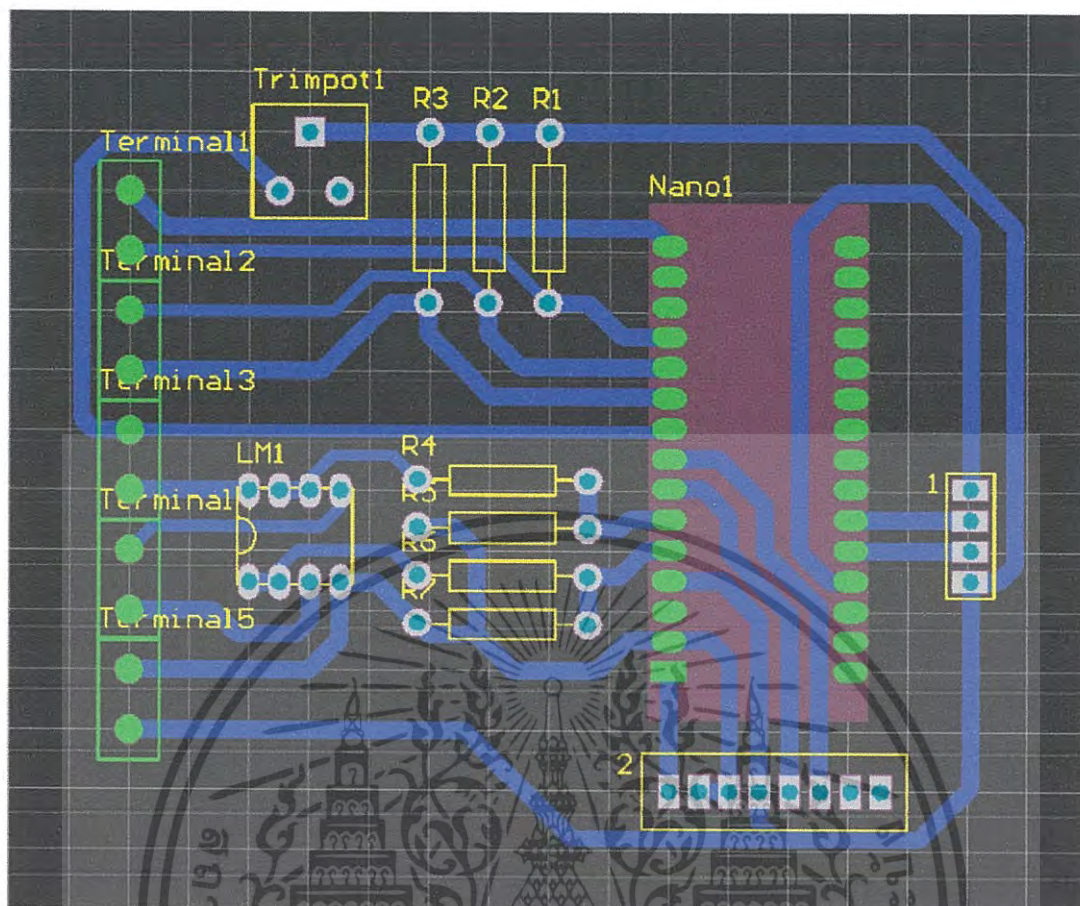
- Pin Header 2: สำหรับเชื่อมต่อกับ I<sup>2</sup>C bus และจ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ดนี้



รูปที่ 3.7 Schematic design สำหรับสเลฟ 1

เมื่อได้ Schematic design ของสเลฟ 1 ขั้นตอนต่อไปจึงได้ทำการออกแบบ PCB สำหรับสเลฟ 1 ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 PCB design สำหรับสเลฟ 1

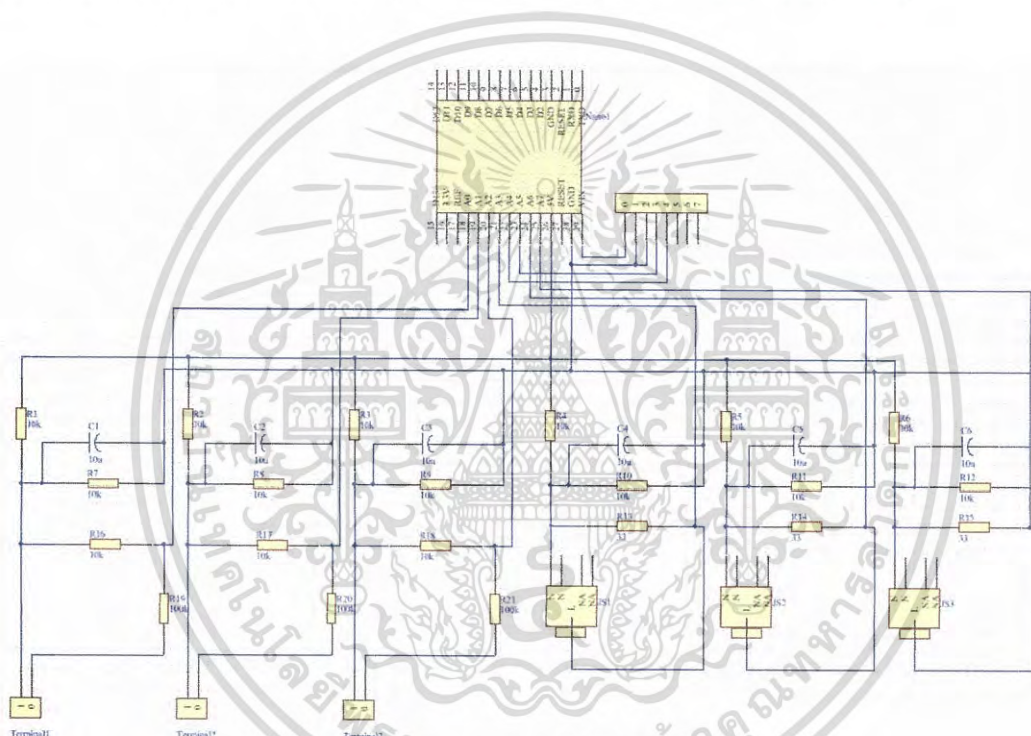
### 3.4.2 การออกแบบวงจรสำหรับสเลฟ 2

สเลฟ 2 เป็นส่วนที่มีหน้าที่ในการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าปรากฏ และค่าตัวประกอบกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และการตรวจจับสถานะของเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยจะส่งข้อมูลจากการวัดและข้อมูลจากการคำนวณไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทาง I<sup>2</sup>C bus ดังแสดงในรูปที่ 3.9 โดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับบอร์ดนี้คือ Arduino Nano ซึ่งทำหน้าที่เป็นสเลฟ และได้ออกแบบให้มีช่องสำหรับเสียบสายจากเซ็นเซอร์ต่างๆ ช่องสำหรับเชื่อมต่อกับ I<sup>2</sup>C bus และช่องสำหรับจ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด ดังนี้

- Terminal 1: สำหรับเสียบสายจากหม้อแปลงแรงดัน ซึ่งใช้ในการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- Terminal 2: สำหรับเสียบสายจากหม้อแปลงแรงดัน ซึ่งเป็นช่องสำรองในการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- Terminal 3: สำหรับเสียบสายจากหม้อแปลงแรงดัน ซึ่งเป็นช่องสำรองในการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

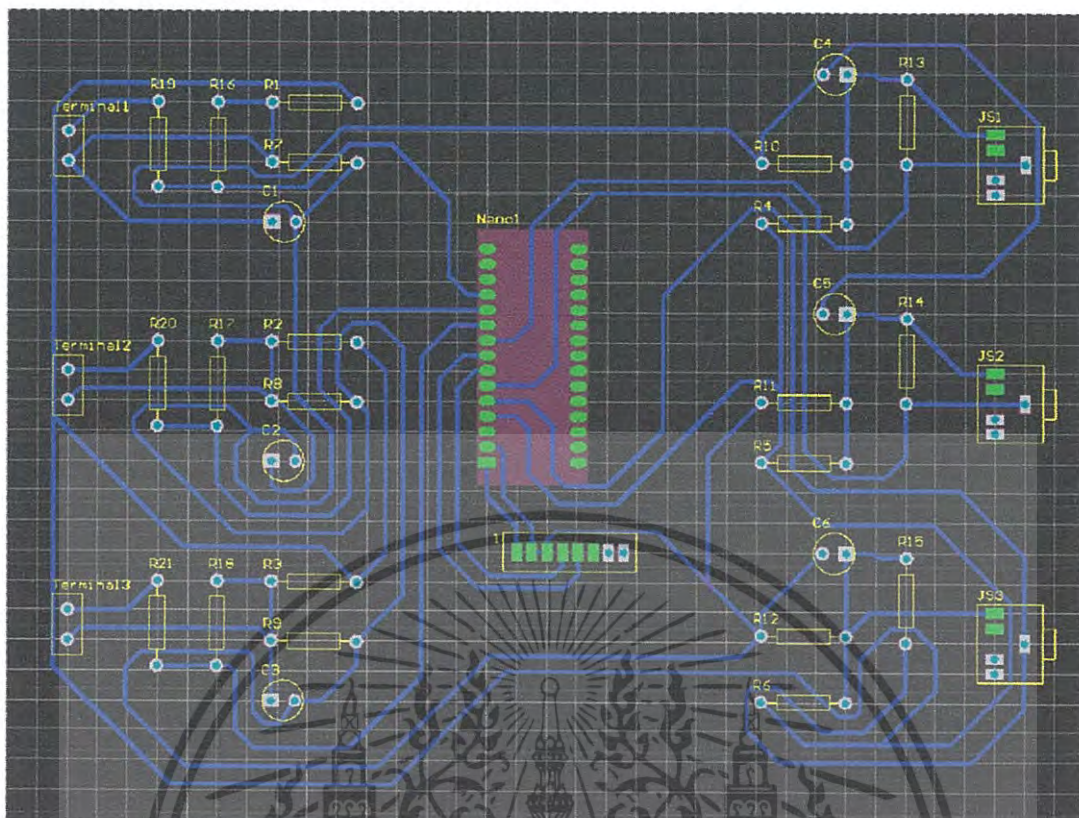
- Jack socket 1: สำหรับเสียบสายจากหม้อแปลงกระแส ซึ่งใช้ในการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- Jack socket 2: สำหรับเสียบสายจากหม้อแปลงกระแส ซึ่งเป็นช่องสำรองในการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- Jack socket 3: สำหรับเสียบสายจากหม้อแปลงกระแส ซึ่งเป็นช่องสำรองในการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- Pin Header 1: สำหรับเสียบสายเพื่อรับสัญญาณความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากบอร์ดเสริม สำหรับเสียบสายเพื่อรับสัญญาณสถานะของเซอร์กิตเบรกเกอร์ซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัลจากบอร์ดเสริม และสำหรับเชื่อมต่อกับ I<sup>2</sup>C bus และจ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ดนี้



รูปที่ 3.9 Schematic design สำหรับสเลฟ 2

เมื่อได้ Schematic design ของสเลฟ 2 ขั้นตอนต่อไปจึงได้ทำการออกแบบ PCB สำหรับสเลฟ 2 ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 PCB design สำหรับสเลฟ 2

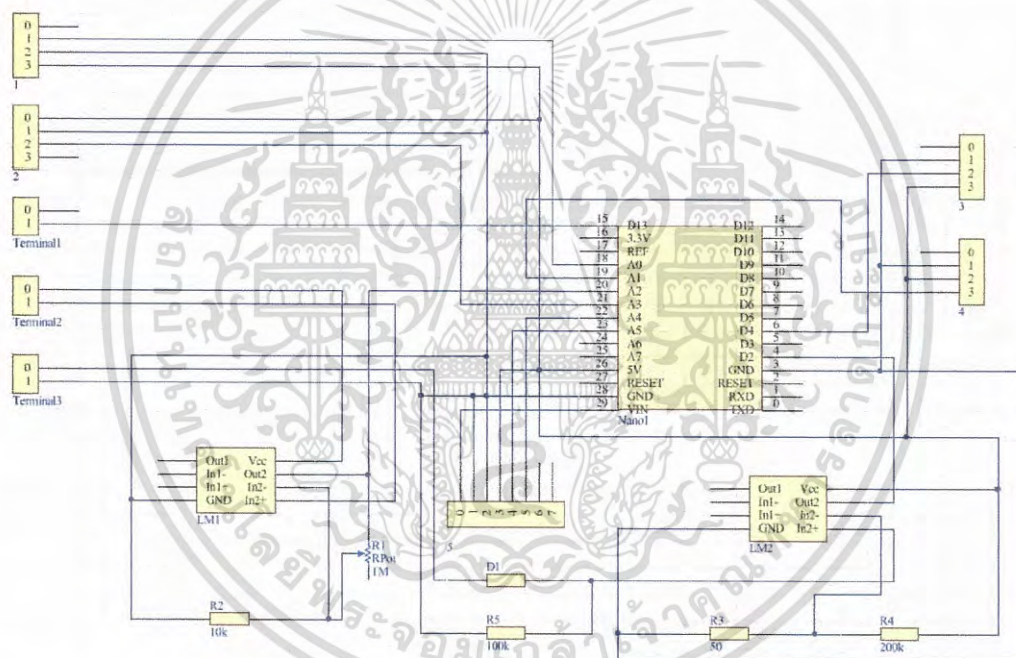
### 3.4.3 การออกแบบวงจรสำหรับสเลฟ 3

สเลฟ 3 เป็นส่วนที่มีหน้าที่ในการวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ สถานะของไดชาร์จ ความหนาแน่นของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสีย อุณหภูมิและความชื้นของแผงควบคุม และสถานะของอุปกรณ์ตรวจจับสนิทไฟฟ้าวัดลงดิน และมีหน้าที่ส่งข้อมูลที่วัดได้ไปที่มาสเตอร์ผ่านทาง I<sup>2</sup>C bus ดังแสดงในรูปที่ 3.11 โดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับบอร์ดนี้คือ Arduino Nano ซึ่งทำหน้าที่เป็นสเลฟ และได้ออกแบบให้มีช่องสำหรับเสียบสายจากเซ็นเซอร์ต่างๆ ช่องสำหรับเชื่อมต่อกับ I<sup>2</sup>C bus และช่องสำหรับจ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด ดังนี้

- Terminal 1: สำหรับเสียบสายเพื่อรับสัญญาณสถานะของอุปกรณ์ตรวจจับสนิทไฟฟ้าวัดลงดินซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัล
- Terminal 2: สำหรับเสียบสายเพื่อรับแหล่งจ่ายไฟ 12 โวลต์จากแบตเตอรี่ และสำหรับเสียบสายจากขั้วของตัวต้านทานชั้นที่เพื่อวัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานชั้นที่ ซึ่งเป็นวิธีสำรองในการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่
- Terminal 3: สำหรับเสียบสายจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดความเร็วชนิดพาสซีฟ ซึ่งใช้ในการตรวจวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์

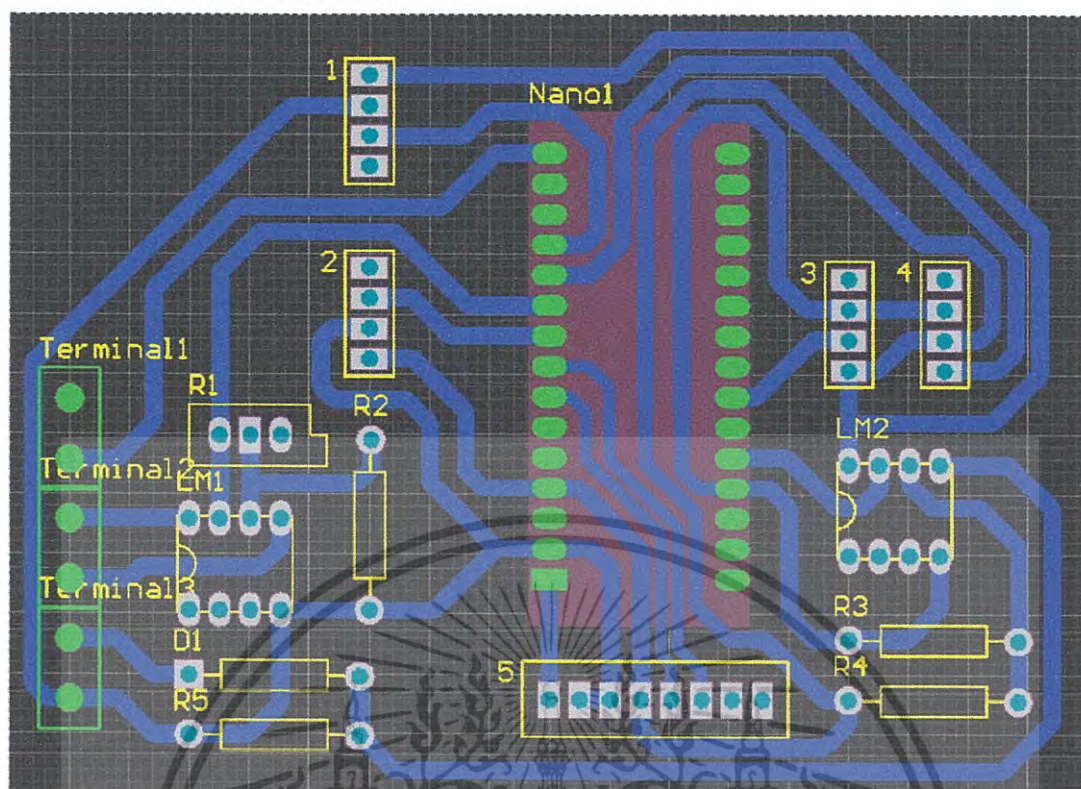
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Pin Header 1: สำหรับเสียบสายจาก MQ-9 Gas sensor ซึ่งใช้ในการตรวจวัดความหนาแน่นของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์
- Pin Header 2: สำหรับเสียบสายจากเซ็นเซอร์ปรากฏการณ์ฮอลล์ ซึ่งใช้ในการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่
- Pin Header 3: สำหรับเสียบสายจาก DHT22 module ซึ่งใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้ของระบบตรวจติดตาม
- Pin Header 4: สำหรับเสียบสายจากเซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งใช้ในการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่
- Pin Header 5: สำหรับเสียบสายเพื่อรับสัญญาณสถานะของไดซาร์จซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัลจากบอร์ดเสริม และสำหรับเชื่อมต่อกับ I<sup>2</sup>C bus และจ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ดนี้



รูปที่ 3.11 Schematic design สำหรับสเลฟ 3

เมื่อได้ Schematic design ของสเลฟ 3 ขั้นตอนต่อไปจึงได้ทำการออกแบบ PCB สำหรับสเลฟ 3 ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.12

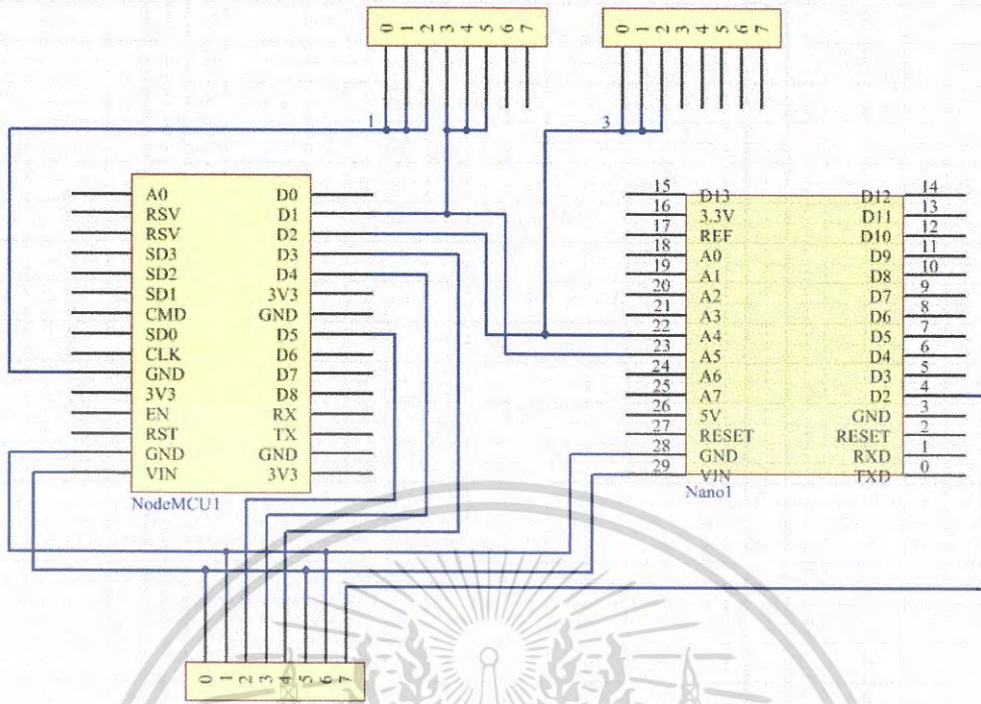


รูปที่ 3.12 PCB design สำหรับสเลฟ 3

#### 3.4.4 การออกแบบวงจรสำหรับมาสเตอร์ (Master) และสเลฟ 4

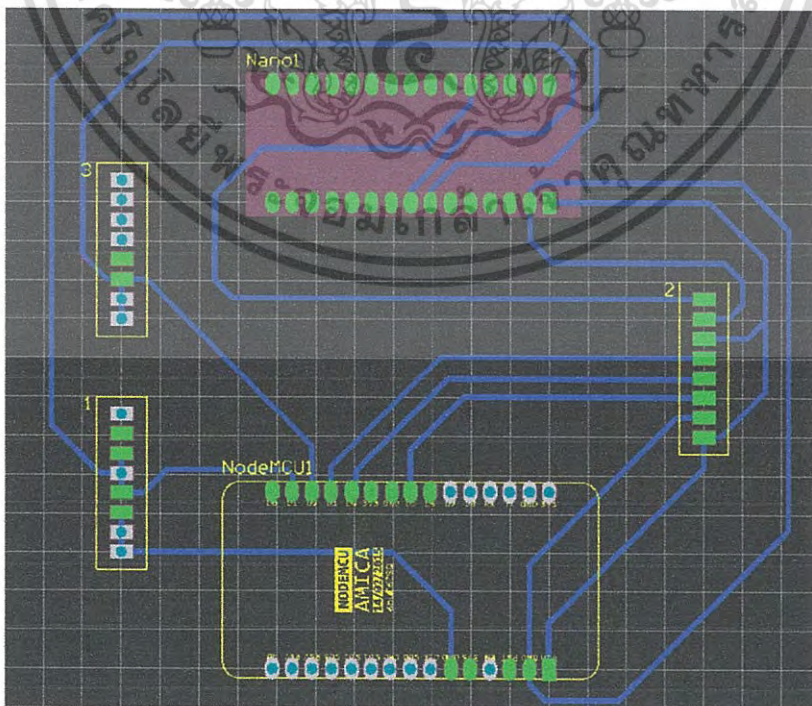
สำหรับบอร์ดนี้จะประกอบด้วยมาสเตอร์ และสเลฟ 4 เป็นส่วนที่มีหน้าที่ในการส่งข้อมูลทั้งหมดไปยังฐานข้อมูล ThingSpeak บนระบบอินเทอร์เน็ต โดยอาศัยการเชื่อมต่อกับเครือข่าย Wi-Fi และมีหน้าที่ในการสำรองข้อมูลทั้งหมดลงใน Micro SD card ซึ่งบอร์ดนี้จะรับข้อมูลที่วัดได้จากสเลฟ 1, สเลฟ 2 และ สเลฟ 3 ผ่านทาง I<sup>2</sup>C bus ดังแสดงในรูปที่ 3.13 โดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับบอร์ดนี้คือ NodeMCU 1.0 (ESP-12E Module) ซึ่งทำหน้าที่เป็นมาสเตอร์ และ Arduino Nano ซึ่งทำหน้าที่เป็นสเลฟ และได้ออกแบบให้มีช่องสำหรับเสียบสายจาก Micro SD card module และ Real time clock module ช่องสำหรับเชื่อมต่อกับ I<sup>2</sup>C bus และช่องสำหรับจ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด ดังนี้

- Pin Header 1 และ Pin Header 3: สำหรับเชื่อมต่อกับ I<sup>2</sup>C bus
- Pin Header 2: สำหรับเสียบสายจาก Micro SD card module และ Real time clock module และสำหรับจ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ดนี้



รูปที่ 3.13 Schematic design สำหรับมาสเตอร์ และสเลฟ 4

เมื่อได้ Schematic design ของมาสเตอร์ และสเลฟ 4 ขั้นตอนต่อไปจึงได้ทำการ ออกแบบ PCB สำหรับบอร์ดนี้ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.14



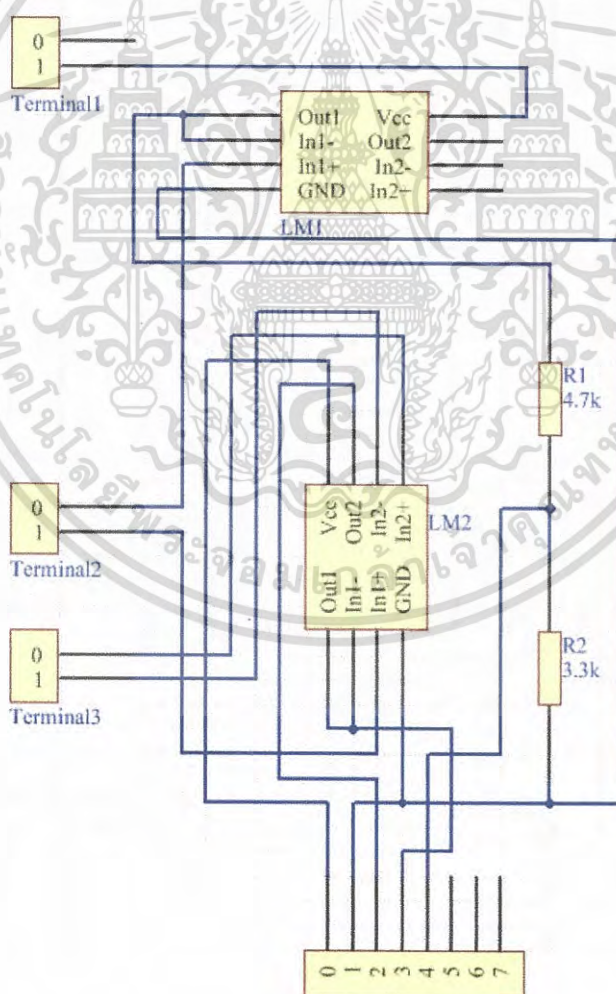
รูปที่ 3.14 PCB design สำหรับมาสเตอร์ และสเลฟ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.5 การออกแบบวงจรสำหรับบอร์ดเสริม

สำหรับบอร์ดนี้เป็นส่วนที่มีหน้าที่ในการวัดความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สถานะของเซอร์กิตเบรกเกอร์ และสถานะของไดซาร์จ ซึ่งจะส่งข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัลไปที่บอร์ดสเลฟ 2 และบอร์ดสเลฟ 3 โดยที่ Schematic design ของบอร์ดเสริมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.15 และได้ออกแบบให้มีช่องสำหรับเสียบสายเพื่อรับและส่งสัญญาณต่างๆ ดังนี้

