

ระบบติดตามและวิเคราะห์ข้อมูลเครื่องจักรในอุตสาหกรรม  
TRACKING AND ANALYSIS SYSTEM FOR MACHINE DATA  
IN INDUSTRIAL



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRACKING AND ANALYSIS SYSTEM FOR MACHINE DATA  
IN INDUSTRIAL



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LAEDKARBANG  
THE ACADEMIC YEAR 2021


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2564  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ ระบบติดตามและวิเคราะห์ข้อมูลเครื่องจักรในอุตสาหกรรม  
TRACKING AND ANALYSIS SYSTEM FOR MACHIANE DATA  
IN INDUSTIAL

นักศึกษาผู้จัดทำ นาย สรอรธ ภูเขียวศักดิ์ รหัสนักศึกษา 61011076  
นาย ภคพล ตั้งบุญธินา รหัสนักศึกษา 61010777  
นาย นนธวัช เปรมปรี รหัสนักศึกษา 61010538

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม  
ปีการศึกษา 2564

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.นรินทร์ ธรรมารักษ์วัฒน์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบติดตามและวิเคราะห์ข้อมูลเครื่องจักรในอุตสาหกรรม TRACKING AND ANALYSIS SYSTEM FOR MACHIANE DATA IN INDUSTIAL		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายสรอรรถ	ภูเขียวศักดิ์	รหัสนักศึกษา 61011076
	นายภคพล	ตั้งบุญธินา	รหัสนักศึกษา 61010777
	นายธนธวัช	เปรมปรี	รหัสนักศึกษา 61010538
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.นรินทร์ ธรรมารักษ์วัฒนะ		
ปีการศึกษา	2564		

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการออกแบบระบบตรวจสอบสถานะและวิเคราะห์ข้อมูลของมอเตอร์ในอุตสาหกรรม โดยได้ทำการศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อการสิ้นของมอเตอร์ ซึ่งมี ค่าความเร่งสามแกนของมอเตอร์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแส เวลาในการใช้งาน และอุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบของอุณหภูมิ โดยทำการเก็บข้อมูลเพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อการสิ้นของมอเตอร์ โดยทำการเก็บข้อมูลแสดงสถานะของมอเตอร์แบบ Real-time เพื่อจะได้รู้สถานะของมอเตอร์ในขณะนั้นและสามารถทำนายผลล่วงหน้าได้ ซึ่งทำการศึกษาการเชื่อมต่ออุปกรณ์ ศึกษาโปรแกรมที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ จากนั้นศึกษารละเอียด และคุณลักษณะต่างๆ การตั้งค่าอุปกรณ์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ ภายในอนาคตทำให้ระบบเครื่องจักรสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา

<b>Thesis Title</b>	TRACKING AND ANALYSIS SYSTEM FOR MACHINE DATA IN INDUSTRIAL	
<b>Authors</b>	Mr. NONTHAVAT	PREAMPREE
	Mr. PHAKAPOL	TUNGBOONTINA
	Mr. SORA-AT	PHUKEWSAK
<b>Thesis Advisor</b>	Asst.Dr. NARIN	TAMMARUGWATTANA
<b>Year</b>	2021	

### ABSTRACT

This thesis is to design a monitoring and data analysis system for industrial motors. By studying the factors affecting the vibration of the motor, which is the three-axis acceleration of the motor. The difference in power, current, time of use, and the surrounding surface temperature of the temperature by collecting data to analyze the factors affecting the vibration of the motor By collecting data showing the status of the motor in Real-time in order to know the status of the motor at that moment and can predict the results in advance which studies the connection of devices Study the program used in the thesis. Then study the mold in detail. and features Device settings can be applied. in various industries In the future, the machine system can work efficiently all the time.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความรู้และความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา และ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำช่วยแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า ตลอดจนให้การดูแลและความช่วยเหลือ จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม (หลักสูตรวิศวกรรมการวัดคุม) คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และให้ความอนุเคราะห์ในด้านต่าง ๆ ขอขอบคุณเพื่อน ๆ และหัวหน้างานที่คอยให้ความช่วยเหลือในหน้าที่การงาน และ คำปรึกษาจนทำให้การทำวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้าเป็นไปอย่างราบรื่นขอกราบขอบพระคุณ บิดา และมารดา ที่เป็นกำลังใจ คอยดูแลห่วงใย และให้การสนับสนุน ข้าพเจ้าทุก ๆ เรื่องมาโดยตลอด และญาติพี่น้องทุกคนที่เป็นกำลังใจจนสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้ สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์นี้จะประโยชน์ให้กับผู้ที่สนใจและผู้ที่อยู่ ในสายงานด้านวิศวกรรม การวัดคุมเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้งาน และพัฒนาในงานอุตสาหกรรม ต่อไป

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และส่งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	VIII
สารบัญรูป .....	IX
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญของปริญญาโท.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาโท.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญาโท.....	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>3</b>
2.1 กล่าวนำ .....	3
2.2 การบำรุงรักษา .....	3
2.2.1 การบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (Breakdown maintenance).....	3
2.2.2 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive maintenance).....	3
2.2.3 การบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition-based maintenance).....	4
2.2.4 การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive maintenance).....	4
2.3 การบำรุงรักษาอย่างชาญฉลาด (Smart Maintenance).....	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

## หน้า

2.3.1 ระบบการตรวจสอบหรือเฟิร์มแวร์ (e system).....	5
2.4 อาดูยโน่ (Arduino).....	7
2.5 Ewon Flexy 205.....	7
2.6 มอดบัส โพรโตคอล (Modbus Protocol).....	8
2.6.1 มอดบัสอาร์ทียู (Modbus RTU).....	8
2.6.2 มอดบัสทีซีพี (Modbus TCP).....	13
2.7 ไมโครวัดความเร่งแบบสามแกน ADXL345.....	15
2.7.1 การวัดความเร่งแบบ 3 แกน.....	16
2.8 DDM18SR Energy Meter.....	17
2.9 โปรแกรม MATLAB.....	18
2.9.1 ชนิดของซอฟต์แวร์คำนวณคณิตศาสตร์ด้วยคอมพิวเตอร์.....	19
2.10 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	20
2.10.1 Fast Fourier Transformation (FFT).....	20
2.10.2 Decision tree.....	21
2.10.3 Neural network.....	22
2.10.4 ค่าความเร่งเชิงมุม 3 แกน.....	24
2.10.5 มาตรฐาน ISO 10816.....	26
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....</b>	<b>27</b>
3.1 กล่าวนำ.....	27
3.2 การติดตั้งอุปกรณ์.....	28
3.2.1 การติดตั้งพาวเวอร์มิเตอร์ DDM18SR.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 การติดตั้งอุปกรณ์ไมโครวัตต์ความเร่งแบบสามแกน ADXL345.....	29
3.3 การเชื่อมต่อระหว่างเซนเซอร์กับโปรโตคอลและการเก็บข้อมูล.....	37
3.3.1 เก็บข้อมูลและแสดงผลผ่านอุปกรณ์ Flexy205.....	37
3.3.2 การเก็บข้อมูลค่าความเร็ว ADXL345 และแสดงผลผ่าน Node-RED.....	45
3.4 การติดตั้ง Matlab และการนำเข้าข้อมูลลง Matlab.....	49
3.4.1 ติดตั้ง Matlab.....	49
3.4.2 การนำเข้าข้อมูลมาใช้ใน Matlab.....	50
3.5 การนำเข้าข้อมูลมาทำเป็น FFT.....	52
3.5.1 การทำในรูป Time domain.....	52
3.5.2 การทำในรูป frequency domain.....	53
3.6 การนำเข้าข้อมูลทำ Regression learner.....	53
<b>บทที่ 4 การนำเสนอผลของข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล.....</b>	<b>57</b>
4.1 กล่าวนำ.....	57
4.2 ผลการแสดงผลข้อมูลผ่านหน้าจอแสดงผล.....	57
4.1.1 โปรแกรม EWON.....	57
4.1.2 Local Dashboard แสดงค่าทางไฟฟ้าบนโปรแกรม Ewon Flexy.....	58
4.1.3 Dashboard แสดงค่าความเร็วของมอเตอร์บนเว็บ Node-RED.....	58
4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	59
4.3.1 กราฟของค่าความเร่งแต่ละแกนของพัลลิมในรูปแบบของเวลา.....	59
4.3.2 กราฟของค่าความเร่งแต่ละแกนของพัลลิมในรูปแบบของความถี่.....	61
4.3.3 กราฟของค่าความเร่งแต่ละแกนของมอเตอร์ในรูปแบบของเวลา.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VI อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.4 Fast Fourier Transform.....	64
4.3.5 Regression Learner.....	65
4.3.6 การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม.....	69
4.3.7 ผลการทำนายการเปลี่ยนระดับการสั่งอ้างอิงจาก ISO 10816.....	72
<b>บทที่ 5 สรุปผล.....</b>	<b>76</b>
5.1 สรุปผล.....	76
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	77
<b>บรรณานุกรม.....</b>	<b>78</b>
<b>ภาคผนวก.....</b>	<b>79</b>

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ลักษณะการเชื่อมต่อระหว่าง ADXL345 กับ บอร์ด Arduino Uno.....	30
3.2 Mapping Register สำหรับใช้งานของอุปกรณ์ Flexy205.....	41
4.1 ข้อมูลทางไฟฟ้าจาก Power Meter DDM18SR.....	57



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 บอร์ด Arduino Uno.....	7
2.2 โมดูล Ewon Flexy 205.....	8
2.3 การสื่อสารแบบอนุกรมด้วย RS – 485 สำหรับ Modbus RTU.....	9
2.4 ชุดข้อมูลสำหรับการสื่อสาร Modbus RTU.....	9
2.5 รายละเอียดชุดข้อมูล Function Code.....	10
2.6 ตำแหน่งแอดเดรสใน Modbus RTU โดยแบ่งตามรูปแบบการทำงาน.....	11
2.7 ชุดคำสั่งสำหรับการอ่าน (Read Command).....	11
2.8 ชุดคำสั่งสำหรับการเขียน (Write Command).....	11
2.9 การรับ-ส่งเฟรมข้อมูล Modbus RTU.....	12
2.10 การรับ-ส่งเฟรมข้อมูล Modbus RTU.....	12
2.11 การสื่อสารแบบอีเทอร์เน็ตสำหรับ Modbus TCP.....	13
2.12 ส่วนประกอบชุดข้อมูลของ Modbus TCP เทียบกับ Modbus RTU.....	14
2.13 รายละเอียดของแต่ละ Field ในหนึ่งเฟรมของ Modbus TCP.....	14
2.14 การรับ-ส่งเฟรมข้อมูล Modbus TCP.....	14
2.15 โมดูลวัดความเร่งแบบสามแกน ADXL345.....	15
2.16 ทิศทางการเอียงในมุมต่าง ๆ เสมือนการหมุนรอบแกน X, Y และ Z.....	16
2.17 ลักษณะการวางโมดูลให้แกน (ก) Z (ข) Y และ (ค) X ตั้งฉากกับผิวโลก ตามลำดับ.....	16
2.18 ตัวอย่างค่าที่อ่านได้เมื่อวางโมดูลในลักษณะไม่ตั้งฉากกับพื้นโลก.....	17
2.19 DDM18SR Power meter.....	17
2.20 โปรแกรม Matlab.....	18
2.21 ตัวอย่างแสดงการใช้ Matlab หาค่าบวกกันของเมตริกซ์ขนาด 3 x 3.....	19
2.22 รูปการณ์ใช้ function Mathematica ใน Matlab.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IX อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.23 ลักษณะกระบวนการของ FFT.....	21
2.24 แสดงลักษณะของ Model decision tree.....	22
2.25 ลักษณะ Model Neural network .....	23
2.26 แกนทั้งหมด 3 แกน.....	24
2.27 ความรุนแรงของการสั่นสะเทือนตามมาตรฐาน ISO 10816 .....	26
3.1 แผนผังการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ .....	27
3.2 ลักษณะของ DDM18SR.....	28
3.3 การเชื่อมต่อการรับส่งข้อมูลระหว่าง พาวเวอร์มิเตอร์และFlexy205 .....	29
3.4 ตัวแปลงสัญญาณจาก RS485 เป็น RS232.....	29
3.5 ตัวแปลงสัญญาณจาก RS485 เป็น RS232.....	29
3.6 ลักษณะการติดตั้งเซนเซอร์กับมอเตอร์ .....	30
3.7 เว็ป Arduino .....	31
3.8 Arduino IDE.....	31
3.9 การ include library.....	32
3.10 เราได้ทำการ Include Library wire กับ ADXL345.....	32
3.11 Include library จากไฟล์.....	32
3.12 Include library จากไฟล์.....	33
3.13 โปรแกรมอ่านค่าโมดูล ADXL345 .....	33
3.14 โปรแกรมที่ Verify แล้ว .....	34
3.15 กด Serial monitor.....	34
3.16 Monitor โห้รค่า จาก ADXL 345 .....	35
3.17 เว็ป Microsoft สำหรับโหลด Data Streamer.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ X ึ่งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.18 function data streamer เมื่อติดตั้งแล้ว.....	36
3.19 เลือก Port เชื่อมต่อ.....	36
3.20 หน้าต่าง Advanced.....	36
3.21 กำหนดพารามิเตอร์ในการเก็บค่า.....	37
3.22 Port การเชื่อมต่อสายอีเทอร์เน็ตของอุปกรณ์ Flexy205.....	38
3.23 โปรแกรม EWon Flexy205.....	38
3.24 หน้าจอแสดงสถานะของโปรแกรม.....	39
3.25 การกำหนดค่าพารามิเตอร์พื้นฐานในโปรแกรม.....	39
3.26 ลักษณะการกำหนดพารามิเตอร์เพื่อให้ทั้งสองอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลกัน.....	40
3.27 การกำหนด Slave Address (unit id).....	40
3.28 กำหนดการนำข้อมูลที่ได้ไปแสดงผลผ่าน Local.....	41
3.29 ลักษณะการใส่ Address ของ Input Register.....	41
3.30 กำหนดการแจ้ง Alarm เมื่อมีค่า Low และ High.....	42
3.31 การกำหนดพารามิเตอร์ในการเก็บข้อมูล.....	42
3.32 การกำหนดพารามิเตอร์แสดงในลักษณะกราฟของข้อมูลแบบเรียลไทม์.....	42
3.33 การตั้งชื่อ Project Name และการใส่ IP Address.....	43
3.34 ใส่รหัสที่กำหนดไว้ เพื่อที่จะเข้าโปรแกรม.....	43
3.35 การ Import Tag ของอุปกรณ์ Flexy205.....	44
3.36 การเลือก KPI Gauge เพื่อที่จะนำ Tag name จากอุปกรณ์ Flexy205.....	44
3.37 การนำ Tag name จากอุปกรณ์ Flexy205 ลงหน้าจอแสดงผล.....	45
3.38 ตัวอย่างลักษณะหน้าจอแสดงผล.....	45
3.39 เรียกใช้งาน Node-RED.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ XI อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.40 หน้าเว็บบราวเซอร์ของ Node-RED .....	46
3.41 ใช้งาน Serial In.....	46
3.42 การกำหนดพารามิเตอร์ของ Serial In .....	47
3.43 เมื่อทำการเชื่อมต่อสำเร็จ จะขึ้นว่า connected.....	47
3.44 การเชื่อมต่อ gauge กับ Serial In .....	47
3.45 การกำหนดพารามิเตอร์ gauge.....	48
3.46 การเชื่อมต่อ chart กับ Serial In.....	48
3.47 การกำหนดพารามิเตอร์ chart .....	49
3.48 ลักษณะการเชื่อมต่อฟังก์ชันต่างๆ กับ Serial In .....	49
3.49 หน้าเว็บ Download Matlab.....	50
3.50 หน้าต่างโปรแกรม Matlab .....	50
3.51 กด Import Data.....	51
3.52 เลือก colum และ row.....	51
3.53 ไฟล์ที่ import อยู่ใน workspace .....	51
3.54 ลากไฟล์ข้อมูล ไป ที่ Current folder.....	52
3.55 ลากไฟล์ข้อมูล ไป ที่ Current folder.....	52
3.56 โปรแกรม ของ time domain .....	53
3.57 โปรแกรม ของ frequency domain .....	53
3.58 หน้าต่าง APPS และฟังก์ชัน .....	54
3.59 หน้าต่าง learner regression.....	54
3.60 การกำหนดพารามิเตอร์ค่าของ Model .....	54
3.61 เลือก Model ที่ต้องการใช้.....	55

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.62 ได้ทำการ train model แล้ว .....	55
3.63 ได้ทำการ train model แล้ว .....	56
4.1 แสดงค่า Voltage Current Power ผ่าน Ewon Flexy205 .....	58
4.2 Local Dashboard ของ Ewon Flexy205.....	58
4.3 Dashboard ของ Node-RED.....	59
4.4 แสดงพฤติกรรมกระแสของพัดลมแกน X ในรูปของตัวแปรเวลา.....	60
4.5 แสดงพฤติกรรมกระแสของพัดลมแกน Y ในรูปของตัวแปรเวลา.....	60
4.6 แสดงพฤติกรรมกระแสของพัดลมแกน Z ในรูปของตัวแปรเวลา .....	60
4.7 แสดงพฤติกรรมกระแสของพัดลมแกน X ในรูปของตัวแปรความถี่.....	61
4.8 แสดงพฤติกรรมกระแสของพัดลมแกน Y ในรูปของตัวแปรความถี่.....	61
4.9 แสดงพฤติกรรมกระแสของพัดลมแกน Z ในรูปของตัวแปรความถี่.....	62
4.10 แสดงพฤติกรรมกระแสของมอเตอร์แกน X ในรูปของตัวแปรเวลา .....	62
4.11 แสดงพฤติกรรมกระแสของมอเตอร์แกน Y ในรูปของตัวแปรเวลา.....	63
4.12 แสดงพฤติกรรมกระแสของมอเตอร์แกน Z ในรูปของตัวแปรเวลา .....	63
4.13 แสดงพฤติกรรมกระแสของมอเตอร์เทียบพัดลมในรูปของตัวแปรเวลา .....	64
4.14 แสดงกราฟของค่าตัวแปรที่นำไปทำการ Fast Fourier Transform.....	64
4.15 แสดงกราฟของค่าแต่ละตัวแปรที่นำไปทำการ Fast Fourier Transform .....	65
4.16 กราฟ Predicted VS Actual Plot ด้วยรูปแบบ Tree .....	66
4.17 ค่า R-Squared รูปแบบ Tree .....	66
4.18 กราฟ Predicted VS Actual Plot ด้วยรูปแบบ Neural Network.....	67
4.19 ค่า R-Squared รูปแบบ Neural Network .....	67
4.20 กราฟ Predicted VS Actual Plot ด้วยรูปแบบ Linear .....	68

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.21 ค่า R-Squared รูปแบบ Linear.....	68
4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้าและความเร็วการสั่นของมอเตอร์.....	69
4.23 ค่า R-squared ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความเร็วการสั่นของมอเตอร์.....	70
4.24 กราฟแสดงระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและความเร็วการสั่นของมอเตอร์.....	70
4.25 ค่า R-squared ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและความเร็วการสั่นของมอเตอร์.....	71
4.26 กราฟแสดงระหว่างจำนวนเวลาการทำงานและความเร็วการสั่นของมอเตอร์.....	71
4.27 ค่า R-squared ระหว่างจำนวนเวลาการทำงานและความเร็วการสั่นของมอเตอร์.....	72
4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนชั่วโมงการทำงานและความเร็วการสั่นของมอเตอร์.....	73
4.29 ISO 10816.....	74
4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนชั่วโมงการทำงานและความเร็วการสั่นของมอเตอร์.....	74
4.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนชั่วโมงการทำงานและความเร็วการสั่นของมอเตอร์.....	75

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

โครงการนี้เป็นการศึกษาระบบติดตามและเฝ้าระวังเครื่องจักร ในปัจจุบันนี้ ทุกโรงงานมีการบำรุงรักษา เครื่องจักรตลอดทุกๆ 6 เดือนหรือ 1 ปี ซึ่งอาจไม่เพียงพอหรือเหมาะสมต่อระบบการผลิต ในปัจจุบันต้องมีการทำงานตลอด 24 ชั่วโมงและบางครั้งเครื่องจักรอาจชำรุดเสียหาย ก่อนถึงกำหนดการบำรุงรักษาหรือไม่อยู่ในสถานการณ์ที่พร้อมใช้งาน ดังนั้นการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ประจำปีจึงอาจไม่เพียงพอ ระบบติดตามสถานะของเครื่องจักร เป็นผลให้โรงงานอุตสาหกรรมเริ่มนำเทคโนโลยีสารสนเทศ เข้ามาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตโดยการพัฒนา เก็บของข้อมูลของปัจจัยที่มีผลต่อเครื่องจักรเพื่อที่จะนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อการสิ้นและทำนายหาช่วงเวลาเครื่องจักรเริ่มจะเสียหายตลอดจนแสดงค่าสถานะของเครื่องจักรผ่านหน้าจอแสดงผลแบบ Real-Time

### 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

เพื่อตรวจสอบและติดตามการทำงาน จากเซนเซอร์ ADXL345 ที่ใช้วัดค่าความเร่งสามแกนของมอเตอร์ นำไปแสดงผลที่หน้าจอ Dashboard และสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ได้ต่อในทางสถิติ ซึ่งระบบที่เราได้ทำมาสามารถช่วยลดต้นทุน ประหยัดเวลาในการบำรุงรักษา

### 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

วิทยานิพนธ์เล่มนี้เป็นการทำงานระหว่างฮาร์ดแวร์ คือ flexy sensoadxl 345 powermeter และซอฟต์แวร์ คือ Arduino ide และ excel matlab เพื่อทำระบบติดตามการทำงานของเครื่องจักรผ่านเซนเซอร์ และดึงข้อมูลมาใส่ บน cloud server นำค่าไปวิเคราะห์ผ่านโมเดลทางสถิติหรือโปรแกรม Matlab

### 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาการทำงานของเซนเซอร์ ADXL345 และ ศึกษาการเขียนโปรแกรมบน Arduino
2. ศึกษา อุปกรณ์ Flexy205 ที่เอาไว้เก็บข้อมูล และเชื่อมต่อกับตัว powermeter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ศึกษาตัว model ทางสถิติเพื่อนำค่าที่ได้ มาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องจักร
4. ประกอบทุกอุปกรณ์ hardware เข้าด้วยกัน เป็น station
5. ดูผลของค่าที่ได้จากอุปกรณ์
6. นำค่าที่ได้ ไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องจักรโดยใช้โปรแกรม Matlab
7. นำผลทั้งหมดที่ได้มาทำการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้เกี่ยวกับวิชา Data communication ในการ Configuration ของอุปกรณ์ และการใช้ประโยชน์ ของเซนเซอร์ที่นำมาใช้งานในอุตสาหกรรม
2. ได้รับความรู้ในด้านสถิติ ที่นำ model มาใช้ในการวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นและความ เป็นไปได้ของอุปกรณ์
3. ได้รับความรู้และข้อจำกัดบางประการของอุปกรณ์และสามารถนำผลที่ ได้ไปต่อยอดในอนาคต

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 กล่าวนำ

โดยบทนี้จะกล่าวซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์และหลักการทฤษฎีต่างๆ ที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์ รวมไปถึงการนำแผนซ่อมบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ที่สามารถรู้ถึงการซ่อมบำรุงล่วงหน้าได้ และนำปัจจัยต่างๆ ที่ผู้จัดทำได้ศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อการสิ้นของเครื่องจักร และนำผลตรวจสอบสถานะของเครื่องจักรมาแสดงผลในรูปแบบ internet of Things (IoT)

### 2.2 การบำรุงรักษา

#### 2.2.1 การบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (Breakdown maintenance)

การบำรุงรักษาเครื่องจักร รวมถึงระบบของอุปกรณ์สนับสนุนการทำงานของเครื่องจักรต่าง ๆ เช่น เครื่องจักรที่ใช้ในสายการผลิตภายในโรงงานอุตสาหกรรม อุปกรณ์ระบบทำความร้อนหรือความเย็น อุปกรณ์ผลิตลมอัดแรงดันสูง ระบบเครื่องจักรกลที่ประกอบอยู่ในระบบบริการต่าง ๆ ของอาคาร เป็นต้น การบำรุงรักษาเครื่องจักร เป็นส่วนหนึ่งของการบริหารจัดการเครื่องจักร มีวัตถุประสงค์คือการสร้างความพร้อมในการใช้งานของอุปกรณ์หรือเครื่องจักร เพื่อทำให้เกิดผลผลิตและการคงประสิทธิภาพของเครื่องจักร ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญของกระบวนการผลิต (คน เครื่องจักร วัตถุดิบ และวิธีการ) เพื่อให้การผลิตได้ผลตามความต้องการ จำแนกเป็น

- 1) การบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (Breakdown maintenance)
- 2) การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive maintenance)
- 3) การบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition-based maintenance)
- 4) การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive maintenance)

#### 2.2.2 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive maintenance)

คือ การบำรุงรักษาตามคำแนะนำหรือคู่มือของผู้ผลิตเครื่องจักรเป็นหลัก โดยจะต้องมีการวางแผนและกำหนดระยะเวลาการหยุดเครื่องจักรในการเปลี่ยนชิ้นส่วนเพื่อป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นจากชิ้นส่วนนั้น ๆ ซึ่งระยะเวลาเหล่านี้มักจะเป็นค่าประมาณการโดยอ้างอิงจากค่าทางสถิติของอายุใช้งานเฉลี่ยของชิ้นส่วนเครื่องจักร (mean time between failure : MTBF) ที่มาจากผู้ผลิตชิ้นส่วน แต่ในบางกรณี ผู้ใช้งานหรือผู้ทำ

การซ่อมบำรุงอาจจำเป็นต้องกำหนดขึ้นเองตามความเหมาะสมกับสภาพการทำงานที่แท้จริง เพราะอาจไม่สามารถระบุ หรือไม่มีข้อมูลจากผู้ผลิต หรือมีการใช้งานในสภาวะที่แตกต่างไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากคู่มือเครื่องจักร แต่วิธีการบำรุงรักษาเชิงป้องกันนี้ก็ยังไม่สามารถรับรองได้ว่าเครื่องจักรจะไม่มี การชำรุดเสียหายภายหลังการบำรุงรักษา นอกจากนี้ ผู้ใช้งานเครื่องจักรยังต้องมีการจัดหาอะไหล่ใหม่มา ทำการเปลี่ยนตามเวลาโดยเป็นไปได้ว่า ชิ้นส่วนเครื่องจักรเดิมที่ถูกถอดเปลี่ยนยังคงสามารถใช้งานได้ อยู่

### 2.2.3 การบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition-based maintenance)

การบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ ซึ่งเป็นการเฝ้าตรวจสอบอาการต่าง ๆ ที่ปรากฏของ เครื่องจักร เช่น ความร้อน การสั่นสะเทือน เสียง กลิ่น เป็นต้น โดยระบบที่ใช้ในการตรวจสอบเฝ้า ระวังนี้อาจเป็นไปได้ตั้งแต่ระดับง่ายที่สุดคือการใช้ประสาทสัมผัสของคน ไปจนถึง การใช้อุปกรณ์หรือ เครื่องมือพิเศษต่าง ๆ โดยจะต้องคำนึงถึงปัจจัยด้านความถี่ในการตรวจสอบเฝ้าระวัง ทักษะและ ประสบการณ์ในการพิจารณาข้อมูลของผู้ทำการบำรุงรักษา และความสามารถในการตอบสนองของ ระบบการเฝ้าระวัง ซึ่งหมายถึงต้นทุนของการบำรุงรักษาที่จะต้องเพิ่มสูงขึ้นตามความสามารถของ ระบบการเฝ้าระวัง การบำรุงรักษาตามสภาพที่มีประสิทธิภาพ จะสามารถช่วยลดต้นทุนการสำรอง ชิ้นส่วนอะไหล่ที่เกินความจำเป็น ช่วยยืดระยะเวลาการใช้งานเครื่องจักรออกไปได้ ช่วยให้ผู้ใช้งาน เครื่องจักรสามารถรับรู้สภาพการทำงานของเครื่องจักร สามารถคาดการณ์และมีเวลาเตรียมพร้อมใน การหยุดเครื่องจักรโดยมีผลกระทบต่อประสิทธิผลในการผลิตน้อยลงกว่าการหยุดการผลิตแบบ กะทันหัน (Unplanned breakdown)

### 2.2.4 การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive maintenance)

มักจะเป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องมาจากการบำรุงรักษาตามสภาพหรือเชิงคาดการณ์ ซึ่ง ข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากระบบการตรวจวัดและเฝ้าระวัง จะถูกเก็บสะสมและนำมาวิเคราะห์อย่าง ต่อเนื่องถึงความเป็นไปได้ที่จะเกิดอาการเสียหายของเครื่องจักรในอนาคต ชนิดและรูปแบบของข้อมูล อาจเปลี่ยนไปตามประเภท และการใช้งานเครื่องจักร ข้อดีของการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ คือ ความสามารถในการวางแผนการหยุดเครื่องจักรเพื่อซ่อมบำรุงได้ก่อนที่เครื่องจักรนั้นจะแสดงอาการ เสียหายออกมา ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการคงคุณลักษณะของชิ้นงานที่ถูกผลิตออกมาจากเครื่องจักรนั้น เป็นการลดความเสี่ยงของการถูกคัดออกของชิ้นงานที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ช่วยลดต้นทุนของเสีย ของสายการผลิต ความสำเร็จของ การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์เกิดจากการเก็บข้อมูลจากเครื่องจักร อย่างถูกต้องและเพียงพอ ต้องมีการนำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยผู้เชี่ยวชาญ หรือโดยระบบเครื่องมือ พิเศษ

## 2.3 การบำรุงรักษาอย่างชาญฉลาด (Smart Maintenance)

เมื่อเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมการผลิต มุ่งหน้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 การ บำรุงรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตในยุคนี้จึงต้องมีการปรับตัวตาม เพื่อให้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สอดคล้องกับระบบการผลิต ซึ่งเป็นที่มาของคำว่า Smart Maintenance ในระบบการบำรุงรักษาแบบดั้งเดิม ที่ข้อมูลจากสภาพการทำงานของเครื่องจักร ถูกนำมาใช้ในการวางแผนการซ่อม การบำรุงรักษา การผลิต และระยะเวลาในการเข้าตรวจสอบ หรือที่รู้จักกันในชื่อ Predictive Maintenance (PdM) หรือ Condition Based Maintenance (CbM) ข้อมูลที่ได้มาจากการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า การสั่นสะเทือน ความร้อน เสียง ความดัน (Pressure) อัตราการไหล (Flow rate) อัตราการรั่วไหล (Leakage) และความชื้น เป็นต้น จะถูกตรวจสอบในแบบต่อเนื่อง (Online or Continuous Monitoring) โดยระบบหรือเครื่องมือตรวจสอบที่ติดตั้งถาวรที่มีราคาแพง และแบบตามช่วงเวลาที่กำหนด (Periodic or Routine Monitoring) โดยอาศัยคนในการเข้าไปตรวจสอบโดยใช้เครื่องมือแบบพกพา หรืออ่านค่าและจดบันทึกจากมิเตอร์ หรือเกจวัด เพื่อนำมาวิเคราะห์ ประสิทธิภาพ (Efficiency) สมรรถนะ (Performance) และการเสื่อมสภาพ (Condition) ของเครื่องจักร เพื่อการวางแผนบริหารจัดการในการผลิตและบำรุงรักษา

### 2.3.1 ระบบการตรวจสอบหรือเฝ้าระวัง (Condition Monitoring or Surveillance system)

ที่กล่าวมาที่เป็นระบบปิด รวมถึงการเข้ากันได้ของฐานข้อมูลจากผู้ผลิตเครื่องมือตรวจสอบแต่ละราย ความแตกต่างของข้อกำหนดในการสื่อสาร (Protocol) รูปแบบข้อมูล ทำให้การบูรณาการ (Integration) ในการนำข้อมูลเหล่านี้มาวิเคราะห์และวางแผนงานร่วมกันในปัจจุบัน มีความยุ่งยากและขาดความคล่องตัว การมาของระบบอุตสาหกรรม 4.0 ซึ่งเป็นระบบเปิด ที่อาศัยอุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) ตัวควบคุม (Controller) อุปกรณ์ IoT ระบบคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (Server) และ Cloud computing ช่วยให้การบูรณาการข้อมูลหรือสัญญาณต่าง ๆ จากการตรวจสอบจากระบบควบคุม เป็นไปได้อย่างง่ายดายโดยข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) และอุปกรณ์ IoT ราคาถูก สามารถส่งต่อไปยังระบบสื่อสารได้ทุกที่ ทุกเวลา ทำให้สามารถติดตามวิเคราะห์ข้อมูล แจ้งเตือน วางแผน เข้าถึงรายงาน และการสั่งการได้สะดวกและรวดเร็วผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต และคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก จากที่ได้ก็ได้รับระบบ Smart Maintenance จึงประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ คือ อุปกรณ์ (Sensor อุปกรณ์ IoT และ Infrastructure ต่าง ๆ เช่น ระบบ โครงข่ายสื่อสาร และคอมพิวเตอร์แม่ข่าย) แอปพลิเคชัน แพลตฟอร์ม หรือซอฟต์แวร์ในการรวบรวม จำแนกวิเคราะห์ และรายงาน คนที่ทำหน้าที่วิเคราะห์ สรุปและวางแผนนอกจากนี้ ผู้ที่วางระบบ และผู้ปฏิบัติงานในระบบ Smart Maintenance จะต้องเกี่ยวข้อง ศึกษาและทำความเข้าใจในเรื่องต่าง ๆ ดังต่อไปนี้แนวคิด หลักปฏิบัติ รวมถึงกิจกรรมด้าน Condition Monitoring ของการบำรุงรักษาตามสภาพ (Predictive or Condition Based Maintenance) การทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ Smart Maintenance ได้แก่ การทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) อุปกรณ์ IoT ระบบการส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ หรือจากอุปกรณ์ไปยังคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (Server) การทำงานของซอฟต์แวร์ในระบบ Smart Maintenance ที่ใช้สำหรับ คำนวณ วิเคราะห์ จัดการ แสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุม แรงดันไฟฟ้า การสั่นสะเทือน และความร้อน เป็นต้น

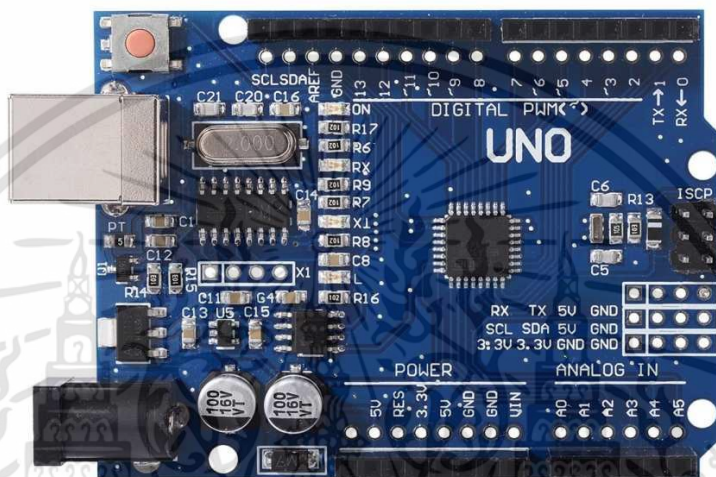
ในปัจจุบันที่มีความก้าวหน้าทางด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence) ซึ่งมีส่วนช่วยในการจำแนกแยกแยะปัญหาการขัดข้อง (Failure) ในเครื่องจักรได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น แต่ด้วยความซับซ้อนในการทำงานของเครื่องจักร ลักษณะการเสียหาย (Failure Mode) และการขัดข้อง คุณสมบัติทางกลศาสตร์ (Dynamic properties) ของระบบ ตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต และลักษณะการทำงาน ทำให้ยังไม่มีระบบตรวจสอบอัตโนมัติที่สามารถตัดสินใจบอกสภาพของเครื่องจักรได้อย่างแม่นยำและน่าเชื่อถือ ทำให้ผู้ที่ทำหน้าที่วิเคราะห์และแปรผลข้อมูลนี้ จะต้องมีความรู้และความเข้าใจหลักการทำงาน ส่วนประกอบของเครื่องจักร สามารถเชื่อมโยงสมรรถนะ ประสิทธิภาพ และการเสื่อมสภาพจากการทำงานของเครื่องจักรกับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวัดมา นำมาบูรณาการเพื่อวินิจฉัย ประเมินความรุนแรง หรือการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรได้อย่างแม่นยำและถูกต้องมากขึ้น ดังนั้นระบบการบำรุงรักษา Smart Maintenance จึงเป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบสภาพ สมรรถนะของเครื่องจักร โดยอาศัยเทคโนโลยีของอุปกรณ์ IoT การสื่อสารสัญญาณและการวิเคราะห์ เพื่อนำมาวางแผนในการผลิตและบำรุงรักษา ซึ่งเป็นส่วนที่ช่วยปรับปรุงระบบงาน Predictive Maintenance หรือ Condition Based Maintenance ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยอาศัยอุปกรณ์ IoT ซอฟต์แวร์และระบบการสื่อสารเข้ามาช่วย ด้วยค่าใช้จ่ายในกระบวนการตรวจสอบที่มีค่าใช้จ่ายถูกลง และการมาของยุค Industrial 4.0 ทำให้หลายฝ่ายเห็นข้อดีและโอกาสในการนำเทคโนโลยีมาใช้ในกระบวนการบำรุงรักษาได้ง่ายขึ้น และมีประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่ด้วยเครื่องจักรที่นำระบบอัตโนมัติมาใช้กันมากขึ้น มีความสามารถมากขึ้น มีความซับซ้อน มีความเร็วในการผลิตที่สูงขึ้น รูปแบบการขัดข้องและเสื่อมสภาพจึงมีความซับซ้อนมากขึ้นตาม ทำให้ทักษะ ฝีมือในการแก้ไขหรือซ่อมบำรุง ประสบการณ์และความรู้ในการวิเคราะห์ปัญหา ยังเป็นสิ่งที่มีความสำคัญสูงสุดในงานบำรุงรักษาอยู่ต่อไป แต่อย่างไรก็ตาม บุคลากรในสถานประกอบการไม่ว่าระดับใด ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งาน การบำรุงรักษาเครื่องจักรในยุค Industry 4.0 นี้ ซึ่งเป็นแนวโน้มที่เกิดขึ้นทั่วโลก จำเป็นต้องเตรียมตัว หาความรู้ในเทคโนโลยีสมัยใหม่ด้านอื่น ๆ เพิ่มขึ้นอยู่เสมอ เพื่อให้สามารถรับมือกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในยุค Industry 4.0 นี้

