

การวิเคราะห์เทคนิคการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ล่วงหน้าของมอเตอร์

นายพัทธพล เดชจาร

ปริญญาในพนธน์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2561

An Analysis of Motor Predictive Maintenance Techniques

Mr. Pattapol Dechjorn

A PROJECT REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ELECTRICAL/COMPUTER ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S UNIVERSITY OF TECHNOLOGY NORTH BANGKOK
ACADEMIC YEAR 2018

ปริญญาอินพนธ์เรื่อง : การวิเคราะห์เทคนิคการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ล่วงหน้าของมอเตอร์
ชื่อ : นายพัทธพล เดชาร
สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา : วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะ : วิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นก柳 วิวัฒน์ โภคศักดิ์
ปีการศึกษา : 2561

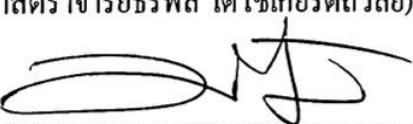
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ พระนครเหนือ อนุมติให้
ปริญญาอินพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นก柳 วิวัฒน์ โภคศักดิ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
และคอมพิวเตอร์

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นก柳 วิวัฒน์ โภคศักดิ์)

ประธานกรรมการ

.....
(รองศาสตราจารย์ธีรพล เดโชเกียรติวัลย์)

(อาจารย์พิษณุ อิทธิยาภิ)

กรรมการ

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ พระนครเหนือ

Project Report Title : An Analysis of Motor Predictive Maintenance Techniques

Name : Mr. Pattapol Dechjorn

Major Field : Electrical Engineering

Department : Electrical and Computer Engineering

Faculty : Engineering

Project Advisor (s) : Asst. Prof. Dr. Nophadon Wiwatcharagoses

Academic Year : 2018

Accepted by the Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Bachelor of Electrical Engineering.

.....
.....
(Asst. Prof. Dr. Nophadon Wiwatcharagoses) Chairperson of Department of Electrical
and Computer Engineering

.....
.....
(Asst. Prof. Dr. Nophadon Wiwatcharagoses) Chairperson

.....
.....
(Assoc. Prof. Teerapon Dachokiatwan)

.....
.....
.....
(Mr. Phisit Ittiyavut)

Copyright of the Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering

King Mongkut's University of Technology North Bangkok

บทคัดย่อ

ปัจจุบัน อุตสาหกรรมต่าง ๆ มีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในการดำเนินธุรกิจ ซึ่ง ณ ที่นี้ ขอถือว่าถึง อุปกรณ์สำคัญอย่างมอเตอร์ ที่เป็นต้นกำลังให้แก่อุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม ยกตัวอย่างเช่น เครื่องเป่า ปั๊ม และอื่น ๆ ซึ่งในอุตสาหกรรมนอกจากจะมีการใช้งานแล้ว ยังต้องมีการซ่อมบำรุง โดยปกติการซ่อมบำรุงมอเตอร์นั้น หากไม่เกิดปัญหาเสียหายจะใช้งานไม่ได้ ก็จะมีการทำหน้าที่ ซ่อมบำรุงตามระยะเวลาที่แตกต่างกันออกไปตามชนิดของมอเตอร์ จากรูปแบบการซ่อมบำรุงที่ กล่าวมานั้น ยังคงขาดความเที่ยงตรงเมื่อถึงระยะที่ควรทำการบำรุงรักษา ทำให้ในแต่ละครั้งของการ ซ่อมบำรุงนั้น มีค่าใช้จ่ายสูง ในกรณีของมอเตอร์ ที่มีระยะเวลาการซ่อมบำรุง เมื่อครบกำหนดเวลา หรือ โดยปกติจะมีการตรวจสอบสภาพภายนอก แต่ถ้าหากเราสามารถทราบถึงสภาพที่แท้จริงของ มอเตอร์ ว่าอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานมากเพียงใด และควรทำการซ่อมบำรุงแล้วหรือไม่ โดยอ้างอิง ตามการตรวจสอบค่าต่าง ๆ ที่มีผลต่อการใช้งานมอเตอร์ โดยผ่านอุปกรณ์ชุดคอนโทรลเลอร์ ตรวจสอบและเก็บข้อมูล เช่น การตรวจสอบค่าการสั่นสะเทือน อุณหภูมิ กระแสและแรงดัน จากนั้นบันทึกข้อมูลที่ได้ เพื่อใช้ทำการวิเคราะห์ และประเภทของปัญหา ซึ่งบอกถึงความเสียหายที่ อาจเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนของมอเตอร์ทั้งหมดหรือเฉพาะส่วน จากนั้นแสดงผล และวางแผนการซ่อม บำรุง เป็นการเพิ่มความเที่ยงตรง และป้องกันอุปกรณ์จากความเสียหาย อีกทั้งช่วยลดค่าใช้จ่ายจากการ ซ่อมบำรุง

Abstract

Nowadays there are obviously to use the appliance in almost every industrial company in order to keep their business running well. The motor is one of the necessary stuff which used as a prime mover for the equipment in the industrial company such as blower, plumber, and etc. Not only using but the company also demanded to keep motor in good condition maintenance. Normally in every factory, they have inclusively motor's maintenance procedure already. But the only problem remains which can be founded out, there is a lack of maintenance's schedule properly to keep the motor in a good condition in perfect timing. Thus companies have to pay for the maintenance fee more than it supposed to be. This research is going to inspect motor as a research object in many dimension by study about motor's effect factor using controller hardware to experiment and record data (such as vibration, temperature, voltage, and current) after that analyze the result and sort the problem which indicate cause of the damage that would happen to the motor thus display the data and then planning for the maintenance in order to increase the efficiency of motor and increase the unexpected cost.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาอุดมศึกษานบบนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นกกดล วิวัฒน์ โภเศศ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ท่านได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ แนวคิด ตลอดจนการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนทำให้ปริญญานิพนธ์นบบันนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้ศึกษาจึงขอ รับขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และคนในครอบครัวสำหรับ กำลังใจที่ดีที่สุด ที่เคยเป็นพลังให้แก่ผู้ศึกษา คอยผลักดันทั้งด้านกำลังทรัพย์และด้านกำลังใจ ที่ดีเสมอมา ขอกราบขอบพระคุณ นายประเสริฐ ดาวดอย เจ้าหน้าที่ประจำห้องแลปพาวเวอร์ อิเล็กทรอนิกส์ ที่กรุณาให้ยืมอุปกรณ์ใช้ในการทดลอง และสุดท้ายนี้ ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณปริญญา อุดมศึกษานบบนี้ ที่ทำให้ผู้ศึกษาได้ค้นคว้าหาข้อมูล และเรียนรู้เทคโนโลยีที่ไม่มีสอนในห้องเรียน และเรียนรู้การทำงานกับเพื่อนร่วมงาน แบ่งหน้าที่ในการทำงาน และมีความรับผิดชอบในส่วนที่ ตนเองได้รับมอบหมายทำให้งานนั้นสำเร็จลุล่วงตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ จนทำให้ปริญญานิพนธ์ นบบันนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ในที่สุด

ปริญญานิพนธ์นบบันนี้ได้รับเงินอุดหนุนการทำปริญญานิพนธ์สำหรับนักศึกษาระดับ วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

พัทธพล เเดชจารว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	๑
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๒
กิตติกรรมประกาศ	๓
สารบัญตาราง	๔
สารบัญภาพ	๕
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	๖
บทที่ 1. บทนำ	1
1.1 แนวเหตุผล ทฤษฎีสำคัญหรือสมมติฐาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการทำโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของการทำโครงการ	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 โมเตอร์เหนี่ยวนำ	3
2.2 การวิเคราะห์ความผิดปกติในมอเตอร์ (Motor Failure Analysis)	10
2.3 การจำแนกปัญหาที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์	11
2.4 ผลกระทบจากการสั่นสะเทือนที่มีผลต่อมอเตอร์	14
2.5 ผลกระทบจากอุณหภูมิที่มีผลต่อมอเตอร์	15
2.6 ผลกระทบจากการกระแสและแรงดันที่มีผลต่อมอเตอร์	18
2.7 การศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด	19
2.8 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด	26
2.9 การรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์	29
2.10 การส่งข้อมูลของอุปกรณ์	30
2.11 การเก็บข้อมูลและแสดงผลข้อมูล	32
บทที่ 3. วิธีการดำเนินการ	35
3.1 แผนการดำเนินงาน	35
3.2 การเลือกอุปกรณ์	36
3.3 การออกแบบชุดอุปกรณ์	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การส่งข้อมูลของอุปกรณ์	39
3.5 การเก็บข้อมูล Firebase Database	42
3.6 การแสดงผล	44
3.7 การวัดและติดตั้งอุปกรณ์บนแพลนทดสอบ	46
3.8 การทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล	52
บทที่ 4. ผลการทดลอง	56
4.1 ผลการทดลองการทำงานของอุปกรณ์	60
4.2 การทดสอบมอเตอร์ในสภาพมีโหลด	61
4.3 การทดสอบมอเตอร์ในสภาพมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหาอุปกรณ์ การติดตั้งหลวม (Mechanical looseness)	68
4.4 การทดสอบมอเตอร์ในสภาพมีโหลด และจำลองการเกิดปัญหา การเอียงศูนย์ (Misalignment)	75
4.5 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาด	82
บทที่ 5. สรุปผล ปัญหาและข้อเสนอแนะ	83
5.1 สรุปผลการทดลอง	83
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	84
เอกสารอ้างอิง	85
ภาคผนวก ก การเขียนคำสั่งให้บอร์ด Arduino UNO R3	86
ภาคผนวก ข การเขียนคำสั่งให้บอร์ด Raspberry	94
ภาคผนวก ค การเขียนคำสั่งสร้าง Server แสดงผล โดย Rstudio	97
ประวัติผู้แต่ง	103

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 แสดงการเปรียบเทียบทักษิณิกการตรวจสอบความเสี่ยงของมอเตอร์	11
3-1 รายการอุปกรณ์ที่เลือกใช้	36
4-1 ผลการทดสอบมอเตอร์สภาวะไม่มีโหลดของชุดวัดอุปกรณ์มาตรฐาน	59
4-2 ผลการทดสอบมอเตอร์สภาวะไม่มีโหลดของชุดวัดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น	59
4-3 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการวัดด้วยอุปกรณ์มาตรฐานและอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นในสภาวะไม่มีโหลด	60
4-4 ผลการทดสอบมอเตอร์สภาวะมีโหลด	61
4-5 ผลของกระแทไฟฟ้าในการทดสอบมอเตอร์สภาวะมีโหลด	62
4-6 ผลของแรงดันไฟฟ้าในการทดสอบมอเตอร์สภาวะมีโหลด	63
4-7 ผลการทดสอบมอเตอร์สภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปั่นหางุปกรณ์การติดตั้งหลวม (Mechanical looseness)	68
4-8 ผลของกระแทไฟฟ้าในการทดสอบมอเตอร์สภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปั่นหางุปกรณ์การติดตั้งหลวม (Mechanical looseness)	69
4-9 ผลของแรงดันไฟฟ้าในการทดสอบมอเตอร์สภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปั่นหางุปกรณ์การติดตั้งหลวม (Mechanical looseness)	70
4-10 ผลการทดสอบมอเตอร์สภาวะมีโหลด และจำลองการเกิดปั่นหางการเอียงศูนย์ (Misalignment)	75
4-11 ผลของกระแทไฟฟ้าในการทดสอบมอเตอร์สภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปั่นหางการเอียงศูนย์ (Misalignment)	76
4-12 ผลของแรงดันไฟฟ้า ในการทดสอบมอเตอร์สภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปั่นหางการเอียงศูนย์ (Misalignment)	77
4-13 แสดงค่าผิดพลาดจากการวัดระหว่างชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเทียบกับชุดอุปกรณ์มาตรฐาน	82

สารบัญภาพ

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2-27 โปรแกรม Rstudio	34
3-1 แผนการดำเนินงาน	35
3-2 แผนผังแสดงการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่าง ๆ	37
3-3 Arduino UNO R3	39
3-4 ผังการทำงานของโปรแกรม Arduino	40
3-5 Raspberry Pi 3 Model B+	41
3-6 ผังการทำงานของโปรแกรม Python	42
3-7 หน้าต่างแสดงผลข้อมูลบน Firebase	43
3-8 หน้าต่างแสดงปริมาณข้อมูลบน Firebase	43
3-9 หน้าต่างแสดงผลบน Server	44
3-10 ผังการทำงานของโปรแกรม Rstudio	45
3-11 จุดติดตั้งอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานในการใช้งานจริง	47
3-12 จุดติดตั้งอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น	48
3-13 ติดตั้งมอเตอร์กับ Eddy current brake	49
3-14 ไส่ข้อต่อแกน	49
3-15 การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดการสั่นสะเทือน	50
3-16 การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิที่ด้านข้างของมอเตอร์	50
3-17 จุดเชื่อมต่อในการวัดค่ากระแสและแรงดัน	51
3-18 การติดตั้งคิจิตอลมัลติมิเตอร์ในการวัดกระแสร่วมกับชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น	51
3-19 เซ็นเซอร์ที่ใช้ในการวัดค่ากระแสและแรงดัน	52
3-20 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานมาตรฐานวัดค่าการสั่นสะเทือนและอุณหภูมิ	53
3-25 การทดสอบแบบไม่มีโหลด	53
3-26 การทดสอบแบบมีโหลด ในสภาพะปกติ	54
3-27 การทดสอบแบบมีโหลด ในสภาพะ Misalignment	54
3-28 การทดสอบแบบมีโหลด ในสภาพะ Mechanical looseness	55
4-1 อุปกรณ์ที่ติดตั้งบนแพลนทดสอบ	56
4-2 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับข้อมูลและส่งข้อมูล	57

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-3 หน้าต่างแสดงผลข้อมูลบน Server ที่สร้างขึ้น เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลการทดสอบ	58
4-4 แนวโน้มการสั่นสะเทือนในสภาวะไม่มีโหลด	60
4-5 แนวโน้มการสั่นสะเทือน ขณะทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลด	64
4-6 แนวโน้มของอุณหภูมิ ขณะทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลด	65
4-7 แนวโน้มของกระแสไฟฟ้า ขณะทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลด	66
4-8 แนวโน้มของแรงดันไฟฟ้า ขณะทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลด	67
4-9 การทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลด	67
4-10 แนวโน้มการสั่นสะเทือน ขณะทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหาอุปกรณ์การติดตั้งหลวม (Mechanical looseness)	71
4-11 แนวโน้มของอุณหภูมิ ขณะทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหาอุปกรณ์การติดตั้งหลวม (Mechanical looseness)	72
4-12 แนวโน้มของกระแสไฟฟ้า ขณะทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหาอุปกรณ์การติดตั้งหลวม (Mechanical looseness)	73
4-13 แนวโน้มของแรงดัน ขณะทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหาอุปกรณ์การติดตั้งหลวม (Mechanical looseness)	74
4-14 การทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหาอุปกรณ์การติดตั้งหลวม (Mechanical looseness)	74
4-15 แนวโน้มการสั่นสะเทือน ขณะทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหาการยึดผิดศูนย์ (Misalignment)	78
4-16 แนวโน้มของอุณหภูมิ ขณะทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหาการยึดผิดศูนย์ (Misalignment)	79
4-17 แนวโน้มของกระแสไฟฟ้า ขณะทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหาการยึดผิดศูนย์ (Misalignment)	80
4-18 แนวโน้มของแรงดัน ขณะทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหาการยึดผิดศูนย์ (Misalignment)	81
4-19 การทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหาการยึดผิดศูนย์ (Misalignment)	81

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์และคำย่อ	คำอธิบาย
T	ช่วงเวลาใด ๆ
v	ขนาดความเร็วรอบของการสั่นสะเทือน (mm/s)
a	ขนาดความเร่งของการสั่นสะเทือน (mm/ s^2)
f	ความถี่ที่เกิดจากการหมุนของตัวมอเตอร์หนี่ยวน้ำ (Hz) (ความเร็วรอบ rpm/60)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของปัญหาในการทำโครงการ

ปัจจุบันระบบอุตสาหกรรมมีการพัฒนาและเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว ซึ่งในอุตสาหกรรมล้วนประกอบไปด้วยเครื่องจักรกลชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการดำเนินงานด้านอุตสาหกรรม หนึ่งในเครื่องจักรกลที่ได้รับความนิยมและใช้งานอย่างมากคือ มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor) เนื่องจากมีความทนทานและความต้องการในการบำรุงรักษาค่อนข้างต่ำ โดยการบำรุงรักษามักจะแบ่งเป็นช่วงระยะเวลาตามที่กำหนด เช่น การบำรุงรักษาหลังผ่านการใช้งานทุก ๆ 6 เดือน ฯลฯ ที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการบำรุงรักษาแบบเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ซึ่งการซ่อมบำรุงลักษณะนี้ไม่สามารถระบุสถานะของมอเตอร์เหนี่ยวนำได้ตลอดเวลา การศึกษาสถานะของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะพิจารณาจากตัวแปรต่าง ๆ เช่น แรงดัน กระแส อุณหภูมิ การสั่นสะเทือน ฯลฯ หากในกรณีที่มอเตอร์เหนี่ยวน้ำหรืออุปกรณ์ภายในมอเตอร์เหนี่ยวนำเกิดความเสียหาย จะเป็นผลเสียต่องานอุตสาหกรรมอย่างยิ่ง

ปริญญาในพนธน์ศึกษาการออกแบบระบบการแสดงผลสถานะของมอเตอร์เหนี่ยวนำอย่างตลอดเวลา และนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ เพื่อคาดการณ์ล่วงหน้าหากมอเตอร์เหนี่ยวนำมีความจำเป็นต้องทำการซ่อมบำรุง ซึ่งเป็นการการบำรุงรักษาแบบเชิงคาดพยากรณ์ (Predictive Maintenance)

1.2 วัตถุประสงค์ของการทำโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำในสภาพต่าง ๆ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการใช้งานอุปกรณ์จำพวก เชิงเซอร์ ทรานซ์ซิสเตอร์ ฯลฯ
- 1.2.3 เพื่อพัฒนาการใช้ซอฟต์แวร์ที่หลากหลาย ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง

1.3 ขอบเขตของการทำโครงการ

ออกแบบและจัดสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับวัดค่า ส่งค่า และแสดงผล โดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1.3.1 การวัดค่าแรงดัน
- 1.3.2 การวัดค่ากระแส
- 1.3.3 การวัดค่าอุณหภูมิ

1.3.4 การวัดค่าการสั่นสะเทือน

จากนั้นนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อคาดการณ์ล่วงหน้าในการบำรุงรักษาอเตอร์เหนี่ยวนำ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้ความรู้ทั้งในแง่ของการวิเคราะห์ปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหา
- 1.4.2 มีการแลกเปลี่ยนข้อมูล ความคิดเห็นแก่เพื่อน สร้างสัมพันธ์ที่ดีต่อกัน
- 1.4.3 เป็นข้อมูลให้แก่ผู้ที่ต้องการจะศึกษาโครงการที่เกี่ยวข้องหรือใกล้เคียง
- 1.4.4 สามารถนำความรู้ที่ได้จากการทำโครงการไปต่อยอดทางวิชาชีพในอนาคตต่อไป

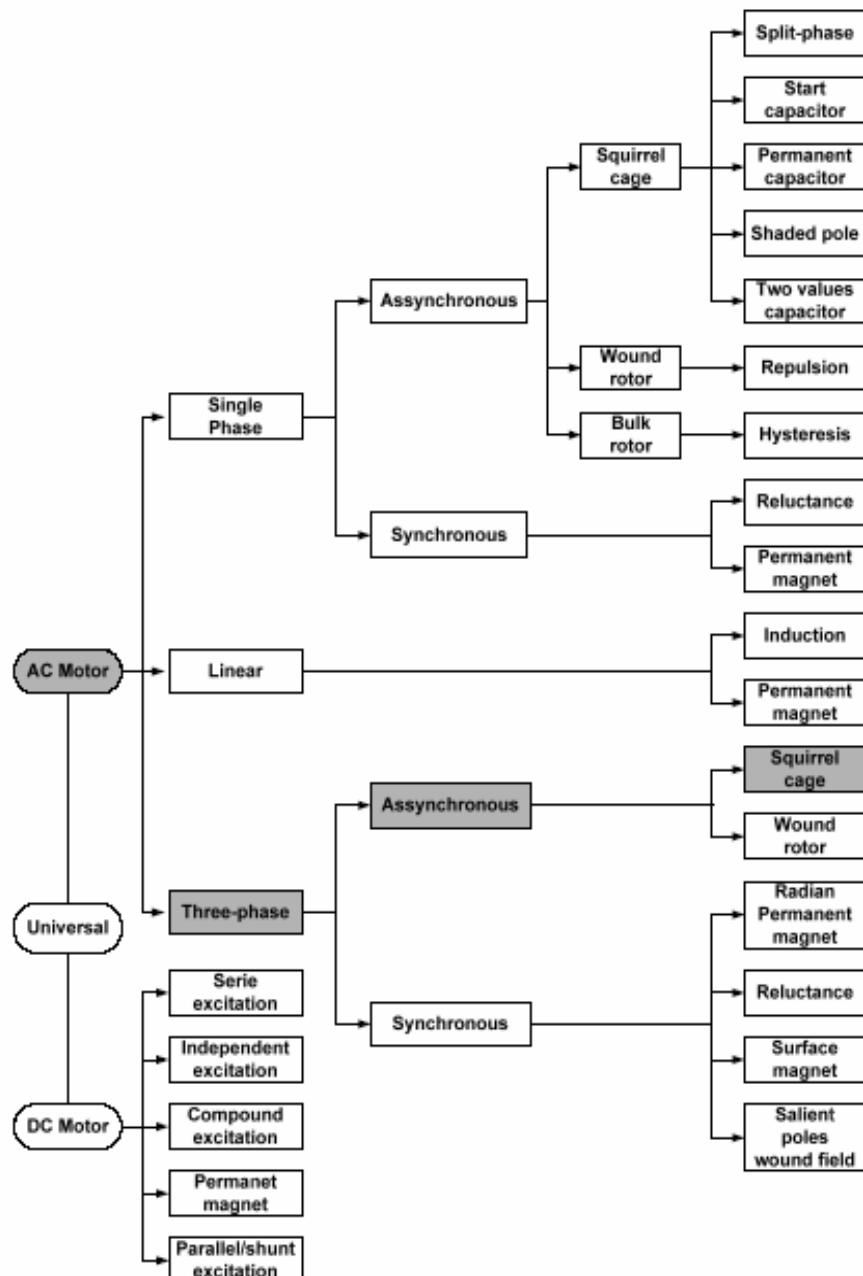
บทที่ 2

ทฤษฎีเกี่ยวกับ

2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำ 3 เฟส (3 Phase induction motor) เป็นส่วนประกอบของเครื่องจักรกลไฟฟ้า ที่นิยมใช้กันได้รับการยอมรับกันอย่างกว้างขวางมากที่สุดในวงการอุตสาหกรรม สำหรับเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกล โดยเฉพาะอย่างยิ่งชนิดที่มีโรเตอร์เป็นแบบกรงกระอก (squirrel cage type) ซึ่งมีข้อดีอยู่หลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากมีโครงสร้างที่แข็งแรง ทนทาน การติดตั้งง่าย ความถี่ในการดูแลรักษาต่ำ ราคายังต่ำกว่า รวมทั้งความสามารถในการทำงานในสภาพแวดล้อมที่สกปรก มีประกายไฟ การควบคุมการทำงานได้มีการพัฒนาทีขึ้น ได้แก่ กับเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบดิจิทัล สามารถนำไปใช้กับปั๊ม พัดลม เครื่องมือกล คอมเพรสเซอร์ เครื่องผสมอาหาร ระบบสายพานลำเรียง และงานขั้นเคลื่อนยื่น ๆ อีกมากมาย นอกจากนี้มอเตอร์เหนี่ยวนำสามารถทำงานได้จากการได้รับสัญญาณไซน์ที่มีความถี่คงที่จากแหล่งจ่ายสัญญาณไซน์ที่เปลี่ยนแปลงความถี่ได้ ในอดีตที่ผ่านมา มอเตอร์เหนี่ยวนำถูกนำมาใช้ในการขับเคลื่อน荷重ที่มีอัตราเร็วคงที่เท่านั้น ทั้งนี้สาเหตุเนื่องมาจากการควบคุมอัตราเร็วให้เปลี่ยนแปลงอย่างละเอียดนั้นทำได้ค่อนข้างยาก นอกจากนี้ยังไม่สามารถรักษาแรงบิด (torque) ของมอเตอร์ให้คงที่ได้ เมื่ออัตราเร็วของมอเตอร์เปลี่ยนไป แต่ด้วยวิทยาการทางเทคโนโลยีสมัยใหม่ ทั้งด้านอิเล็กทรอนิกส์ กำลังและ ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาในระบบควบคุมอัตราเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำให้มีประสิทธิภาพการทำงานและความน่าเชื่อถือของระบบทัดเทียมกับระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ส่งผลให้การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้รับความนิยมทัดเทียมกับการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถจำแนกได้หลายชนิดดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 ชนิดมอเตอร์ไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาถึงพฤติกรรมของมอเตอร์ไฟฟ้าหนี่ยวนำ 3 เฟส ชนิดที่มีโรเตอร์เป็นแบบกรงกระอก (squirrel cage induction motor) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ชนิดอะซิงโกรนัส (asynchronous motor)

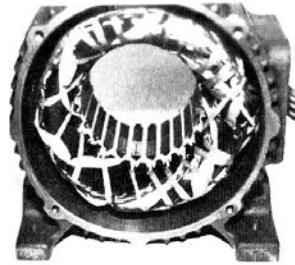
2.1.1 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

แม้ว่ามอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ หลายส่วน แต่ส่วนประกอบพื้นฐานของมอเตอร์ ก็คือสเตเตเตอร์และโรเตอร์ โครงสร้างของสเตเตเตอร์ประกอบด้วยแผ่นอัดชนิดเหล็กกล้ามาประกบซ้อนกันเป็นตัวถังรูปทรงกระบอก เพื่อเป็นทางเดินของสนามแม่เหล็ก ดังภาพที่ 2-2 (a) โดยมีชุดคลาวด์สเตเตเตอร์ทั้งสามเฟสจัดวางอยู่ในร่องบนผิวหน้าด้านในของตัวถังดังภาพที่ 2-2 (b) ส่วนโครงสร้างของโรเตอร์ประกอบด้วยแผ่นโลหะชนิดเฟอร์โรแมกเนติก ประกอบอัดกันเป็นรูปทรงกระบอกและทำร่องไว้บนผิวหน้าด้านนอกสำหรับฝังตัวนำ หรือวงชุดคลาวด์ระหว่างสเตเตเตอร์กับโรเตอร์จะเป็นช่องอากาศแคบ ๆ (air gap) แบบสม่ำเสมอรอบ ๆ ทรงกระบอก ชุดคลาวน์โรเตอร์มีสองแบบคือแบบชุดคลาวด์พัน (wound rotor) ดังภาพที่ 2-3 และแบบกรงกระอก (squirrel cage) ดังภาพที่ 2-4 โรเตอร์แบบกรงกระอกจะประกอบด้วยแท่งทองแดงหรือแท่งอะลูมิเนียมฝังอยู่ในร่องโรเตอร์แล้วปิดหัวท้ายด้วยแหวนทองแดงหรืออะลูมิเนียมเพื่อลดความจราจรส่วน ด้านโรเตอร์แบบพันชุดคลาวด์มีรูปแบบเหมือนกับชุดคลาวด์ของสเตเตเตอร์ ปลายชุดคลาวด์โรเตอร์จะต่ออยู่กับวงแหวนลิ่น (slip ring) สามอัน และจะใช้ประแจถ่านซึ่งขึ้ดอยู่กับที่ก่อสัมผัสถอยู่บนวงแหวนลิ่น ทำให้ปลายชุดคลาวด์ของโรเตอร์ต่อ กับ วงจรภายนอกที่เป็นตัวด้านทานแบบ 3 เฟส เพื่อใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ได้ เมื่อพิจารณาโครงสร้างของโรเตอร์ทั้งสองแบบแล้ว จะเห็นว่าโครงสร้างของโรเตอร์แบบกรงกระอกมีโครงสร้างที่ง่ายกว่า ประหยัดกว่า และทนทานกว่าโครงสร้างของโรเตอร์แบบชุดคลาวด์พัน

ชุดชุดคลาวด์ 3 เฟส บนสเตเตเตอร์และบนโรเตอร์ที่เป็นแบบชุดคลาวด์พันจะจัดวางให้กระจายไปรอบ ๆ ทรงกระบอกทำให้สามารถใช้เกนเหล็กและชุดคลาวด์ทองแดง ได้อย่างมีประสิทธิผล ทำให้เกิดการกระจายของแรงเคลื่อนแม่เหล็กได้ดีขึ้น ทำให้มอเตอร์สร้างแรงบิดแม่เหล็กได้อย่างสม่ำเสมอชุดคลาวด์ในแต่ละเฟสจะกระจายอยู่บนร่อง halfway ๆ ร่อง เมื่อมีกระแสไฟ流ผ่านชุดคลาวด์ที่กระจายอยู่นี้จะสร้างแรงบิดเคลื่อนแม่เหล็กที่กระจายอยู่ในช่องอากาศเป็นแบบไขนูซออยดัด