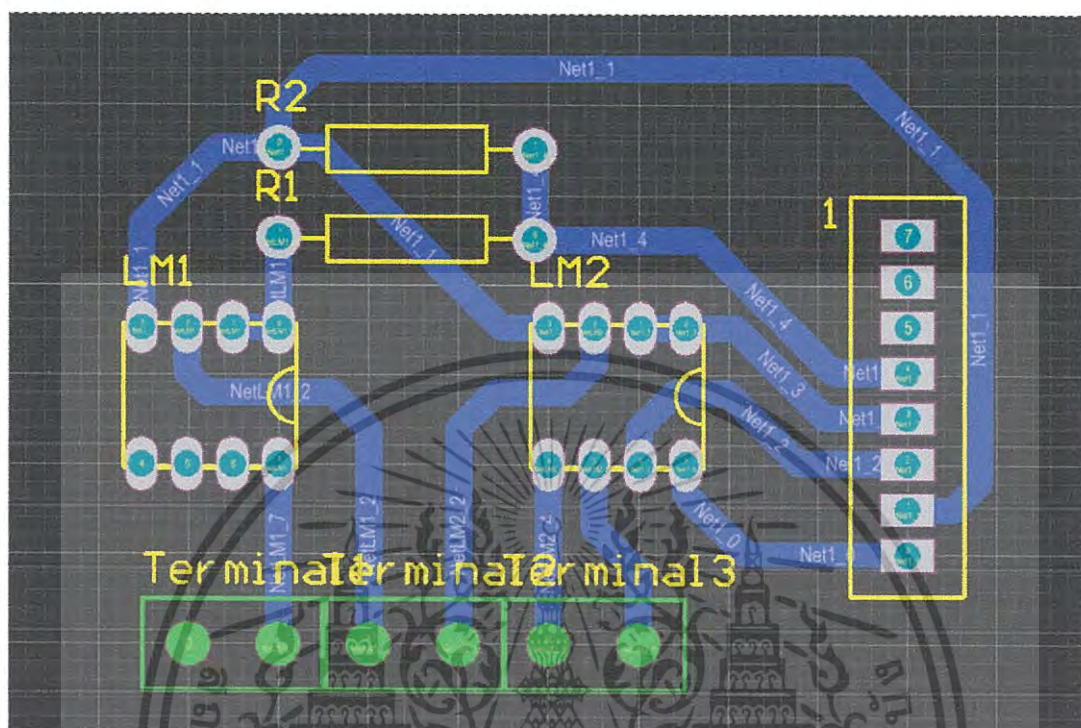
- Terminal 1: สำหรับเสียบสายเพื่อรับแหล่งจ่ายไฟ 12 โวลต์จากแบตเตอรี่
- Terminal 2: สำหรับเสียบสายเพื่อรับสัญญาณสถานะของไดซาร์จ และสัญญาณสถานะของเซอร์กิตเบรกเกอร์
- Terminal 3: สำหรับเสียบสายเพื่อวัดความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- Pin Header 1: สำหรับเสียบสายเพื่อส่งสัญญาณดิจิทัลไปที่บอร์ดสเลฟ 2 และบอร์ดสเลฟ 3 และสำหรับจ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ดนี้



รูปที่ 3.15 Schematic design สำหรับบอร์ดเสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ Schematic design ของบอร์ดเสริม ขั้นตอนต่อไปจึงได้ทำการออกแบบ PCB สำหรับบอร์ดนี้ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 PCB design สำหรับบอร์ดเสริม

### 3.5 การออกแบบการแสดงผลบน ThingSpeak platform และเว็บไซต์

#### 3.5.1 การออกแบบการแสดงผลบน ThingSpeak platform

ระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้ได้ใช้ ThingSpeak เป็นแพลตฟอร์มในการส่งผ่านข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่างๆ มาเก็บเป็นฐานข้อมูล โดยในแพลตฟอร์มนี้ได้ ออกแบบจำนวนช่องไว้ 3 ช่อง (Channel) โดยในแต่ละ Channel จะแสดงค่าที่ตรวจวัดได้ ซึ่งสามารถแสดงได้สูงสุด 8 ฟیلด์ (Field) ต่อ 1 Channel ดังนี้

3.5.1.1 Channel 1 จะแสดงค่าที่ตรวจวัดได้ซึ่งประกอบด้วย 6 ฟیلด์ ได้แก่ ปริมาณ เชื้อเพลิงคงเหลือ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ความดันน้ำมันหล่อลื่น อุณหภูมิโครง เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และความเร็วรอบของเครื่องยนต์

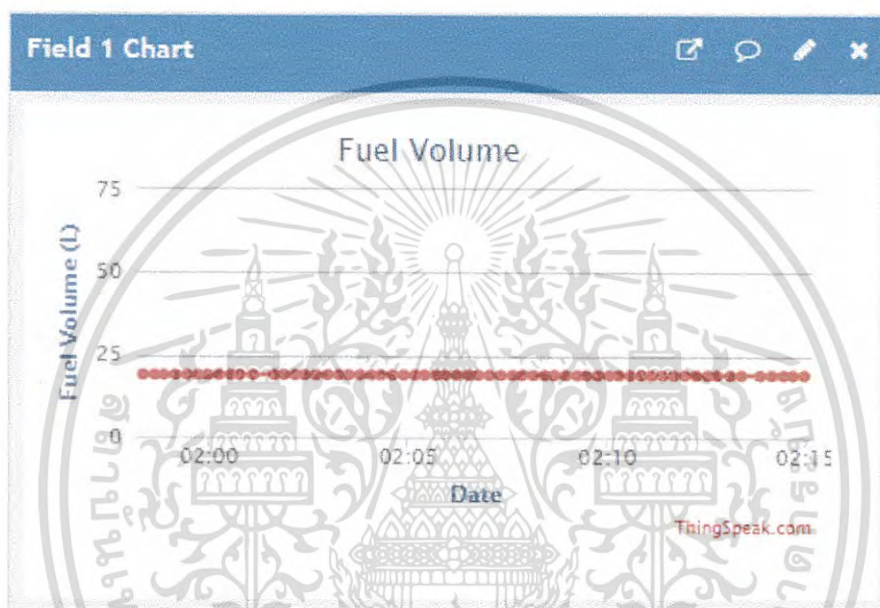
3.5.1.2 Channel 2 จะแสดงค่าที่ตรวจวัดได้ซึ่งประกอบด้วย 8 ฟیلด์ ได้แก่ ค่า แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ค่าความถี่ของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าจริง ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ ค่าตัวประกอบกำลังของเครื่องกำเนิด ไฟฟ้า ค่าสถานะของเซอร์กิตเบรกเกอร์ และค่าสถานะของอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าวัดลงดิน

3.5.1.3 Channel 3 จะแสดงค่าที่ตรวจวัดได้ซึ่งประกอบด้วย 6 ฟیلด์ ได้แก่ ค่า แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ ค่ากระแสไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ ค่าสถานะของไดชาร์จ ค่าความ

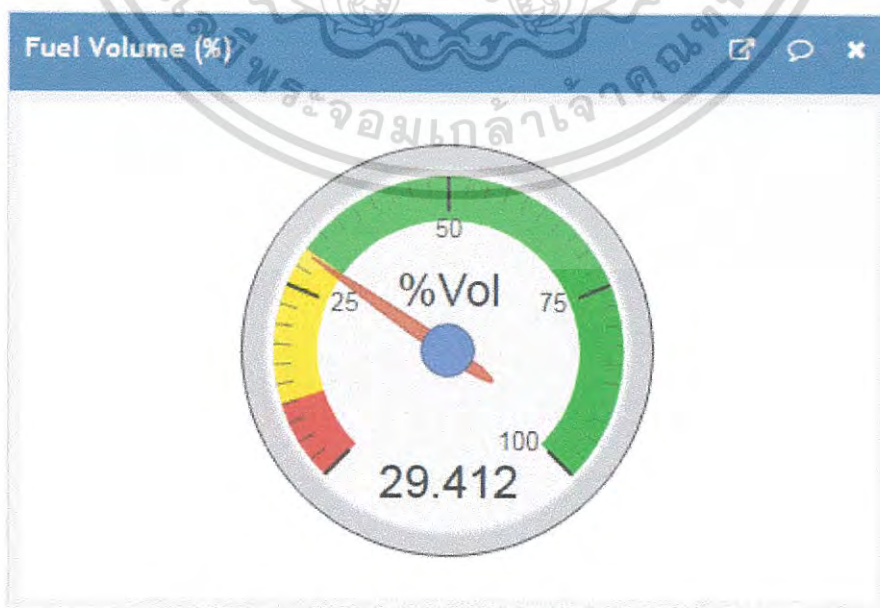
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนาแน่นของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสีย ค่าความชื้นของแผงควบคุม และค่าอุณหภูมิของแผงควบคุม

โดยในแต่ละ Channel จะแสดงผลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในรูปแบบกราฟของค่าที่ตรวจวัดได้ ณ เวลาใดๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.17 พร้อมทั้งแสดงค่าที่ตรวจวัดได้ ณ เวลาปัจจุบัน ในรูปของหน้าปัด ดังแสดงในรูปที่ 3.18 ซึ่งในกรณีของปริมาณเชื้อเพลิงคงเหลือที่หน้าปัดจะแสดงเปอร์เซ็นต์คงเหลือของระดับเชื้อเพลิงในถังเก็บเชื้อเพลิง โดยในรูปที่ 3.19 จะแสดงตัวอย่างการแสดงผลใน Channel บน ThingSpeak platform

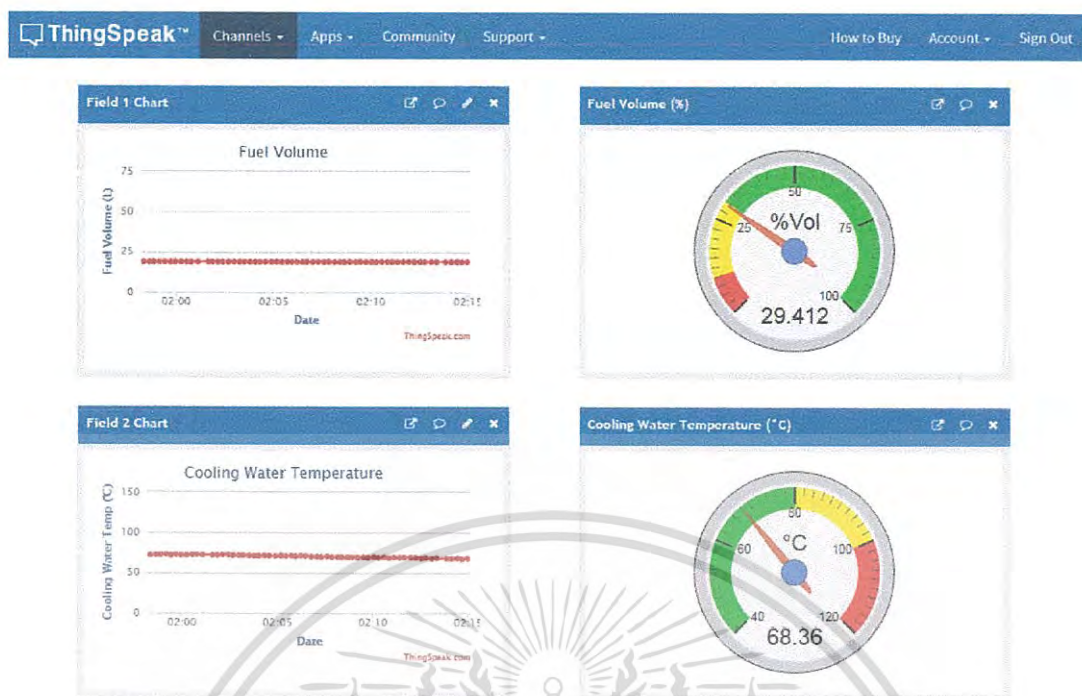


รูปที่ 3.17 กราฟของค่าที่ตรวจวัดได้ ณ เวลาใดๆ



รูปที่ 3.18 หน้าปัดแสดงค่าที่ตรวจวัด ณ เวลาปัจจุบัน

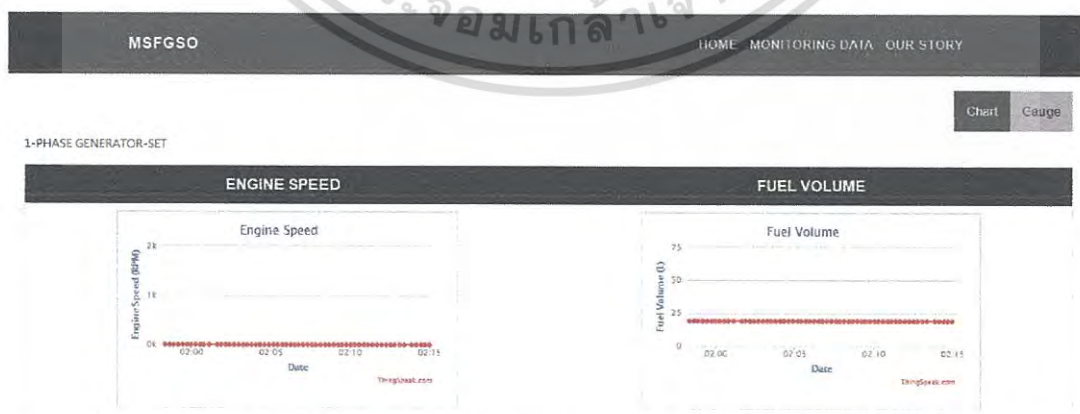
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 ตัวอย่างการแสดงผลใน Channel บน ThingSpeak platform

### 3.5.2 การออกแบบการแสดงผลบนเว็บไซต์

ในการแสดงผลผ่าน ThingSpeak platform นั้นเป็นการแสดงแบบส่วนตัว (Private) ผู้ใช้งานจำเป็นต้องล็อกอินในการใช้งาน ดังนั้นระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้จึงได้ออกแบบให้มีการแสดงผลบนเว็บไซต์ ซึ่งเป็นเว็บไซต์สาธารณะ เพื่อความสะดวกในการใช้งาน โดยในเว็บไซด์นี้ออกแบบให้มีการแสดงผลในรูปแบบกราฟของค่าที่ตรวจวัดได้ ณ เวลาใดๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.20 และการแสดงผลในรูปของหน้าปัดแสดงค่าที่ตรวจวัดได้ ณ เวลาปัจจุบัน ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.20 ตัวอย่างการแสดงผลในรูปแบบกราฟของค่าที่ตรวจวัดได้ ณ เวลาใดๆ บนเว็บไซต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 ตัวอย่างการแสดงผลในรูปของหน้าปัดแสดงค่าที่ตรวจวัดได้ ณ เวลาปัจจุบันบนเว็บไซต์

### 3.6 การออกแบบระบบแจ้งเตือนสถานะผิดปกติต่างๆ ของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านทางแอปพลิเคชันทวิตเตอร์

ระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้ได้ออกแบบให้มีการแจ้งเตือนหากชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีการทำงานผิดปกติ หรือแจ้งเตือนถึงสถานะต่างๆ ที่จำเป็นต่อการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยจะนำค่าที่ตรวจวัดจากเซ็นเซอร์ต่างๆ บน ThingSpeak platform มาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับช่วงของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทำงานปกติ (Normal operation) ของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งถ้าหากค่าที่ตรวจวัดจากเซ็นเซอร์ต่างๆ ไม่อยู่ในช่วงการทำงานปกติของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบตรวจติดตามการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้จะแจ้งเตือนโดยการโพสต์ (Post) ข้อความบนหน้าโฮม (Home) ของแอปพลิเคชันทวิตเตอร์ผ่านฟังก์ชันทวิต (ThingTweet) บน ThingSpeak platform ผู้ใช้งานจะได้รับการแจ้งเตือนหากชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีการทำงานผิดปกติ เมื่อผู้ใช้งานได้ติดตาม (Follow) บัญชีผู้ใช้งาน (Account) ของระบบตรวจติดตามนี้ โดยในรูปที่ 3.22 แสดงถึงตัวอย่างข้อความแจ้งเตือนที่ถูกโพสต์บนหน้าโฮมของบัญชีผู้ใช้งานของระบบตรวจติดตาม เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถสังเกตสถานะการทำงานผิดปกติต่างๆ ของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้โดยไม่ต้องอยู่ที่จุดติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น



รูปที่ 3.22 ตัวอย่างข้อความแจ้งเตือนที่ถูกโพสต์บนหน้าโฮมของบัญชีใช้งานของระบบตรวจ

### 3.7 การออกแบบระบบควบคุมจากระยะไกลผ่านทางแอปพลิเคชันบลิงค์

ระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้ได้ออกแบบให้มีระบบควบคุมจากระยะไกลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งผู้ใช้งานจะสามารถควบคุมระบบตรวจติดตาม ควบคุมการเดินเครื่อง และควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า ได้โดยผ่านทางแอปพลิเคชันบลิงค์ บนอุปกรณ์อัจฉริยะต่างๆ ซึ่งได้มีการออกแบบลักษณะของหน้าจอผู้ใช้ (User interface: UI) บนแอปพลิเคชันบลิงค์ดังแสดงในรูปที่ 3.23

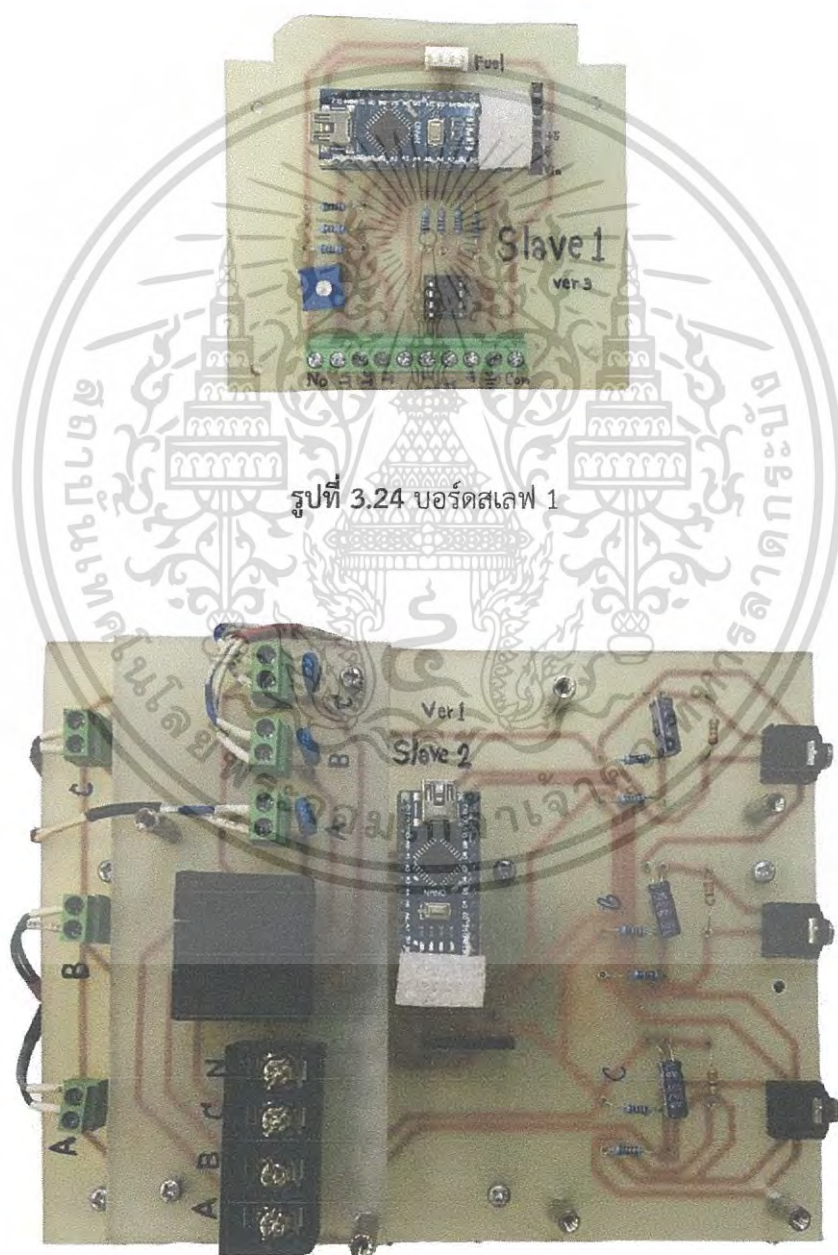


รูปที่ 3.23 ลักษณะของหน้าจอผู้ใช้บนแอปพลิเคชันบลิงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.8 การประกอบสร้างระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

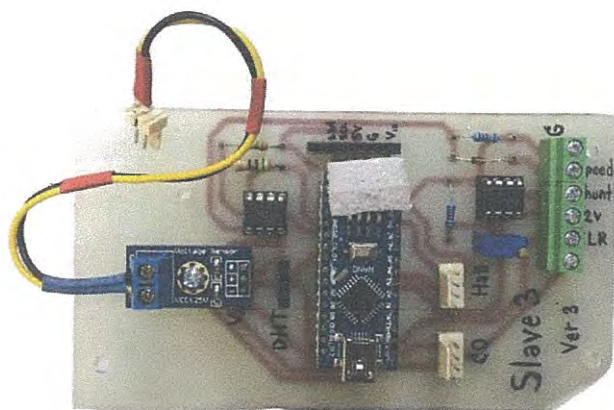
ระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ประกอบสร้างขึ้นโดยการจัดทำแผ่นวงจรของบอร์ดต่างๆ ได้แก่ บอร์ดสเลฟ 1 บอร์ดสเลฟ 2 บอร์ดสเลฟ 3 บอร์ดมาสเตอร์และสเลฟ 4 บอร์ดเสริม บอร์ดควบคุมจากระยะไกล และบอร์ดแหล่งจ่ายไฟ ดังแสดงในรูปที่ 3.24 – 3.30 ตามลำดับ ซึ่งได้นำแผ่นวงจรของบอร์ดต่างๆ มาประกอบรวมกันภายในตู้พลาสติกกันน้ำดังแสดงในรูปที่ 3.31



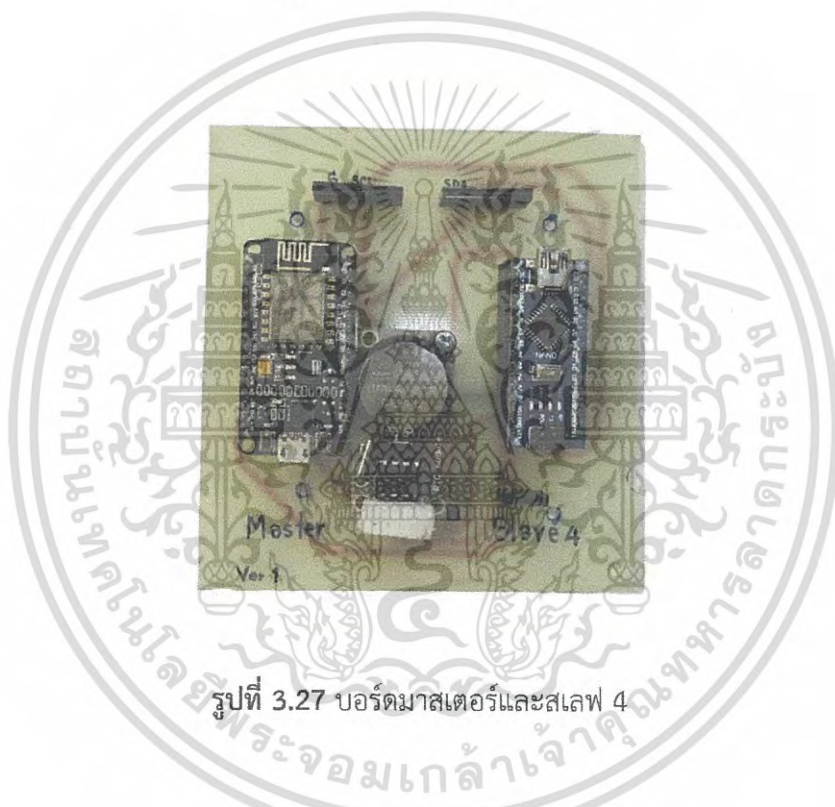
รูปที่ 3.24 บอร์ดสเลฟ 1

รูปที่ 3.25 บอร์ดสเลฟ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 บอร์ดสเลฟ 3

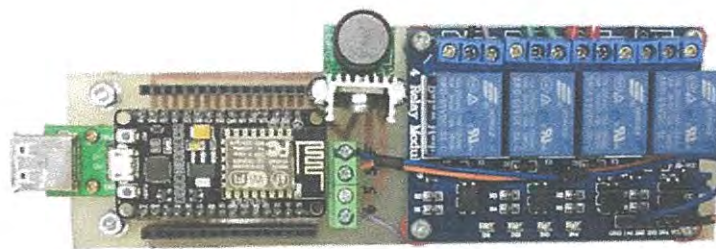


รูปที่ 3.27 บอร์ดมาสเตอร์และสเลฟ 4



รูปที่ 3.28 บอร์ดเสริม

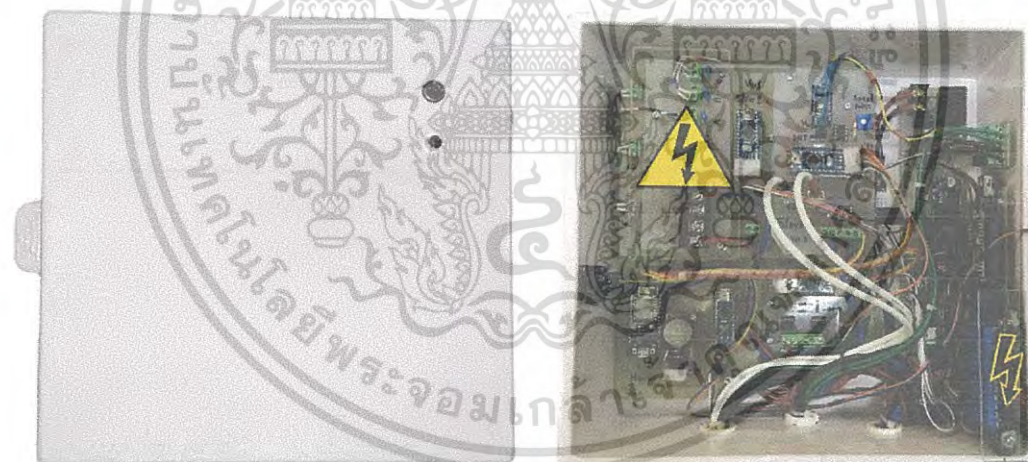
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 บอร์ดควบคุมจากกระยะไกล



รูปที่ 3.30 บอร์ดแหล่งจ่ายไฟ



รูปที่ 3.31 ภายนอกตู้พลาสติกกันน้ำ (ซ้าย) และ ภายในตู้พลาสติกกันน้ำ (ขวา)

### 3.9 การติดตั้งระบบตรวจติดตามเข้ากับชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

สำหรับการนำระบบตรวจติดตามมาติดตั้งเข้ากับชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะใช้วิธีการรวมสายสัญญาณจากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งตามจุดต่างๆ ของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาจัดทำเป็นช่องสำหรับเสียบสายดังแสดงในรูปที่ 3.32 เพื่อความสะดวกในการติดตั้งระบบตรวจติดตามเข้ากับชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และการปลดระบบตรวจติดตามออกจากชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งสามารถแสดงการติดตั้งระบบตรวจติดตามเข้ากับชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 3.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.32 ช่องสำหรับเสียบสายเพื่อติดตั้งระบบตรวจติดตามเข้ากับชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 3.33 การติดตั้งระบบตรวจติดตามเข้ากับชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดสอบและผลการทดสอบ

#### 4.1 การสอบเทียบและผลการสอบเทียบ

เพื่อให้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ตรวจวัดได้ของระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีความถูกต้องแม่นยำ และน่าเชื่อถือ จึงได้มีการสอบเทียบระหว่างค่าพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดได้จากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้ง และค่าที่ตรวจวัดได้จากเครื่องมือวัดที่มีมาตรฐาน ซึ่งผลการสอบเทียบจะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการวัด โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.1

$$\%Error = \left| \frac{X_m - X_t}{X_t} \right| \times 100 \quad (4.1)$$

โดยที่

$\%Error$  คือ เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการวัด

$X_m$  คือ ค่าที่ตรวจวัดได้จากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้ง

$X_t$  คือ ค่าที่ตรวจวัดได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน

##### 4.1.1 การสอบเทียบการตรวจวัดอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น

เครื่องมือวัดมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบการตรวจวัดอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นคือ DIGICON Digital Temperature Control รุ่น DD-8 ซึ่งได้ผลการสอบเทียบดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการสอบเทียบการตรวจวัดอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น

ค่าที่ตรวจวัดได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน	24.00 °C	60.00 °C	90.00 °C
ค่าที่ตรวจวัดได้จากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้ง	24.41 °C	59.51 °C	89.79 °C
เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการวัด	1.71 %	0.82 %	0.23 %

##### 4.1.2 การสอบเทียบการตรวจวัดอุณหภูมิโครงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องมือวัดมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบการตรวจวัดอุณหภูมิโครงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคือ DIGICON Digital Temperature Control รุ่น DD-8 ซึ่งได้ผลการสอบเทียบดังแสดงในตารางที่ 4.2