ดังนั้น Smart maintenance จึงหมายถึงส่วนขยายจากการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ ซึ่งทำให้ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานเครื่องจักรสามารถรับทราบความเป็นไปของเครื่องจักร ด้วยระบบการบริหารจัดการข้อมูล และมีส่วนร่วมในการบำรุงรักษา เน้นที่การใช้งานเครื่องจักรโดยคงประสิทธิภาพไว้ตลอดเวลา มีการแจ้งเตือนสถานะการผิดปกติของเครื่องจักรอย่างทันท่วงที ซึ่งจะสอดคล้องกับแนวทางการบำรุงรักษาที่ผลแบบทุกคนมีส่วนร่วม (Total productive maintenance : TPM) และข้อมูลต่างๆ ที่เก็บบันทึกไว้จะต้องถูกนำมาประมวลอย่างต่อเนื่องเพื่อการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ถึงความเสียหายต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต (Predictive maintenance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 อาศัยโน้ (Arduino)

Arduino คือ โครงการที่นำชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลต่างๆ มาใช้ร่วมกันในภาษา C ซึ่งภาษา C นี้เป็นลักษณะเฉพาะ คือมีการเขียนไวยากรณ์ของ Arduino ขึ้นมาเพื่อให้การสั่งงานไมโครคอนโทรลเลอร์ที่แตกต่างกัน สามารถใช้งานโค้ดตัวเดียวกันได้ โดยตัวโครงการได้ออกบอร์ดทดลองมาหลายรูปแบบ เพื่อใช้งานกับ IDE ของตนเอง สาเหตุหลักที่ทำให้ Arduino เป็นนิยมมาก เป็นเพราะซอฟต์แวร์ที่ใช้งานร่วมกันสามารถโหลดได้ฟรี



รูปที่ 2.1 บอร์ด Arduino Uno

## 2.5 Ewon Flexy 205

เป็น IIoT เกตเวย์แบบแยกส่วนขนาดกะทัดรัดสำหรับรวบรวมข้อมูลระยะไกลและให้การเข้าถึงระยะไกลสู่อุตสาหกรรมของอุปกรณ์ของที่ใช้งาน เป็นเราเตอร์ M2M อุตสาหกรรมแบบโมดูลาร์ที่ออกแบบมาเพื่อตอบสนอง ด้วยสวิตช์ WAN/LAN ที่กำหนดค่าได้ เกตเวย์นี้มีการ์ดส่วนขยายที่หลากหลายเพื่อให้เหมาะกับแอปพลิเคชันของผู้ใช้งานมากที่สุดและสมบูรณ์แบบ สำหรับการใช้งานที่เน้นข้อมูล ความต้องการของผู้ใช้งานคือ: สร้างการเตือน ตรวจสอบแดชบอร์ด รวบรวมข้อมูลของอุปกรณ์ต่างๆ การวิเคราะห์ประสิทธิภาพ หรือแม้แต่โซลูชันขั้นสูงอื่นๆ Flexy 205 จะตอบสนองความต้องการและขยายความเป็นไปได้ของผู้ใช้งานได้



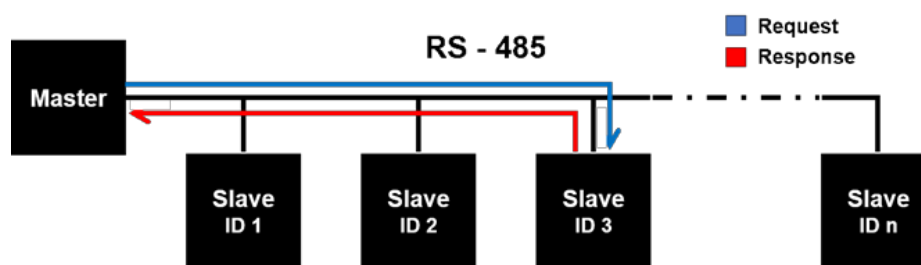
รูปที่ 2.2 โมดูล Ewon Flexy 205

## 2.6 มอดบัส โพรโทคอล (Modbus Protocol)

การสื่อสารตามมาตรฐาน Modbus เป็นหนึ่งในมาตรฐานการสื่อสารแบบอนุกรม (Serial Communications protocol) ที่ใช้งานอย่างแพร่หลายในระบบอัตโนมัติอุตสาหกรรม (Industrial Automation Systems: IAS) เพื่อสร้างการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ เช่น อุปกรณ์ควบคุมพีแอลซี (Programmable Logic Controllers: PLC) อุปกรณ์ตรวจวัด (Sensor) อุปกรณ์เครื่องกล อุปกรณ์ขับเคลื่อน (Actuator) หน่วยตรวจวัดระยะไกล (Remote Terminal Unit: RTU) รวมถึงระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมและแสดงสถานะของอุปกรณ์ต่างๆ (Supervisory Control and Data acquisition: SCADA) Modbus ถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1979 โดยบริษัท Modicon (ปัจจุบันคือ Schneider Electric) เป็นโพรโทคอลที่ถูกใช้กันอย่างกว้างขวางในงานอุตสาหกรรมเนื่องจากความง่ายในการใช้งานและมีความน่าเชื่อถือในปัจจุบันนี้การสื่อสารสามารถแบ่งได้เป็น 2 ระบบคือ Modbus RTU และ Modbus TCP โดยความแตกต่างอยู่ที่โพรโทคอลการสื่อสารที่ใช้ ในระบบ Modbus RTU จะใช้โพรโทคอลการสื่อสารแบบอนุกรม (Serial-based Protocol) ในขณะที่ระบบ Modbus TCP จะใช้โพรโทคอลการสื่อสารแบบอีเทอร์เน็ต (Ethernet-based Protocol) ซึ่งทั้งสองแบบจะแตกต่างกันตรงที่ความเร็วและระยะทางในการรับส่งข้อมูล โดย Modbus RTU สามารถรับส่งได้ระยะทางสูงสุดถึง 1.2 กิโลเมตร (ที่ความเร็ว 57.6 kbps) ในขณะที่ Modbus TCP สามารถรับส่งได้ที่ความเร็ว สูงสุดถึง 100 Mbps (ที่ระยะทาง 100 เมตร)

### 2.6.1 มอดบัสอาร์ทียู (Modbus RTU)

Modbus RTU คือ โพรโทคอลที่ใช้การสื่อสารแบบอนุกรม (Serial-based Protocol) ด้วยสถาปัตยกรรมการสื่อสารแบบ Master/Slave หรืออาจกล่าวได้ว่าอุปกรณ์ Slave จะไม่ส่งข้อมูล (Response) กลับมาจนกว่าจะมีการร้องขอ (Request) จากอุปกรณ์ Master ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การสื่อสารแบบอนุกรมด้วย RS - 485 สำหรับ Modbus RTU

Modbus RTU โดยทั่วไปจะใช้การสื่อสารในระดับกายภาพ (Physical Layer) แบบ RS-232 หรือ RS-485 ข้อมูลในโพรโทคอล Modbus จะถูกเก็บ 4 รูปแบบ คือ Output coils Input contacts Input registers Holding registers โดย Output coils และ Input contacts แต่ละแอดเดรสจะเก็บค่าเพียง 1 บิต หรือมีค่าได้แค่ “0” กับ “1” เปรียบเสมือนค่าการเปิดและปิดของอุปกรณ์รีเลย์และสวิตช์ที่พบได้ในระบบงานอัตโนมัติอุตสาหกรรม ในขณะที่ Input registers และ Holding registers สามารถเก็บค่าเป็นตัวเลขได้ถึง 16 บิต เปรียบเสมือนค่าที่มาจากอุปกรณ์ตรวจวัดที่ส่งข้อมูลแบบอนาล็อก (Analog) การสื่อสารของข้อมูลในระบบ Modbus RTU จะรับส่งเป็นชุดข้อมูล โดยที่ใน 1 ชุดข้อมูลนั้นจะประกอบด้วยส่วน 6 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 2.4

Field Name	Bit length	Function
Start	28	At least 3.5 character times of silence (mark condition)
Address	8	Station address
Function	8	Indicates function code eg. read coils/holding registers
Data	n x 8	Data + length will be filled depending on message type
CRC	16	Cyclic Redundancy Check
End	28	At least 3.5 character times of silence between frames

รูปที่ 2.4 ชุดข้อมูลสำหรับการสื่อสาร Modbus RTU

เริ่มต้นด้วยชุดบิตเริ่มต้น (Start bits) อ้างอิงถึงการเริ่มต้นชุดข้อมูล  
 ค่าตำแหน่งแอดเดรส (Address) ของอุปกรณ์ที่ต้องการสื่อสารด้วย  
 ชุดสำหรับ Function Code  
 ข้อมูลที่ต้องการ (Data)  
 ชุดข้อมูลตรวจสอบความผิดพลาด (Cyclic Redundancy Check: CRC)  
 ชุดบิตปิดท้าย (End bits) อ้างอิงถึงการสิ้นสุดข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.1.1 ฟังก์ชันการทำงานสำหรับ Modbus RTU (Function code)

ชุดฟังก์ชันการทำงานสามารถแบ่งหน้าที่ต่างๆ ได้ตามรหัส หรือ Function code รายละเอียดแสดงดังรูปที่ 3 โดยหลักๆ แล้วจะมีฟังก์ชันการทำงานอยู่ 2 แบบ คือ การอ่าน (Read) และเขียน (Write) โดยสามารถเลือกที่จะอ่านหรือเขียนข้อมูลไปยัง Coils หรือ Contacts สำหรับข้อมูลแบบดิจิทัล (Digital) หรือ “0” กับ “1” และ Registers สำหรับอ่านหรือเขียนข้อมูลแบบอนาล็อก โดยมีขนาด 16 บิต หรือ ตั้งแต่ 0000 ถึง FFFF

Function Code (DEC)	Action	Data Type	Object Type
01	Read	Single bit	Output Coils
05	Write Single	Single bit	Output Coils
15	Write Multiple	Single bit	Output Coils
02	Read	Single bit	Input Contacts
04	Read	Word (16bit)	Input Registers
03	Read	Word (16bit)	Holding Registers
06	Write Single	Word (16bit)	Holding Registers
16	Write Multiple	Word (16bit)	Holding Registers

รูปที่ 2.5 รายละเอียดชุดข้อมูล Function Code

### 2.6.1.2 ตำแหน่งแอดเดรสของ Modbus RTU (Address)

ตำแหน่งแอดเดรสใน Modbus RTU จะมีขนาด 16 บิต หรือ 65535 ตำแหน่ง ในแต่ละรูปแบบการทำงาน ดังรูปที่ 2.6

- 1) Output coils: ตำแหน่งแอดเดรสจะเริ่มต้นที่ 000001
- 2) Input contacts: ตำแหน่งแอดเดรสจะเริ่มต้นที่ 100001
- 3) Input registers: ตำแหน่งแอดเดรสจะเริ่มต้นที่ 300001
- 4) Holding registers: ตำแหน่งแอดเดรสจะเริ่มต้นที่ 400001

หมายเหตุ สำหรับอุปกรณ์รุ่นเก่าอาจจะมีได้เพียง 9999 ตำแหน่งในแต่ละช่วง

Register Number (DEC)	Register Address (HEX)	Extended Register Number (DEC)	Extended Register Address (HEX)	Type	Object Type
00001-09999	0000 to 270E	000001-065535	0000 to FFFF	Read-Write	Output Coils
10001-19999	0000 to 270E	100001-165535	0000 to FFFF	Read-Only	Input Contacts
30001-39999	0000 to 270E	300001-365535	0000 to FFFF	Read-Only	Input Registers
40001-49999	0000 to 270E	400001-465535	0000 to FFFF	Read-Write	Holding Registers

รูปที่ 2.6 ตำแหน่งแอดเดรสใน Modbus RTU โดยแบ่งตามรูปแบบการทำงาน

### 2.6.1.3 ชุดข้อมูล (Data)

ในส่วนชุดข้อมูล Data Field นั้นจะถูกแบ่งเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุดคำสั่งสำหรับการอ่าน (Read Command) ตามรูปที่ 2.9 ชุดคำสั่งสำหรับการเขียน (Write Command) ตามรูปที่ 6 โดยชุดคำสั่งทั้ง 2 จะถูกส่งจากอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็น Master เท่านั้น เพื่อส่งไปยังอุปกรณ์ Slave ที่ต้องการสื่อสาร

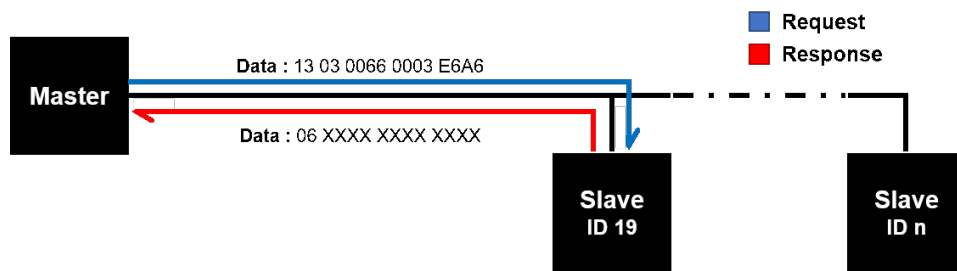
Read Command	
Request Message	start register address (2 bytes) + no. of registers (2 bytes)
Response Message	byte count (1 byte) + data (no. of registers * 2 bytes)

รูปที่ 2.7 ชุดคำสั่งสำหรับการอ่าน (Read Command)

Write Command	
Request Message	start register address (2 bytes) + no. of registers (2 bytes) + byte count (1 byte) + data (no. of registers * 2 bytes)
Response Message	start register address (2 bytes) + no. of registers (2 bytes)

รูปที่ 2.8 ชุดคำสั่งสำหรับการเขียน (Write Command)

ตัวอย่าง การอ่านค่าของ Holding register ที่แอดเดรส 40103 ถึง 40105 จากอุปกรณ์ Slave หมายเลข 19



รูปที่ 2.9 การรับ-ส่งเฟรมข้อมูล Modbus RTU

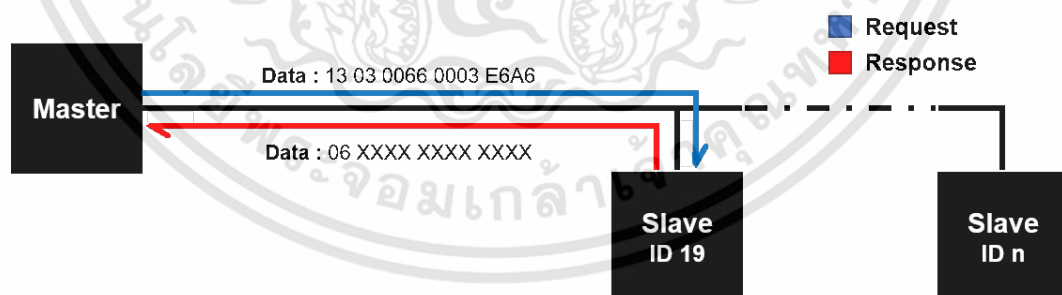
ดังนั้น Frame Message (ไม่รวม Start และ End bits) ที่ถูกส่งไป คือ 13 03 0066 0003 E6A6 โดย ชุดข้อความสำหรับการอ่านค่าจาก Holding register (Request) 13 คือ Station address (19 DEC = 13 HEX) 03 คือ Function code (การอ่านค่าที่ Holding registers) 0066 คือ Address ของ register ตัวแรก (40103 - 40001 = 102 DEC = 66 HEX) 0003 คือ จำนวน Registers ที่ต้องการอ่าน (ทั้งหมด 3 ตัว คือ 40103 ถึง 40105) E6A6 คือ ค่า CRC (Cyclic Redundancy Check) สำหรับเช็คความผิดพลาดของชุดข้อมูล ชุดข้อความที่ตอบกลับมา (Response)

ส่วน Frame message (ไม่รวม Start และ End bits) ที่ตอบกลับมา คือ 06 XXXX XXXX XXXX

06 คือ จำนวน byte ของข้อมูลที่ตอบกลับมา

XXXX XXXX XXXX คือ ข้อมูลของทั้ง 3 ตำแหน่ง ที่ตอบกลับมา (ตำแหน่งละ 2 bytes)

ตัวอย่าง การอ่านค่าของ Holding register ที่แอดเดรส 40103 ถึง 40105 จากอุปกรณ์ Slave หมายเลข 19



รูปที่ 2.10 การรับ-ส่งเฟรมข้อมูล Modbus RTU

ดังนั้น Frame Message (ไม่รวม Start และ End bits) ที่ถูกส่งไป คือ 13 03 0066 0003 E6A6 โดย

ชุดข้อความสำหรับการอ่านค่าจาก Holding register (Request)

13 คือ Station address (19 DEC = 13 HEX)

03 คือ Function code (การอ่านค่าที่ Holding registers)

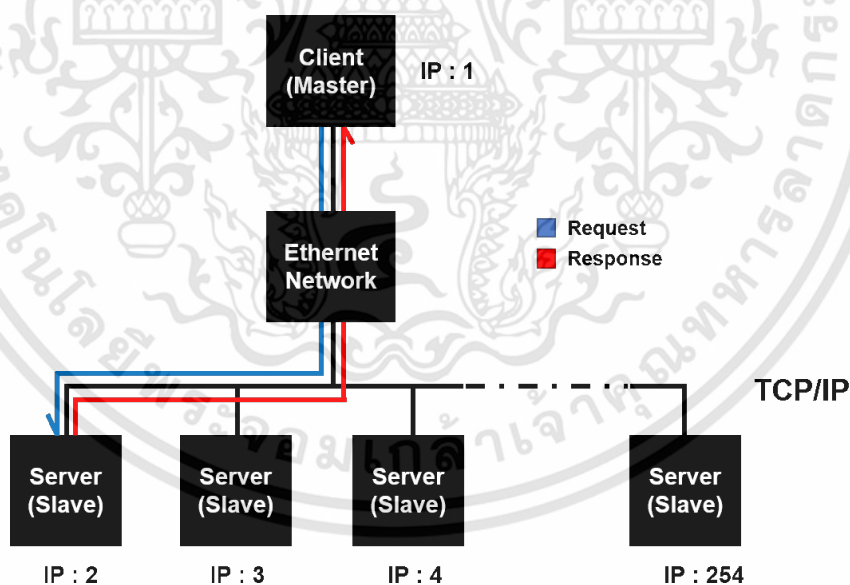
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 0066 คือ Address ของ register ตัวแรก (40103 – 40001 = 102 DEC= 66 HEX)  
 0003 คือ จำนวน Registers ที่ต้องการอ่าน (ทั้งหมด 3 ตัว คือ 40103 ถึง 40105)  
 E6A6 คือ ค่า CRC (Cyclic Redundancy Check) สำหรับเช็คความผิดพลาดของชุดข้อมูล  
 ชุดข้อความที่ตอบกลับมา (Response)

ส่วน Frame message (ไม่รวม Start และ End bits) ที่ตอบกลับมาคือ 06 XXXX XXXX  
 XXXX 06 คือ จำนวน byte ของข้อมูลที่ตอบกลับมา XXXX XXXX XXXX คือ ข้อมูลของทั้ง 3  
 ตำแหน่ง ที่ตอบกลับมา (ตำแหน่งละ 2 bytes)

### 2.6.2 มอดบัลที่ซีพี (Modbus TCP)

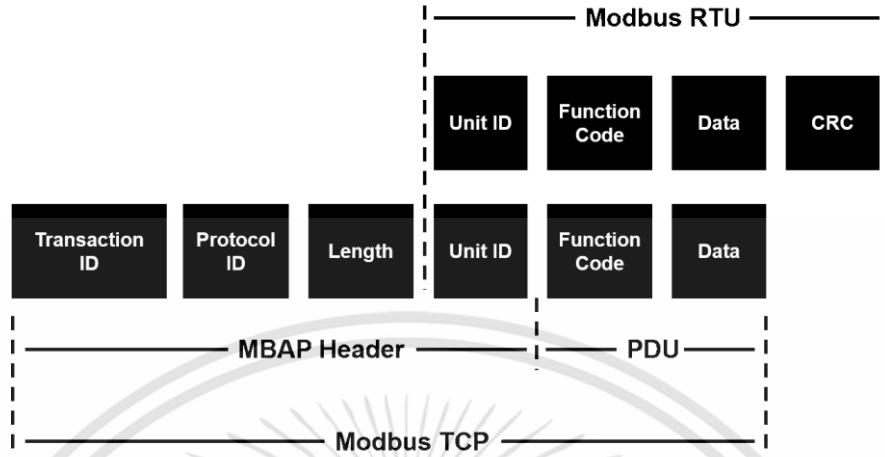
โพรโทคอลที่ครอบ Modbus RTU เพื่อใช้ในการสื่อสารแบบอีเทอร์เน็ต (Ethernet-based protocol) ด้วย TCP/IP (Transmission control protocol) ที่พอร์ต (Port) 502 แทนการใช้การสื่อสารแบบอนุกรม ดังรูปที่ 8 ทำให้อุปกรณ์สามารถสร้างการสื่อสารผ่านเครือข่ายเฉพาะบริเวณ (Local area network: LAN) หรือ เครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Internet network) รวมไปถึงการเชื่อมต่อแบบไร้สาย (Wireless) โดยมีอุปกรณ์กระจายสัญญาณ (Router หรือ Access point) เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อ



รูปที่ 2.11 การสื่อสารแบบอีเทอร์เน็ตสำหรับ Modbus TCP

ชุดข้อความใน Modbus TCP (รายละเอียดดังรูปที่ 9 และ 10) เริ่มต้นข้อมูลด้วย Modbus application protocol (MBAP) Header ซึ่งประกอบด้วย Transaction ID, Protocol ID, Length, Unit ID ซึ่งเพิ่มเติมขึ้นมาจาก Modbus RTU ส่วนชุดข้อมูล Function code และ Data

จะยังคงเหมือนเดิม ยกเว้นชุดข้อมูล CRC สำหรับเช็คความผิดพลาดจะไม่มี แต่เปลี่ยนไปใช้ของ Ethernet ใน Data link layer แทน

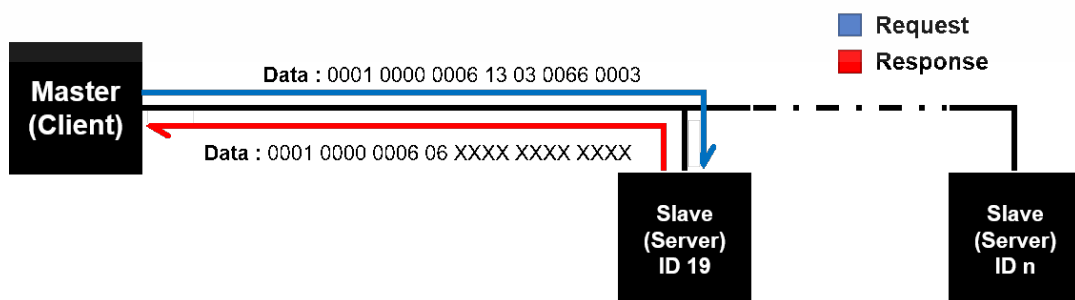


รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบชุดข้อมูลของ Modbus TCP เทียบกับ Modbus RTU

Area Name	Area Size	Description
MBAP header (MODBUS <sup>®</sup> application header)	Transaction ID	2 bytes Used by the master for matching of the response message from the slave.
	Protocol ID	2 bytes Indicates the protocol of the PDU (protocol data unit). Stores 0 in the case of MODBUS <sup>®</sup> /TCP.
	Message length	2 bytes Stores the message size in byte unit. The message length after this field is stored. (See the above figure.)
	Module ID	1 byte Used to specify the slave connected to the other line, e.g. MODBUS <sup>®</sup> serial protocol.
PDU (Protocol data unit)	Function code	1 byte The master specifies the processing to be performed for the slave.
	Data	1 to 252 bytes [When master sends request message to slave] Stores the requested processing. [When slave sends response message to master] Stores the result of processing execution.

รูปที่ 2.13 รายละเอียดของแต่ละ Field ในหนึ่งเฟรมของ Modbus TCP

ตัวอย่าง การอ่านค่าของ holding register # 40103 ถึง 40105 จาก slave หมายเลข 19 เหมือนในตัวอย่างของ Modbus RTU ที่กล่าวมาก่อนหน้านี้



รูปที่ 2.14 การรับ-ส่งเฟรมข้อมูล Modbus TCP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

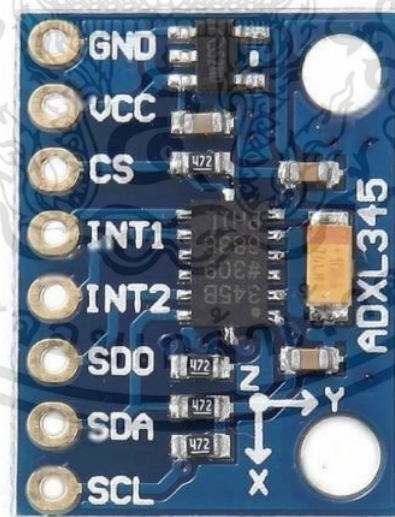
ในกรณีของ Modbus TCP frame message

จะเป็น 0001 0000 0006 13 03 0066 0003

0001	คือ	Transaction identifier
0000	คือ	Protocol identifier
0006	คือ	จำนวน byte ของข้อมูลที่ต่อจากไบนารี
13	คือ	Module identifier หรือ station address (19 ในระบบเลขฐาน 10 จะมีค่าเท่ากับ 13 ในเลขฐาน 16)
03	คือ	Function code (การอ่านค่าจาก Holding registers)
0066	คือ	Address ของ register ตัวแรก (40103-40001 = 102 = 66 hex)
0003	คือ	จำนวน Registers ที่ต้องการอ่าน (ทั้งหมด 3 ตัว คือ 40103 40104 และ 40105)

## 2.7 โมดูลวัดความเร่งแบบสามแกน ADXL345

บอร์ดโมดูลที่กล่าวถึงในบทนี้คือ โมดูลวัดความเร่งแบบสามแกนแบบดิจิทัลที่ใช้ชิปเบอร์ ADXL345 เป็นเซนเซอร์วัดสัญญาณความเร่งในสามแกน ที่มีนิยามทิศทางแสดงอยู่บนบอร์ดอย่างชัดเจน รูปที่ โดยโมดูลนี้ทำให้สัญญาณขาออกเป็นข้อมูลดิจิทัลและติดต่อใช้งานผ่าน I2C ได้และสามารถกำหนดค่าความโน้มถ่วงสูงสุดที่อ่าน ได้สูงสุดถึง  $\pm 16g$  ( $\pm 2g$ ,  $\pm 4g$ ,  $\pm 8g$ , และ  $\pm 16g$ ) โดย  $g$  คือค่าความเร่งจากแรงดึงดูดของโลก (ประมาณ  $10 \text{ m/s}^2$ )



รูปที่ 2.15 โมดูลวัดความเร่งแบบสามแกน ADXL345

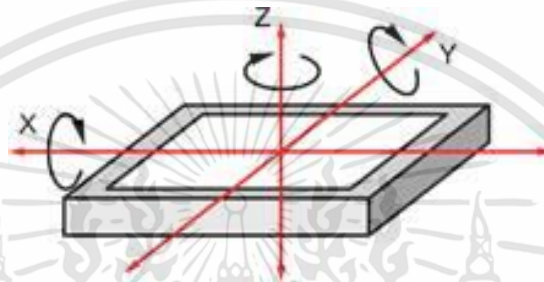
ชิป ADXL345 เป็นระบบวัดการเร่งความเร็ว แบบ 3 แกนที่ทำงานได้ในระดับการใช้พลังงานที่ต่ำมาก วัดได้ทั้งความเร่ง/ความเร็วแบบไดนามิกอันเป็นผลมาจากการเคลื่อนไหวหรือแรงกระแทก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการเร่งความเร็วแบบคงที่เช่นการเอียง ง่ายต่อการสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นใหม่ ๆ ผ่านการสื่อสารแบบ I2C ที่ใช้เพียงขา SCL และ SDA

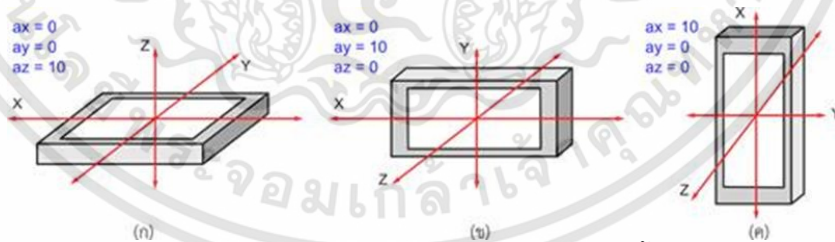
### 2.7.1 การวัดความเร่งแบบ 3 แกน

การวัดมุมเอียงของเซนเซอร์สามารถทำได้โดยการวัดความเร่งในแต่ละแกน โดยทั่วไปเราจะนิยามการเอียงเมื่อเทียบกับแกนหรือระบบพิกัดอ้างอิง โดยบอกความเอียงเป็นมุมที่หมุนเอียงไปในแกนหนึ่ง ๆ ซึ่งการเอียงในแต่ละทิศจะมีลักษณะการกำหนดทิศทางดังรูปที่ 2.16



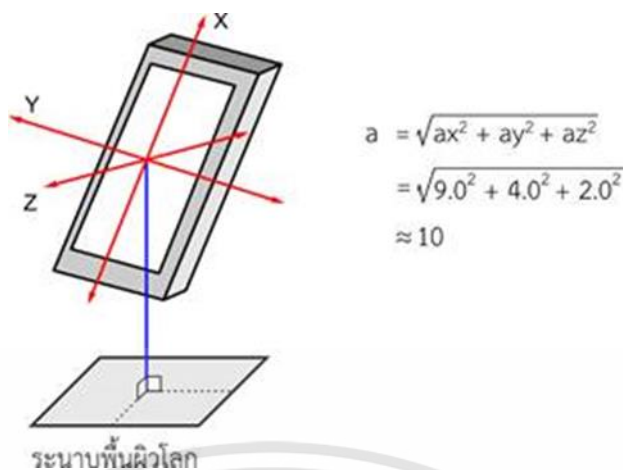
รูปที่ 2.16 ทิศทางการเอียงในมุมต่าง ๆ เสมือนการหมุนรอบแกน X, Y และ Z

โมดูลวัดความเร่งนี้จะวัดความเร่งในแต่ละแกน ก็คือ ขณะที่โมดูลอยู่หนึ่ง ๆ ค่าความเร่งในแต่ละแกนน่าจะมีค่าเป็นศูนย์ แต่ในความเป็นจริงอย่าลืมน่ายังมีแรงโน้มถ่วงของโลกอยู่ด้วย ดังนั้นค่าที่อ่านได้จึงไม่ได้เป็นศูนย์ทั้งหมด คือ ถ้าเราตั้งเครื่องให้แกน Z ตั้งฉากกับพื้นโลก แกน X และ Y จะเป็น 0 แต่ว่าแกน Z จะไม่เป็น 0 เพราะมีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำอยู่ ดังนั้นค่าที่ได้จากแกน Z จึงมีค่า  $9.81 \text{ m/s}^2$  หรือประมาณ  $10 \text{ m/s}^2$



รูปที่ 2.17 ลักษณะการวางโมดูลให้แกน (ก) Z (ข) Y และ (ค) X ตั้งฉากกับผิวโลก ตามลำดับ

ในกรณีที่อยู่หนึ่ง ๆ และแกน X, Y และ Z ไม่มีแกนใดตั้งฉากกับพื้นโลก แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำกับแต่ละแกนของโมดูลวัดความเร่งก็จะกระจายออกไปในแต่ละแกน ขึ้นอยู่กับการเอียงของเซนเซอร์ แต่เมื่อคิดเวกเตอร์ลัพธ์ที่ตั้งฉากกับพื้นโลกก็มีค่าประมาณ  $10 \text{ m/s}^2$  ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างค่าที่อ่านได้เมื่อวางโมดูลในลักษณะไม่ตั้งฉากกับพื้นโลก

## 2.8 DDM18SR Energy Meter

DDM18SD เป็น DIN rail หนึ่งเฟสสองสาย active อิเล็กทรอนิกส์ energy meter ใช้งานได้ในอุตสาหกรรม research and development เช่น microelectronic -เทคนิคเฉพาะขนาดใหญ่ IC (integrated circuit), ดิจิตอล sampling การประมวลผลเทคโนโลยี



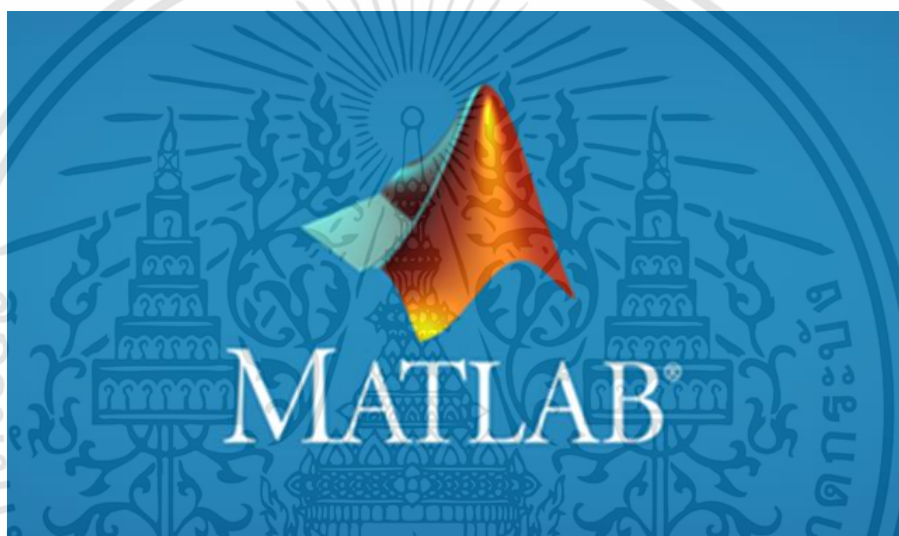
รูปที่ 2.19 DDM18SR Power meter

การวิเคราะห์การแสดงผลข้อมูลสอดคล้องกับมาตรฐาน IEC 62053-21 สำหรับ Class 1 เฟส active energy meter. สามารถวัดได้โดยตรงและวัดโหลด active energy ใน single phase AC เครือข่ายที่กำหนดความถี่ 50Hz หรือ 60Hz มีคุณสมบัติที่ดีการใช้งานได้ในระยะยาว มีความน่าเชื่อถือ, ขนาดเล็ก, น้ำหนักเบา, รูปลักษณ์ที่สมบูรณ์แบบ, ติดตั้งง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9 โปรแกรม MATLAB

Matlab เป็น ภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูงที่มาพร้อมด้วยสภาพแวดล้อมการทำงานเชิงโต้ตอบ (คล้ายเครื่องคิดเลข) ซึ่งสามารถคำนวณคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนได้อย่างรวดเร็วมากกว่า ภาษาคอมพิวเตอร์สมัยก่อน เช่น ภาษา C,C++ หรือ Fortran Matlab เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูงที่ใช้สำหรับคำนวณเชิงตัวเลข (Numerical Computing: อธิบายด้านล่าง) แสดงผลกราฟฟิก และเขียนแอปพลิเคชัน ทำให้เราสามารถคำนวณผลลัพธ์ พัฒนาอัลกอริทึม สร้างแบบจำลอง และแอปพลิเคชันได้ง่ายและรวดเร็วมาก ภายในตัว Matlab ประกอบด้วยภาษาคอมพิวเตอร์ ทุลบล็อกซ์ (Toolbox: กลุ่มฟังก์ชันสำเร็จรูปในแต่ละสาขาวิชา)



รูปที่ 2.20 โปรแกรม Matlab

ฟังก์ชันพื้นฐานจำนวนมากทำให้การวิเคราะห์ทำได้หลากหลายวิธีพร้อมกับคำตอบที่รวดเร็วกว่า โปรแกรมตารางคำนวณ(Spreadsheet) หรือภาษาคอมพิวเตอร์สมัยก่อน เช่น C, C++, Fortran, Java และอื่นๆคุณสามารถนำ Matlab ไปประยุกต์ใช้งานได้หลายสาขามาก ทั้ง การประมวลผลสัญญาณ(Signal Processing) การสื่อสาร(Communication) การประมวลผลภาพและวิดีโอ(Image and Video Processing) ระบบควบคุม(Control System) การวัดและควบคุม(Instruments and Control) การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์(Economic) การคำนวณทางชีววิทยา(Biology) และอื่นๆ มีนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรหลายล้านคนทั้งในแวดวงการศึกษาและอุตสาหกรรมที่ใช้ Matlab ในการคำนวณเชิงตัวเลข