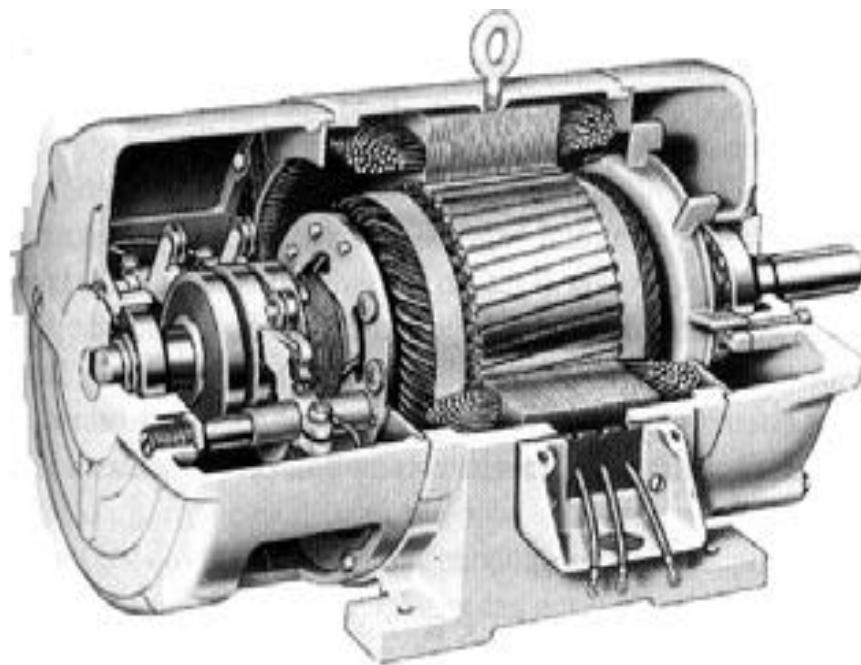


ทางเดินของสนามแม่เหล็ก

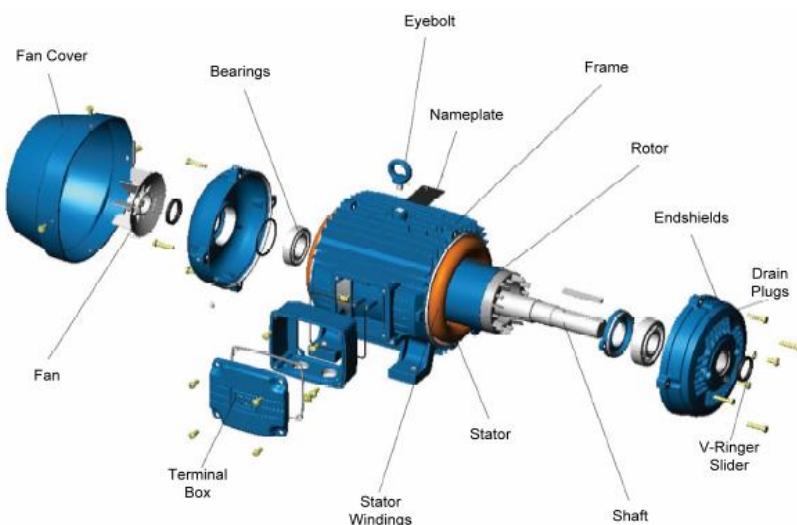


ชุดชุดคลาวด์สเตเตเตอร์

ภาพที่ 2-2 การพันชุดคลาวด์สเตเตเตอร์และทางเดินของสนามแม่เหล็ก



ภาพที่ 2-3 ขดลวดสเตเตอร์และโรเตอร์แบบขดลวดพื้น

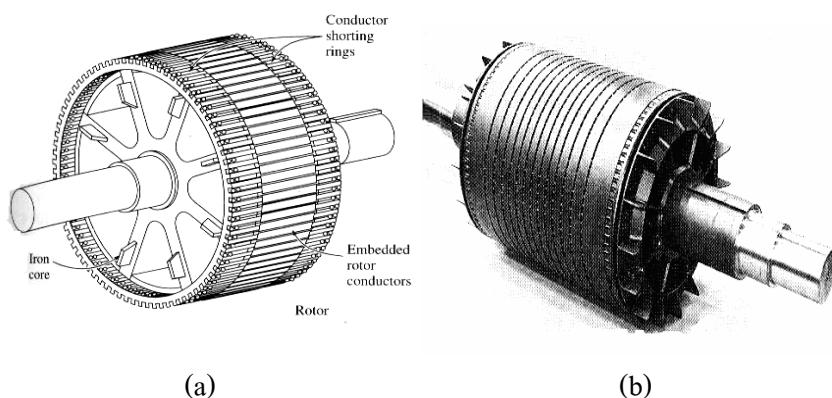


ภาพที่ 2-4 โครงสร้างโดยรวมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ชนิดโรเตอร์แบบกรงกระอก

สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ โครง (frame) แกนเหล็ก (lamination core) และขดลวด (windings) เป็นส่วนที่บีบสเตเตอร์และโรเตอร์โดยมีแกนโรเตอร์ (shaft) ทำหน้าที่รองรับน้ำหนักจากโรเตอร์ทั้งหมดแล้วส่งผ่านไปยังร่องลื่น (bearings) อีกต่อหนึ่ง ส่วนของขดลวด สเตเตอร์มี 3 ชุดพันกระจาดอยู่ในร่องสลิ๊อตของส่วนที่เป็นแกนสเตเตอร์

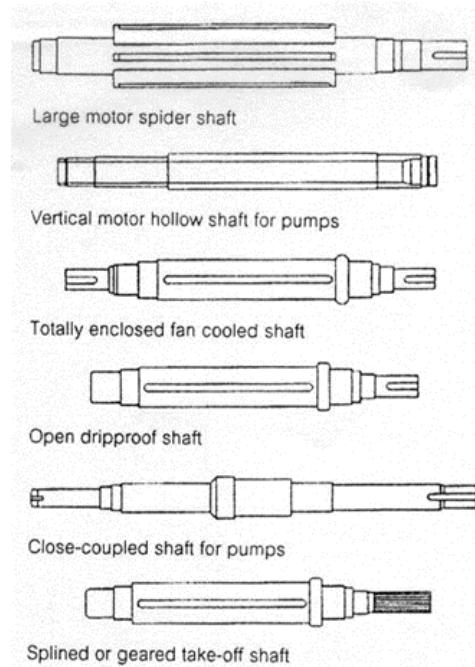
ซึ่งเป็นส่วนที่ต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟ 3 เฟส พลังงานที่ได้จากโรเตอร์เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กหมุนของสเตเตอร์ ซึ่งเป็นที่มาของคำว่า “มอเตอร์เหนี่ยวนำ” ซึ่งว่าระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์เรียกว่า air gap

โรเตอร์กรุงกระอกประกอบด้วยเหล็กแผ่นชั้นอัด (laminated steel) เพื่อนำพาฟลักซ์แม่เหล็ก การส่งผ่านความร้อน และโครงสร้างของกรุง ส่วนแท่งตัวนำโรเตอร์ (rotor bars) มีหน้าที่นำพากระแสไฟฟ้าและสร้างแรงบิด รองลิ่น (bearings) จะติดอยู่กับเพลา (shaft) เพื่อกำหนดตำแหน่งของโรเตอร์ ใบพัด (fans) โดยปกติจะถูกติดตั้งไว้ที่โรเตอร์เพื่อระบบความร้อนให้แก่ มอเตอร์ โรเตอร์อาจจะประกอบด้วยรูระบายน้ำอากาศ (air duct) โดยเฉพาะโรเตอร์แบบสไปเดอร์ (spider) ตัวอย่างของโรเตอร์แบบกรุงกระอกแสดงดังภาพที่ 2-5 (a) และภาพที่ 2-5 (b)



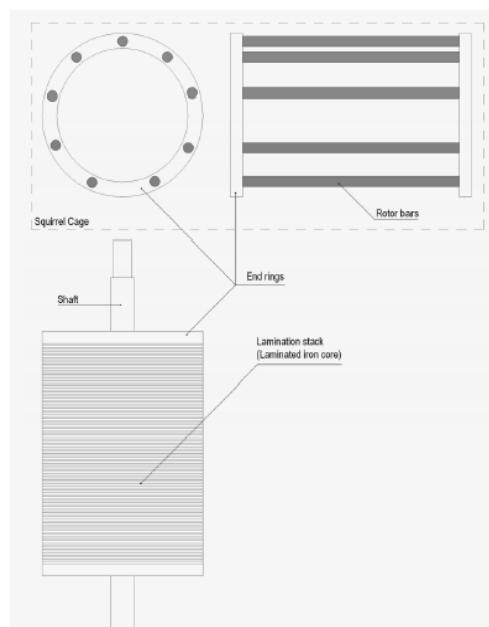
ภาพที่ 2-5 (a) โครงร่างโรเตอร์กรุงกระอกของมอเตอร์เหนี่ยวนำ
(b) ตัวอย่างของโรเตอร์กรุงกระอก

เพลาโรเตอร์โดยปกติแล้วจะทำจากเหล็กเบอร์ 1045 ซึ่งเป็นเกรดที่มีความแข็งแรงสูง หรือเหล็กที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันรวมถึงวัสดุอื่น ๆ สำหรับการนำมาประยุกต์ใช้ที่พิเศษ เช่น CR-MO 1442 สเตนเลส และคาร์บอน 1144 ขนาดของเพลาจะออกแบบโดยพิจารณาจากแรงบิดทั้งในสภาวะปกติและสภาวะชั่วครู่ (transient) รูปร่างของเพลามีหลายแบบ ดังภาพที่ 2-6



ภาพที่ 2-6 เพลาของมอเตอร์แบบต่าง ๆ

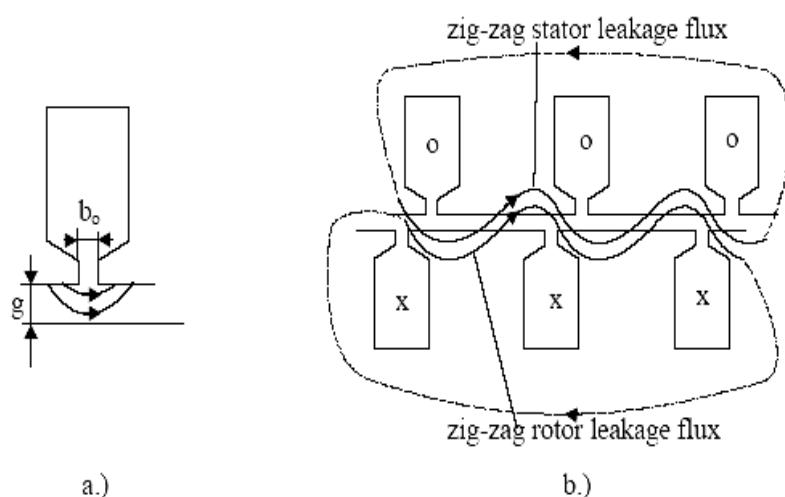
การขึ้นโครงร่างกันแพ่นเหล็กกรุปทรงกระบอกที่มีแท่งด้านนำผงอยู่จะต้องไม่เอียง และจะต้องไม่สัมผัสกับสเตเตอร์ขณะที่เริ่มเดินและขณะเดิน (startup or running) ดังภาพที่ 2-7



ภาพที่ 2-7 โครงร่างกระบอกของมอเตอร์เนี้ยวนำ

ช่องอากาศ (air gap) ของมอเตอร์เห็นี่ยวนำนั้น หมายถึงช่องว่างที่อยู่ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางอันในของสเตเตอร์กับเส้นผ่านศูนย์กลางอันนอกของโรเตอร์ ความกว้างของช่องอากาศจะถูกคงที่ไว้ที่ค่าต่ำสุด เพื่อป้องกันการถึงกันทางกระหะงสเตเตอร์กับโรเตอร์ ซึ่งขนาดของช่องอากาศจะมีอิทธิพลต่อคุณลักษณะในการทำงานบางอย่างของโรเตอร์

สนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์จะส่งกำลังไฟฟ้าข้ามผ่านช่องอากาศ และเปลี่ยนเป็นกำลังไฟฟ้าเป็นกำลังกล ช่องอากาศที่ยาวกว่าจำเป็นต้องใช้แรงแม่เหล็ก (magnetic force) มากกว่าเพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก (magnetic field) ถ้ากระแสแท้เหล็ก (magnetic current) มากขึ้น ค่าตัวประกอบกำลังจะต่ำลง ดังนั้นสำหรับค่าตัวประกอบกำลังที่ดีที่สุด ช่องอากาศควรจะมีขนาดที่ใหญ่ (กว้าง) เนื่องจากสามารถลดพลักซ์ซิกแซก (zigzag flux) ลงได้ รวมทั้งความสูญเสียปลีกย่อย (stray loss) ก็จะถูกทำให้ลดลงด้วย



ภาพที่ 2-8 ช่องอากาศ (a) leakage fields (b) and zig zag

จากภาพที่ 2-8 (a), (b) ช่องอากาศและพลักซ์ซิกแซก ความกว้างของช่องอากาศที่ดีที่สุด ที่จะนำไปใช้ จะเป็นการตัดสินสำหรับการออกแบบที่ต้องคำนึงถึงปัจจัยแต่ละปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ ได้แก่ ความเอียงศูนย์กลาง (eccentricities) ความผิดปกติ (irregularities) ในช่องอากาศ ซึ่งสิ่งเหล่านี้มีส่วนทำให้เกิดเสียงรบกวนขึ้นที่มอเตอร์ (motor noise) การสูญเสียที่เพิ่มขึ้น และการดึงด้านข้างทางแม่เหล็กของโรเตอร์ (magnetic side-pull) ในการกำหนดตำแหน่งของโรเตอร์สำหรับมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ จะใช้รองลื่นที่สามารถปรับได้เพื่อที่จะหาตำแหน่งของโรเตอร์ที่เหมาะสมหลังจากที่โรเตอร์ถูกกำหนดตำแหน่งอย่างเหมาะสมแล้วจึงยึดติดให้อยู่กับที่

2.2 การวิเคราะห์ความผิดปกติในมอเตอร์ (Motor Failure Analysis)

มอเตอร์นับเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญสำหรับกระบวนการต่าง ๆ ในอุตสาหกรรม เนื่องจากการทำหน้าที่เป็นตัวดันกำลัง โดยแบ่งพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลเพื่อขับ workload ต่าง ๆ ดังนั้นการวินิจฉัยความผิดปกติของมอเตอร์ จึงมีความจำเป็นเพื่อต้องการทราบสาเหตุความผิดปกติของมอเตอร์ก่อนที่จะได้รับความเสียหายที่รุนแรง ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวในหัวข้อนี้ โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

2.2.1 ความเสียหายของมอเตอร์

ความเสียหายของอินดักชั่นมอเตอร์ประกอบด้วย ความเสียหายทางกล และความเสียหายของฉนวน ซึ่งความเสียหายของฉนวน (Insulation system failure) คิดเป็น 5 เปอร์เซ็นต์ของความเสียหายทั้งหมด มีสาเหตุจากความชื้น (Moisture) อุณหภูมิสูง (Over temperature), ระบบไฟฟ้าไม่เสถียร (System surge) และการลัดวงจร (Faulty earth) ความเสียหายทางกล (Mechanical failures) เป็นความผิดปกติที่เกิดขึ้นบ่อยกับอินดักชั่นมอเตอร์ เช่น ความผิดปกติของสเตเตเตอร์ ผลจากการเปิดวงจรของขดลวดสเตเตเตอร์ (Stator faults), ตัวนำโรเตอร์แตก หรือวงแหวนโรเตอร์แตก (Broken rotor bars or Cracked rotor end rings), บริเวณซ่องว่างอากาศไม่สม่ำเสมอ (Air-gap irregularities), เพลาโค้งงอ (Bent shaft) การเอียงศูนย์ (Misalignment) และความเสียหายของแบริ่ง (Bearing failures) ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอินดักชั่นมอเตอร์จะแสดงอาการออกมาในหลายรูปแบบ อาทิเช่น ความไม่สมดุลของแรงดัน และกระแส การเพิ่มขึ้นของการสั่นสะเทือน ผลของค่าเฉลี่ยทธคุณลักษณะ มอเตอร์มีความสูญเสียเพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดความร้อนสูงขึ้น และประสิทธิภาพลดลง สารโนนิคของกระแสเพิ่มขึ้น กิจกรรมร้าวไหลของฟลักซ์แม่เหล็ก

2.2.2 การวินิจฉัยความผิดปกติของมอเตอร์

การวินิจฉัยความผิดปกติของอินดักชั่นมอเตอร์นั้นมีด้วยกันหลากหลายวิธี เช่น การวัดค่าสชาาร์จบางส่วน (Partial discharge measurement), การวิเคราะห์สัญญาณกระแสของมอเตอร์ (MCSA), การวิเคราะห์ทางเคมี (Chemical analysis), การเฝ้าสังเกตการณ์สั่นสะเทือน (Vibration monitoring), การเฝ้าสังเกตสนามแม่เหล็ก (Electromagnetic field monitoring) จากตารางที่ 2-1 แสดงการเปรียบเทียบเทคนิคการตรวจสอบความเสียหายของมอเตอร์ พนว่าแต่ละเทคนิคการตรวจสอบจะมีความสามารถในการตรวจสอบความผิดปกติที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับว่าการตรวจสอบความผิดปกติที่เกิดขึ้นประเภทใด ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้พิจารณา เทคนิคการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนเพื่อตรวจสอบความผิดปกติของมอเตอร์ที่มีสาเหตุจากการเอียงศูนย์ (Misalignment) และการหลวมคลอนของจุดเชื่อมต่อต่าง ๆ (Mechanical looseness)

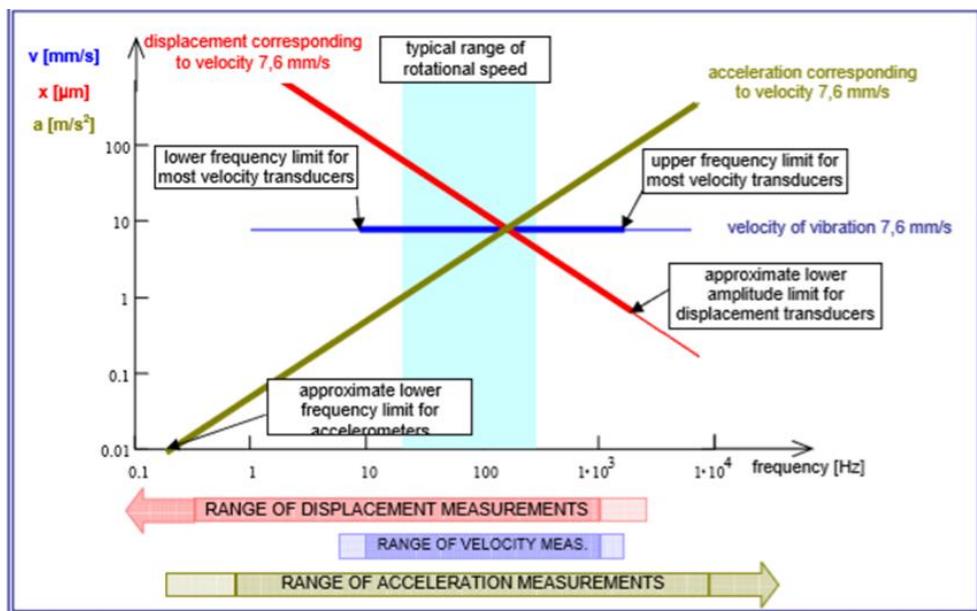
ตารางที่ 2-1 แสดงการเปรียบเทียบเทคนิคการตรวจสอบความเสียหายของมอเตอร์

ความผิดปกติ				
วิธีการ	จำนวน	ขดลวดสเตเตอร์	ตัวนำโรเตอร์	แบริ่ง
ดีซาร์จบางส่วน	✓			
กระแสสเตเตอร์		✓	✓	✓
ก้าช	✓	✓	✓	
การสั่นสะเทือน			✓	✓
ฟลักซ์แม่เหล็ก		✓	✓	

2.3 การจำแนกปัญหาที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์

2.3.1 ความเสียหายที่เกิดจากการสั่นสะเทือน

ปัจจุบัน มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดหนึ่งยังเป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ได้รับความนิยมมากในระบบอุตสาหกรรม ซึ่งในการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้านั้น จะมีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ และเมื่อเกิดการเคลื่อนที่ผลที่ตามมา คือ เกิดการสั่นขึ้น แต่ในกรณีที่เกิดความผิดปกติกับเครื่องจักรกลไฟฟ้า เช่น ชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลไฟฟ้า เกิดปัญหาแตก หัก ล่อน ให้เกิดการสั่นที่แตกต่างจากการสั่นของเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่มีสภาพปกติ ที่มาของ การสั่นเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น ความไม่สมมาตรของสนามแม่เหล็ก การวางแผนอุปกรณ์บนแกนที่ไม่ถูกต้อง เป็นต้น การวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลไฟฟ้าสามารถทำได้โดยการใช้เซ็นเซอร์วัดตำแหน่ง (Displacement) การใช้เซ็นเซอร์วัดความเร็ว (Velocity) การใช้เซ็นเซอร์วัดความเร่ง (Acceleration) การใช้เดเซอร์คือปั๊เพลอร์ไวน์บอร์มิเตอร์ (Laser Doppler Vibrometer) เป็นต้น แต่ที่นิยมมากที่สุด คือการใช้เซ็นเซอร์วัดความเร็ว เนื่องจากมีราคาถูก มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดี และสามารถติดตั้งบนเครื่องจักรได้ง่าย ค่าการสั่นสะเทือนที่วัดได้จะอยู่ในรูปของระยะกระฉัյ ความเร็ว และความเร่ง ซึ่งแต่ละชนิดมีความหมายสุนทรีย์ที่ต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 2-9



ภาพที่ 2-9 แสดงความเหมาะสมของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดการสั่นสะเทือน

โดยข้อมูลที่วัดได้จากเซ็นเซอร์นี้จะถูกนำมาใช้เปรียบเทียบอ้างอิงเพื่อวิเคราะห์ถึงชีนส่วนที่ถูกวัด เพื่อที่จะวิเคราะห์ความผิดปกติที่เป็นแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นกับชีนส่วนเหล่านั้นและวางแผนในงานบำรุงรักษา วิธีการในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาแล้วนั้นหลัก ๆ สามารถแบ่งออกเป็นสองวิธีการ คือ การวิเคราะห์สัญญาณในโดเมนของเวลา (Time-Domain Signal Analysis) โดยการวิเคราะห์จากรูปร่างของสัญญาณ (Waveform Analysis) และการวิเคราะห์สัญญาณในโดเมนความถี่ (Frequency-Domain Signal Analysis) โดยวิธีที่มีความซับซ้อน มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับมากที่สุดคือการวิเคราะห์สัญญาณในโดเมนความถี่

ในการวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลไฟฟ้าส่วนใหญ่จะถูกใช้ในการติดตามสภาพของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเบื้องต้นว่ามีความผิดปกติหรือไม่ย่างไร เพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับตัวเครื่องจักรเองหรือตัวบุคคลากรที่ใช้เครื่องจักรกลไฟฟ้า ประมาณของเสียงที่จะเกิดขึ้นในระบบอุตสาหกรรมและกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมนั้น ๆ ทั้งยังนำไปใช้อ้างอิงในการวางแผนการผลิตและทำการซ่อมบำรุงเครื่องจักรกลไฟฟ้านั้น ๆ ต่อไปในอนาคต

2.3.2 การเฝ้าสังเกตการณ์สั่นสะเทือน (Vibration monitoring)

การสั่นสะเทือนสามารถพิจารณาได้ตามมาตรฐานต่าง ๆ ดังนี้

- Velocity (mm/s) นิยมใช้วัดมากที่สุด ใช้วัดความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่มีความถี่ปานกลาง (10-1,000 Hz) ใช้วิเคราะห์ความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรโดยทั่วไป เช่น มอเตอร์ ปั๊ม พัดลม เป็นต้น

- Acceleration (mm/s^2) ใช้วัดความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่ความถี่สูงกว่า 1,000 Hz แต่โดยส่วนมากจะใช้วัดและวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนและการชำรุดเสียหายของลูกปืน (Bearing)
- Displacement (mm) ใช้วัดความสั่นสะเทือนที่ความถี่ต่ำไม่เกิน 10 Hz นิยมใช้วัดแบบ Peak to Peak

2.3.3 การวัดการสั่นสะเทือน

พารามิเตอร์ในการวัดสัญญาณ

- ความถี่ (rpm, cpm, Hz)
- ขนาดการสั่นสะเทือน (การขัด ความเร็ว ความร่าง)

ซึ่ง โครงการนี้จะพิจารณาพารามิเตอร์ขนาดของการสั่นสะเทือน ที่ความเร็วและความร่างเป็นหลัก หากให้ขนาดของความเร็วการสั่นมีค่าคงที่ทุก ๆ ช่วงความถี่ จะได้ว่า การขัดมีขนาดมากที่ความถี่ต่ำ และลดลงที่ความถี่สูง ส่วนความร่างมีค่าต่ำที่ความถี่ต่ำ และสูงขึ้นเมื่อความถี่สูง

- ที่ความถี่ต่ำ ($< 600 \text{ rpm}$, $< 10 \text{ Hz}$) มักนิยมวัดการขัด กรณีการขัดมีค่ามากความเสียหาย มักเกิดจากความเกิน

- ที่ความถี่ปานกลาง ($600\text{-}60,000 \text{ rpm}$, $10\text{-}1,000 \text{ Hz}$) มักนิยมวัดความเร็ว กรณีวัดการขัด ออกมากมีค่าสูง ความเสียหายอาจเกิดจากความล้า

- ที่ความถี่สูง ($> 60,000 \text{ rpm}$, $> 1,000 \text{ Hz}$) มักวัดความร่าง ถ้าความร่างมีค่ามากในขณะที่ความเร็วมีค่าน้อย ความเสียหายที่เกิดขึ้นอาจมาจากการแรงที่ป้อนเข้า

การประเมินระดับความรุนแรงของการสั่นสะเทือน

ประเภทที่ 1 ทุกชิ้นส่วนย่อของเครื่องยนต์และเครื่องจักร มีความติดต่อเชื่อมโยงกันกับตัวของเครื่องจักร ขณะทำงานในสภาพะปกติ เช่น มอเตอร์ไฟฟ้าที่มีกำลังไม่เกิน 15 kW

ประเภทที่ 2 เครื่องจักรที่มีขนาดปานกลาง เช่น มอเตอร์ไฟฟ้าที่มีกำลังตั้งแต่ 15-75 kW โดยไม่มีแท่นรองรับพิเศษใด ๆ หรือ ถุงถึง 300 kW ในกรณีที่มีฐานรองรับพิเศษ

ประเภทที่ 3 พัดลมขนาดใหญ่ และ เครื่องจักรขนาดใหญ่ที่ลักษณะการทำงานมีการหมุนของมวลน้ำหนักมาก ๆ ติดตั้งบนฐานที่ไม่สามารถโยกเคลื่อน และน้ำหนักมาก

ประเภทที่ 4 พัดลมขนาดใหญ่ และ เครื่องจักรขนาดใหญ่ที่มีลักษณะการทำงาน เมื่อมีการหมุนของมวลน้ำหนักมาก ๆ ติดตั้งบนฐานซึ่งยึดหยุ่น ได้เพื่อลดค่าการสั่นสะเทือน เช่น เทอร์โบเจเนอเรเตอร์

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			

ภาพที่ 2-10 ตารางการสั่นสะเทือนพิจารณาความเร็ว มาตรฐาน ISO 10816

หลักการวัดพื้นฐานสำคัญ 4 ประการ

1. แรงกดจะต้องสม่ำเสมอในการวัดทุกครั้ง
2. ตำแหน่งการวัด จะต้องเป็นตำแหน่งเดิมทุกครั้ง
3. เครื่องมือวัดควรจะตั้งฉาก ทำมุม 90 องศา กับจุดที่วัดเสมอ ยกเว้นเมื่อต้องวัดในแนว Horizontal bearing load zone ซึ่งเป็นบริเวณที่คลบลูกปืนรับแรงมากที่สุด
4. การวัดต้องวัดบนตัวเครื่องจักรโดยตรง ไม่ควรวัดบนการ์ดหรือโครงสร้างเครื่องจักร

2.4 ผลกระทบจากการสั่นสะเทือนที่มีผลต่ออุตสาหกรรม

2.4.1 การวางแผนแกนที่ไม่ถูกต้อง (Misalignment)

การวางแผนแกนที่ไม่ถูกต้อง (Misalignment) หรือการเชื่อมศูนย์ มีลักษณะคล้ายกับความไม่สมดุล ซึ่งมีสาเหตุมาจากการตัวคลบลูกปืนของเครื่องจักรกลไฟฟ้า เช่น การเชื่อมต่อเพลาของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเข้ากับตัว荷重 การเชื่อมต่อแบบเชื่อมศูนย์ นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด

- Angular Misalignment คือ การเชื่อมต่อเพลา 2 เพลาเข้าด้วยกัน โดยที่หน้าสัมผัสของเพลาทำมุมเป็นองศาต่อกัน
 - Parallel Misalignment คือ การเชื่อมต่อเพลา 2 เพลาเข้าด้วยกัน โดยที่ศูนย์กลางของการหมุนของเพลาหันส่องอยู่ในตำแหน่งที่ไม่ตรงกัน

2.4.2 การหลวมคลอนของเครื่องจักรกล (Mechanical Looseness)

การหล่อรวมคลื่นของเครื่องจักรกลไฟฟ้าสามารถเกิดขึ้นได้ 3 ที่

- การหล่อคลอนที่เกิดจากภายในของเครื่องจักรกลไฟฟ้า
 - การหล่อคลอนของฐานเครื่องจักรกลไฟฟ้ากับพื้นสัมผัส
 - การหล่อคลอนที่เกิดจากโครงสร้างของเครื่องจักรกลไฟฟ้า

การหล่อรวมคลองที่เกิดจากภัยในเครื่องจักรกลไฟฟ้า

การหลอมคลอนในรูปแบบนี้อาจเกิดขึ้นจากตัวคลับลูกปืนที่มีขนาดไม่เหมาะสม ซึ่งจะส่งผลให้เกิดชาร์โนมนิกขึ้นที่กราฟโคลเมนความถี่ การหลอมคลอนตัวของเครื่องจักรจะเกิดขึ้นได้หลายทิศทางตามแนวรัศมี โดยปกติจะวัดที่จุด 30 องศา ตามแนวแกนรัศมี

การหล่อรวมคลื่นของฐานเครื่องจักรกลไฟฟ้ากับพื้นผิวสัมผัส

การหลวมคลอนในรูปแบบนี้เกี่ยวข้องกับสลักเกลียวบล็อกหลวม รอยร้าวในโครงสร้างหรือแท่นรองพื้น ซึ่งแรงที่เกิดนี้จะสามารถวัดได้จากตัวกรองจักรกลไฟฟ้าตามแนวรัศมี

การหล่อรวมคลองที่เกิดจากโกรงสร้างของเครื่องจักรกลไฟฟ้า

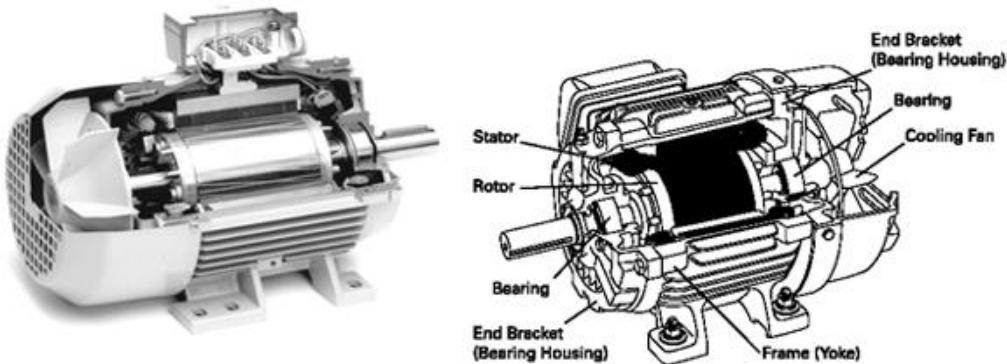
การหลวมคลอนในรูปแบบนี้เกิดจากการยุบตัวหรือจุดอ่อนของโครงสร้างในพื้นผิวของฐานรองของตัวเครื่องจักรกลไฟฟ้า นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากการยึดติดที่หลวม สลักเกลียวหลุดหลวนที่ฐานและการบิดเบี้ยวของเฟรมหรือฐาน ซึ่งจะทำให้เกิดแรงขึ้นในแนวคิ่ง สามารถวัดได้จากการใช้เซ็นเซอร์วัดที่ตัวฐานรองหรือตัวสลักเกลียวตามแนวคิ่ง และดึงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมของความถี่กับอาการของการหลวมคลอนใน