#### ตารางที่ 4.2 ผลการสอบเทียบการตรวจวัดอุณหภูมิเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ค่าที่ตรวจวัดได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน	24.00 °C	60.00 °C	90.00 °C
ค่าที่ตรวจวัดได้จากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้ง	24.18 °C	60.05 °C	90.19 °C
เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการวัด	0.75 %	0.08 %	0.21 %

#### 4.1.3 การสอบเทียบการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องมือวัดมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคือ YOKOGAWA Digital Power Meter รุ่น CW120 ซึ่งได้ผลการสอบเทียบดังแสดงในตารางที่ 4.3

#### ตารางที่ 4.3 ผลการสอบเทียบการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ค่าที่ตรวจวัดได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน	200.20 V	220.50 V	240.10 V
ค่าที่ตรวจวัดได้จากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้ง	199.91 V	220.81 V	241.05 V
เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการวัด	0.14 %	0.14 %	0.40 %

#### 4.1.4 การสอบเทียบการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องมือวัดมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคือ YOKOGAWA Digital Power Meter รุ่น CW120 ซึ่งได้ผลการสอบเทียบดังแสดงในตารางที่ 4.4

#### ตารางที่ 4.4 ผลการสอบเทียบการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ค่าที่ตรวจวัดได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน	5.18 A	25.42 A	45.03 A
ค่าที่ตรวจวัดได้จากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้ง	5.25 A	25.67 A	45.42 A
เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการวัด	1.35 %	0.98 %	0.87 %

#### 4.1.5 การสอบเทียบการตรวจวัดความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องมือวัดมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบการตรวจวัดความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคือ YOKOGAWA Digital Power Meter รุ่น CW120 ซึ่งได้ผลการสอบเทียบดังแสดงในตารางที่ 4.5

#### ตารางที่ 4.5 ผลการสอบเทียบการตรวจวัดความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ค่าที่ตรวจวัดได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน	45.10 Hz	50.05 Hz	55.09 Hz
ค่าที่ตรวจวัดได้จากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้ง	45.53 Hz	50.42 Hz	55.49 Hz
เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการวัด	0.95 %	0.74 %	0.73 %

#### 4.1.6 การสอบเทียบการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องมือวัดมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคือ YOKOGAWA Digital Power Meter รุ่น CW120 ซึ่งได้ผลการสอบเทียบดังแสดงในตารางที่ 4.6

#### ตารางที่ 4.6 ผลการสอบเทียบการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ค่าที่ตรวจวัดได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน	1.05 kW	4.98 kW	9.88 kW
ค่าที่ตรวจวัดได้จากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้ง	1.08 kW	5.12 kW	10.14 kW
เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการวัด	2.86 %	2.81 %	2.63 %

#### 4.1.7 การสอบเทียบการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าปรากฏของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องมือวัดมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าปรากฏของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคือ YOKOGAWA Digital Power Meter รุ่น CW120 ซึ่งได้ผลการสอบเทียบดังแสดงในตารางที่ 4.7

#### ตารางที่ 4.7 ผลการสอบเทียบการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าปรากฏของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ค่าที่ตรวจวัดได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน	1.12 kVA	5.09 kVA	10.21 kVA
ค่าที่ตรวจวัดได้จากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้ง	1.14 kVA	5.16 kVA	10.35 kVA
เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการวัด	1.79 %	1.38 %	1.37 %

#### 4.1.8 การสอบเทียบการตรวจวัดตัวประกอบกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องมือวัดมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบการตรวจวัดตัวประกอบกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคือ YOKOGAWA Digital Power Meter รุ่น CW120 ซึ่งได้ผลการสอบเทียบดังแสดงในตารางที่ 4.8

#### ตารางที่ 4.8 ผลการสอบเทียบการตรวจวัดตัวประกอบกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ค่าที่ตรวจวัดได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน	0.81	0.85	0.92
ค่าที่ตรวจวัดได้จากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้ง	0.82	0.86	0.91
เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการวัด	1.23 %	1.18 %	1.09 %

#### 4.1.9 การสอบเทียบการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่

เครื่องมือวัดมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่คือ FLUKE Multimeter รุ่น 189 ซึ่งได้ผลการสอบเทียบดังแสดงในตารางที่ 4.9

#### ตารางที่ 4.9 ผลการสอบเทียบการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่

ค่าที่ตรวจวัดได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน	9.04 V	12.09 V	14.07 V
ค่าที่ตรวจวัดได้จากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้ง	9.12 V	12.17 V	14.15 V
เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการวัด	0.88 %	0.66 %	0.57 %

#### 4.1.10 การสอบเทียบการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่

เครื่องมือวัดมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่คือ YOKOGAWA Digital Oscilloscope รุ่น DL1640 ซึ่งได้ผลการสอบเทียบดังแสดงในตารางที่ 4.10

#### ตารางที่ 4.10 ผลการสอบเทียบการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่

ค่าที่ตรวจวัดได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน	5.14 A	14.96 A	26.43 A
ค่าที่ตรวจวัดได้จากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้ง	5.25 A	15.17 A	26.74 A
เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการวัด	2.14 %	1.40 %	1.17 %

#### 4.2 การทดสอบเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งระบบตรวจติดตาม

สำหรับการทดสอบเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งระบบตรวจติดตาม จะทำการทดสอบเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดซึ่งเป็นหลอดไฟชนิดหลอดไส้ (Incandescent lamp) ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผงหลอดไฟชนิดหลอดไส้

การทดสอบนี้ได้จำลองการจ่ายกระแสไฟฟ้าของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้กับโหลดที่ 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% และ 100% ของพิกัดของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้ ซึ่งสามารถแสดงชุดโหลดจำลองที่ใช้ในการทดสอบได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ชุดโหลดจำลองที่ใช้ในการทดสอบ

#### 4.3 ผลการทดสอบการบันทึกข้อมูลใน Micro SD card

ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ตรวจวัดได้ของระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้ จะมีการบันทึกในรูปแบบไฟล์ข้อมูลชนิด Comma separated value (CSV) ซึ่งสามารถเปิดไฟล์ข้อมูลนี้ได้ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel โดยสามารถแสดงผลการทดสอบเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดได้ดังตารางที่ 4.11 และ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลผลการทดสอบที่บันทึกใน Micro SD card (ส่วนที่ 1)

%Load	Fuel Vol. (L)	Cooling Water Temp. (°C)	Lubricant Temp. (°C)	Lubricant Press. (bar)	Gen. Frame Temp. (°C)	Terminal Voltage (V)	Terminal Current (A)	Frequency (Hz)
10%	25.75	76.62	59.93	4.83	26.72	220.44	4.62	52.22
20%	25.75	78.00	63.01	4.91	27.08	220.33	9.23	52.12
30%	25.56	79.80	65.34	5.50	27.26	220.16	13.75	51.71
40%	25.47	82.23	67.83	5.11	26.99	220.31	17.32	51.25
50%	25.19	81.35	73.40	5.03	27.35	220.40	22.75	51.57
60%	25.10	82.23	74.94	5.33	27.98	220.06	27.22	52.45
70%	24.91	82.88	76.01	5.24	28.25	220.00	31.61	51.63
80%	24.91	82.88	77.67	5.59	28.52	220.17	35.87	51.34
90%	24.28	86.06	81.90	5.46	29.62	219.61	40.22	51.28
100%	23.30	85.85	82.88	5.41	31.01	220.35	42.38	52.14

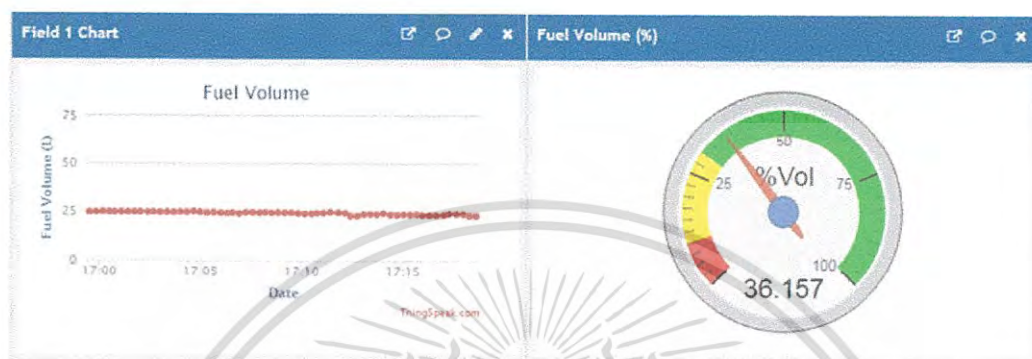
ตารางที่ 4.12 ข้อมูลผลการทดสอบที่บันทึกใน Micro SD card (ส่วนที่ 2)

%Load	Active Power (kW)	PF	Speed (RPM)	Battery Voltage (V)	Battery Current (A)	CO (PPM)	Panel Humidity (%)	Panel Temp. (°C)
10%	1.02	1.00	1505	13.54	24.86	70.69	78.9	26.7
20%	2.02	1.00	1505	13.64	26.68	74.14	77.8	26.9
30%	3.01	1.00	1505	13.78	23.50	85.13	77.8	27.0
40%	3.83	1.00	1505	13.66	21.23	88.99	77.8	27.1
50%	4.99	1.00	1505	13.78	22.75	123.83	76.1	27.4
60%	5.99	1.00	1500	13.88	23.35	166.03	75.2	27.5
70%	6.98	1.00	1500	13.71	19.27	498.55	73.9	27.6
80%	7.91	1.00	1505	13.98	20.03	866.41	73.6	27.7
90%	8.89	1.00	1505	13.93	17.00	816.87	73.0	27.9
100%	9.41	1.00	1505	13.93	13.98	953.45	71.7	28.1

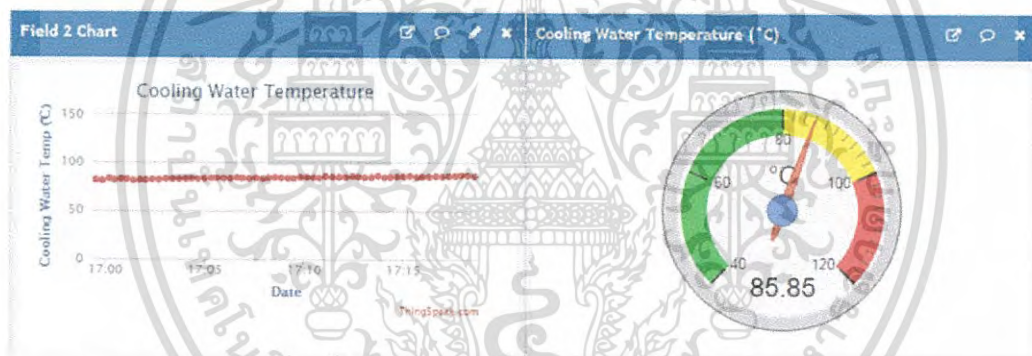
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ผลการทดสอบการแสดงผลบน ThingSpeak platform

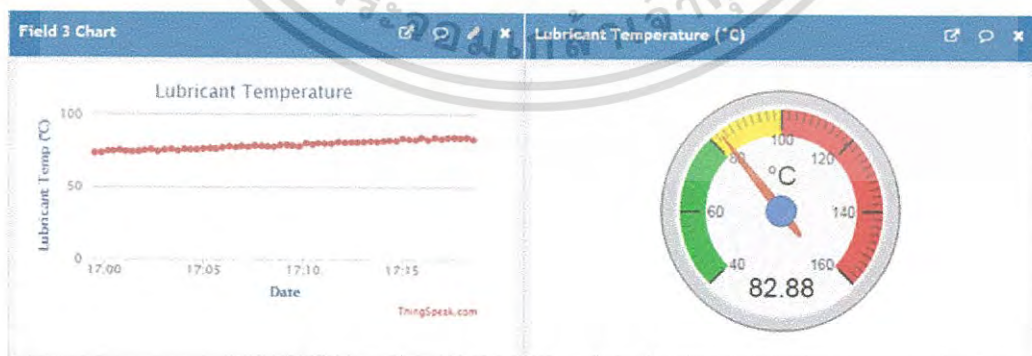
สำหรับการแสดงผลบน ThingSpeak platform นั้นจะแสดงผลในรูปแบบของกราฟของข้อมูลเทียบกับเวลา และในรูปแบบของหน้าปัดซึ่งจะแสดงข้อมูล ณ เวลาปัจจุบัน ซึ่งจากการทดสอบเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลด สามารถแสดงผลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ บน ThingSpeak platform ได้ดังรูปที่ 4.3 – 4.22



รูปที่ 4.3 การแสดงผลค่าปริมาณเชื้อเพลิงคงเหลือ

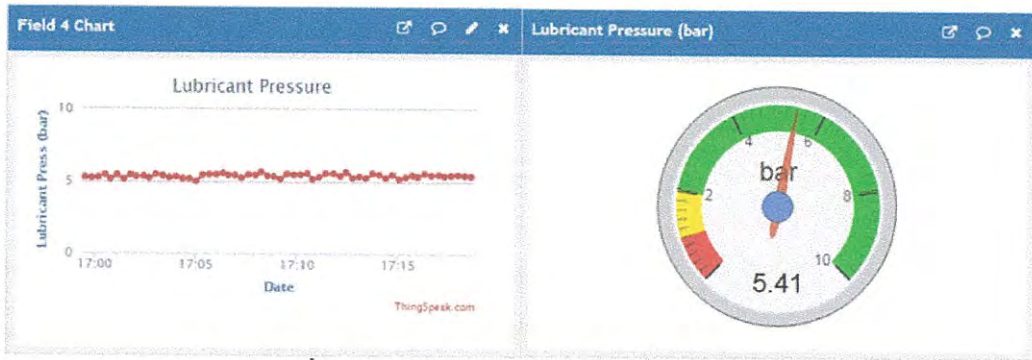


รูปที่ 4.4 การแสดงผลค่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น

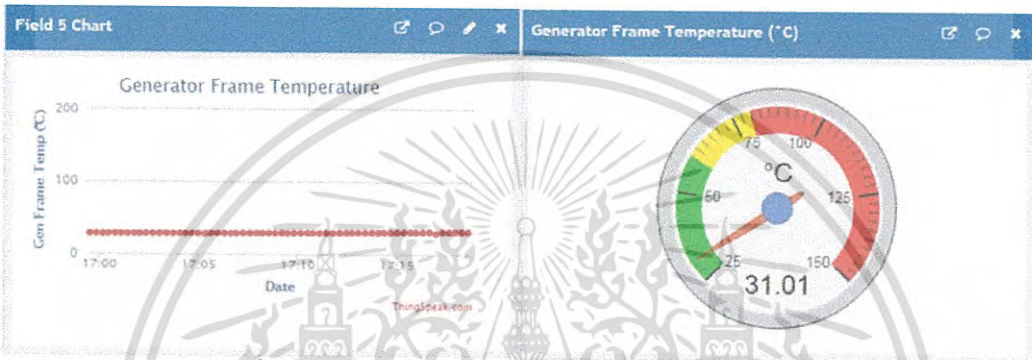


รูปที่ 4.5 การแสดงผลค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 การแสดงผลค่าความดันน้ำมันหล่อลื่น



รูปที่ 4.7 การแสดงผลค่าอุณหภูมิโครงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

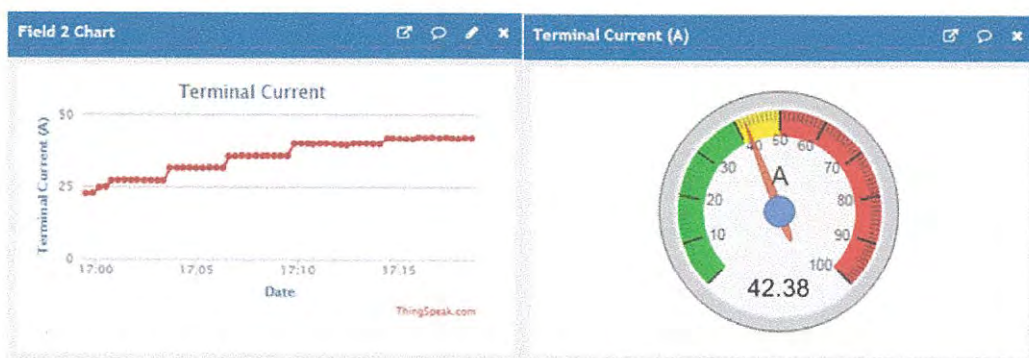


รูปที่ 4.8 การแสดงผลค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์

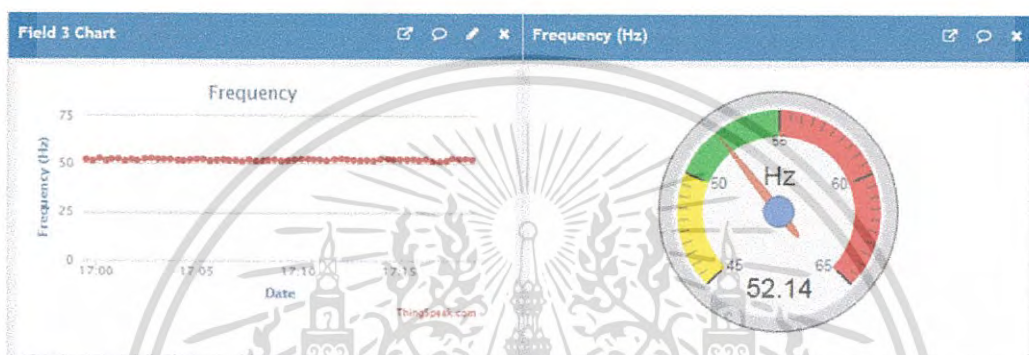


รูปที่ 4.9 การแสดงผลค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



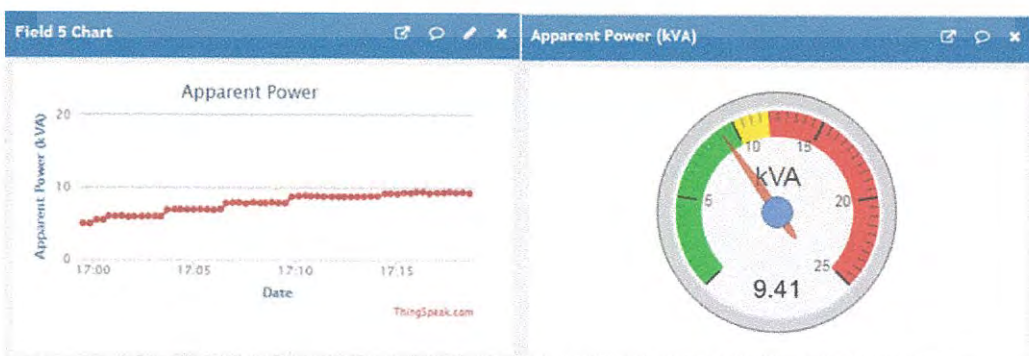
รูปที่ 4.10 การแสดงผลค่ากระแสไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 4.11 การแสดงผลค่าความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

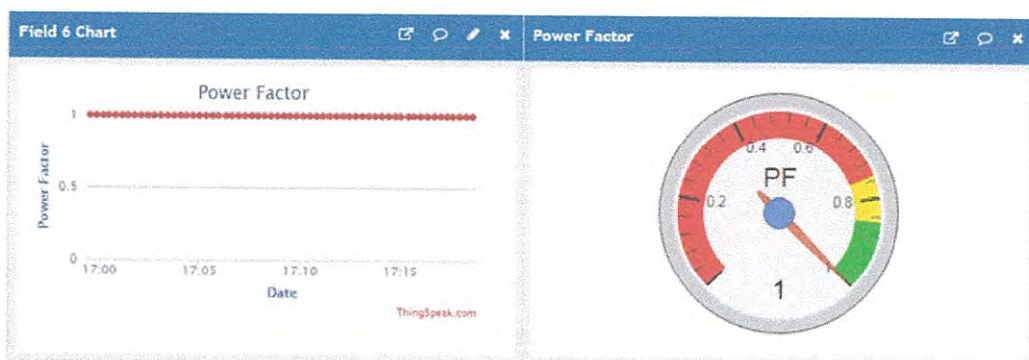


รูปที่ 4.12 การแสดงผลค่ากำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

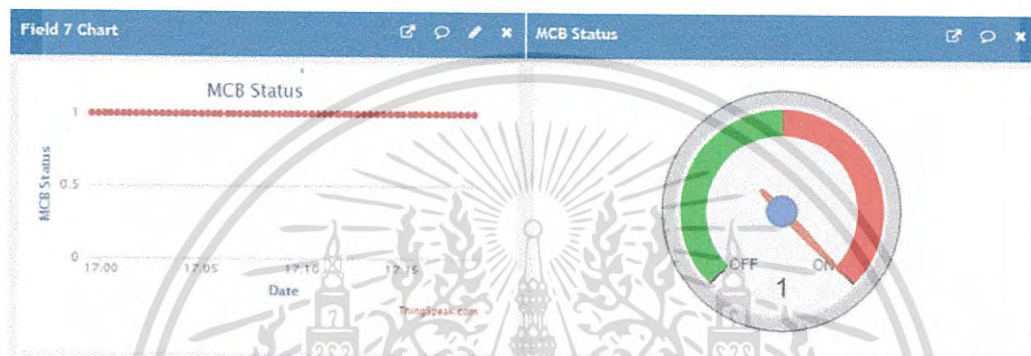


รูปที่ 4.13 การแสดงผลค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

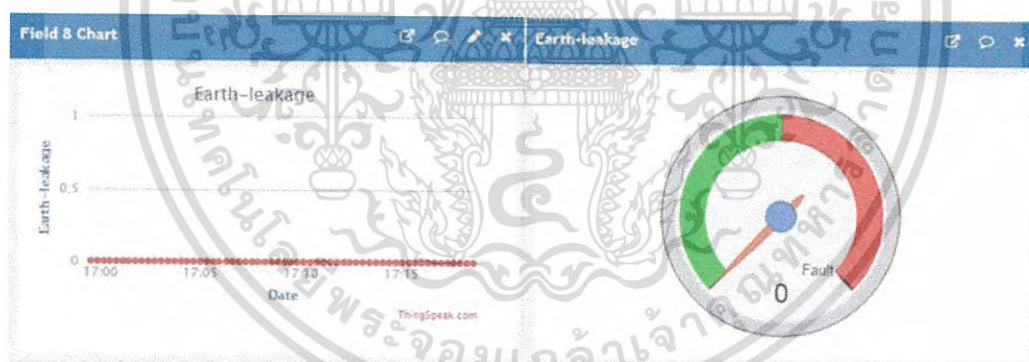
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



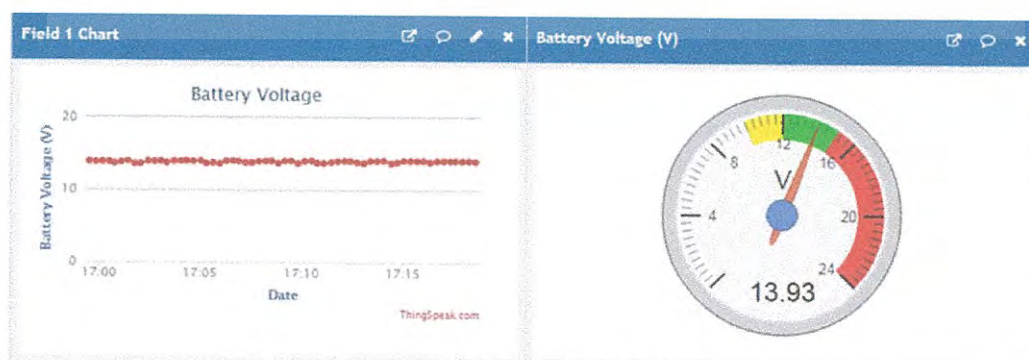
รูปที่ 4.14 การแสดงผลค่าตัวประกอบกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 4.15 การแสดงผลค่าสถานะของเซอร์กิตเบรกเกอร์

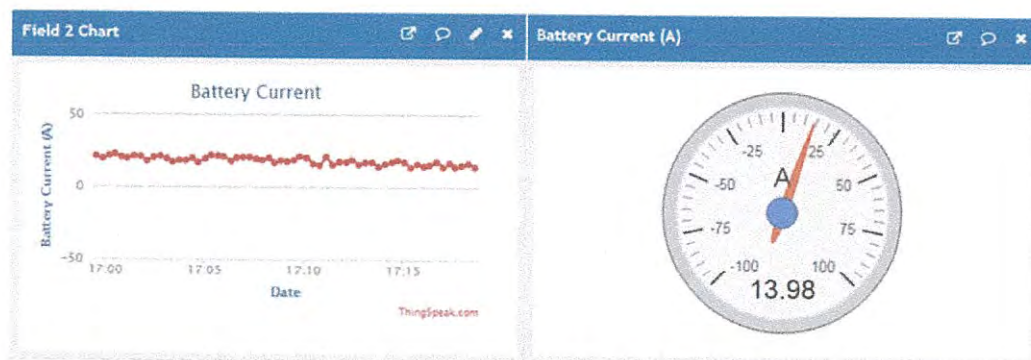


รูปที่ 4.16 การแสดงผลค่าสถานะของอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้ารั่วลงดิน

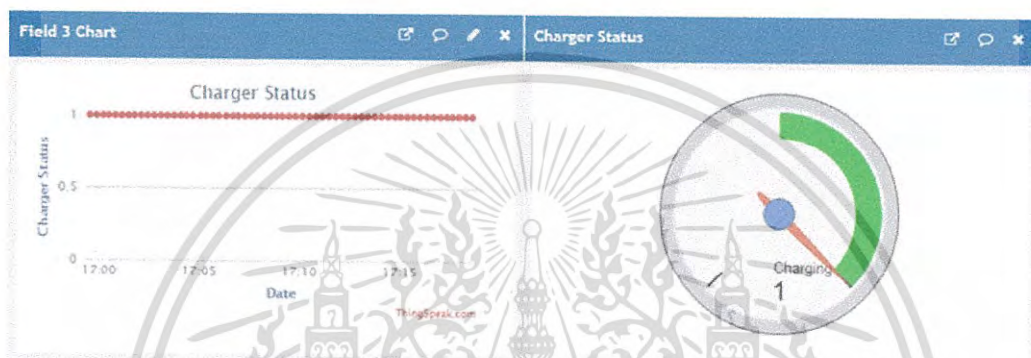


รูปที่ 4.17 การแสดงผลค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



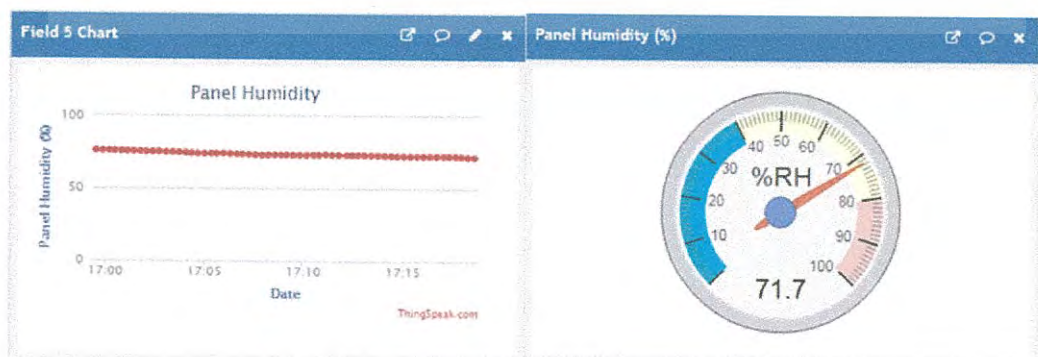
รูปที่ 4.18 การแสดงผลค่ากระแสไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่



รูปที่ 4.19 การแสดงผลค่าสถานะของไดชาร์จ

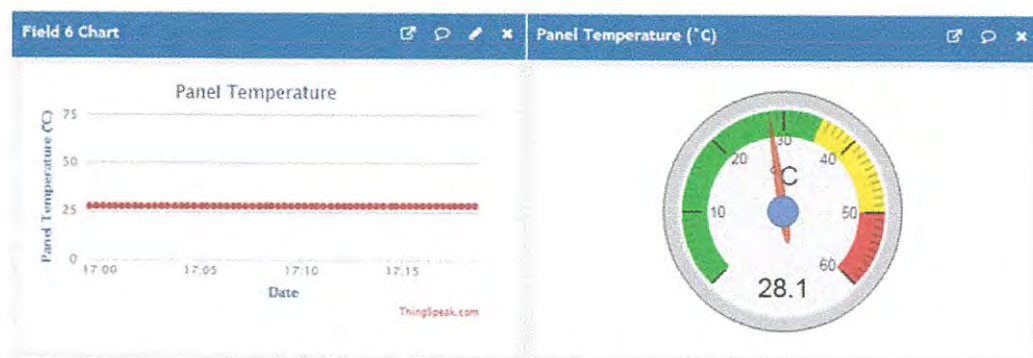


รูปที่ 4.20 การแสดงผลค่าปริมาณของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสีย