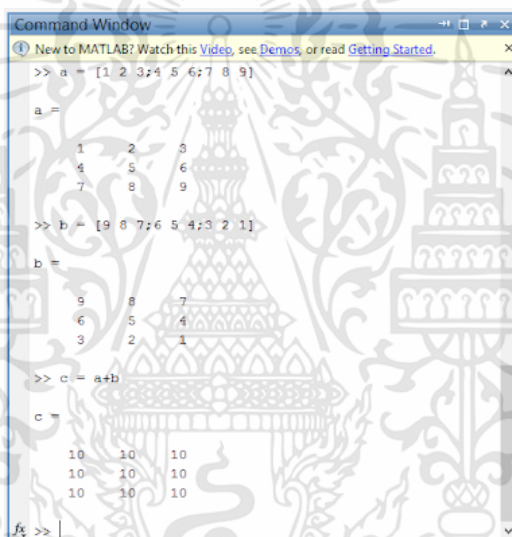
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.9.1 ชนิดของซอฟต์แวร์คำนวณคณิตศาสตร์ด้วยคอมพิวเตอร์

การคำนวณคณิตศาสตร์ด้วยคอมพิวเตอร์สามารถทำได้หลายแนวทาง เช่น การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาคอมพิวเตอร์ทั่วไป เช่น ภาษา C, Fortran หรืออื่นๆ สำหรับคำนวณสมการนั้นๆ หรือใช้โปรแกรมเฉพาะทาง มีทั้งที่ทำการค้า เช่น Matlab, Mathcad , Mathematica, Maple เป็นต้น และโปรแกรมที่ใช้งานได้ฟรี เช่น Scilab, Octave เป็นต้น โดยแบ่งออกตามลักษณะการใช้งานได้

#### 2.9.1.1 Numerical Computing (Technical Computing)

เป็นการคำนวณคณิตศาสตร์เชิงตัวเลข คือ แทนค่าตัวแปรด้วยตัวเลข แล้วให้โปรแกรมคำนวณคำตอบเป็นตัวเลข ซอฟต์แวร์ที่คนนิยมใช้กันมาก คือ Matlab และ Scilab



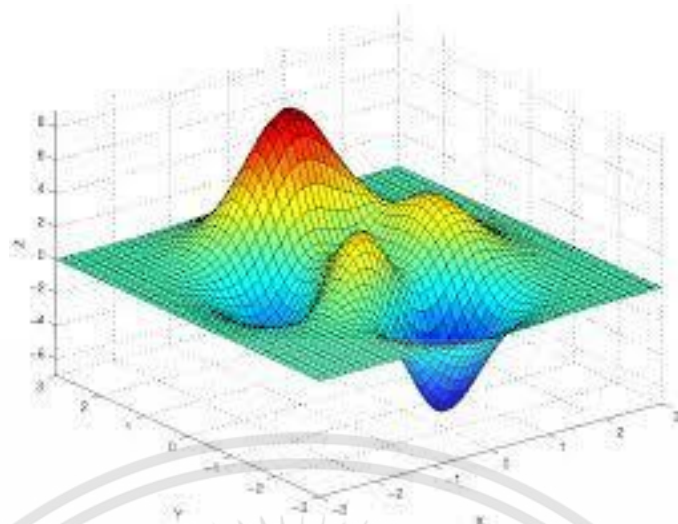
```

Command Window
New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.
>> a = [1 2 3; 4 5 6; 7 8 9]
a =
     1     2     3
     4     5     6
     7     8     9
>> b = [9 8 7; 6 5 4; 3 2 1]
b =
     9     8     7
     6     5     4
     3     2     1
>> c = a+b
c =
    10    10    10
    10    10    10
    10    10    10
fx >>
  
```

รูปที่ 2.21 ตัวอย่างแสดงการใช้ Matlab หาค่าบวกกันของเมตริกซ์ขนาด  $3 \times 3$

#### 2.9.1.2. Symbolic Computing

เป็นการคำนวณคณิตศาสตร์เชิงตัวแปร คือ ป้อนสมการที่ติดค่าตัวแปรไว้แล้วให้โปรแกรมคำนวณหาค่าคำตอบที่อยู่ในรูปสมการตัวแปร โปรแกรมสำคัญ ที่คนนิยมใช้กัน คือ Mathematica , Maple, Mathcad



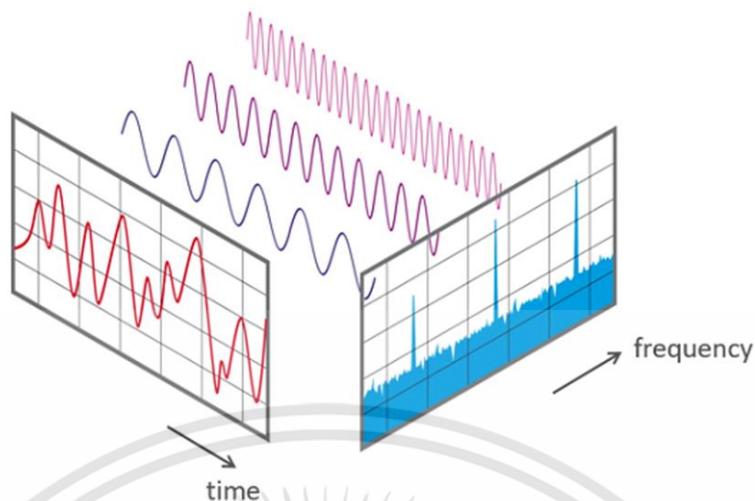
รูปที่ 2.22 รูปการณ์ใช้ function Mathematica ใน Matlab

## 2.10 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่นำมาวิเคราะห์ข้อมูล จากข้อมูลที่เก็บไว้ โดยจะกล่าวถึงทฤษฎีที่นำมาวิเคราะห์ข้อมูลและการทำนายแนวโน้มค่าความเร็วจากสมการ

### 2.10.1 Fast Fourier Transformation (FFT)

Fast Fourier Transform (FFT) เป็นวิธีการวัดที่สำคัญในด้านวิทยาศาสตร์ของการวัดเสียงและอะคูสติก มันแปลงสัญญาณเป็นส่วนประกอบสเปกตรัมแต่ละส่วนและด้วยเหตุนี้จึงให้ข้อมูลความถี่เกี่ยวกับสัญญาณ FFT ใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อบกพร่อง การควบคุมคุณภาพ และการตรวจสอบสภาพของเครื่องจักรหรือระบบ บทความนี้อธิบายวิธีการทำงานของ FFT พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง และผลกระทบต่อผลการวัด พูดอย่างเคร่งครัด FFT เป็นอัลกอริธึมที่ปรับให้เหมาะสมสำหรับการใช้งาน "การแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง" (DFT) สัญญาณจะถูกสุ่มตัวอย่างในช่วงเวลาหนึ่งและแบ่งออกเป็นสเปกตรัมความถี่ ส่วนประกอบเหล่านี้เป็นการสับแบบไซน์เดี่ยวที่มีความถี่ต่างกัน โดยแต่ละส่วนมีแอมพลิจูดและเฟสต่างกัน การแปลงนี้แสดงให้เห็นในแผนภาพต่อไปนี้ ในช่วงเวลาที่วัดได้ สัญญาณจะมีความถี่ที่โดดเด่นต่างกัน 3 ความถี่



รูปที่ 2.23 ลักษณะกระบวนการของ FFT

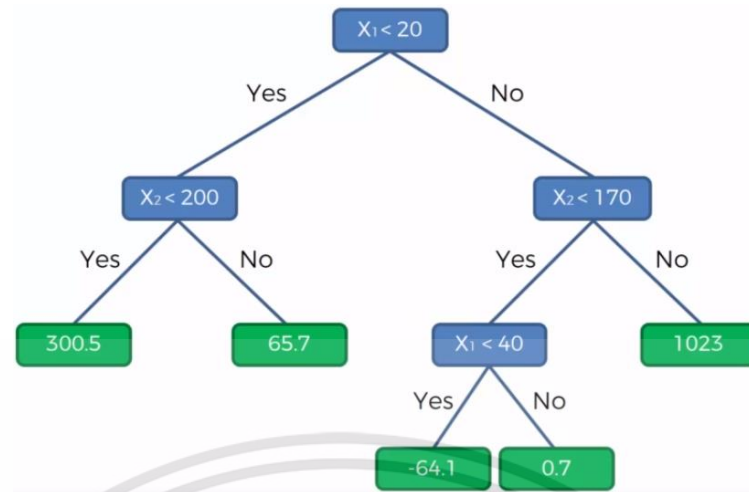
### 2.10.1.1 การใช้ FFT นำไปใช้งาน

เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดกับความถี่ในแต่ละความถี่ โดยทำการแปลงจากโดเมนของเวลา หรือ waveform มาอยู่ในรูปของโดเมนของความถี่ หรือ spectrum นั่นเอง เครื่องวัดความถี่ที่ทันสมัยที่ไม่มีฟังก์ชัน FFT ผู้ใช้งานจะต้องนำค่าที่วัดได้มาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ข้อมูลเอง FFT ยังช่วยในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาว่ามาจากส่วนใดของเครื่องจักร โดยการใช้ความถี่แต่ละช่วงแบ่งแยก หรือเป็นการเปรียบเทียบข้อมูลจากการวัดครั้งก่อนหน้า

### 2.10.2 Decision tree

Decision tree เป็น Algorithm ที่เป็นที่ยอมรับ ใช้งานง่าย เข้าใจง่าย ได้ผลดี และเป็นฐานของ Random Forest ซึ่งเป็นหนึ่งใน Algorithm ที่ดีที่สุดในปัจจุบัน หลักการพยากรณ์ด้วย Decision tree นั้นเข้าใจง่ายมาก ให้นึกว่า Decision tree คือต้นไม้กลับหัว โดยบนสุดคือราก และส่วนล่างลงมาที่ไม่สามารถแตกไปไหนได้แล้วก็คือใบ เราจะเริ่มด้วยการพิจารณาเริ่มแรกบนจุดเริ่มต้นที่เรียกว่า Root node ถ้าข้อมูลที่พบเป็นไปตามเงื่อนไขนั้น การตัดสินใจก็จะวิ่งไปทางซ้ายของ Root node ไปที่จุดที่เรียกว่า Child node ซึ่งถ้าข้อมูลที่มาตามเส้นทางนี้ตรงตามเงื่อนไขของ Child node นี้ ก็จะถือว่าสิ้นสุด เราเรียกว่า Node สิ้นสุดว่า Leaf node ย้อนกลับไปยัง Root node ถ้าข้อมูลที่พิจารณาไม่เป็นไปตามเงื่อนไข การตัดสินใจจะวิ่งไปอีกทาง คือทางขวา ไปพบ Child node อีกอันซึ่งก็จะตั้งเงื่อนไขคำถามต่อไป การตัดสินใจก็จะวิ่งไปทางที่ตรงตามเงื่อนไข ทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ จนได้คำตอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



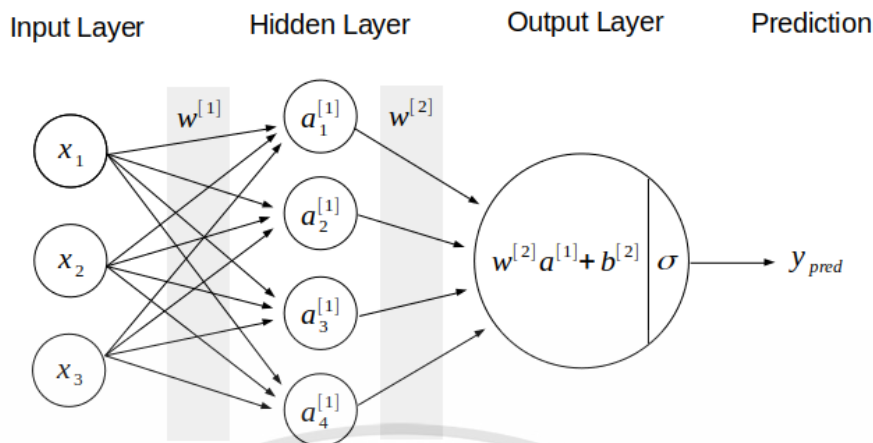
รูปที่ 2.24 แสดงลักษณะของ Model decision tree

### 2.10.2.1 การเลือกปัญหาที่เหมาะสมสำหรับต้นไม้การตัดสินใจ

เนื่องจากต้นไม้การตัดสินใจเป็นต้นไม้ที่แต่ละกิ่งที่ออกมาจากบัพแทนค่าของข้อมูลที่เป็นไปได้ในบัพนั้น เนื่องจากต้นไม้ไม่มีจำนวนกิ่งที่จำกัด ดังนั้นค่าของตัวแปรที่เป็นไปได้จึงต้องจำกัดด้วย จึงต้องมีจำนวนตัวแปรที่จำกัด และนอกจากนั้นยังบังคับว่าค่าของตัวแปรนั้นต้องไม่ต่อเนื่องด้วย โดยข้อมูลที่เข้ามานั้นอาจมีความผิดพลาดได้บ้าง โดยต้นไม้การตัดสินใจจะมีกระบวนการที่จะไม่นำความผิดพลาดนั้นมาพิจารณาเรียกว่าการตัดแต่งกิ่ง (post-pruning)

### 2.10.3 Neural network

โครงข่ายประสาทเทียม(Artificial Neural Networks) หรือที่มักจะเรียกสั้นๆว่าโครงข่ายประสาท(Neural Networks หรือ Neural Net ) เป็นหนึ่งในเทคนิคของการทำข้อมูล(Data Mining) คือโมเดลทางคณิตศาสตร์สำหรับประมวลผลสารสนเทศด้วยการคำนวณแบบคอนเนคชันนิสต์(Connectionist) เพื่อจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทในสมองมนุษย์ ด้วยวัตถุประสงค์ที่จะสร้างเครื่องมือซึ่งมีความสามารถในการเรียนรู้การจดจำรูปแบบ (Pattern Recognition) และการสร้างความรู้ใหม่



รูปที่ 2.25 ลักษณะ Model Neural network

### 2.10.3.1 หลักการทำงาน Model Neural network

สำหรับในคอมพิวเตอร์ Neurons ประกอบด้วย input และ output เหมือนกัน โดยจำลองให้ input แต่ละอันมี weight เป็นตัวกำหนดน้ำหนักของ input โดย neuron แต่ละหน่วยจะมีค่า threshold เป็นตัวกำหนดว่าน้ำหนักรวมของ input ต้องมากขนาดไหนจึงจะสามารถส่ง output ไปยัง neurons ตัวอื่นได้ เมื่อนำ neuron แต่ละหน่วยมาต่อกันให้ทำงานร่วมกัน การทำงานนี้ในทางตรรกแล้วก็จะเหมือนกับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดในสมอง เพียงแต่ในคอมพิวเตอร์ทุกอย่างเป็นตัวเลขเท่านั้นเอง

### 2.10.3.2 การทำงาน Model Neural network

สำหรับในคอมพิวเตอร์ Neurons ประกอบด้วย input และ output เหมือนกัน โดยจำลองให้ input แต่ละอันมี weight เป็นตัวกำหนดน้ำหนักของ input โดย neuron แต่ละหน่วยจะมีค่า threshold เป็นตัวกำหนดว่าน้ำหนักรวมของ input ต้องมากขนาดไหนจึงจะสามารถส่ง output ไปยัง neurons ตัวอื่นได้ เมื่อนำ neuron แต่ละหน่วยมาต่อกันให้ทำงานร่วมกัน การทำงานนี้ในทางตรรกแล้วก็จะเหมือนกับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดในสมอง เพียงแต่ในคอมพิวเตอร์ทุกอย่างเป็นตัวเลขเท่านั้นเอง

### 2.10.3.3 การเรียนรู้ของ Model

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ

#### 1) Supervised Learning (การเรียนรู้แบบมีการสอน)

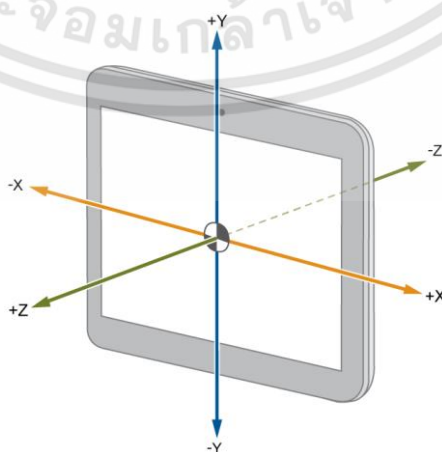
เป็นการเรียนแบบที่มีการตรวจคำตอบเพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมปรับตัวชุดข้อมูลที่ใช้สอนโครงข่ายประสาทเทียมจะมีคำตอบไว้คอยตรวจสอบว่าโครงข่ายประสาทเทียมให้คำตอบที่ถูกหรือไม่ถ้าตอบไม่ถูกต้องโครงข่ายประสาทเทียมก็จะปรับตัวเองเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น(เปรียบเทียบกับคนเหมือนกับการสอนนักเรียนโดยมีครูผู้สอนคอยแนะนำ)

#### 2) Unsupervised Learning (การเรียนรู้แบบไม่มีการสอน)

เป็นการเรียนแบบไม่มีผู้แนะนำไม่มีการตรวจคำตอบว่าถูกหรือผิดโครงข่ายประสาทเทียมจะจัดเรียงโครงสร้างด้วยตัวเองตามลักษณะของข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้โครงข่ายประสาทเทียมจะสามารถจัดหมวดหมู่ของข้อมูลได้ (เปรียบเทียบกับคน เช่น การที่เราสามารถแยกแยะพันธุ์พืช พันธุ์สัตว์ตามลักษณะรูปร่างของมันได้เองโดยไม่มีใครสอน)

### 2.10.4 ค่าความเร่งเชิงมุม 3 แกน

ในฟิสิกส์, ความเร่งเชิงมุมหมายถึงอัตราเวลาของการเปลี่ยนแปลงของความเร็วเชิงมุม เนื่องจากความเร็วเชิงมุมมีสองประเภท คือความเร็วเชิงมุมของการหมุนและความเร็วเชิงมุมของวงโคจร ความเร่งเชิงมุมโดยธรรมชาติยังมีอยู่สองประเภทเรียกว่า ความเร่งเชิงมุมของการหมุนและการเร่งความเร็วเชิงมุมของการหมุนตามลำดับความเร็วเชิงมุมสปีนหมายถึง ความเร่งเชิงมุมของวัตถุแข็งเกร็งรอบจุดศูนย์กลางการหมุน และความเร่งเชิงมุมของวงโคจรหมายถึงความเร่งเชิงมุมของอนุภาคจุดรอบจุดกำเนิดคงที่



รูปที่ 2.26 แกนทั้งหมด 3 แกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.10.4.1 การรวมค่าความเร่ง 3 แกน

การเปลี่ยนค่า โดยต้องทำการรวมค่าความเร่งก่อนแล้วค่อยนำไป แปลง เป็นความเร็ว โดยมีทฤษฎีดังนี้ การเปลี่ยน ค่า axis 3 แกน( ค่าความเร่งเชิงมุมตามแกน) ให้เป็น ความเร่งรวม

$$\sqrt{a_y^2 + \left(\sqrt{a_x^2 + a_z^2}\right)^2} = \sqrt{a_y^2 + a_x^2 + a_z^2}$$

โดยที่

$a_{total}$  คือ a รวมแรงลัพธ์ทุกแกน

$a_y$  คือ ความเร่งเชิงมุมตามแกน y

$a_x$  คือ ความเร่งเชิงมุมตามแกน x

$a_z$  คือ ความเร่งเชิงมุมตามแกน z

ค่าที่ออกมาได้ มีหน่วยเป็น  $g \text{ m/s}^2$  เนื่องจาก ค่าความเร่งโน้มถ่วง( $g$ )มี ค่าเท่ากับ  $9.834 \text{ m/s}^2$  และ หน่วย

### 2.10.4.2 การหาค่าความเร็ว

นำสมการมาจาก paper Chinedum Anthony Onuorah, Sara Chaychian, Yichuang Sun and Johann Siau School of Engineering and Technology, University of Hertfordshire, Hatfield, U.K.

$$v(n) = \frac{a(n)}{2 * \pi * \Delta f * n} * 1000$$

โดยที่

$2\pi f$  คือ  $\omega$  ความเร่งเชิงมุม

$a(n)$  คือ ค่าความเร่งที่นำมาคิด

$n$  คือ จำนวนของข้อมูล

$\times 1000$  คือ การเปลี่ยนค่า จาก  $\text{m/s}^2$  เป็น  $\text{mm/s}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.10.5 มาตรฐาน ISO 10816

ตามมาตรฐาน ISO 10816 ได้ ระบุระดับความรุนแรงของการสั่นสะเทือนที่จำเป็นต้องทำการซ่อมบำรุงไว้เมื่อ เราวัดได้ค่าความสั่นและทราบถึงประเภทของเครื่องจักรของเรา แล้วให้นำค่ามาเทียบตามตาราง โดยปกตินิยมวัดเป็นมิลลิเมตร/วินาที (mm/s) และนิ้ว/วินาที (inch/sec) ในการวัดความเร็วเรามากจะวัดแบบ RMS.

ความรุนแรงของการสั่นสะเทือนตามมาตรฐาน ISO 10816						
ประเภทเครื่องจักร		Class I	Class II	Class III	Class VI	
		> 15kW	75-300kW	>300kW rigid foundation	>300kW soft foundation	
ความเร็วในการสั่น Vrms	in/s	mm/s				
	0.01	0.28	สภาพดี			
	0.02	0.45				
	0.03	0.71				
	0.04	1.12	เริ่มมีการสั่น			
	0.07	1.18				
	0.11	2.8	มีการสั่นที่ต้องซ่อมบำรุง			
	0.18	4.5				
	0.28	7.1	มีการสั่นมาก ต้องหยุดใช้และซ่อมทันที			
	0.44	11.2				
	0.7	18				
0.71	28					
1.1	45					

รูปที่ 2.27 ความรุนแรงของการสั่นสะเทือนตามมาตรฐาน ISO 10816

โดยมาตรฐาน ISO 10816-1 จะจำแนกเครื่องจักรตาม กำลัง(Power, kW) ของเครื่องจักร โดยแบ่งเป็น 4class

- 1) Class I: สำหรับเครื่องจักรที่มี กำลัง ไม่เกิน 15 kW
- 2) Class II: สำหรับเครื่องจักรขนาดกลางที่มี กำลัง ตั้งแต่ 15 kW ถึง 75 kW
- 3) Class III: สำหรับเครื่องจักรขนาดใหญ่ที่มีฐานแบบ rigid มี กำลัง ไม่เกิน 300 kW
- 4) Class III: สำหรับเครื่องจักรขนาดใหญ่ที่ฐานเป็นแบบ soft อาทิ gas turbine, turbo generator ที่มีกำลัง ไม่เกิน 10MW

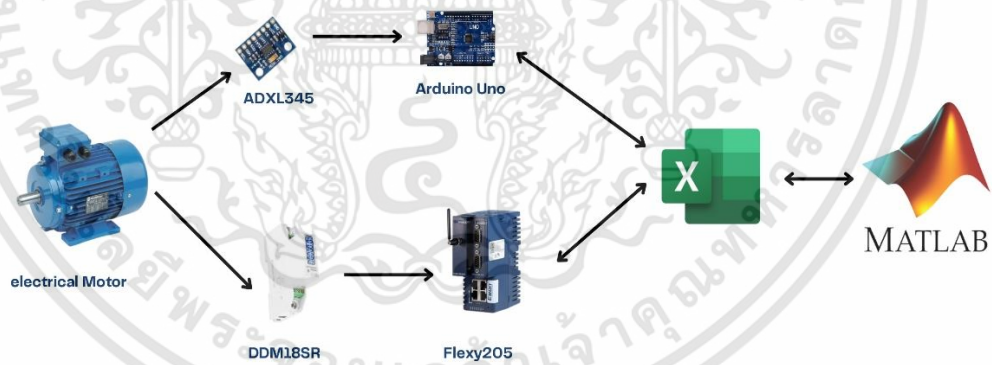
ในการประเมิน ความเสียหายของเครื่องจักรด้วย การตรวจวัดการสั่นสะเทือน ในหน่วยความเร็ว เหมาะสำหรับการประเมินระดับความเสียหายตามมาตรฐาน ISO 10816 เนื่องจากความถี่ไม่มีผลกับ ขนาดการสั่นสะเทือน ส่วนหน่วยความเร่ง ใช้ตรวจสอบความผิดปกติของ ตลับลูกปืน และ ชุดเกียร์ ว่ามีความเสียหายเกิดขึ้น

## บทที่ 3

### วิธีการนำเสนองาน

#### 3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึง 2 ส่วนคือวิธีการติดตั้งและวิธีการนำเอาข้อมูลต่างๆ จากเซนเซอร์นำมาแสดงผลแบบเรียลไทม์ผ่านหน้าจอต่างและเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์วัดที่ค่าได้ ส่วนต่อไปคือการนำข้อมูลที่ได้อมาวิเคราะห์โดยศึกษาทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับโครงการจากนั้นเอาข้อมูลไปเข้าโปรแกรม Matlab แนวคิดการสร้างอุปกรณ์วิเคราะห์ข้อมูลของเครื่องจักร โดยทำการเก็บข้อมูลของ ค่า ความเร่ง 3 แกน กระแสไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า แต่ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้ค่าความเร่ง 3 แกน และกระแสไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า จากนั้นนำข้อมูลดิบจากอุปกรณ์ตรวจรู้มาแสดงผ่านหน้าจอแสดงผลผ่านโปรโตคอลสำหรับการวิเคราะห์และแสดงผลตามความต้องการของผู้ใช้งาน ขั้นตอนแรกได้ทำการศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงการทั้งส่วนการวิเคราะห์ ข้อมูล ซอฟต์แวร์ที่ใช้ และฮาร์ดแวร์ จากนั้นทำการประกอบในส่วนฮาร์ดแวร์และเขียนโปรแกรม จากนั้นนำไปทำการทดลองจริง



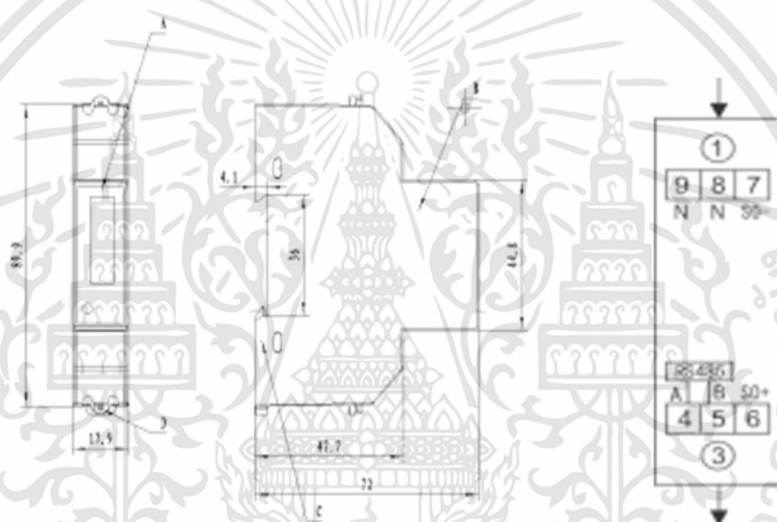
รูปที่ 3.1 แผนผังการเชื่อมต่อของอุปกรณ์

### 3.2 การติดตั้งอุปกรณ์

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้ทำการสร้างระบบตรวจสอบสถานะของเครื่องจักรที่นำมาใช้ทดลองโดยการนำข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจรู้โดยมีการรับ-ส่งข้อมูลต่างๆ ผ่านโปรโตคอลและแสดงผลผ่านหน้าจอแสดงผลและทำการเก็บข้อมูล ตามที่ผู้ใช้งานต้องการ ซึ่งจะต้องมีการกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ให้กับตัวอุปกรณ์เพื่อให้สามารถรับ-ส่ง ข้อมูลกันได้อย่างถูกต้อง

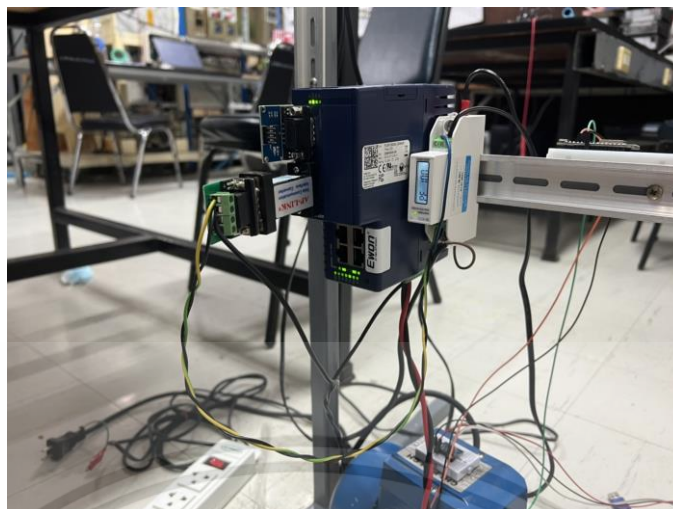
#### 3.2.1 การติดตั้งพาวเวอร์มิเตอร์ DDM18SR

DDM18SR เป็นอุปกรณ์ตรวจรู้ที่ถูกนำมาใช้วัดค่า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ซึ่งอุปกรณ์วัดค่าต่างๆทางไฟฟ้าสามารถส่งสัญญาณออกมาในรูปแบบ RS485 สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ได้หลายอุปกรณ์โดยการต่อแบบอนุกรม



รูปที่ 3.2 ลักษณะของ DDM18SR

ในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าไฟฟ้าต่างๆ ของเครื่องจักร โดยได้ติดตั้งโหลดเครื่องจักรเสียบเข้ากับเต้ารับไฟฟ้า จากนั้นทำการเชื่อมต่อระหว่าง เต้ารับไฟฟ้ากับพาวเวอร์มิเตอร์ โดยใช้สายไลน์ของเต้ารับไฟฟ้าเชื่อมต่อเข้าช่องที่ 1 และสายนิวตรอนเข้าช่อง N ของพาวเวอร์มิเตอร์ จากนั้นพาวเวอร์มิเตอร์ก็สามารถวัดค่าทางไฟฟ้าต่างๆได้แล้ว ต่อจากนี้คือวิธีการเชื่อมต่อการรับ-ส่งข้อมูล ระหว่างพาวเวอร์มิเตอร์และอุปกรณ์Flexy 205 เชื่อมต่อผ่าน 2 Serial Ports Extension Card FLA 3301 ซึ่งวิธีต่อไปนี้เป็นจำเป็นต้องมีตัวแปลงสัญญาณจาก RS485 เป็น RS232 ถึงจะสามารถรับ-ส่ง ข้อมูลกันได้ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การเชื่อมต่อการรับส่งข้อมูลระหว่าง พาวเวอร์มิเตอร์และFlexy205



รูปที่ 3.4 ตัวแปลงสัญญาณจาก RS485 เป็น RS232



รูปที่ 3.5 ตัวแปลงสัญญาณจาก RS485 เป็น RS232

### 3.2.2 การติดตั้งอุปกรณ์โมดูลวัดความเร่งแบบสามแกน ADXL345

นำ ADXL345 ไปติดตั้งที่ตัวมอเตอร์โดยมอเตอร์ที่นำมาใช้วิเคราะห์ข้อมูล อยู่ในคลาสที่ 1 คือเครื่องจักรขนาดเล็ก มีกำลังต่ำกว่า 15 kw ตามมาตรฐาน JIS B 0906 โดยใช้ค่าสันสะท้อนของ Velocity RMS ในการประเมิน การวางเซนเซอร์วัดความเร่งแบบสามแกนนั้นจะติดตั้งที่ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดวัดในแนวแกน (Axial, A) คือจุดวัดที่อยู่ในแนวขนานกับเพลลาของเครื่องจักรที่ต้องการวัด ในการวัดนั้นเราต้องวัดในจุดที่อยู่ใกล้กับเพลลาให้มากที่สุด การสั่นสะเทือน ที่เกิดขึ้นมากผิดปกติหรือเกิดขึ้นอย่างรุนแรงในแนวนี้มีสาเหตุมาจากการหมุนของเพลลาการคดงอของเพลลา ตามรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ลักษณะการติดตั้งเซนเซอร์กับมอเตอร์

เมื่อได้ทำการติดตั้งตัวเซนเซอร์กับมอเตอร์เสร็จแล้ว วิธีการต่อมาคือการเชื่อมต่อระหว่างตัวเซนเซอร์กับ Arduino Uno เพื่อเก็บค่าที่วัดได้จากตัวเซนเซอร์ มีวิธีการดังต่อไปนี้ การเชื่อมต่อระหว่าง โมดูลวัดความเร่งสามแกน ADXL345 กับ Arduino Uno ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์นั้นตารางที่ 3.1 จากนั้นทำการอัปโหลดโปรแกรมลงบอร์ด Arduino Uno

ตารางที่ 3.1 ลักษณะการเชื่อมต่อระหว่าง ADXL345 กับ บอร์ด Arduino Uno

โมดูลวัดความเร่งสามแกน ADXL345	บอร์ด Arduino Uno
VCC	5 V
GND	GND
SDA	A4
SCL	A5

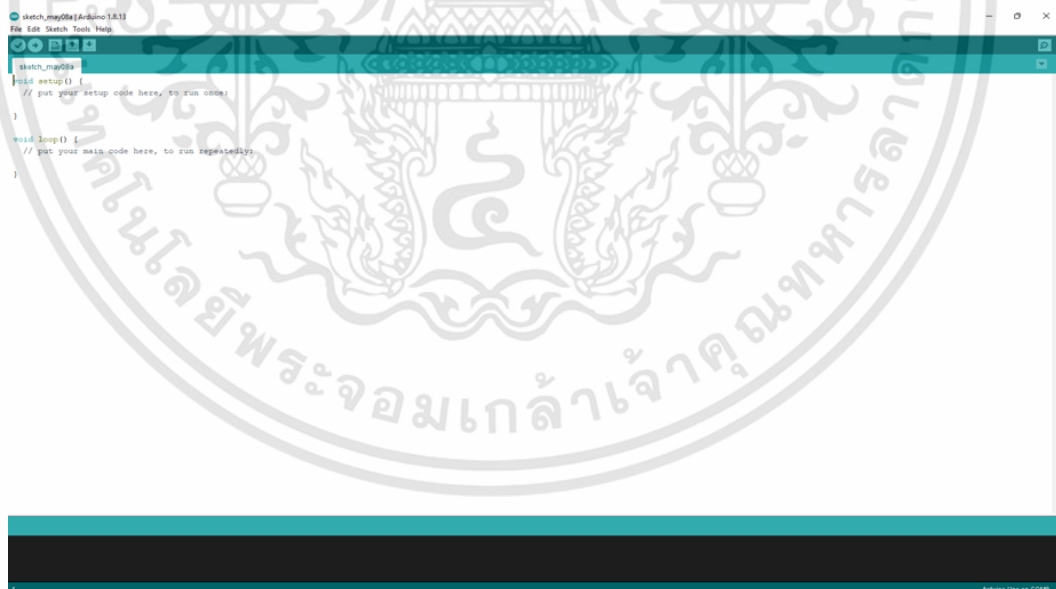
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) การติดตั้งโปรแกรม Arduino และ library ที่จำเป็น เพื่อให้ใช้ในการ Run โปรแกรม เนื่องจากโปรแกรม Arduino สามารถ include library ได้เองหรือสามารถนำเข้า library จากข้างนอกเป็น File หรือ Zip ได้การ load โปรแกรม Arduino เริ่มจากการติดตั้งโปรแกรม Arduino จากเว็บ <https://www.arduino.cc/en/software> แล้วทำการติดตั้ง



รูปที่ 3.7 เว็บไซต์ Arduino

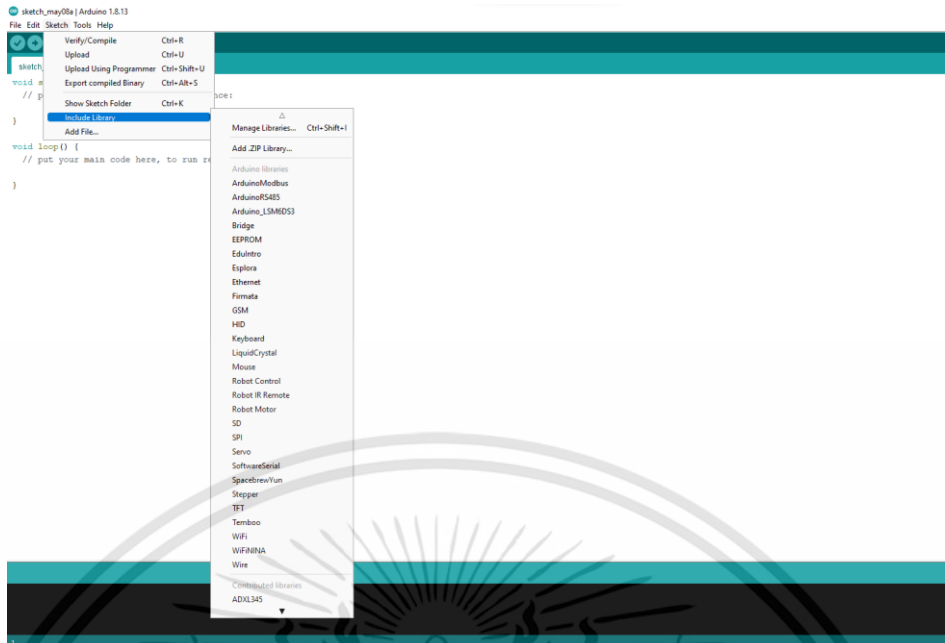
- 2) เมื่อทำการติดตั้งโปรแกรมเรียบร้อยแล้วจะได้โปรแกรม Arduino IDE ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 Arduino IDE