2.5 ผลกระทบจากอุณหภูมิที่มีผลต่อเมือง

ปัญหาที่เกิดจากมอเตอร์ที่มีอุณหภูมิสูงเกิน หรือ Over Temperature อาจจะเกิดมาจากการเลือกขนาด และชนิดของมอเตอร์ การติดตั้งไม่ถูกต้อง ความไม่เข้าใจในลักษณะของโหลดที่นำไปใช้งานรวมไปถึงอุณหภูมิ ของสภาพแวดล้อมในขณะใช้งานสูงเกินมาตรฐานหลาย ๆ ปัญหาที่เกิดกับมอเตอร์ รวมไปถึงปัญหาที่เกิดจากมอเตอร์ที่มีอุณหภูมิสูงเกิน สามารถที่จะหลีกเลี่ยงปัญหาที่จะเกิดขึ้นได้ ถ้าเข้าใจในหลักการทำงานของมอเตอร์ และเข้าใจถึงสภาพการนำไปใช้งาน

มอเตอร์กรุงกระอก หรืออินดักชั่นมอเตอร์ โดยส่วนใหญ่มีการระบายน้ำร้อนเป็นแบบชนิด IC411 หรือแบบ Self Cool หรือ TEFC (Totally Enclosure Fan Cool) โดยจะมีพัดลมอยู่สองชุด แยกวงจรลมออกเป็นวงจรลมร้อนภายในและภายนอก โดยวงจรลมภายในจะมีคริบใบพัดติดที่ตัวโรเตอร์ทำหน้าที่ตีลมให้มีการหมุนเวียนภายในห้องโรเตอร์ให้ลมกระจายโดยทั่ว

เพื่อสามารถนำพาอากาศความร้อนจากตัวโรเตอร์เอง และขดลวดสเตเตอร์ ถ่ายเทไปยังผิวของโกรงสร้างตัวมอเตอร์ โดยวิธีการนำพาระบายน้ำร้อน ส่วนวงจรลมด้านนอกจะมีพัดลมติดด้านท้ายของตัวโรเตอร์ด้านนอกโกรงมอเตอร์ ทำหน้าที่ดูดลมเข้าจากทางด้านท้าย (Non Drive End) ผ่านทางคริบด้านนอกเพื่อช่วยนำพา และระบายน้ำร้อนออกจากตัวโกรงสร้างมอเตอร์ ดังภาพที่ 2-11



ภาพที่ 2-11 แสดงลักษณะโกรงสร้างของมอเตอร์หนี่ยานแบบกรุงกระอก

มอเตอร์โดยทั่วไปจะประกอบด้วยโกรงเหล็กหรืออะลูมิเนียมด้านนอกครอบสเตเตอร์ที่ทำจากแผ่นเหล็กบางเรียงอัดซ้อนกัน พร้อมขดลวดทองแดงหุ้มด้วยฉนวนฟิงในร่องสเตเตอร์ แล้วทำการชุบหรือเคลือบด้วยฉนวนนานิช แล้วอบแห้งเพื่อให้ทนทานต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากการใช้งาน บางชนิดของมอเตอร์หรือบางโรงงานอาจจะผ่านกรรมวิธี VPI (Vacuum Pressure Impregnation)

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเคลือบนานิชให้กระจายทุกซอกทุกมุม เพิ่มความคงทนแข็งแรง อันเนื่องมาจากการสั่นสะเทือน และลดโอกาสที่ผู้ผลิตจะเข้าไปปั๊บระหว่างขดลวด โดยทั่วไปในปัจจุบันนี้วัสดุของฉนวนที่ใช้ส่วนใหญ่ จะสามารถทนอุณหภูมิได้ตามมาตรฐานฉนวนไฟฟ้า Class F ซึ่งจะสามารถทนอุณหภูมิได้สูงสุด 155 องศาเซลเซียส หรือมอเตอร์บางรุ่นอาจจะใช้ฉนวนไฟฟ้าตามมาตรฐาน Class H ซึ่งสามารถทนอุณหภูมิได้สูงสุดถึง 180 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิกับอายุการใช้งานของมอเตอร์

อายุการใช้งานของมอเตอร์จะนานาน หรือสั้นลง ส่วนสำคัญ ส่วนหนึ่ง คือ อายุการใช้งาน ของจำนวนที่ขาดลวด ส่วนอื่น ๆ เช่น แบริ่ง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ทางกลสามารถที่จะพอมองเห็นได้ด้วยตา หรือฟังด้วยเสียงได้ และการเปลี่ยนอุปกรณ์เหล่านี้ ไม่ยากและราคาไม่สูงมากนัก

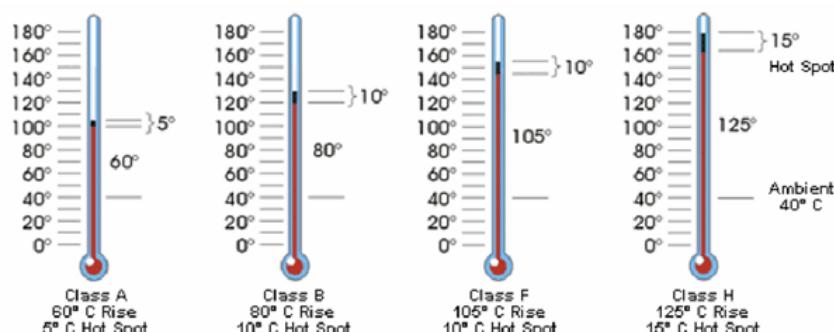
มอเตอร์ส่วนใหญ่เกินกว่า 50% จะเสียอันเนื่องมาจากการลัดวงจรของขาดลวด การลัดวงจร อาจจะเกิดจากปั๊มหัวทางกลที่สามารถมองเห็นได้ง่าย แต่สาเหตุใหญ่ที่อยู่เบื้องหลัง คือจำนวนเสื่อม คุณภาพก็ เพราะความเป็นจำนวนมาก ไม่สามารถทำหน้าที่เป็นจำนวนมากแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ได้ จึงทำให้ เกิดแรงดันทะลุจำนวน เกิดการลัดวงจรทางไฟฟ้า หรือลัดวงจรลงดิน

จำนวนเสื่อมคุณภาพสามารถที่จะลดลงของวัสดุเปลี่ยนไป ความเป็นจำนวนมากของขาดลวดเสื่อมคุณภาพ ทำให้เกิดการ ลัดวงจรลงดิน หรือระหว่างขาดลวด

อุณหภูมิกินพิกัดนั้นมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย เช่น สภาพแวดล้อม ไม่ตรงกับที่ออกแบบ, มอเตอร์ขับโหลดเกินทำให้กระแสเกิน, การ starters ทบอยเกินไป จะมีกระแสเป็นจำนวนมากในตอน ที่มอเตอร์ starters ทำให้ร้อนจัด, หรือการเลือกมอเตอร์ไม่เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน เป็นต้น

ดังนั้นปัจจัยที่สำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบกระเทือนต่ออายุการใช้งานของมอเตอร์ก็คือ ความ ร้อนเกินพิกัด (Temperature Limited) นั้นเอง

โดยปกติจำนวนสำหรับมอเตอร์ควรจะมีอายุการใช้งานประมาณ 20 ปี ถ้ามอเตอร์นั้นทำงาน ภายใต้สภาวะแวดล้อมตามการที่ออกแบบเอาไว้ หากอุณหภูมิของฉนวนเพิ่มขึ้นทุก ๆ 10 องศา เชลเซียส อายุการใช้งานของฉนวนจะสั้นลง โดยประมาณ 50% ยกตัวอย่างเช่น ตามสถิติ จำนวน Class F (155 องศาเซลเซียส) นำไปใช้งานที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตาม Class F (105 องศาเซลเซียส) จะมี อายุการใช้งานประมาณ 60,000 ชั่วโมง แต่หากนำไปใช้งานที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตาม Class B (80 องศาเซลเซียส) จะมีอายุการใช้งานประมาณ 150,000 ชั่วโมง เป็นต้น



ภาพที่ 2-12 แสดงมาตรฐานอุณหภูมิ หรือ Class ของจำนวนสำหรับขาดลวดมอเตอร์

ในบางกรณี อาจจะมีผู้ขายหรือผู้ผลิตบางรายใช้วิธีเล่นคำ นำเสนออมอเตอร์ซึ่งปกติมอเตอร์มี ฉนวนแบบ Class F ออกแบบเพื่อใช้งาน Utilization to Class B สามารถขับโหลดได้ไม่เกิน 100 kW เล่นคำเดียวกันเป็นมอเตอร์ 110 kW จำนวนชนิด Class F Utilization to Class F พังคูดี และขนาด มอเตอร์ใหญ่กว่า นำจะราคาแพงกว่ามอเตอร์ 100 kW Class F/B

ซึ่งแท้ที่จริงแล้วเป็นมอเตอร์เหมือนกันทุกประการ Utilization to Class F หมายความว่าเมื่อนำ มอเตอร์ไปใช้งานที่กำลังพิกัด (ซึ่งจะสูงกว่าเดิมประมาณ 10%) จะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก อุณหภูมิแวดล้อมได้สูงขึ้นจากเดิม 80 องศาเซลเซียส เปลี่ยนเป็น Class F หรือ 105 องศาเซลเซียส หรืออธิบายได้อีกอย่างหนึ่ง มอเตอร์ตัวเดียวกันนี้ ถ้าระดับการนำไปใช้งาน เป็นแบบ Class F/B จะ ได้กำลังน้อยกว่า F/F ประมาณ 10%

นอกจากนั้น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะเป็นผลทำให้เกิดค่าความต้านทานของขดลวดใน มอเตอร์เพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่า I₂R หรือกำลังสูญเสียในด้ามอเตอร์เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่แตกต่างไป ทำให้ประสิทธิภาพของการแปลงพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกลของมอเตอร์ลดลง

ตามมาตรฐาน IEC 85 มอเตอร์จะออกแบบขดลวดเป็นแบบชนิด Class F Utilization to Class B หมายความว่า ขดลวดที่สแตเตเตอร์ได้ถูกออกแบบโดยใช้จำนวนเพิ่มขึ้นแบบชนิด Class F ซึ่งตาม มาตรฐานจะต้องสามารถทนอุณหภูมิสูงสุดได้ถึง 155 องศาเซลเซียส Utilization to Class B หมายความว่า การนำมาใช้งานที่กำลังพิกัด จะยินยอมให้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิแวดล้อม ต้องไม่เกิน Class B = 80 องศาเซลเซียส หรืออีกนัยหนึ่ง หมายความว่า อุณหภูมิของขดลวดเมื่อ นำไปใช้งานที่กำลังพิกัด (Rated Power Output) อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิแวดล้อมต้องไม่เกิน 80 องศาเซลเซียส

ยกตัวอย่าง ตามมาตรฐาน IEC 85 มอเตอร์ จะออกแบบและทดสอบมาให้ใช้งาน ณ อุณหภูมิ แวดล้อม 40 องศาเซลเซียส ดังนั้นอุณหภูมิที่ขดลวดจะมีอุณหภูมิสูงสุดไม่เกินอุณหภูมิแวดล้อม 40 องศาเซลเซียส + อุณหภูมิแวดล้อมตามมาตรฐานมอเตอร์ Class B 80 องศาเซลเซียส = 120 องศา เซลเซียส โดยเฉลี่ย หรืออ้างอิงตามมาตรฐาน IEC ในแต่ละจุดที่ขดลวดสแตเตเตอร์ อาจจะยินยอมให้มี Hot Spot หรือ Tolerance ได้ 10 องศาเคลวิน

2.6 ผลกระทบจากการแสวงหาแรงดันที่มีผลต่อมอเตอร์

2.6.1 กรณีมอเตอร์ทำงานที่แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าพิกัด

เมื่อมีการใช้งานมอเตอร์ในสภาพแวดล้อมแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าพิกัดจะมีผลทำให้กระแสไฟฟ้าที่ ป้อนให้มอเตอร์เพิ่มขึ้น (I^2R) ซึ่งจะทำให้เกิดความสูญเสียค่าน้ำร้อนเพิ่มขึ้นในขดลวดสแตเตเตอร์ และโรเตอร์ ซึ่งจากผลดังกล่าวจะทำให้อุณหภูมิของขดลวดสูงขึ้นและจะทำให้ความเป็นจนวนของ

ขาด漉漉ดลงและมีอายุการใช้งานสั้นลงในที่สุด อย่างไรก็ตามถ้ามอเตอร์มีการใช้งานไม่หนักหรือมีโหลดน้อยการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าที่มีผลจากการลดลงของแรงดันไฟฟ้าก็จะมีค่าต่ำกว่ากระแสพิกัดของมอเตอร์ ซึ่งจากผลดังกล่าวก็จะไม่ทำให้เกิดความร้อนหรืออุณหภูมิที่ขาด漉ดมอเตอร์สูงขึ้นแต่อย่างใด

สำหรับกรณีซิงโครนัสมอเตอร์ที่มีการใช้ไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ที่ถูกแปลงจะแหล่งไฟฟ้ากระแสสลับเดียวกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าสลับ 3 เฟส ที่ป้อนให้มอเตอร์ไฟฟ้าในกรณีที่เกิดแรงดันต่ำกว่าพิกัด ก็จะเป็นสาเหตุให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงต่ำกว่าพิกัดไฟด้วย จากผลดังกล่าวก็จะทำให้สามารถแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกสร้างขึ้นก็จะลดลงตามไปด้วย ซึ่งจะทำให้มีผลต่อการทำงานของมอเตอร์โดยตรง

2.6.2 กรณีมอเตอร์ทำงานที่แรงดันไฟฟ้าสูงกว่าพิกัด

เมื่อมอเตอร์มีการใช้งานที่แรงดันไฟฟ้าสูงกว่าพิกัด กระแสไฟฟ้าในขาด漉ดของสเตเตอร์จะมีค่าลดลง และถ้าแรงดันที่ป้อนให้มอเตอร์มีค่าสูงเพียงพอ ก็จะทำให้สามารถแม่เหล็กไฟฟ้าของแกนเหล็กเกิดการอิ่มตัวได้ จากการเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวขึ้นก็จะส่งผลให้กระแสไฟฟ้ากระแสตื้น(Exciting Current) มีค่าสูงขึ้นเป็นอย่างมาก ก็จะมีผลทำให้เกิดความร้อนสูงในขาด漉ด

2.7 การศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด

2.7.1 ADXL345

ADXL345 เป็นระบบการวัดความเร่ง 3 แกนที่สมบูรณ์พร้อมช่วงการวัดที่เลือกได้ที่ $\pm 2 \text{ g}$, $\pm 4 \text{ g}$, $\pm 8 \text{ g}$ หรือ $\pm 16 \text{ g}$ ซึ่งวัดทั้งการเร่งความเร็วแบบไลนาริกที่เกิดจากการเคลื่อนไหวหรือการกระแทกและการเร่งความเร็วแบบคงที่ เช่น แรงโน้มถ่วงที่ช่วยให้อุปกรณ์สามารถใช้เป็นเซ็นเซอร์วัดการอิ่ยงได้ เซ็นเซอร์เป็นโครงสร้างโพลีซิลิโคนพื้นผิวไมโคร-ไนโครที่สร้างขึ้นบนชิลิโคนเวฟอร์โพลีซิลิโคนสปริงแขวนโครงสร้างเหนือพื้นผิวของเวเฟอร์และให้ความต้านทานต่อแรงนีองจาก การเร่งความเร็วที่ใช้



ภาพที่ 2-13 ADXL345 เซ็นเซอร์วัดค่าการสั่นสะเทือนที่ใช้ในการทำโครงงาน

2.7.2 การวัดอุณหภูมิด้วยไอซี DS18B20 Digital Thermometer

ในปัจจุบัน มีไอซีสำหรับวัดอุณหภูมิให้เลือกใช้อยู่หลายแบบ แบ่งตามรูปแบบของ เอาต์พุต ได้เป็นสองประเภทคือ ไอซีที่ให้อาต์พุตแบบแอนะล็อก และแบบดิจิทัล โดยทั่วไปไอซี แบบดิจิทัล จะมีวงจรประเกต ADC (Analog to Digital Converter) รวมอยู่ภายใน บางตระกูลหรือ บางรุ่น สามารถโปรแกรมหรืออ่านค่าเรซิสเตอร์ภายในได้ เช่น เพื่อกำหนดค่าที่เกี่ยวข้องกับการ ทำงานของไอซี ในส่วนการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ นั้นจะเป็นการสื่อสารข้อมูลแบบ SPI หรือ I2C เพื่อประยุกต์ I/O ในการเชื่อมต่อ บทความนี้กล่าวถึง การใช้งานไอซี DS18B20 Digital Thermometer ของบริษัท Maxim และเขียนโปรแกรมดิจิตอลสื่อสารด้วย Arduino บุคเด่นของ ไอซีในตระกูลนี้คือ การสื่อสารข้อมูลด้วยสัญญาณเพียงเส้นเดียว นำอุปกรณ์หรือไอซีมาต่อ กัน หลายตัวเป็นบัส (Bus) ได้ โดยใช้โปรโตคอลสื่อสารที่เรียกว่า 1-Wire (OneWire)

ไอซีวัดอุณหภูมิในตระกูล DS18xx ของ Maxim / Dallas Semiconductor

ไอซีวัดอุณหภูมิในตระกูล DS18xx มีอยู่หลายรุ่น เช่น DS1820, DS18S20 และ DS18B20 เป็นไอซีที่วัดอุณหภูมิและให้ค่าแบบดิจิทัล เชื่อมต่อในรูปแบบของบัสที่เรียกว่า 1-Wire ไอซีเหล่านี้มีความแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ในบทความนี้จะกล่าวถึงเฉพาะ DS18B20

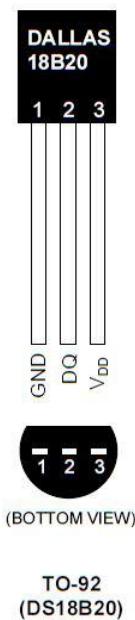
ข้อมูลเชิงเทคนิคเกี่ยวกับไอซี DS18B20:

- ใช้แรงดันไฟเลี้ยง Vdd (หรือ Vcc) ได้ในช่วง 3.0V ถึง 5.5V
- มี 3 ขา (สำหรับตัวถัง TO-92) คือ Gnd (Pin 1), DQ (Pin 2), Vdd (Pin 3)
- ใช้งานได้สองแบบ: normal mode (ใช้ทั้ง 3 ขา) และ parasite power mode (ใช้เพียง 2 ขา คือ DQ และ GND ในขณะที่ขา Vdd จะต่อ กับขา Gnd)
 - สามารถนำไอซีมาพ่วงต่อกันในบัสเดียว (เส้นสัญญาณ DQ) ได้หลายอุปกรณ์
 - ในการใช้งาน จะต้องต่อ pull-up $4.7\text{ k}\Omega$ (หรือน้อยกว่าได้เล็กน้อย) ที่ขา DQ กับ แรงดันไฟเลี้ยง
 - วัดอุณหภูมิได้ในช่วง -55°C ถึง $+125^{\circ}\text{C}$
 - มีความแม่นยำ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ สำหรับอุณหภูมิในช่วง -10°C ถึง $+85^{\circ}\text{C}$
 - มีความละเอียดของค่าที่อ่านได้ 12 บิต (Resolution)
 - ใช้เวลาในการแปลงข้อมูลสำหรับ ADC ไม่เกิน 750 msec (มิลลิวินาที) สำหรับข้อมูล

12 บิต

- ไอซีแต่ละตัวมีหมายเลขเฉพาะตัว ขนาด 64 บิต (64-bit serial code)
- สำหรับตระกูล DS18B20 มีค่าไบต์สำหรับ 8-bit family code ตรงกับ 28 h (0x28) เป็นไบต์แรกของหมายเลขอุปกรณ์

ภายในไอซี DS18B20 มีหน่วยความจำแบบ SRAM ขนาดความจุ 9 ไบต์ (Byte 0 ถึง Byte 9) และเรียกว่า Scratchpad ส่วนหนึ่งของหน่วยความจำนี้ จะใช้สำหรับเก็บค่าอุณหภูมิที่ได้จากการอ่านและแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัลในแต่ละครั้ง (ใช้ 2 ไบต์ และเก็บไว้ใน Byte 0 และ Byte 1) และยังมีการคำนวณค่า CRC (checksum) ขนาดหนึ่งไบต์ด้วย (เก็บไว้ใน Byte 8)



ภาพที่ 2-14 ขาและตัวถัง TO-92 ของไอซี DS18B20



ภาพที่ 2-15 อุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิ DS18B20 ที่ใช้ในการทำโครงการ

2.7.3 ACS712 (Hall effect sensor)

ACS712 เป็นโมดูลที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้า โดย Packet ของ ACS712 ที่ใช้เป็นเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าในโครงงานนี้สามารถวัดกระแสได้ $\pm 20\text{A}$ และค่าเอาต์พุตที่ได้จะเป็นค่า Voltage ซึ่งเมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลภายในวงจรเดยจะได้ค่าแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ $\text{Vcc}/2$ ถ้ากระแสไฟฟ้าที่วัดมีค่าเป็นบวกค่าของแรงดันเอาต์พุตจะมากกว่า $\text{Vcc}/2$ และในทางตรงกันข้ามถ้ากระแสไฟฟ้ามีค่าเป็นลบ ค่าแรงดันเอาต์พุตจะน้อยกว่า $\text{Vcc}/2$

ข้อมูลทางเทคนิคของ ACS712

- วัดกระแสได้ในย่าน -20 ถึง $+20\text{ A}$ (วัดได้ทั้งกระแส AC และ DC)
- ใช้แหล่งจ่ายแรงดัน 5 V
- Sensitivity 100 mV/A
- 80 kHz bandwidth



ภาพที่ 2-16 ACS712 เซ็นเซอร์วัดกระแสที่ใช้ในการทำโครงงาน

2.7.4 เซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า 220VAC

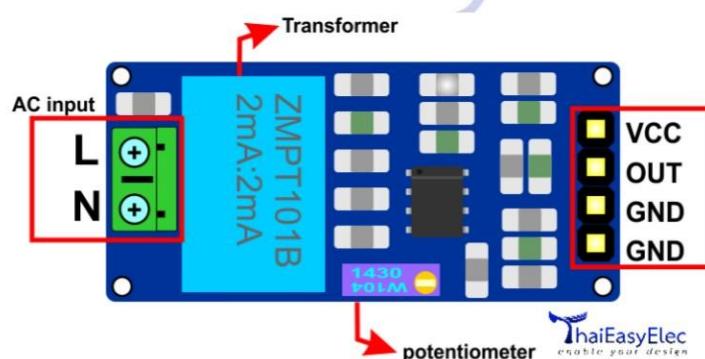
ชุดโมดูลเซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟ AC สูงสุดที่ 250VAC สัญญาณที่ออกจากโมดูลเป็นสัญญาณอนาล็อก สามารถนำไปต่อเข้า กับขา ADC ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ $\text{Vref} +5\text{V}$ ได้ทันที เช่น Arduino Uno, Mega, Leonardo มีวงจรขยายสัญญาณ สามารถปรับขนาดแอมป์ลิจูดของสัญญาณเอาต์พุตได้ จากการปรับตัวค่านานาด้วยค่าวนบอร์ด



ภาพที่ 2-17 ZMPT101B เซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการทำโครงการ

ข้อมูลทางเทคนิคของ ZMPT101B

- Supply Voltage : 5VDC
- Signal output : Analog
- Current Range : 0-3 mA
- Turns ratio 1000:1000
- Isolation voltage : 4000 V
- Frequency range : 50-60 Hz
- Accuracy class : 0.2
- Dimensions : 1.97 in x 0.79 in x 0.94 in (5 cm x 2 cm x 2.4 cm)

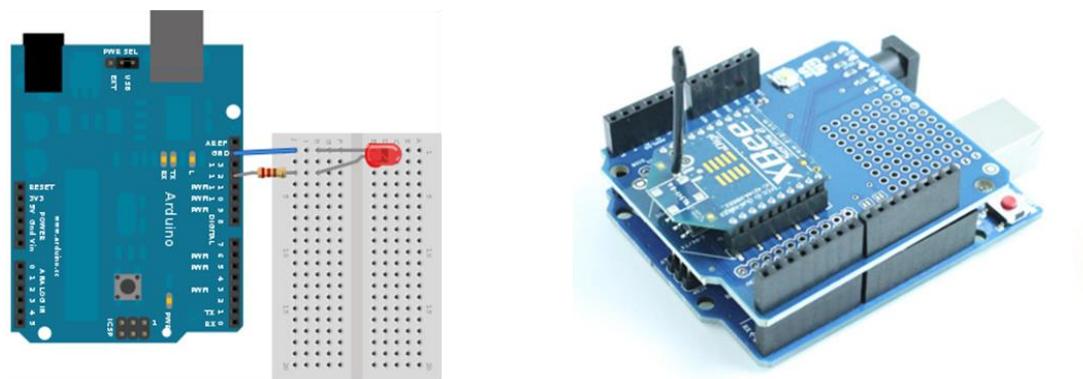


ภาพที่ 2-18 แสดงส่วนประกอบของ ZMPT101B

2.7.5 Arduino UNO R3

เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัวบอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสมสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่ออยู่ด้วยทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย

ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่าง ๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจร อิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อ กับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่าง ๆ (ภาพที่ 2-19) เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino และเมื่อเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย



ภาพที่ 2-19 การต่อบอร์ด Arduino กับอุปกรณ์เสริม

ข้อมูลทางเทคนิคของ Arduino UNO R3

- USB Port: ใช้สำหรับต่อ กับ Computer เพื่ออัปโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟ ให้กับบอร์ด

- Reset Button: เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่

- ICSP Port ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน

Atmega16U2

- I/O Port: Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้บาง Pin จะทำหน้าที่อื่น ๆ เพิ่มเติมด้วย

- ชั้น Pin0, 1 เป็นขา Tx, Rx Serial, Pin3, 5, 6, 9, 10 และ 11 เป็นขา PWM

- ICSP Port: Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader

- MCU: Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
- I/O Port: นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้วยังเปลี่ยนเป็นช่องรับสัญญาณอนาล็อกตั้งแต่ขา A0-A5
 - Power Port: ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, V_{in}
 - Power Jack: รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V
 - MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2

2.7.6 Raspberry pi 3

Raspberry Pi 3 Model B บอร์ด Raspberry Pi 3 Model B พัฒนาต่อมาจาก Raspberry Pi 2 จะมีอยู่ด้วยกัน 2 รุ่น คือ Model A และ Model B

ข้อมูลทางเทคนิคของ Raspberry Pi 3 Model B

- Broadcom BCM2837 chipset running at 1.2 GHz
- 64-bit quad-core ARM Cortex-A53
- 802.11 b/g/n Wireless LAN
- Bluetooth 4.1 (Classic & Low Energy)
- Dual core Video core IV® Multimedia co-processor
- 1 GB LPDDR2 memory
- Supports all the latest ARM GNU/Linux distributions and Windows 10 IoT
- micro USB connector for 2.5 A power supply
- 1 x 10/100 Ethernet port
- 1 x HDMI video/audio connector
- 1 x RCA video/audio connector
- 4 x USB 2.0 ports
- 40 GPIO pins
- Chip antenna
- DSI display connector
- microSD card slot>
- Dimensions: 85 x 56 x 17 mm



ภาพที่ 2-20 บอร์ด Raspberry Pi 3

บอร์ด Raspberry Pi จะมี GPIO (General Purpose Input-Output) ซึ่งคือส่วนที่เอาไว้ต่อสัญญาณ Input/Output เข้ากับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายนอกได้ โดย Raspberry Pi3 Model B มี GPIO 40 ขา โดย GPIO สามารถรับแรงดันอินพุตสูงสุดได้ 3.3 v เท่านั้น ถ้าแรงดันอินพุตเกินจะทำให้อุปกรณ์เสียหาย

2.8 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด

2.8.1 จุดที่ใช้ในการวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์

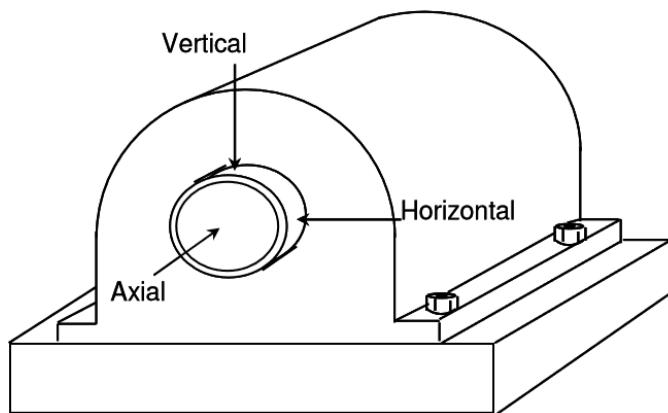
ในการวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรนั้นจากมีเครื่องวัดการสั่นสะเทือนแล้ว สิ่งหนึ่งที่เราต้องรู้ก็คือจุดที่เราจะต้องเอาเครื่องมือไปวัดว่าจะต้องวัดที่จุดไหนบ้าง ดังนั้นในการวัดการสั่นสะเทือนของวัตถุหรือชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักรเราจึงต้องวัดในจุดที่เป็นจุดต่อของจุดที่หมุนหรือเคลื่อนที่กับจุดที่อยู่กับที่ซึ่งก็คือจุดที่รองรับการหมุนหรือการเคลื่อนที่ในการหมุนที่เป็นตลับลูกปืน (Bearing) หรือชุดตลับลูกปืน (Bearing Unit)

ในการวัดความสั่นสะเทือนนั้นโดยปกติแล้วจะทำการวัดใน 2 แนววัด โดยแยกเป็น 3 จุดวัด คือ

1. จุดวัดในแนวแกน (Axial)
2. จุดวัดในแนวรัศมี (Radius) ที่เป็นแนวอน (Horizontal)
3. จุดวัดในแนวรัศมี (Radius) ที่เป็นแนวตั้ง (Vertical)

ในการวัดนั้นจุดที่วัดจะต้องเป็นจุดที่เป็นตัวเรือนเครื่องจักรหรือตัวเรือนของมอเตอร์ ไม่แนะนำให้วัดบนฝาครอบหรือชิ้นส่วนอื่น ๆ เพราะจะทำให้ค่าที่ได้จากการวัดผิดเพี้ยนไปจาก

ความเป็นจริง ในการวัดแต่ละแนวโน้ม ค่าที่ได้จากแต่ละแนวของการวัดจะเป็นตัวที่บ่งบอกถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้นซึ่งจะอธิบายเบื้องต้นได้ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2-21 แสดงจุดวัดการสั่นสะเทือนบนตัวมอเตอร์ไฟฟ้า