รูปที่ 4.21 การแสดงผลค่าความชื้นของแผงควบคุม

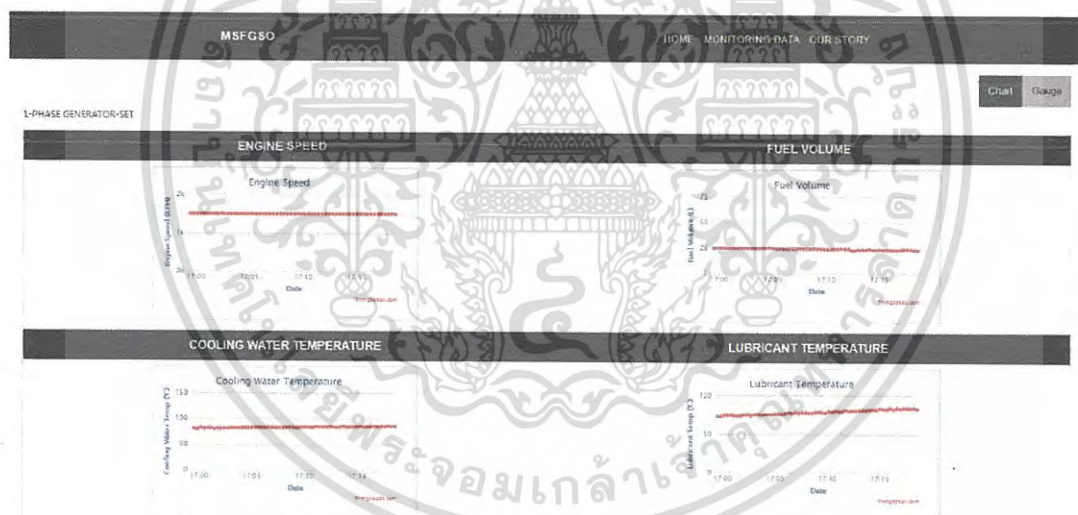
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 การแสดงผลค่าอุณหภูมิของแผงควบคุม

#### 4.5 ผลการทดสอบการแสดงผลบนเว็บไซต์

สำหรับการแสดงผลบนเว็บไซต์นั้นจะแสดงผลในรูปแบบของกราฟของข้อมูลเทียบกับเวลา และในรูปแบบของหน้าปัดซึ่งจะแสดงข้อมูล ณ เวลาปัจจุบัน เช่นเดียวกับการแสดงผลบน ThingSpeak platform ซึ่งจากการทดสอบเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลด สามารถแสดงภาพรวมของการแสดงผลบนเว็บไซต์ได้ดังรูปที่ 4.23 และ 4.24



รูปที่ 4.23 การแสดงผลการทดสอบในรูปแบบของกราฟบนเว็บไซต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 การแสดงผลการทดสอบในรูปแบบของหน้าปิดบนเว็บไซต์

#### 4.6 ผลการทดสอบการแจ้งเตือนสถานะผิดปกติต่างๆ ผ่านทางแอปพลิเคชันทวิตเตอร์

เมื่อข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่างๆ ได้รวบรวมเข้ามาในระบบประมวลผลของระบบตรวจติดตามนี้ และถ้าหากค่าของข้อมูลอยู่ในสภาวะผิดปกติที่ได้ทำการกำหนดไว้ ระบบตรวจติดตามนี้จะทำการแจ้งเตือนผ่านทางแอปพลิเคชันทวิตเตอร์ ซึ่งจากการวิเคราะห์การทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้ สามารถกำหนดสภาวะผิดปกติของข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่างๆ ได้ดังนี้

- เมื่อปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงคงเหลือน้อยกว่า 20 ลิตร เนื่องจากเชื้อเพลิงปริมาณ 20 ลิตรจะสามารถใช้ในการเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ต่อเนื่องเป็นระยะเวลาประมาณ 6 - 8 ชั่วโมง ซึ่งควรมีการเติมเชื้อเพลิงเพื่อให้ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

- เมื่ออุณหภูมิน้ำหล่อเย็นสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากถ้าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นมีค่าสูงกว่าปกติ โดยอาจเกิดได้จากระบบน้ำหล่อเย็นมีความผิดปกติ เช่น ปั๊มน้ำหล่อเย็นไม่ทำงานหรือเกิดการรั่วซึมของน้ำหล่อเย็น ซึ่งจะทำให้เครื่องยนต์เกิดความร้อนสะสมจนอาจทำให้เกิดความเสียหายได้หากไม่สามารถทำการดับเครื่องยนต์ได้ทันเวลา ในสภาวะปกติอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นจะมีค่าประมาณ 70 - 90 องศาเซลเซียส

- เมื่ออุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากในการทดสอบประสิทธิภาพของน้ำมันหล่อลื่นจะมีการทดสอบวัดค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิการใช้งานมาตรฐาน (ไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส) ถ้าอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นมีค่าสูงกว่าปกติ จะทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นลดลง ส่งผลต่อประสิทธิภาพการหล่อลื่นชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ ซึ่งในสภาวะปกติอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นจะมีค่าประมาณ 70 - 90 องศาเซลเซียส

- เมื่อความดันน้ำมันหล่อลื่นขณะเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ำกว่า 1 บาร์ เนื่องจากความดันน้ำมันหล่อลื่นสามารถแสดงถึงระดับปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่มีในระบบ ถ้าหาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับน้ำมันหล่อลื่นไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ป้อนน้ำมันหล่อลื่นจะไม่สามารถสูบน้ำมันหล่อลื่นเพื่อนำมาใช้หล่อลื่นชิ้นส่วนต่างๆ ได้ ซึ่งจะทำให้ความดันน้ำมันหล่อลื่นมีค่าลดลงต่ำกว่า 1 บาร์ นอกจากนี้ความดันน้ำมันหล่อลื่นยังสามารถแสดงถึงความเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นได้ คือ เมื่อค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นลดลง (น้ำมันหล่อลื่นเสื่อมสภาพ) จะส่งผลให้ความดันน้ำมันหล่อลื่นมีค่าลดลงเช่นเดียวกัน ขณะเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในสภาวะปกติ ความดันน้ำมันหล่อลื่นจะมีค่าประมาณ 4 – 6 บาร์

- เมื่ออุณหภูมิโครงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิโครงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 80 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีค่าสูงประมาณ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีค่าสูงจะทำให้วัสดุชิ้นส่วนต่างๆ เสื่อมสภาพและเกิดความเสียหาย ในสภาวะปกติขณะที่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดที่พิกัดของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อุณหภูมิโครงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีค่าประมาณ 40 – 50 องศาเซลเซียส

- เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ำกว่า 200 โวลต์ เนื่องจากชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งระบบตรวจติดตามนี้มีพิกัดแรงดันไฟฟ้าประมาณ 200 - 240 โวลต์

- เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสูงกว่า 250 โวลต์ เนื่องจากชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งระบบตรวจติดตามนี้มีพิกัดแรงดันไฟฟ้าประมาณ 200 - 240 โวลต์

- เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสูงกว่า 40 แอมแปร์ เนื่องจากชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งระบบตรวจติดตามนี้มีพิกัดกระแสไฟฟ้าประมาณ 45 แอมแปร์

- เมื่อค่าตัวประกอบกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าน้อยกว่า 0.8 เนื่องจากชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งระบบตรวจติดตามนี้ได้มีการออกแบบให้สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าที่มีค่าตัวประกอบกำลังมากกว่า 0.8

- เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์ขณะเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ำกว่า 1300 รอบต่อนาที เนื่องจากชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งระบบตรวจติดตามนี้มีพิกัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ประมาณ 1500 - 1800 รอบต่อนาที

- เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์ขณะเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสูงกว่า 1700 รอบต่อนาที เนื่องจากชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งระบบตรวจติดตามนี้มีพิกัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ประมาณ 1500 - 1800 รอบต่อนาที

- เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ต่ำกว่า 11.5 โวลต์ เนื่องจากชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งระบบตรวจติดตามนี้ ใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ซึ่งถ้าหากแบตเตอรี่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 11.5 โวลต์ จะไม่สามารถสตาร์ทเครื่องยนต์ได้ ในสภาวะปกติเมื่อไม่มีการชาร์จประจุแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่จะมีค่าประมาณ 12 – 12.5 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่สูงกว่า 15 โวลต์ เนื่องจากชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งระบบตรวจติดตามนี้ ใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ถ้าหากแรงดันไฟฟ้าขณะชาร์จประจุมีค่าสูงกว่า 15 โวลต์ จะทำให้อิเล็กโทรไลต์ภายในแบตเตอรี่เดือด ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพหรือเกิดอันตรายได้ เช่น แบตเตอรี่เกิดการระเบิด โดยในสภาวะปกติขณะเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและไดชาร์จมีการชาร์จประจุเข้าแบตเตอรี่ แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่จะมีค่าประมาณ 13 – 14.4 โวลต์

- เมื่อไดชาร์จไม่ทำงานในขณะที่ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงาน ซึ่งถ้าหากไดชาร์จไม่ทำงานจะส่งผลให้แบตเตอรี่ของเครื่องยนต์ไม่มีการชาร์จประจุ เมื่อแบตเตอรี่คายประจุจนหมดจากการใช้งานต่างๆ จะทำให้แบตเตอรี่ไม่มีประจุเพียงพอสำหรับการสตาร์ทเครื่องยนต์

- เมื่ออุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าวัดลงดินมีการแจ้งเตือน

หมายเหตุ: การกำหนดสภาวะผิดปกติของข้อมูลต่างๆ ข้างต้น สามารถเปลี่ยนแปลงได้ เพื่อความเหมาะสมของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งระบบตรวจติดตาม และเพื่อให้ตรงต่อความต้องการของผู้ใช้งาน

อุปกรณ์อัจฉริยะต่างๆ ที่มีการติดตั้งแอปพลิเคชันทวิตเตอร์ และได้ทำการติดตามบัญชีผู้ใช้งานของระบบตรวจติดตามนี้ จะได้รับข้อความแจ้งเตือนขึ้นบนอุปกรณ์อัจฉริยะนั้น ซึ่งจากการทดสอบสามารถแสดงข้อความแจ้งเตือนได้ดังรูปที่ 4.25 – 4.39



รูปที่ 4.25 การแจ้งเตือนเมื่อปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงคงเหลือน้อยกว่า 20 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 การแจ้งเตือนเมื่ออุณหภูมิน้ำหล่อเย็นสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.27 การแจ้งเตือนเมื่ออุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 การแจ้งเตือนเมื่อความดันน้ำมันหล่อลื่นต่ำกว่า 1 บาร์



รูปที่ 4.29 การแจ้งเตือนเมื่ออุณหภูมิเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 การแจ้งเตือนเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ำกว่า 200 โวลต์



รูปที่ 4.31 การแจ้งเตือนเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสูงกว่า 250 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 การแจ้งเตือนเมื่อกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสูงกว่า 40 แอมแปร์



รูปที่ 4.33 การแจ้งเตือนเมื่อค่าตัวประกอบกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าน้อยกว่า 0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 การแจ้งเตือนเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์ต่ำกว่า 1300 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.35 การแจ้งเตือนเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงกว่า 1700 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.36 การแจ้งเตือนเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ต่ำกว่า 11.5 โวลต์



รูปที่ 4.37 การแจ้งเตือนเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่สูงกว่า 15 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.38 การแจ้งเตือนเมื่อไดชาร์จไม่ทำงานในขณะที่ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงาน



รูปที่ 4.39 การแจ้งเตือนเมื่ออุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินมีการแจ้งเตือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.7 ผลการทดสอบการควบคุมจากระยะไกลผ่านทางแอปพลิเคชันบลูทึธ

การควบคุมจากระยะไกลผ่านทางแอปพลิเคชันบลูทึธ ได้แก่ ได้แก่ การควบคุมระบบตรวจติดตาม การควบคุมการเดินเครื่อง การควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า และการหยุดเดินเครื่องฉุกเฉิน

##### 4.7.1 ผลการทดสอบการควบคุมระบบตรวจติดตามจากระยะไกล

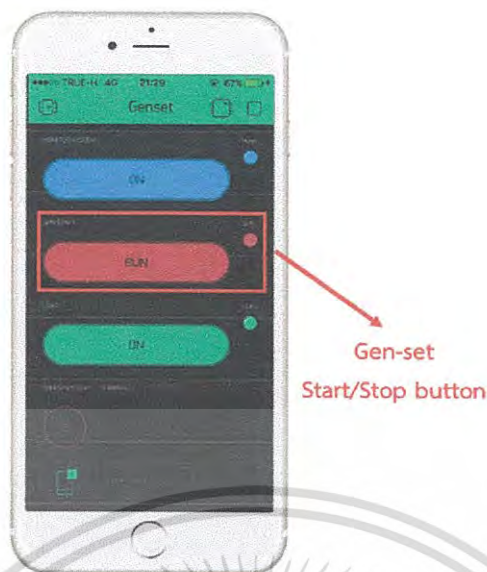
จากการทดสอบการควบคุมระบบตรวจติดตามจากระยะไกล ผู้ใช้งานสามารถควบคุมการเปิดหรือปิดระบบตรวจติดตามนี้ผ่านทางแอปพลิเคชันบลูทึธได้ โดยสามารถแสดงปุ่มควบคุมการเปิดหรือปิดระบบตรวจติดตามได้ดังรูปที่ 4.40



รูปที่ 4.40 ปุ่มควบคุมการเปิดหรือปิดระบบตรวจติดตาม

##### 4.7.2 ผลการทดสอบการควบคุมการเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากระยะไกล

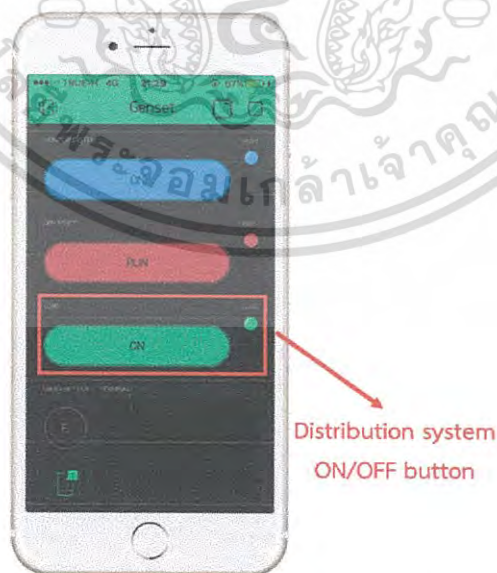
จากการทดสอบการควบคุมการเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากระยะไกล ผู้ใช้งานสามารถควบคุมการเริ่มหรือหยุดเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ โดยที่การเริ่มเดินเครื่องจะมีการหน่วงเวลา 3 วินาทีหลังจากที่ผู้ใช้งานสั่งเริ่มเดินเครื่องผ่านทางแอปพลิเคชันบลูทึธ และการหยุดเดินเครื่องจะมีการหน่วงเวลา 10 วินาทีหลังจากที่ผู้ใช้งานสั่งหยุดเดินเครื่องผ่านทางแอปพลิเคชันบลูทึธ ซึ่งสามารถแสดงปุ่มควบคุมการเริ่มหรือหยุดเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 4.41



รูปที่ 4.41 ปุ่มควบคุมการเริ่มหรือหยุดเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

#### 4.7.3 ผลการทดสอบการควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากระยะไกล

จากการทดสอบการควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากระยะไกล ผู้ใช้งานสามารถควบคุมการตัดต่อวงจรการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดได้ผ่านการควบคุมการทำงานของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic contactor) ผ่านทางแอปพลิเคชันบลูทูธ โดยที่ปุ่มควบคุมการตัดต่อวงจรการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดแสดงได้ดังรูปที่ 4.42

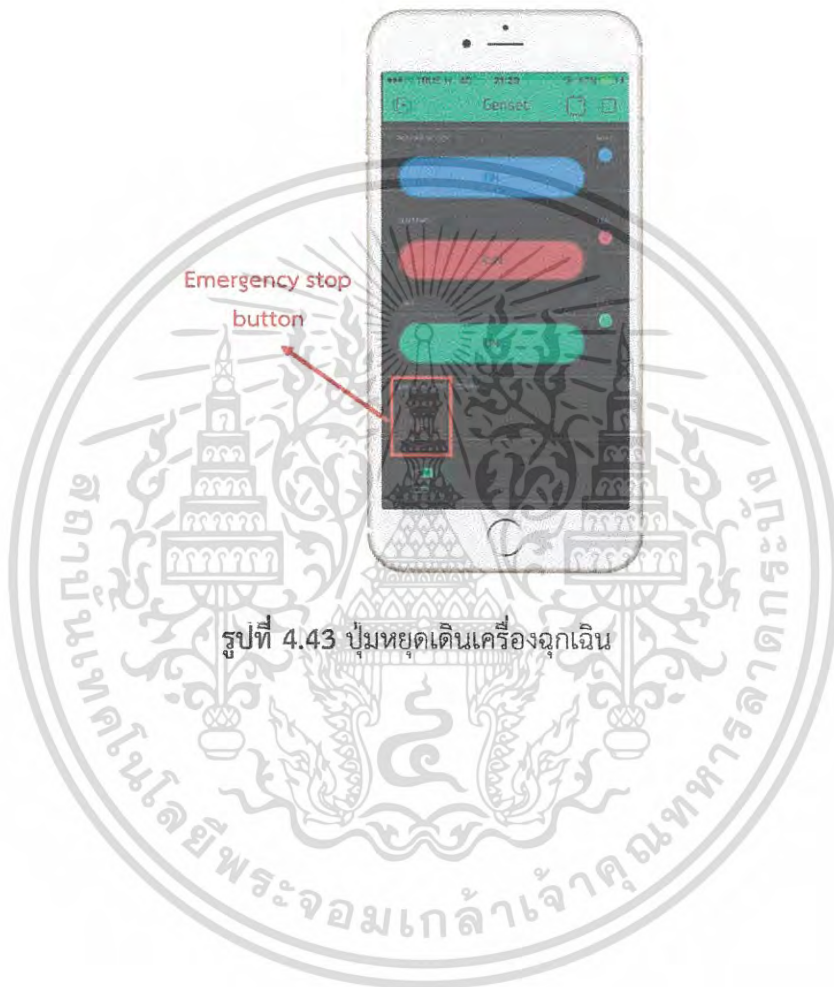


รูปที่ 4.42 ปุ่มควบคุมการตัดต่อวงจรการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.7.4 ผลการทดสอบการหยุดเดินเครื่องฉุกเฉินของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากระยะไกล

จากการทดสอบการหยุดเดินเครื่องฉุกเฉินของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากระยะไกล ผู้ใช้งานสามารถสั่งให้ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหยุดเดินเครื่องฉุกเฉินได้ ซึ่งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะหยุดเดินเครื่องทันทีที่ผู้ใช้งานสั่งหยุดเดินเครื่องฉุกเฉินผ่านทางแอปพลิเคชันบลิ๊งค์ โดยที่ปุ่มหยุดเดินเครื่องฉุกเฉินแสดงได้ดังรูปที่ 4.43



รูปที่ 4.43 ปุ่มหยุดเดินเครื่องฉุกเฉิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการดำเนินโครงการ

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

โครงการระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ได้ดำเนินการออกแบบและประกอบสร้างระบบตรวจติดตาม และสามารถติดตั้งระบบตรวจติดตามเข้ากับชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ ซึ่งจากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้สามารถทำงานได้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ ซึ่งได้แก่

- สามารถตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆ ของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และทำการส่งข้อมูลไปที่ฐานข้อมูล ThingSpeak ได้

- สามารถแสดงผลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในรูปของกราฟของข้อมูลเทียบกับเวลา และในรูปของหน้าปัดซึ่งจะแสดงข้อมูล ณ เวลาปัจจุบัน บน ThingSpeak platform และเว็บไซต์ได้

- สามารถบันทึกข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ใน Micro SD card ได้ ทั้งในกรณีที่มีการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และในกรณีที่ขาดการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

- สามารถแจ้งเตือนสถานะผิดปกติต่างๆ ของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านทางแอปพลิเคชันทวิตเตอร์ได้

- สามารถควบคุมระบบตรวจติดตาม ควบคุมการเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดจากระยะไกลได้ โดยผ่านทางแอปพลิเคชันบลูทูธ

ระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้ จะทำให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบสถานะ และควบคุมการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้โดยไม่ต้องอยู่ที่จุดติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น อีกทั้งยังทำให้ทราบถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นและวางแผนการบำรุงรักษาได้ทันท่วงที ซึ่งเป็นการประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการตรวจสอบการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

#### 5.2 ปัญหา และข้อจำกัด

จากการดำเนินโครงการระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้ มีปัญหา และข้อจำกัดดังนี้

- ปัญหาการตรวจวัดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขณะเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เนื่องจากคณะผู้จัดทำมีความประสงค์ให้หน้าปัดแสดงผลอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นบนแผงควบคุมของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถทำงานไปพร้อมกับระบบตรวจติดตามที่ติดตั้งเข้ากับชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ ดังนั้นการตรวจวัดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขณะเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจึงใช้วงจรตามแรงดัน โดยเป็นการรับสัญญาณแรงดันมาจากหน้าปัดนี้ ซึ่งหน้าปัดนี้มีความคลาดเคลื่อนในการวัดสูง จึงส่งผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้การตรวจวัดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขณะเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบตรวจติดตามมีความคลาดเคลื่อนสูงเช่นเดียวกัน

- ปัญหาการตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าขณะสตาร์ทเครื่องยนต์ของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสตาร์ทเครื่องยนต์เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาที่สั้น ทำให้ระบบตรวจติดตามซึ่งมีความเร็วในการประมวลผลข้อมูลประมาณ 1 วินาทีต่อรอบ ไม่สามารถตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าขณะสตาร์ทเครื่องยนต์นี้ได้

- ปัญหาการสอบเทียบค่าปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่วัดได้จาก MQ-9 Gas sensor เนื่องจากคณะผู้จัดทำไม่สามารถจัดหาเครื่องมือวัดที่ใช้สำหรับสอบเทียบค่าปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ได้

- ปัญหาเสถียรภาพในการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อระบบควบคุมจากระยะไกล ถ้าหากระบบขาดการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต จะทำให้ผู้ใช้งานไม่สามารถควบคุมระบบจากระยะไกลได้

- ข้อจำกัดการตรวจวัดปริมาณเชื้อเพลิงคงเหลือในถังเก็บเชื้อเพลิง เนื่องจากเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณเชื้อเพลิงคงเหลือคือ สวิตช์ลुकลอย ซึ่งมีความสามารถในการวัดระดับเท่ากับ 17.44 เซนติเมตร ในขณะที่ถังเก็บเชื้อเพลิงมีความสูงประมาณ 34 เซนติเมตร ดังนั้นจึงสามารถตรวจวัดปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงได้เฉพาะในช่วงที่ระดับน้ำมันเชื้อเพลิงอยู่ในระดับที่สวิตช์ลुकลอยสามารถวัดได้

- ข้อจำกัดการส่งข้อมูลไปที่ฐานข้อมูล ThingSpeak เนื่องจากคณะผู้จัดทำได้สมัครสมาชิกประเภทที่ไม่มีค่าใช้จ่ายของฐานข้อมูลนี้ ทำให้ความเร็วในการส่งข้อมูลไปที่ฐานข้อมูลถูกจำกัดที่ 15 วินาทีต่อรอบ

- ข้อจำกัดการติดตั้งระบบตรวจติดตามเข้ากับชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เนื่องจากระบบตรวจติดตามนี้มีขนาดใหญ่ทำให้เป็นอุปสรรคในการติดตั้งภายในโครงสร้างของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยเฉพาะชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีโครงสร้างขนาดเล็ก

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

จากปัญหาและข้อจำกัดข้างต้น ระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้สามารถปรับปรุงแก้ไข และพัฒนา เพื่อความสะดวกในการใช้งาน และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ได้ดังนี้

- การเปลี่ยนหน้าปัดแสดงผลอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นบนแผงควบคุมของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยใช้หน้าปัดที่มีคุณภาพดีขึ้น

- การเพิ่มความเร็วในการประมวลผลข้อมูลของระบบตรวจติดตาม โดยการลดกระบวนการที่ไม่จำเป็น และการเพิ่มหน่วยประมวลผลข้อมูล

- การจัดหาเครื่องมือวัดที่ใช้สำหรับสอบเทียบค่าปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยนำมาทำการสอบเทียบค่าปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่วัดได้จาก MQ-9 Gas sensor เพื่อให้การวัดค่าปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียมีความถูกต้องแม่นยำ และน่าเชื่อถือ

- การปรับปรุงเสถียรภาพในการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยการปรับปรุงอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และการเลือกเครือข่ายของผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตที่มีเสถียรภาพ

- การเปลี่ยนเซ็นเซอร์สำหรับการตรวจวัดปริมาณเชื้อเพลิงคงเหลือ โดยเลือกใช้เซ็นเซอร์ที่มีความสามารถในการวัดครอบคลุม และเหมาะสมกับลักษณะของถังเก็บเชื้อเพลิง

- การสมัครสมาชิกประเภทที่มีค่าใช้จ่ายของฐานข้อมูล ThingSpeak หรือการเปลี่ยนไปใช้ฐานข้อมูลอื่น เพื่อเพิ่มความเร็วในการส่งข้อมูลไปที่ฐานข้อมูลให้สูงขึ้น

- การออกแบบและประกอบสร้างระบบตรวจติดตามให้มีขนาดเล็กลง โดยเฉพาะในส่วนของ การออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ และการลดอุปกรณ์ที่ไม่จำเป็น

นอกจากนี้หลักการทำงานของระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการออกแบบและประกอบสร้างระบบตรวจติดตามสำหรับอุปกรณ์อื่นๆ ได้ อาทิเช่น เครื่องจักรภายในโรงงานอุตสาหกรรม อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน และยานพาหนะชนิดต่างๆ เป็นต้น ทั้งนี้ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตออฟริงส์จะสามารถอำนวยความสะดวกในการดำรงชีวิตของมนุษย์ได้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Mohammad R. Abdulqader, **Diesel Generator Auxiliary Systems and Instruments**, 2<sup>nd</sup> Ed., Jordan: Najah Engineering Consultants LLC, 2012.
- [2] Muhammad Ali Mazidi, Janice G. Mazidi, and Rolin D. McKinlay, **8051 Microcontroller and Embedded Systems**, 2<sup>nd</sup> Ed., New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 2005.
- [3] Michael Margolis, **Arduino Cookbook**, 2<sup>nd</sup> Ed., California: O'Reilly Media, Inc., 2012.
- [4] William H. Hayt, Jack E. Kemmerly, and Steven M. Durbin, **Engineering Circuit Analysis**, 8<sup>th</sup> Ed., New York: Mc-Graw-Hill, 2012.
- [5] Rajkumar Buyya and Amir Vahid Dastjerdi, **Internet of Things**, Cambridge: Morgan Kaufmann, 2016.
- [6] ประณต กุลประสูต, **ทฤษฎีเครื่องยนต์ดีเซล**, กรุงเทพฯ: สนพ. แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.
- [7] ธัญชัย ตรีภาค, **คอมพิวเตอร์และการเขียนโปรแกรม C และ Java**, กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, บมจ., 2552.
- [8] กังวาน อัสวไชยวสิน และ อรพิน ประวัตติบริสุทธิ์, **คู่มือสร้างเว็บไซต์ด้วย HTML 5 CSS 3 & JavaScript ฉบับสมบูรณ์**, กรุงเทพฯ: โปรวิชั่น, บจก., 2556.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

## MONITORING SYSTEM FOR GENERATOR SET OPERATION

ภูรินทร์ แก้วผลึก วันวิสาข์ ชิวะวุฒิ วัศพล โหม่สืบ และ วาทีต ผิงผาย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

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

### บทคัดย่อ

บทความวิชาการฉบับนี้นำเสนอระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญได้แก่ ระบบตรวจติดตามเครื่องยนต์ดีเซล และระบบตรวจติดตามเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งระบบตรวจติดตามนี้จะอาศัยการรับส่งข้อมูลผ่านเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสิ่ง (Internet of Things: IoTs) โดยทำการเก็บข้อมูลในฐานข้อมูลอิงสปีค (ThingSpeak) เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการประมวลผล และจะทำการแสดงผลผ่านทางเว็บไซต์ซึ่งมีระบบแจ้งเตือนสถานะผิดปกติต่างๆ ของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านทางแอปพลิเคชันทวิตเตอร์ (Twitter application) และมีระบบควบคุมจากระยะไกลซึ่งได้แก่ การควบคุมระบบตรวจติดตาม การควบคุมการเดินเครื่อง และการควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านทางแอปพลิเคชันบลิงค์ (Blynk application) ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลต่างๆ ของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และสามารถควบคุมการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านทางคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์อัจฉริยะ (Smart devices) ต่างๆ ได้โดยไม่ต้องอยู่ที่จุดติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น

### Abstract

This journal presents a monitoring system for generator set operation which is composed of two main parts including a diesel engine monitoring system and a generator monitoring system. This monitoring system transmits the data from various sensors using Internet of Things technology (IoT). ThingSpeak is used as an Internet of Things platform for this monitoring system to collect data from various sensors for further analysis. In order to provide more convenient to users, this monitoring system displays all the measured parameters on the Website with generator set malfunction alert via the Twitter application. In addition, the generator set is equipped with a remote control system which allows users to either start or stop the monitoring system, the generator set operation, and load distribution system. Based on these two smart functions, the users can therefore remotely control and monitor the generator set in real time with the Internet access.