- 3) ทำการ Include Libraries ในการที่เราจะทำการรัน Code โปรแกรมเราต้องการ Include library ที่จำเป็นต้องใ้มาก่อนโดยกดที่ sketch แล้วเลือกคำสั่ง Include library ดังรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 การ include library

```

sketch_may08a $
#include <Wire.h>

#include <ADXL345.h>

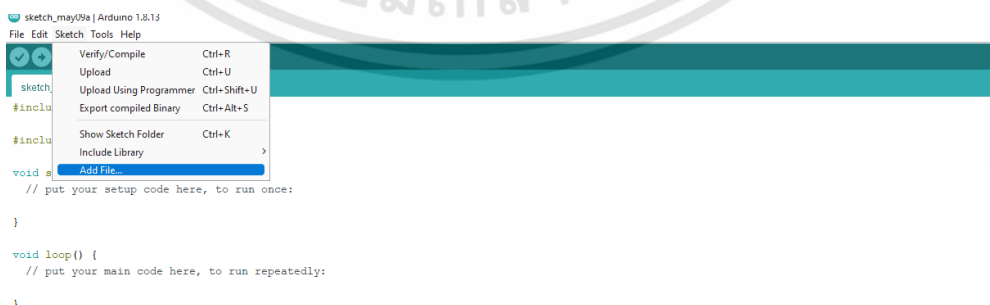
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}

```

รูปที่ 3.10 เราได้ทำการ Include Library wire กับ ADXL345

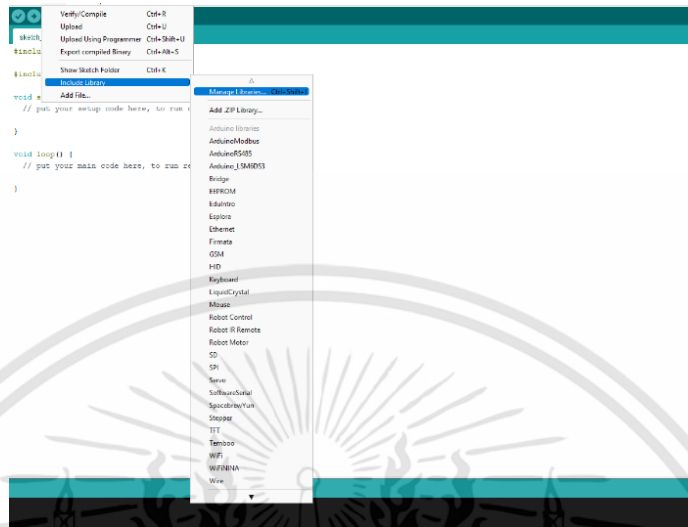
- 4) ถ้าใน Program ผู้จัดทำไม่มี Library สามารถเอา file ที่ผู้จัดทำโหลดได้จากใน Internet โดยพิมพ์ว่า wire library และ ADXL 345 library จะได้ไฟล์มาเป็น zip



รูปที่ 3.11 Include library จากไฟล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือสามารถกด Manage Libraries ได้แล้วพิมพ์ค้นหา library ที่เราต้องการใช้ได้ ถ้าไม่อย่างใดก็หาจากใน internet



รูปที่ 3.12 Include library จากไฟล์

5) Run Sensor ADXL 345 ผู้จัดทำได้ทำการ Search หาโปรแกรมที่นำมาใช้กับตัว Sensor ของผู้จัดทำ คือ ADXL 345 แล้วที่ผู้จัดทำนำมาเป็น Reference ตัวอย่างที่ผู้จัดทำนำมาตัดแปดแล้วเปลี่ยนค่าบางอย่างให้ตรงกับงานของผู้จัดทำคือ Reference ที่เราไปหามาจากเว็บ ผู้จัดทำได้นำ Code ที่ได้มาวางที่โปรแกรม Arduino แล้วทำการแก้ไข 1จุด คือตรงส่วน ที่เขียนว่า delay ใน part void loop โดยเราได้ทำการเปลี่ยน delay จาก 100 เป็น เนื่องจากผู้จัดทำต้องการให้ค่ามันแสดงทุกๆ 2นาที

```

project_list.txt
#include <Wire.h>
// Wire library - used for I2C communication
int ADXL345 = 0x53; // The ADXL345 sensor I2C address
float X_out, Y_out, Z_out; // Outputs
void setup() {
  Serial.begin(9600); // Initiate serial communication for printing the results on the Serial monitor
  Wire.begin(); // Initiate the Wire library
  //Get ADXL345 in measuring mode
  Wire.beginTransmission(ADXL345); // Start communicating with the device
  Wire.write(0x2D); // Access/talk to POWER_CTL Register - 0x2D
  // Enable measurement
  Wire.write(8); // (8dec -> 0000 1000 binary) Bit D3 High for measuring enable
  Wire.endTransmission();
  delay(100);
}
void loop() {
  // === Read accelerometer data === //
  Wire.beginTransmission(ADXL345);
  Wire.write(0x32); // Start with register 0x32 (ACCEL_XOUT_H)
  Wire.endTransmission(false);
  Wire.requestFrom(ADXL345, 6, true); // Read 6 registers total, each axis value is stored in 2 registers
  X_out = ( Wire.read() | Wire.read() << 8); // X-axis value
  X_out = X_out/256; //For a range of +/-g, we need to divide the raw values by 256, according to the datasheet
  Y_out = ( Wire.read() | Wire.read() << 8); // Y-axis value
  Y_out = Y_out/256;
  Z_out = ( Wire.read() | Wire.read() << 8); // Z-axis value
  Z_out = Z_out/256;
  delay(120000);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(X_out);
  Serial.print(",");
  Serial.print(" ");
  Serial.print(Y_out);
  Serial.print(",");
  Serial.print(" ");
  Serial.println(Z_out);
}

```

รูปที่ 3.13 โปรแกรมอ่านค่าโมดูล ADXL345

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้จัดทำได้ทำการ Verify(ตรงซ้ายมือบนสุด) เพื่อทำการเช็คค่า Code ของผู้จัดทำ สามารถ Run ได้ ไม่มีปัญหา เมื่อทุกอย่างถูกต้องให้ดูทางซ้ายมือล่างสุด จะเขียนว่า Done compiling

```

project_name
#include <Wire.h>
// Wire library - used for I2C communication
int ADXL345 = 0x53; // The ADXL345 sensor I2C address
float X_out, Y_out, Z_out; // Outputs
void setup() {
  Serial.begin(9600); // Initiate serial communication for printing the results on the Serial monitor
  Wire.begin(); // Initiate the Wire library
  // Set ADXL345 in measuring mode
  Wire.beginTransmission(ADXL345); // Start communicating with the device
  Wire.write(0x2B); // Access/ talk to POWER_CTL Register - 0x2B
  // Enable measurement
  Wire.write(0); // (0dec -> 0000 1000 binary) Bit D3 High for measuring enable
  Wire.endTransmission();
  delay(100);
}
void loop() {
  // == Read accelerometer data == //
  Wire.beginTransmission(ADXL345);
  Wire.write(0x32); // Start with register 0x32 (ACCEL_XOUT_H)
  Wire.endTransmission(false);
  Wire.requestFrom(ADXL345, 6, true); // Read 6 registers total, each axis value is stored in 2 registers
  X_out = ( Wire.read() | Wire.read() << 8); // X-axis value
  Y_out = ( Wire.read() | Wire.read() << 8); // Y-axis value
  Z_out = ( Wire.read() | Wire.read() << 8); // Z-axis value
  delay(1000);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(X_out);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(Y_out);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(Z_out);
  Serial.print(" ");
  Serial.print("\n");
}
Sketch uses 8218 bytes (19%) of program memory space. Maximum is 32256 bytes.
Global variables use 824 bytes (2%) of dynamic memory, leaving 1614 bytes for local variables. Maximum is 2048 bytes.

```

รูปที่ 3.14 โปรแกรมที่ Verify แล้ว

- 6) ต่อไปผู้จัดทำต้องอัปโหลดของผู้จัดทำลงไป Arduino Uno กดรตรงช่องที่เป็นเครื่องหมายไปทางขวาผู้จัดทำต้องกดรตรงขวามือสุด คือ Serial monitor เพื่อให้มันโชว์ค่า ออกมาได้เป็น 3ค่า แกน X Y Z

```

project_name
#include <Wire.h>
// Wire library - used for I2C communication
int ADXL345 = 0x53; // The ADXL345 sensor I2C address
float X_out, Y_out, Z_out; // Outputs
void setup() {
  Serial.begin(9600); // Initiate serial communication for printing the results on the Serial monitor
  Wire.begin(); // Initiate the Wire library
  // Set ADXL345 in measuring mode
  Wire.beginTransmission(ADXL345); // Start communicating with the device
  Wire.write(0x2B); // Access/ talk to POWER_CTL Register - 0x2B
  // Enable measurement
  Wire.write(0); // (0dec -> 0000 1000 binary) Bit D3 High for measuring enable
  Wire.endTransmission();
  delay(100);
}
void loop() {
  // == Read accelerometer data == //
  Wire.beginTransmission(ADXL345);
  Wire.write(0x32); // Start with register 0x32 (ACCEL_XOUT_H)
  Wire.endTransmission(false);

```

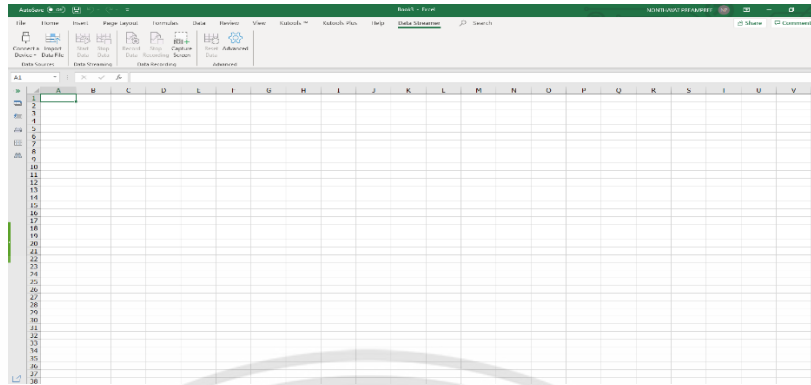
รูปที่ 3.15 กดร Serial monitor

เมื่อผู้จัดทำกดร Serial monitor แล้วค่าจะแสดงออกมาตามที่ผู้จัดทำได้เขียนโปรแกรมไว้ โดยออกมา 3 ค่า 3 แกน X, Y, Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

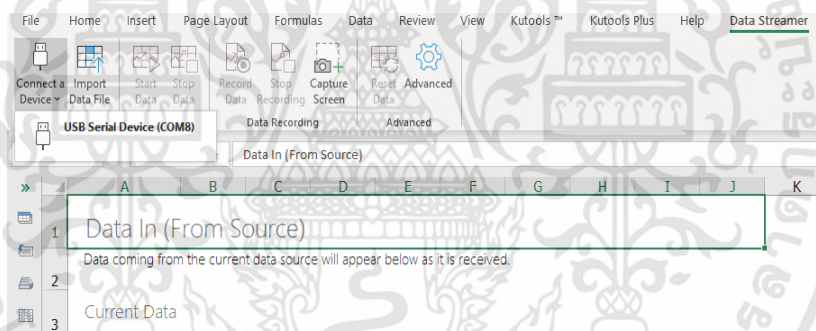


เมื่อทำการ Download แล้วจะได้หน้าต่างโปรแกรมใน excel ดังรูปที่ 3.18



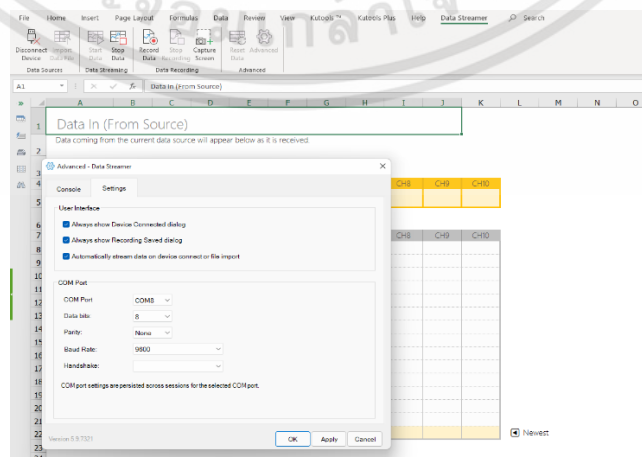
รูปที่ 3.18 function data streamer เมื่อติดตั้งแล้ว

การเชื่อมต่อและกำหนดพารามิเตอร์ใน Data streamer ทำการเชื่อม excel กับ Arduino ใน connect a device เลือก Usb Serial device ตาม port



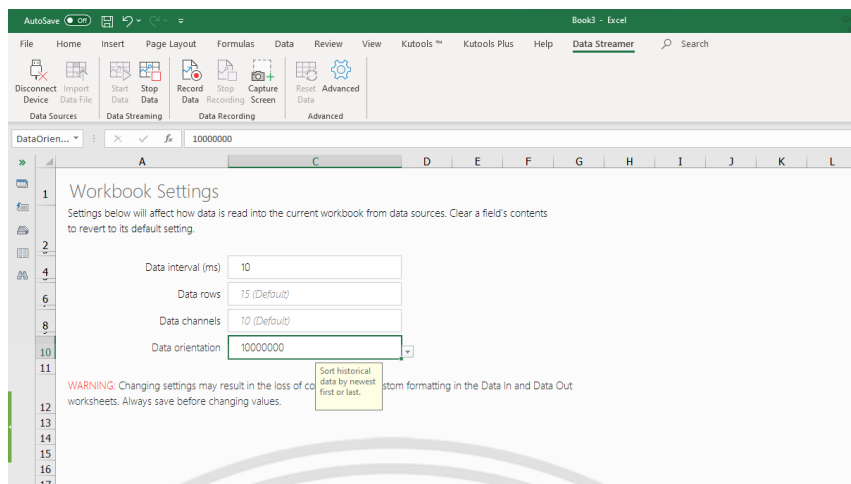
รูปที่ 3.19 เลือก Port เชื่อมต่อ

กดเข้าไปที่ Advanced เพื่อตั้งค่า Port databit parity Baud Rate



รูปที่ 3.20 หน้าต่าง Advanced

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 กำหนดพารามิเตอร์ในการเก็บค่า

### 3.3 การเชื่อมต่อระหว่างเซนเซอร์กับโปรโตคอลและการเก็บข้อมูล

ในการติดตั้งการเชื่อมต่อระหว่างเซนเซอร์กับโปรโตคอล จะถูกแบ่งออกไป 3 ส่วน ในส่วนของ การวัดค่าพารามิเตอร์ไฟฟ้าจะใช้โปรโตคอล Modbus RTU กับอุปกรณ์ Flexy 205 เพื่อใช้สำหรับการสื่อสารกับ พาวเวอร์มิเตอร์ DDM18SR :ซึ่งอุปกรณ์ Flexy205 มีซอฟต์แวร์สามารถเก็บข้อมูล จากตัวเซนเซอร์ได้และสามารถแสดงข้อมูลผ่านคราวน์โดยดูข้อมูลจากที่ไหนก็ได้ ต่อมาในส่วนของ ค่า ความเร่งสามแกน ค่าที่วัดได้จะผ่านคำนวณแปลงจาก ค่าความเร่งสามแกนเป็นค่าความเร่งรวม จากนั้นแปลงจากความเร่งรวมให้เป็นความเร็ว โดยทฤษฎีต่างๆนี้จะอยู่ในบทที่ 2 -ของวิทยานิพนธ์ เล่มนี้ เมื่อได้ค่าความเร็วจึงนำไปมาแสดงผลผ่านหน้าจอ ซึ่งโปรโตคอลที่ใช้คือ Node-red สามารถ สร้างแดรชบอร์ดและดูข้อมูลได้แบบเรียลไทม์

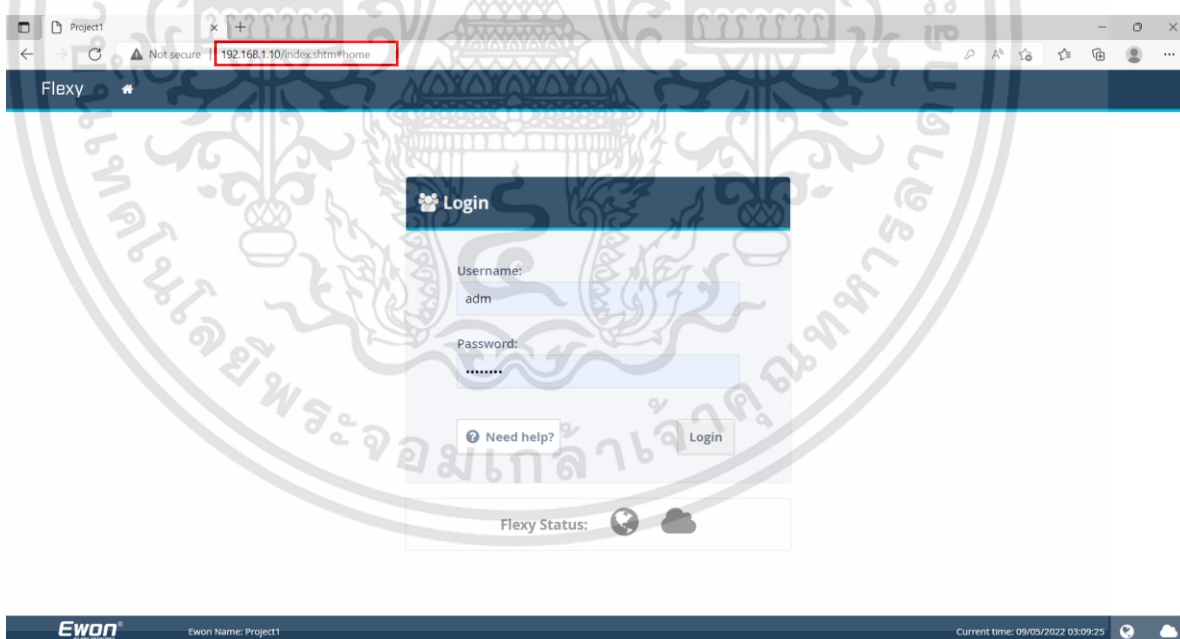
#### 3.3.1 เก็บข้อมูลและแสดงผลผ่านอุปกรณ์ Flexy205

อุปกรณ์ Flexy205 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้รับส่งข้อมูลจากเครื่องมือวัด ขั้นตอนแรกการ กำหนดและติดตั้งการเชื่อมต่ออุปกรณ์ผ่านอีเทอร์เน็ตด้วยสาย LAN และต่อสาย LAN ไปยัง Flexy205 เพื่อทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ รูปที่ 3. เป็นการแสดงช่องต่อสายอีเทอร์เน็ตของอุปกรณ์ Flexy205



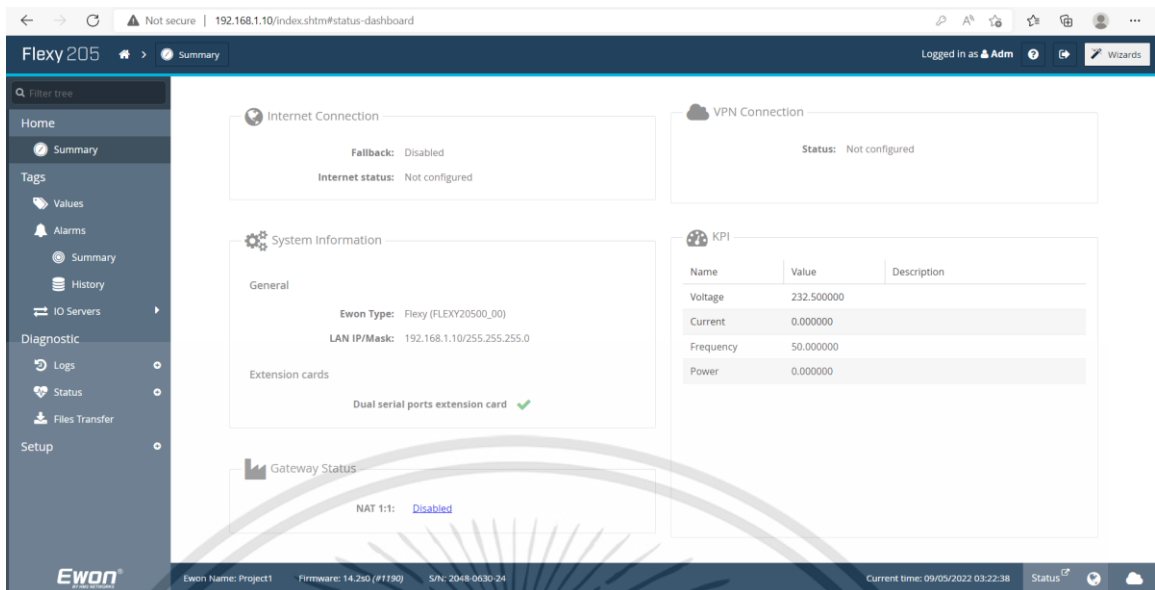
รูปที่ 3.22 Port การเชื่อมต่อสายอีเทอร์เน็ตของอุปกรณ์ Flexy205

จากนั้นทำการเรียกเกตเวย์เพื่อทำการกำหนดพารามิเตอร์ให้กับตัวอุปกรณ์ โดยสามารถเรียกได้ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ จากคอมพิวเตอร์ และเรียกใช้ IP Address ของอุปกรณ์ Flexy205 โดยกำหนด IP Address : 192.168.1.10 แล้วจึงสามารถเข้าสู่หน้าจอของการกำหนดค่าได้ ดังรูปที่ 3.26 เป็นการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ



รูปที่ 3.23 โปรแกรม EWon Flexy205

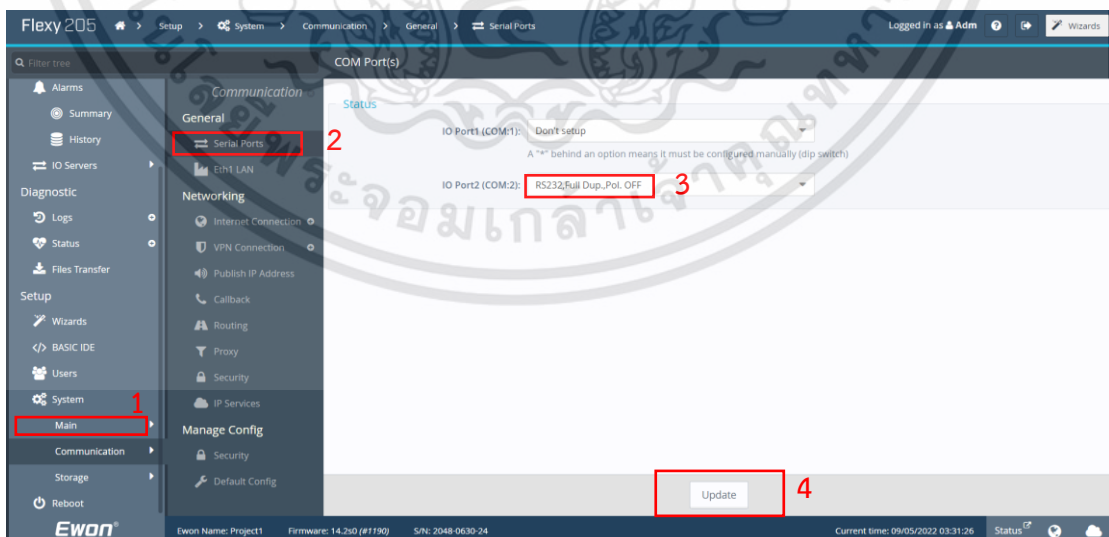
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 หน้าจอแสดงสถานะของโปรแกรม

ในส่วนของการกำหนดค่าพารามิเตอร์ได้แบ่งออกเป็นสามส่วนคือ ส่วนแรกคือส่วนที่กำหนดพารามิเตอร์ในการรับ-ส่ง ข้อมูลจากเซนเซอร์ ส่วนที่สองคือการกำหนดพารามิเตอร์ในส่วนที่แสดงผลข้อมูลและส่วนสุดท้ายคือการกำหนดที่อยู่ของข้อมูล มีวิธีการดังต่อไปนี้

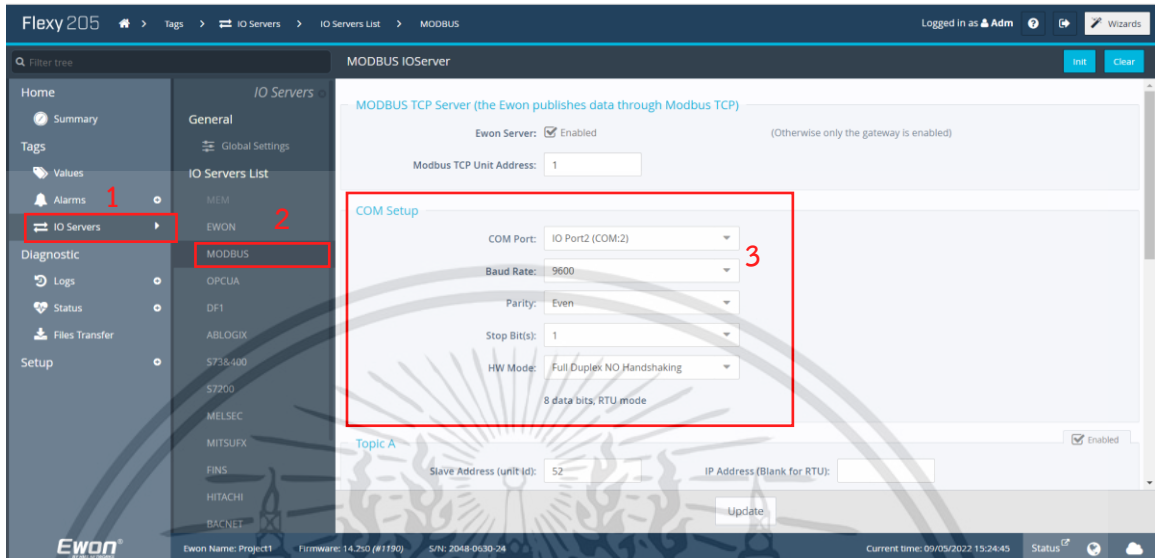
- 1) การกำหนดค่าพื้นฐานของพารามิเตอร์ การเชื่อมต่อระหว่างเซนเซอร์กับอุปกรณ์ Flexy205 เป็นการเชื่อมต่อแบบ Serial RS485 โดยเข้ามาที่โปรแกรมแล้วเข้ามาที่ Serial Ports แล้วเลือกที่ IO Port2(COM:2) จากนั้นเลือก RS232,Full Dup.Pol,OFF แล้วทำการกดอัปเดต



รูปที่ 3.25 การกำหนดค่าพารามิเตอร์พื้นฐานในโปรแกรม

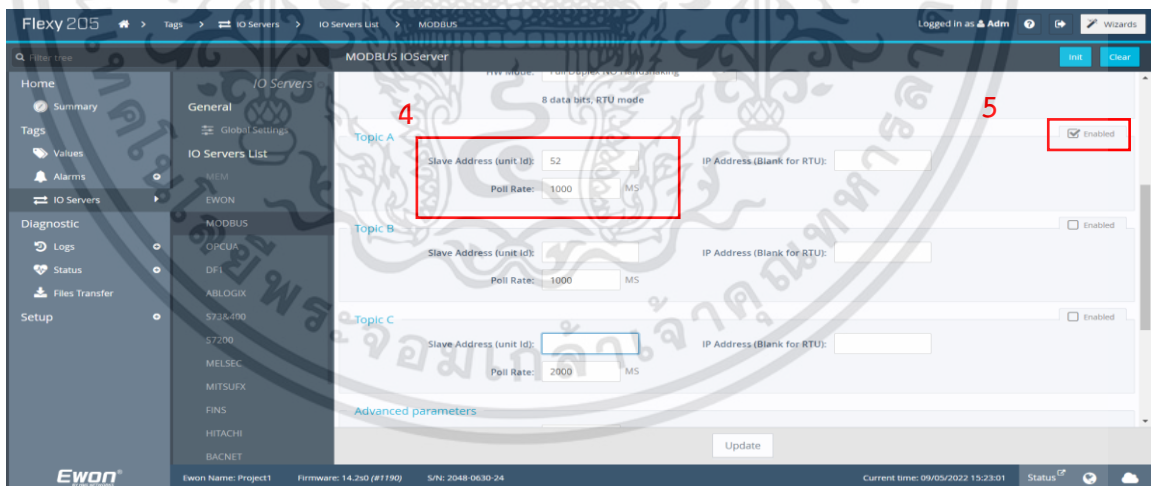
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) จากนั้นทำการกำหนดพารามิเตอร์เพื่อให้ทั้งสองอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลกันโดยเลือก HW Mode Full Duplex No Handshaking โดยทำตามขั้นตอนดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.26 ลักษณะการกำหนดพารามิเตอร์เพื่อให้ทั้งสองอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลกัน

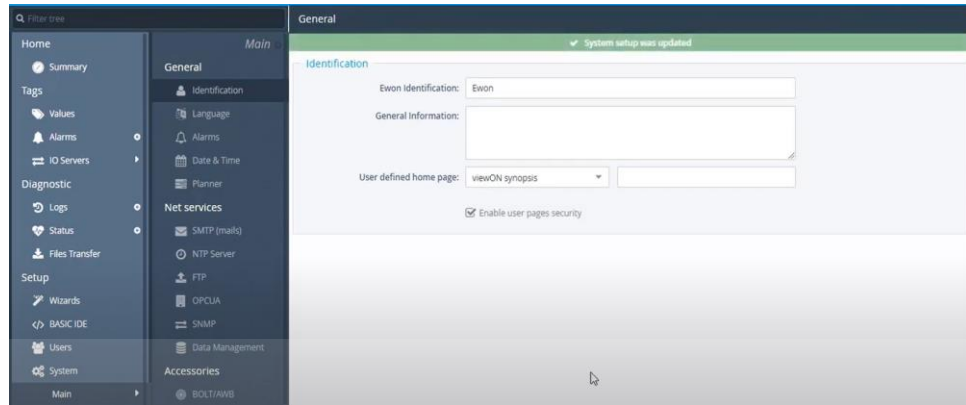
- 3) กำหนด Slave Address (unit id) เท่ากับ 52 ซึ่งเป็น Slave Address ของ Power meter DDM18SR แล้วกดที่ Enabled



รูปที่ 3.27 การกำหนด Slave Address (unit id)

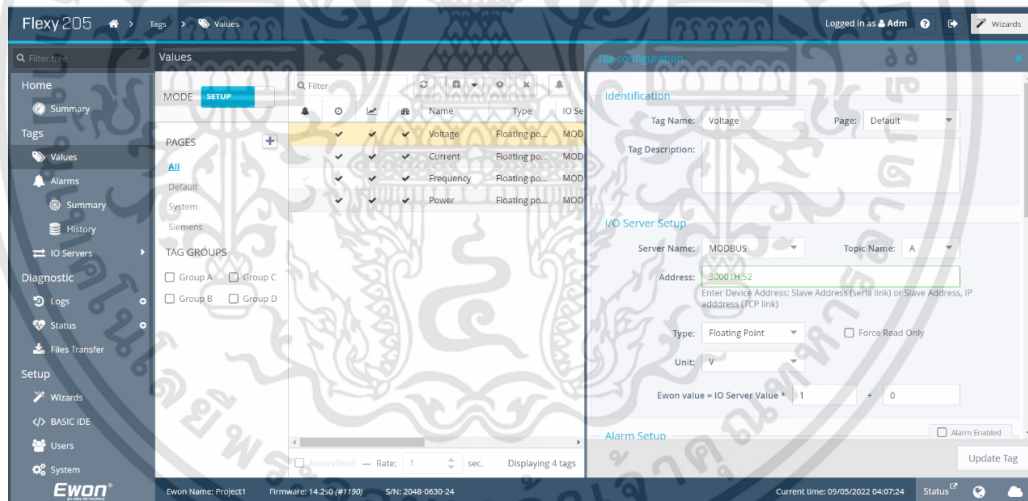
- 4) การนำข้อมูลที่ได้ออกมาแสดงผลผ่าน Local Dashboard เราสามารถเปิดดูข้อมูล ได้จากโดยการคลิกไปที่ และกดอัปเดต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 กำหนดการนำข้อมูลที่ได้ออกไปแสดงผลผ่าน Local

- เป็นส่วนที่สำคัญในการรับ-ส่งข้อมูล การที่เราจะนำข้อมูลต่างๆ ของพาวเวอร์มิเตอร์ DDM18SR โดยชุดข้อมูลที่ใช้อยู่ใน Input Register อยู่ในช่วง 30001-39999 ของ Modbus Register Number และ Slave ID -ของ DDM18SR คือ 52 ซึ่งผู้ใช้งานต้องรู้ว่าชุดข้อมูลที่เราจะรับส่งนั้นอยู่ที่ตำแหน่งไหนและต้องรู้ว่าผู้ใช้งานนั้นกำหนด Slave ID เป็นอะไร จากนั้นถึงจะทำชุดตำแหน่งข้อมูลต่างๆ ลงในโปรแกรม



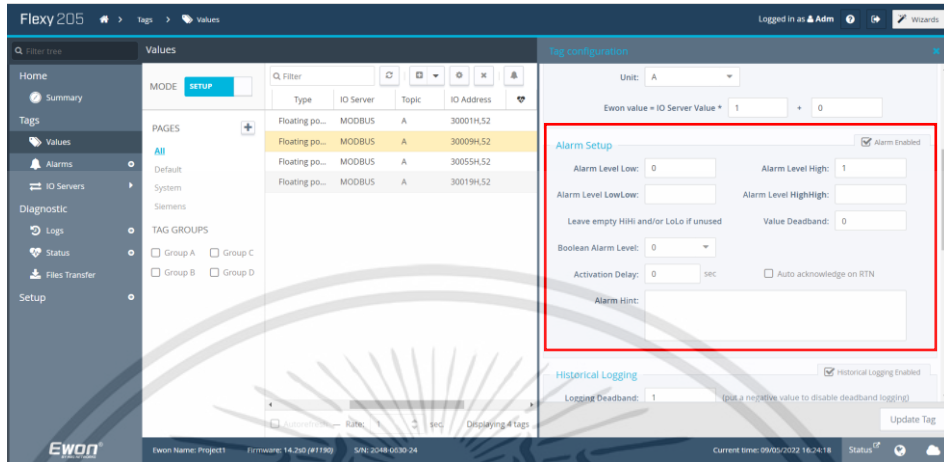
รูปที่ 3.29 ลักษณะการใส่ Address ของ Input Register

ตารางที่ 3.3 Mapping Register สำหรับใช้งานของอุปกรณ์ Flexy205

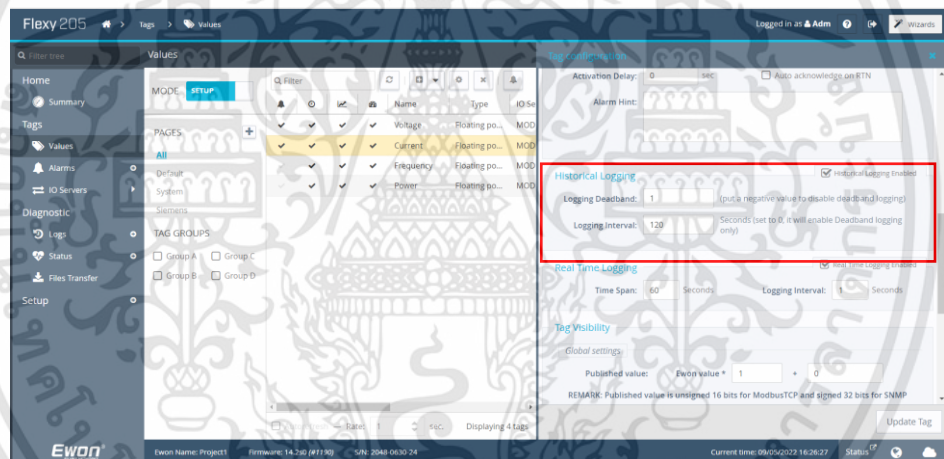
Tag Name	Register
Voltage	30001
Current	30002
Power	30019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

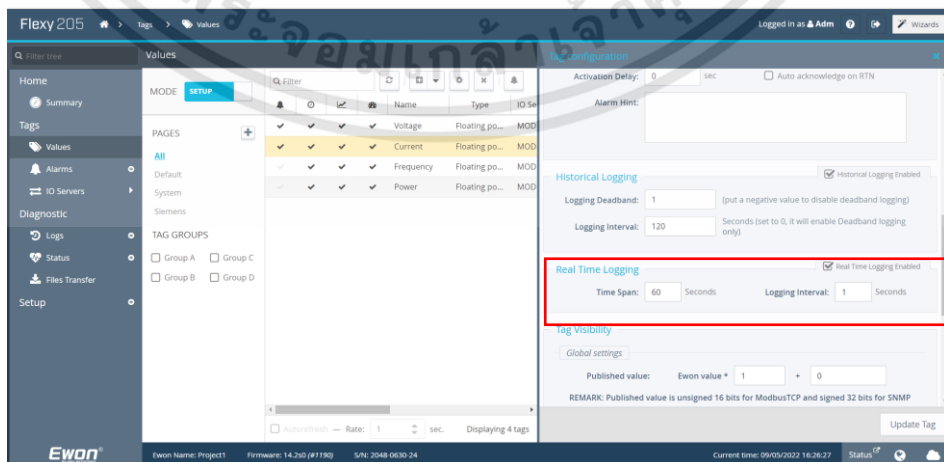
- 6) ในส่วนต่อมาคือการกำหนดพารามิเตอร์ในการเก็บข้อมูล กำหนดการแจ้ง Alarm เมื่อมีค่า Low และ Hight และแสดงในลักษณะกราฟของข้อมูลแบบเรียลไทม์โปรแกรม Ewon Flexy205