- แนวแกน (Axial) คือ จุดวัดที่อยู่ในแนวนานกับเพลาของเครื่องจักรที่ต้องการวัดในการวัดนั้นเราต้องวัดในจุดที่อยู่ใกล้กับเพลาให้มากที่สุด การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นมากผิดปกติ หรือเกิดขึ้นอย่างรุนแรงในแนวนี้มีสาเหตุมาจากการรุนแรงของเพลา การคงของเพลา และการ Misalignment ระหว่างตันกำลังกับตัวตามไม่มีดี เช่น การ Misalignment ระหว่างมอเตอร์กับบ้มของชุดปั๊มน้ำ

- แนวรัศมี (Radius) หรือแนวรัศมีในการหมุนของเพลา ใบพัด มอเตอร์หรือส่วนที่หมุนของเครื่องจักร คือแนวการวัดที่ตั้งฉากกับแนวการวัดในแนวแกน แบ่งเป็นสองแนวคือ

1) แนวอน (Horizontal) คือจุดวัดที่อยู่ในแนวอนหรือแนวนานกับพื้น หรือตั้งฉากกับจุดยึดของฐานมอเตอร์หรือเครื่องจักร ซึ่งจะวัดทางด้านขวาหรือด้านซ้ายของชิ้นส่วนหรือ เครื่องจักรที่ต้องการวัดก็ได้แต่เมื่อการวัดต้องได้ 90 องศาหรือใกล้เคียงกับจุดวัดที่เป็นแนวตั้ง (Vertical) การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นมากผิดปกติหรือเกิดขึ้นอย่างรุนแรงในแนวนี้มีสาเหตุมาจาก ความสมดุล (Balance) ของเพลา ใบพัด ล้อช่วยแรง ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่เป็นวงกลม หรือการแกะงา ของเพลา ของเครื่องจักรนั้น ๆ

2) แนวตั้งฉากหรือแนวตั้ง (Vertical) คือจุดวัดที่อยู่ในแนวตั้งฉากกับพื้นหรือด้านที่อยู่ต่ำกว่ามันกับจุดยึดมอเตอร์หรือเครื่องจักร โดยทั่ว ๆ ไปแล้วจุดที่ทำการวัดคือจุดวัดที่อยู่ด้านบนของเครื่องจักรที่ต้องการจะวัด เช่น ด้านบนของมอเตอร์หรือปั๊ม โดยจุดที่วัดจะต้องมีมุม นาน 90 องศา หรือใกล้เคียงกับจุดวัดในแนวอน การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นมากผิดปกติหรือ

เกิดขึ้นอย่างรุนแรงในแนวโน้มีสาเหตุมาจาก การหลุดหลวมของอุปกรณ์จับยึด เช่น โบลต์หรือนัต การสึกหรอของตัวลับลูกปืนและบูช แต่นั่นคือเรื่องที่ไม่แข็งแรงเพราะว่า เมื่อจุดจับยึดเหล่านั้นหลุดหลวยหรือตัวลับลูกปืนและบูชสึกหรอก็จะสามารถเคลื่อนที่ในพิเศษทางขึ้นลง ได้มากจึงทำให้เกิดการสั่นสะเทือนในแนวโน้มาก

2.8.2 จุดที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิของมอเตอร์

ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิมอเตอร์ การวัดอุณหภูมิยังมีปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลกับการวิเคราะห์ เช่น โหลดอุณหภูมิแวดล้อมความร้อนจากรังสีจากดวงอาทิตย์และตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิเพิ่มเป็นผลของกำลังสูญเสียต่าง ๆ เช่น แรงเสียดทาน (Bearing friction) และลมด้านการหมุน (Windage) ความสูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss) การสูญเสียในขดลวด (Copper loss หรือ I²R loss) และ Stray load loss ซึ่ง Stray load loss และ Copper loss จะขึ้นอยู่กับโหลด โดยการสูญเสียในขดลวดถือว่ามีมากที่สุดและอยู่ในรูปของความร้อน ดังนั้นในการวิเคราะห์ปัญหาความร้อนตัวลับลูกปืนและที่ผิวของมอเตอร์แบบแนวโน้ม จึงจำเป็นต้องนำสภาวะโหลดมาพิจารณาด้วยสิ่งที่ต้องทราบนักศึกษา อุณหภูมิแวดล้อมยิ่งสูง จะทำให้ผิวของมอเตอร์มีอุณหภูมิสูงขึ้นตาม นอกจากนี้ ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ขณะใช้งานภายใต้แสงแดด สี ความหนาและคุณสมบัติของโลหะถือส่วนสำคัญที่มีผลกับอุณหภูมิผิว ที่วัดได้เพื่อหลีกเลี่ยงหรือลดผลกระทบดังกล่าวการวัดอุณหภูมิผิว ควรวัดในตำแหน่งที่ไม่ได้รับแสง และอยู่ต่ำกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางในแนวโน้ม อีกปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่ออุณหภูมิผิวคือ ตำแหน่งวัดโดยทั่วไปตำแหน่งที่มีอุณหภูมิสูงสุดคือ ตำแหน่งที่มีมวลมากสุดและการระบายความร้อนทำได้น้อยสุด ดังนั้นในมอเตอร์แบบเปิด (Open enclosure) ตำแหน่งที่อุณหภูมิสูงที่สุดจะอยู่ที่กลางของมอเตอร์ในขณะที่มอเตอร์แบบปิด (Totally enclose) ตำแหน่งที่อุณหภูมิสูงที่สุดคือ ตำแหน่งใดก็ตามที่อยู่ระหว่างกึ่งกลางถึงตำแหน่งที่ได้รับลมระบายความร้อนจากพัดลมน้อยที่สุดอุณหภูมิของมอเตอร์รับแนวรัศมีจะแตกต่างกันออกไปตามลักษณะการระบายความร้อน รวมถึงระยะห่างของสเตเตอร์กับตัวเรือนมอเตอร์จะมีค่าไม่เท่ากันตลอดแนวรัศมีมอเตอร์ยิ่งสเตเตอร์อยู่ห่างจากโครงสร้างมอเตอร์น้อยเท่าใด ค่าที่วัดได้ก็จะคงที่และถูกต้องมากขึ้น ในการวัดอุณหภูมิผิวแบบเบริล์บ์เยินแนวโน้ม ควรทำการวัดในตำแหน่งเดิมหรือใกล้เคียงกับตำแหน่งเดิมทุกครั้ง และควรเลือกวัดในตำแหน่งที่สเตเตอร์อยู่ใกล้กับโครงสร้างมากที่สุด

2.8.3 จุดที่ใช้ในการวัดกระแสและแรงดันของมอเตอร์

กระแสและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับข้ออินพุตของมอเตอร์นั้นมีความสำคัญ และการเลือกสายเคเบิลจากไดรฟ์ไปยังมอเตอร์ก็เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง ชุดการเชื่อมต่อสายเคเบิลที่ไม่เหมาะสมอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อมอเตอร์ อันเนื่องมาจากจุดยอดของแรงดันไฟฟ้าจะท่อนที่มีจำนวนมากเกินไป การตรวจสอบ

- ตรวจสอบว่ากระแสที่ข้าน้อยกว่าภายในช่วงอัตราของมอเตอร์ กระแสที่มากเกินไปสามารถทำให้มอเตอร์มีความร้อนสูงเกินไปและลดอายุการใช้งานของหนานสเตเตอร์ ซึ่งจะทำให้มอเตอร์บกพร่องเสียหายก่อนเวลาอันควร

- การมอดูเลตแรงดันไฟฟ้าสามารถระบุจุดที่สูงของแรงดันไฟฟ้ากับกราวด์ ซึ่งสามารถสร้างความเสียหายให้กับจำนวนของมอเตอร์ได้

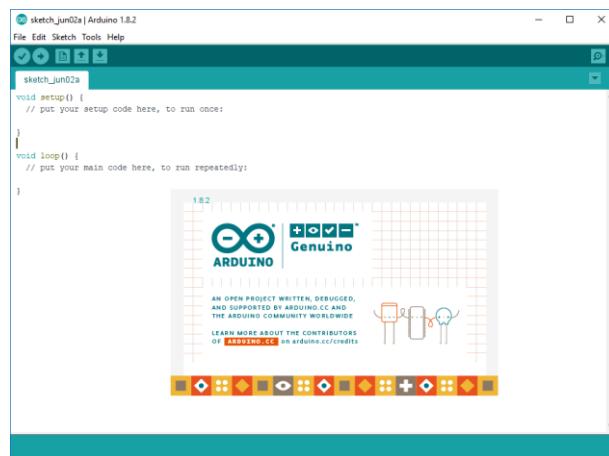
- แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลที่สามารถส่งผลร้ายแรงต่ออายุการใช้งานของมอเตอร์ และอาจเป็นตัวบ่งชี้ว่าอินเวอร์เตอร์บกพร่อง อาการนี้สามารถส่งผลให้แรงดันไฟฟ้ากระตุก และปลดวงจรการป้องกันข้อบกพร่องจากโหลดเกินได้

- ภาวะไม่สมดุลของกระแสไฟฟ้าสามารถบ่งชี้ถึงปัญหาแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล

2.9 การรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์

2.9.1 Arduino IDE

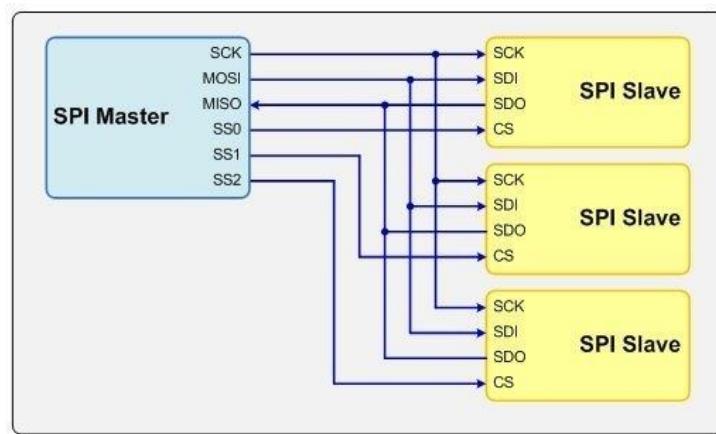
IDE ย่อมาจาก Integrated Development Environment กือ เครื่องมือที่ช่วยในการพัฒนาโปรแกรมโดยมีสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ เช่น คำสั่ง Compile, Run ในการทำโครงการนี้จะใช้ Arduino IDE เพื่อเขียนโปรแกรมในการอ่านค่าการสั่นสะเทือน อุณหภูมิ กระแสและแรงดัน ของมอเตอร์ จากนั้นเชื่อมต่อ กับ Raspberry Pi เพื่อส่งข้อมูลและแสดงผลผ่าน Interface ที่สร้างขึ้นโดย Rstudio



ภาพที่ 2-22 ตัวอย่างหน้าต่างโปรแกรม Arduino IDE

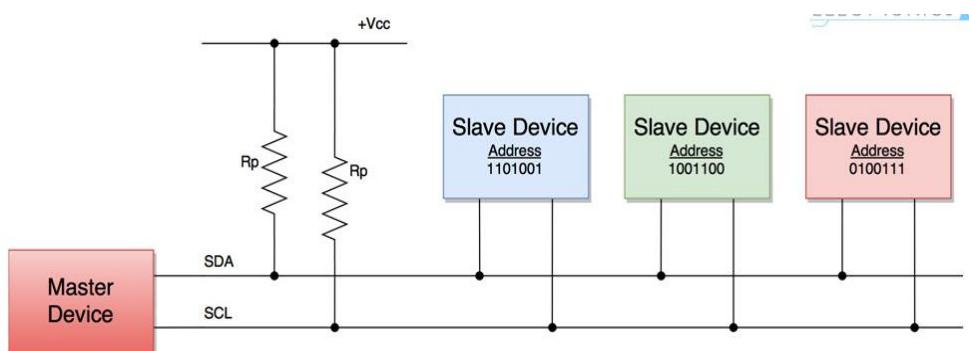
2.10 การส่งข้อมูลของอุปกรณ์

2.10.1 SPI หรือ Serial Peripheral Interface เป็นวิธีการสื่อสารอนุกรมแบบ Synchronous อีก รูปแบบหนึ่ง ซึ่งทำงานในรูปแบบที่ให้อุปกรณ์ตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็น Master ในขณะที่อีกตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็น Slave และสามารถส่งข้อมูลในโหมด Full-duplex นั้นหมายความว่าสัญญาณสามารถส่งหากันได้ระหว่าง Master และ Slave ได้อย่างต่อเนื่อง สายสัญญาณที่ทำการส่งข้อมูล ได้แก่ SCLK (Serial Clock) ใช้ส่งสัญญาณนาฬิกาจากอุปกรณ์ Master ไปยังอุปกรณ์ Slave เพื่อกำหนดจังหวะในการรับส่งข้อมูล MOSI (Master Out Slave In) ใช้ส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ Master ไปยังอุปกรณ์ Slave MISO (Master In Slave Out) ใช้รับข้อมูลจากอุปกรณ์ Slave\SS (Slave Select) หรือ ขา CS (Chip Select) ใช้ส่งสัญญาณ Low ไปยังอุปกรณ์ Slave ที่ต้องการรับส่งข้อมูล



ภาพที่ 2-23 การเชื่อมต่อการส่งข้อมูลแบบ SPI ระหว่างอุปกรณ์ Master-Slave

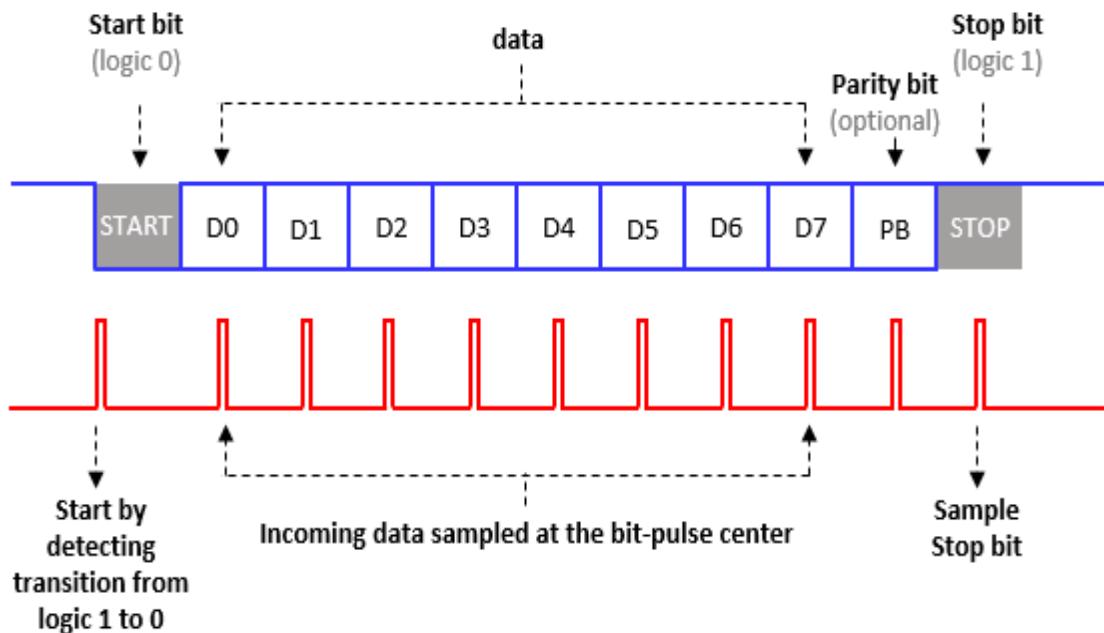
2.10.2 I2C ย่อมาจาก Inter-Integrated Circuit คิดกันโดย Philip semiconductor หรือ NXP semiconductor จุดประสงค์เพื่อรับส่งข้อมูลความเร็วต่ำระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เครื่องบันทึกเสียง โทรศัพท์มือถือ รวมถึงหน่วยความจำอย่าง EEPROM เป็นต้น การสื่อสารแบบ I2C มีจุดเด่นคือ การเชื่อมต่อกันเป็นระบบบัสและรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ได้เป็นจำนวนมาก โดยใช้สายสัญญาณเพียงสองเส้น



ภาพที่ 2-24 การเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบ I2C

การสื่อสาร I2C ใช้สายส่งคิจิตอลแบบ Bidirectional Open-drain line ซึ่ง สามารถรับส่งข้อมูลได้ในเดียวกัน จำนวน 2 ชุด คือ Serial Data Line (SDA) ใช้ทำหน้าที่ส่งข้อมูลและ Serial Clock Line (SCL) ทำหน้าที่ส่งสัญญาณนาฬิกา ความเร็วของการรับส่งข้อมูล นั้นขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณนาฬิกา

2.10.3 UART ย่อมาจากคำว่า Universal Asynchronous Receiver Transmitter เป็นการเชื่อมต่อและสื่อสารข้อมูลอนุกรมกับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น คอมพิวเตอร์, RFID, GPS, GSM Module, Wi fi Module เป็นต้น ข้อดีของการใช้ Asynchronous คือสามารถสื่อสารแบบ Full duplex กล่าวคือ สามารถรับและส่งข้อมูลระหว่าง Receiver และ Transmitter ได้ในเวลาเดียวกัน นอกจากนี้ ไม่ต้องใช้สายสัญญาณ Clock เพื่อกำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูล แต่มีการกำหนดครูปแบบ Format หรือ Protocol การรับส่งข้อมูลขึ้นมาแทน และอาศัยการกำหนดความเร็วของการรับส่งข้อมูลให้เท่ากัน



ภาพที่ 2-25 การเข้มต่อแบบ UART

2.11 การเก็บข้อมูลและแสดงผลข้อมูล

2.11.1 การเก็บข้อมูลโดย Firebase

Firebase เป็น Project ลูกของแบบมาให้เป็น API และ Cloud Storage สำหรับพัฒนา Realtime Application รองรับหลาย Platform เมื่อต้น มีให้ใช้พัฒนาด้วยกัน 3 Platform กือ iOS App, Android App, Web App

Welcome to Firebase! Get started here.



Add Firebase to
your iOS app



Add Firebase to
your Android app



Add Firebase to
your web app

ภาพที่ 2-26 การเข้าใช้งาน Firebase

Firebase มีบริการต่าง ๆ ดังนี้

- Firebase Analytics บริการวิเคราะห์ข้อมูล ดึงเทคโนโลยีมาจาก Google Analytics และยังเปิดให้ใช้ฟรีแบบไม่จำกัดปริมาณข้อมูลใด ๆ
- Firebase Cloud Messaging (FCM) ระบบส่งข้อความแจ้งเตือนใช้งานฟรี ไม่จำกัดปริมาณข้อความ
 - Firebase Storage บริการพื้นที่เก็บข้อมูล เอาไว้เก็บภาพ วิดีโอ หรือไฟล์ขนาดใหญ่ จากแอพของผู้ใช้ สร้างอยู่บน Google Cloud Storage
 - Firebase Remote Config ตัวช่วยอัปเดตคอนฟิกของแอพ สำหรับปรับแต่งค่าต่าง ๆ ในแอพจากระยะไกล (เช่น เกมที่อยากรับสมุดของเกมตลอดเวลา) สามารถใช้ร่วมกับ Firebase Analytics เพื่อกำหนดผู้ใช้งานแยกเป็นกลุ่ม ๆ ได้
 - Firebase Crash Reporting ตัวรายงานการแครชของแอปรองรับทั้ง iOS และ Android
 - Firebase Test Lab for Android บริการทดสอบแอปบนชาร์ดแวร์จริง
 - Firebase Notifications เป็นคอนโซลสำหรับนักพัฒนา เพื่อยิงข้อความผ่าน FCM ไปยังผู้ใช้ สำหรับโปรแกรมหรือกระดุnnให้ผู้ใช้กลับมาเปิดแอพของเรา (เช่น แจกของในเกม)
 - Firebase Dynamic Links บริการ URL กลางที่สามารถเชื่อมทางไปยังเพจต่าง ๆ แบบผันตามอุปกรณ์หรือคุณสมบัติของผู้ใช้ (เช่น แต่ละโทรศัพท์คลิกลิงก์เดียวกัน เข้าคนละเพจกัน)
 - Firebase Invites ระบบเชิญเพื่อนมาใช้แอปมีฟีเจอร์ referral คนชวนได้สิทธิประโยชน์
 - Firebase App Indexing เป็นลินก์ชื่อมาจาก Google App Indexing ที่ช่วยให้ Google Search ค้นเจอน័เนื้อหาภายในแอพ

ดังนั้น Firebase จึงครอบคลุมทุกการบริการสำหรับพัฒนา Realtime Application บริการเกือบทุกตัวของ Firebase ใช้งานได้ฟรีแบบไม่จำกัดปริมาณ

2.11.2 การแสดงผลโดย Rstudio

R เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ภาษาหนึ่งที่เป็นที่ใช้คำนวณทางสถิติ เพราะเป็นโปรแกรมโอเพนซอร์ส (open source) ที่ใช้งานได้ฟรี รองรับระบบปฏิบัติการหลายระบบปฏิบัติการทั้ง Windows Mac OS หรือ Linux โดยการทำงานของ R ที่นิยมเนื่องจากมี built-in function ทางด้านสถิติที่มีปริมาณมาก รวมถึง สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ และมีความสามารถแสดงผลการทำงานในรูปแบบกราฟ

การพัฒนาโปรแกรม R

R เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ภาษาหนึ่งที่เป็นที่ใช้คำนวณทางสถิติ เพราะเป็นโปรแกรมโอเพนซอร์ก (open source) ที่ใช้งานได้ฟรี รองรับระบบปฏิบัติการหลายระบบปฏิบัติการทั้ง Windows Mac OS หรือ Linux โดยการทำงานของ R ที่นิยมเนื่องจากมี built-in function ทางด้านสถิติที่มีปริมาณมาก รวมถึงสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ และมีความสามารถแสดงผลการทำงานในรูปแบบกราฟ แต่จะพบว่าการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา R อาจจะไม่ปราศจากเครื่องมือในการ (tools) ช่วยเหลือการทำงานมากนัก แต่ R สามารถประมวลผลได้รวดเร็ว จึงได้รับความนิยมโดยเฉพาะการใช้งานเพื่อวิเคราะห์ data sciences และ big data



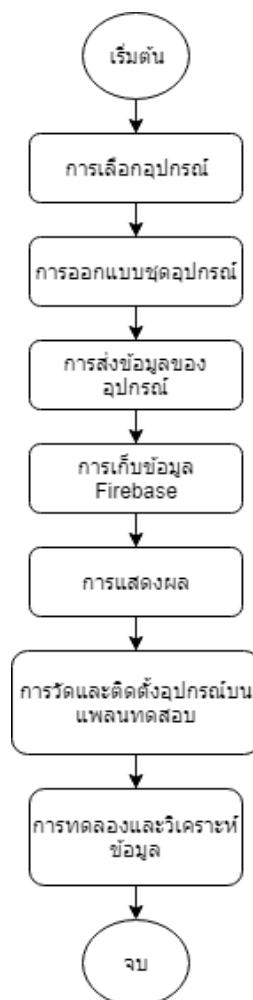
ภาพที่ 2-27 โปรแกรม Rstudio

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ

ในโครงการนี้มีขั้นตอนการดำเนินงานของการสร้างชุดอุปกรณ์ในการตรวจสอบค่าการสั่นสะเทือน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า รวมไปถึงการทดสอบมอเตอร์เพื่อพยากรณ์ขบวนการปัญหา การเยื่องศูนย์ และการหลุมคลอนทางกล ดังต่อไปนี้

3.1 แผนการดำเนินงาน



ภาพที่ 3-1 แผนการดำเนินงาน

ในโครงการนี้ใช้การออกแบบทั้งในส่วนของการออกแบบชุดเครื่องมือวัด ส่วนของการเขียนโปรแกรมเพื่อการนำข้อมูลพารามิเตอร์ที่วัดได้มาใช้งาน และการออกแบบระบบการทดสอบมอเตอร์บนแพลตฟอร์ม โดยชุดอุปกรณ์การทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ เช็นเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเช็นเซอร์จะมีหน้าที่ในการวัดค่าการสั่นสะเทือน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ ที่ถูกทำการทดสอบในสภาพต่าง ๆ และทำการส่งข้อมูลไปยังตัวประมวลผล คือ Arduino UNO R3 เพื่อทำการประมวลผลและส่งข้อมูลแบบ Serial ต่อไปที่ Raspberry Pi เพื่อใช้ในการเขียนโปรแกรมแสดงผลข้อมูลผ่านทางหน้าจอ และยังสามารถอัปโหลดข้อมูลที่ทำการบันทึกไว้ขึ้นบน Cloud Storage ผ่านเครือข่าย WiFi ได้อีกด้วย โดยรูปแบบการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ

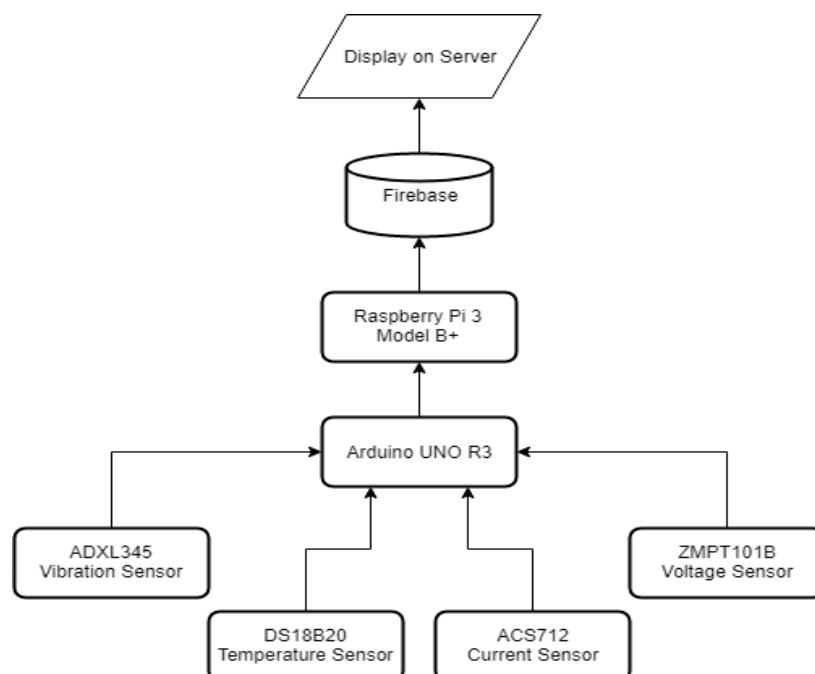
3.2 การเลือกอุปกรณ์

ตารางที่ 3-1 รายการอุปกรณ์ที่เลือกใช้

รายการอุปกรณ์	จุดประสงค์ในการใช้
ADXL345	ใช้ในการวัดค่าความสั่นสะเทือนของมอเตอร์ 3 แนวแกน
DS18B20	ใช้ในการวัดค่าอุณหภูมิของมอเตอร์
ACS712	ใช้ในการวัดค่ากระแสไฟฟ้าของมอเตอร์
ZMPT101B	ใช้ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์
Arduino UNO R3	ใช้ในการรับค่าจากเช็นเซอร์ต่าง ๆ และส่งต่อไปที่ Raspberry Pi
Raspberry pi 3 Model B+	ใช้ในการรับค่าจาก Arduino UNO R3 และส่งข้อมูลเชื่อมต่อกับ Firebase เพื่อเก็บข้อมูล
Induction motor 3 phase SIEMENS 50 Hz 1400 rpm 1.1 kW	ใช้เพื่อทำการทดสอบและเก็บข้อมูล
Eddy Current break SIEMENS 50 Hz 0.04kW 0.19 A 2300 rpm	ใช้เพื่อเป็นโหลดให้แก่มอเตอร์
Daiichi HY 103A Vibration meter	ใช้ในการวัดค่าความสั่นสะเทือนของมอเตอร์ และเป็นอุปกรณ์มาตรฐานในการเปรียบเทียบค่าผิดพลาดของโครงการ

ตารางที่ 3-1 (ต่อ) รายการอุปกรณ์ที่เลือกใช้

รายการอุปกรณ์	จุดประสงค์ในการใช้
63 Infrared Thermometer Gun	ใช้ในการวัดค่าอุณหภูมิของมอเตอร์ และเป็นอุปกรณ์มาตรฐานในการเปรียบเทียบค่าผิดพลาดของโครงงาน
Hewlett Packard 973A Digital Multimeter	ใช้ในการวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ และเป็นอุปกรณ์มาตรฐานในการเปรียบเทียบค่าผิดพลาดของโครงงาน



ภาพที่ 3-2 แผนผังแสดงการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่าง ๆ

3.3 การออกแบบชุดอุปกรณ์

หลักในการออกแบบชุดอุปกรณ์ คือ การใช้เครื่องมือวัดค่าการสั่นสะเทือน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า ที่มีความแม่นยำสูง (High Accuracy) และถึงความสามารถของอุปกรณ์ที่ใกล้เคียงกับค่าตามจริง และมีความไวสูง (High Sensitivity) และถึงความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเอาต์พุต

ซึ่งในการวัดนั้นจำเป็นต้องมีการวัดค่าต่าง ๆ พร้อมกับมิเตอร์หรืออุปกรณ์วัดที่ได้มาตรฐาน เพื่อข้างอิงและป้องกันความผิดพลาดของชุดอุปกรณ์

การติดตั้งเซ็นเซอร์

3.3.1 การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดการสั่นสะเทือน

การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดการสั่นสะเทือนนั้น จะใช้ไฟเลี้ยงจากบอร์ด Arduino Uno จากนั้นทำการติดตั้งที่หน้าแปลนของมอเตอร์ โดยกำหนดให้ทิศของแกน X เป็นแนวราบ แกน Y เป็นแนวตั้ง และแกน Z เป็นแกนแนวเดียวกับเพลา ซึ่งพิจารณาการติดตั้งตามงานวิจัยของ Matthew M. O’Kane และ Michael J. Sander กับงานวิจัยเรื่อง Intelligent motors moving to the forefront of predictive maintenance งานวิจัยนี้ถูกตีพิมพ์โดย IEEE โดยติดตั้งให้แนบสนิทกับผิวสัมผัสและใกล้กับเบริ่งมากที่สุด

การทำโครงงานนี้เลือกใช้ ADXL345 เท卢ผลที่เลือกใช้ คือ ADXL345 เป็นเซ็นเซอร์ที่สามารถใช้วัดค่าการสั่นสะเทือน มีขนาดเล็กเหมาะสมแก่การใช้ในการทดลอง ADXL345 ทำการเชื่อมต่อโดยมีขาสำหรับไฟเลี้ยง 5 VDC ขา CS ที่ต่อไฟเลี้ยง ขา GND ที่ต่อลง Ground และขา SDA กับ SCL ที่ต่อกับ Port SDA กับ SCL บนบอร์ด Arduino UNO เพื่อทำการเชื่อมต่อแบบ I2C และรับส่งข้อมูลที่วัดได้