### 1. บทนำ

ในปัจจุบันชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในพื้นที่ห่างไกล โดยการใช้งานชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาตามระยะเวลาที่กำหนด และเพื่อตรวจสอบการทำงานหรือสถานะของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จำเป็นต้องอาศัยเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องในการดำเนินการตรวจสอบ ณ จุดที่ทำการติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น ซึ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายและเกิดความลำบากแก่เจ้าหน้าที่ และเมื่อพิจารณาถึงปัญหาที่จะเกิดขึ้นกับชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่หากไม่ได้รับการแก้ไขได้ทันเวลา เพราะไม่มีระบบตรวจติดตามเลย อาจจะทำให้เกิดความเสียหายกับระบบได้จากปัญหาที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นคณะผู้จัดทำจึงได้จัดทำระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขึ้น เพื่อให้สามารถตรวจสอบสถานะการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ โดยไม่จำเป็นต้องอยู่ที่จุดติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น ทำให้ทราบถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นและวางแผนเข้าไปทำการบำรุงรักษาได้ทันที่ทั้งนี้ อีกทั้งยังเป็นการประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายสำหรับใช้ในการดำเนินการตรวจสอบสถานะการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

### ขอบเขตการดำเนินงาน

ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการนี้ คือ การออกแบบระบบตรวจติดตามชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ตรวจวัดได้มาแสดงถึงสถานะการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยที่ระบบตรวจติดตามชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้จะใช้การรับส่งข้อมูลผ่านเทคโนโลยี Internet of Things มีการเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล ThingSpeak เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ประมวลผลการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หลังจากนั้นจะทำการแสดงผลผ่านทางเว็บไซต์ ซึ่งมีระบบแจ้งเตือนสถานะผิดปกติต่างๆ และมีระบบควบคุมจากระยะไกลเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลต่างๆ ของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และสามารถควบคุมการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านทางคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์อัจฉริยะต่างๆ ได้

### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลักในพื้นที่ห่างไกลและเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรองในสถานที่ต่างๆ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการหรือระบบไฟฟ้าในบริเวณนั้นเกิดการขัดข้อง ซึ่งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมี 2 ส่วนที่สำคัญ คือ เครื่องยนต์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยเครื่องยนต์ทำหน้าที่สร้างต้นกำลังทางกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

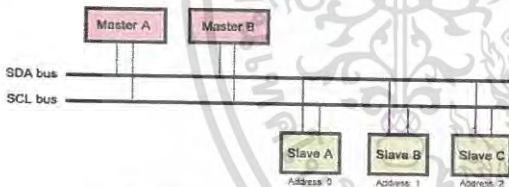
ให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเปลี่ยนพลังงานทางกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยหลักการที่เรียกว่า กฎของฟาราเดย์ คือ แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำจะถูกสร้างขึ้นในตัวนำ เมื่อตัวนำอยู่ในสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งก็คือการหมุนของขดลวดตัดผ่านสนามแม่เหล็ก หรือการหมุนสนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวด พิกัดกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะบอกเป็นโวลต์-แอมป์ (VA) ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าปรากฏที่เครื่องจ่ายออกมาเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) คือ คอมพิวเตอร์ขนาดเล็กซึ่งอยู่ในรูปแบบของวงจรรวม หรือ Integrated circuit (IC) เป็นอุปกรณ์ที่ถูกพัฒนาขึ้นให้มีความสามารถในการคำนวณ ประมวลผล และการตัดสินใจต่างๆ ซึ่งใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบ โดยสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดรูปแบบการควบคุมได้อย่างอิสระตามความต้องการของผู้ใช้งาน

2.3 การสื่อสารในรูปแบบไอส์แควร์ซี

ไอส์แควร์ซี หรือ Inter-integrated circuit (I<sup>2</sup>C) คือ ระบบการสื่อสารของคอมพิวเตอร์รูปแบบหนึ่ง ซึ่งเป็นระบบการสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัส (Synchronous serial transmission) ดังรูปที่ 2.1กล่าวคือเป็นระบบการสื่อสารที่ใช้สัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูล โดยมีลักษณะเด่นคือ มีการเชื่อมต่อกันเป็นระบบบัส ทำให้สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์หลายๆ อุปกรณ์ได้พร้อมกัน ซึ่งจะมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นมาสเตอร์ (Master) และอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสเลฟ (Slave)

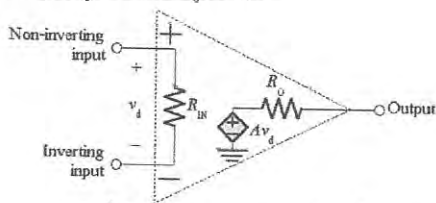


รูปที่ 2.1 การเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบ I<sup>2</sup>C bus

การสื่อสารในรูปแบบไอส์แควร์ซี จะใช้สายสัญญาณ 2 เส้น คือ สายสัญญาณข้อมูล หรือ Serial data line (SDA) และ สายสัญญาณนาฬิกา หรือ Serial clock line (SCL)

2.4 ออปแอมป์

ออปแอมป์ หรือ Operational amplifier (Op-amp) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เป็นวงจรรขยายแรงดัน โดยมีโครงสร้างภายในเป็นวงจรรที่ซับซ้อน ซึ่งประกอบไปด้วย ตัวต้านทานทรานซิสเตอร์ ตัวเก็บประจุ และไดโอด จำนวนมาก การศึกษาเบื้องต้นสามารถแทนออปแอมป์ด้วยวงจรมูลแสดงดังแสดงในรูปที่ 2.2



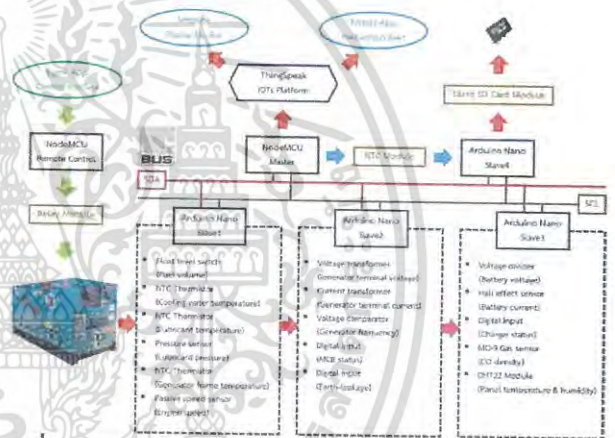
รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลของออปแอมป์

ตัวอย่างการนำออปแอมป์มาใช้งานในวงจร เช่น วงจรรขยายแบบกลับขั้ว (Inverting amplifier) วงจรรขยายแบบไม่กลับขั้ว (Non-inverting amplifier) วงจรตามแรงดัน (Voltage follower) วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage comparator) เป็นต้น

2.5 เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสิ่ง

อินเทอร์เน็ตของสิ่ง (IoT) มาจากคำว่า Internet of Things หรือ IoTs คือระบบโครงข่ายที่เชื่อมโยงสิ่งต่างๆ กับมนุษย์ ซึ่งอาศัยการส่งผ่านข้อมูลบนระบบอินเทอร์เน็ตโดยไม่จำเป็นต้องใช้การสื่อสารระหว่างมนุษย์กับมนุษย์ หรือ มนุษย์กับคอมพิวเตอร์ เมื่ออุปกรณ์หรือสิ่งต่างๆ ถูกติดตั้งกับเซ็นเซอร์ที่เชื่อมต่อกับแพลตฟอร์มของอินเทอร์เน็ตของสิ่งแพลตฟอร์มนี้จะรวบรวมและเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์หรือเซ็นเซอร์หลายๆ ชนิดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ แจ้งเตือน และคาดการณ์ปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในอนาคต

3. การออกแบบและประกอบสร้าง



รูปที่ 3.1 ภาพรวมของการออกแบบระบบตรวจวัดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

โครงการนี้ได้ออกแบบระบบตรวจวัดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะใช้เซ็นเซอร์ในการตรวจวัดข้อมูลต่างๆ ของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 3.1 จะเห็นว่าระบบนี้ได้แบ่งเซ็นเซอร์ออกเป็น 3 ชุด โดยเซ็นเซอร์แต่ละชุดจะส่งข้อมูลไปยัง Arduino Nano ซึ่งทำหน้าที่เป็นสเลฟทั้ง 3 ตัว จากนั้น Arduino Nano จะส่งข้อมูลต่างๆ ไปยัง NodeMCU ซึ่งทำหน้าที่เป็นมาสเตอร์ โดยที่การรับส่งข้อมูลทั้งหมดจะผ่าน I<sup>2</sup>C bus เมื่อ NodeMCU รับข้อมูลมาจาก Arduino Nano (สเลฟ 1-3) ทั้งหมดแล้ว จะทำการส่งข้อมูลที่รับมาเป็น 2 ทาง ทางแรกคือ ส่งข้อมูลผ่านการเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย (Wi-Fi) เพื่อเก็บข้อมูลที่ฐานข้อมูล ThingSpeak จากนั้นจึงนำข้อมูลเหล่านั้นมาแสดงผลบนเว็บไซต์และแจ้งเตือนสถานะผิดปกติต่างๆ ผ่านทางแอปพลิเคชันโทรศัพท์ และทางที่สองคือ ส่งข้อมูลไปยัง Arduino Nano (สเลฟ 4) ซึ่งต่อกับ Micro SD card module โดยจะเป็นหน่วยเก็บข้อมูลเพื่อสำรองข้อมูลในกรณีที่ขาดการเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ต ซึ่งจะบันทึกข้อมูลพร้อมระยะเวลาของข้อมูลนั้น โดยอาศัย Real time clock

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

module โดยในกรณีที่มีการเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ท Real time clock module จะถูกอัปเดตเวลาโดยอัตโนมัติ นอกจากนี้ระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมี NodeMCU ซึ่งทำหน้าที่รับคำสั่งจากผู้ใช้งานผ่านทางแอปพลิเคชันบนปลั๊กอินอุปกรณ์อัจฉริยะต่างๆ จากนั้น NodeMCU จึงทำการควบคุม Relay module เพื่อสั่งการชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้ทำงานตามความต้องการของผู้ใช้งาน

**4. การทดสอบและผลการทดสอบ**

การทดสอบเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งระบบตรวจติดตามสำหรับ จะทำการทดสอบเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดซึ่งเป็นโหลดไฟชนิดหลอดไส้

**4.1 ผลการทดสอบการบันทึกข้อมูลใน Micro SD card**

ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ตรวจวัดได้ของระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้ จะมีการบันทึกในรูปแบบไฟล์ข้อมูลชนิด Comma separated value (CSV) ซึ่งสามารถเปิดไฟล์ข้อมูลนี้ได้ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel โดยสามารถแสดงผลการทดสอบเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดได้ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2

**ตารางที่ 4.1** ข้อมูลผลการทดสอบที่บันทึกใน Micro SD card (ส่วนที่ 1)

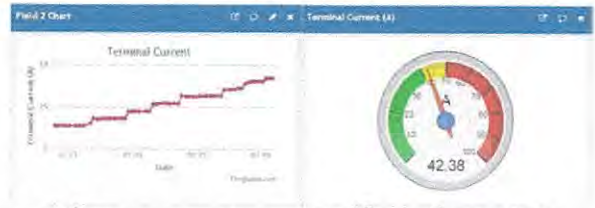
%Load	Fuel Vol. (L)	Cooling Water Temp. (°C)	Lubricant Temp. (°C)	Lubricant Press. (bar)	Gen. Frame Temp. (°C)	Terminal Voltage (V)	Terminal Current (A)	Frequency (Hz)
10%	25.75	76.62	59.93	4.83	26.72	220.4	4.62	52.22
20%	25.75	78.00	63.01	4.91	27.08	220.3	9.23	52.12
30%	25.56	79.80	65.34	5.50	27.26	220.1	13.75	51.71
40%	25.47	82.23	67.83	5.11	26.99	220.3	17.32	51.25
50%	25.19	81.35	73.40	5.03	27.35	220.4	22.75	51.57
60%	25.10	82.23	74.94	5.33	27.98	220.0	27.22	52.45
70%	24.91	82.88	76.01	5.24	28.25	220.0	31.61	51.63
80%	24.91	82.88	77.67	5.59	28.52	220.1	35.87	51.34
90%	24.28	86.06	81.90	5.46	29.62	219.6	40.22	51.28
100%	23.30	85.85	82.88	5.41	31.01	220.3	42.38	52.14

**ตารางที่ 4.2** ข้อมูลผลการทดสอบที่บันทึกใน Micro SD card (ส่วนที่ 2)

%Load	Active Power (kW)	PF	Speed (RPM)	Battery Voltage (V)	Battery Current (A)	CO (PPM)	Panel Humidity (%)	Panel Temp. (°C)
10%	1.02	1.00	1505	13.54	24.86	70.69	78.9	26.7
20%	2.02	1.00	1505	13.64	26.68	74.14	77.8	26.9
30%	3.01	1.00	1505	13.78	23.50	85.13	77.8	27.0
40%	3.83	1.00	1505	13.66	21.23	88.99	77.8	27.1
50%	4.99	1.00	1505	13.78	22.75	123.8	76.1	27.4
60%	5.99	1.00	1500	13.88	23.35	166.0	75.2	27.5
70%	6.98	1.00	1500	13.71	19.27	498.5	73.9	27.6
80%	7.91	1.00	1505	13.98	20.03	866.4	73.6	27.7
90%	8.89	1.00	1505	13.93	17.00	816.8	73.0	27.9
100%	9.41	1.00	1505	13.93	13.98	953.4	71.7	28.1

**4.2 ผลการทดสอบการแสดงผลบน ThingSpeak platform**

สำหรับการแสดงผลบน ThingSpeak platform นั้นจะแสดงผลในรูปแบบของกราฟของข้อมูลเทียบกับเวลา และในรูปแบบของหน้าปัดซึ่งจะแสดงข้อมูล ณ เวลาปัจจุบัน ซึ่งจากการทดสอบเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลด สามารถแสดงผลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ บน ThingSpeak platform ได้ดังรูปที่ 4.3



**รูปที่ 4.3** การแสดงผลค่ากระแสไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

**4.3 ผลการทดสอบการแจ้งเตือนสถานะผิดปกติต่างๆ ผ่านทางแอปพลิเคชันหิวเตอร์**

เมื่อข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่างๆ ได้รวบรวมเข้ามาในระบบประมวลผลของระบบตรวจติดตามนี้ และถ้าหากค่าของข้อมูลอยู่ในสถานะผิดปกติที่ได้ทำการกำหนดไว้ ระบบตรวจติดตามนี้จะทำการแจ้งเตือนผ่านทางแอปพลิเคชันหิวเตอร์ซึ่งจากการวิเคราะห์การทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้ สามารถกำหนดสถานะผิดปกติของข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่างๆ ตัวอย่างเช่น ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงคงเหลือน้อยกว่า 20 ลิตรดังรูปที่ 4.4



**รูปที่ 4.4** การแจ้งเตือนเมื่อปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงคงเหลือน้อยกว่า 20 ลิตร

**4.4 ผลการทดสอบการควบคุมจากระยะไกลผ่านทางแอปพลิเคชันบลูทึทซ์**

การควบคุมจากระยะไกลผ่านทางแอปพลิเคชันบลูทึทซ์ ได้แก่ การควบคุมระบบตรวจติดตาม การควบคุมการเดินเครื่อง การควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า และการหยุดเดินเครื่องฉุกเฉิน จากตัวอย่างการทดสอบการควบคุมระบบตรวจติดตามจากระยะไกล ผู้ใช้งานสามารถควบคุมการเปิดหรือปิดระบบตรวจติดตามนี้ผ่านทางแอปพลิเคชันบลูทึทซ์ได้ โดยสามารถแสดงปุ่มควบคุมการเปิดหรือปิดระบบตรวจติดตามได้ดังรูปที่ 4.5 โดยการควบคุมอื่นๆ สามารถทำได้เช่นเดียวกัน



**รูปที่ 4.5** ปุ่มควบคุมการเปิดหรือปิดระบบตรวจติดตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. สรุปผลการดำเนินงาน

ระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ได้ดำเนินการออกแบบและประกอบสร้างระบบตรวจติดตาม และสามารถติดตั้งระบบตรวจติดตามเข้ากับชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ ซึ่งจากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถทำงานได้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ซึ่งได้แก่สามารถตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆ ของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และทำการส่งข้อมูลไปที่ฐานข้อมูล ThingSpeak ได้ สามารถแสดงผลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในรูปของกราฟของข้อมูลเทียบกับเวลา และในรูปของหน้าปัดซึ่งจะแสดงข้อมูล ณ เวลาปัจจุบัน บน ThingSpeak platform และเว็บไซต์ได้ สามารถบันทึกข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ใน Micro SD card ได้ ทั้งในกรณีที่มีการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และในกรณีที่ขาดการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตสามารถแจ้งเตือนสถานะผิดปกติต่างๆ ของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านทางแอปพลิเคชันมือถือได้ สามารถควบคุมระบบตรวจติดตาม ควบคุมการเดินเครื่องชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดจากระยะไกลได้ โดยผ่านทางแอปพลิเคชันบลูทูธ

ระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า นี้ จะทำให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบสถานะ และควบคุมการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้โดยไม่ต้องอยู่ที่จุดติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น อีกทั้งยังทำให้ทราบถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นและวางแผนการบำรุงรักษาได้ทันทีที่ ซึ่งเป็นการประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการตรวจสอบการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

### กิตติกรรมประกาศ

บทความวิชาการเรื่อง ระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากคณะผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่าน ดังนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.พิชิต ส่ายอง อาจารย์ที่ปรึกษา และ ดร.เปี่ยมภูมิ สดกพฤษย์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดี ทั้งให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์มาด้วยดีโดยตลอด รวมถึงการติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินงาน ตรวจทานและแก้ไขข้อบกพร่องของบทความ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของอาจารย์ทั้งสองท่านเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณบริษัท นำแสงเอ็นจิเนียริง จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในการทำโครงการ รวมถึงการขนส่งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนและให้กำลังใจ ตลอดจนบุคคลต่างๆ ที่ให้ความช่วยเหลืออีกมากที่คณะผู้จัดทำไม่สามารถกล่าวนามได้ทั้งหมด ณ ที่นี้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณและขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Mohammad R. Abdolqader, Diesel Generator Auxiliary Systems and Instruments, 2<sup>nd</sup> Ed., Jordan: Najah Engineering Consultants LLC, 2012.
- [2] Muhammad Ali Mazidi, Janice G. Mazidi, and Rolin D. McKinlay, 8051 Microcontroller and Embedded Systems, 2<sup>nd</sup> Ed., New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 2005.
- [3] Michael Margolis, Arduino Cookbook, 2<sup>nd</sup> Ed., California: O'Reilly Media, Inc., 2012.
- [4] William H. Hayt, Jack E. Kemmerly, and Steven M. Durbin, Engineering Circuit Analysis, 8<sup>th</sup> Ed., New York: Mc-Graw-Hill, 2012.
- [5] Rajkumar Buyya and Amir Vahid Dastjerdi, Internet of Things, Cambridge: Morgan Kaufmann, 2016.
- [6] ประสงค์ กุลประสูตร, ทฤษฎีเครื่องยนต์ดีเซล, กรุงเทพฯ: สนพ. แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.
- [7] ธนัญชัย ตริภาก, คอมพิวเตอร์และการเขียนโปรแกรม C และ Java, กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น, บมจ., 2552.
- [8] กังวาน อัสวไชยวดีน และ อรพิน ประวัติกวีสิทธิ์, คู่มือสร้างเว็บไซต์ด้วย HTML 5 CSS 3 & JavaScript ฉบับสมบูรณ์, กรุงเทพฯ: โปรวีชั่น, บจก., 2556.

### ประวัติผู้เขียน



นายกรินทร์ แก้วสลัก

การศึกษาในระดับมัธยมศึกษา: โรงเรียนอัสสัมชัญธนบุรี  
การศึกษาในระดับปริญญาตรี: ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นางสาววันวิสาข์ ชิวะวุฒิ

การศึกษาในระดับมัธยมศึกษา: โรงเรียนสตรีรัตนบุรี  
การศึกษาในระดับปริญญาตรี: ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายวัศพล ไหมสีบ

การศึกษาในระดับมัธยมศึกษา: โรงเรียนสตรีสมุทรปราการ  
การศึกษาในระดับปริญญาตรี: ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



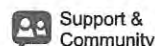
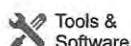
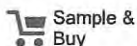
นายวาทิต ผึ้งฉาย

การศึกษาในระดับมัธยมศึกษา: โรงเรียนเบญจมราชูทิศ ราชบุรี  
การศึกษาในระดับปริญญาตรี: ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## LM2596 SIMPLE SWITCHER® Power Converter 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator

### 1 Features

- 3.3-V, 5-V, 12-V, and Adjustable Output Versions
- Adjustable Version Output Voltage Range: 1.2-V to 37-V  $\pm$  4% Maximum Over Line and Load Conditions
- Available in TO-220 and TO-263 Packages
- 3-A Output Load Current
- Input Voltage Range Up to 40 V
- Requires Only 4 External Components
- Excellent Line and Load Regulation Specifications
- 150-kHz Fixed-Frequency Internal Oscillator
- TTL Shutdown Capability
- Low Power Standby Mode,  $I_Q$ , Typically 80  $\mu$ A
- High Efficiency
- Uses Readily Available Standard Inductors
- Thermal Shutdown and Current-Limit Protection
- Create a Custom Design Using the LM2596 with the WEBENCH Power Designer

### 2 Applications

- Simple High-Efficiency Step-Down (Buck) Regulator
- On-Card Switching Regulators
- Positive to Negative Converter

### 3 Description

The LM2596 series of regulators are monolithic integrated circuits that provide all the active functions for a step-down (buck) switching regulator, capable of driving a 3-A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3 V, 5 V, 12 V, and an adjustable output version.

Requiring a minimum number of external components, these regulators are simple to use and include internal frequency compensation, and a fixed-frequency oscillator.

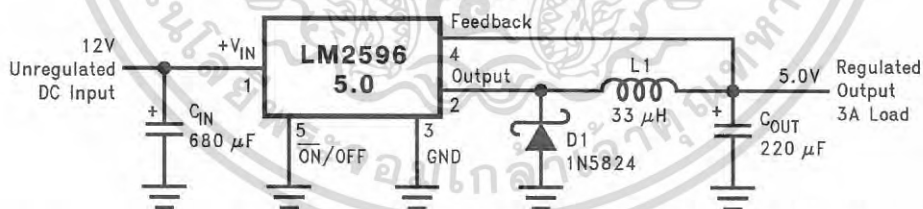
The LM2596 series operates at a switching frequency of 150 kHz, thus allowing smaller sized filter components than what would be required with lower frequency switching regulators. Available in a standard 7-pin TO-220 package with several different lead bend options, and a 7-pin TO-263 surface mount package.

#### Device Information<sup>(1)</sup>

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM2596	TO-220 (7)	14.986 mm $\times$ 10.16 mm
	TO-263 (7)	10.10 mm $\times$ 8.89 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

#### Typical Application



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

(Fixed Output Voltage Versions)

**IMPORTANT NOTICE** at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

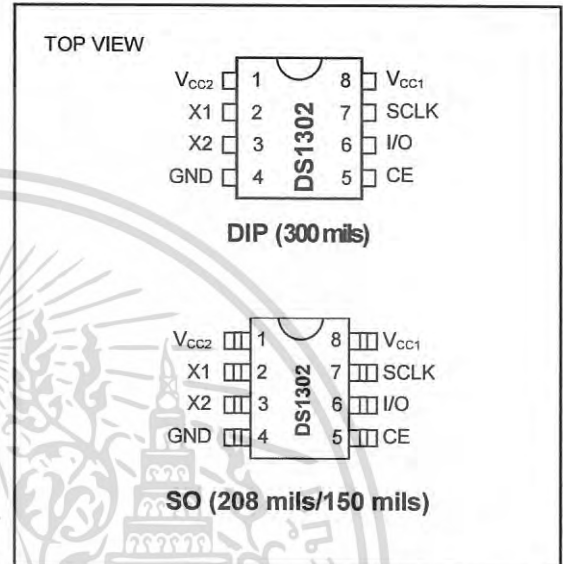
# DS1302

## Trickle-Charge Timekeeping Chip

### FEATURES

- Real-Time Clock Counts Seconds, Minutes, Hours, Date of the Month, Month, Day of the Week, and Year with Leap-Year Compensation Valid Up to 2100
- 31 x 8 Battery-Backed General-Purpose RAM
- Serial I/O for Minimum Pin Count
- 2.0V to 5.5V Full Operation
- Uses Less than 300nA at 2.0V
- Single-Byte or Multiple-Byte (Burst Mode) Data Transfer for Read or Write of Clock or RAM Data
- 8-Pin DIP or Optional 8-Pin SO for Surface Mount
- Simple 3-Wire Interface
- TTL-Compatible ( $V_{CC} = 5V$ )
- Optional Industrial Temperature Range:  $-40^{\circ}C$  to  $+85^{\circ}C$
- DS1202 Compatible
- Underwriters Laboratories (UL®) Recognized

### PIN CONFIGURATIONS



### ORDERING INFORMATION

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE	TOP MARK*
DS1302+	$0^{\circ}C$ to $+70^{\circ}C$	8 PDIP (300 mils)	DS1302
DS1302N+	$-40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$	8 PDIP (300 mils)	DS1302
DS1302S+	$0^{\circ}C$ to $+70^{\circ}C$	8 SO (208 mils)	DS1302S
DS1302SN+	$-40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$	8 SO (208 mils)	DS1302S
DS1302Z+	$0^{\circ}C$ to $+70^{\circ}C$	8 SO (150 mils)	DS1302Z
DS1302ZN+	$-40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$	8 SO (150 mils)	DS1302ZN

+Denotes a lead-free/RoHS-compliant package.

\*An N anywhere on the top mark indicates an industrial temperature grade device. A + anywhere on the top mark indicates a lead-free device.

UL is a registered trademark of Underwriters Laboratories, Inc.

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim Direct at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at [www.maximintegrated.com](http://www.maximintegrated.com).