รูปที่ 3.30 กำหนดการแจ้ง Alarm เมื่อมีค่า Low และ Hight



รูปที่ 3.31 การกำหนดพารามิเตอร์ในการเก็บข้อมูล



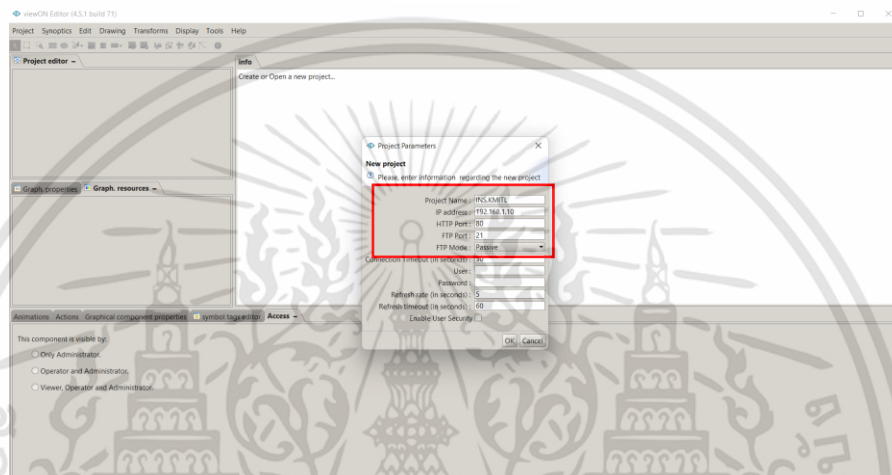
รูปที่ 3.32 การกำหนดพารามิเตอร์แสดงในลักษณะกราฟของข้อมูลแบบเรียลไทม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.1.1 การสร้าง Local DashBoard ในโปรแกรม viewON

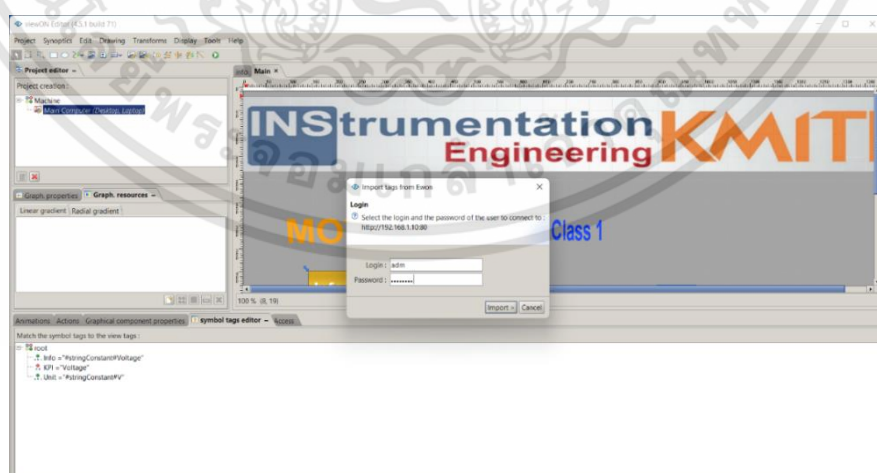
ในส่วนต่อไปคือวิธีการสร้าง Local Dash Broad ผ่านซอฟต์แวร์ view on ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ของ EWON Flexy205 ทำการดาวน์โหลดและติดตั้งโปรแกรม การนั้นเปิดโปรแกรม view on มีขั้นตอนการสร้าง Local Dash Broad ดังนี้

- 1) การตั้งชื่อ Project Name และการใส่ IP Address ของอุปกรณ์ Flexy205



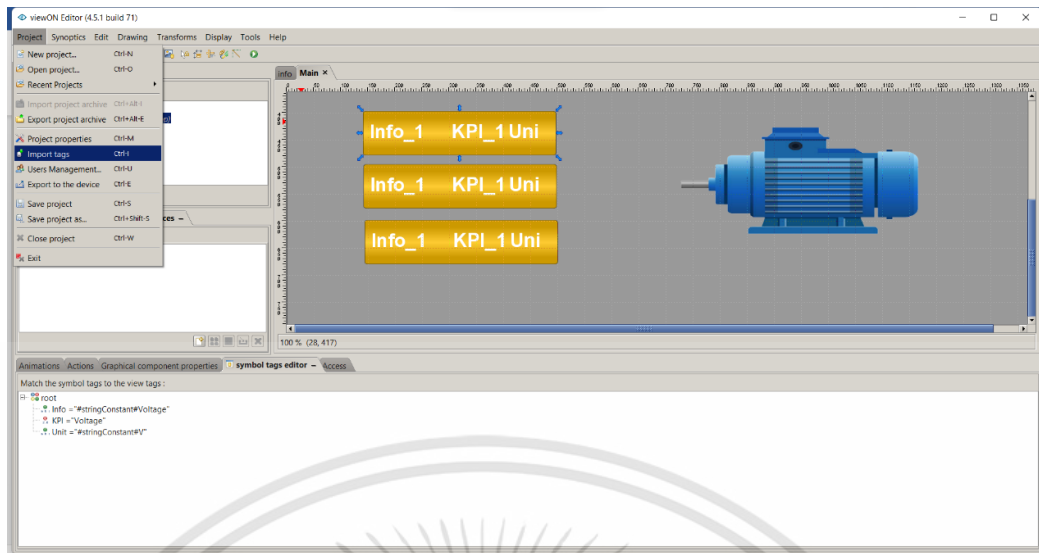
รูปที่ 3.33 การตั้งชื่อ Project Name และการใส่ IP Address

- 2) นำการ Import Tag ของอุปกรณ์ Flexy205 ที่ได้ทำการตั้งค่าไว้ แล้วใส่รหัสที่กำหนดไว้ เพื่อที่โปรแกรมจะสามารถดึงข้อมูลเข้า โปรแกรม viewON ได้



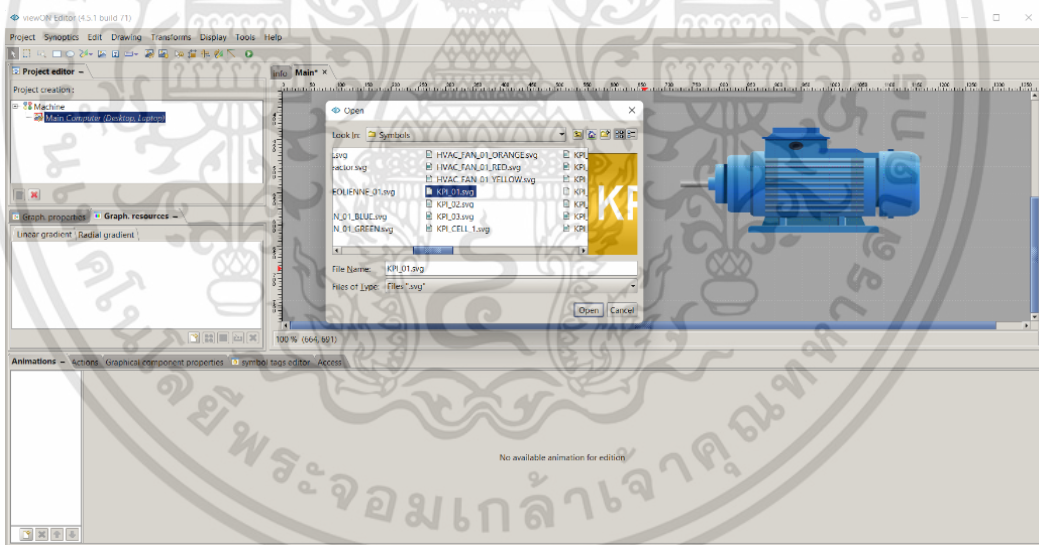
รูปที่ 3.34 ใส่รหัสที่กำหนดไว้ เพื่อที่จะเข้าโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



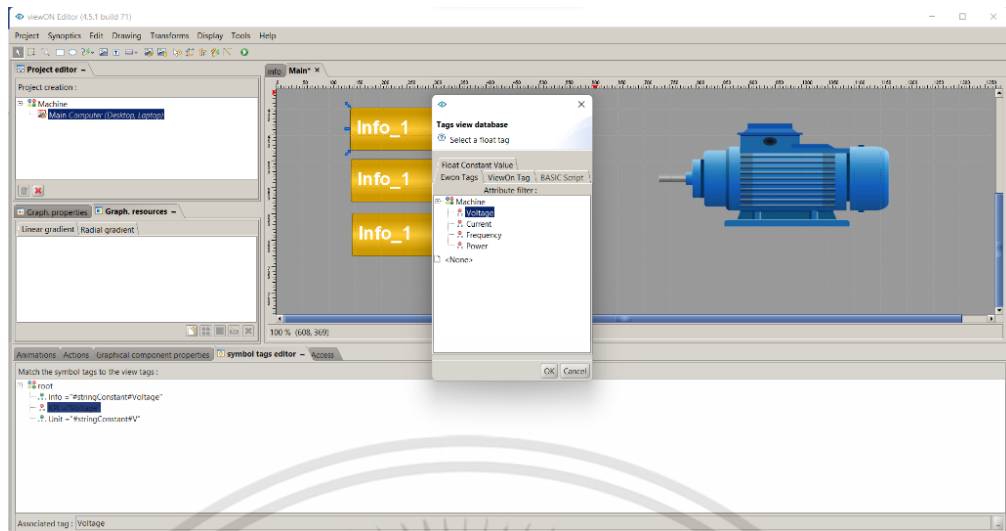
รูปที่ 3.35 การ Import Tag ของอุปกรณ์ Flexy205

- 3) ทำการเลือก KPI Gauge เพื่อที่จะนำ Tag name จากอุปกรณ์ Flexy205 มาแสดงสถานะที่หน้าจอแสดงผลบน Local Dash Broad

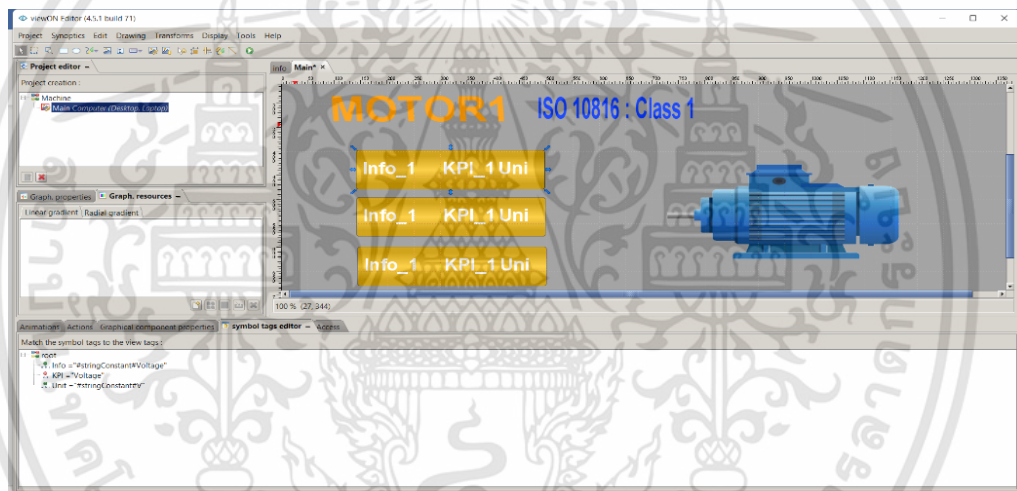


รูปที่ 3.36 การเลือก KPI Gauge เพื่อที่จะนำ Tag name จากอุปกรณ์ Flexy205

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.37 การนำ Tag name จากอุปกรณ์ Flexy205 ลงหน้าจอแสดงผล



รูปที่ 3.38 ตัวอย่างลักษณะหน้าจอแสดงผล

### 3.3.2 การเก็บข้อมูลค่าความเร็ว ADXL345 และแสดงผลผ่าน Node-RED

เมื่อติดตั้งเซนเซอร์บนมอเตอร์และอัปโหลดโปรแกรมลง Arduino Uno สำเร็จแล้ว ในส่วนมาตคือคือการแสดงข้อมูลแบบเรียลไทม์ และแสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา มีวิธีการสร้างหน้าแสดงผลและกำหนดพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

- 1) เรียกใช้งาน Node-RED โดยเปิด Command prompt จากคอมพิวเตอร์และ พิมพ์ node-red และ นำ IP Address -ของ Node-RED ไปเปิดในเว็บเบราว์เซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

C:\node-red
Microsoft Windows [Version 10.0.22000.556]
(c) Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\User>node-red 1
May 18:57:35 - [info]
Welcome to Node-RED
=====
May 18:57:35 - [info] Node-RED version: v2.2.2
May 18:57:35 - [info] Node.js version: v17.7.1
May 18:57:35 - [info] Windows NT 10.0.22000 x64 LE
May 18:57:36 - [info] Loading palette nodes
May 18:57:38 - [info] Dashboard version 3.1.4 started at /ui
May 18:57:39 - [info] Settings file : C:\Users\User\node-red\settings.js
May 18:57:39 - [info] Context store : 'default' (module=memory)
May 18:57:39 - [info] User directory : \Users\User\node-red
May 18:57:39 - [warn] Projects disabled : editorTheme.projects.enabled=false
May 18:57:39 - [info] Flows file : \Users\User\node-red\flows.json
May 18:57:39 - [info] Server now running at http://127.0.0.1:1880/ 2
May 18:57:39 - [warn]

-----
Your flow credentials file is encrypted using a system-generated key.
If the system-generated key is lost for any reason, your credentials
file will not be recoverable, you will have to delete it and re-enter
your credentials.

You should set your own key using the 'credentialSecret' option in
your settings file. Node-RED will then re-encrypt your credentials
file using your chosen key the next time you deploy a change.
-----
May 18:57:39 - [info] Starting flows

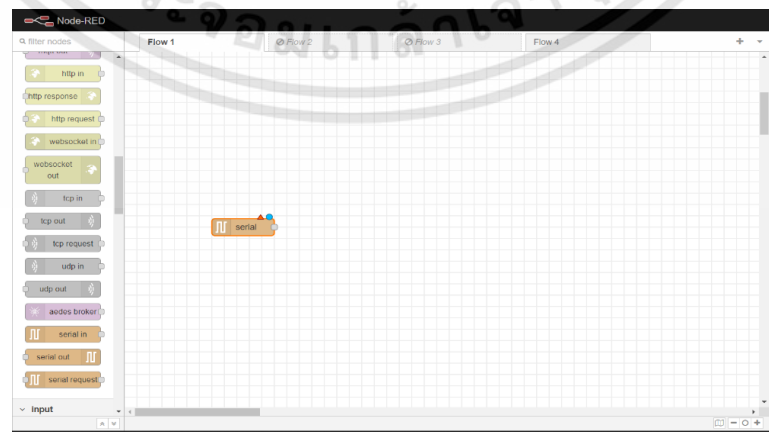
```

รูปที่ 3.39 เรียกใช้งาน Node-RED

- 2) เปิดหน้าเว็บเบราว์เซอร์ขึ้นมา จากนั้นใช้ Function Serial In และทำการกำหนดพารามิเตอร์ดังรูปที่ 3.40

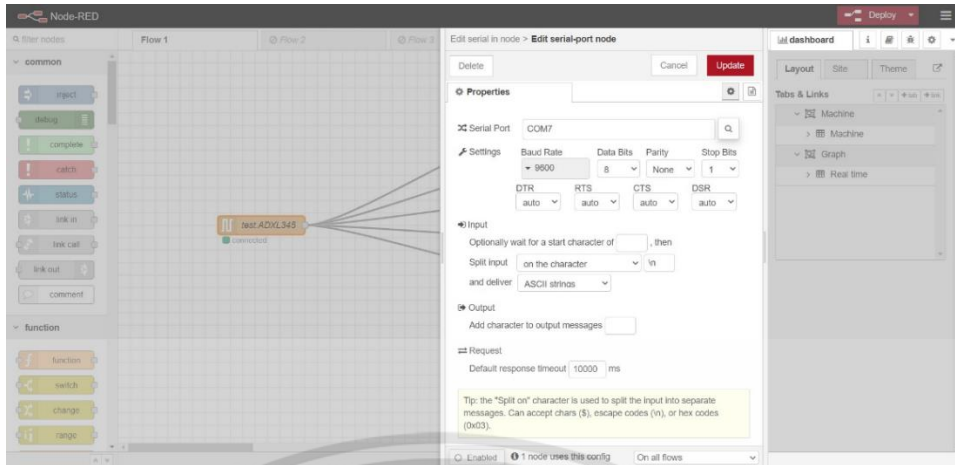


รูปที่ 3.40 หน้าเว็บเบราว์เซอร์ของ Node-RED

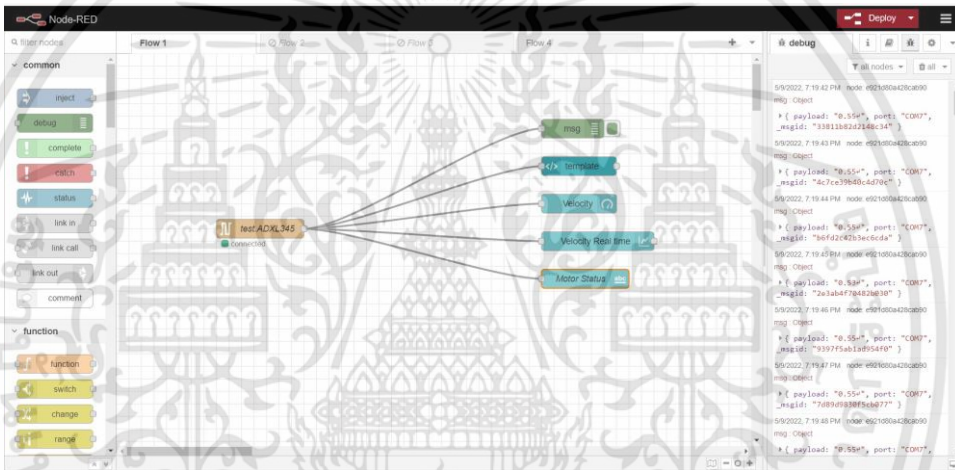


รูปที่ 3.41 ใช้งาน Serial In

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

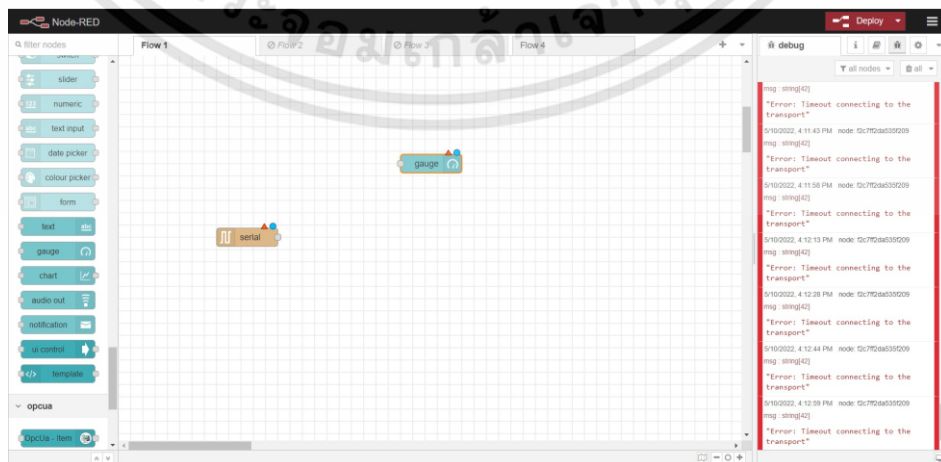


รูปที่ 3.42 การกำหนดพารามิเตอร์ของ Serial In



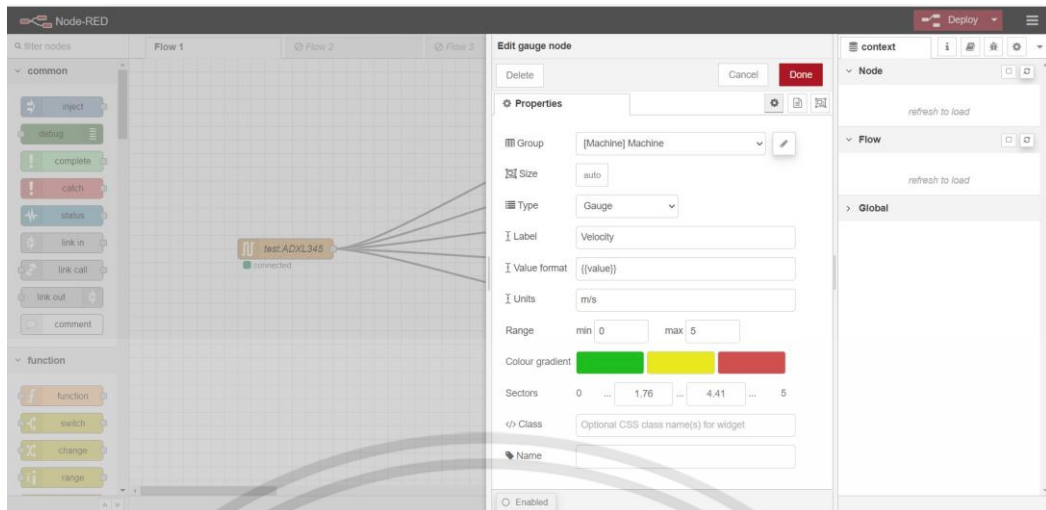
รูปที่ 3.43 เมื่อทำการเชื่อมต่อสำเร็จ จะขึ้นว่า connected

- 3) การสร้าง gauge ลาก gauge มาเชื่อมต่อกับ Serial In ทำการกำหนดพารามิเตอร์ดังรูปที่ 3.44



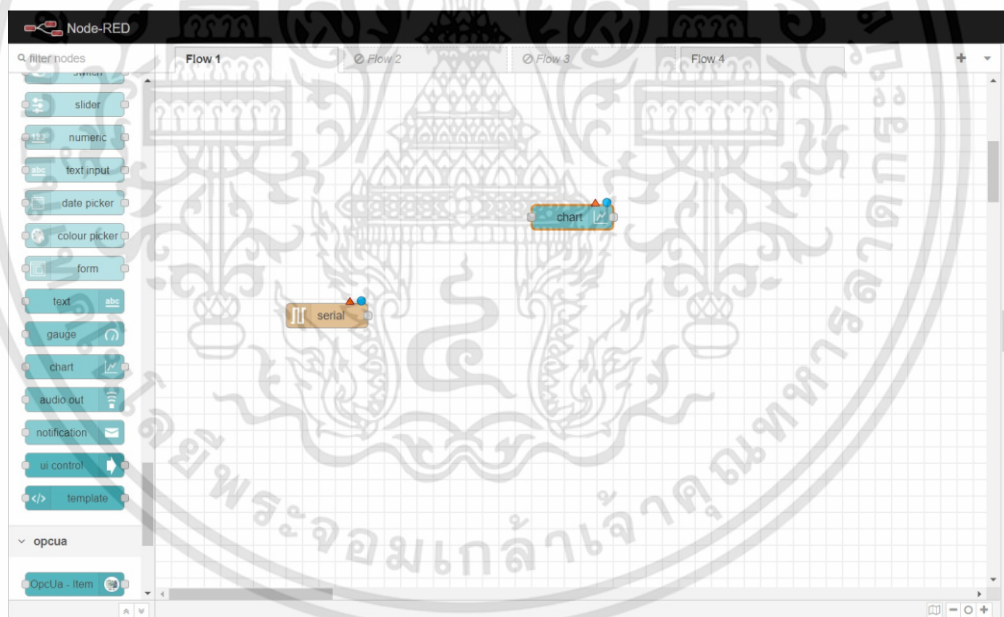
รูปที่ 3.44 การเชื่อมต่อ gauge กับ Serial In

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



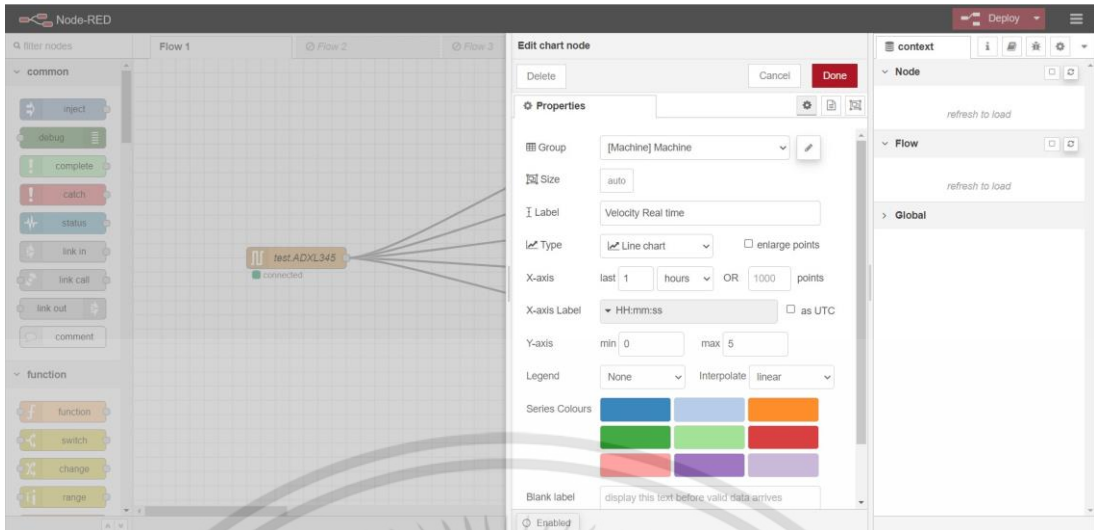
รูปที่ 3.45 การกำหนดพารามิเตอร์ gauge

- 4) การใช้งาน chart ทำการลาก chart แล้วนำมาเชื่อมต่อกับ Serial In จากนั้นทำการกำหนดพารามิเตอร์ดังรูปที่ 3.46



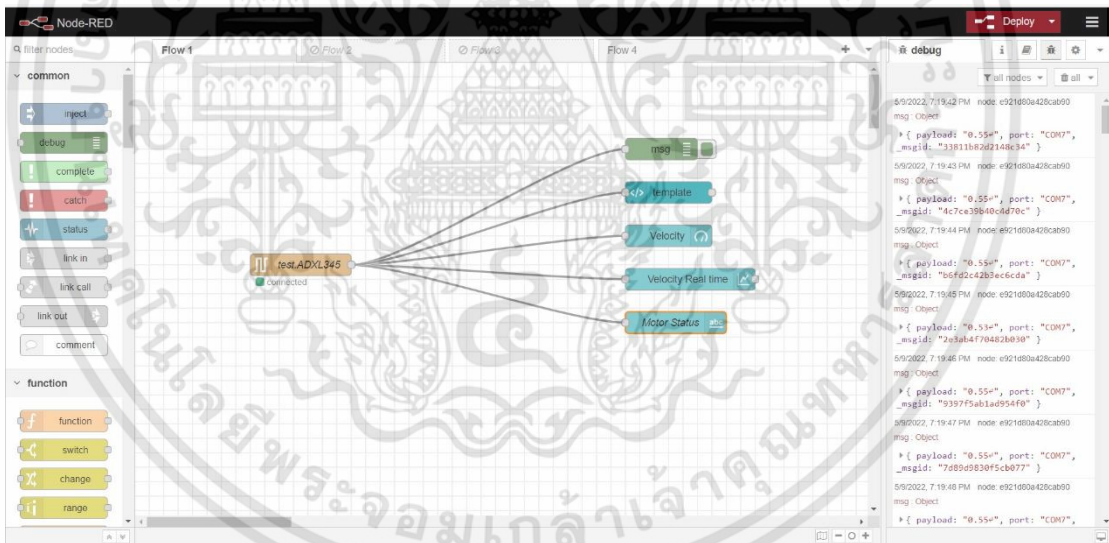
รูปที่ 3.46 การเชื่อมต่อ chart กับ Serial In

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.47 การกำหนดพารามิเตอร์ chart

- 5) เมื่อทำการเชื่อมต่อทุกอย่างเสร็จสิ้นจะมีลักษณะดังรูปนี้และทำการกด Deploy จากนั้นก็สิ้นสุดการแสดงผล



รูปที่ 3.48 ลักษณะการเชื่อมต่อฟังก์ชันต่างๆ กับ Serial In

### 3.4 การติดตั้ง Matlab และการนำเข้าข้อมูลลง Matlab

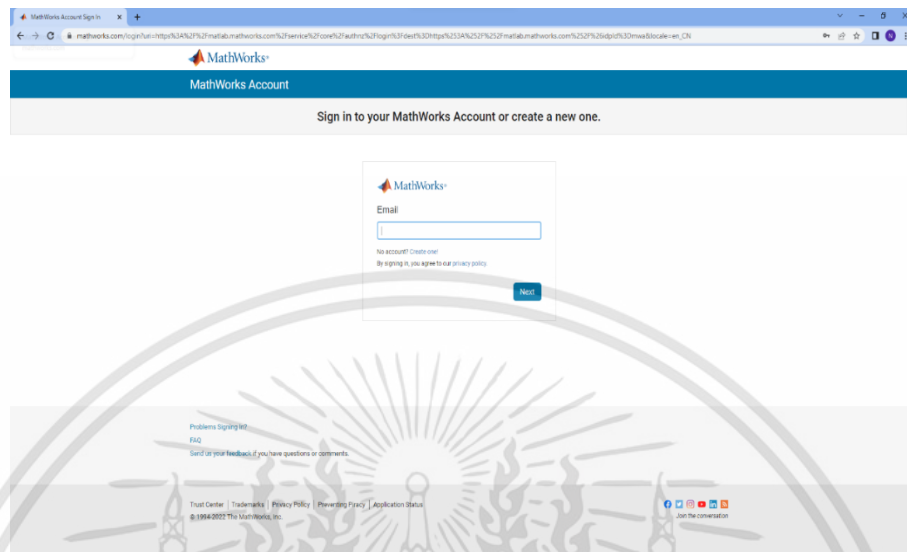
#### 3.4.1 ติดตั้ง Matlab

ทำการติดตั้ง matlab ในเครื่องก่อน โดยการเข้าไปในเว็บ

[<https://www.mathworks.com/login?uri=https%3A%2F%2Fmatlab.mathworks.com%2Fservice%2Fcore%2Fauthnz%2Flogin%3Fdest%3Dhttps%253A%252F%252Fmatlab.mat>

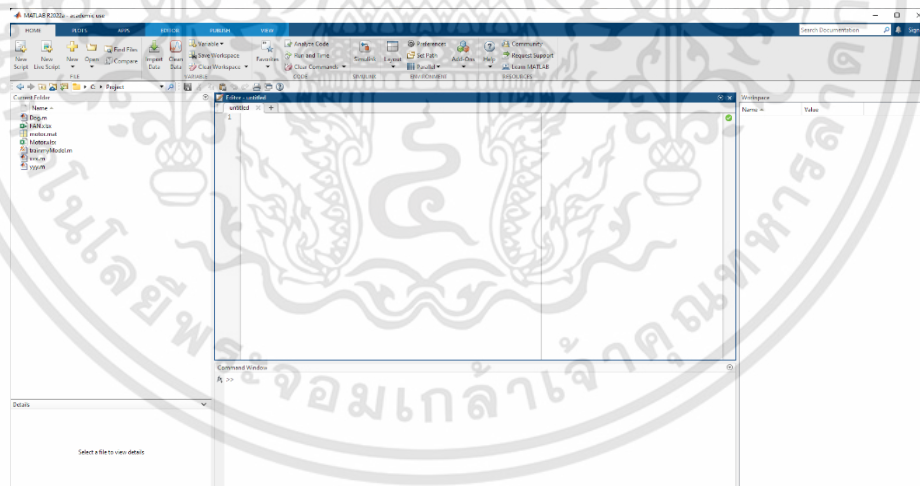
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

hworks.com%252F%26idpld%3Dmwa&locale=en\_CN แล้ว login เข้าไปถ้าใครเป็นนักศึกษาสามารถจะใช้ licence ของมหาลัยได้



รูปที่ 3.49 หน้าเว็บ Download Matlab

เมื่อทำการติดตั้ง โปรแกรมเสร็จแล้วจะได้หน้าต่างดังรูปที่ 3.50

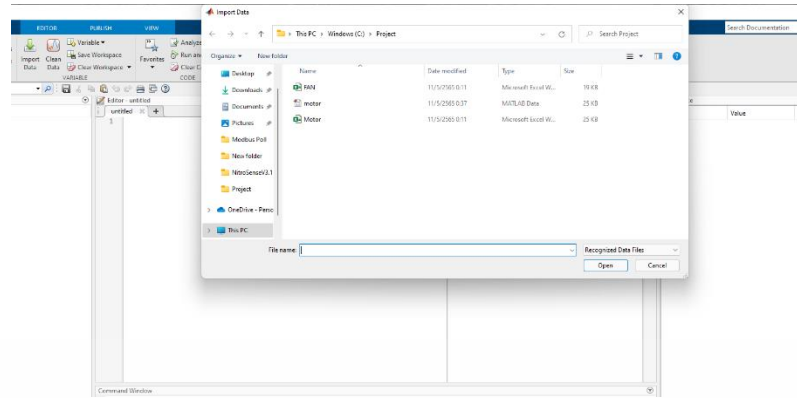


รูปที่ 3.50 หน้าต่างโปรแกรม Matlab

### 3.4.2 การนำข้อมูลมาใช้ใน Matlab

ทำการimport ค่า จาก excel มาใช้โดยใช้ function ของ Matlab import data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



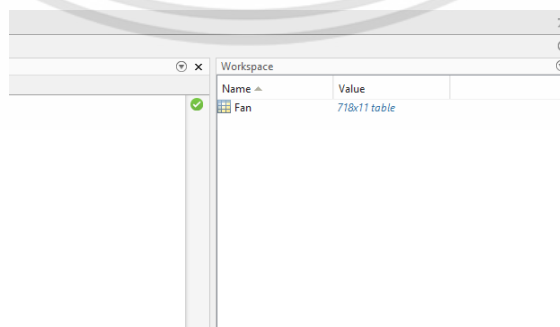
รูปที่ 3.51 กัด Import Data

เมื่อกัดแล้วให้เลือก column และ row ที่ต้องการและกด import selection

hour	Current	Voltage	axisX	axisY	axisZ	squareX	squareY	squareZ	sumAxis	velocity
1	0.1820	228.8000	0.0900	0.0900	0.8700	0.0081	0.0081	0.7569	0.8892	0.5663
2	0.1810	228.8000	0.0600	-0.0200	0.8800	4.0000e-04	4.0000e-04	0.7744	0.8805	0.5608
3	0.1820	229	0.0300	-0.0100	0.8900	1.0000e-04	1.0000e-04	0.7744	0.8901	0.5670
4	0.1820	228.9000	0.1600	0.0200	0.8900	4.0000e-04	4.0000e-04	0.7921	0.8605	0.5481
5	0.1810	228.7000	0.0200	0.0300	0.8600	9.0000e-04	9.0000e-04	0.7396	0.8610	0.5484
6	0.1820	228.9000	0.1100	0.0400	0.8900	0.0116	0.0016	0.7396	0.8519	0.5426
7	0.1820	229.1000	0.0600	0.0400	0.8500	0.0016	0.0016	0.7225	0.8419	0.5362
8	0.1810	228.8000	0.0900	0.0900	0.8400	0.0081	0.0081	0.7056	0.8406	0.5411
9	0.1810	228.9000	0.0900	0.0800	0.8400	0.0064	0.0064	0.7056	0.8375	0.5462
10	0.1810	228.6000	0.0500	0.1500	0.8500	0.0225	0.0225	0.7225	0.8858	0.5642
11	0.1810	228.7000	0.0500	0.0700	0.8600	0.0049	0.0049	0.7396	0.8061	0.5134
12	0.1810	228.9000	0.2800	0.2200	0.8000	0.0484	0.0484	0.6400	0.8584	0.5467
13	0.1810	228.8000	0.2300	0.3200	0.8000	0.1024	0.1024	0.6400	0.9541	0.6077
14	0.1820	229.1000	-0.0100	0.0900	0.8400	0.0081	0.0081	0.7056	0.8694	0.5537
15	0.1820	229.2000	0	0.0800	0.8500	0.0064	0.0064	0.7396	0.8278	0.5272
16	0.1820	228.5000	0.0100	0.1000	0.8200	0.0100	0.0100	0.6724	0.8221	0.5303
17	0.1810	229.2000	0.0200	0.1100	0.8200	0.0121	0.0121	0.6724	0.8445	0.5378
18	0.1810	229.2000	0	0.1200	0.8300	0.0144	0.0144	0.6889	0.8570	0.5458
19	0.1810	229.3000	0.0200	0.1200	0.8400	0.0144	0.0144	0.7056	0.9060	0.5771
20	0.1810	229.1000	0.0300	0.1100	0.8900	0.0121	0.0121	0.7921	0.8346	0.5316
21	0.1810	229.1000	0.0200	0.1300	0.8200	0.0169	0.0169	0.6724	0.8599	0.5477

รูปที่ 3.52 เลือก column และ row

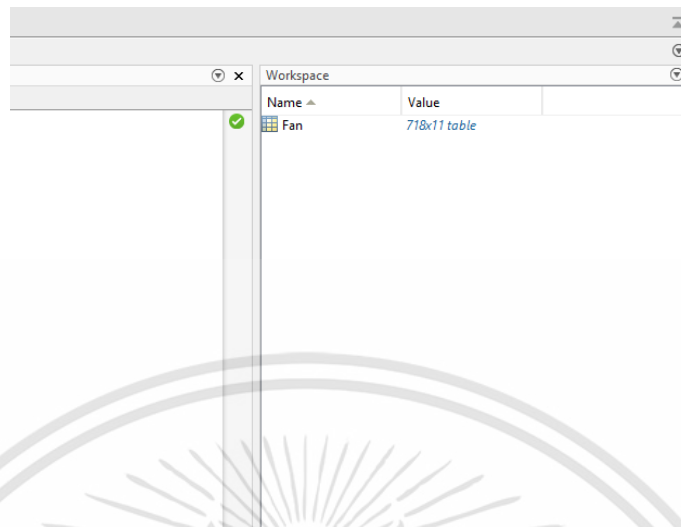
เมื่อทำการกด import selection เสร็จ จะได้หน้าต่างแบบนี้ ไฟล์จะอยู่ใน workspace



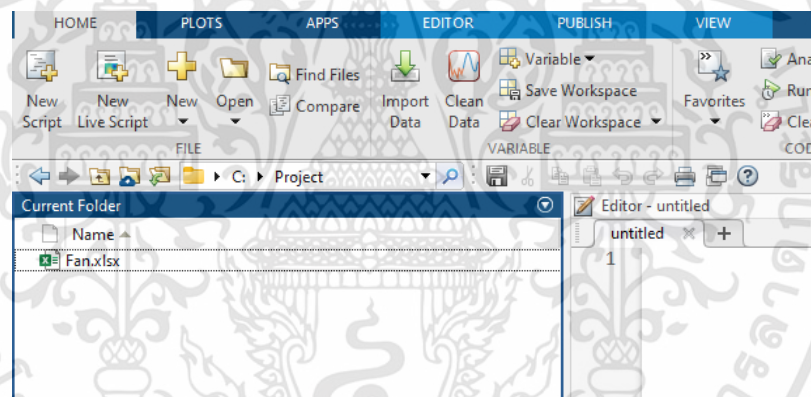
รูปที่ 3.53 ไฟล์ที่ import อยู่ใน workspace

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นลากไฟล์จาก workspace ไปที่ current folder แล้วทำการตั้งชื่อไฟล์ข้อมูล



รูปที่ 3.54 ลากไฟล์ข้อมูล ไป ที่ Current folder



รูปที่ 3.55 ลากไฟล์ข้อมูล ไป ที่ Current folder

### 3.5 การนำข้อมูลมาทำเป็น FFT

ผู้จัดทำต้องนำค่าแปลงเป็น FFT เนื่องจากจะดูความถี่ของค่า ที่มีการเปลี่ยนแปลงในการเก็บค่า 3 เดือนของเราพร้อมเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการทดลองคือพัดลมกับมอเตอร์ 1 เฟส เมื่อ import ค่ามาเข้า workspace ได้แล้ว สามารถนำค่านั้นมาทำต่อได้ โดยรูปนี้ผู้จัดทำได้อา ref code มาใช้และปรับให้เข้ากับ scale ที่ผู้จัดทำวางไว้

#### 3.5.1 การทำในรูป Time domain

ในรูปที่ 3.56 คือการแปลงข้อมูลเราให้อยู่ในรูป time domain เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

1 D = xlsread('fantest.xlsx - Sheet2.xlsx');
2 t = xlsread('fantest.xlsx - Sheet2.xlsx', 'A2:A718');
3 s = xlsread('fantest.xlsx - Sheet2.xlsx', 'D2:D718');
4 figure
5 plot(t, s)
6 grid
7 xlabel('Time (s)')
8 ylabel('V')
9 Ts = mean(diff(t)); % Sampling Interval
10 Fs = 1/Ts; % Sampling Frequency
11 Fn = Fs/2; % Nyquist Frequency
12 L = numel(t); % Signal Length
13 sm = s - mean(s); % Mean-Corrected Signal (Eliminates 0 Hz Offset)
14 FTs = fft(sm)/L; % Fourier Transform
15 Fv = linspace(0, 1, fix(L/2)+1)*Fn; % Frequency Vector
16 Iv = 1:numel(Fv); % Index Vector
17 [MaxV, idx] = max(abs(FTs(Iv))*2); % Maximum V & Index
18 Freq = Fv(idx); % Frequency Of Maximum V
19 figure
20 plot(Fv, abs(FTs(Iv))*2)
21 grid
22 text(Freq, MaxV, sprintf('\leftarrow %.4f V, %.0f Hz', MaxV, Freq), 'HorizontalAlignment','left')