3.3.2 การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ จะใช้ไฟเลี้ยงจาก บอร์ด Arduino UNO จากนั้นทำการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ด้านข้างของมอเตอร์ ซึ่งติดกับโครงของมอเตอร์ โดยให้ผิวสัมผัสของเซ็นเซอร์กับมอเตอร์แนบสนิทมากที่สุดและใกล้กับบคลวดสเตเตอร์ให้มากที่สุดเพื่อลดค่าความผิดพลาด

การทำโครงงานนี้เลือกใช้ DS18B20 เท卢ผลที่เลือกใช้ DS18B20 คือ มีขนาดเล็กสามารถอ่านค่าได้ละเอียด และมีค่าความไวมาก จึงเหมาะสมสำหรับการทดลองครั้งนี้ DS18B20 จะเชื่อมต่อขาไฟเลี้ยงกับไฟเลี้ยง 5 VDC ขา GND กับขา ground และขาเอาต์พุตกับขา D2 ของบอร์ด Arduino UNO

3.3.3 การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า

ACS712 เป็นโมดูลที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้า โดย Packet ของ ACS712 ที่ใช้เป็นเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าในโครงงานนี้สามารถวัดกระแสได้ $\pm 20A$ และค่าเอาต์พุตที่ได้จะเป็นค่า Voltage ซึ่งเมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลภายในวงจรเลยจะได้ค่าแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ $V_{cc}/2$ ถ้ากระแสไฟฟ้าที่วัดมีค่าเป็นบวกค่าของแรงดันเอาต์พุตจะมากกว่า $V_{cc}/2$ และในทางตรงกันข้ามถ้ากระแสไฟฟ้ามีค่าเป็นลบ ค่าแรงดันเอาต์พุตจะน้อยกว่า $V_{cc}/2$ โดยจะติดตั้งอนุกรมระหว่างแหล่งจ่ายกับด้านอินพุตของมอเตอร์มอเตอร์

เท卢ผลที่เลือกใช้ ACS712 เนื่องจากมอเตอร์ที่ทำการทดสอบมีขนาดกระแส Rated ไม่เกินความสามารถที่เซ็นเซอร์ที่เกิดการเสียหายได้ และยังมีขนาดเล็กเหมาะสมแก่การติดตั้งในชุด

ทดลอง ACS712 ทำการเชื่อมต่อโดยต่อขา VCC สำหรับไฟเลี้ยง ขา GND ต่อลง ground ขาเอาต์พุต วัดกระแส ช่วง IP+ และ IP- สำหรับวัดกระแสไฟฟ้า โดยมีลักษณะการต่ออนุกรมเพื่อวัดกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์

3.3.4 การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า

การทำโครงงานนี้เลือกใช้ ZMPT101B ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถรับอินพุตได้สูงถึง 250 VAC และสัญญาณเอาต์พุตเป็นอนาล็อก

เหตุผลที่เลือกใช้ ZMPT101B คือ เป็นเซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้าที่มีขนาดเล็ก ราคาถูก เหมาะสมแก่การติดตั้งลงบนชุดทดลอง ZMPT101B ทำการเชื่อมต่อโดยมีขาสำหรับไฟเลี้ยง 5 VDC ขา GND ต่อกับ Ground และขาเอาต์พุตต่อกับขา A1,A2 และ A3 ของบอร์ด Arduino UNO โดยมีลักษณะการต่อเพื่อรับค่าด้วยการต่อขนาดเพื่อวัดแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ โดยจะติดตั้งขนาดระหว่างแหล่งจ่ายกับด้านอินพุตของมอเตอร์ร่มมอเตอร์

3.4 การส่งข้อมูลของอุปกรณ์

3.4.1 บอร์ด Arduino UNO R3

การวัดค่าการสั่นสะเทือน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าจากเซ็นเซอร์ ต้องผ่านการประมวลผลเพื่อกำหนดค่าสั่นการสะเทือน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผลสำหรับเขียน Software เพื่อกำหนดค่าดังกล่าวรวมถึงโปรแกรมสำหรับการแสดงผลข้อมูลบน Interface

ในการทำโครงงานนี้ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ Arduino UNO เหตุผลที่เลือกใช้เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาถูก มี Port ในการรองรับข้อมูลแบบอนาล็อกและดิจิตอล นอกจากนั้นสามารถเชื่อมต่อข้อมูลจาก Arduino ไปยัง Raspberry pi 3 โดยผ่านพอร์ตสำหรับการเชื่อมต่อแบบ Serial



ภาพที่ 3-3 Arduino UNO R3
ผังการทำงานของโปรแกรม Arduino IDE



ภาพที่ 3-4 ผังการทำงานของโปรแกรม Arduino

3.4.2 Raspberry Pi 3 Model B+

Raspberry Pi 3 Board เป็นตัวกลางที่ใช้ในการรับข้อมูลแบบ Serial จาก Arduino Board และทำการส่งข้อมูลที่ได้รับแบบ String ไปที่ Firebase เพื่อทำการเก็บข้อมูล

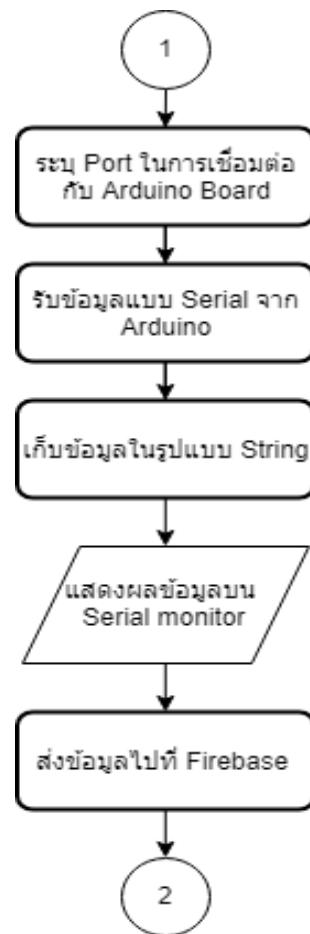
การใช้ Arduino เพื่อคำนวณค่าการสั่นสะเทือน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า เป็นเพียงส่วนหนึ่งของการประมวลผลข้อมูล แต่โครงงานนี้ได้มีการออกแบบโปรแกรมให้มีการแสดงผลข้อมูลในรูปของกราฟ ณ เวลาปัจจุบัน หรือภาพแบบ Real time ที่สามารถทราบแนวโน้มของข้อมูลได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

จึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่เป็นคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ซึ่งมีความสามารถในการประมวลผลที่สูงกว่า และฟังก์ชันการใช้งานที่มากกว่าไม่ โทรศัพท์มือถือ โดยได้เลือกใช้บอร์ด Raspberry Pi 3 Model B+ มี CPU 64-bit quad-core ARM Cortex-A53 มีพอร์ต GPIO 40 พอร์ต ที่มีแกนประมวลผลจำนวน 4 แกน (Quad-Core) ความถี่ในการทำงาน 1.4 GHz ต่อแกน เป็นตัว BCM2837B0 มีพอร์ตสำหรับการเชื่อมต่อแบบ SPI I2C และ UART มี WiFi นอกจากนี้ยังสามารถเชื่อมต่อ กับจอภาพโดยสาย HDMI และมี USB 2.0 ports การบันทึกข้อมูลของ Raspberry Pi 3 จะถูกบันทึกไว้ใน Micro SD Card



ภาพที่ 3-5 Raspberry Pi 3 Model B+

ผังการทำงานของโปรแกรม Python



ภาพที่ 3-6 ผังการทำงานของโปรแกรม Python

3.5 การเก็บข้อมูล Firebase Database

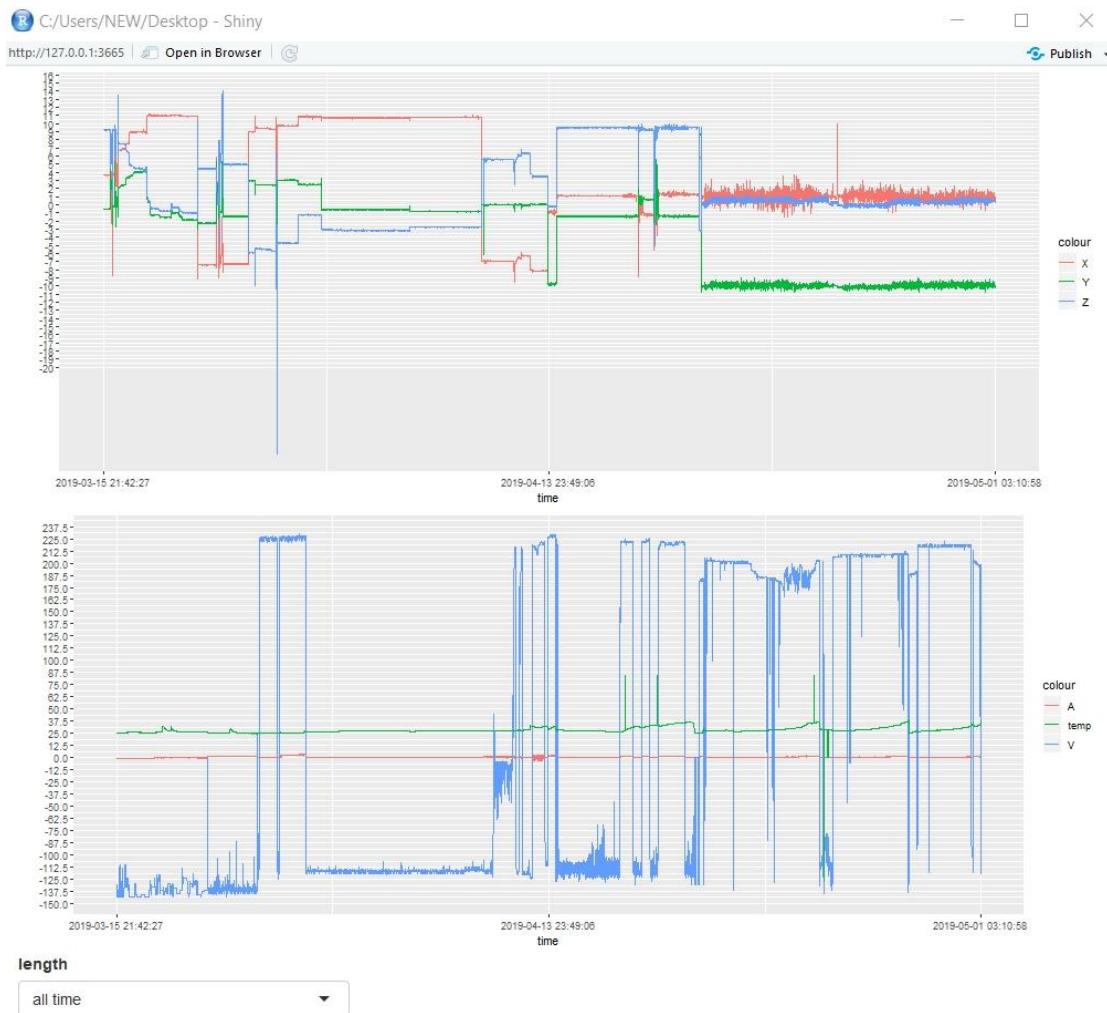
Firebase ถูกออกแบบให้เป็น API และ Cloud Storage กำหนดให้เป็นฐานข้อมูลที่รับส่งข้อมูลแบบ Real-time Database โดยชนิดข้อมูลแบบ String ในการสื่อสาร Raspberry Pi กับ Firebase โดยลักษณะจะแบ่งการเก็บข้อมูลตามการส่งข้อมูลของ Raspberry Pi

ภาพที่ 3-7 หน้าต่างแสดงผลข้อมูลบน Firebase

ภาพที่ 3-8 หน้าต่างแสดงปริมาณข้อมูลบน Firebase

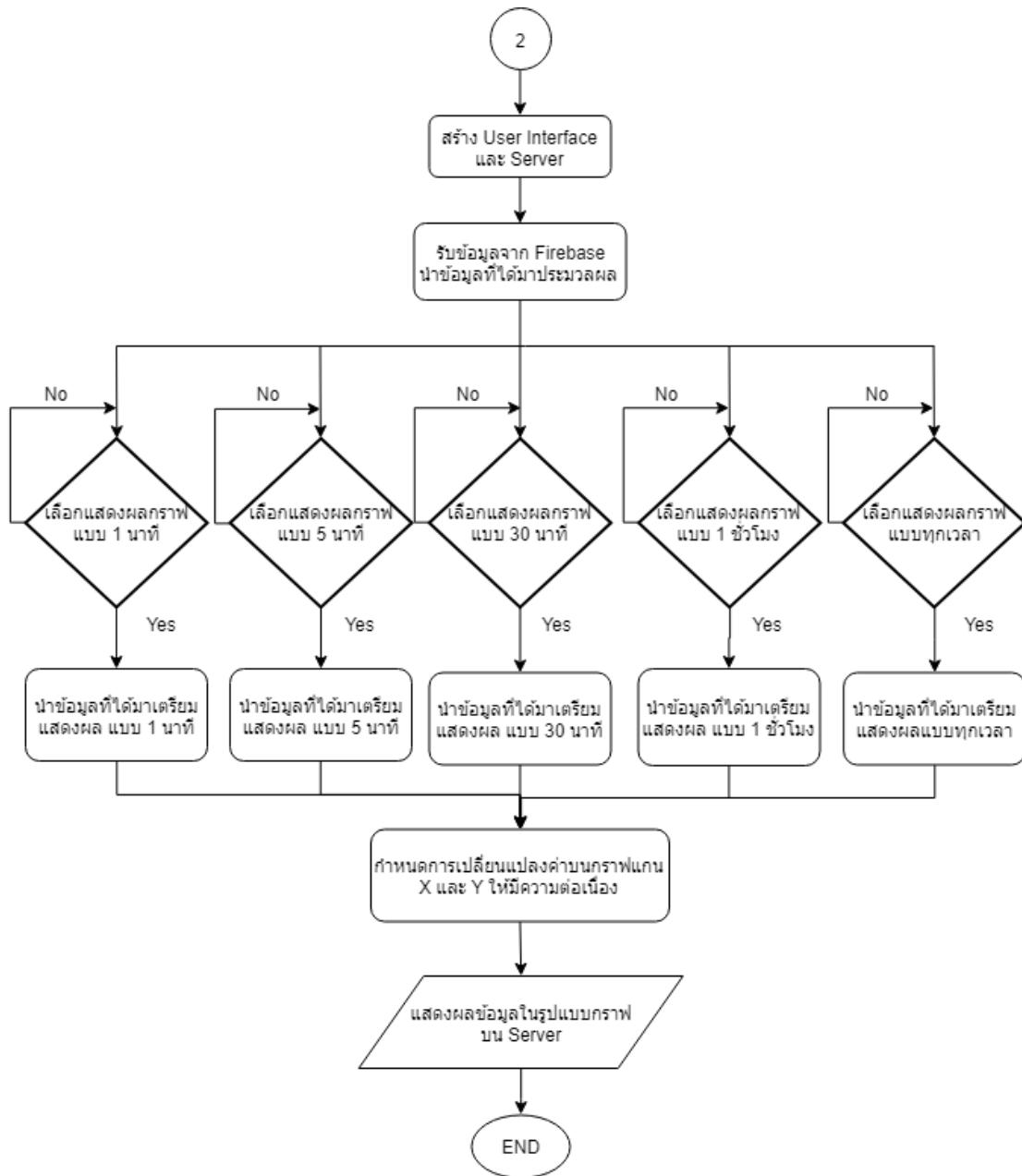
3.6 การแสดงผล

สร้าง Server โดย Rstudio รับข้อมูลจาก Firebase จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการแสดงผลในรูปแบบกราฟ ซึ่งแสดงผลค่าการสั่นสะเทือน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า เทียบกับเวลา โดยมีการแสดงผลตลอดเวลา (Realtime)



ภาพที่ 3-9 หน้าต่างแสดงผลบน Server

ผังการทำงานของโปรแกรม Rstudio



ภาพที่ 3-10 ผังการทำงานของโปรแกรม Rstudio

3.7 การวัดและติดตั้งอุปกรณ์บนแพลนทดสอบ

ในโครงการนี้ผู้จัดทำจะเน้นการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลพร่องของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะที่กำลังทำงานอยู่ในสภาพะปกติ และกรณีที่เกิดปัญหาการเยื่องศูนย์และการหลวมคลอนทางกล ซึ่งมีการออกแบบการทดสอบในสภาพะที่มอเตอร์มีการทำงานโดยไม่มีโหลด การทำงานในสภาพะ มีโหลด การทำงานในสภาพะมีโหลด เกิดปัญหาการเยื่องศูนย์ และการทำงานในสภาพะมีโหลด เกิด ปัญหาการหลวมคลอนทางกล ทำให้การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นมีค่าที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังมีการ วัดค่าอุณหภูมิที่โครงสร้างผิวสัมผัสด้านนอกของมอเตอร์ กระแทกไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส และแรงดันที่ แหล่งจ่าย เพื่อนำข้อมูลห้องหมอดที่ได้มาใช้ในการวิเคราะห์ตัวแปรที่ส่งผลเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ ในสภาพะขับโหลดปกติซึ่งเกิดการสั่นสะเทือนในสภาพะต่าง ๆ และทำให้เกิดความเสียหายแก่ มอเตอร์

การตีความในรูปแบบของโอดเมนเวลา

ในการตีความในรูปแบบของโอดเมนเวลา จะใช้ข้อมูลของขนาดของการสั่นสะเทือนกับเวลาที่ ใช้ในการซักตัวอย่าง ข้อมูลของขนาดของการสั่นสะเทือนนั้นจะได้มาในรูปแบบของข้อมูลใบหนาร์ โดยจะต้องแปลงเป็นสัญญาณความเร่งที่มีค่าเป็นจำนวนเท่าของ g เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล แต่ ที่เราใช้ในการอ้างอิงในโครงการวิศวกรรมนี้ อ้างอิงตามมาตรฐานการสั่นสะเทือน ISO 10816-1 ซึ่ง ในมาตรฐานนี้ใช้ขนาดของความเร็วของการสั่นสะเทือนเป็นตัวอ้างอิง เราจึงต้องทำการแปลง สัญญาณความเร่งของการสั่นสะเทือนให้อยู่ในรูปแบบของความเร็วของการสั่นสะเทือน “ได้ดัง สมการ

$$v = \frac{a}{2\pi f} \quad (3-1)$$

มีหน่วยเป็น mm/s

โดยที่

v = ขนาดความเร็วของ การสั่นสะเทือน(mm/s)

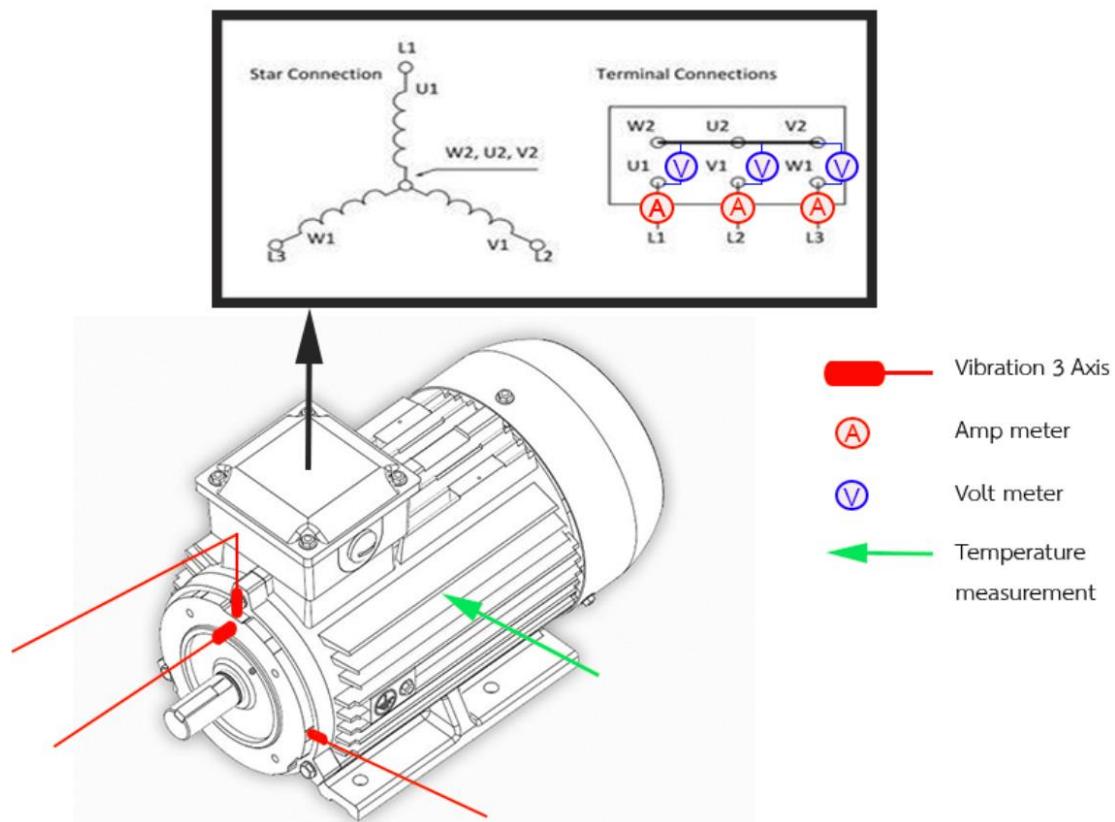
a = ขนาดความเร่งของการสั่นสะเทือน(mm/s^2)

f = ความถี่ที่เกิดจากการหมุนของตัวมอเตอร์เหนี่ยวน้ำ (Hz) (ความเร็วรอบ rpm/60)

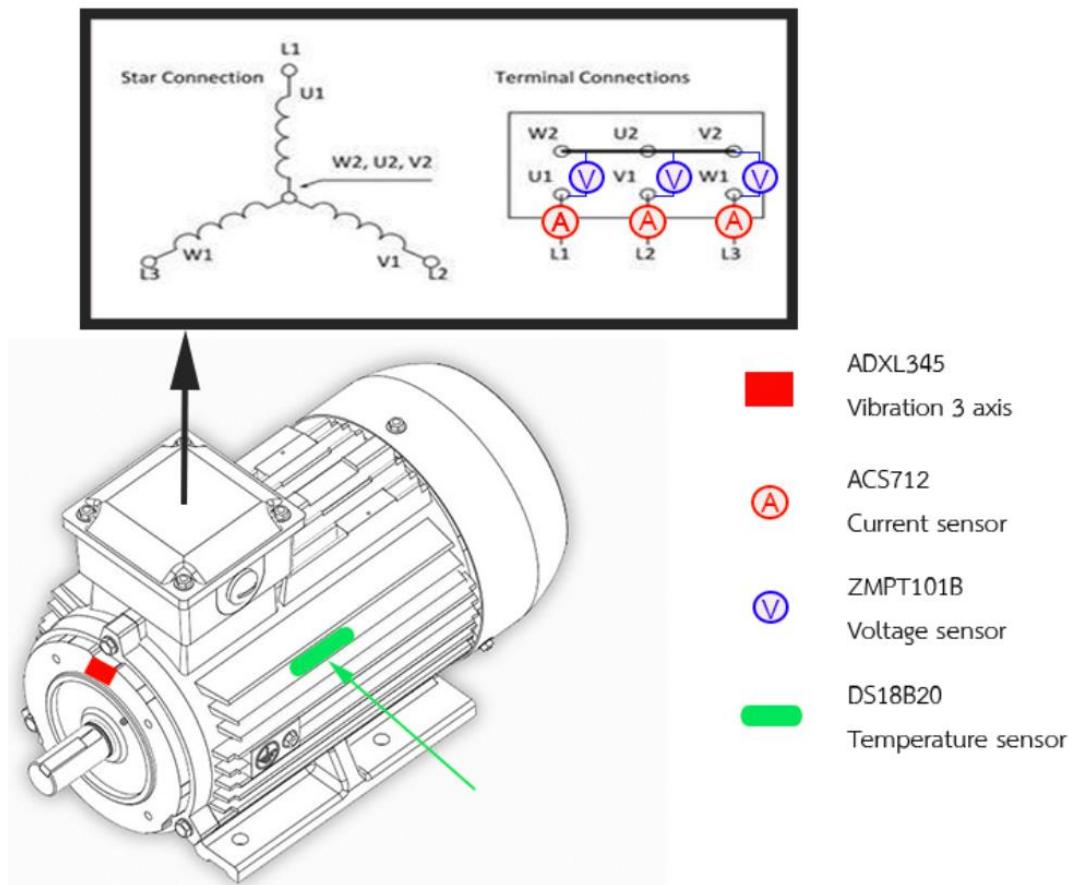
ในการตีความถึงสัญญาณในรูปแบบของโอดเมนเวลานั้น จำเป็นจะต้องอาศัยข้อมูลขนาดของการสั่นสะเทือนที่เป็นปกติของตัวเครื่องจักรกลไฟฟ้า มาเปรียบเทียบกับข้อมูลขนาดของการสั่นสะเทือนที่ไม่เป็นปกติ

การติดตั้งอุปกรณ์

ในการติดตั้งอุปกรณ์มีการพิจารณาตามมาตรฐานที่ก่อตัวไว้ข้างต้น ซึ่งในการทดสอบมีการวัดอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานในการใช้งานจริงเทียบกับอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น ดังนี้

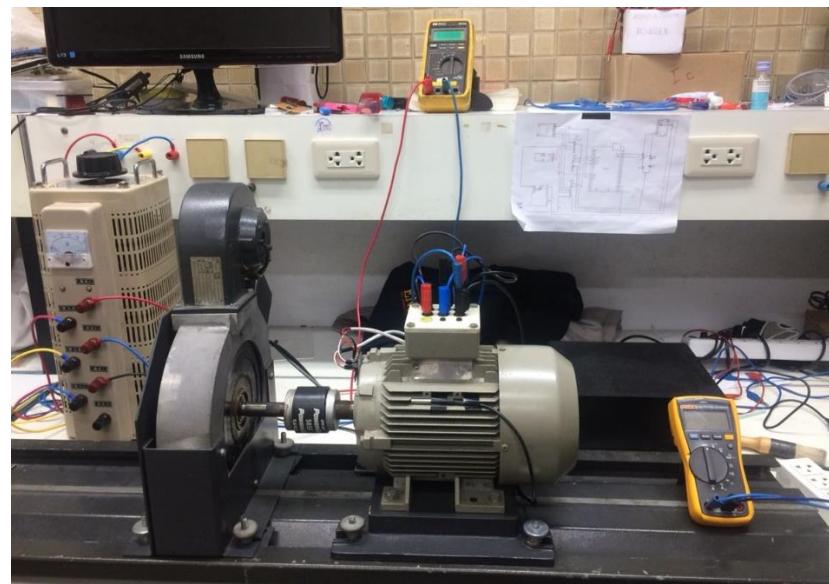


ภาพที่ 3-11 จุดติดตั้งอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานในการใช้งานจริง



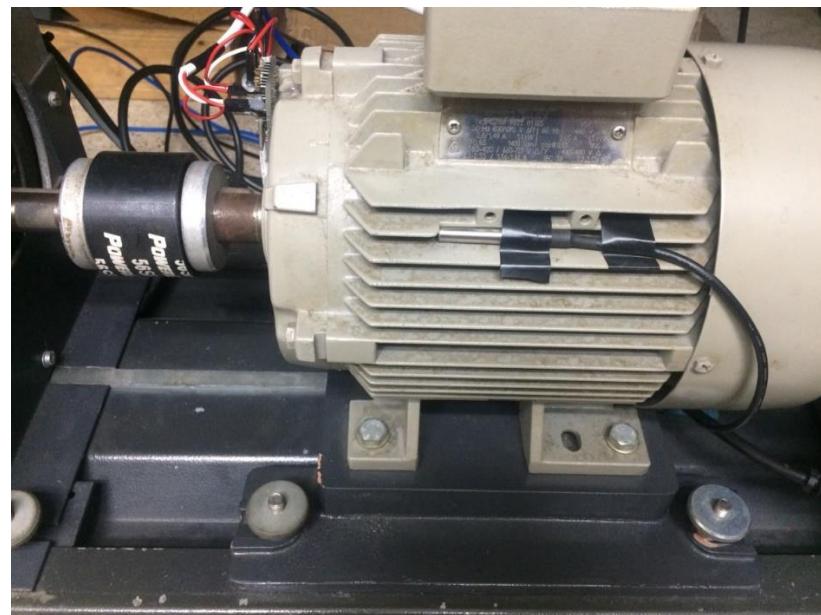
ภาพที่ 3-12 จุดติดตั้งอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น

- 3.7.1 ทำความสะอาดแพลนทดสอบ
- 3.7.2 ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าปรับค่าได้ 3 เฟส แบบสตาร์ เข้ากับมอเตอร์ที่จุดต่อ U1 V1 และ W1 อีกด้านทำการต่อถึงกัน
- 3.7.3 ทำการติดตั้งมอเตอร์ และ Eddy current break ลงบนแพลน โดยยึดติดกับฐานทดสอบให้แน่น



ภาพที่ 3-13 ติดตั้งมอเตอร์กับ Eddy current brake

3.7.4 ทำการติดตั้งข้อต่อแกน (coupling) เชื่อมต่อระหว่าง มอเตอร์และEddy Current break



ภาพที่ 3-14 ใส่ข้อต่อแกน

3.7.5 พิจารณาตำแหน่งการติดตั้งชุดอุปกรณ์ ตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อการวัดและติดตั้ง อุปกรณ์บนแพลนทดสอบ

3.7.6 ทำการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดการสั่นสะเทือนด้วยซิลิโคนที่หน้าแปลนของมอเตอร์ โดยให้ หน้าสัมผัสของเซ็นเซอร์ติดกับผิวของมอเตอร์มากที่สุด



ภาพที่ 3-15 การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดการสั่นสะเทือน

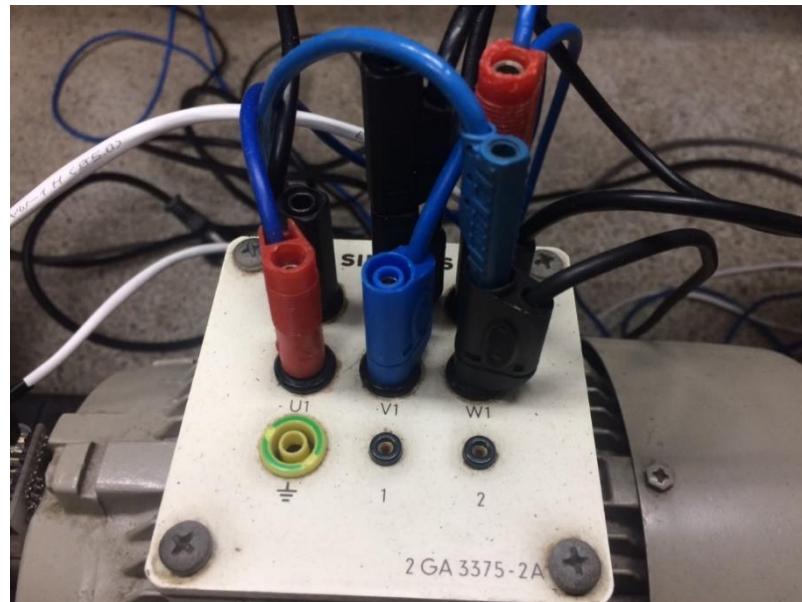
3.7.7 ทำการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิที่ด้านข้างของมอเตอร์ โดยให้ผิวสัมผัสติดกับพื้นผิว ของมอเตอร์มากที่สุด