REV: 120208

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Hall Effect Base Linear Current Sensor

### Features:

- Diameter 9.0 mm conductor through hole
- Output voltage proportional to AC and DC current
- Wide sensing current range 0~70A at 5V voltage supply
- High sensitivity 33 mV/A
- Wide operating voltage range 3.0~12 V.
- Low operating current 3mA
- Isolation voltage 4000V
- Ratiometric output from supply voltage
- 23K Hz Bandwidth



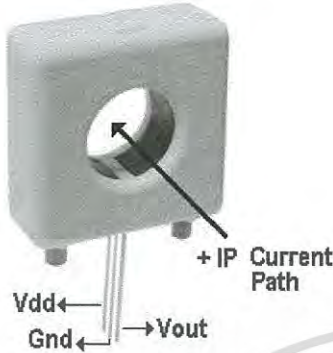
### Functional Description :

The Winson WCS1700 current sensor provides economical and precise solution for both DC and AC current sensing in industrial, commercial and communications systems. The unique package provides easy implementation without breaking original system and makes current sensing possible. Typical applications include motor control, load detection and management, over-current fault detection and any intelligent power management system etc...

The WCS1700 consists of a precise, low-temperature drift linear hall sensor IC with temperature compensation circuit and a diameter 9.0mm through hole. Users can use system's own electric wire by pass it through this hole to measure passing current. This design allows system designers to monitor any current path without breaking or changing original system layout at all. Any current flowing through this hole will generate a magnetic field which is sensed by the integrated Hall IC and converted into a proportional voltage.

The terminals of the conductive path are electrically isolated from the sensor leads. This allows the WCS1700 current sensor to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques and make system more competitive in cost.

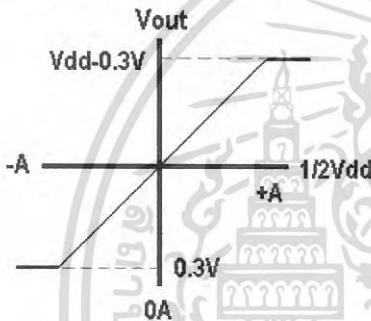
Winson reserves the right to make changes to improve reliability or manufacturability.



### ABSOLUTE MAXIMUM RATING

Supply Voltage, Vdd	14V
Pass Through Wire Diameter	9.0 mm
Output Current Sink	0.4mA
Output Current Source	2mA
Basic Isolation Voltage	4000V
Operating Temperature Range	
Ta	-20°C to +125°C
Storage Temperature Range	
Ts	-65°C to +150°C
Power Dissipation Pd	1 W

Vout vs. Primary Current

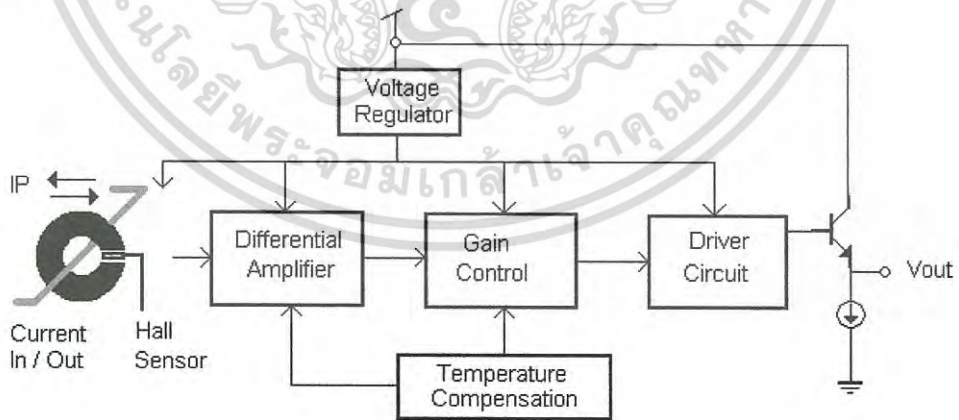


### Order Information

(Vdd=5V)

Part No.	Sensitivity	Current range
WCS1700	33 mV/A	DC: ± 0~70 A
		AC: rms 50 A

### Function Block:



Winson reserves the right to make changes to improve reliability or manufacturability.

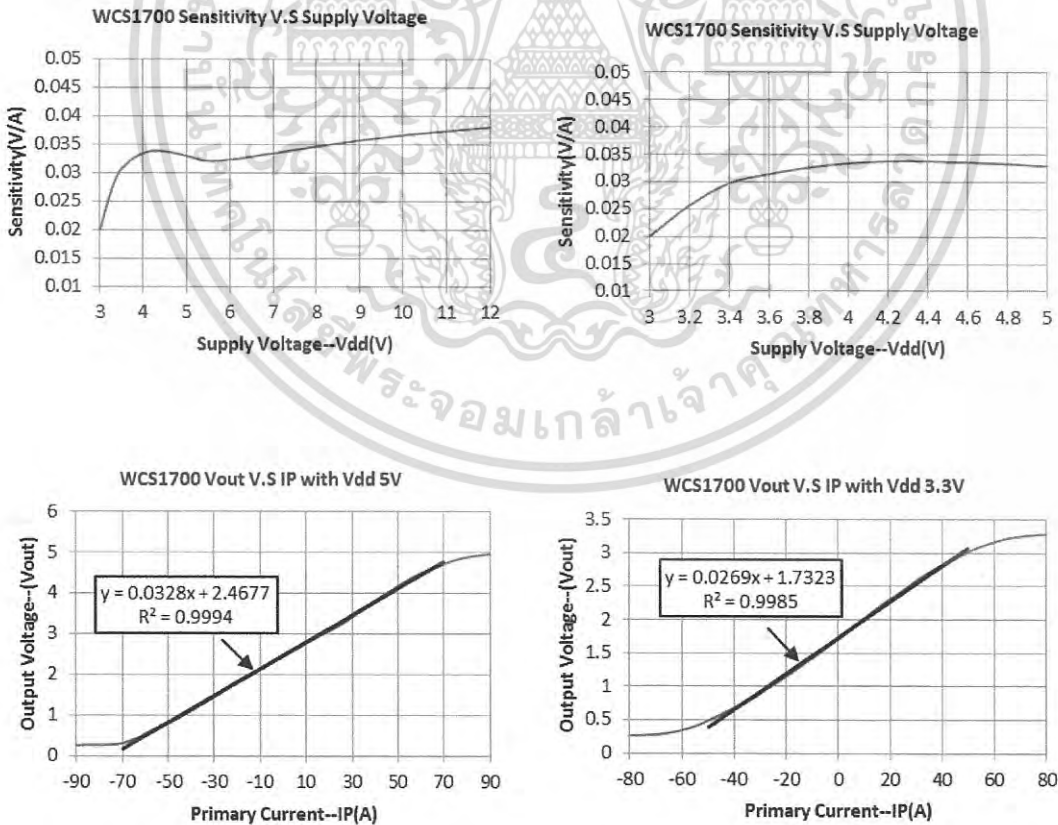
# WCS1700

## Electrical Characteristics: (T=+25°C, Vdd=5.0V)

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
Supply Voltage	V <sub>dd</sub>	—	3.0	—	12	V
Supply Current	I <sub>supply</sub>	I <sub>p</sub> = 0 A	—	3.5	6.0	mA
Zero Current V <sub>out</sub>	V <sub>0G</sub>	I <sub>p</sub> = 0 A (DC Mode)	2.4	2.5	2.6	V
Conductor Through Hole	—	—	—	9.0	—	mm <sup>2</sup>
Sensitivity	Sens	I <sub>p</sub> = ±10 A	28	33	38	mV/A
Bandwidth	BW	—	—	23	—	kHz
Measurable Current Range	MR	V <sub>dd</sub> =5V (DC Mode)	—	±70	—	A
		V <sub>dd</sub> =5V (AC RMS)	—	50	—	
Temperature Drift	ΔV <sub>out</sub>	I <sub>p</sub> = 0 A	—	±0.5	—	mV/°C
Output Noise	V <sub>Np-p</sub>	—	—	7.5	—	mV

1. All output-voltage measurements are made with a voltmeter having an input impedance of at least 100kΩ
2. Do not apply any 'resistor load' on output pin, it will degrade IC's performance.

## Characteristic Diagrams:



Winson reserves the right to make changes to improve reliability or manufacturability.

## LM158/LM258/LM358/LM2904 Low Power Dual Operational Amplifiers

### General Description

The LM158 series consists of two independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM158 series can be directly operated off of the standard +5V power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional  $\pm 15V$  power supplies.

The LM358 and LM2904 are available in a chip sized package (8-Bump micro SMD) using National's micro SMD package technology.

### Unique Characteristics

- In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.
- The unity gain cross frequency is temperature compensated.
- The input bias current is also temperature compensated.

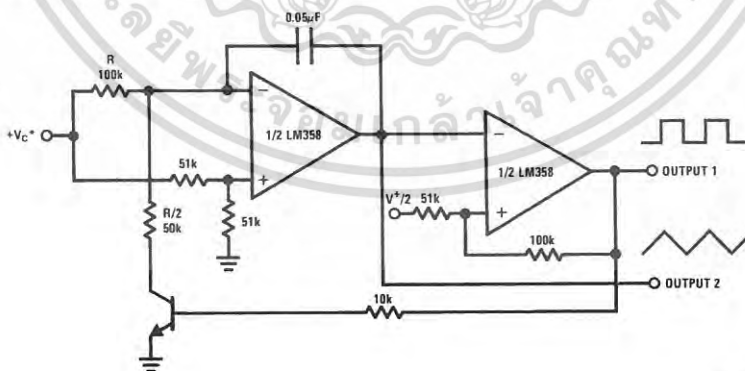
### Advantages

- Two internally compensated op amps
- Eliminates need for dual supplies
- Allows direct sensing near GND and  $V_{OUT}$  also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

### Features

- Available in 8-Bump micro SMD chip sized package, (See AN-1112)
- Internally frequency compensated for unity gain
- Large dc voltage gain: 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain): 1 MHz (temperature compensated)
- Wide power supply range:
  - Single supply: 3V to 32V
  - or dual supplies:  $\pm 1.5V$  to  $\pm 16V$
- Very low supply current drain (500  $\mu A$ )—essentially independent of supply voltage
- Low input offset voltage: 2 mV
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing

### Voltage Controlled Oscillator (VCO)



00778723

# TECHNICAL DATA MQ-9 GAS SENSOR

## FEATURES

\* High sensitivity to carbon monoxide and CH<sub>4</sub>, LPG.

\* Stable and long life

## APPLICATION

They are used in gas detecting equipment for carbon monoxide and CH<sub>4</sub>, LPG in family and industry or car.

## SPECIFICATIONS

### A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	technical condition	Remark
Vc	circuit voltage	<b>5V±0.1</b>	AC or DC
VH (H)	Heating voltage (high)	<b>5V±0.1</b>	AC or DC
VH (L)	Heating voltage (low)	<b>1.4V±0.1</b>	AC or DC
RL	Load resistance	Can adjust	
RH	Heating resistance	<b>33Ω ± 5%</b>	Room temperature
TH (H)	Heating time (high)	<b>60 ± 1 seconds</b>	
TH (L)	Heating time (low)	<b>90 ± 1 seconds</b>	
Ps	Heating consumption	Less than 340mw	

### b. Environment conditions

Symbol	Parameters	Technical conditions	Remark
Tao	Using temperature	-20°C <del>-50°C</del>	
Tas	Storage temperature	<del>-20°C -50°C</del>	Advice using scope
RH	Relative humidity	Less than 95%RH	
O <sub>2</sub>	Oxygen concentration	21%(stand condition) the oxygen concentration can affect the sensitivity characteristic	Minimum value is over 2%

### c. Sensitivity characteristic

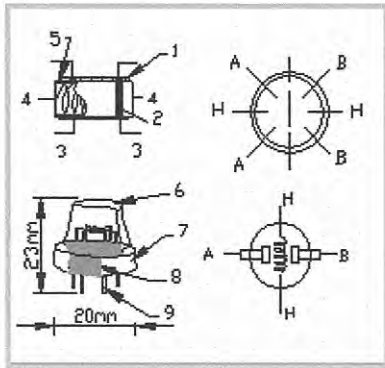
symbol	Parameters	Technical parameters	Remark
Rs	Surface resistance Of sensitive body	2-20k	In 100ppm Carbon Monoxide
a ( <del>30/100ppm</del> )	Concentration slope rate	Less than 0.5	Rs (300ppm)/Rs(100ppm)
Standard working condition	Temperature -20°C ± 2C	<del>relative humidity 65% ± 5%</del>	<del>R: 10KΩ ± 5%</del>
Preheat time	No less than 48 hours	Detecting range:20ppm-2000ppm carbon monoxide 500ppm-10000ppm CH <sub>4</sub> 500ppm-10000ppm LPG	

### D. Structure and configuration, basic measuring circuit

Structure and configuration of MQ-9 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic tube, Tin Dioxide (SnO<sub>2</sub>) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-9 have

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 TEL: 86-371-67169070 67169080 FAX: 86-371-67169090 E-mail: [sales@hwsensor.com](mailto:sales@hwsensor.com)  
 ไม่วาทกรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งกกรมการนำไปใช้

6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.



Parts	Materials
1 Gas sensing layer	SnO <sub>2</sub>
2 Electrode	Au
3 Electrode line	Pt
4 Heater coil	Ni-Cr alloy
5 Tubular ceramic	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
6 Anti-explosion network	Stainless steel gauze (SUS316 100-mesh)
7 Clamp ring	Copper plating Ni
8 Resin base	Bakelite
9 Tube Pin	Copper plating Ni

Fig.1

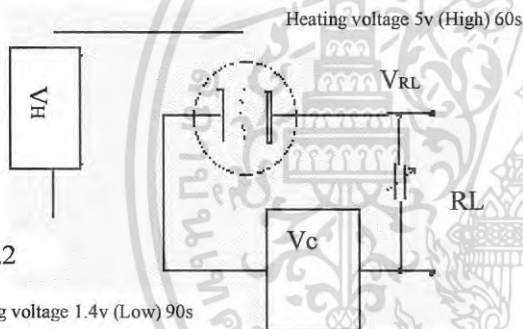
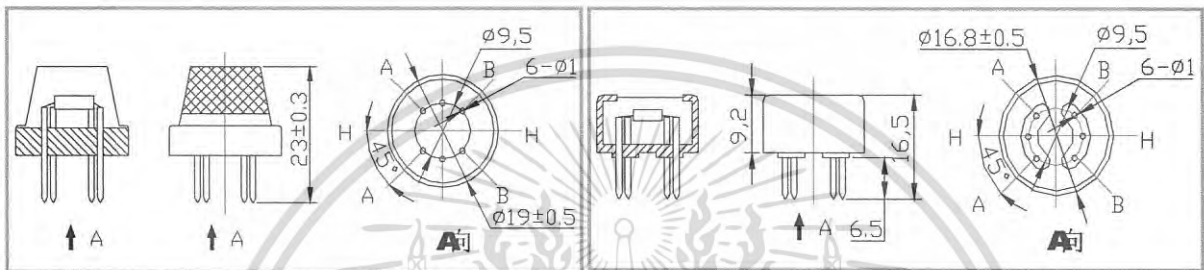


Fig.2

Standard circuit:

As shown in Fig 2, standard measuring circuit of MQ-9 sensitive components consists of 2 parts. one is heating circuit having time control function (the high voltage and the low voltage work circularly ). The second is the signal output circuit, it can accurately respond changes of surface resistance of the sensor.

Heating voltage 1.4v (Low) 90s

Electric parameter measurement circuit is shown as

Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

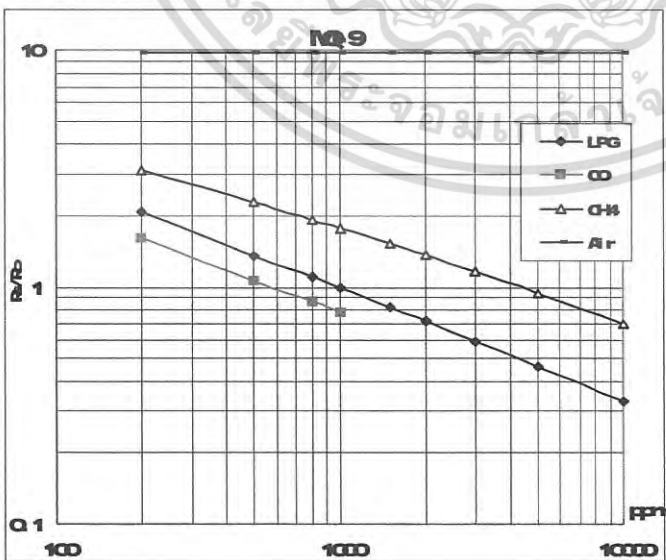


Fig.3 sensitivity characteristics of the MQ-9

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-9 for several gases.

in their: Temp: 20°C、

Humidity: 65%、

O<sub>2</sub> concentration 21%

RL=10k Ω

Ro: sensor resistance at 1000ppm

LPG in the clean air.

Rs: sensor resistance at various

concentrations of gases.

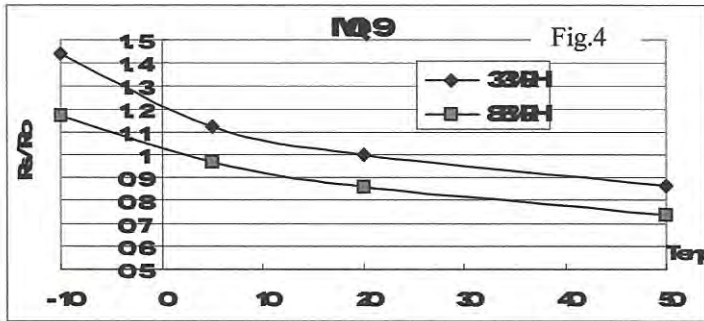


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-9 on temperature and humidity.

$R_0$ : sensor resistance at 1000ppm LPG in air at 33%RH and 20degree.

$R_s$ : sensor resistance at 1000ppm LPG at different temperatures and humidities.

## OPERATION PRINCIPLE

. The surface resistance of the sensor  $R_s$  is obtained through effected voltage signal output of the load resistance  $R_L$  which series-wound. The relationship between them is described:

$$R_s \setminus R_L = (V_c - V_{RL}) / V_{RL}$$

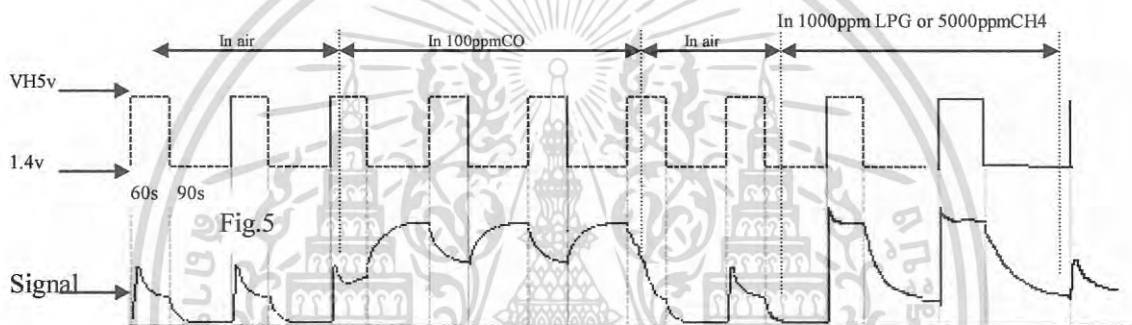


Fig. 5 shows alterable situation of  $R_L$  signal output measured by using Fig. 2 circuit output signal when the sensor is shifted from clean air to carbon monoxide (CO) or  $CH_4$ , output signal measurement is made within one or two complete heating period (2.5 minute from high voltage to low voltage ).

Sensitive layer of MQ-9 gas sensitive components is made of  $SnO_2$  with stability, So, it has excellent long term stability. Its service life can reach 5 years under using condition.

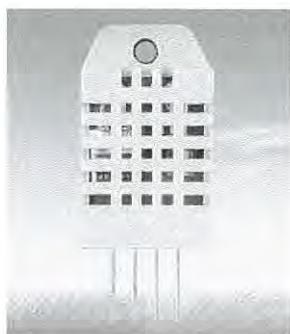
## SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-9 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 200ppm and 5000ppm  $CH_4$  or 1000ppm LPG concentration in air and use value of Load resistance that ( $R_L$ ) about 20 K  $\Omega$  (10K  $\Omega$  to 47 K  $\Omega$ ).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

The sensitivity adjusting program:

- Connect the sensor to the application circuit.
- Turn on the power, keep time of preheating through electricity is over 48 hours.
- Adjust the load resistance  $R_L$  until you get a signal value which is respond to a certain carbon monoxide concentration at the end point of 90 seconds.
- Adjust the another load resistance  $R_L$  until you get a signal value which is respond to a  $CH_4$  or LPG concentration at the end point of 60 seconds .



## Digital relative humidity & temperature sensor RHT03

### 1. Feature & Application:

- \*High precision
- \*Capacitive type
- \*Full range temperature compensated
- \*Relative humidity and temperature measurement
- \*Calibrated digital signal
- \*Outstanding long-term stability
- \*Extra components not needed
- \*Long transmission distance, up to 100 meters
- \*Low power consumption
- \*4 pins packaged and fully interchangeable

### 2. Description:

RHT03 output calibrated digital signal. It applies exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in type of programme in OTP memory, when the sensor is detecting, it will cite coefficient from memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(100m) enable RHT03 to be suited in all kinds of harsh application occasions. Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

### 3. Technical Specification:

Model	RHT03	
Power supply	3.3-6V DC	
Output signal	digital signal via MaxDetect 1-wire bus	
Sensing element	Polymer humidity capacitor	
Operating range	humidity 0-100%RH;	temperature -40~80Celsius
Accuracy	<b>humidity +-2%RH(Max +-5%RH);</b>	temperature +-0.5Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH;	temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity +-1%RH;	temperature +-0.2Celsius

- 1 -

MaxDetect Technology Co., Ltd.

<http://www.humiditycn.com>

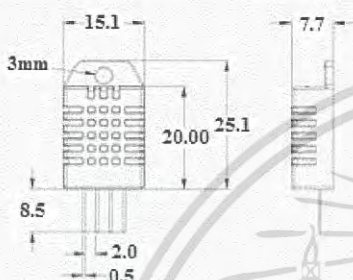
Thomas Liu (Sales Manager)

Email: [thomasliu198518@yahoo.com.cn](mailto:thomasliu198518@yahoo.com.cn), [sales@humiditycn.com](mailto:sales@humiditycn.com) นั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

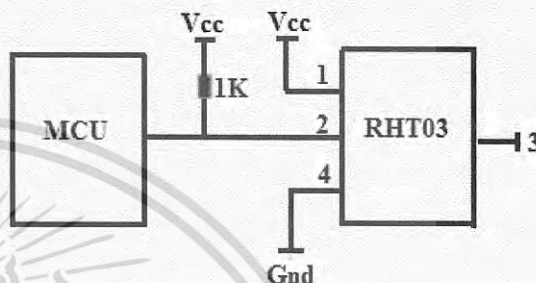
Humidity hysteresis	+/-0.3%RH
Long-term Stability	+/-0.5%RH/year
Interchangeability	fully interchangeable

#### 4. Dimensions: (unit----mm)



Pin sequence number: 1 2 3 4 (from left to right direction).

Pin	Function
1	VDD—power supply
2	DATA—signal
3	NULL
4	GND



#### 5. Electrical connection diagram:

#### 6. Operating specifications:

##### (1) Power and Pins

Power's voltage should be 3.3-6V DC. When power is supplied to sensor, don't send any instruction to the sensor within one second to pass unstable status. One capacitor valued 100nF can be added between VDD and GND for wave filtering.

##### (2) Communication and signal

**MaxDetect 1-wire bus is used for communication between MCU and RHT03. ( MaxDetect 1-wire bus is specially designed by MaxDetect Technology Co., Ltd. , it's different from Maxim/Dallas 1-wire bus, so it's incompatible with Dallas 1-wire bus.)**

Illustration of MaxDetect 1-wire bus:

Data is comprised of integral and decimal part, the following is the formula for data.

DATA=8 bit integral RH data+8 bit decimal RH data+8 bit integral T data+8 bit decimal T data+8 bit check-sum

- 2 -

MaxDetect Technology Co., Ltd.

<http://www.humiditycn.com>

Thomas Liu (Sales Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn , sales@humiditycn.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



*Your specialist in innovating humidity & temperature sensors*

If the data transmission is right, check-sum should be:

Check sum=8 bit integral RH data+8 bit decimal RH data+8 bit integral T data+8 bit decimal T data

Example: MCU has received 40 bits data from RHT03 as

0000 0010 1000 1100    0000 0001 0101 1111    1110 1110

16 bits RH data                      16 bits T data                      check sum

Check sum=0000 0010+1000 1100+0000 0001+0101 1111=1110 1110

RH= (0000 0010 1000 1100)/10=65.2%RH

T=(0000 0001 0101 1111)/10=35.1

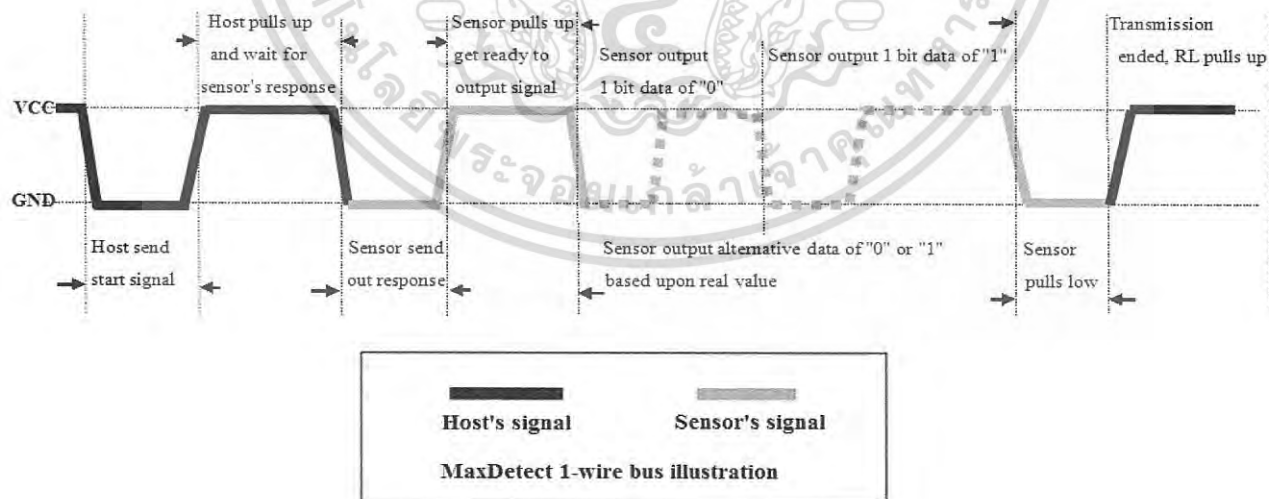
When highest bit of temperature is 1, it means the temperature is below 0 degree Celsius.

Example: 1000 0000 0110 0101, T= minus 10.1

16 bits T data

When MCU send start signal, RHT03 change from standby-status to running-status. When MCU finishes sending the start signal, RHT03 will send response signal of 40-bit data that reflect the relative humidity and temperature to MCU. Without start signal from MCU, RHT03 will not give response signal to MCU. One start signal for one response data from RHT03 that reflect the relative humidity and temperature. RHT03 will change to standby status when data collecting finished if it don't receive start signal from MCU again.

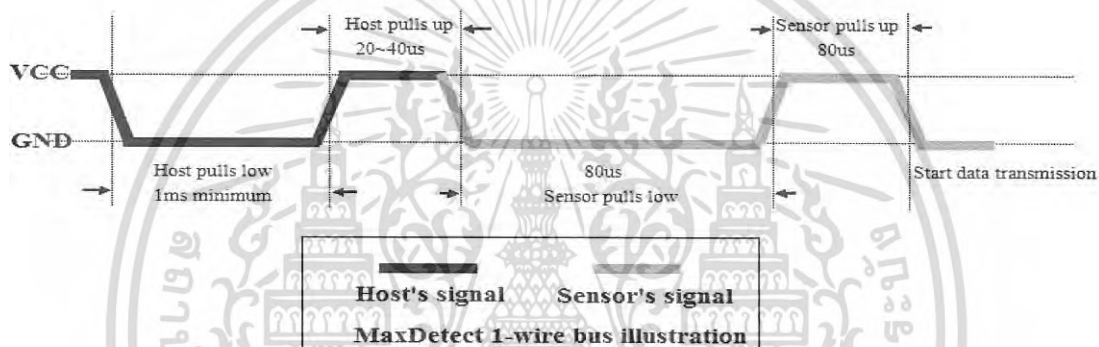
See below figure for overall communication process, the interval of whole process must beyond 2 seconds.