```

รูปที่ 3.56 โปรแกรม ของ time domain

### 3.5.2 การทำในรูป frequency domain

ในหน้านี้อคือการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูป frequency domain

```

1 clc;
2 clear all;
3 close all;
4 Filepath = 'C:\Users\Baifern\Documents\MATLAB\';
5 Filename = 'fantest.xlsx';
6 Time = xlsread('fantest.xlsx - Sheet2.xlsx', 'A2:A718'); % เวลา ใช้หน่วย hours
7 Acceleration = xlsread('fantest.xlsx - Sheet2.xlsx', 'F2:F718'); % ความเร่งต่อสมมุติ (m/s^2)
8 n = length(Acceleration);
9 Ts = Time(2)-Time(1); % Sample Time
10 Fs = 1/Ts; % Sampling Frequency
11 NFFT = 2^nextpow2(n); % Next power of 2 from length of data
12 Y = fft(Acceleration,NFFT)/n;
13 f = Fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);
14 Iv = 1:length(f); % Index Vector
15 plot(f,abs(Y(Iv)))
16 xlabel('Axis 2 Frequency (Hz)')
17 ylabel('Amplitude (m)')

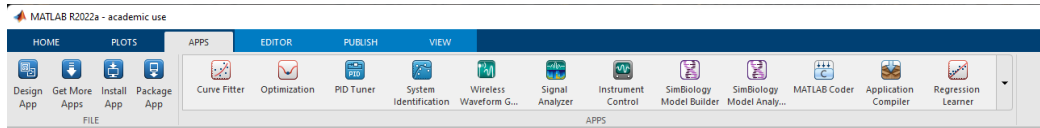
```

รูปที่ 3.57 โปรแกรม ของ frequency domain

### 3.6 การนำเข้าข้อมูลทำ Regression learner

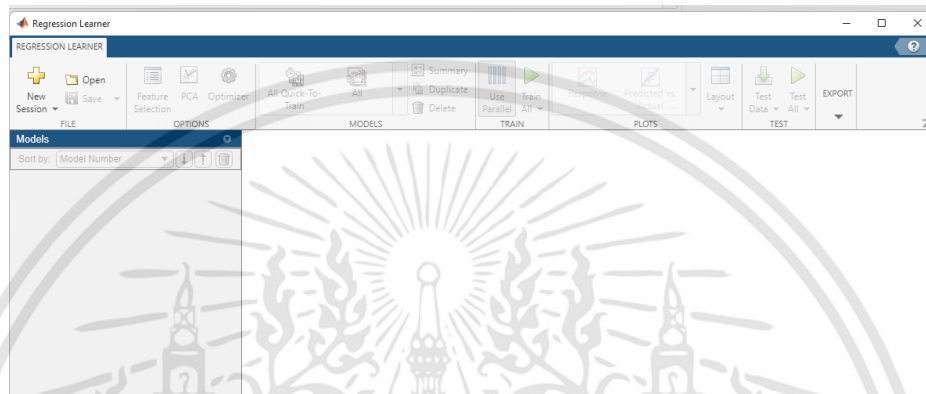
ผู้จัดทำได้ทำการนำข้อมูลมาทำโมเดลและการทำนายค่า โดยได้ใช้ function ใน matlab คือ regression learner ได้ทำการใช้หลาย Model ในการทำโดย Model ที่เราใช้มี Fine tree medium tree Neural Network Gaussian Exponential ไปเลือกฟังก์ชัน APPS เพื่อเลือก regression learner

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



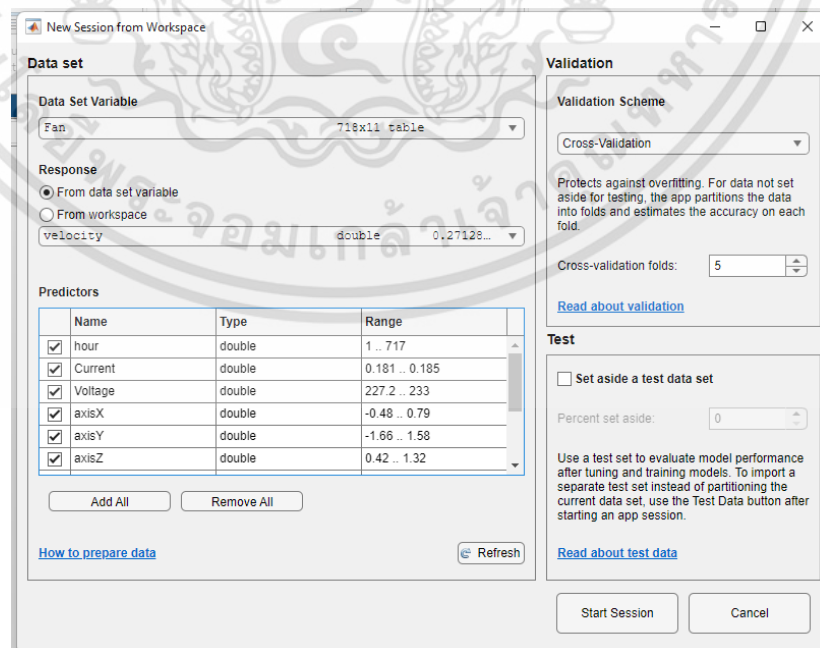
รูปที่ 3.58 หน้าต่าง APPS และฟังก์ชัน

เมื่อทำการกดเลือก regression learner แล้วจะได้หน้าต่างแบบดังรูปที่ 3.72



รูปที่ 3.59 หน้าต่าง learner regression

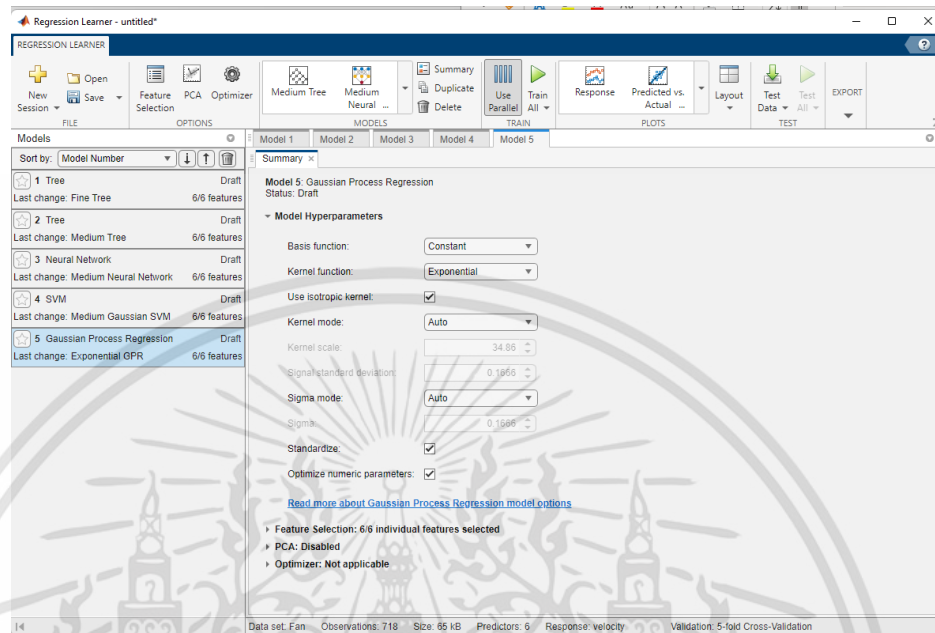
กดตรงซ้ายมือสุด New Session เพื่อเริ่มต้นการใช้เมื่อเรียกขึ้นมาแล้ว จะเห็นว่า Data set variable นั้นคือ data ในตอนแรก ที่ผู้จัดทำ import เข้า workspace จะมี function ให้เลือกกว่า อันไหนคือตัวแปรต้นอันไหนคือตัวแปรตาม



รูปที่ 3.60 การกำหนดพารามิเตอร์ค่าของ Model

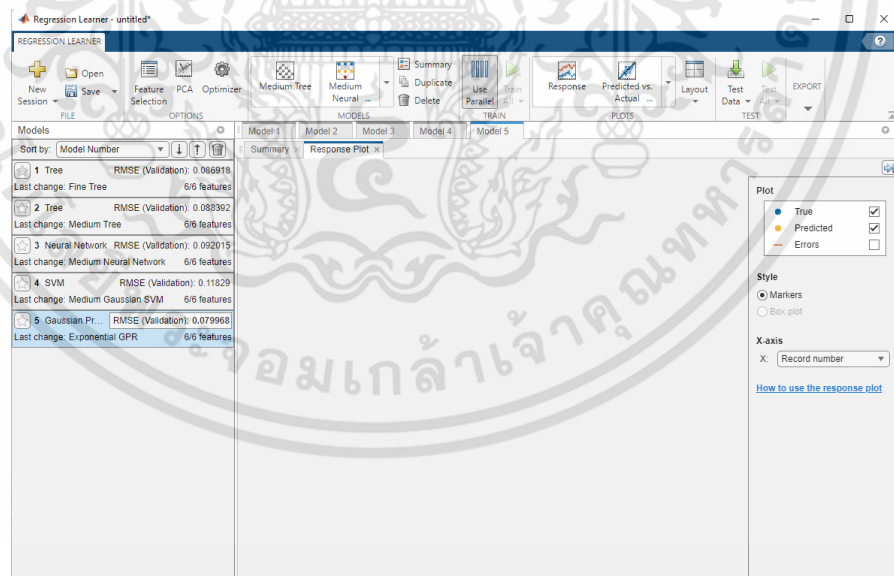
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกด start session จะได้หน้าต่างแบบนี้แล้วให้เลือก model ที่ต้องการใช้ตรงข้างบน แถบเครื่องมือจะมีให้เลือก model



รูปที่ 3.61 เลือก Model ที่ต้องการใช้

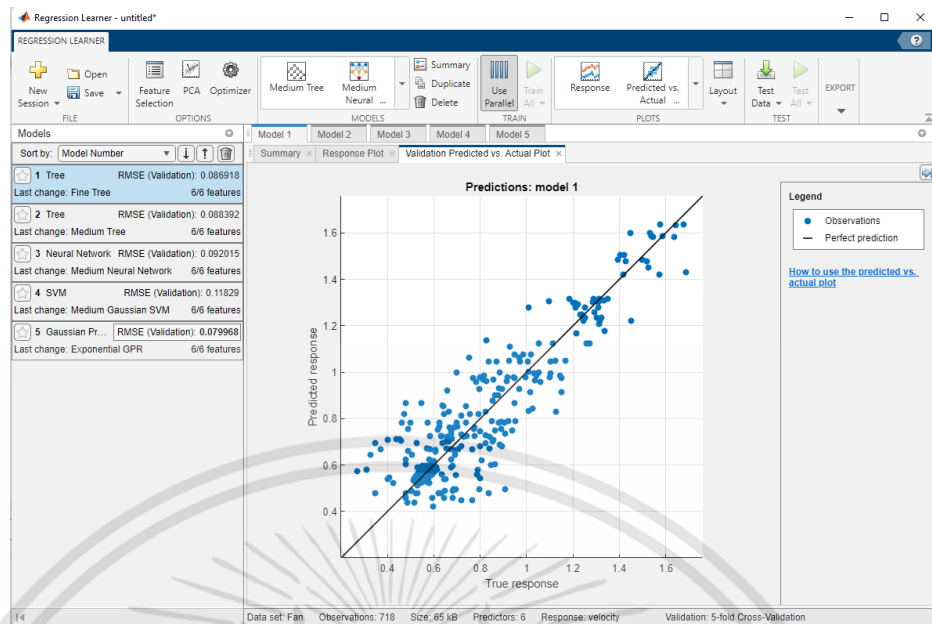
หลังจากนั้นให้กด train all เพื่อทำการ train โมเดลทั้งหมดที่ได้เลือกไว้



รูปที่ 3.62 ได้ทำการ train model แล้ว

จากนั้นให้ทำการ กด fuction ในแถบเมนูข้างบน ที่ชื่อ predicted vs actual เพื่อเปรียบเทียบค่าจริงกับค่าที่มัน predic ออกมา โดยให้กด ทุกโมเดลเหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.63 ได้ทำการ train model แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# การนำเสนอผลของข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

### 4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้ เป็นการกล่าวถึงการนำข้อมูลจากเซนเซอร์ที่ใช้แสดงสถานะของเครื่องจักรที่ใช้ในการทดลองซึ่งจะมีมอเตอร์ที่มีกำลังไม่เกิน 15 Kw และพัดลม 50 w นำข้อมูลมาแสดงผลผ่าน Dashboard ที่ผู้ทำสร้างขึ้นและจะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์ข้อมูลในโปรแกรม Matlab โดยผู้จัดทำได้ทำการเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์ที่ใช้ในการทดลอง

### 4.2 ผลการแสดงผลผ่านหน้าจอแสดงผล

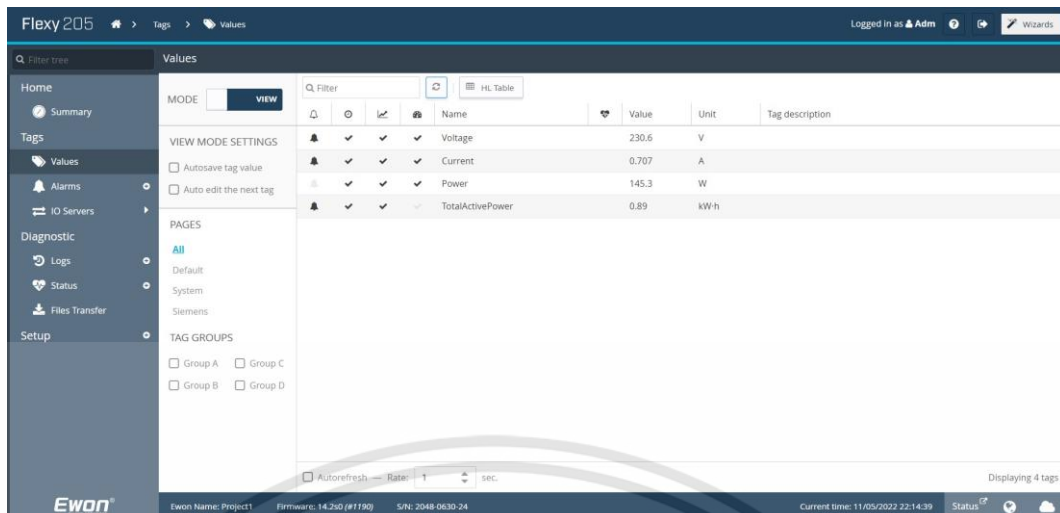
ผลการดำเนินงาน ที่นำข้อมูลจากเซนเซอร์ ADXL345, DDM18SR มาแสดงผลบน DashBoard ที่ผู้จัดทำโครงการนี้ใช้งาน

#### 4.1.1 โปรแกรม EWON

ข้อมูลทางไฟฟ้าจาก Power Meter DDM18SR ดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลทางไฟฟ้าจาก Power Meter DDM18SR

Device name	Value
Voltage	230.6
Current	0.707
Power	145.3



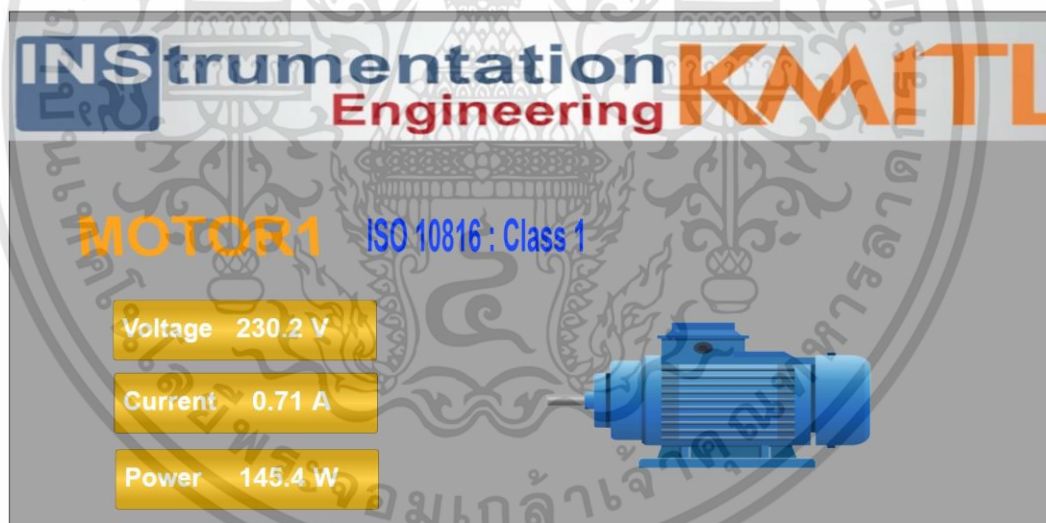
The screenshot shows the Ewon Flexy205 web interface. The main content area displays a table of tag values. The table has columns for Name, Value, Unit, and Tag description. The data is as follows:

Name	Value	Unit	Tag description
Voltage	230.6	V	
Current	0.707	A	
Power	145.3	W	
TotalActivePower	0.89	kWh	

รูปที่ 4.1 แสดงค่า Voltage Current Power ผ่าน Ewon Flexy205

### 1.1.2 Local Dashboard แสดงค่าทางไฟฟ้าบนโปรแกรม Ewon Flexy

นำค่าทางไฟฟ้าที่ดึง Tag name มาจากโปรแกรม Ewon Flexy นำมาสร้าง Dashboard แสดงค่าไฟฟ้าที่ได้ ดังรูปที่ 4.2

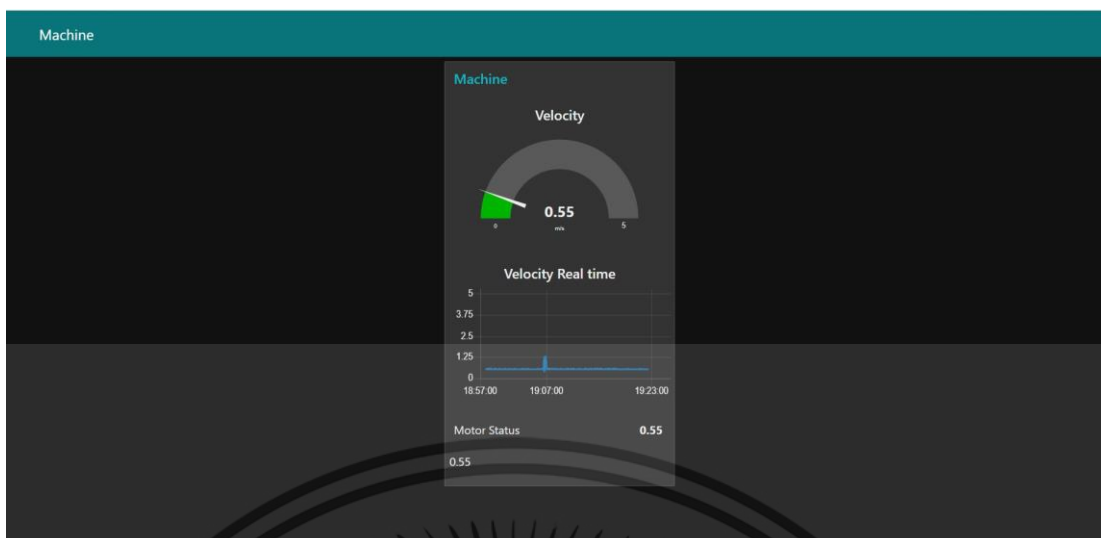


รูปที่ 4.2 Local Dashboard ของ Ewon Flexy205

### 4.1.3 Dashboard แสดงค่าความเร็วของมอเตอร์บนเว็บ Node-RED

นำค่าความเร็วที่ได้จากบอร์ด Arduino Uno นำมาเชื่อมต่อกับ Node-red และทำการสร้าง Dashboard และแสดงผลที่ได้ดังรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



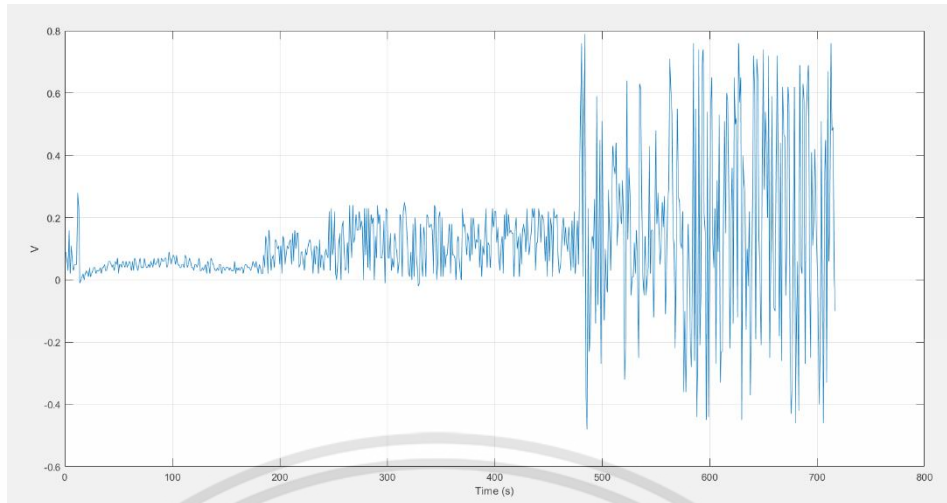
รูปที่ 4.3 Dashboard ของ Node-RED

### 4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

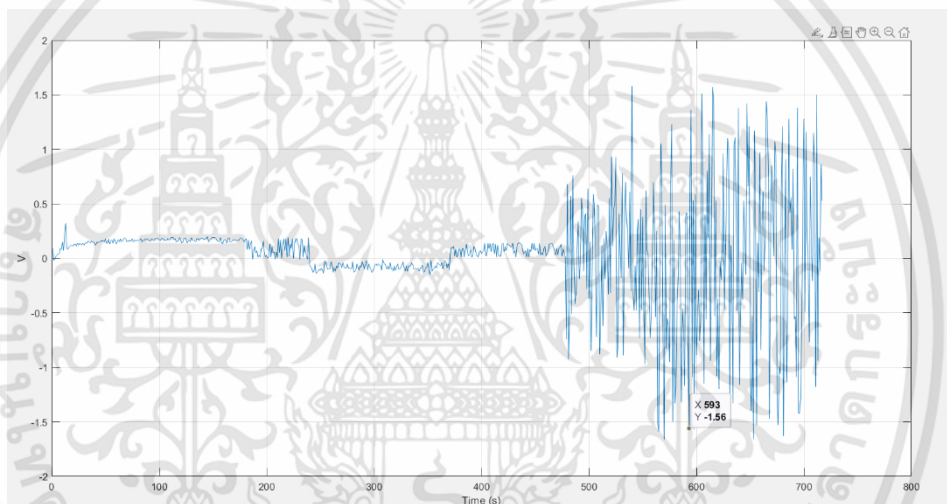
โดยในส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูลผู้จัดทำจะกล่าวถึงผลของการทดลองในการวิเคราะห์พฤติกรรมการสั่นของมอเตอร์และพัดลม ในรูปแบบเวลาและความถี่ จากนั้นจะกล่าวถึงผลของข้อมูลที่นำไปทำ Fast Fourier Transform เพื่อแสดงผลการวิเคราะห์ในแต่ละรูปแบบด้วยโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่เลือกใช้ในการคำนวณ และนำเสนอการที่มีความสัมพันธ์ค่าตัวแปรต้นจากข้อมูลดิบและค่าตัวแปรตามที่ได้จากสมการมีค่าใกล้เคียงกันสูงโดยจากการคำนวณมีค่า R-Squared ที่สุด ซึ่งจะเลือกรูปแบบนี้เพื่อไปทำการทำนายถึงระยะเวลาในการบำรุงรักษา

#### 4.3.1 กราฟของค่าความเร่งแต่ละแกนของพัดลมในรูปของเวลา

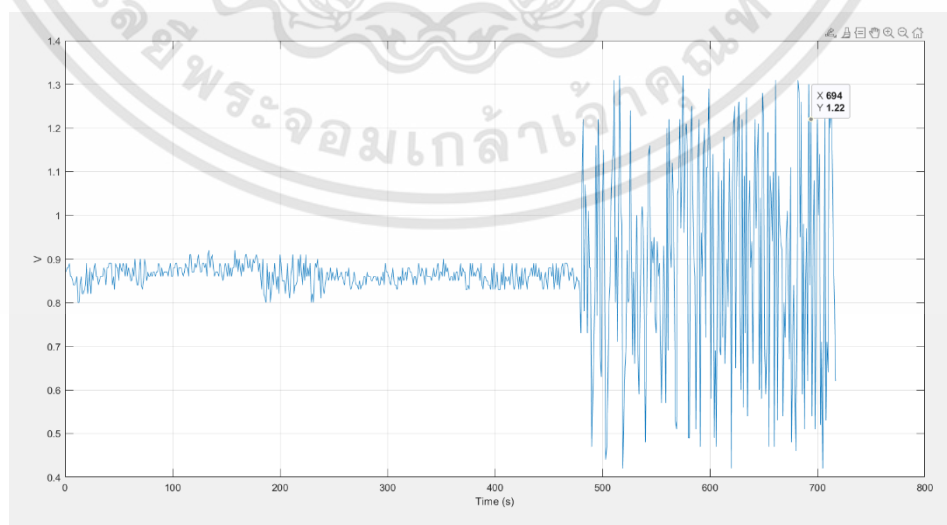
การสั่นของแกน x ในแต่ละช่วงเวลาการทดลอง จะสังเกตได้ว่าช่วงประมาณชั่วโมงที่ 1 ถึงชั่วโมงที่ 200 มีพฤติกรรมการสั่นใกล้เคียงกัน ช่วงชั่วโมงที่ 200 ไปจนถึงชั่วโมงที่ 480 จะมีพฤติกรรมการสั่นคล้ายกันโดยมีขนาดของแอมพลิจูดสูงกว่าช่วงแรก และชั่วโมงที่ 480 ขึ้นไปเกิดการสั่นที่รุนแรงโดยสังเกตได้จากขนาดของแอมพลิจูดมีค่าสูงที่สุด ดังแสดงในภาพที่



รูปที่ 4.4 แสดงพฤติกรรมการสั่นของพัลลภแกน X ในรูปของตัวแปรเวลา



รูปที่ 4.5 แสดงพฤติกรรมการสั่นของพัลลภแกน Y ในรูปของตัวแปรเวลา

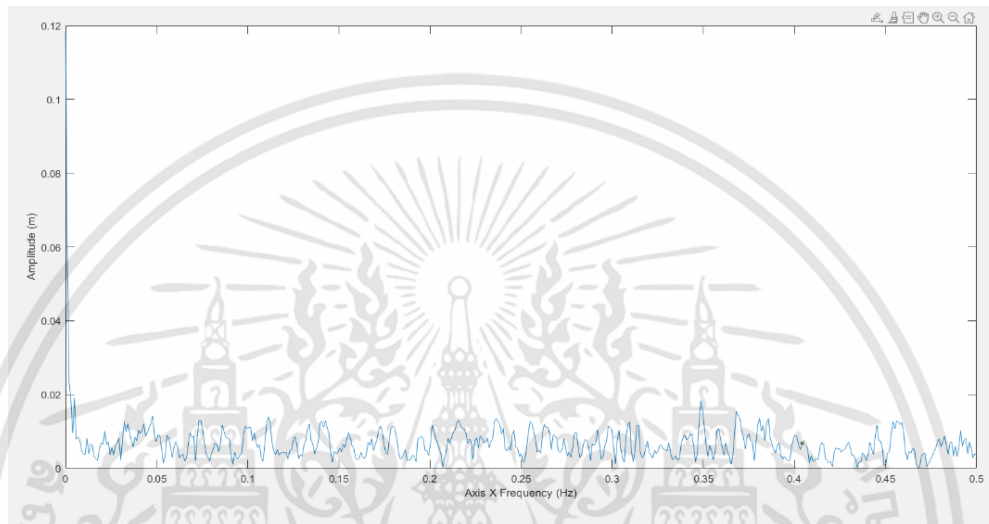


รูปที่ 4.6 แสดงพฤติกรรมการสั่นของพัลลภแกน Z ในรูปของตัวแปรเวลา

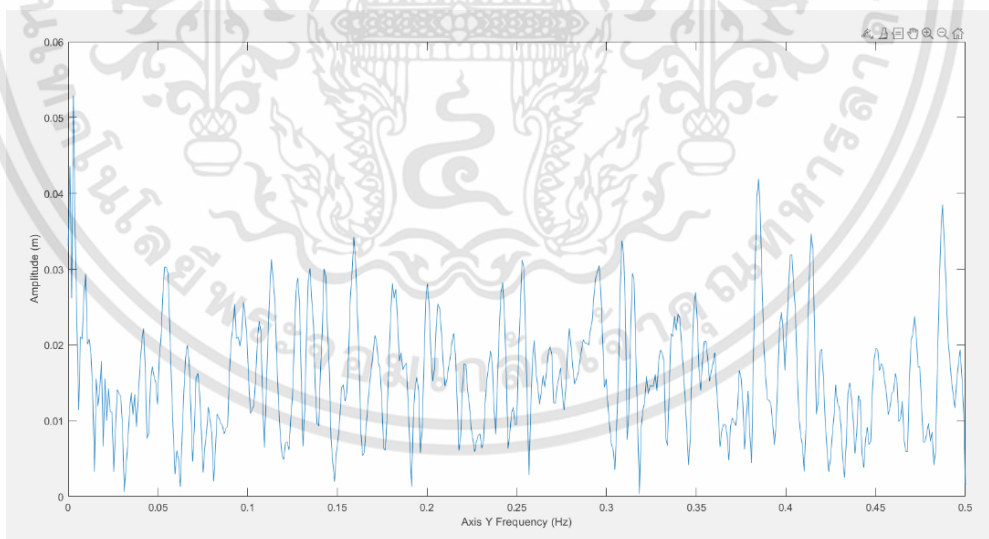
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.2 กราฟของค่าความเร่งแต่ละแกนของพัลลมในรูปของความถี่

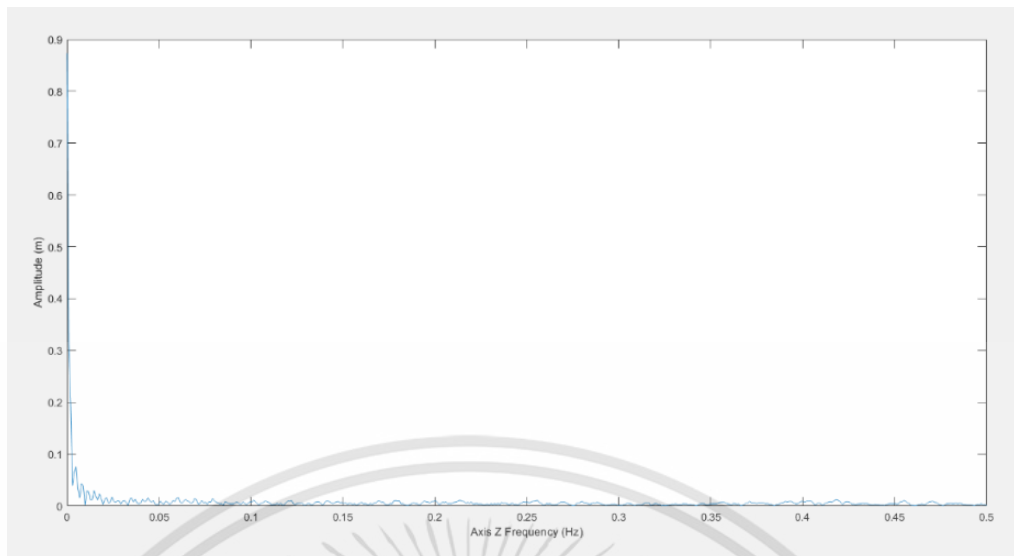
การสั่นของแกน x ในแต่ละช่วงเวลาการทดลอง จะสังเกตได้ว่าช่วงประมาณชั่วโมงที่ 1 ถึงชั่วโมงที่ 200 มีพฤติกรรมการสั่นใกล้เคียงกัน ช่วงชั่วโมงที่ 200 ไปจนถึงชั่วโมงที่ 480 จะมีพฤติกรรมการสั่นคล้ายกันโดยมีขนาดของแอมพลิจูดสูงกว่าช่วงแรก และชั่วโมงที่ 480 ขึ้นไปเกิดการสั่นที่รุนแรงโดยสังเกตได้จากขนาดของแอมพลิจูดมีค่าสูงที่สุด