ภาพที่ 3-16 การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิที่ด้านข้างของมอเตอร์

3.7.8 ทำการติดตั้งคิจิตอลมัลติมิเตอร์และเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟโดยเชื่อมต่อผ่านสายไฟฟ้าแบบอนุกรมเข้ากับด้านอินพุตของมอเตอร์

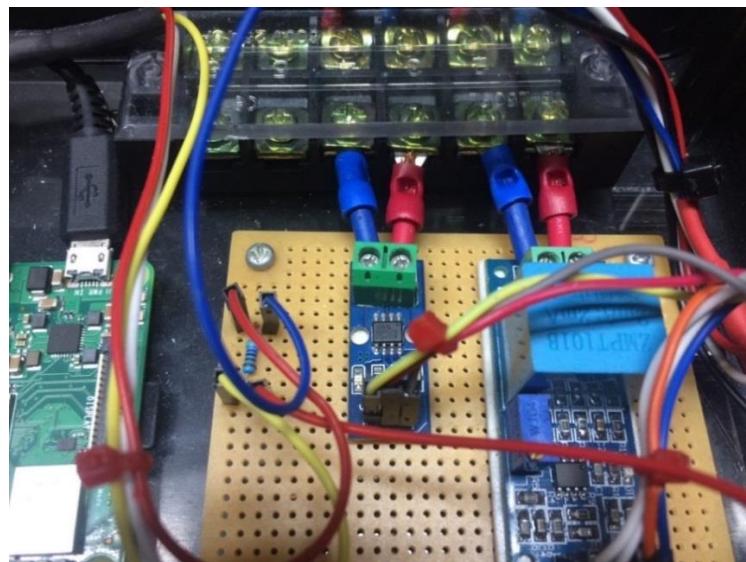
3.7.9 ทำการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้าโดยเชื่อมต่อผ่านสายไฟฟ้าแบบขนานเข้ากับด้านอินพุตของมอเตอร์



ภาพที่ 3-17 จุดเชื่อมต่อในการวัดค่ากระแสและแรงดัน



ภาพที่ 3-18 การติดตั้งคิจิตอลมัลติมิเตอร์ในการวัดกระแสร่วมกับชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น



ภาพที่ 3-19 เช่นเซอร์ที่ใช้ในการวัดค่ากระแสและแรงดัน

3.7.10 เชื่อมต่อเซ็นเซอร์เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino โดยรับไฟเลี้ยงจากบอร์ด

3.7.11 เชื่อมต่อบอร์ด Arduino กับบอร์ด Raspberry Pi 3 โดยผ่าน Serial Port

3.7.12 ทำการเปิดใช้งาน Raspberry Pi 3 จากนั้นเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต และเปิดใช้งานโปรแกรมการรับและส่งข้อมูลขึ้นบน Firebase

3.7.13 ทำการเปิดใช้งานโปรแกรม Rstudio เพื่อทดสอบและแสดงผลข้อมูลที่ทำการส่งในรูปแบบข้อมูลกราฟเชิงเส้น เพื่อใช้ในการอ่านค่า และคูณนาโน้มของค่าการสั่นสะเทือน อุณหภูมิกระแสไฟฟ้าและแรงดันที่แหล่งจ่าย

3.8 การทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

3.8.1 ปรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าปั๊บค่าได้ 3 เฟส ให้มีแรงดัน 230 V

3.8.2 เมื่อมอเตอร์เห็นยาน้ำหมุนที่ความเร็วคงที่ ทำการบันทึกผลข้อมูลการสั่นสะเทือน อุณหภูมิ กระแสและแรงดัน เพื่อทำการทดสอบการส่งค่า และปรับเทียบ (Calibrate)

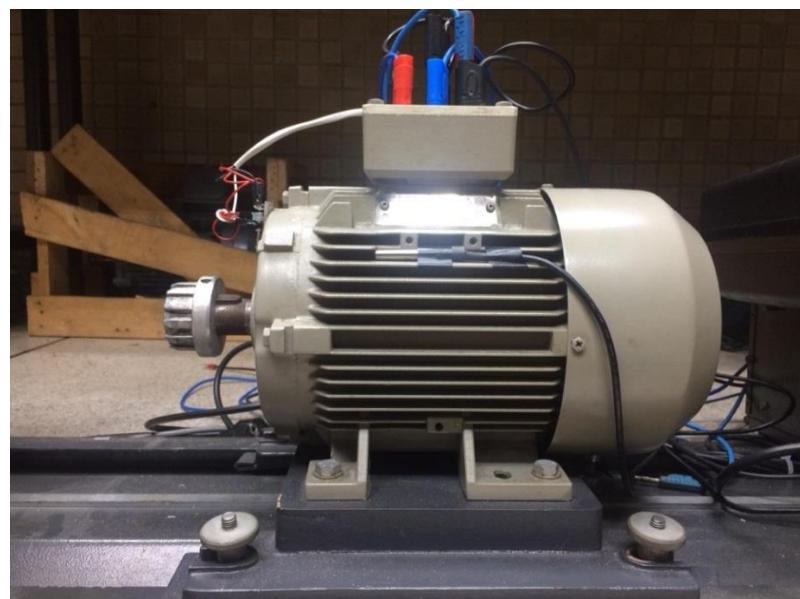
3.8.3 ทำการวัดทั้งหมด 10 ครั้ง ต่อการปรับโหลด Eddy Current Break 1 ค่า โดยใช้ชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น

3.8.4 ทำการวัดเช่นเดียวกันกับข้อ 3.8.3 โดยเปลี่ยนจากชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเป็น อุปกรณ์ที่ใช้งานมาตรฐานเช่น มิเตอร์วัดการสั่นสะเทือน, มิเตอร์วัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด และดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ซึ่งจุดที่ทำการวัดและติดตั้งกล่าวไว้ในหัวข้อการวัดและติดตั้งอุปกรณ์บนแพลต์ทดสอบ



ภาพที่ 3-20 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานมาตรฐานวัดค่าการสั่นสะเทือนและอุณหภูมิ

- 3.8.5 ทำการปรับโหลด Eddy Current Break โดยเริ่มที่ 0.01, 0.02, 0.03 จนถึง 0.15
- 3.8.6 นำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย ทำเช่นนี้กับการทดสอบมอเตอร์ในสภาพต่าง ๆ
- 3.8.7 ทำการเก็บข้อมูลขณะรันมอเตอร์แบบ ไม่มีโหลด



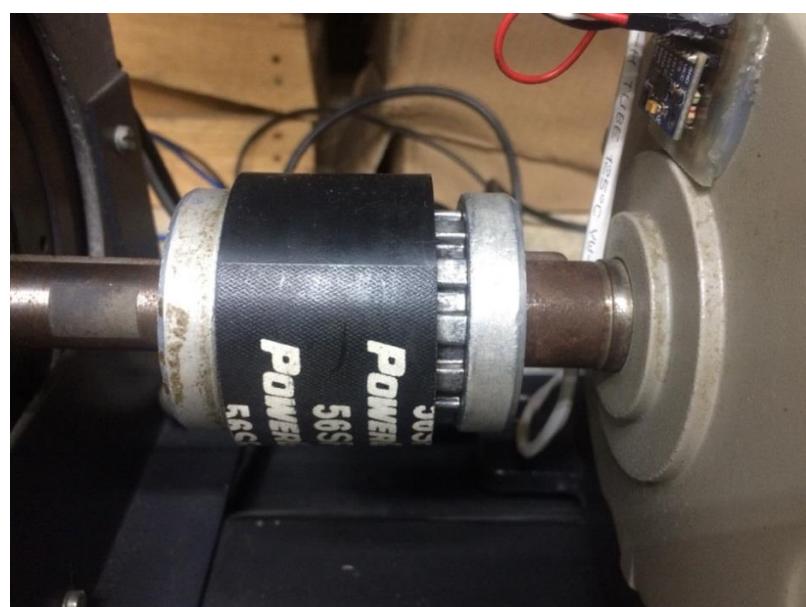
ภาพที่ 3-21 การทดสอบแบบ ไม่มีโหลด

3.8.8 ทำการเก็บข้อมูลขณะรันมอเตอร์แบบมีโหลด ในสภาวะปกติ



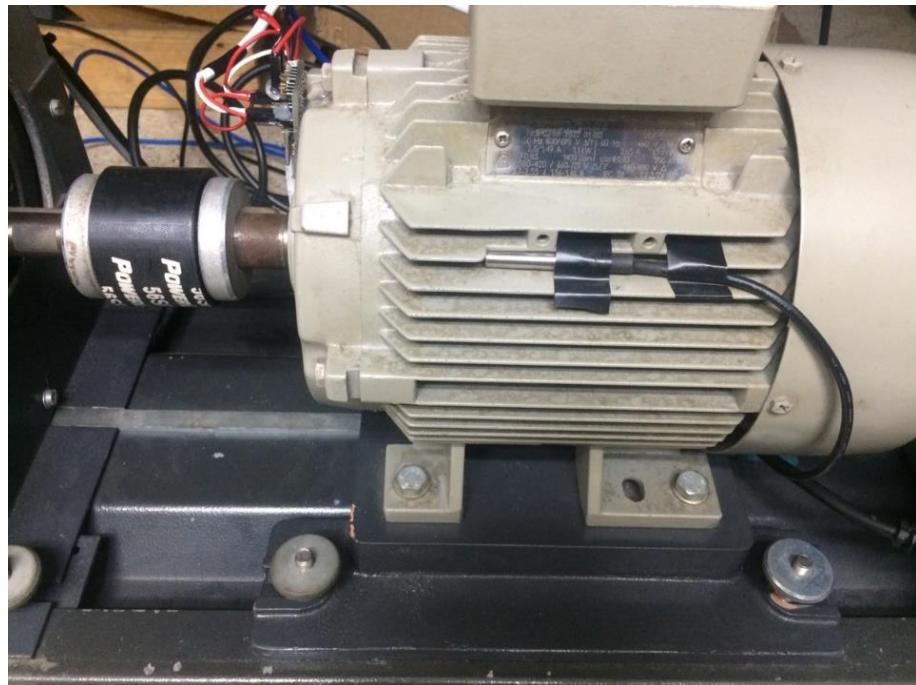
ภาพที่ 3-22 การทดสอบแบบมีโหลด ในสภาวะปกติ

3.8.9 ทำการเก็บข้อมูลขณะรันมอเตอร์แบบมีโหลด ในสภาวะ Misalignment



ภาพที่ 3-23 การทดสอบแบบมีโหลด ในสภาวะ Misalignment

3.8.10 ทำการเก็บข้อมูลขณะรับน้ำหนักแบบมี Load ในสภาวะ Mechanical looseness



ภาพที่ 3-24 การทดสอบแบบมีโหลด ในสภาวะ Mechanical looseness

3.8.11 นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อคาดการณ์ล่วงหน้าถึงปัญหาที่จะเกิดขึ้น

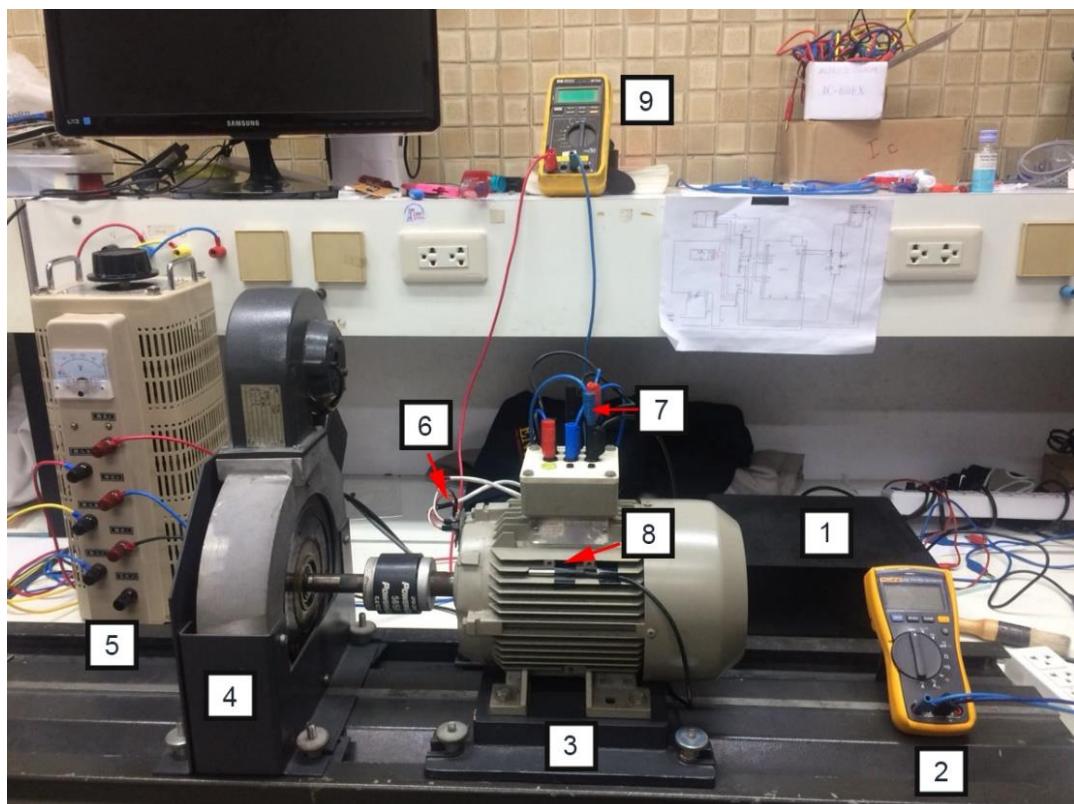
บทที่ 4

ผลการทดลอง

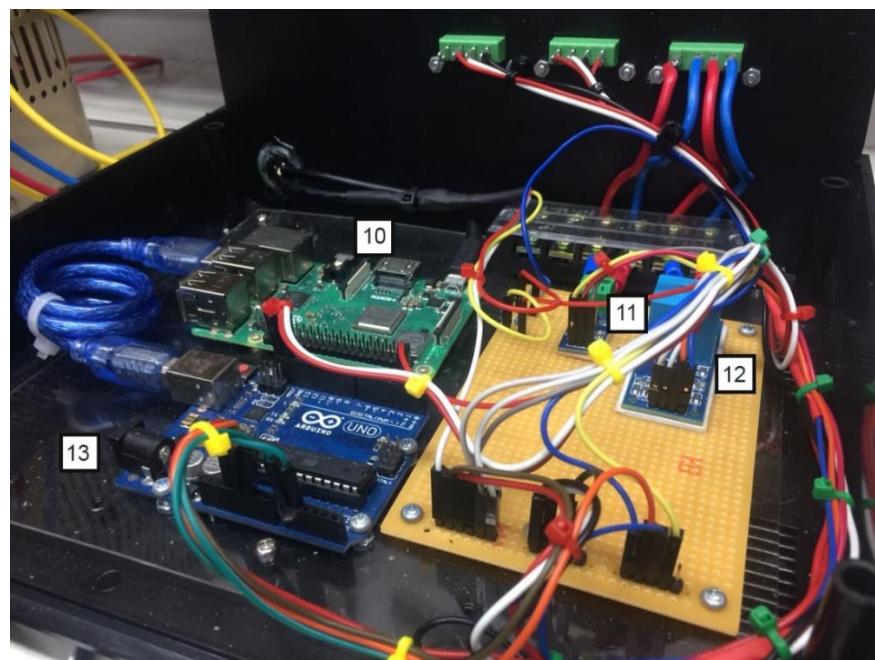
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองการติดตั้งอุปกรณ์ การส่งข้อมูล การทดสอบในสภาพะปกติ การทดสอบในสภาพะเกิดการเยื่องศูนย์และการทดสอบในสภาพะเกิดการหลุมคลอนของอุปกรณ์ ซึ่งแสดงผลการดำเนินการได้ดังนี้

4.1 ผลการทดลองการทำงานของอุปกรณ์

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงผลการทดลอง โดยมีโครงสร้างการติดตั้งเพื่อทดสอบการทำงานของ อุปกรณ์ดังภาพที่ 4-1 และภาพที่ 4-2



ภาพที่ 4-1 อุปกรณ์ที่ติดตั้งบนแพลตทดสอบ

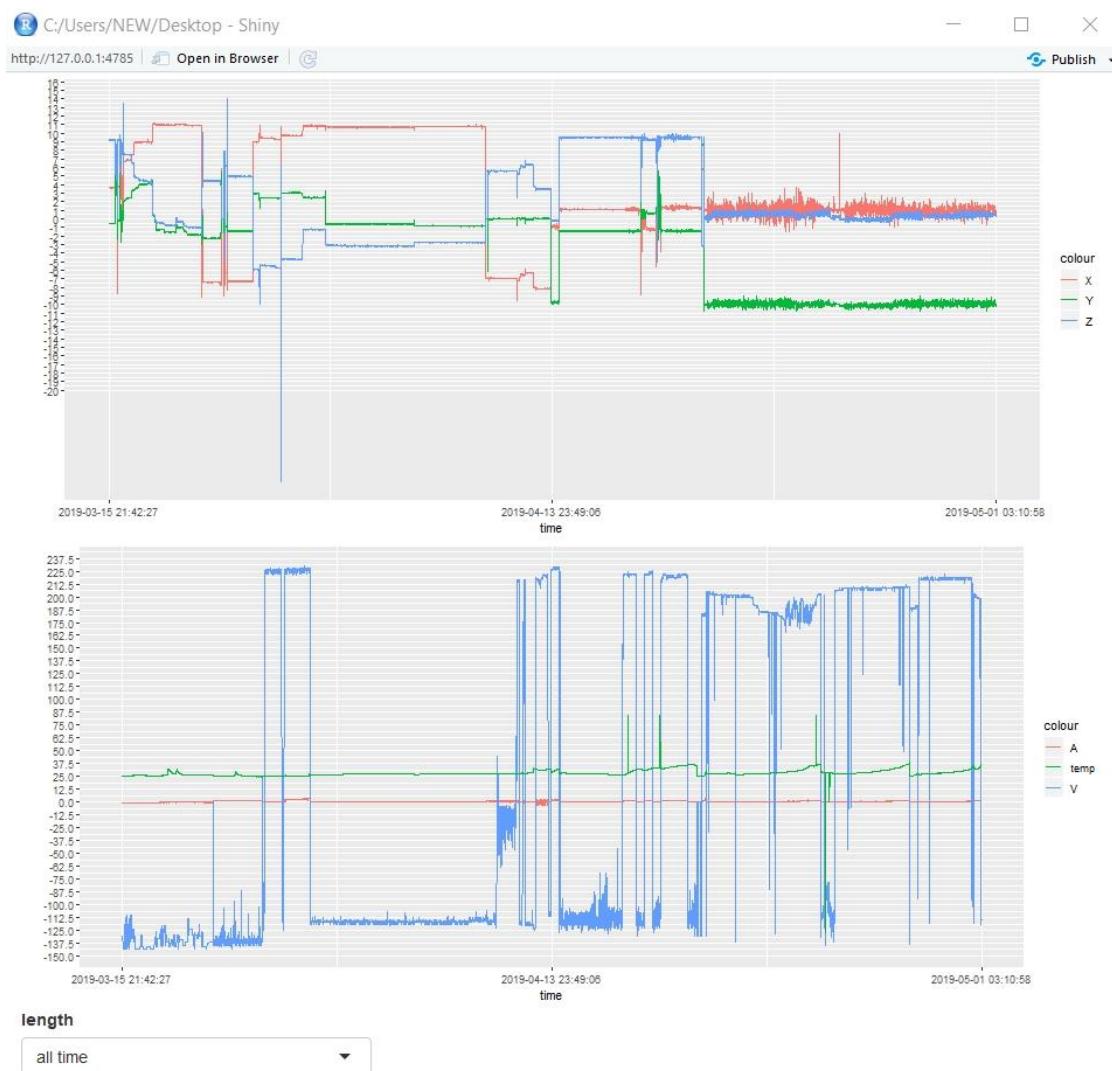


ภาพที่ 4-2 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับข้อมูลและส่งข้อมูล

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับข้อมูลและส่งข้อมูล
2. มัลติมิเตอร์ที่ใช้ในการวัดกระแสของโลหด (Eddy Current Break)
3. มอเตอร์อินดักชัน 3 เฟส 4 โผล 1400 rpm 1.1 kW 50 Hz
4. Eddy Current Break 0.04 kW 0.19 A 2300 rpm
5. แหล่งจ่ายแรงดันปรับค่าได้ 3 เฟส
6. เซ็นเซอร์วัดค่าการสั่นสะเทือนแบบ 3 แนวแกน
7. จุดเชื่อมต่อเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าและเซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า
8. เซ็นเซอร์วัดค่าอุณหภูมิ
9. มัลติมิเตอร์วัดกระแสและแรงดัน
10. Raspberry Pi 3 Model B+
11. เซ็นเซอร์วัดกระแส
12. เซ็นเซอร์วัดแรงดัน
13. Arduino UNO R3
14. มิเตอร์วัดค่าการสั่นสะเทือน
15. มิเตอร์วัดอุณหภูมิอินฟราเรด

ทดลองการทำงานของอุปกรณ์ในสภาวะไม่มีโหลดเพื่อตรวจสอบการรับข้อมูล-ส่งข้อมูลของชุดอุปกรณ์ และเพื่อตรวจสอบสถานะของมอเตอร์ในกรณีที่ไม่มีโหลด โดยพิจารณาค่าการสั่นสะเทือน อุณหภูมิที่โครงสร้างกระແສและแรงดันที่แหล่งจ่าย



ภาพที่ 4-3 หน้าต่างแสดงผลข้อมูลบน Server ที่สร้างขึ้น เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลการทดสอบ

ตารางที่ 4-1 ผลการทดสอบมอเตอร์สกาวะ ไม่มีโหลด ของชุดวัดอุปกรณ์มาตรฐาน

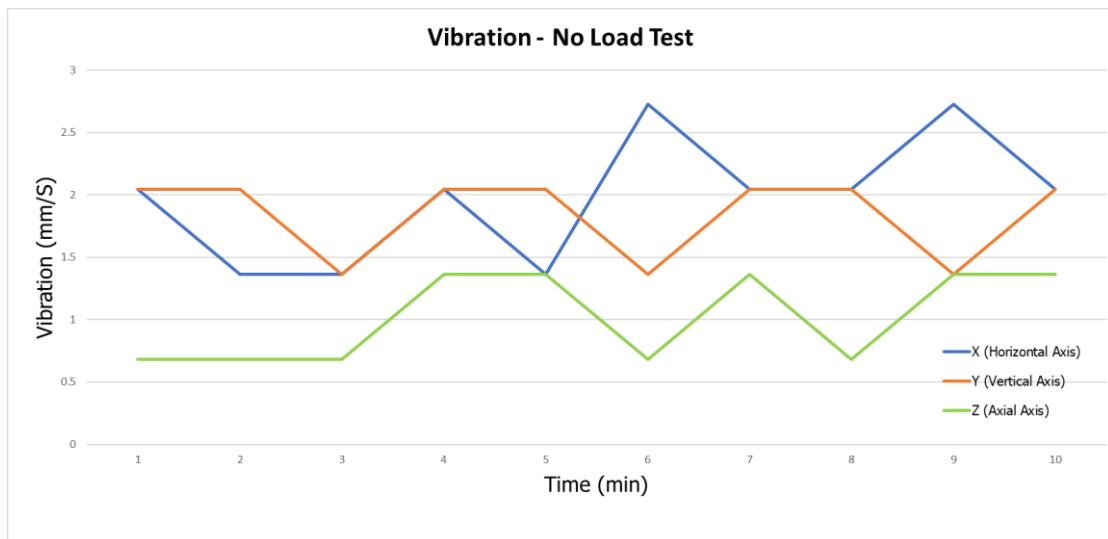
Time (minute)	Vibration (mm/s) - No Load Test		
	X (Horizontal Axis)	Y (Vertical Axis)	Z (Axial Axis)
1	1.998	2.037	0.671
2	1.334	2.039	0.675
3	1.356	1.359	0.676
4	2.021	2.035	1.357
5	1.337	2.032	1.359
6	2.704	1.354	0.678
7	2.019	2.055	1.361
8	2.023	2.017	0.68
9	2.697	1.358	1.36
10	2.026	2.023	1.359

ตารางที่ 4-2 ผลการทดสอบมอเตอร์สกาวะ ไม่มีโหลด ของชุดวัดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น

Time (minute)	Vibration (mm/s) - No Load Test		
	X (Horizontal Axis)	Y (Vertical Axis)	Z (Axial Axis)
1	2.046	2.046	0.682
2	1.364	2.046	0.682
3	1.364	1.364	0.682
4	2.046	2.046	1.364
5	1.364	2.046	1.364
6	2.728	1.364	0.682
7	2.046	2.046	1.364
8	2.046	2.046	0.682
9	2.728	1.364	1.364
10	2.046	2.046	1.364

ตารางที่ 4-3 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการวัดด้วยอุปกรณ์มาตรฐานและอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นในสภาวะไม่มีโหลด

การทดสอบ	ค่าความผิดพลาด ERROR (%)		
สภาวะไม่มีโหลด	2.903	2.056	2.917



ภาพที่ 4-4 แนวโน้มการสั่นสะเทือนในสภาวะไม่มีโหลด

จากราฟที่ได้ การวิเคราะห์สัญญาณที่โดยเน้นเวลา แสดงให้เห็นว่าในสภาวะที่มอเตอร์ไม่มีการขับโหลด มีแนวโน้มการสั่นสะเทือนดังภาพที่ 4-4 ซึ่งค่าการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น แกนแนวรับ (Horizontal Axis) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.72837 mm/s แกนแนวตั้ง (Vertical Axis) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.046278 mm/s และแกนแนวเดียวกับเพลา (Axial Axis) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.364185 mm/s เมื่อเทียบกับมาตรฐานการสั่นสะเทือน ISO 10816 อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เกินมาตรฐาน

4.2 การทดสอบมอเตอร์ในสภาพมีโหลด

ตารางที่ 4-4 ผลการทดสอบมอเตอร์สภาพมีโหลด

ขบวนก่อนทดสอบ ($A = \text{ชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น}, B = \text{ชุดอุปกรณ์มาตรฐาน}$)

อุณหภูมิแวดล้อมเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส แรงดัน 230.5 โวลต์ ความเร็วรอบ 1,390 rpm

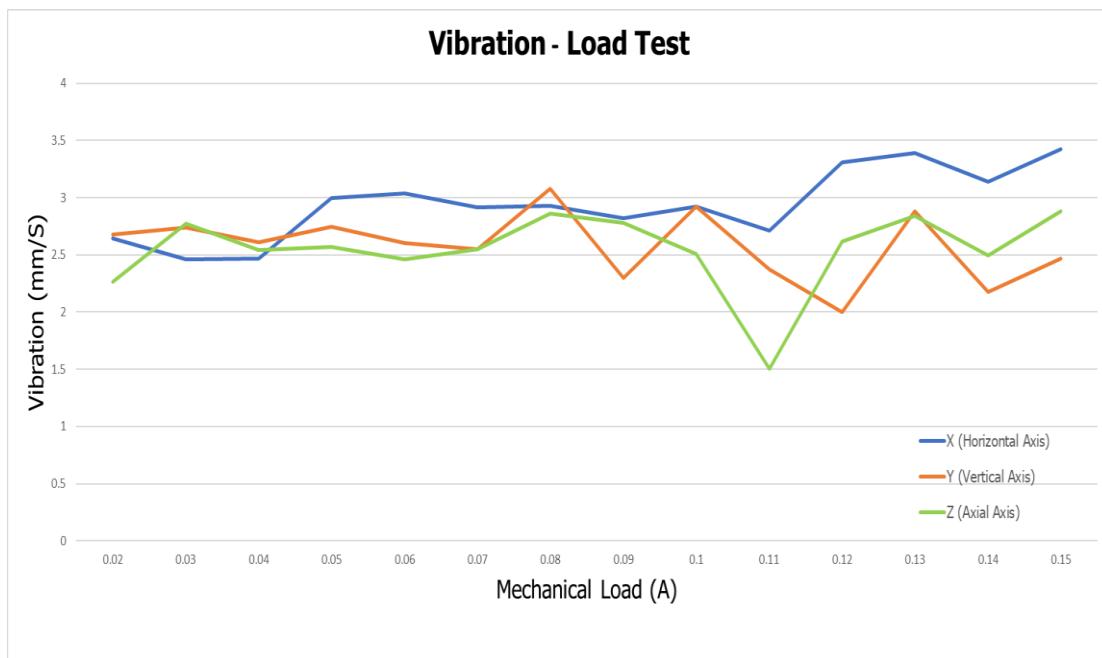
Load Test										
Load Current (A)	Vibration (mm/s)						Temperature (°C)	Speed (RPM)		
	X		Y		Z					
	Horizontal Axis	Vertical Axis			Axial Axis					
	A	B	A	B	A	B	A	B		
0.01	2.548	2.403	2.576	2.598	2.498	2.433	26.81	26.88	1385	
0.02	2.644	2.588	2.679	2.628	2.262	2.217	27.05	27.03	1372	
0.03	2.457	2.398	2.738	2.687	2.773	2.703	27.3	27.28	1360	
0.04	2.47	2.402	2.611	2.544	2.54	2.468	27.65	27.63	1353	
0.05	2.997	2.877	2.747	2.693	2.569	2.486	27.83	27.81	1338	
0.06	3.038	2.882	2.604	2.523	2.459	2.367	28.1	28.07	1320	
0.07	2.913	2.824	2.549	2.481	2.549	2.432	28.3	28.26	1311	
0.08	2.931	2.841	3.078	2.954	2.858	2.76	28.57	28.54	1303	
0.09	2.819	2.774	2.3	2.247	2.782	2.696	28.7	28.69	1287	
0.1	2.918	2.841	2.918	2.857	2.507	2.432	29.35	29.31	1276	
0.11	2.711	2.652	2.372	2.347	1.506	1.467	29.83	29.79	1268	
0.12	3.311	3.128	2.002	1.987	2.618	2.549	30.86	30.8	1240	
0.13	3.39	3.274	2.878	2.799	2.838	2.731	31.84	31.81	1211	
0.14	3.14	2.985	2.173	2.124	2.496	2.386	32.86	32.85	1186	
0.15	3.425	3.316	2.464	2.377	2.882	2.741	36.87	36.84	1143	