1) Step 1: MCU send out start signal to RHT03 and RHT03 send response signal to MCU

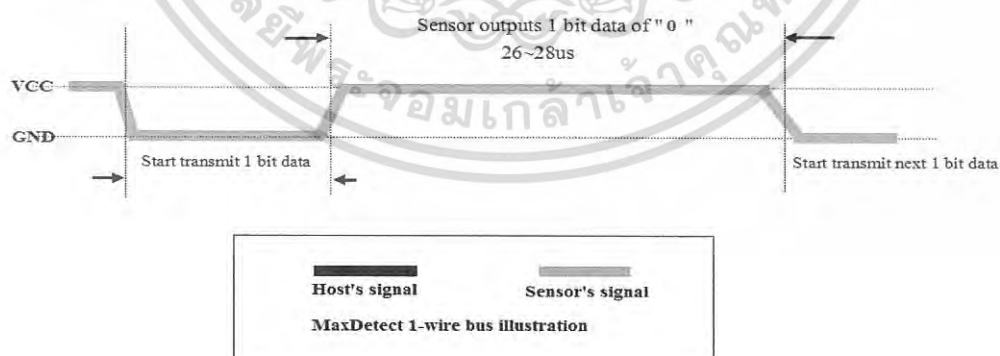
Data-bus's free status is high voltage level. When communication between MCU and RHT03 begins, MCU will pull low data-bus and this process must beyond at least 1~10ms to ensure RHT03 could detect MCU's signal, then MCU will pull up and wait 20-40us for RHT03's response.

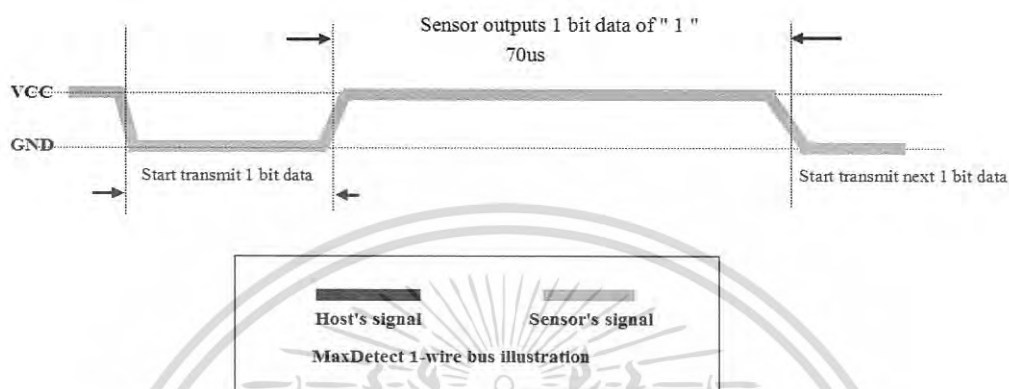
When RHT03 detect the start signal, RHT03 will pull low the bus 80us as response signal, then RHT03 pulls up 80us for preparation to send data. See below figure:



2). Step 2: RHT03 send data to MCU

When RHT03 is sending data to MCU, every bit's transmission begin with low-voltage-level that last 50us, the following high-voltage-level signal's length decide the bit is "1" or "0". See below figures:





### Attention:

If signal from RHT03 is always high-voltage-level, it means RHT03 is not working properly, please check the electrical connection status.

### 7. Electrical Characteristics:

Items	Condition	Min	Typical	Max	Unit
Power supply	DC	3.3	5	6	V
Current supply	Measuring	1		1.5	mA
	Stand-by	40	Null	50	uA
Collecting period	Second		2		Second

### 8. Attentions of application:

#### (1) Operating and storage conditions

We don't recommend the applying RH-range beyond the range stated in this specification. The RHT03 sensor can recover after working in abnormal operating condition to calibrated status, but will accelerate sensors' aging.

#### (2) Attentions to chemical materials

Vapor from chemical materials may interfere RHT03's sensitive-elements and debase RHT03's sensitivity.

#### (3) Disposal when (1) & (2) happens

Step one: Keep the RHT03 sensor at condition of Temperature 50~60Celsius, humidity <10%RH for 2 hours;

Step two: After step one, keep the RHT03 sensor at condition of Temperature 20~30Celsius, humidity >70%RH for 5 hours.



*Your specialist in innovating humidity & temperature sensors*

(4) Attention to temperature's affection

Relative humidity strongly depend on temperature, that is why we use temperature compensation technology to ensure accurate measurement of RH. But it's still be much better to keep the sensor at same temperature when sensing.

RHT03 should be mounted at the place as far as possible from parts that may cause change to temperature.

(5) Attentions to light

Long time exposure to strong light and ultraviolet may debase RHT03's performance.

(6) Attentions to connection wires

The connection wires' quality will effect communication's quality and distance, high quality shielding-wire is recommended.

(7) Other attentions

- \* Welding temperature should be bellow 260Celsius.
- \* Avoid using the sensor under dew condition.
- \* Don't use this product in safety or emergency stop devices or any other occasion that failure of RHT03 may cause personal injury.



# SPECIFICATION

Customer Title : XiDi Technology

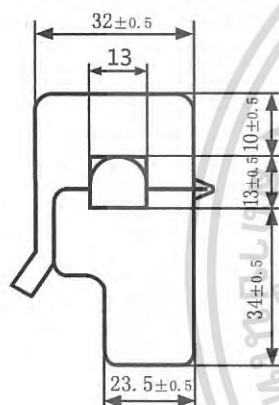
Product Name: \_\_\_\_\_

Manufacture Model : SCT-013-000

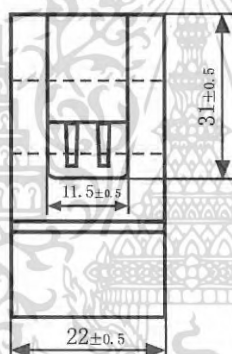
Charateristics: open size:13mm×13mm  
 1m leading wire  
 Core material:Ferrite  
 Fire resistance property:in accordance with  
 UL 94-V0  
 Dielectric strength: 1000V AC/1min 5mA  
 (between shell and output)



Outline size diagram:(in mm)



Front View



Side View



TVS: Transient-voltage Suppressor

Current output type

Schematic Diagram

Typical table of technical parameters:

input current	output voltage	non-linearity	build-in sampling resistance (R <sub>L</sub> )
0-100A	0-50mV	±3%	Ω
turn ratio	resistance grade	work temperature	dielectric strength(between shell and output)
100A:0.05A	Grade B	-25°C~+70°C	1000V AC/1min 5mA

Customer Sign:

Phone: 0355-7929499-803

Cell: 13693334514

Contact Name: Engineer Chen

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ 2011-7-26

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ▶ Product Introduction

### Token's Current Shunt Resistors (FL) for high-current applications aid precision measurement.

Current shunts are low resistance precision resistors used to measure AC or DC electrical currents by the voltage drop those currents create across the resistance. Sometimes called an ammeter shunt, it is a type of current sensor.

A wide range of precision shunts, designed for use with kilowatt-hour meters and other high-current applications where a high level of accuracy is required, is now available from Token Electronics.



The interchangeable shunts (FL) are used to multiply the measuring range of measuring instrument and designed for PCB and bus bar mounting, are manufactured from electron beam welded copper and manganin, and have low temperature coefficients. Featuring low inductance values, shunts FL series can handle permanent currents of up to 10000A at voltage 75 mV.

FLQ-54 type shunt is made of precision alloy board. Its copper terminals spot welded by silver alloy ensure extremely high electric capability. The construction provides a kind of excellent stability and high overloaded ability non-inductive resistor, applied widely as current limited, current balance or sampling sense in communication system, electric equipment and auto-controlling electrical circuit.

The FL Series is available in bulk packaging and is RoHS compliant and lead free. For non-standard technical requirements and special applications, please contact us with your specific needs, or link to Token official website "[Current Sensing Resistors](#)" for more information.

**Power Rating:**  $Watts (W) = Current (I^2) \times Resistance Value (R)$

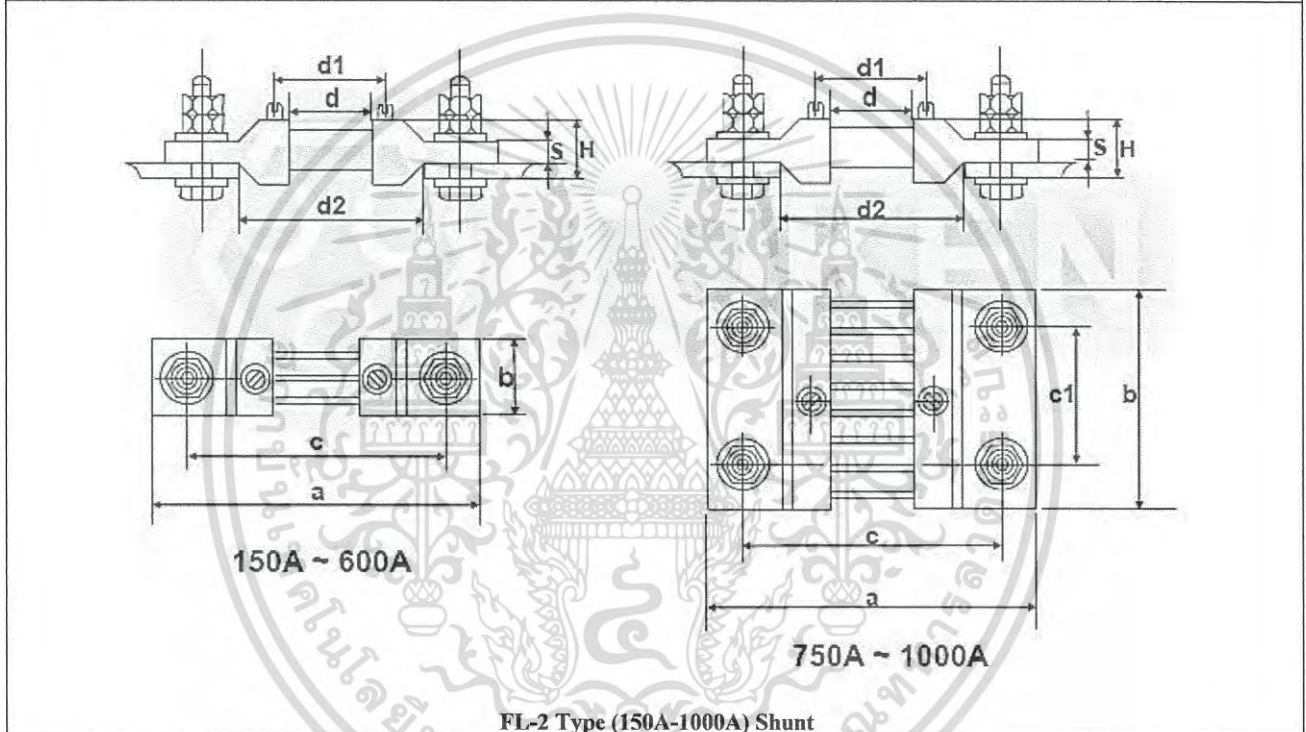
- Because current shunt is resistor and dissipate heat from the current flowing through them, when they get hot.
- Since that heat can change their resistance and even permanently damage the shunt, so it is often given a power rating or a derating factor.
- In practice current shunt is often rated to be used continuously at only 2/3 of their "rated current".
- The heat produced is power measured in Watts (W).

**Calculate Current:**  $Current (I) = Voltage (V) / Resistance Value (R)$

- By inserting a current shunt into a circuit whose current you want to measure your can find the current by measuring the voltage drop across the shunt.
- Then knowing the resistance of the current shunt you can calculate the current using Ohm's law.

## Dimensions (150A-1000A, Unit: mm) (FL-2)

Rating Current (A)	Dimensions (Unit: mm)										High Current Bolt (mm)-PC (Option)	Shunt Voltage Bolt (mm)-PC (Option)
	a	c	b	c1	c2	H	S	d	d1	d2		
150	116	85	22			22	6	30	39	54	M8x35-2	M5x6-2
200	116	85	22			22	6	30	39	54	M8x35-2	
250	126	100	26			22	6	40	49	64	M10x35-2	
300	126	100	26			22	6	40	49	64	M10x35-2	
400	126	100	38			22	6	40	49	64	M10x35-2	
500	126	100	45			22	6	40	49	64	M10x35-2	
600	126	100	62			22	6	40	49	64	M10x35-2	
750	126	100	76	50		22	6	40	49	64	M10x35-4	
1000	126	100	95	50		22	6	40	49	64	M10x35-4	



## ► Characteristics

### Characteristic Specification (FL-2, FL-13, FL-13-A)

Test Items	Specification
<b>Rated Voltage Drop</b>	50mV, 60mV, 75mV, 100mV.
<b>Accuracy Class</b>	0.5% for 5~4000 A; 1% for 5000~6000 A
<b>Over Rating Capacity</b>	120% of rated current for 2 hours.
<b>Ambient Conditions</b>	Temperature: -40~+60°C; relative humidity: ≤95% 35°C
<b>Giving Out Heat When Loaded</b>	Not be more than 80°C at rated current of below 50A.; not be more than 120°C at rated current of 50A and over 50A.
<b>Capacity to Withstand Mechanical Force</b>	It is capable of withstanding the transport bumping at acceleration of 70m/S <sup>2</sup> and shock frequency of 80-120 times/min for 5 hours.

## ► Order Codes

### Order Codes (FL)

FL-2	-	5A		50mV		F		p	
Part Number		Rating Current (A)		Voltage Drop (mV)		Accuracy Class (%)		Package-Code	
FL-2		5A	5 A	50mV	50 mV	F	±1%	P	Bulk
FL-13		10A	10 A	60mV	60 mV	D	±0.5%		
FL-13-A		200A	200 A	75mV	75 mV				
FLQ54-A		750A	750 A	100mV	100 mV				
FLQ54-B									
FLQ54-C									



## 100K Thermistor Output Table

°F	°C	Ohms	°F	°C	Ohms	°F	°C	Ohms
-39	-39.44	3916295	37	2.78	302466	113	45.00	41303
-37	-38.33	3627711	39	3.89	285206	115	46.11	39434
-35	-37.22	3362274	41	5.00	269035	117	47.22	37660
-33	-36.11	3117987	43	6.11	253877	119	48.33	35976
-31	-35.00	2893035	45	7.22	239664	121	49.44	34376
-29	-33.89	2685770	47	8.33	226331	123	50.56	32843
-27	-32.78	2494694	49	9.44	213819	125	51.67	31399
-25	-31.67	2318444	51	10.56	201971	127	52.78	30027
-23	-30.56	2155781	53	11.67	190946	129	53.89	28722
-21	-29.44	2004274	55	12.78	180588	131	55.00	27481
-19	-28.33	1865595	57	13.89	170853	133	56.11	26300
-17	-27.22	1737397	59	15.00	161700	135	57.22	25177
-15	-26.11	1618827	61	16.11	153092	137	58.33	24107
-13	-25.00	1509102	63	17.22	144992	139	59.44	23089
-11	-23.89	1407512	65	18.33	137367	141	60.56	22111
-9	-22.78	1313405	67	19.44	130189	143	61.67	21188
-7	-21.67	1226184	69	20.56	123368	145	62.78	20308
-5	-20.56	1145306	71	21.67	117000	147	63.89	19469
-3	-19.44	1069620	73	22.78	110998	149	65.00	18670
-1	-18.33	1000019	75	23.89	105338	151	66.11	17907
1	-17.22	935383	77	25.00	100000	153	67.22	17180
3	-16.11	875329	79	26.11	94963	155	68.33	16486
5	-15.00	819505	81	27.22	90208	157	69.44	15824
7	-13.89	767589	83	28.33	85719	159	70.56	15187
9	-12.78	719284	85	29.44	81479	161	71.67	14584
11	-11.67	674319	87	30.56	77438	163	72.78	14008
13	-10.56	632442	89	31.67	73654	165	73.89	13458
15	-9.44	593086	91	32.78	70076	167	75.00	12932
17	-8.33	556739	93	33.89	66692	169	76.11	12430
19	-7.22	522842	95	35.00	63491	171	77.22	11949
21	-6.11	491217	97	36.11	60461	173	78.33	11490
23	-5.00	461699	99	37.22	57594	175	79.44	11051
25	-3.89	434134	101	38.33	54878	177	80.56	10627
27	-2.78	408383	103	39.44	52306	179	81.67	10225
29	-1.67	384316	105	40.56	49847	181	82.78	9841
31	-0.56	361813	107	41.67	47538	183	83.89	9473
33	0.56	340581	109	42.78	45349	185	85.00	9121
35	1.67	320895	111	43.89	43273	187	86.11	8783

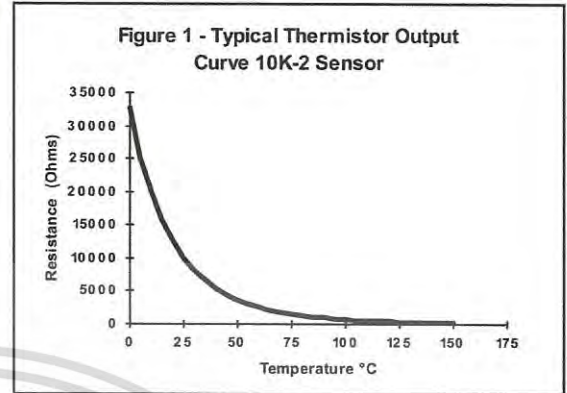


**Thermistor Description**

BAPI Thermistors are thermally sensitive resistors known for exhibiting a large change in resistance with only a small change in temperature. It is important to note that a thermistor's change in resistance is non-linear. It follows a pre-defined curve which is provided by the thermistor manufacturer. An example of a thermistor output curve can be seen in **Figure 1**.

Thermistors are manufactured to follow a specific curve with a high degree of accuracy. All BAPI thermistors have a standard accuracy of  $\pm 0.2^\circ\text{C}$  throughout the commercial temperature range of 0 to 70  $^\circ\text{C}$ . BAPI also has available a higher accuracy sensor for meeting tougher specs. The extra precision [XP] line has an initial accuracy of  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  throughout the commercial temperature range of 0 to 70  $^\circ\text{C}$ . Please call for availability and pricing on [XP] line thermistors. Both accuracy levels allow BAPI thermistors to be interchanged without the extra expense of offsetting the controller.

\* All Passive Thermistors 10K  $\Omega$  and smaller are CE compliant.



**Thermistor Specifications**

**DEFINITION OF SPECIFICATION TERMS**

**Interchangeability Tolerance (Accuracy):**  
The maximum amount that thermistors following the same curve will differ from each other.

**Dissipation Constant:**  
The power needed to raise the thermistor's body temperature by 1 $^\circ\text{C}$ . At the heart of all BAPI thermistor products is a sensor with a 2.7 mW/ $^\circ\text{C}$  dissipation constant to ensure that self-heating stays at an absolute minimum.

**Stability (drift):**  
The amount that the resistance characteristics of a thermistor will change. BAPI uses only the highest quality, "pre-aged" thermistors with very small drift values. Over a ten year span, BAPI thermistors will not change more than 0.1 $^\circ\text{C}$ .

**Operating Range:**  
The operating range shown is for the thermistor only. The mounting package may further limit the operating range and is described on each mounting type specification. The thermal time constant will also be affected based on the added mass of the stainless steel probe and moisture protection encapsulation.

**Thermal Time Constant**  
Bare sensors are typically measured and specified in still air and are timed at the statistical 63.2% of the step temperature change. A stirred liquid test will typically result in a much faster response time and is also timed at 63.2% of the step temperature change. The time constant is always the same whatever the temperature step change may be.

**Thermistor Specifications**

**Interchangeability Tolerance (Accuracy):**  
Standard Sensor:  $\pm 0.2^\circ\text{C}$  (0 to 70  $^\circ\text{C}$ )  
High Accuracy [XP] Sensor:  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  (0 to 70  $^\circ\text{C}$ )  
**Dissipation Constant:** 2.7 mW/ $^\circ\text{C}$   
**Stability (drift):** Less than 0.02  $^\circ\text{C}$  / year  
**Thermal Time Constant:** 5 seconds (bead in still air)  
.5 seconds (stirred liquid)

Sensor Type	Reference Resistance	Operating Range
1.8K	1.8 K $\Omega$ @ 25 $^\circ\text{C}$	-55 to 150 $^\circ\text{C}$
2.2K	2.2 K $\Omega$ @ 25 $^\circ\text{C}$	-55 to 150 $^\circ\text{C}$
3K**	3 K $\Omega$ @ 25 $^\circ\text{C}$	-55 to 150 $^\circ\text{C}$
3.3K	3.3 K $\Omega$ @ 25 $^\circ\text{C}$	-55 to 150 $^\circ\text{C}$
10K-2**	10 K $\Omega$ @ 25 $^\circ\text{C}$	-55 to 150 $^\circ\text{C}$
10K-3**	10 K $\Omega$ @ 25 $^\circ\text{C}$	-55 to 150 $^\circ\text{C}$
10K-3(11K)**	5.2 K $\Omega$ @ 25 $^\circ\text{C}$	-55 to 150 $^\circ\text{C}$
20K**	20 K $\Omega$ @ 25 $^\circ\text{C}$	-55 to 150 $^\circ\text{C}$
47K	47 K $\Omega$ @ 25 $^\circ\text{C}$	-55 to 150 $^\circ\text{C}$
50K	50 K $\Omega$ @ 25 $^\circ\text{C}$	-80 to 150 $^\circ\text{C}$
100K**	100 K $\Omega$ @ 25 $^\circ\text{C}$	-55 to 150 $^\circ\text{C}$

Other Thermistors are available. Contact BAPI for availability and specifications of additional thermistors.

\*\*Available as an [XP] high accuracy sensor. Minimum quantities and long lead times may apply. 10K-2[XP] and 10K-3[XP] thermistors are typically stocked items



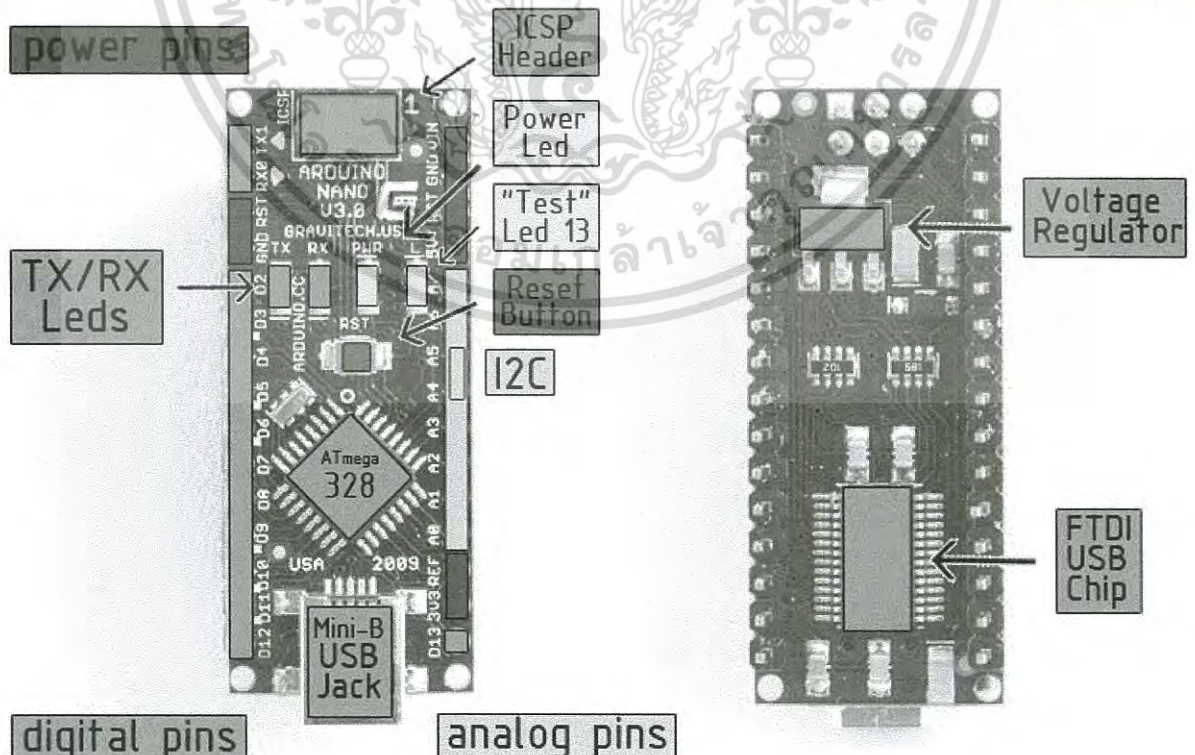
Arduino Nano 3.0 (ATmega328): [schematic](#), [Eagle files](#).

Arduino Nano 2.3 (ATmega168): [manual](#) (pdf), [Eagle files](#). *Note:* since the free version of Eagle does not handle more than 2 layers, and this version of the Nano is 4 layers, it is published here unrouted, so users can open and use it in the free version of Eagle.

## Summary

Microcontroller	Atmel ATmega168 or ATmega328
Operating Voltage (logic level)	5 V
Input Voltage (recommended)	7-12 V
Input Voltage (limits)	6-20 V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	8
DC Current per I/O Pin	40 mA
Flash Memory	16 KB (ATmega168) or 32 KB (ATmega328) of which 2 KB used by bootloader
SRAM	1 KB (ATmega168) or 2 KB (ATmega328)
EEPROM	512 bytes (ATmega168) or 1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz
Dimensions	0.73" x 1.70"

## the board



## Power

The Arduino Nano can be powered via the Mini-B USB connection, 6-20V unregulated external power supply (pin 30), or 5V regulated external power supply (pin 27). The power source is automatically selected to the highest voltage source.

The FTDI FT232RL chip on the Nano is only powered if the board is being powered over USB. As a result, when running on external (non-USB) power, the 3.3V output (which is supplied by the FTDI chip) is not available and the RX and TX LEDs will flicker if digital pins 0 or 1 are high.

## Memory

The ATmega168 has 16 KB of flash memory for storing code (of which 2 KB is used for the bootloader); the ATmega328 has 32 KB, (also with 2 KB used for the bootloader). The ATmega168 has 1 KB of SRAM and 512 bytes of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)); the ATmega328 has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM.

## Input and Output

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

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

The Nano has 8 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 [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **I<sup>2</sup>C: 4 (SDA) and 5 (SCL).** Support I<sup>2</sup>C (TWI) communication using the [Wire library](#) (documentation on the Wiring website).

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.

See also the [mapping between Arduino pins and ATmega168 ports](#).

## Communication

The Arduino Nano has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega168 and ATmega328 provide UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An FTDI FT232RL on the board channels this serial communication over USB and the [FTDI drivers](#) (included with the Arduino software) provide a virtual com port to software on the computer. The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the FTDI 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 Nano's digital pins.

The ATmega168 and ATmega328 also support I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a [Wire library](#) to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. To use the SPI communication, please see the ATmega168 or ATmega328 datasheet.

## Programming

The Arduino Nano can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Diecimila, Duemilanove, or Nano w/ ATmega168" or "Arduino Duemilanove or Nano w/ ATmega328" from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega168 or ATmega328 on the Arduino Nano comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It 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 Nano 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 FT232RL is connected to the reset line of the ATmega168 or ATmega328 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 Nano 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 Nano. 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.