รูปที่ 4.7 แสดงพฤติกรรมการสั่นของพัลลมแกน X ในรูปของตัวแปรความถี่

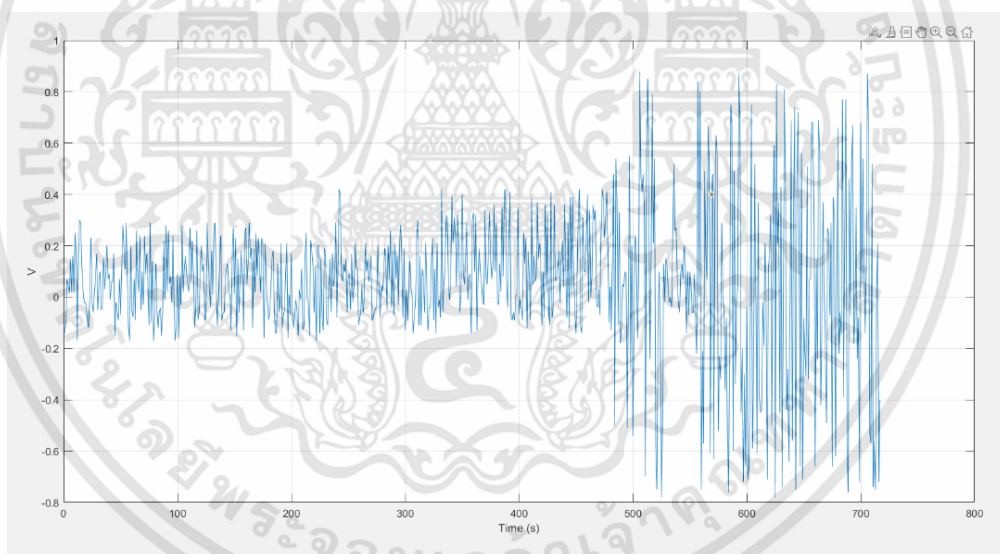


รูปที่ 4.8 แสดงพฤติกรรมการสั่นของพัลลมแกน Y ในรูปของตัวแปรความถี่



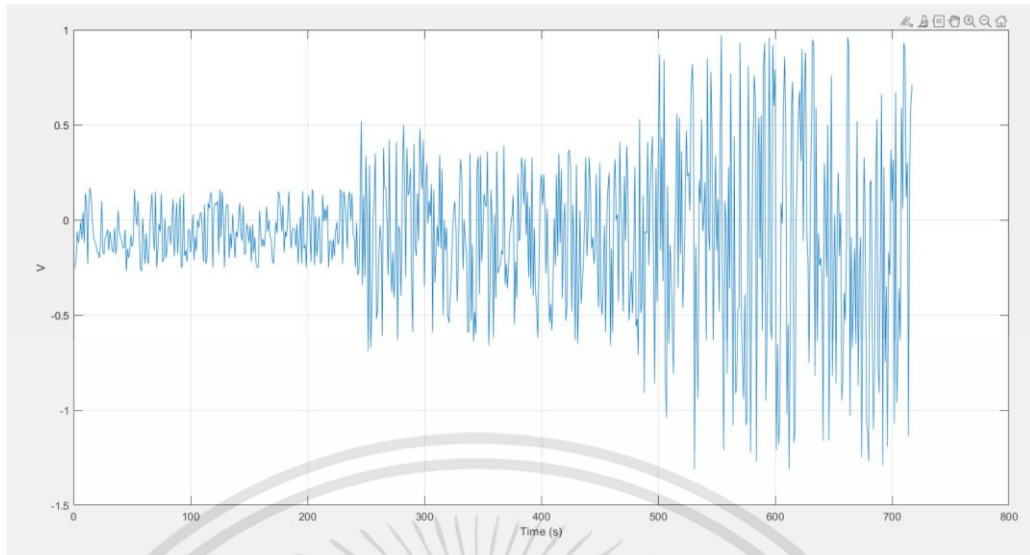
รูปที่ 4.9 แสดงพฤติกรรมการสั่นของพัดลมแกน Z ในรูปของตัวแปรความถี่

#### 4.3.3 กราฟของค่าความเร่งแต่ละแกนของมอเตอร์ในรูปแบบของเวลา

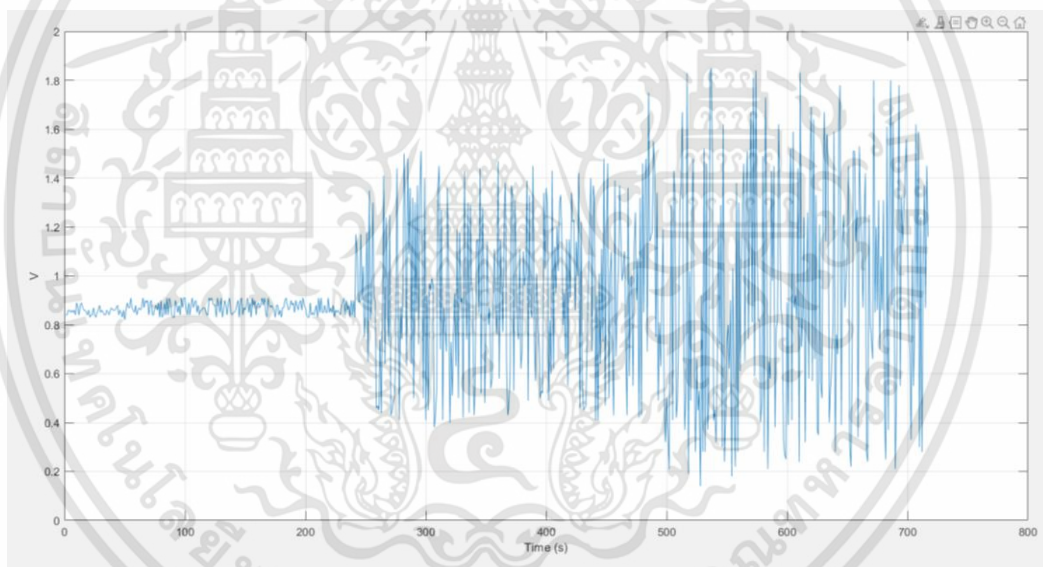


รูปที่ 4.10 แสดงพฤติกรรมการสั่นของมอเตอร์แกน X ในรูปของตัวแปรเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



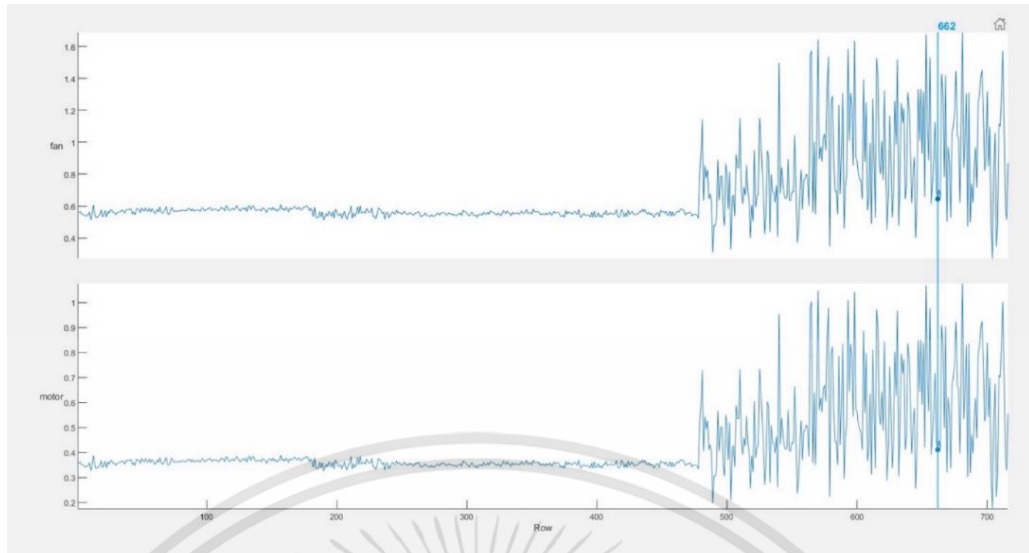
รูปที่ 4.11 แสดงพฤติกรรมกระแสของมอเตอร์แกน Y ในรูปของตัวแปรเวลา



รูปที่ 4.12 แสดงพฤติกรรมกระแสของมอเตอร์แกน Z ในรูปของตัวแปรเวลา

เมื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมกระแสของพัดลมและมอเตอร์จะพบว่ารูปแบบการสั่นมีความคล้ายคลึงกันเพียงแต่มีขนาดแอมพลิจูดที่ต่างกันดังรูปต่อไปนี้โดยขนาดของแอมพลิจูดกระแสของพัดลมมีค่าสูงกว่าแอมพลิจูดของมอเตอร์เนื่องจากสภาพพัดลมที่ชำรุดทำให้การสั่นมีการแกว่งของค่าที่สูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



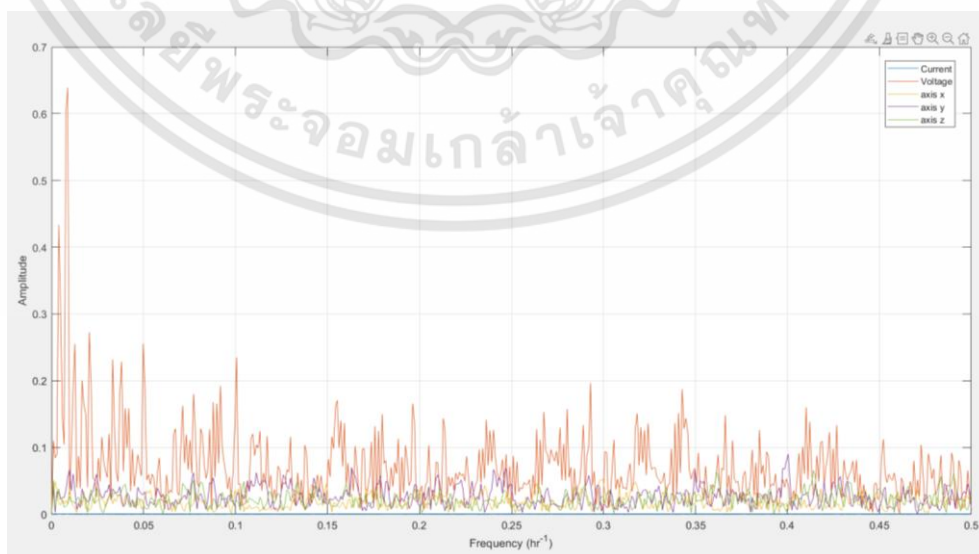
รูปที่ 4.13 แสดงพฤติกรรมการสั่นของมอเตอร์เทียบพัดลมในรูปของตัวแปรเวลา

#### 4.3.4 Fast Fourier Transform

โดยทั่วไปเมื่อเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์ความถี่ที่วัดได้อยู่ในรูปของเวลาส่วนการนำข้อมูลไปวิเคราะห์โดยทั่วไปต้องอยู่ในรูปความถี่ สามารถแปลงได้ด้วยการทำ Fast Fourier Transform เพื่อกำหนดขนาดและความถี่

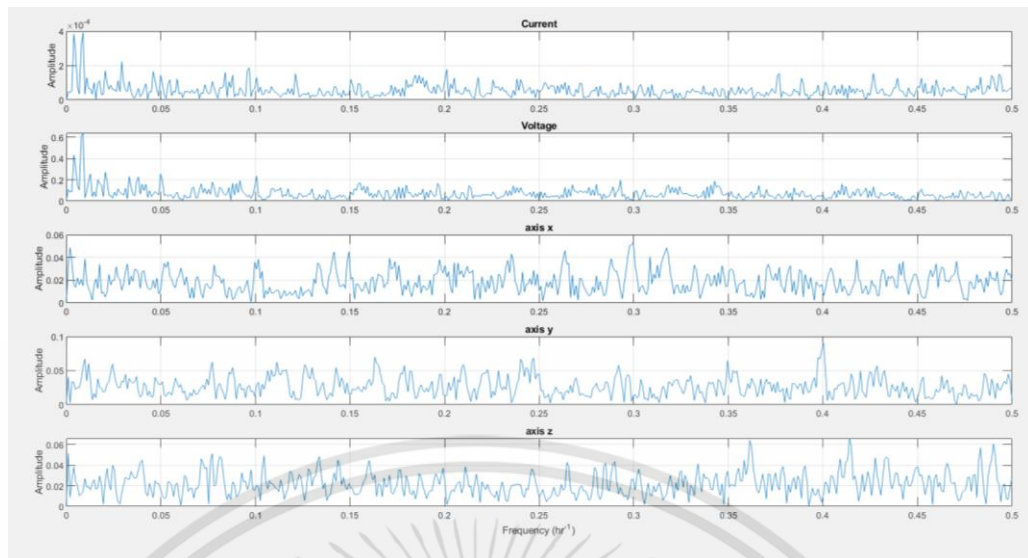
##### 4.3.4.1 การนำตัวแปรที่เก็บข้อมูลมาทำการ Fast Fourier Transform

โดยตัวแปรที่ทำการเก็บข้อมูลได้แก่ตัวแปร กระแสไฟฟ้า, ความต่างศักย์ และค่าความเร่งแกน x, y, z แสดงผลดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.14 แสดงกราฟของค่าตัวแปรที่นำไปทำการ Fast Fourier Transform

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



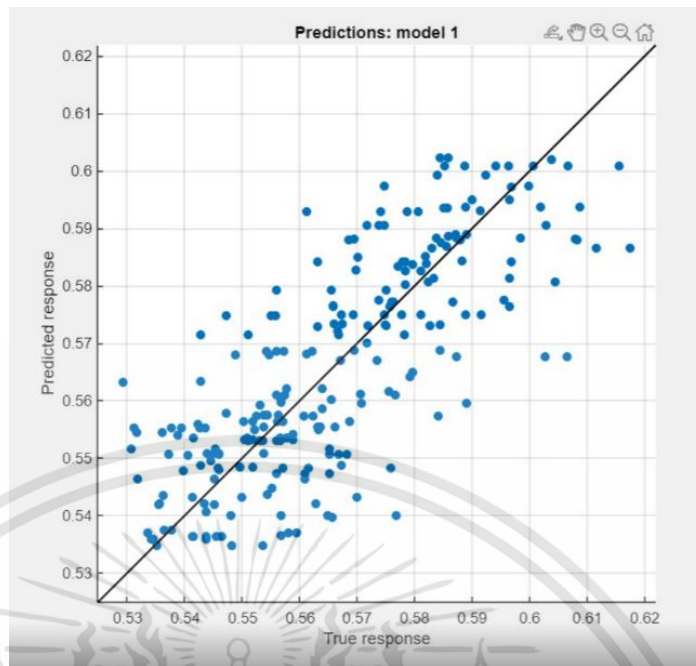
รูปที่ 4.15 แสดงกราฟของค่าแต่ละตัวแปรที่นำไปทำการ Fast Fourier Transform

### 4.3.5 Regression Learner

เมื่อทำการ Fast Fourier Transform เสร็จจึงนำข้อมูลที่ได้มาทำการ Regression Learner ด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งเป็นการนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ในแต่ละรูปแบบด้วยโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่เลือกใช้ในการคำนวณ

#### 4.3.5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยรูปแบบ Tree

เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการคำนวณด้วยรูปแบบ Tree จากกราฟการทดลองคือกราฟ Predicted VS Actual Plot ซึ่งเป็นเครื่องมือบ่งชี้ว่าโมเดลสมการถดถอยที่ได้ใช้สามารถทำนายค่าตัวแปรตามได้ดีเพียงใด จากทฤษฎีกราฟนี้มีจุดบางส่วนเรียงตามเส้นทแยงมุมและบางส่วนเกิดการกระจายออกจากเส้นทแยงมุม นั่นคือ ค่าตัวแปรตามในข้อมูลดิบกับค่าตัวแปรตามที่ได้จากสมการมีความใกล้เคียงกันบางส่วน โดยจากการคำนวณมีค่า R-Squared ที่ 0.57



รูปที่ 4.16 กราฟ Predicted VS Actual Plot ด้วยรูปแบบ Tree

**Model 1: Tree**  
Status: Trained

**Training Results**

RMSE (Validation)	0.012946
R-Squared (Validation)	0.57
MSE (Validation)	0.00016761
MAE (Validation)	0.0099961
Prediction speed	~1200 obs/sec
Training time	7.0127 sec

**Model Hyperparameters**

- ▶ Feature Selection: 4/4 individual features selected
- ▶ PCA: Disabled
- ▶ Optimizer: Not applicable

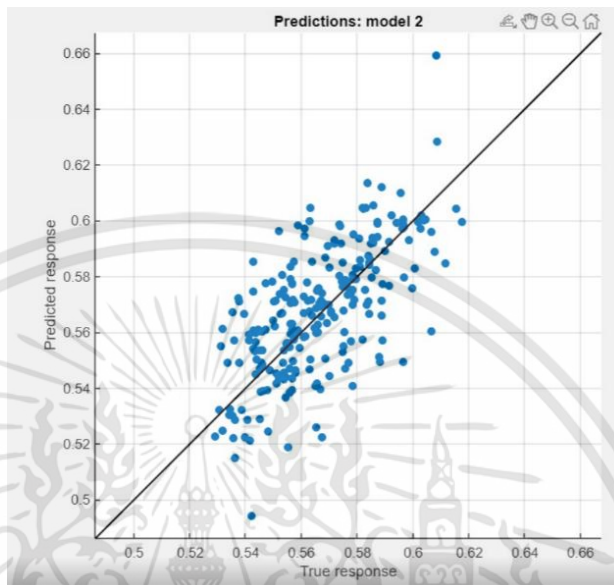
รูปที่ 4.17 ค่า R-Squared รูปแบบ Tree

#### 4.3.5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยรูปแบบ Neural Network

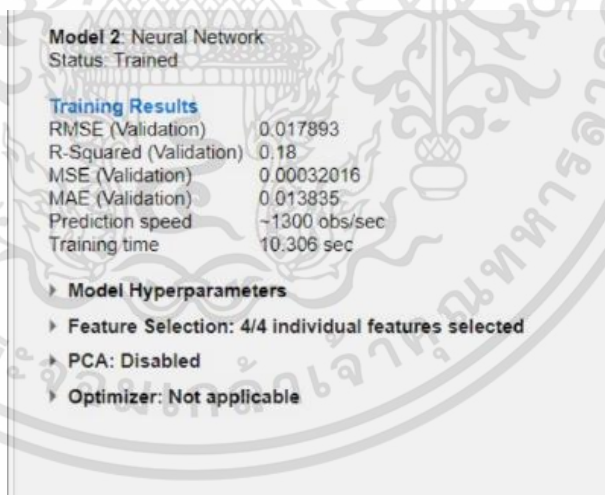
เมื่อนำข้อมูลที่นำมาทำการคำนวณด้วยรูปแบบ Neural Network จากกราฟการทดลองคือกราฟ Predicted VS Actual Plot ซึ่งเป็นเครื่องมือบ่งชี้ว่าโมเดลสมการถดถอยที่ได้ใช้ สามารถทำนายค่าตัวแปรตามได้ดีเพียงใด จากทฤษฎีกราฟนี้มีจุดจำนวนมากเกาะกลุ่มบริเวณเส้นทแยงมุม แต่เมื่อสังเกตจะพบได้ว่าบริเวณช่วงต้นของเส้นทแยงมุมและบริเวณส่วนปลายของเส้นทแยงมุมแทบไม่พบจำนวนข้อมูล ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่ารูปแบบทางคณิตศาสตร์นี้ข้อมูลมีการสุ่มการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจายสูงซึ่งจากทฤษฎีบ่งบอกได้ว่ารูปแบบคณิตศาสตร์นี้ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลดิบและค่าทำนายโดยจากการคำนวณมีค่า R-Squared ที่ 0.18



รูปที่ 4.18 กราฟ Predicted VS Actual Plot ด้วยรูปแบบ Neural Network

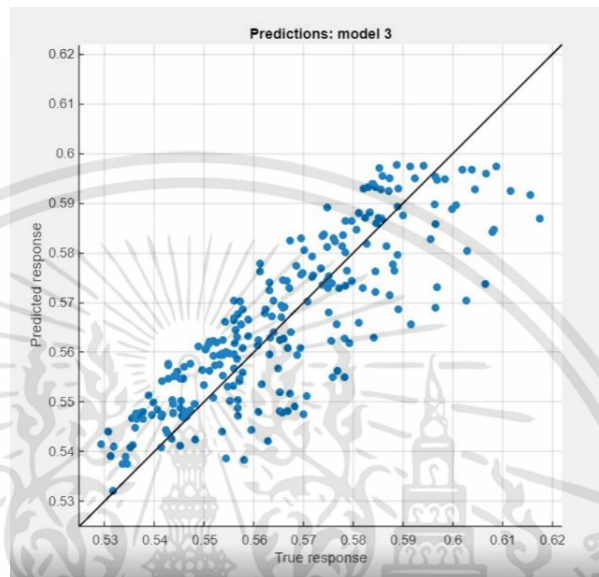


รูปที่ 4.19 ค่า R-Squared รูปแบบ Neural Network

#### 4.3.5.3 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยรูปแบบ Linear

เมื่อนำข้อมูลที่ได้นำมาทำการคำนวณด้วยรูปแบบ Linear จากกราฟการทดลองคือกราฟ Predicted VS Actual Plot ซึ่งเป็นเครื่องมือบ่งชี้ว่าโมเดลสมการถดถอยที่ได้ใช้สามารถทำนายค่าตัวแปรตามได้ดีเพียงใด จากทฤษฎีกราฟนี้มีจุดจำนวนมากเกาะกลุ่มบริเวณเส้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทแยงมุมและจุดที่แสดงจำนวนของข้อมูลนั้นอยู่ที่บริเวณช่วงต้น ช่วงกลาง และช่วงท้าย ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่ารูปแบบทางคณิตศาสตร์นี้ค่าตัวแปรต้นจากข้อมูลดิบและค่าตัวแปรตามที่ได้จากสมการมีค่าใกล้เคียงกันสูงโดยจากการคำนวณมีค่า R-Squared ที่ 0.71



รูปที่ 4.20 กราฟ Predicted VS Actual Plot ด้วยรูปแบบ Linear

**Model 3: Linear Regression**  
Status: Trained

**Training Results**

RMSE (Validation)	0.010706
R-Squared (Validation)	0.71
MSE (Validation)	0.00011462
MAE (Validation)	0.0086167
Prediction speed	~1300 obs/sec
Training time	8.2485 sec

▶ **Model Hyperparameters**

▶ **Feature Selection: 4/4 individual features selected**

▶ **PCA: Disabled**

▶ **Optimizer: Not applicable**

รูปที่ 4.21 ค่า R-Squared รูปแบบ Linear

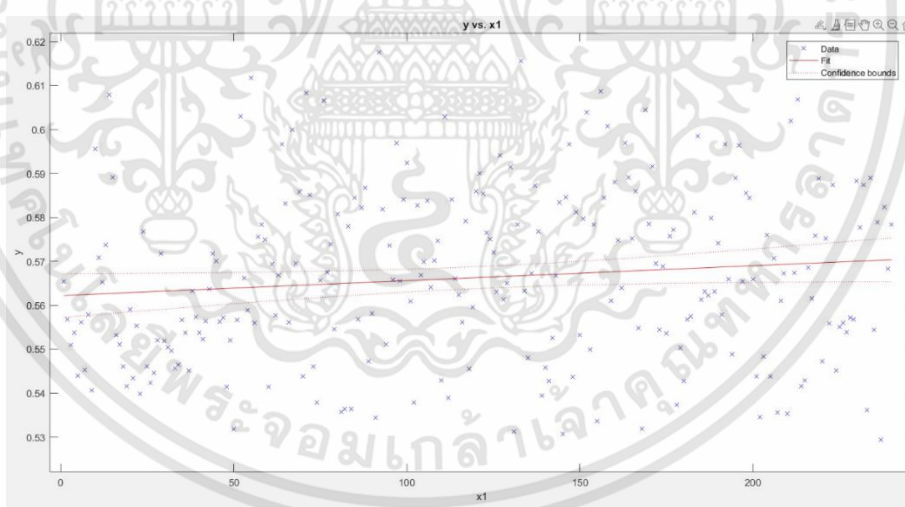
จากการทดลอง เมื่อนำข้อมูลมาทำการ Regression Learner ด้วย

โปรแกรม MATLAB โดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ 3 รูปแบบคือ 1.Tree 2.Neural Network และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.Linear จะพบได้ว่ากราฟ Scatter plot ระหว่างข้อมูลดิบกับค่าตัวแปรตามที่ได้จากสมการ ที่เหมาะสมสำหรับการนำไปทำการ Predictive นั้นคือรูปแบบ Linear เนื่องจากกราฟแสดงให้เห็นว่า ข้อมูลจุดจำนวนมากเกาะกลุ่มบริเวณเส้นทแยงมุมและจุดที่แสดงจำนวนของข้อมูลนั้นอยู่ทั้งบริเวณ ช่วงต้น ช่วงกลาง และช่วงท้าย ซึ่งเห็นได้ว่ารูปแบบทางคณิตศาสตร์ Linear นี้ค่าตัวแปรต้นจากข้อมูลดิบและค่าตัวแปรตามที่ได้จากสมการมีค่าใกล้เคียงกันสูงโดยจากการคำนวณมีค่า R-Squared ที่ 0.71 ซึ่งมากที่สุด ซึ่งจะเลือกรูปแบบสมการเพื่อไปทำการทำนายถึงระยะเวลาในการ Maintenance มอเตอร์ต่อไป

#### 4.3.6 การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม

การทำ Scatter Plot เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามดังนี้ โดยตัวแปรตามคือความเร็วการสั่นของมอเตอร์และตัวแปรต้นที่ใช้คือ กระแสไฟฟ้า, ความต่างศักย์ไฟฟ้า และจำนวนชั่วโมงการทำงานของมอเตอร์ โดยกราฟแสดงความสัมพันธ์และค่า R-Squared ดังรูป



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้าและความเร็วการสั่นของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Linear regression model:

$$y \sim 1 + x1$$

Estimated Coefficients:

	Estimate	SE	tStat	pValue
(Intercept)	0.63147	0.077614	8.136	2.2678e-14
x1	-0.090825	0.10811	-0.84015	0.40167

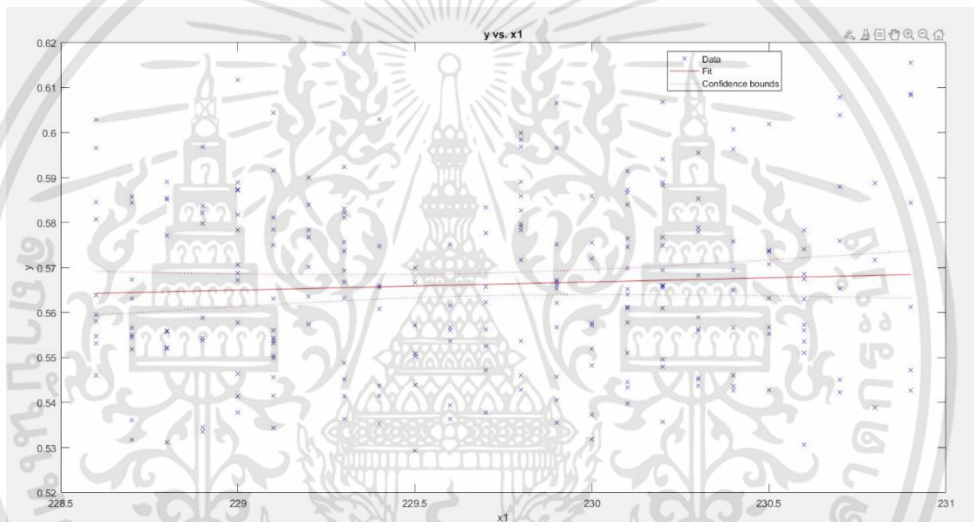
Number of observations: 240, Error degrees of freedom: 238

Root Mean Squared Error: 0.0197

R-squared: 0.00296, Adjusted R-Squared: -0.00123

F-statistic vs. constant model: 0.706, p-value = 0.402

รูปที่ 4.23 ค่า R-squared ของความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความเร็วการสั่นของมอเตอร์



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและความเร็วการสั่นของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

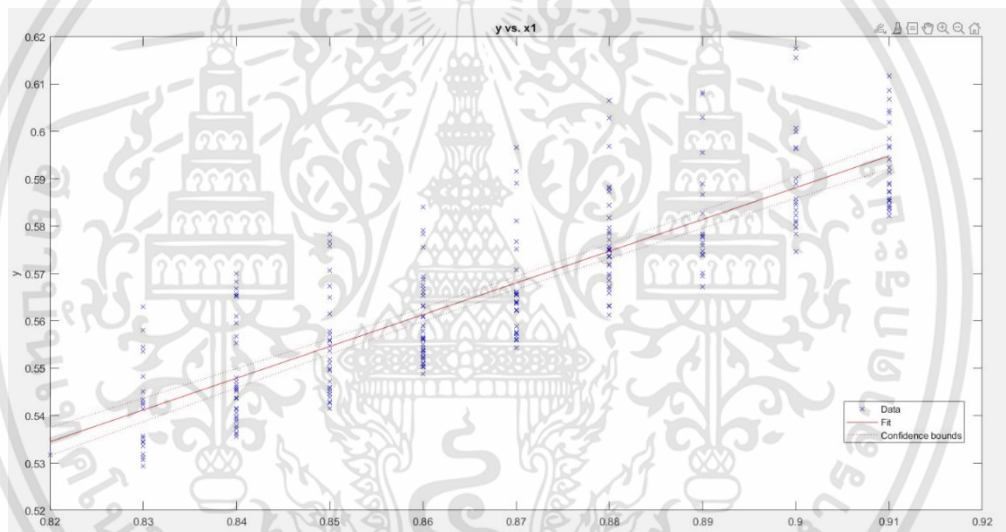
Linear regression model:  
 $y \sim 1 + x1$

Estimated Coefficients:

	Estimate	SE	tStat	pValue
(Intercept)	0.14754	0.44665	0.33033	0.74144
x1	0.001823	0.0019446	0.93749	0.34945

Number of observations: 240, Error degrees of freedom: 238  
 Root Mean Squared Error: 0.0197  
 R-squared: 0.00368, Adjusted R-Squared: -0.000507  
 F-statistic vs. constant model: 0.879, p-value = 0.349

รูปที่ 4.25 ค่า R-squared ของความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและความเร็วการสั่นของมอเตอร์



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเวลาการทำงานและความเร็วการสั่นของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Number of observations: 240, Error degrees of freedom: 238  
 Root Mean Squared Error: 0.0107  
 R-squared: 0.707, Adjusted R-Squared: 0.705  
 F-statistic vs. constant model: 573, p-value = 2.5e-65

ans =

2×4 [table](#)

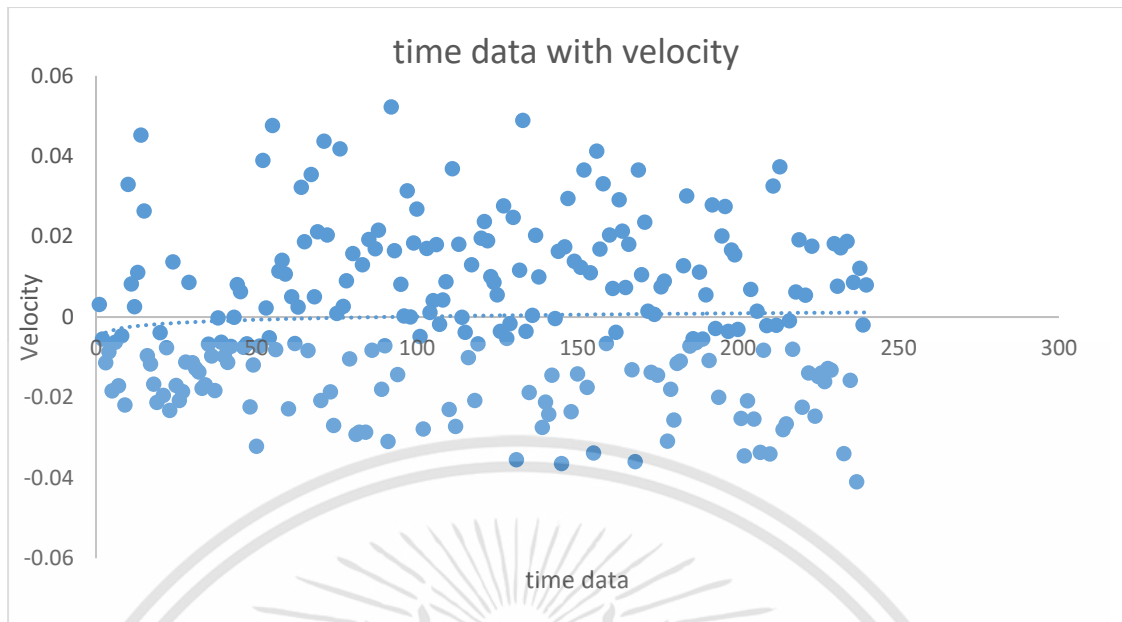
	Estimate	SE	tStat	pValue
(Intercept)	-0.015458	0.024302	-0.63609	0.52533
x1	0.67068	0.028007	23.947	2.5e-65

รูปที่ 4.27 ค่า R-squared ของความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเวลาการทำงานและความเร็วการสั้นของมอเตอร์

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม จึงสามารถสรุปได้ว่าความสัมพันธ์ของ กระแสไฟฟ้า และ ความต่างศักย์ต่อความเร็วการสั้นของมอเตอร์มีความสัมพันธ์กันน้อยมากหรือแทบไม่มี โดยสามารถดูได้จากค่า R-Squared จึงไม่จำเป็นต้องนำมาใช้ในการคำนวณหาความสัมพันธ์ ปัจจัยที่ใช้ในการคำนวณหาความเร็วการสั้นของมอเตอร์คือจำนวนชั่วโมงการทำงานของมอเตอร์ โดยเมื่อทำการคำนวณจะได้ค่า R-Squared ที่ 0.707 หรือมีความค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 70.7 %

#### 4.3.7 ผลการทำนายการเปลี่ยนระดับการสั้นอ้างอิงจาก ISO 10816

จากการทดลองทั้งหมดที่ทำมาสรุปได้ว่า Model Linear regression เหมาะสมที่สุดสำหรับชุดข้อมูลที่มี จึงนำค่าความเร็วการสั้นของมอเตอร์ในสถานการณ์ปกติ ไปคำนวณเพื่อคิดสมการออกมา โดยค่าที่เก็บแบ่งเป็นการเก็บ 8 ชั่วโมงทุกวัน ชั่วโมงละ 1 ค่า เป็นเวลา 1 เดือน



รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนชั่วโมงการทำงานและความเร็วการสั่นของมอเตอร์

สมการที่คำนวณมาได้คือ  $Y=0.000034X+0.562175$

โดยที่ x คือ ชั่วโมงในการทำงานของมอเตอร์

Y คือ ความเร็วการสั่นของมอเตอร์

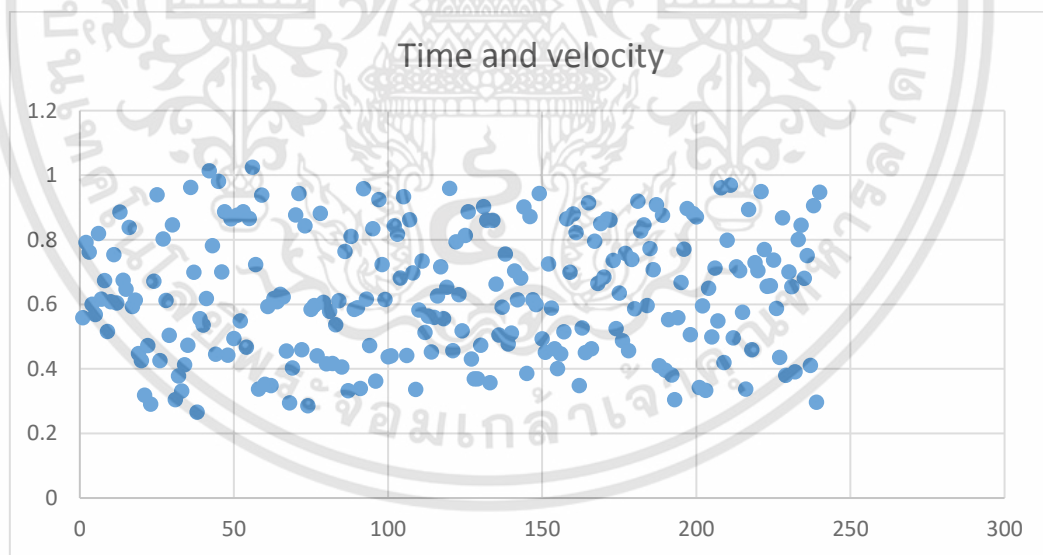
หลังจากที่ได้สมการออกมาแล้ว ได้คำนวณค่าความเร็วการสั่นของมอเตอร์ในสถานการณ์ปกติแล้วคำนวณระยะเวลาในการเปลี่ยนระดับจากระดับ Good เป็น Satisfactory โดยอ้างอิงจาก ISO 10816 ดังรูปที่ 4.29

จากการแทนค่า  $Y= 1.12$  ได้คำนวณ X ออกมาแล้วแปลงออกมาเป็นจำนวนปี สรุปได้ว่าใช้เวลา ทั้งหมด 5 ปีกับ 7 เดือน ถึงจะเปลี่ยนระดับการสั่นจาก Good เป็น Satisfactory

VIBRATION SEVERITY PER ISO 10816					
Machine		Class I small machines	Class II medium machines	Class III large rigid foundation	Class IV large soft foundation
in/s	mm/s				
Vibration Velocity Vrms	0.01	0.28			
	0.02	0.45			
	0.03	0.71		good	
	0.04	1.12			
	0.07	1.80			
	0.11	2.80		satisfactory	
	0.18	4.50			
	0.28	7.10		unsatisfactory	
	0.44	11.2			
	0.70	18.0			
	0.71	28.0		unacceptable	
	1.10	45.0			