ตารางที่ 4-5 ผลของกระแสไฟฟ้าในการทดสอบมอเตอร์สภาวะมีโหลด
(A = ชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น, B = ชุดอุปกรณ์มาตรฐาน)

Load Test						
Load Current (A)	Phase Current (A)					
	1		2		3	
	A	B	A	B	A	B
0.01	0.429	0.427	0.437	0.433	0.41	0.404
0.02	0.443	0.44	0.453	0.449	0.432	0.428
0.03	0.467	0.465	0.476	0.477	0.455	0.451
0.04	0.489	0.488	0.507	0.502	0.484	0.478
0.05	0.528	0.525	0.548	0.537	0.523	0.519
0.06	0.605	0.602	0.583	0.579	0.584	0.579
0.07	0.659	0.656	0.662	0.658	0.636	0.631
0.08	0.76	0.758	0.754	0.751	0.733	0.726
0.09	0.899	0.894	0.897	0.896	0.872	0.865
0.1	1.023	1.022	1.016	1.012	0.997	0.987
0.11	1.233	1.228	1.222	1.219	1.196	1.187
0.12	1.41	1.387	1.398	1.394	1.383	1.378
0.13	1.759	1.754	1.736	1.73	1.718	1.706
0.14	2.168	2.164	2.165	2.162	2.163	2.154
0.15	2.46	2.453	2.41	2.36	2.378	2.367

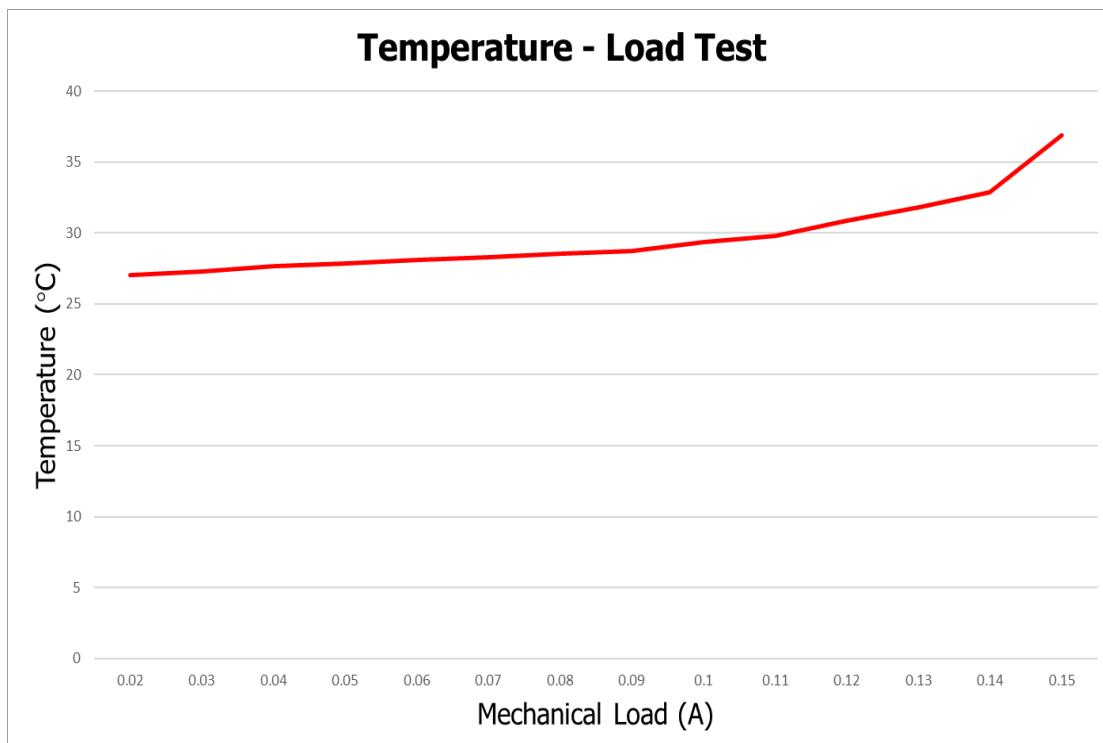
ตารางที่ 4-6 ผลของแรงดันไฟฟ้าในการทดสอบมอเตอร์สภาวะมีโหลด
(A = ชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น, B = ชุดอุปกรณ์มาตรฐาน)

Load Test						
Load Current (A)	Phase Voltage (V)					
	1		2		3	
	A	B	A	B	A	B
0.01	229.8	230.3	229.9	230.4	229.9	230.4
0.02	228.9	230.2	229.1	230.3	229	230.3
0.03	228.2	230	228.4	229.8	228.5	230.1
0.04	227.8	229.7	227.9	229.5	228.2	229.8
0.05	227.4	229.5	227.7	229.4	227.8	229.5
0.06	226.7	229.1	227	229.3	227.3	229.3
0.07	226.4	228.9	226.6	228.7	226.9	229.1
0.08	226	228.6	226.2	228.6	226.6	228.8
0.09	225.7	228.5	225.9	228.5	226.1	228.6
0.1	225.4	228.2	225.6	228.3	225.8	228.4
0.11	225.1	228	225.3	228.1	225.4	228.3
0.12	224.8	227.5	224.9	227.9	225.1	227.8
0.13	224.4	226.7	224.5	226.8	224.6	227
0.14	223.9	226.3	224.1	226.3	224.1	226.4
0.15	223.6	225.4	223.8	225.7	223.9	225.9



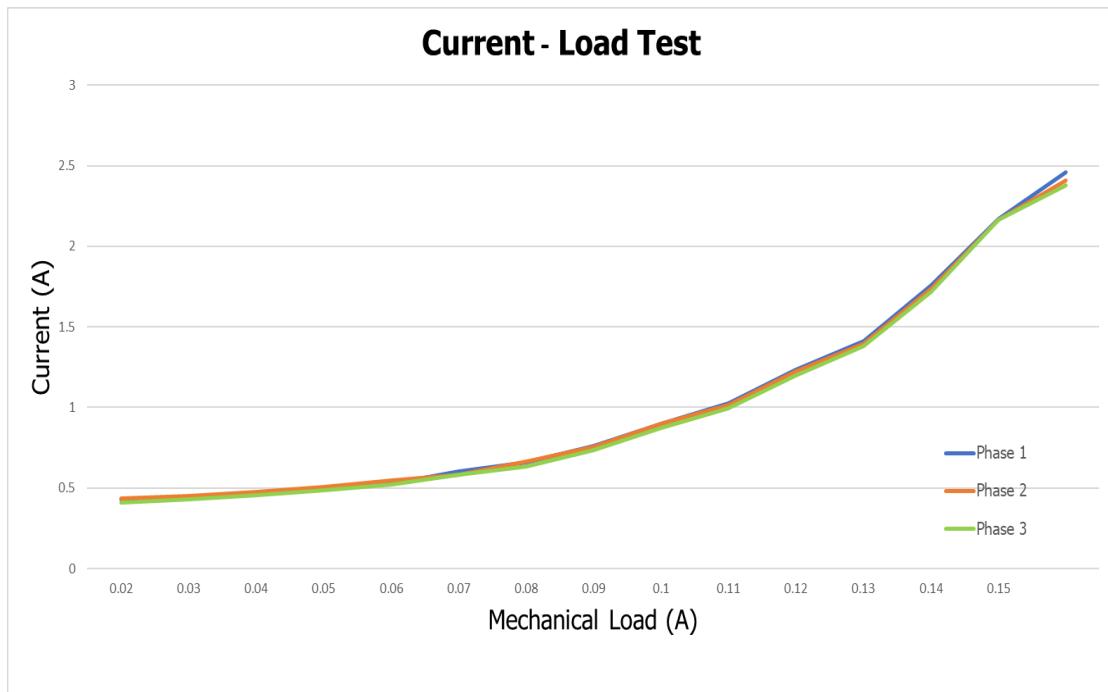
ภาพที่ 4-5 แนวโน้มการสั่นสะเทือน ขณะทดสอบมอเตอร์ในสภาพมีโหลด

จากราฟที่ได้จากการวิเคราะห์สัญญาณที่ได้เม้นเวลา แสดงให้เห็นว่าในสภาพที่มอเตอร์มีการขับโหลด มีแนวโน้มการสั่นสะเทือนดังภาพที่ 4-5 ซึ่งค่าการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น แกนแนวราก (Horizontal Axis) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.42538197 mm/s แกนแนวตั้ง (Vertical Axis) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.07805415 mm/s และแกนแนวเดียวกับเพลา (Axial Axis) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.88233361 mm/s เมื่อเทียบกับมาตรฐานการสั่นสะเทือน ISO 10816 อุปกรณ์ที่ไม่เกินมาตรฐาน ซึ่งหมายความในการใช้งาน



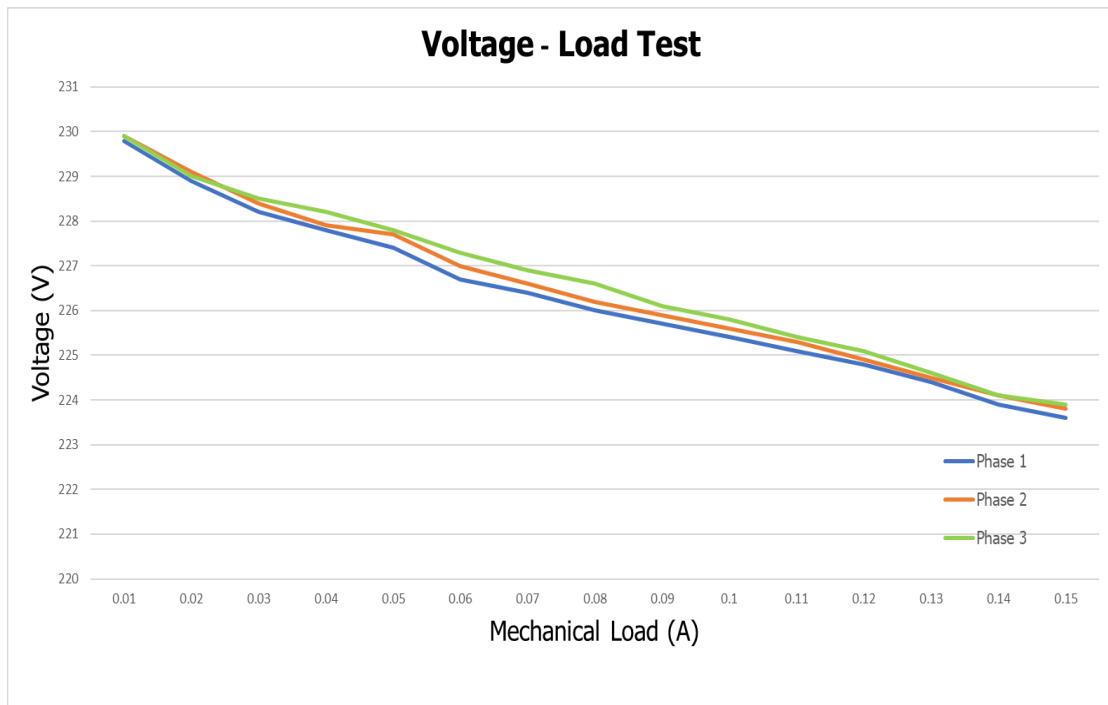
ภาพที่ 4-6 แนวโน้มของอุณหภูมิ ขณะทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลด

จากราฟอุณหภูมิโครงสร้างที่ผิวค้านนอกของมอเตอร์ สังเกตุได้ว่าในการเพิ่มโหลดให้แก่ มอเตอร์ อุณหภูมิมีการเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาตามมาตรฐาน IEC 85 อุณหภูมิที่ขาดลวดจะมี ค่าสูงสุดไม่เกิน [อุณหภูมิแวดล้อม (อุณหภูมิที่ตัวเฟรมก่อนเริ่มต้นการทดสอบ) 26 องศาเซลเซียส] + [อุณหภูมิแวดล้อมตามมาตรฐานมอเตอร์ Class B 80 องศาเซลเซียส] = 106 องศาเซลเซียส โดย ปกติค่าอุณหภูมิที่ตัวเฟรมค้านนอกของมอเตอร์เทียบกับภายในขาดลวดจะมีค่าความแตกต่างกัน 20-30 องศาเซลเซียส จึงสรุปได้ว่ามอเตอร์ไม่ควรมีอุณหภูมิที่เกิน 76-86 องศาเมื่อทำการวัดอุณหภูมิ ที่ตัวเฟรมของมอเตอร์ ใน การทดสอบอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้เท่ากับ 36.88 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4-7 แนวโน้มของกระแสไฟฟ้า ขณะทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลด

จากราฟสังเกตุได้ว่าในการเพิ่มโหลดให้แก่มอเตอร์ กระแสอินพุตทั้ง 3 เฟส มีการเพิ่มสูงขึ้น และมีค่าสูงสุดที่กระแสโหลด 0.15 A โดยเฟส 1, 2 และ 3 อ่านค่าได้ 2.46, 2.41 และ 2.387 A ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าในการทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลด มีค่ากระแสไม่เกินพิกัดของ มอเตอร์และลักษณะเป็นเฟสสมดุล



ภาพที่ 4-8 แนวโน้มของแรงดันไฟฟ้า ขณะทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลด

จากราฟสังเกตุได้ว่าในการเพิ่มโหลดให้แก่มอเตอร์ แรงดันอินพุตทั้ง 3 เฟส มีการลดลง และมีค่าต่ำสุด ที่กระแสโหลด 0.15 A โดยเฟส 1, 2 และ 3 อยู่ที่ 223.6, 223.9 และ 224.1V ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าในการทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลด มีค่าแรงดันลดลงอย่างต่อเนื่อง



ภาพที่ 4-9 การทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลด

**4.3 การทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหาอุปกรณ์การติดตั้งหลวม
(Mechanical looseness)**

ตารางที่ 4-7 ผลการทดสอบมอเตอร์สภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหาอุปกรณ์การติดตั้งหลวม (Mechanical looseness)

ขบวนก่อนทดสอบ ($A = \text{ชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น}, B = \text{ชุดอุปกรณ์มาตรฐาน})$

อุณหภูมิแวดล้อมเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส แรงดัน 230.5 โวลท์ ความเร็วรอบ 1390 rpm

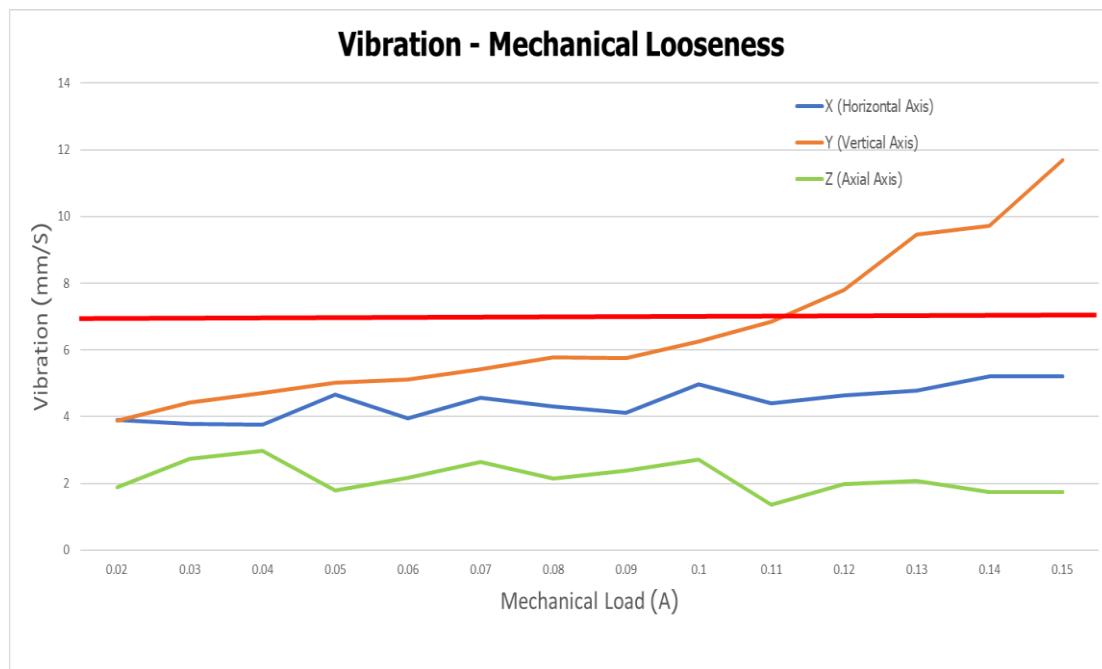
Mechanical looseness Test										
Load Current (A)	Vibration (mm/s)						Temperature (°C)	Speed (RPM)		
	X		Y		Z					
	Horizontal Axis	Vertical Axis	Horizontal Axis	Vertical Axis	Axial Axis	Axial Axis				
A	B	A	B	A	B	A	B			
0.01	3.608	3.457	3.998	3.817	2.498	2.374	26.98	26.95	1384	
0.02	3.909	3.798	3.874	3.967	1.884	1.973	27.25	27.21	1382	
0.03	3.794	2.655	4.426	4.234	2.74	2.661	27.8	27.78	1368	
0.04	3.751	3.571	4.707	4.521	2.973	2.897	28.1	28.09	1359	
0.05	4.659	4.312	5.018	5.431	1.792	1.832	28.53	28.5	1349	
0.06	3.945	4.032	5.104	5.267	2.171	2.103	28.97	28.94	1332	
0.07	4.573	4.328	5.414	5.461	2.634	2.599	29.35	29.32	1319	
0.08	4.296	4.317	5.778	5.772	2.148	2.034	29.57	29.55	1305	
0.09	4.109	4.036	5.753	5.698	2.391	2.217	29.86	29.82	1289	
0.1	4.974	4.874	6.255	6.137	2.713	2.813	30.14	30.11	1278	
0.11	4.403	4.276	6.842	6.773	1.368	1.342	31.33	31.32	1267	
0.12	4.651	4.603	7.803	7.963	1.97	1.854	32.88	32.85	1256	
0.13	4.778	4.675	9.461	9.561	2.067	1.576	34.12	34.09	1236	
0.14	5.22	5.234	9.719	9.704	1.741	1.893	36.03	36.01	1201	
0.15	5.22	5.034	11.705	11.608	1.741	1.963	38.17	38.15	1179	

ตารางที่ 4-8 ผลของกระแสไฟฟ้าในการทดสอบมอเตอร์สภาวะมีโคลดและจำลองการเกิดปัญหา
อุปกรณ์การติดตั้งหลวม (Mechanical looseness) (A = ชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น,
B = ชุดอุปกรณ์มาตรฐาน)

Mechanical looseness Test						
Load Current (A)	Phase Current (A)					
	1		2		3	
	A	B	A	B	A	B
0.01	0.416	0.412	0.41	0.408	0.402	0.399
0.02	0.429	0.427	0.43	0.427	0.418	0.417
0.03	0.448	0.445	0.449	0.447	0.437	0.432
0.04	0.487	0.483	0.49	0.491	0.473	0.468
0.05	0.521	0.518	0.526	0.521	0.528	0.522
0.06	0.58	0.577	0.583	0.575	0.567	0.564
0.07	0.659	0.648	0.657	0.649	0.641	0.637
0.08	0.78	0.776	0.784	0.776	0.785	0.774
0.09	0.859	0.849	0.857	0.853	0.836	0.834
0.1	1.01	1.03	1.004	1.006	0.988	0.99
0.11	1.16	1.14	1.156	1.152	1.136	1.135
0.12	1.4	1.396	1.395	1.393	1.377	1.374
0.13	1.71	1.73	1.698	1.7	1.682	1.685
0.14	2.27	2.29	2.268	2.271	2.262	2.268
0.15	2.566	2.569	2.527	2.53	2.52	2.527

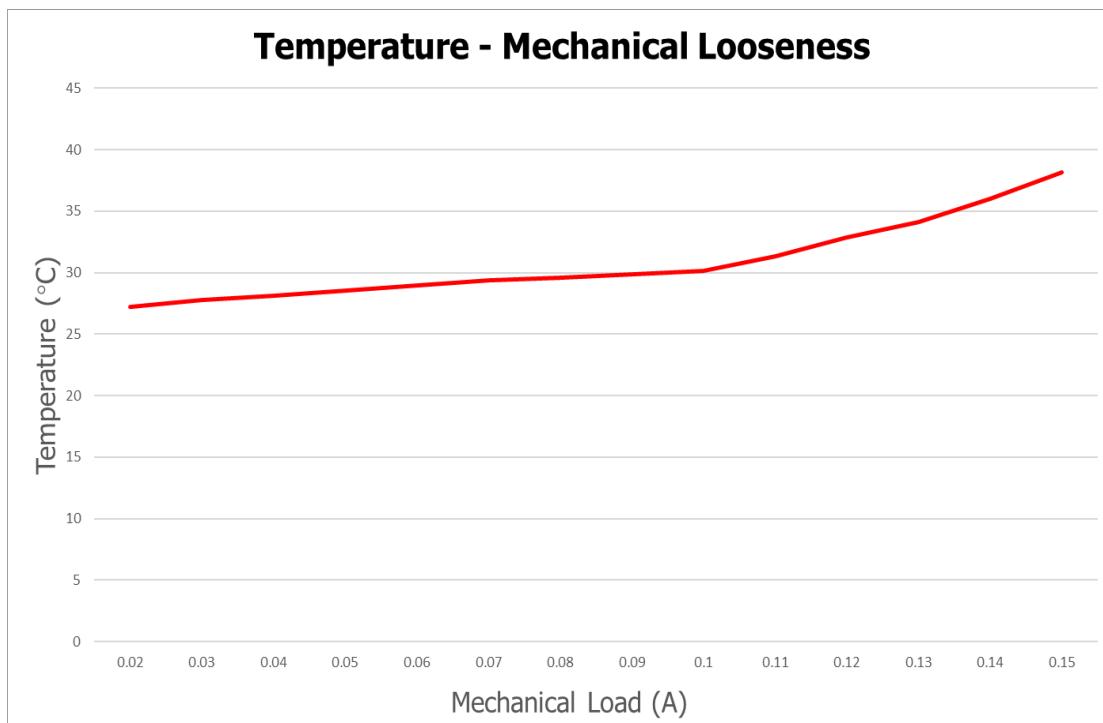
ตารางที่ 4-9 ผลของแรงดันไฟฟ้าในการทดสอบมอเตอร์สภาวะมีโคลดและจำลองการเกิดปัญหา
อุปกรณ์การติดตั้งหลวม (Mechanical looseness) (A = ชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น,
B = ชุดอุปกรณ์มาตรฐาน)

Mechanical looseness Test						
Load Current (A)	Phase Voltage (V)					
	1		2		3	
	A	B	A	B	A	B
0.01	230.2	230.3	230.2	230.3	230.3	230.4
0.02	229.7	230.2	229.4	230.1	229.4	230.3
0.03	229.1	229.8	229.3	229.3	229.2	229.4
0.04	228.2	228.8	228.1	228.6	228.5	228.6
0.05	227.2	228.4	227.4	228	227.8	228.3
0.06	226.1	227.3	226.3	227.1	226.5	227.3
0.07	226.1	226.5	225.9	226.2	226.2	226.4
0.08	225.1	225.4	225	225.2	225.4	225.3
0.09	223.9	223.9	223.8	224	224.3	224.1
0.1	223.3	223.4	223	223.3	223.4	223.5
0.11	222.6	222.7	222.9	223	223.1	223.5
0.12	221.9	222	221.6	221.8	221.9	222.1
0.13	221.5	221.6	221.3	221.7	221.7	221.7
0.14	220.8	220.9	220.8	220.6	221	221
0.15	220.4	220.6	220.2	220.3	220.6	220.5



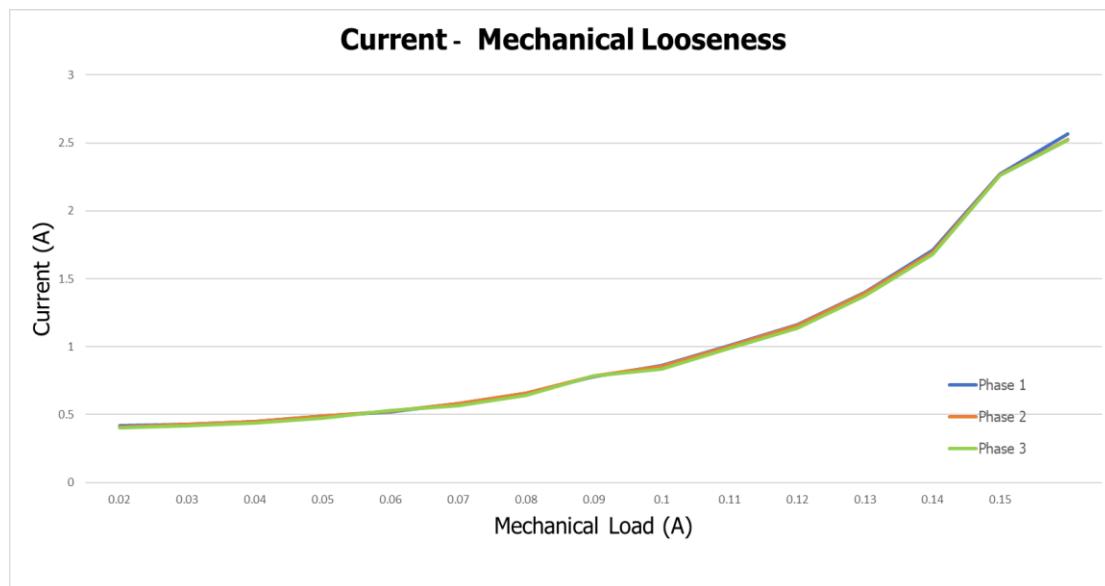
ภาพที่ 4-10 แนวโน้มการสั่นสะเทือน ขณะทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโอลดและจำลองการเกิดปัญหาอุปกรณ์การติดตั้งหัวลง (Mechanical looseness)

จากราฟที่ได้จากการวิเคราะห์สัญญาณที่โดยเมื่อเวลา แสดงให้เห็นว่าในสภาวะที่มอเตอร์การขับโอลด มีแนวโน้มการสั่นสะเทือนดังภาพที่ 4-9 ซึ่งค่าการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น แกนแนวตั้ง (Vertical Axis) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 5.220955804 mm/s แกนแนวตั้ง (Vertical Axis) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 11.70504608 mm/s และแกนแนวเดียวกับเพลา (Axial Axis) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.973094563 mm/s เมื่อเทียบกับมาตรฐานการสั่นสะเทือน ISO 10816 อุปกรณ์ในเกณฑ์ที่เกินมาตรฐาน ซึ่งเกินมาตรฐานที่แกนแนวตั้ง (Vertical Axis) จึงสรุปได้ว่า ในการทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโอลดและจำลองการเกิดปัญหาอุปกรณ์การติดตั้งหัวลง (Mechanical looseness) จะส่งผลให้การสั่นสะเทือนในแกนแนวตั้งมีค่าเพิ่มสูงขึ้นและส่งผลให้มอเตอร์เกิดความเสียหาย เช่น ข้อต่อและจุดยึดสกรูต่าง ๆ เกิดการขยายตัว โครงสร้างของมอเตอร์เกิดการผิดรูป



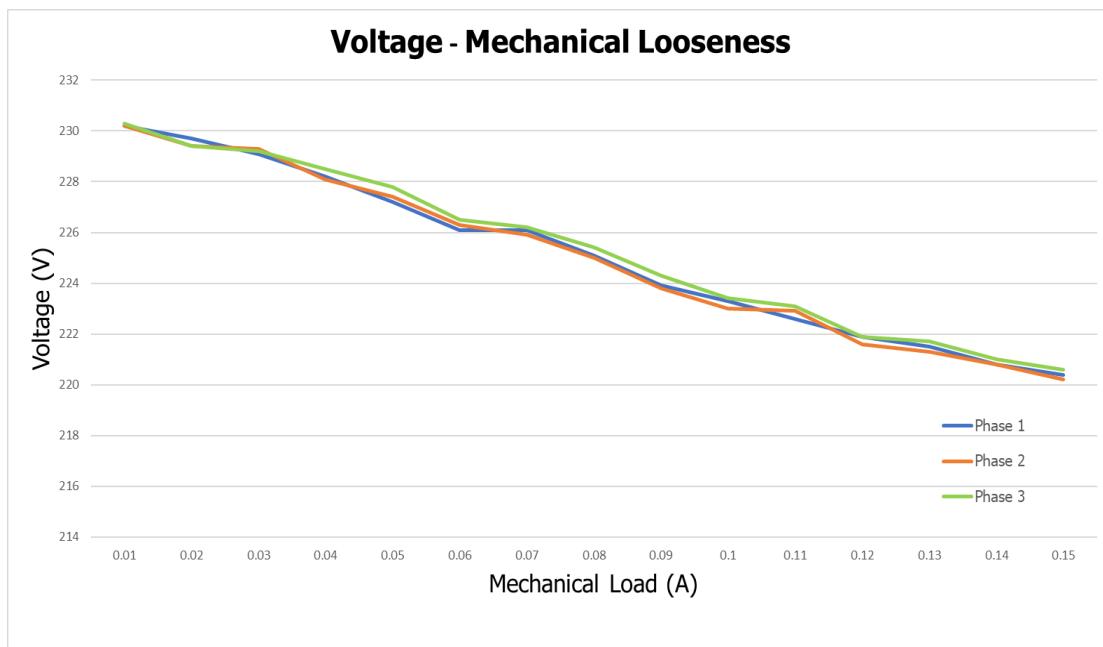
ภาพที่ 4-11 แนวโน้มของอุณหภูมิ ขณะทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหาอุปกรณ์การติดตั้งหลวม (Mechanical looseness)

จากราฟอุณหภูมิโครงสร้างที่ผิวด้านนอกของมอเตอร์ สังเกตุได้ว่าในการเพิ่มโหลดให้แก่มอเตอร์ อุณหภูมิมีการเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาตามมาตรฐาน IEC 85 อุณหภูมิที่ขาดลวดจะมีค่าสูงสุดไม่เกิน [อุณหภูมิแวดล้อม (อุณหภูมิที่ตัวเฟรมก่อนเริ่มต้นการทดสอบ) 26 องศาเซลเซียส] + [อุณหภูมิแวดล้อมตามมาตรฐานมอเตอร์ Class B 80 องศาเซลเซียส] = 106 องศาเซลเซียส โดยปกติค่าอุณหภูมิที่ตัวเฟรมด้านนอกของมอเตอร์เทียบกับภายในขาดจะมีค่าความแตกต่างกัน 20-30 องศา จึงสรุปได้ว่ามอเตอร์ไม่รวมมีอุณหภูมิที่เกิน 76-86 องศาเมื่อทำการวัดอุณหภูมิที่ตัวเฟรมมอเตอร์ ในการทดสอบอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้เท่ากับ 38.17 องศาเซลเซียส ไม่เกินมาตรฐานที่ IEC กำหนดและเมื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบในสภาวะมีโหลด อุณหภูมิมีความแตกต่างกันไม่มากนัก อุณหภูมิมีค่าสูงกว่าประมาณ 2 องศาเซลเซียส ในการใช้เวลาทดสอบที่ใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 4-12 แนวโน้มของกระแส ขณะทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหา อุปกรณ์การติดตั้งหัว (Mechanical looseness)