## User Manual V1.2

ESP8266 NodeMCU WiFi Devkit

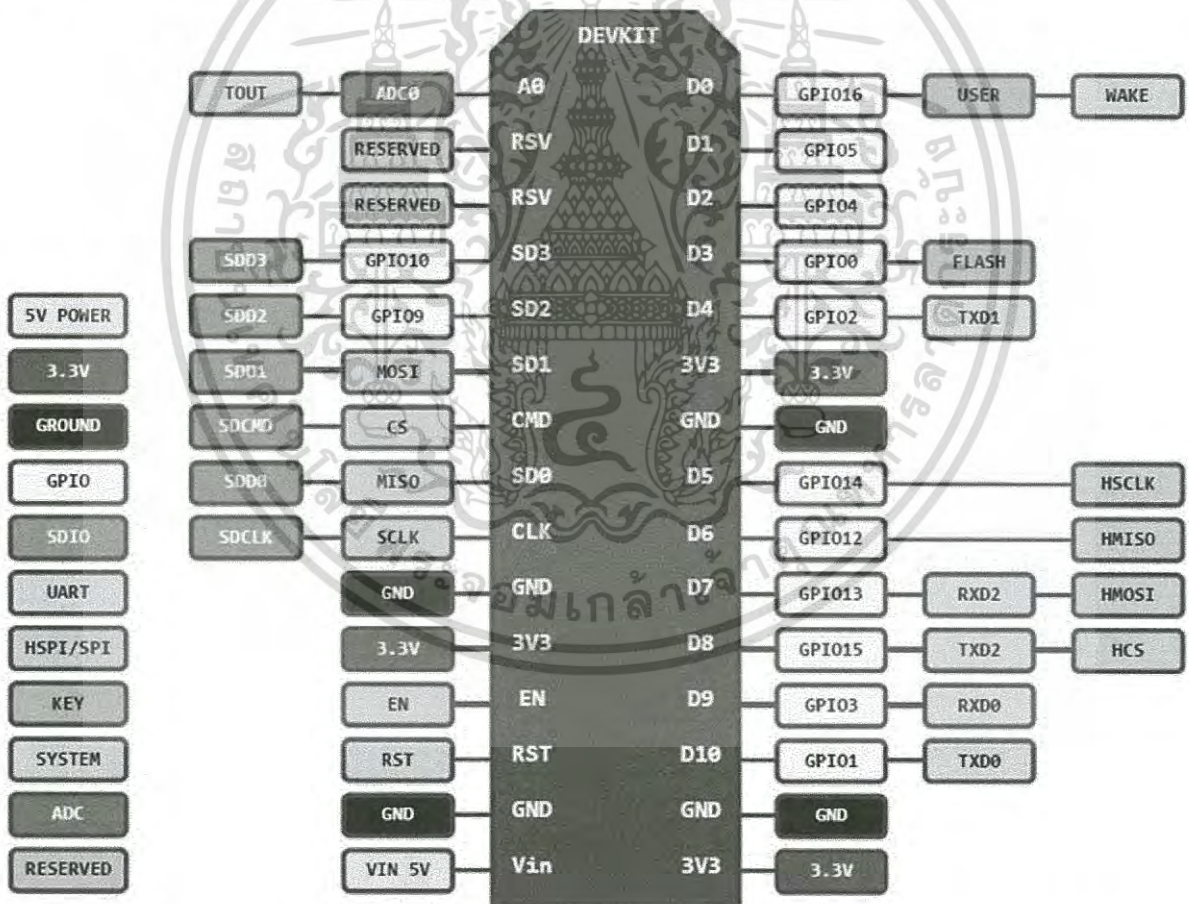
The ESP8266 is the name of a micro controller designed by Espressif Systems. The ESP8266 itself is a self-contained WiFi networking solution offering as a bridge from existing micro controller to WiFi and is also capable of running self-contained applications.

This module comes with a built in USB connector and a rich assortment of pin-outs. With a micro USB cable, you can connect NodeMCU devkit to your laptop and flash it without any trouble, just like Arduino. It is also immediately breadboard friendly.

1. Specification:

- Voltage:3.3V.
- Wi-Fi Direct (P2P), soft-AP.
- Current consumption: 10uA~170mA.
- Flash memory attachable: 16MB max (512K normal).
- Integrated TCP/IP protocol stack.
- Processor: Tensilica L106 32-bit.
- Processor speed: 80~160MHz.
- RAM: 32K + 80K.
- GPIOs: 17 (multiplexed with other functions).
- Analog to Digital: 1 input with 1024 step resolution.
- +19.5dBm output power in 802.11b mode
- 802.11 support: b/g/n.
- Maximum concurrent TCP connections: 5.

2. Pin Definition:



*D0(GPIO16) can only be used as gpio read/write, no interrupt supported, no pwm/i2c/ow supported.*

3. Using Arduino IDE

# Smartgen®

Smartgen Technology Co., Ltd.

No.28 Jinsuo Road

Zhengzhou City

Henan Province

P. R. China

Tel: 0086-371-67988888/67981888

0086-371-67991553/67992951

0086-371-67981000(overseas)

Fax: 0086-371-67992952

Web: <http://www.smartgen.com.cn>

<http://www.smartgen.cn>

Email: [sales@smartgen.cn](mailto:sales@smartgen.cn)

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced in any material form (including photocopying or storing in any medium by electronic means or other) without the written permission of the copyright holder.

Applications for the copyright holder's written permission to reproduce any part of this publication should be addressed to Smartgen Technology at the address above.

Any reference to trademarked product names used within this publication is owned by their respective companies.

Smartgen Technology reserves the right to change the contents of this document without prior notice.

## Software Version


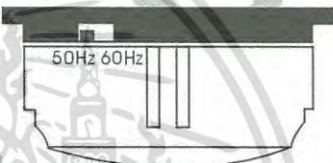
Date	Version	Note
2007-12-01	1.0	Original release
2009-03-19	3.1	Update user manual.
2010-08-18	3.2	Change over speed time from 3s to 1.5s
2011-06-13	3.3	Change the name of the company "Smartgen electronics" to "Smartgen Technology".
2011-12-22	3.4	<b>Modify Typical Application;</b> Correct the descriptions of Preheat key.

## 1 SUMMARY

HGM170/170HC is a generator control module designed to start and stop the engine via a key switch and pushbuttons on the front panel or remote start signal. When detecting faults (low oil pressure, high water/cylinder temperature, auxiliary alarm, over speed), it will disconnect fuel relay and energize to stop. LED annunciator displays the faults, which can offer real and effective alarm information.

HGM170HC adds hours counter based on HGM170, other functions are as the same.

## 2 PERFORMANCE AND CHARACTERISTICS

- ◆ Wide range of DC supply;
  - ◆ Low oil pressure, high water/cylinder temperature, over speed protection and indication;
  - ◆ With charge failure indication: warn, not shutdown;
  - ◆ An auxiliary shutdown alarm signal;
  - ◆ Speed signal comes from generator frequency;
  - ◆ LED displays various alarm states;
  - ◆ Hours counter LCD display; (HGM170HC)
  - ◆ Built-in dial switch to select frequency 50Hz  60Hz (See the picture).
- 
- ◆ With fuel output, start output, pre-heat and stop output;
  - ◆ Modular structure design, ABS plastic case, plug-in installation, compact structure with small volume, advanced SCU control, stable performance and convenient operation.

## 3 SPECIFICATION




Items	Contents
Working Voltage	DC8.0V to 35.0V continuous
Power Consumption	Standby (12V:0.12W, 24V:0.24W) Normal running (12V:0.5W, 24V:1W)
Alternator Voltage Input: 1P2W	15VAC - 360VAC (ph-N)
Alternator Rated Freq.	50/60Hz
Over Speed Freq.	114% of rated freq.
Condition of Crank Disconnect	Generator voltage $\geq 15VAC$ and frequency $\geq 15Hz$
Charge Failure Volt	<3V
4 Digital Inputs	Connect to B- active
Start Output	1Amp DC28V relay output B-
Preheat Output	1Amp DC28V relay output B-
Fuel Output	1Amp DC28V relay output B-
Stop Output	1Amp DC28V relay output B-
Hours Counter	Max 99999.9 hours

Items	Contents
Case Dimensions	84mm x72mm x 35mm
Panel Cutout	78mm x 66mm
Operation Condition	Temperature: (-30~+70)°C Humidity: (20~90)%
Storage Condition	Temperature: (-40~+80)°C
Protection Level	IP55: when waterproof rubber gasket added between controller and its panel. IP42: when waterproof rubber gasket not added between controller and its panel.
Insulation Intensity	Object: among input/output/power Quote standard: IEC688-1992 Test way: AC1.5kV/1m 3mA leakage current
Weight	0.25kg











## 4 PANEL OPERATION

### 4.1 Keys and Icons

#### ➤ keys

	Stop/Reset	Can stop the running genset; Can reset alarm; In Stop Mode, pressing this key at least 3s can test panel indicators. (Lamp Test)
	Manual	In Manual Mode, press this key to start genset; In Stop Mode or Auto Mode, this key is inactive.
	Preheat	In Manual Mode, press this key to output preheat signal; In Stop Mode, Auto Mode and Manual Mode, this key is active.


#### ➤ ICONS

		High Temperature	When engine stops for high temperature, it illuminates.
		Low Oil Pressure	When engine stops for low oil pressure, it illuminates.
		Over Speed	When engine over speed, it illuminates.
		Charge Failure	When engine failed to charge, it illuminates.
		Common Alarm	When over speed, temperature high, oil pressure low, auxiliary shutdown alarm, fail to start and fail to stop alarms occur, it illuminates.





	Hours Counter	Genset accumulated run hours. Max 99999.9 hours.
--	---------------	--

## 4.2 Descriptions of Working Modes

### ◎ Stop Position (○)

- After crank disconnect, turn the key to stop position, fuel relay disconnects, ETS outputs and genset stops.
- When a fault alarm occurs, turn the key to stop position to remove the alarm.
- When genset at rest, turn key to stop position, controller will be in low power consumption standby mode.
- Press stop key  at least 1second, ETS outputs. Once release this button, ETS output is disconnected.

### ◎ Manual Position (⊙)

- Turn the key to manual position. Press  key, preheat outputs. After crank disconnect, preheat output is inhibited.
- Turn the key to manual position. Press  key, after fuel outputs 1s, starter is energized to output and engine cranks. When gens frequency is over 15Hz or start key is released, starter is de-energized and crank disconnect.
- If crank disconnect signal is not detected, press stop key  at least 1s, ETS output. Once release this button, ETS output is disconnected.
- If crank disconnect signal is detected, press stop key  at least 1s ETS disconnects after output 30s or after genset at rest for 10s.

### ◎ Auto Position (Auto)

- Turn the key to auto position. When remote start signal is enabled, genset will start automatically after 2s' delay, fuel and preheat relay begin outputting. Start outputs after 1s and fuel output disconnects. (Maximum 3 times to start, 8s for cranking and 10s interval. If crank disconnect within 3 times, module is started; if fail to disconnect for 3 times, common alarm annunciator illuminates and relay outputs). During crank rest time, fuel relay disconnects, preheat and ETS start outputting after 7s' delay. Once delay is over, ETS disconnects and preheat output disconnects before cranking.
- When remote start input is disabled, generator will stop automatically after 10s' delay.

## 5 ALARM AND PROTECTION

- Low oil pressure: After crank disconnect, detecting begins after delay 10s. Alarm to shutdown.
- High temperature: After crank disconnect, detecting begins after delay 10s. Alarm to shutdown.
- Over speed: Detect when crank disconnect. Over speed lasts for 1.5s, alarm to shutdown.
- Charge failure: Detect after start delay 10s. Warn, not shutdown.
- Auxiliary stop alarm: Detect in Manual position, do not detect in stop position. Alarm to shutdown.
- Fail to start: under normal condition, fail to start within 3 times.
- Fail to stop: Stop signal has initiated for 30s, but genset not stop.
- Common alarm: when over speed, high temperature, low OP, auxiliary stop alarm, fail to start, fail to stop alarm occur, alarm annunciator will illuminate.

When controller sends the alarm, pressing stop key  can reset the alarm.

**Note:** When charge failure occurs, pressing  will stop the engine.

## 6 CONNECTIONS

Terminals description

No.	Function	Cable Size	Notes
1	DC Power Supply B-	2.5mm <sup>2</sup>	Connect to start battery negative.
2	DC Power Supply B+	2.5mm <sup>2</sup>	Connect to start battery positive. If more than 30 meter, use 2 wires to parallel. Recommended 20A fuse.
3	Fuel Relay Output	1.5mm <sup>2</sup>	Fuel output B-, external connect to fuel relay.
4	Start Relay Output	1.5mm <sup>2</sup>	Start output B-, external connect to start relay.
5	Preheat Output	1.5mm <sup>2</sup>	Pre-heating output. If engine has fired, pre-heat is disabled.
6	Auxiliary Stop Alarm Input	1.5mm <sup>2</sup>	Connect to ground.
7	Charge Detection Input	1.5mm <sup>2</sup>	Connect to alternator WL (or D+) terminal. When charge fails, the indicator on the front panel will illuminate. (indication only, not shutdown)
8	OP Detection Input	1.5mm <sup>2</sup>	Oil pressure signal input. Active when connect to GND. Enabled after delay 10s.
9	Water/Cylinder Temp Detection Input	1.5mm <sup>2</sup>	Water/Cylinder temp input. Active when connect to GND. Enabled after delay 10s.
10	Gens L Phase Volt Input	1.5mm <sup>2</sup>	External connect to ALT L phase volt output for detecting crank disconnect and speed protection.
11	NC		Not connection

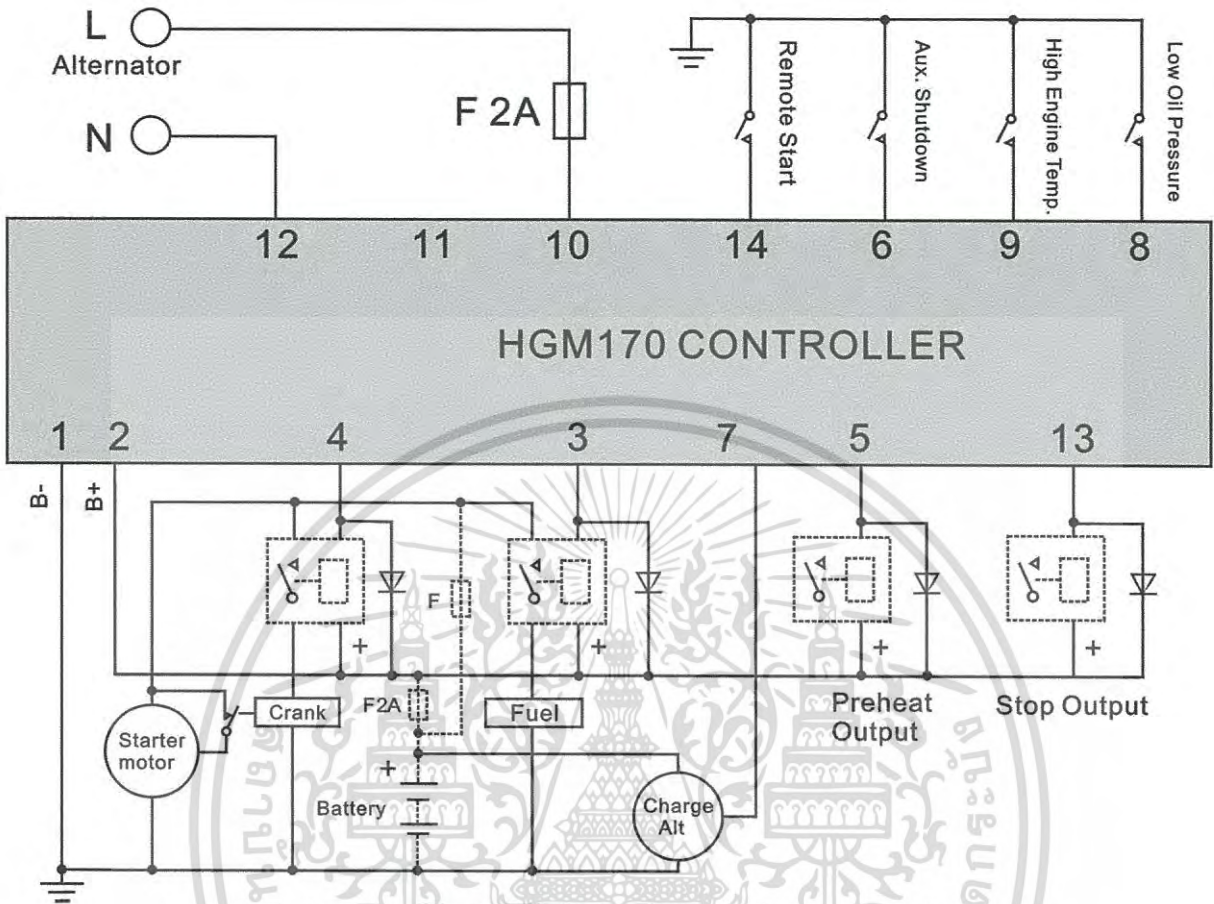
No.	Function	Cable Size	Notes
12	Gens Neutral Input	1.5mm <sup>2</sup>	External connect to ALT N phase volt output for detecting crank disconnect and speed protection.
13	ETS Output	1.5mm <sup>2</sup>	When stop signal is initiated, after outputting 30s or genset at rest, it will disconnect.
14	Remote Start Input	1.5mm <sup>2</sup>	Active when connected to ground.

## 7 COMMISSIONING

Please make the under procedures checking before commissioning,

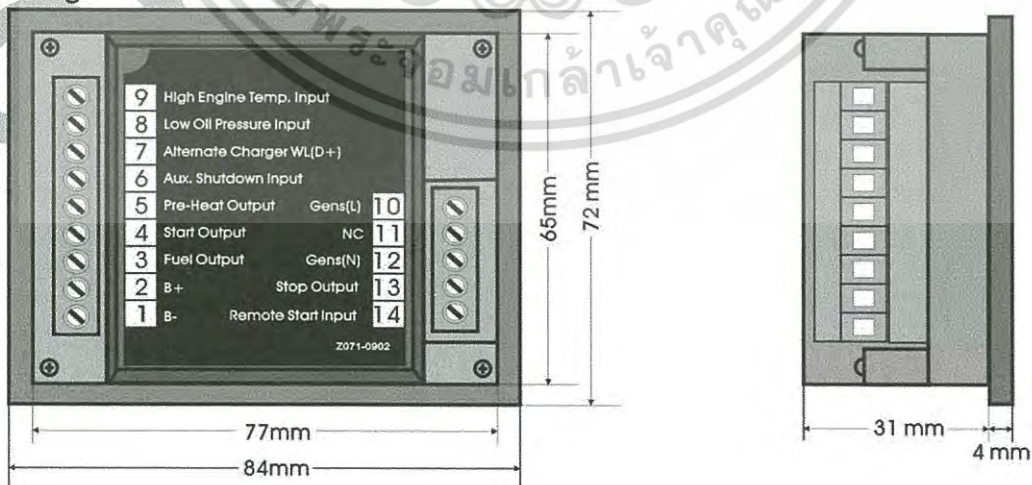
1. Check all the connections are correct and wires diameter is suitable;
2. Ensure that the controller DC power has insurance, controller's positive and negative connected to start battery are correct;
3. Auxiliary alarm input is connected to start battery negative via normal close contact of emergency stop button and insurance;
4. Take proper action to prevent engine to crank disconnect (e. g. Remove the connection wire of fuel valve). If checking is OK, energize start battery;
5. Set controller into Manual mode, press "start" button, genset will start. After the setting times, controller will send fail to start signal; press "stop" key to reset the controller.
6. Recover the action of stop engine start (e. g. Connect wire of fuel valve), press start button again, genset will start. If everything goes well, genset will enter into normal running. During this period, please watch for engine's running situations and AC generator's voltage and frequency. If abnormal, stop genset running and check all connections according to this manual.
7. Set controller into Auto mode, enable remote start input and start the engine. If there is any wrong during engine running, stop to check the connections according to the manual.
8. If there are any other questions, please contact Smartgen's service.

### 8 TYPICAL APPLICATION



### 9 CASE DIMENSIONS (Panel Cutout 78 mm\*66mm)

The controller is built-in design which fixed by fixing clips. The overall dimensions and cutout is as following:



## 9.1 Battery Voltage Input

HGM170/170HC can be applicable to range of (8-35) VDC battery voltage; battery negative must be reliability connected to engine shell. The connection of controller power supply B + and B- to battery poles should not be less than 2.5mm<sup>2</sup>, if float charger is fitted, please directly connect the charger output wire to battery poles, and then separately connect the wirings from the battery poles to the power supply output of the controller in case that the charger will interfere with the normal operation of the controller.

## 9.2 Output and Expansion Relay

All output of the controller is relay contacts output, if there is need to expand output relays, please expand follow current diode in both ends of the relay coil (when extended relay coil links DC) or increase resistance and capacitance loop (when extended relay coil links AC) in order to prevent interference with the controller or other equipments.

## 9.3 Withstand Voltage Test

When the controller has been installed in the control panel, if you want to have withstand voltage test, please disconnect all terminals in the controller lest high voltage damages the controller.

## 10 FAULT FINDING

Fault	Remedy
Controller no response with power.	Check starting batteries; Check controller connection wirings; Check DC fuse.
Genset shutdown	Check if the engine temperature is too high; Check the genset AC voltage; Check DC fuse.
Low oil pressure alarm after crank disconnect	Check the oil pressure sensor and its connections.
High water/cylinder temp alarm after crank disconnect	Check the temperature sensor and its connections.
Crank not disconnect	Check fuel circuit and its connections; Check starting battery; Check speed sensor and its connections; Refer to engine manual.
Starter no response	Check starter connections; Check starting battery.

## 11 HGM170RE RELAY EXPANSION MODULE

HGM170RE is modular structure which can be fixed in various guides with compact structure, small size and easy installation.

Expansion circuits output:

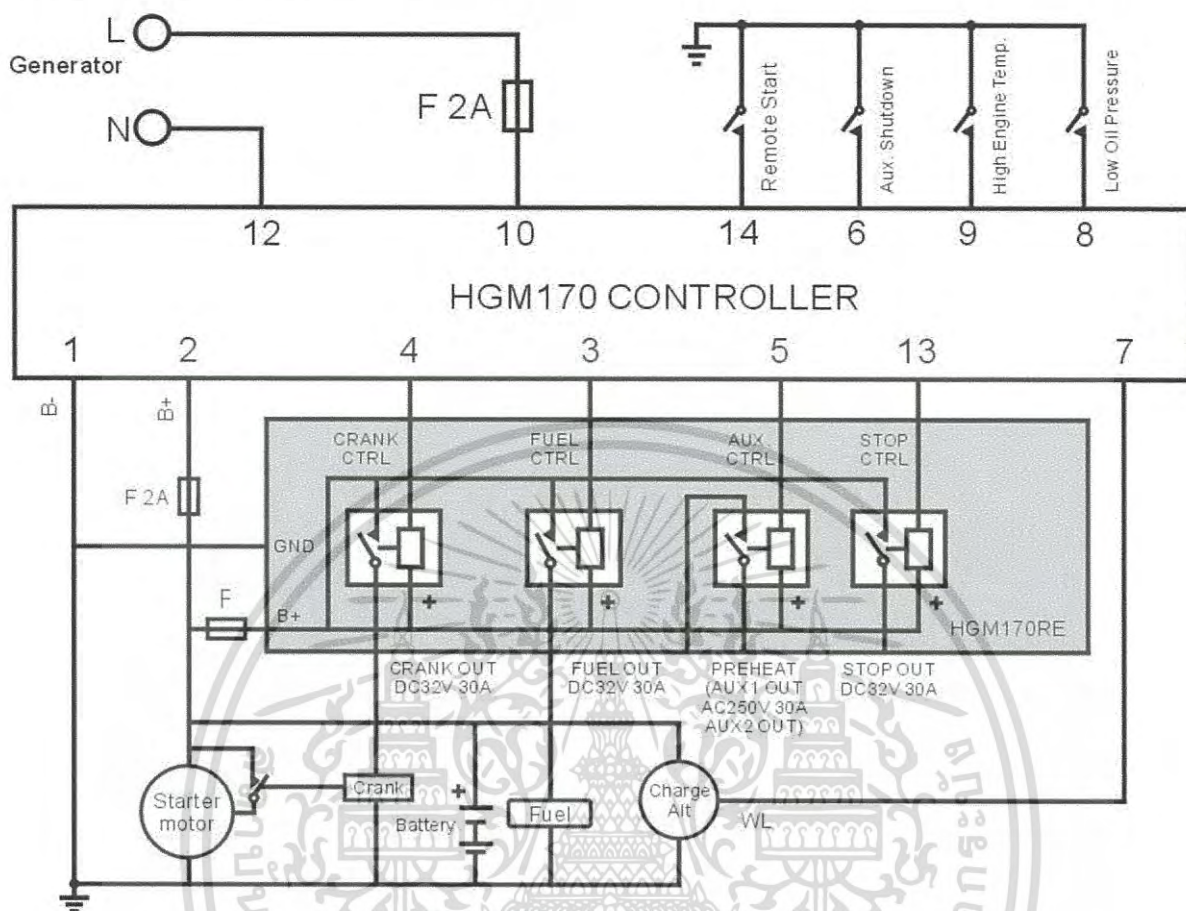


1. Fuel relay 30A, output voltage B+, coil power $\leq$ 0.9W
2. Start relay 30A, output voltage B+, coil power $\leq$ 0.9W
3. Stop relay 30A, output voltage B+, coil power $\leq$ 0.9W
4. Auxiliary relay 30A, passive output, coil power $\leq$ 0.9W

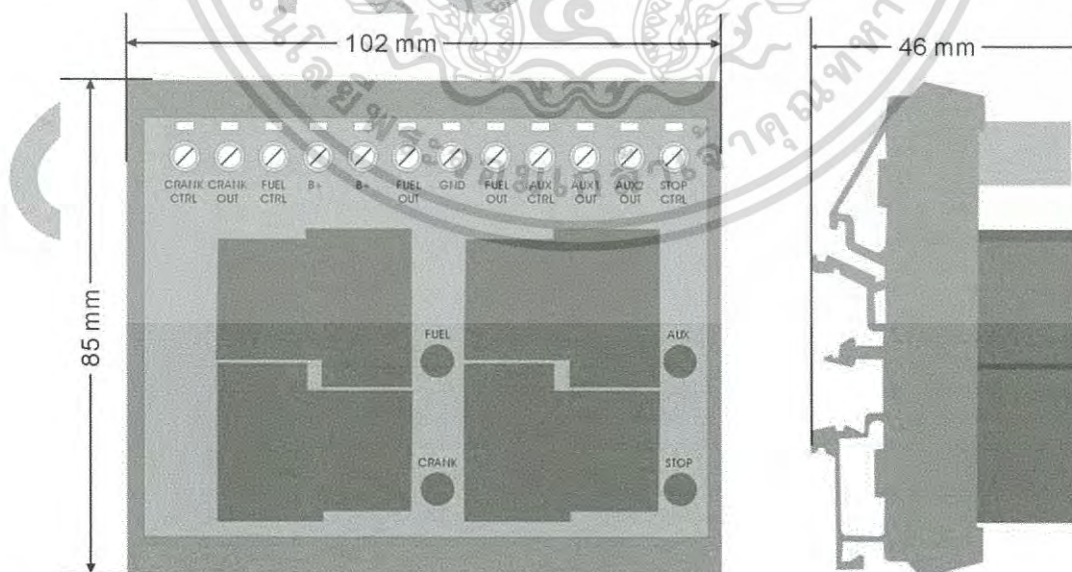
### Terminals Description

No.	Items	Description
1	CRANK CTRL	Start relay control, connect to ground.
2	CRANK OUT	Start relay output, B+ output.
3	FUEL CTRL	Fuel control, connect to ground.
4	B+	battery positive
5	B-	Battery negative
6	FUEL OUT	Fuel relay output, B+ output.
7	GND	Battery negative (GND)
8	STOP OUT	Stop relay output, B+ output.
9	AUX CTRL	Auxiliary relay control, connect to ground.
10	AUX OUT1	Auxiliary relay output, free contact normally opens.
11	AUX OUT2	
12	STOP CTRL	Stop relay control, connect to ground.

## 12 TYPICAL CONNECTIONS



## 13 OVERALL DEMENIONS OF HGM170RE



**Note:** When ordering HGM170RE please specify 12V or 24V.

## ประวัติผู้เขียน



นายภูรินทร์ แก้วผลึก

การศึกษาระดับมัธยมศึกษา: โรงเรียนอัสสัมชัญธนบุรี

การศึกษาระดับปริญญาตรี: ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นางสาววันวิสาข์ ชีวะวุฒิ

การศึกษาระดับมัธยมศึกษา: โรงเรียนสตรีรัตนบุรี

การศึกษาระดับปริญญาตรี: ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายวิศพล ใหม่สืบ

การศึกษาระดับมัธยมศึกษา: โรงเรียนสตรีสมุทรปราการ

การศึกษาระดับปริญญาตรี: ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายวาทีต ผึ้งผาย

การศึกษาระดับมัธยมศึกษา: โรงเรียนเบญจมราชูทิศ ราชบุรี

การศึกษาระดับปริญญาตรี: ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้