รูปที่ 4.29 ISO 10816

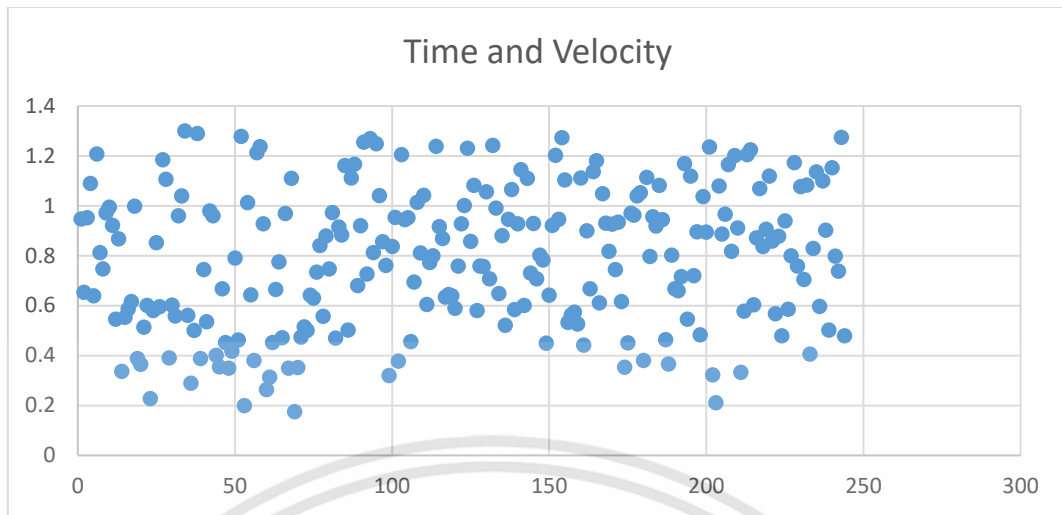
จากนั้นได้นำสมการมอเตอร์ในสถานการณ์ปกติ มาเป็นสมการตั้งต้นเพื่อใช้คำนวณกับมอเตอร์ ตัวอื่นอีก 2 ตัว ที่มีคุณสมบัติเหมือนกันทุกประการแต่ระยะเวลาในการใช้งานไม่เหมือนกัน



รูปที่ 4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนชั่วโมงการทำงานและความเร็วการสั่นของมอเตอร์

ได้นำค่าความเร็วการสั่นที่ได้จากมอเตอร์ตัวที่ 2 ไปคำนวณค่าความเร็วการสั่นของมอเตอร์จากการคิดค่าเฉลี่ย ซึ่งได้ค่าความเร็วการสั่นของมอเตอร์เท่ากับ 0.633 ซึ่งนำไปคำนวณออกมาเป็นระยะเวลาที่จะเปลี่ยนระดับการสั่น จึงสรุปได้ว่ามอเตอร์ได้เหลือเวลาก่อนเปลี่ยนระดับจาก Good เป็น Satisfactory เป็นเวลา 4 ปีกับ 8 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนชั่วโมงการทำงานและความเร็วการสั่นของมอเตอร์

จากนั้นได้นำค่าความเร็วของการสั่นที่ได้จากมอเตอร์ตัวที่ 3 ไปคำนวณค่าความเร็วในการสั่นของมอเตอร์ จากการคิดค่าเฉลี่ยซึ่งได้ค่าความเร็วการสั่นของมอเตอร์เท่ากับ 0.79 ซึ่งนำไปคำนวณออกมาเป็นระยะเวลาในการจะเปลี่ยนระดับการสั่น สรุปได้ว่ามอเตอร์ได้เหลือเวลา ก่อนเปลี่ยนระดับจาก Good เป็น Satisfactory เป็นเวลา 3 ปี 4 เดือน

## บทที่ 5

### สรุปผล

#### 5.1 สรุปผล

- 1) จากการทดลองศึกษาระบบติดตามและวิเคราะห์ข้อมูลเครื่องจักรในอุตสาหกรรม เมื่อทำการเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์ ADXL345 ตรวจสอบการสั่นด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าและพัดลม จากการทดลองแสดงให้เห็นได้ว่าพฤติกรรมการสั่นของมอเตอร์และพัดลมมีความคล้ายคลึงกันโดยต่างกันในขนาดของแอมพลิจูดโดยมีค่าความต่างอยู่ที่ 35-40% โดยขนาดแอมพลิจูดของพัดลมจะมีค่าสูงกว่ามอเตอร์
- 2) เมื่อนำข้อมูลดิบที่ได้จากเซนเซอร์ ADXL345 มาทำการ Fast Fourier Transform เพื่อให้ข้อมูลดิบที่อยู่ในรูปของเวลาเป็นโดเมนความถี่เพื่อให้เหมาะสมต่อการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป
- 3) นำข้อมูลมาทำการ Scatter Plot เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม โดยใช้ตัวแปรต้นคือ กระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ไฟฟ้า และ ชั่วโมงการทำงานของมอเตอร์ จะพบได้ว่าความสัมพันธ์ของ กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้ามีผลต่อความเร็วในการสั่นของมอเตอร์น้อยมาก หรือแทบจะไม่มีผลในการทดลอง แต่เมื่อใช้ตัวแปรจำนวนชั่วโมงการทำงานของมอเตอร์ จะพบว่าลักษณะกราฟที่ได้เป็นเชิงเส้นซึ่งแสดงให้เห็นว่าจำนวนชั่วโมงการทำงานของมอเตอร์มีผลต่อความเร็วในการสั่นโดยมีค่า R-Squared อยู่ที่ 0.707
- 4) จากการนำข้อมูลมาเพื่อวิเคราะห์ด้วยโมเดลทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการทำนายข้อมูล โดยโมเดลที่เลือกใช้ในการทำนายมี 3 โมเดลคือ 1.Tree 2.Neural Network และ 3.Linear พบว่าเมื่อทำการทำนายและวิเคราะห์ด้วย กราฟ Predicted VS Actual Plot ซึ่งเป็นเครื่องมือบ่งชี้ว่าโมเดลสมการถดถอยที่ได้ใช้ สามารถทำนายค่าตัวแปรตามได้ดีเพียงใด จากทฤษฎีกราฟนี้มีจุดจำนวนมากเกาะกลุ่มบริเวณเส้นทแยงมุมและจุดที่แสดงจำนวนของข้อมูลนั้นอยู่ทั้งบริเวณช่วงต้น ช่วงกลาง และช่วงท้าย ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่ารูปแบบทางคณิตศาสตร์นี้ค่าตัวแปรต้นจากข้อมูลดิบและค่าตัวแปรตามที่ได้จากสมการมีค่าใกล้เคียงกันสูงโดยจากการคำนวณมีค่า R-Squared ที่ 0.71 จึงสรุปได้ว่าโมเดล Linear มีความเหมาะสมกับชุดข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากอุปกรณ์ sensor adxl345 เป็นอุปกรณ์ Micro controller ซึ่งอาจมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่าอุปกรณ์เซนเซอร์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมดั่งนั้น เมื่อนำมาใช้ในการทดลอง ข้อมูลที่ได้อาจไม่แม่นยำดั่งนั้น เมื่อนำไปใช้ในการทำนายประสิทธิภาพของเครื่องจักรด้วยโมเดลคณิตศาสตร์อาจทำให้โมเดลที่ได้มีค่าความถูกต้องที่ไม่ตรงตามที่ควรจะเป็น ดั่งนั้นเพื่อความเสถียรของข้อมูลการทำโปรเจกต์แบบนี้ควรใช้อุปกรณ์เซนเซอร์ ที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรม



## บรรณานุกรม

- [1] Predictive maintenance [Online].2021 Available :  
<https://www.fiixsoftware.com/maintenance-strategies/predictive-maintenance/>  
[ AUG 11,2021]
- [2] 3 axis accelerometer adxl345 [Online] 2021 Available :  
<https://www.arduitronics.com/product/49/3-axis-accelerometer-module-adxl345-gy-291>[ AUG 11,2021]
- [3] Conversion equations [Online] 2021 Available :  
[www.scitepress.org/papers/2017/63409/63409.pdf](http://www.scitepress.org/papers/2017/63409/63409.pdf) [ SEP 11,2021]
- [4] Regression learner [Online] 2021 Available :  
<https://www.mathworks.com/help/stats/regression-learner-app.html> [ SEP 11,2021]
- [5] Fft matlab [Online] 2021 Available :  
<https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/fft.html> [ SEP 11,2021]
- [6] linear regression [Online] 2021 Available :  
<https://machinelearningmastery.com/linear-regression-for-machine-learning/> [ SEP 11,2021]
- [7] ดร.สุวัฒน์ โสภิตพันธ์, การบำรุงรักษาอย่างชาญฉลาด, Smart Maintenance, ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (เนคเทค). [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา :  
<https://www.nectec.or.th/news/news-pr-news/smart-maintenance-definition.html> (SEP 11,2021)
- [8] ดร.ธีรเชษฐ์ สุรพันธุ์ และ อนุพล ตันสังวรณ, การสื่อสารในงานอุตสาหกรรมด้วยโพรโทคอล Modbus, หน่วยทรัพยากรด้านการคำนวณและไซเบอร์-กายภาพ (NCCPI). [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://www.nectec.or.th/news/news-public-document/modbus-protocol.html> (SEP 11,2021)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ในตารางดังต่อไปนี้ เป็นตัวอย่างการเก็บข้อมูลจากมอเตอร์ได้แก่ เวลา ความเร่งเชิงมุมตามแกน กระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ไฟฟ้า ความเร่งลัพท์ และความเร็ว

hour	Current	Voltage	axis x	axis y	axis z	square y	square x	square z	sum axis	velocity
1	0.731	230.7	-0.14	-0.25	0.84	0.0625	0.0196	0.7056	0.887524648	0.565302323
2	0.731	229.9	-0.1	-0.22	0.84	0.0484	0.01	0.7056	0.874070935	0.55673308
3	0.712	229.5	0.07	-0.06	0.86	0.0036	0.0049	0.7396	0.864927743	0.55090939
4	0.73	229.1	0.04	-0.12	0.86	0.0144	0.0016	0.7396	0.869252552	0.553664046
5	0.704	229.5	0.02	-0.08	0.85	0.0064	0.0004	0.7225	0.853990632	0.543943078
6	0.709	229.1	0.15	-0.01	0.86	0.0001	0.0225	0.7396	0.873040663	0.556076856
7	0.71	229.3	0.02	-0.1	0.85	0.01	0.0004	0.7225	0.856095789	0.545283942
8	0.719	229	0.16	0.04	0.86	0.0016	0.0256	0.7396	0.875671171	0.557752338
9	0.706	229.9	0.02	-0.12	0.84	0.0144	0.0004	0.7056	0.848763807	0.54061389
10	0.709	230.3	0.25	0.14	0.89	0.0196	0.0625	0.7921	0.934986631	0.595532886
11	0.72	230.5	0.19	0.1	0.87	0.01	0.0361	0.7569	0.896102673	0.570766034
12	0.716	230.1	-0.17	-0.23	0.84	0.0529	0.0289	0.7056	0.887355622	0.565194664
13	0.726	229.3	0.17	0.09	0.88	0.0081	0.0289	0.7744	0.900777442	0.573743594
14	0.718	230.7	0.3	0.17	0.89	0.0289	0.09	0.7921	0.9544632	0.607938344
15	0.728	229.8	0.29	0.12	0.87	0.0144	0.0841	0.7569	0.92487837	0.589094503
16	0.704	229.1	0.12	-0.01	0.86	0.0001	0.0144	0.7396	0.868389314	0.553114213
17	0.699	230.1	0.03	-0.09	0.86	0.0081	0.0009	0.7396	0.865216736	0.551093462
18	0.705	230.4	-0.02	-0.11	0.85	0.0121	0.0004	0.7225	0.85732141	0.546064592
19	0.718	229.1	-0.02	-0.13	0.84	0.0169	0.0004	0.7056	0.850235262	0.541551122
20	0.733	230.3	-0.04	-0.17	0.86	0.0289	0.0016	0.7396	0.877553417	0.558951221
21	0.736	230.1	-0.1	-0.17	0.83	0.0289	0.01	0.6889	0.85311195	0.543383408
22	0.709	230.5	-0.12	-0.2	0.84	0.04	0.0144	0.7056	0.871779789	0.555273751
23	0.699	230.1	0.02	-0.11	0.84	0.0121	0.0004	0.7056	0.847407812	0.539750199
24	0.71	229.2	0.23	0.1	0.87	0.01	0.0529	0.7569	0.905428076	0.576705781
25	0.698	228.6	-0.02	-0.17	0.84	0.0289	0.0004	0.7056	0.857263087	0.546027444
26	0.718	230.7	-0.06	-0.18	0.83	0.0324	0.0036	0.6889	0.851410594	0.542299742
27	0.714	230.1	0.02	-0.09	0.85	0.0081	0.0004	0.7225	0.85498538	0.544576675
28	0.734	228.8	0.07	-0.08	0.86	0.0064	0.0049	0.7396	0.866544863	0.551939403
29	0.729	229.8	0.17	-0.05	0.88	0.0025	0.0289	0.7744	0.897663634	0.571760277
30	0.711	228.7	-0.05	-0.16	0.85	0.0256	0.0025	0.7225	0.866371745	0.551829137
31	0.732	229.1	0.06	-0.06	0.86	0.0036	0.0036	0.7396	0.864175908	0.550430515
32	0.736	230.2	0.1	-0.11	0.85	0.0121	0.01	0.7225	0.86290208	0.549619159

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวจนวสหาหรับการใชงานเพื่การศึกษาเทานัน ไมออนุญาตหนาไปไซประยชนดานการคา

ไมวากรณีใดๆทั้งสิ้น อิกทั้งห้ามมิใหัดดแปลงเนื้อหา และตองอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปไซ

33	0.729	229.1	-0.05	-0.16	0.84	0.0256	0.0025	0.7056	0.856562899	0.545581464
34	0.728	229	-0.04	-0.17	0.84	0.0289	0.0016	0.7056	0.857962703	0.546473059
35	0.712	230.4	0.15	-0.04	0.86	0.0016	0.0225	0.7396	0.873899308	0.556623763
36	0.705	229.6	0.03	-0.18	0.85	0.0324	0.0009	0.7225	0.869367586	0.553737316
37	0.7	230.7	0.1	-0.13	0.84	0.0169	0.01	0.7056	0.855862138	0.54513512
38	0.719	230.5	0.2	0.05	0.86	0.0025	0.04	0.7396	0.884364178	0.563289286
39	0.732	230.6	0.07	-0.06	0.87	0.0036	0.0049	0.7569	0.874871419	0.557242942
40	0.7	229.8	0.09	-0.09	0.86	0.0081	0.0081	0.7396	0.869367586	0.553737316
41	0.702	228.8	-0.01	-0.11	0.86	0.0121	0.0001	0.7396	0.867064011	0.552270071
42	0.737	230.3	0.06	-0.14	0.86	0.0196	0.0036	0.7396	0.873384222	0.556295683
43	0.733	229.2	0.06	-0.15	0.87	0.0225	0.0036	0.7569	0.884872872	0.563613294
44	0.727	230.8	0.17	-0.05	0.88	0.0025	0.0289	0.7744	0.897663634	0.571760277
45	0.732	229.5	-0.15	-0.27	0.84	0.0729	0.0225	0.7056	0.894986033	0.570054798
46	0.716	229.7	-0.02	-0.15	0.86	0.0225	0.0004	0.7396	0.87321246	0.55618628
47	0.736	229.5	-0.05	-0.2	0.85	0.04	0.0025	0.7225	0.874642784	0.557097315
48	0.705	229	-0.09	-0.16	0.83	0.0256	0.0081	0.6889	0.850058821	0.54143874
49	0.723	230	0.07	-0.08	0.86	0.0064	0.0049	0.7396	0.866544863	0.551939403
50	0.737	228.7	-0.07	-0.14	0.82	0.0196	0.0049	0.6724	0.834805367	0.531723163
51	0.717	228.7	0.11	-0.11	0.86	0.0121	0.0121	0.7396	0.873956521	0.556660204
52	0.721	229.4	0.28	0.16	0.89	0.0256	0.0784	0.7921	0.946625586	0.602946233
53	0.707	229.9	0.18	0.03	0.87	0.0009	0.0324	0.7569	0.888931943	0.56619869
54	0.733	228.9	0.11	-0.03	0.87	0.0009	0.0121	0.7569	0.877439457	0.558878635
55	0.706	229	0.29	0.1	0.91	0.01	0.0841	0.8281	0.960312449	0.61166398
56	0.732	228.8	0.05	-0.05	0.87	0.0025	0.0025	0.7569	0.872868833	0.55596741
57	0.712	230	-0.12	-0.25	0.86	0.0625	0.0144	0.7396	0.903603896	0.575543883
58	0.724	229.8	-0.17	-0.27	0.85	0.0729	0.0289	0.7225	0.907909687	0.578286425
59	0.699	230.2	0.2	0.01	0.88	0.0001	0.04	0.7744	0.902496537	0.574838559
60	0.724	229.3	-0.05	-0.12	0.84	0.0144	0.0025	0.7056	0.85	0.541401274
61	0.727	229.3	-0.08	-0.23	0.86	0.0529	0.0064	0.7396	0.893812061	0.569307045
62	0.701	230	0.07	-0.07	0.87	0.0049	0.0049	0.7569	0.87561407	0.557715968
63	0.723	229.3	-0.09	-0.21	0.86	0.0441	0.0081	0.7396	0.889831445	0.566771621
64	0.713	229.9	0.26	-0.23	0.87	0.0529	0.0676	0.7569	0.936696322	0.596621861
65	0.708	229.3	0.08	-0.06	0.91	0.0036	0.0064	0.8281	0.915478017	0.583107017
66	0.711	230.6	0.02	0.07	0.87	0.0049	0.0004	0.7569	0.873040663	0.556076856
67	0.708	229.8	0.24	0.14	0.9	0.0196	0.0576	0.81	0.941912947	0.599944552
68	0.717	230.2	-0.05	-0.07	0.89	0.0049	0.0025	0.7921	0.894147639	0.569520789

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

69	0.72	228.7	0.1	-0.16	0.9	0.0256	0.01	0.81	0.919565115	0.585710264
70	0.699	230.3	-0.03	0.15	0.84	0.0225	0.0009	0.7056	0.853814968	0.54383119
71	0.72	230.9	0.24	-0.25	0.89	0.0625	0.0576	0.7921	0.955091619	0.608338611
72	0.733	228.8	0.09	-0.16	0.9	0.0256	0.0081	0.81	0.918531437	0.58505187
73	0.73	229.8	0.17	-0.02	0.84	0.0004	0.0289	0.7056	0.857263087	0.546027444
74	0.719	229.7	0.06	-0.06	0.84	0.0036	0.0036	0.7056	0.844274837	0.537754673
75	0.706	229.4	-0.11	0.14	0.87	0.0196	0.0121	0.7569	0.888031531	0.565625179
76	0.7	229.9	0.29	-0.22	0.88	0.0484	0.0841	0.7744	0.952312974	0.606568773
77	0.728	230.6	-0.1	-0.21	0.86	0.0441	0.01	0.7396	0.890898423	0.567451225
78	0.711	230.5	0.14	0.01	0.89	0.0001	0.0196	0.7921	0.900999445	0.573884997
79	0.71	228.7	-0.17	-0.2	0.83	0.04	0.0289	0.6889	0.870517088	0.554469483
80	0.716	228.6	-0.04	-0.14	0.9	0.0196	0.0016	0.81	0.911701706	0.580701723
81	0.709	230.2	0.13	-0.04	0.83	0.0016	0.0169	0.6889	0.841070746	0.535713851
82	0.738	229.3	-0.05	-0.03	0.84	0.0009	0.0025	0.7056	0.842021377	0.536319349
83	0.711	230.3	-0.12	-0.13	0.89	0.0169	0.0144	0.7921	0.907413908	0.577970642
84	0.699	229.6	-0.06	0	0.84	0	0.0036	0.7056	0.842140131	0.536394988
85	0.701	228.7	-0.04	0.11	0.91	0.0121	0.0016	0.8281	0.917496594	0.584392735
86	0.718	230.5	-0.15	-0.19	0.84	0.0361	0.0225	0.7056	0.874185335	0.556805946
87	0.708	228.9	-0.06	-0.06	0.91	0.0036	0.0036	0.8281	0.913947482	0.582132154
88	0.704	230.1	0.22	0.09	0.89	0.0081	0.0484	0.7921	0.921194876	0.586748329
89	0.736	229.7	-0.01	-0.18	0.84	0.0324	0.0001	0.7056	0.859127464	0.547214945
90	0.731	228.6	0.28	-0.02	0.83	0.0004	0.0784	0.6889	0.876184912	0.558079562
91	0.719	229.1	0.02	0.12	0.83	0.0144	0.0004	0.6889	0.838868285	0.53431101
92	0.721	229.3	0.26	-0.25	0.9	0.0625	0.0676	0.81	0.969587541	0.617571682
93	0.737	229	0.05	-0.24	0.88	0.0576	0.0025	0.7744	0.913509715	0.581853322
94	0.732	230.6	0.08	0.14	0.85	0.0196	0.0064	0.7225	0.865158945	0.551056653
95	0.717	230.5	-0.02	-0.19	0.88	0.0361	0.0004	0.7744	0.900499861	0.573566791
96	0.738	229.7	0.24	-0.16	0.84	0.0256	0.0576	0.7056	0.888144132	0.5656969
97	0.708	229.8	-0.04	-0.22	0.91	0.0484	0.0016	0.8281	0.937069901	0.59685981
98	0.724	230.2	-0.17	-0.05	0.87	0.0025	0.0289	0.7569	0.887862602	0.565517581
99	0.71	229.2	-0.1	-0.05	0.91	0.0025	0.01	0.8281	0.916842407	0.583976056
100	0.728	229.3	0.09	-0.17	0.91	0.0289	0.0081	0.8281	0.930107521	0.592425172
101	0.714	229.4	-0.16	-0.1	0.86	0.01	0.0256	0.7396	0.880454428	0.560798999
102	0.698	229	0.08	0.03	0.84	0.0009	0.0064	0.7056	0.844334057	0.537792393
103	0.73	229.8	-0.03	-0.21	0.89	0.0441	0.0009	0.7921	0.914931691	0.582759039
104	0.725	229.9	0.28	-0.09	0.84	0.0081	0.0784	0.7056	0.89	0.566878981

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญาตหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

105	0.729	230.1	0.02	-0.16	0.88	0.0256	0.0004	0.7744	0.89465077	0.569841255
106	0.719	228.9	0.11	0	0.91	0	0.0121	0.8281	0.916624241	0.583837096
107	0.737	230.1	0.16	-0.04	0.87	0.0016	0.0256	0.7569	0.885494212	0.564009052
108	0.733	229.2	0.09	0.03	0.89	0.0009	0.0081	0.7921	0.895041898	0.570090381
109	0.723	230.1	0.05	0.04	0.9	0.0016	0.0025	0.81	0.902274903	0.57469739
110	0.711	229.8	0.02	-0.06	0.85	0.0036	0.0004	0.7225	0.852349693	0.542897894
111	0.701	228.6	0.27	-0.22	0.88	0.0484	0.0729	0.7744	0.946414286	0.602811647
112	0.73	230.8	0.06	0.08	0.84	0.0064	0.0036	0.7056	0.845931439	0.538809834
113	0.704	230.1	0.22	-0.23	0.86	0.0529	0.0484	0.7396	0.917005998	0.584080253
114	0.715	230.2	0.1	-0.2	0.86	0.04	0.01	0.7396	0.888594396	0.565983692
115	0.714	229.7	-0.12	0.09	0.87	0.0081	0.0144	0.7569	0.882836338	0.562316139
116	0.705	229.6	-0.04	0.06	0.87	0.0036	0.0016	0.7569	0.87298339	0.556040376
117	0.734	229.8	-0.26	0.14	0.86	0.0196	0.0676	0.7396	0.909285434	0.579162697
118	0.735	230.3	-0.09	0.14	0.84	0.0196	0.0081	0.7056	0.856329376	0.545432724
119	0.716	228.6	-0.06	-0.25	0.84	0.0625	0.0036	0.7056	0.87846457	0.559531573
120	0.702	229.8	0.12	0.06	0.91	0.0036	0.0144	0.8281	0.919836942	0.585883403
121	0.699	229.2	-0.2	0.09	0.9	0.0081	0.04	0.81	0.926336872	0.590023485
122	0.711	230.3	-0.1	0.08	0.91	0.0064	0.01	0.8281	0.918966811	0.585329179
123	0.721	230.1	0.13	0.1	0.89	0.01	0.0169	0.7921	0.904986188	0.576424323
124	0.723	229.1	-0.09	-0.18	0.88	0.0324	0.0081	0.7744	0.902718118	0.574979693
125	0.73	230	-0.08	0.16	0.88	0.0256	0.0064	0.7744	0.897997773	0.571973104
126	0.705	230.6	0.29	-0.09	0.83	0.0081	0.0841	0.6889	0.88379862	0.562929057
127	0.729	230.2	0.14	0.15	0.91	0.0225	0.0196	0.8281	0.93284511	0.59416886
128	0.702	230.1	0.04	0.02	0.88	0.0004	0.0016	0.7744	0.881135631	0.561232886
129	0.719	230.4	-0.04	-0.25	0.85	0.0625	0.0016	0.7225	0.88690473	0.564907471
130	0.732	230.1	0.18	0.04	0.91	0.0016	0.0324	0.8281	0.928493403	0.591397072
131	0.729	228.8	0.01	0.08	0.83	0.0064	0.0001	0.6889	0.83390647	0.531150618
132	0.717	230.6	0.28	0.08	0.86	0.0064	0.0784	0.7396	0.907964757	0.578321501
133	0.707	230.9	0.29	-0.2	0.9	0.04	0.0841	0.81	0.966488489	0.615597764
134	0.704	229.3	0.05	-0.07	0.88	0.0049	0.0025	0.7744	0.884194549	0.563181241
135	0.716	230.2	-0.11	-0.15	0.84	0.0225	0.0121	0.7056	0.860348766	0.547992845
136	0.72	229.9	-0.01	0.03	0.89	0.0009	0.0001	0.7921	0.890561621	0.567236701
137	0.714	229	0.13	-0.07	0.91	0.0049	0.0169	0.8281	0.921900212	0.587197587
138	0.712	230.2	0.24	-0.2	0.85	0.04	0.0576	0.7225	0.905593728	0.576811292
139	0.717	229.6	-0.09	-0.06	0.84	0.0036	0.0081	0.7056	0.846935653	0.53944946
140	0.725	229.9	-0.06	-0.09	0.85	0.0081	0.0036	0.7225	0.856854713	0.545767333

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาตหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

141	0.714	230.9	-0.06	0	0.85	0	0.0036	0.7225	0.852115016	0.542748418
142	0.711	229.7	0.07	0.09	0.86	0.0081	0.0049	0.7396	0.867525216	0.552563832
143	0.728	229.5	0.11	-0.07	0.88	0.0049	0.0121	0.7744	0.889606655	0.566628442
144	0.716	229.7	0.13	-0.11	0.9	0.0121	0.0169	0.81	0.915969432	0.58342002
145	0.735	230.6	0.02	0.07	0.83	0.0049	0.0004	0.6889	0.833186654	0.530692136
146	0.731	228.6	0.01	-0.18	0.9	0.0324	0.0001	0.81	0.917877988	0.584635661
147	0.699	229.9	-0.13	-0.18	0.91	0.0324	0.0169	0.8281	0.936696322	0.596621861
148	0.701	230.4	0.15	-0.02	0.84	0.0004	0.0225	0.7056	0.853522115	0.543644659
149	0.717	229.1	0.27	-0.05	0.87	0.0025	0.0729	0.7569	0.912304774	0.581085843
150	0.712	228.6	0.01	-0.12	0.86	0.0144	0.0001	0.7396	0.868389314	0.553114213
151	0.704	229.8	0.23	-0.03	0.88	0.0009	0.0529	0.7744	0.910054943	0.57965283
152	0.699	230.7	-0.15	-0.22	0.91	0.0484	0.0225	0.8281	0.948156105	0.603921086
153	0.726	229.1	-0.15	-0.02	0.85	0.0004	0.0225	0.7225	0.863365508	0.549914336
154	0.72	229	-0.06	-0.17	0.89	0.0289	0.0036	0.7921	0.908074887	0.578391648
155	0.704	228.9	0.07	-0.09	0.83	0.0081	0.0049	0.6889	0.837794724	0.533627213
156	0.719	230.9	0.18	-0.23	0.91	0.0529	0.0324	0.8281	0.955719624	0.608738614
157	0.726	228.7	0.07	-0.25	0.88	0.0625	0.0049	0.7744	0.917496594	0.584392735
158	0.698	230.4	-0.13	-0.25	0.9	0.0625	0.0169	0.81	0.94308006	0.600687936
159	0.723	230.1	0.26	0.05	0.84	0.0025	0.0676	0.7056	0.880738327	0.560979826
160	0.732	230.7	0.27	-0.07	0.88	0.0049	0.0729	0.7744	0.923146792	0.587991587
161	0.728	229.4	0.05	-0.14	0.89	0.0196	0.0025	0.7921	0.902330316	0.574732686
162	0.706	228.6	0.13	-0.1	0.87	0.01	0.0169	0.7569	0.885324799	0.563901146
163	0.737	228.9	0.29	-0.14	0.88	0.0196	0.0841	0.7744	0.937069901	0.59685981
164	0.732	228.8	0.15	-0.07	0.91	0.0049	0.0225	0.8281	0.92493243	0.589128936
165	0.725	229.9	0.19	0.07	0.88	0.0049	0.0361	0.7744	0.902995017	0.575156062
166	0.721	230	-0.12	-0.06	0.91	0.0036	0.0144	0.8281	0.919836942	0.585883403
167	0.713	228.6	0.19	0	0.85	0	0.0361	0.7225	0.870976464	0.554762079
168	0.711	230	0.02	-0.09	0.83	0.0081	0.0004	0.6889	0.835104784	0.531913875
169	0.698	229.1	0.25	-0.1	0.91	0.01	0.0625	0.8281	0.948999473	0.604458263
170	0.734	229.1	0.08	-0.21	0.88	0.0441	0.0064	0.7744	0.908240056	0.578496851
171	0.713	229.1	0.23	-0.23	0.87	0.0529	0.0529	0.7569	0.928816451	0.591602835
172	0.708	230.4	0.13	-0.09	0.88	0.0081	0.0169	0.7744	0.894091718	0.569485171
173	0.735	228.9	0.02	-0.01	0.87	0.0001	0.0004	0.7569	0.870287309	0.554323127
174	0.73	229	0.23	-0.07	0.86	0.0049	0.0529	0.7396	0.892972564	0.568772334
175	0.711	230.6	0.21	0.15	0.83	0.0225	0.0441	0.6889	0.86919503	0.553627408
176	0.725	229.3	-0.16	0.13	0.88	0.0169	0.0256	0.7744	0.903825204	0.575684844

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาตหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

177	0.734	228.8	0.21	0.05	0.88	0.0025	0.0441	0.7744	0.906090503	0.577127709
178	0.715	230	0.05	-0.06	0.84	0.0036	0.0025	0.7056	0.843623139	0.537339579
179	0.723	229.5	-0.02	0.08	0.86	0.0064	0.0004	0.7396	0.863944443	0.550283085
180	0.701	230.4	-0.09	-0.17	0.83	0.0289	0.0081	0.6889	0.851997653	0.542673664
181	0.701	229.6	-0.06	-0.06	0.87	0.0036	0.0036	0.7569	0.874128137	0.556769514
182	0.708	229.2	0.03	-0.09	0.87	0.0081	0.0009	0.7569	0.875157129	0.557424923
183	0.735	229.3	0.15	0	0.9	0	0.0225	0.81	0.91241438	0.581155656
184	0.732	229.8	0.18	0.15	0.91	0.0225	0.0324	0.8281	0.939680797	0.598522801
185	0.698	230.9	-0.04	-0.02	0.88	0.0004	0.0016	0.7744	0.881135631	0.561232886
186	0.703	229.1	-0.14	-0.15	0.86	0.0225	0.0196	0.7396	0.884137998	0.563145222
187	0.736	229.9	-0.14	-0.05	0.87	0.0025	0.0196	0.7569	0.882609767	0.562171826
188	0.731	228.9	0.13	-0.04	0.9	0.0016	0.0169	0.81	0.910219754	0.579757805
189	0.708	228.7	-0.06	-0.06	0.88	0.0036	0.0036	0.7744	0.884081444	0.5631092
190	0.699	230.6	-0.03	-0.14	0.89	0.0196	0.0009	0.7921	0.901443287	0.574167699
191	0.729	230.1	0.21	-0.02	0.85	0.0004	0.0441	0.7225	0.875785362	0.557825071
192	0.716	228.6	-0.12	-0.23	0.9	0.0529	0.0144	0.81	0.936642942	0.596587861
193	0.716	229.4	-0.07	-0.1	0.88	0.01	0.0049	0.7744	0.888425574	0.565876162
194	0.705	229.3	-0.05	0.02	0.86	0.0004	0.0025	0.7396	0.861684397	0.548843565
195	0.725	229	0.1	-0.23	0.89	0.0529	0.01	0.7921	0.9246621	0.588956752
196	0.707	230.4	0.21	0.15	0.9	0.0225	0.0441	0.81	0.936269192	0.596349804
197	0.736	229.9	-0.16	-0.15	0.86	0.0225	0.0256	0.7396	0.887524648	0.565302323
198	0.738	228.8	0.01	-0.13	0.91	0.0169	0.0001	0.8281	0.919293207	0.585537074
199	0.726	230.9	-0.07	-0.25	0.88	0.0625	0.0049	0.7744	0.917496594	0.584392735
200	0.714	230.2	0.17	0.06	0.87	0.0036	0.0289	0.7569	0.888481851	0.565912007
201	0.738	229.4	-0.08	0.13	0.84	0.0169	0.0064	0.7056	0.853756406	0.543793889
202	0.703	228.9	-0.12	-0.03	0.83	0.0009	0.0144	0.6889	0.839166253	0.534500798
203	0.702	230	-0.06	-0.22	0.83	0.0484	0.0036	0.6889	0.860755482	0.548251899
204	0.703	230.7	-0.01	0.16	0.89	0.0256	0.0001	0.7921	0.904322951	0.57600188
205	0.726	229.4	-0.06	0.14	0.84	0.0196	0.0036	0.7056	0.853697839	0.543756585
206	0.704	229	-0.15	-0.24	0.85	0.0576	0.0225	0.7225	0.895879456	0.570623857
207	0.7	229.9	0.03	0.02	0.84	0.0004	0.0009	0.7056	0.840773453	0.535524493
208	0.722	230.2	-0.01	-0.19	0.86	0.0361	0.0001	0.7396	0.880795095	0.561015984
209	0.716	229	0.11	-0.08	0.88	0.0064	0.0121	0.7744	0.890449325	0.567165175
210	0.719	229.4	-0.13	0.02	0.83	0.0004	0.0169	0.6889	0.840357067	0.535259278
211	0.708	230.5	-0.11	-0.23	0.91	0.0529	0.0121	0.8281	0.945039682	0.601936103
212	0.734	228.7	0.15	-0.22	0.85	0.0484	0.0225	0.7225	0.890730038	0.567343973

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

213	0.708	230.2	0.25	0.13	0.91	0.0169	0.0625	0.8281	0.952627944	0.606769391
214	0.737	229.4	-0.01	-0.01	0.85	0.0001	0.0001	0.7225	0.850117639	0.541476203
215	0.732	230.5	-0.02	0.06	0.85	0.0036	0.0004	0.7225	0.852349693	0.542897894
216	0.721	230.6	-0.15	0	0.88	0	0.0225	0.7744	0.892692556	0.568593985
217	0.724	229.6	0.22	0.08	0.85	0.0064	0.0484	0.7225	0.881646188	0.561558081
218	0.705	230.4	0.18	-0.25	0.85	0.0625	0.0324	0.7225	0.904101764	0.575860996
219	0.71	230.8	0.12	-0.11	0.91	0.0121	0.0144	0.8281	0.92444578	0.588818968
220	0.719	230.9	-0.06	-0.11	0.85	0.0121	0.0036	0.7225	0.859185661	0.547252013
221	0.717	229.6	0.12	-0.21	0.87	0.0441	0.0144	0.7569	0.902995017	0.575156062
222	0.72	228.8	-0.17	-0.1	0.85	0.01	0.0289	0.7225	0.872582374	0.555784952
223	0.701	229	0.2	-0.19	0.88	0.0361	0.04	0.7744	0.922225569	0.587404821
224	0.729	230.3	-0.2	-0.06	0.83	0.0036	0.04	0.6889	0.855862138	0.54513512
225	0.716	228.7	-0.14	-0.01	0.86	0.0001	0.0196	0.7396	0.871378219	0.555017974
226	0.736	230.3	0.15	-0.13	0.85	0.0169	0.0225	0.7225	0.872868833	0.55596741
227	0.711	228.9	-0.08	-0.1	0.86	0.01	0.0064	0.7396	0.869482605	0.553810576
228	0.704	230	-0.13	0.16	0.85	0.0256	0.0169	0.7225	0.874642784	0.557097315
229	0.724	229.9	0.19	0.15	0.84	0.0225	0.0361	0.7056	0.874185335	0.556805946
230	0.732	230.2	0.16	-0.23	0.88	0.0529	0.0256	0.7744	0.923525852	0.588233027
231	0.721	229.7	-0.09	0.15	0.89	0.0225	0.0081	0.7921	0.907028114	0.577724914
232	0.733	230.1	-0.11	0.1	0.91	0.01	0.0121	0.8281	0.922062905	0.587301213
233	0.722	228.7	0.05	0.02	0.84	0.0004	0.0025	0.7056	0.84172442	0.536130204
234	0.717	230.2	0.15	-0.15	0.9	0.0225	0.0225	0.81	0.9246621	0.588956752
235	0.722	229.1	-0.06	0.12	0.86	0.0144	0.0036	0.7396	0.870402206	0.55439631
236	0.7	230.3	0.17	0.15	0.88	0.0225	0.0289	0.7744	0.908735385	0.578812347
237	0.721	229.5	0.04	0	0.83	0	0.0016	0.6889	0.830963296	0.529275985
238	0.711	229.3	0.08	0.14	0.9	0.0196	0.0064	0.81	0.914330356	0.582376023
239	0.722	230.3	0.29	-0.08	0.84	0.0064	0.0841	0.7056	0.892244361	0.56830851
240	0.717	229.2	-0.08	-0.09	0.9	0.0081	0.0064	0.81	0.9080198	0.5783566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้