จากราฟสังเกตุได้ว่าในการเพิ่มโหลดให้แก่มอเตอร์ กระแสอินพุตทั้ง 3 เฟส มีการเพิ่มสูงขึ้น และมีค่าสูงสุดที่กระแสโหลด 0.15 A โดยเฟส 1, 2 และ 3 อ่านค่าได้ 2.566, 2.5271 และ 2.52 A ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าในการทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหา อุปกรณ์การติดตั้งหัว (Mechanical looseness) ลักษณะเป็นเฟสสมดุล มีค่ากระแสเข้าใกล้พิกัดกระแสของมอเตอร์ เปรียบเทียบกับการทดสอบในสภาวะมีโหลด มีค่ากระแสที่มากกว่า แต่ไม่เกินค่ากระแสพิกัด



ภาพที่ 4-13 แนวโน้มของแรงดัน ขณะทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหา อุปกรณ์การติดตั้งหลวม (Mechanical looseness)

จากราฟสังเกตุได้ว่าในการเพิ่มโหลดให้แก่มอเตอร์ แรงดันอินพุตทั้ง 3 เฟส มีการลดลง และมีค่าต่ำสุด ที่กระแสโหลด 0.15 A โดยเฟส 1, 2 และ 3 ค่าได้ 220.4, 220.2 และ 220.6 V ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าในการทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหา อุปกรณ์การติดตั้งหลวม (Mechanical looseness) มีค่าแรงดันลดลงอย่างต่อเนื่องและลดลงมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบในสภาวะมีโหลด



ภาพที่ 4-14 การทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหาอุปกรณ์การติดตั้ง หลวม (Mechanical looseness)

4.4 การทดสอบมอเตอร์ในสภาพมีโหลด และจำลองการเกิดปัญหาการเบี้องคูนย์ (Misalignment)

ตารางที่ 4-10 ผลการทดสอบมอเตอร์สภาพมีโหลด และจำลองการเกิดปัญหาการเบี้องคูนย์ (Misalignment)

ขณะก่อนทดสอบ ($A = \text{ชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น}, B = \text{ชุดอุปกรณ์มาตรฐาน}$)

อุณหภูมิแวดล้อมเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส แรงดัน 230.5 โวลต์ ความเร็วรอบ 1390 rpm

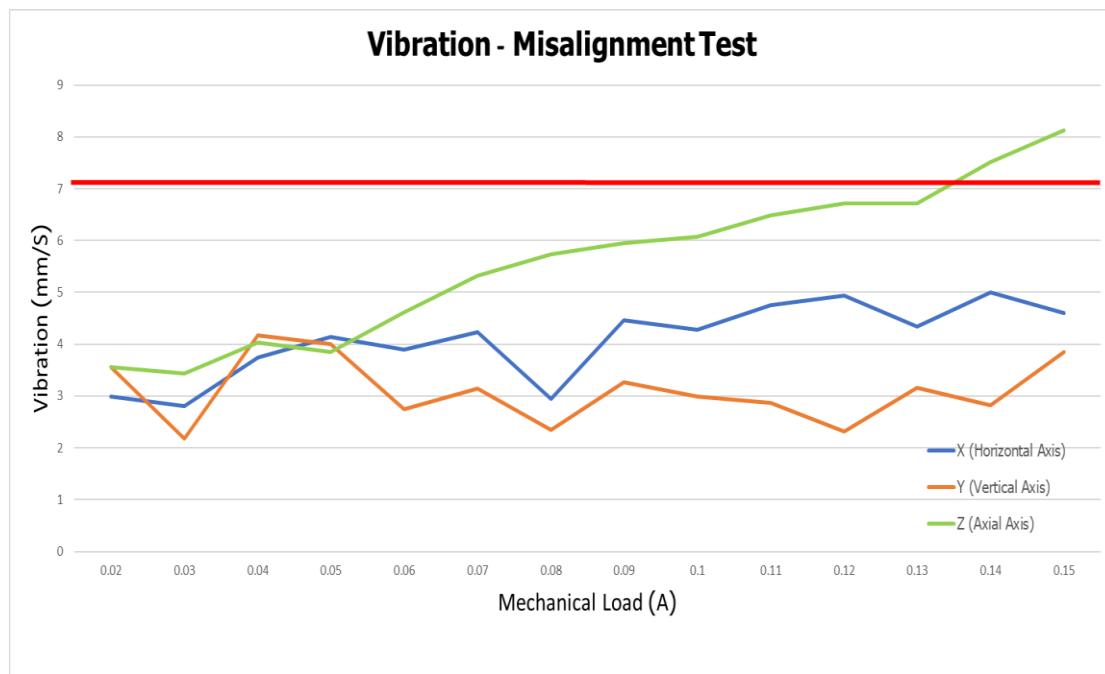
Misalignment Test										
Load Current (A)	Vibration (mm/s)						Temperature (°C)	Speed (RPM)		
	X		Y		Z					
	Horizontal Axis	Vertical Axis	Horizontal Axis	Vertical Axis	Horizontal Axis	Vertical Axis				
	A	B	A	B	A	B	A	B		
0.01	2.761	2.654	2.795	2.734	3.486	3.399	26.91	26.53	1381	
0.02	2.997	2.878	3.554	3.478	3.554	3.482	27.25	26.98	1370	
0.03	2.806	2.763	2.175	2.033	3.438	3.376	27.5	27.02	1361	
0.04	3.748	3.681	4.173	4.001	4.031	3.783	27.68	27.51	1350	
0.05	4.142	3.819	3.999	3.821	3.856	3.648	28.19	27.98	1337	
0.06	3.9	3.875	2.744	2.643	4.622	4.513	29.26	29.03	1322	
0.07	4.231	4.032	3.136	3.023	5.325	5.012	29.87	29.79	1309	
0.08	2.94	2.851	2.352	2.167	5.733	5.644	30.23	30.18	1299	
0.09	4.458	4.322	3.269	3.002	5.945	5.802	30.71	30.68	1285	
0.1	4.272	4.158	2.998	2.768	6.071	5.731	31.66	31.53	1274	
0.11	4.748	4.623	2.864	2.697	6.481	5.837	32.87	32.41	1267	
0.12	4.936	4.811	2.314	2.116	6.710	6.143	33.62	33.22	1238	
0.13	4.344	4.672	3.159	3.01	6.713	6.341	34.67	34.23	1209	
0.14	5.004	5.028	2.825	2.967	7.507	7.698	36.29	36.18	1183	
0.15	4.607	4.837	3.853	3.901	8.125	8.233	39.23	39.01	1140	

ตารางที่ 4-11 ผลของกระแสไฟฟ้า ในการทดสอบมอเตอร์สภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหา การเบี้องคุณย์ (Misalignment) (A = ชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น, B = ชุดอุปกรณ์มาตรฐาน)

Misalignment Test						
Load Current (A)	Phase Current (A)					
	1		2		3	
	A	B	A	B	A	B
0.01	0.411	0.409	0.423	0.418	0.408	0.405
0.02	0.421	0.417	0.438	0.432	0.422	0.412
0.03	0.443	0.439	0.456	0.461	0.444	0.441
0.04	0.479	0.481	0.477	0.473	0.478	0.473
0.05	0.519	0.522	0.531	0.532	0.51	0.51
0.06	0.588	0.584	0.592	0.592	0.573	0.569
0.07	0.652	0.65	0.656	0.652	0.636	0.638
0.08	0.765	0.761	0.768	0.766	0.749	0.752
0.09	0.87	0.873	0.876	0.879	0.853	0.855
0.1	0.998	0.993	0.991	0.987	0.969	0.973
0.11	1.18	1.14	1.179	1.175	1.153	1.158
0.12	1.41	1.43	1.411	1.413	1.419	1.408
0.13	1.779	1.778	1.775	1.749	1.768	1.764
0.14	2.258	2.254	2.256	2.253	2.253	2.249
0.15	2.523	2.519	2.48	2.481	2.46	2.459

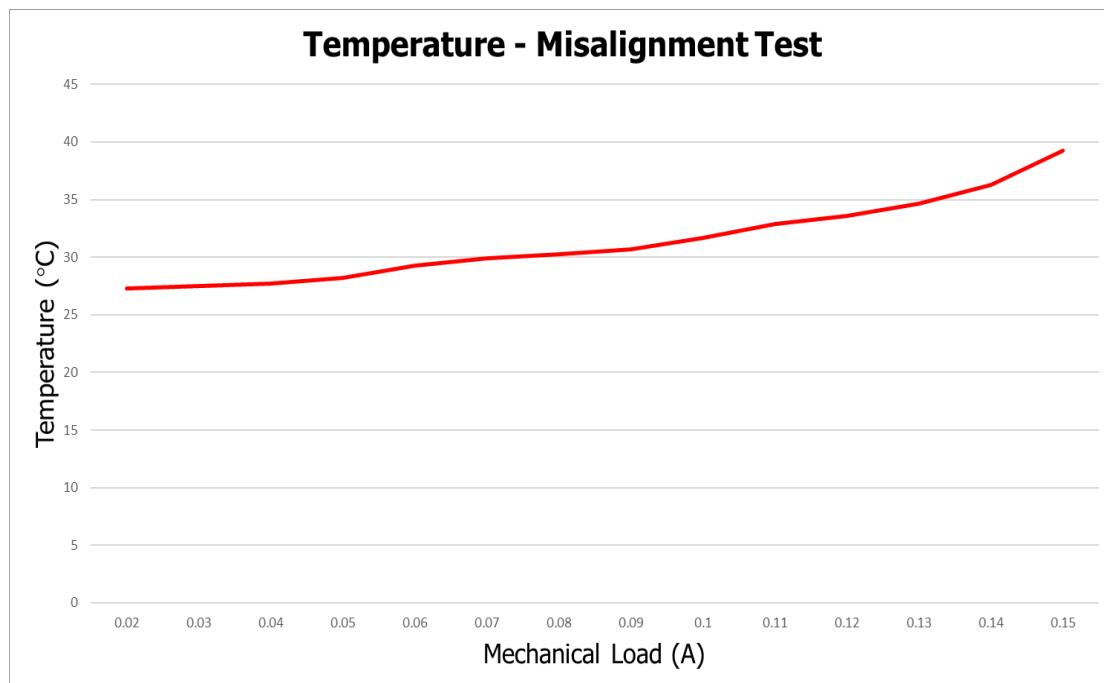
ตารางที่ 4-12 ผลของแรงดันไฟฟ้า ในการทดสอบมอเตอร์สภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหา การยื่องศูนย์ (Misalignment) ($A =$ ชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น, $B =$ ชุดอุปกรณ์มาตรฐาน)

Misalignment Test						
Load Current (A)	Phase Voltage (V)					
	1		2		3	
	A	B	A	B	A	B
0.01	229.6	230.3	229.7	230.4	229.6	230.4
0.02	228.5	230.2	228.9	230.3	228.7	230.3
0.03	228.3	230	228.1	229.8	228.3	230.1
0.04	227.2	229.7	227.4	229.5	227.9	229.8
0.05	227.1	229.5	227.3	229.4	227.4	229.5
0.06	226.4	229.1	226.8	229.3	227.1	229.3
0.07	226.1	228.9	226.2	228.7	226.7	229.1
0.08	225.7	228.6	225.4	228.6	225.8	228.8
0.09	225.2	228.5	225.3	228.5	225.4	228.6
0.1	224.9	228.2	224.8	228.3	224.9	228.4
0.11	224.4	228	224.2	228.1	224.3	228.3
0.12	223.8	227.5	223.6	227.9	223.5	227.8
0.13	223.4	226.7	223.4	226.8	223.3	227
0.14	223.1	226.3	223.2	226.3	223.1	226.4
0.15	222.7	225.4	222.9	225.7	223	225.9



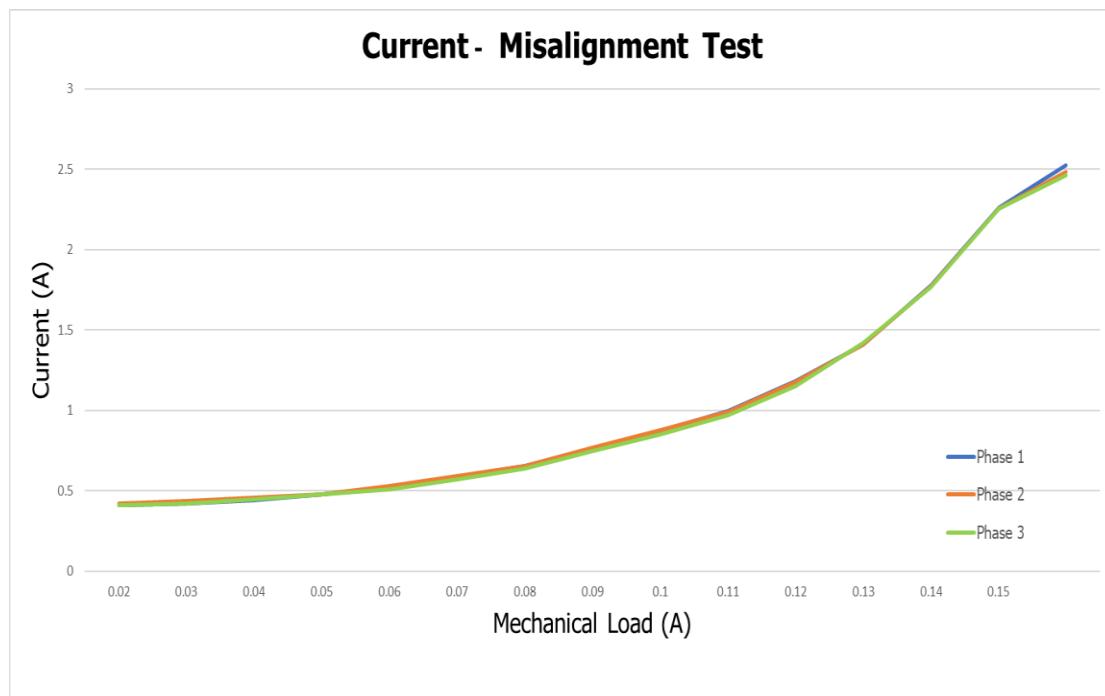
ภาพที่ 4-15 แนวโน้มการสั่นสะเทือน ขณะทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหาการเบี้องศูนย์ (Misalignment)

จากราฟที่ได้จากการวิเคราะห์สัญญาณที่โดยเมื่อเวลา แสดงให้เห็นว่าในสภาวะที่มอเตอร์การขับโหลดมีแนวโน้มการสั่นสะเทือนดังภาพที่ 4-13 ซึ่งค่าการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น แกนแนวระนาบ (Horizontal Axis) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 5.004703197 mm/s แกนแนวตั้ง (Vertical Axis) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 4.173396285 mm/s และแกนแนวเดียวกับเพลา (Axial Axis) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 8.125278673 mm/s เมื่อเทียบกับมาตรฐานการสั่นสะเทือน ISO 10816 อยู่ในเกณฑ์ที่เกินมาตรฐาน ซึ่งเกินมาตรฐานที่แกนแนวเดียวกับเพลา (Axial Axis) จึงสรุปได้ว่า ในการทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหาการเบี้องศูนย์ (Misalignment) จะส่งผลให้ค่าการสั่นสะเทือนในแกนแนวแกนเดียวกับเพลา มีค่าเพิ่มสูงขึ้น และส่งผลให้มอเตอร์เกิดความเสียหาย เช่น เพลาของมอเตอร์ เกิดการគงอ บิดเบี้ยว เกิดรอยแตกทำให้ผิวของเพลาไม่เรียบ ซึ่งทำให้การเชื่อมต่อกับโหลดทางกล เป็นไปได้ยาก



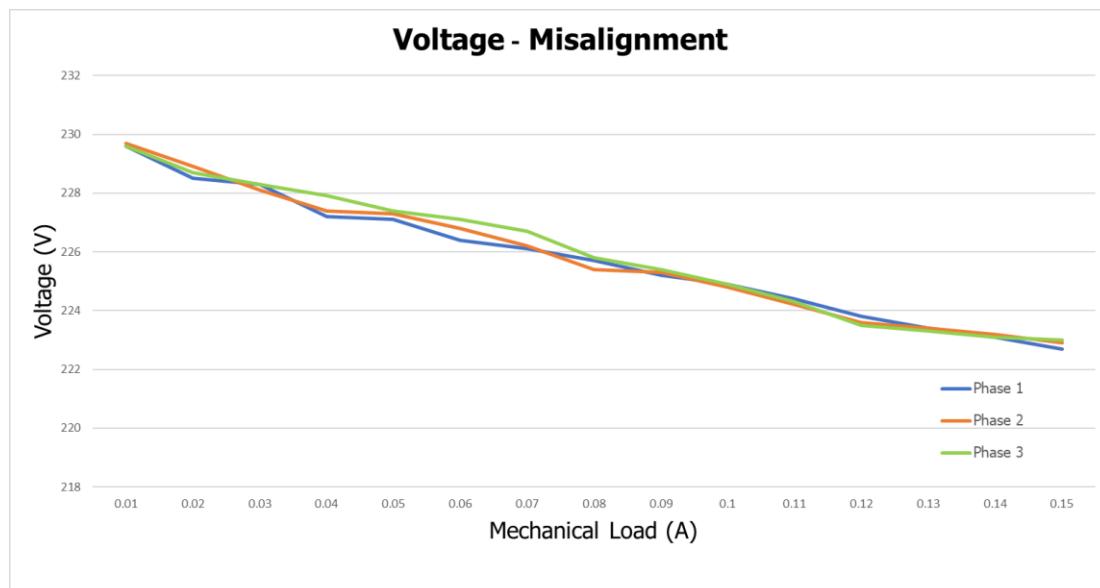
ภาพที่ 4-16 แนวโน้มของอุณหภูมิ ขณะทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหาการเอียงศูนย์ (Misalignment)

จากราฟอุณหภูมิโครงสร้างที่ผิวด้านนอกของมอเตอร์ สังเกตุได้ว่าในการเพิ่มโหลดให้แก่มอเตอร์ อุณหภูมิมีการเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาตามมาตรฐาน IEC 85 อุณหภูมิที่ขดลวดจะมีค่าสูงสุดไม่เกิน [อุณหภูมิแวดล้อม (อุณหภูมิที่ตัวเฟรมก่อนเริ่มต้นการทดสอบ) 26 องศาเซลเซียส] + [อุณหภูมิแวดล้อมตามมาตรฐานมอเตอร์ Class B 80 องศาเซลเซียส] = 106 องศาเซลเซียส โดยปกติค่าอุณหภูมิที่ตัวเฟรมด้านนอกของมอเตอร์เทียบกับภายในขดลวดจะมีค่าความแตกต่างกัน 20-30 องศาเซลเซียส จึงสรุปได้ว่ามอเตอร์ไม่รวมมีอุณหภูมิที่เกิน 76-86 องศาเมื่อทำการวัดอุณหภูมิที่ตัวเฟรมมอเตอร์ ในการทดสอบอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้เท่ากับ 39.23 องศาเซลเซียส ไม่เกินมาตรฐานที่ IEC กำหนดและเมื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบในสภาวะมีโหลด อุณหภูมิมีค่าสูงกว่าประมาณ 3 องศาเซลเซียส ในการใช้เวลาทดสอบที่ใกล้เคียงกัน



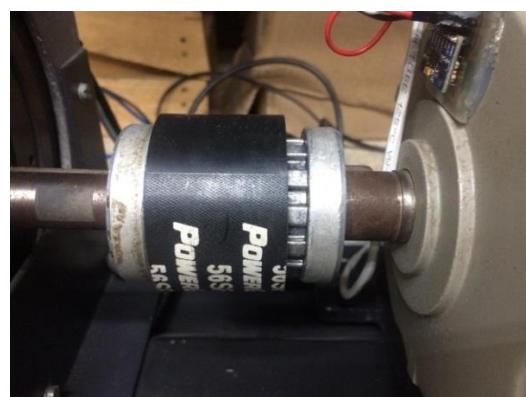
ภาพที่ 4-17 แนวโน้มของกระแส ขณะทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหา การเบี้องคุณย์ (Misalignment)

จากราฟ สังเกตุได้ว่าในการเพิ่มโหลดให้แก่มอเตอร์ กระแสอินพุตทั้ง 3 เฟส มีการเพิ่มสูงขึ้น และมีค่าสูงสุดที่กระแสโหลด 0.15 A โดยเฟส 1, 2 และ 3 อ่านค่าได้ 2.523, 2.48 และ 2.46 ตามลำดับ และคงให้เห็นว่าในการทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหาการเบี้องคุณย์ (Misalignment) ลักษณะเป็นเฟสสมดุล มีค่ากระแสเข้าใกล้พิกัดกระแสของมอเตอร์ เปรียบเทียบกับการทดสอบในสภาวะมีโหลด มีค่ากระแสที่มากกว่า แต่ไม่เกินค่ากระแสพิกัด



ภาพที่ 4-18 แนวโน้มของแรงดัน ขณะทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหาการเยื่องศูนย์ (Misalignment)

จากราฟ สังเกตุได้ว่าในการเพิ่ม โหลดให้แก่มอเตอร์ แรงดันอินพุตทั้ง 3 เฟส มีการลดลง และมีค่าต่ำสุด ที่กระแสโหลด 0.15 A โดยเฟส 1, 2 และ 3 อ่านค่าได้ 222.7, 222.9 และ 223 V ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าในการทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลดและจำลองการเกิด ปัญหาการเยื่องศูนย์ (Misalignment) มีค่าแรงดันลดลงอย่างต่อเนื่องและลดลงมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบในสภาวะมีโหลด เช่นเดียวกับกรณีการทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหาอุปกรณ์การติดตั้งหลวม (Mechanical looseness)



ภาพที่ 4-19 การทดสอบมอเตอร์ในสภาวะมีโหลดและจำลองการเกิดปัญหาการเยื่องศูนย์ (Misalignment)

4.5 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาด

ในโครงการนี้ผู้จัดทำได้ทำการตรวจค่าการสั่นสะเทือน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โดยมีการวัดจาก 2 ชุดอุปกรณ์ คือ 1. ชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น 2. ชุดอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐาน เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบหาค่าความผิดพลาด

ตารางที่ 4-13 แสดงค่าผิดพลาดจากการวัดระหว่างชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเทียบกับชุดอุปกรณ์มาตรฐาน

การทดสอบ	ค่าความผิดพลาด ERROR (%)										
	การสั่นสะเทือน			อุณหภูมิ	กระแสไฟฟ้า			แรงดันไฟฟ้า			
	X	Y	Z		Phase			Phase			
					1	2	3	1	2	3	
สภาวะมีโคลด	3.63	2.24	3.45	0.07	0.44	0.69	0.7	0.95	0.89	0.88	
สภาวะมีโคลดและ จำลองการเกิดปัญหา อุปกรณ์การติดตั้ง หลวม (Mechanical looseness)	1.52	4.18	3.76	0.79	0.3	0.31	0.58	1.18	1.17	1.18	
สภาวะมีโคลดและ จำลองการเกิดปัญหา การเยื่องศูนย์ (Misalignment)	4.27	3.53	2.19	0.22	0.35	0.34	0.49	1.21	1.03	1.05	

จากตารางที่ 4-13 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดระหว่างชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นกับชุดอุปกรณ์มาตรฐาน ซึ่งการวัดค่าความสั่นสะเทือนมีค่าความผิดพลาดสูงสุด 4.27 % การวัดอุณหภูมิมีค่าความผิดพลาดสูงสุด 0.79 % การวัดกระแสไฟฟ้ามีค่าความผิดพลาดสูงสุด 0.7 % และการวัดแรงดันค่าความผิดพลาดสูงสุด 1.21 %

บทที่ 5

สรุปผล ปัญหาและข้อเสนอแนะ

สำหรับการทำโครงการในครั้งนี้สามารถนำ Hardware และ Software ที่ทำการออกแบบมาประยุกต์ใช้ร่วมกันจนเกิดชุดอุปกรณ์ในการวัดสถานะของมอเตอร์ โดย Hardware เป็นบอร์ดการทดลองที่รวมอุปกรณ์ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ทำหน้าที่ในการวัดค่าการสั่นสะเทือน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า จากมอเตอร์ที่อยู่บนแพลตฟอร์มทดสอบ จากนั้นนำไปเขียนโปรแกรมในส่วน Software โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ Arduino UNO R3 เพื่อคำนวณค่าตัวแปร ได้แก่ ค่าการสั่นสะเทือน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า ส่วนต่อมาคือ Raspberry Pi 3 ที่มีบอร์ดในการรับข้อมูลตัวแปรจากไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 ซึ่งเก็บข้อมูล เพื่อนำไปแสดงผลตัวแปรต่าง ๆ ในรูปแบบกราฟ ณ เวลาและวันที่ปัจจุบันรวมถึงสร้างฟังก์ชันในการเก็บข้อมูลและเรียกใช้งานข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาทำการวิเคราะห์แนวโน้มของปัญหา จากนั้นแยกเป็นกรณี เพื่อใช้ในการคาดการณ์ล่วงหน้าได้

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการทำงานและการทดลองสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 จากการทดลองวัดค่าการสั่นสะเทือน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า เมื่อมีการเบริกเทียบกับข้อมูลจากโรงงาน จะพบว่าข้อมูลการที่ไม่มีความผิดพลาดค่อนข้างต่ำ

5.1.2 จากการทดลองแสดงผลข้อมูลจากชุดอุปกรณ์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยแสดงข้อมูลในรูปของกราฟบน Interface ที่สร้างขึ้น พบว่าข้อมูลมีความต่อเนื่องและมีความคลาดเคลื่อนในการอัพเดทข้อมูลเพียง 10-12 วินาที แต่สามารถเรียกดูข้อมูลแบบ 1 นาที, 5 นาที, 30 นาที, 1 ชั่วโมง และตลอดช่วงเวลาที่เก็บข้อมูลได้อย่างถูกต้องตามที่ได้ออกแบบไว้

5.1.3 ในการทดสอบสภาพว่าต่าง ๆ ของเครื่องจักรกลไฟฟ้า ค่าการสั่นสะเทือนในสภาพปกติ หรือสภาพมีโคลค มีค่าต่ำกว่า ค่าการสั่นสะเทือนในสภาพอื่น ๆ ซึ่งเป็นสภาพที่ทำให้เครื่องจักรกลไฟฟ้าเกิดความเสียหาย

5.1.4 ข้อมูลของเครื่องจักรกลไฟฟ้าสามารถพบได้มากขึ้น ในขณะที่เครื่องจักรกลไฟฟ้ารับภาระจากการขับโคลคที่สูงขึ้น

5.1.5 จากการทดสอบในสภาวะต่าง ๆ สามารถระบุปัญหาการเสื่องศูนย์และการหลอมคลอนทางกลของเครื่องจักรกลไฟฟ้าโดยพิจารณาจากพารามิเตอร์ต่าง ๆ

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.2.1 ใน การออกแบบชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง การเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีความแม่นยำสูง เพื่อให้ได้รับข้อมูลที่มีความผิดพลาดน้อยที่สุด เพราะความผิดพลาดที่เกิดขึ้นอาจส่งผลให้การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากชุดอุปกรณ์มีความผิดพลาด

5.2.2 ใน การทดลองเนื่องจาก Mechanical load ที่ใช้เป็น Eddy Current Break ซึ่งหากใช้ร่วมกับมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่กว่าที่ใช้ในการทดลองช่วงท้ายของการปรับโหลด จะเกิดความไม่เป็นเชิงเส้นทำให้การปรับโหลดเป็นไปได้ยากในการทดลอง ควรใช้ Mechanical load ที่มีความเป็นเชิงเส้นตลอดทั้งช่วง

5.2.3 ใน การทดลองเพื่อให้สมมุติฐานที่ได้มีความถูกต้องมากที่สุด ควรทดลองกับมอเตอร์หลากหลายขนาดเพื่อให้การวิเคราะห์มีความครอบคลุมในการพิจารณา

5.2.4 ใน โครงการนี้เป็นเพียงการทดลองการวัดการสั่นสะเทือน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้า และแรงดันในเบื้องต้นเท่านั้นสามารถใช้ประเมินความผิดปกติได้แบบคร่าวๆ การทดลองในงานจริงจำเป็นต้องมีความรู้และประสบการมากยิ่งขึ้นเพื่อที่จะได้นำข้อมูลไปใช้ในการตัดสินใจในงานซ่อมบำรุง

เอกสารอ้างอิง

1. รศ.ดร. บัดลังก์ เนียมณี, รศ.ดร. สุขสันต์ หวังสกิตย์วงศ์. เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับ. พิมพ์ครั้งที่ 2 : ตุลาคม 2555 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
2. นพ มหิyanนท์. การติดตั้งและใช้งาน Raspberry Pi. กุมภาพันธ์ 2560. สำนักพิมพ์ คอร์ฟังก์ชั่น.
3. ประภาส พุ่มพวง. การเขียนและการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม Arduino. Vol. 2561. สำนักพิมพ์ บริษัท ซีเอ็ดьюเคชั่น จำกัด (มหาชน)
4. สุพจน์ สง่ากong, ปิยะ นาກสang. การเขียนโปรแกรมภาษา Python. พฤษภาคม 2561. สำนักพิมพ์ พร้อมท์
5. ณัฐวัตร คำภักดี. คู่มือการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาไพธอน Python. มิถุนายน 2561. บริษัท ไปริชั่น จำกัด.
6. Michael J. Crawley. The R Book. This edition first published 2013. A John Wiley & Sons, Ltd., Publication. Imperial College London at Silwood Park, UK.
7. Yanchang Zhao. R and Data Mining: Examples and Case Studies. December 2012. Published by Elsevier. <http://www.rdatamining.com>
8. Brett Lantz. Machine Learning with R. First published: October 2013. Published by Packt Publishing Ltd. <https://www.packtpub.com/>
9. S.V. Bowers, Implementing the status smart sensor technology into a predictive and proactive maintenance program. Published: 1997. Published by Computation Systems Incorporated.
10. Matthew M. O’Kane, Michael J. Sander. Intelligent Motors Move to the Forefront of Predictive Maintenance. Published: September/October 2000. Published by IEEE Industry Application Magazine.

ภาคผนวก ก
การเขียนคำสั่งให้บอร์ด Arduino UNO R3

การเขียนคำสั่งให้บอร์ด Arduino Uno เพื่อใช้ในการรับข้อมูลจากอุปกรณ์ที่ใช้เป็นตัววัดค่า ดังนี้

```
#include <OneWire.h>           //include รีียกใช้งาน Library
#include <DallasTemperature.h>
#define ONE_WIRE_BUS 2          //ตั้งชื่อค่าคงที่
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_ADXL345_U.h>
Adafruit_ADXL345_Unified accel = Adafruit_ADXL345_Unified(12345); //กำหนดค่า
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);           //เชื่อมต่อ กับ one wire bus
DallasTemperature sensors(&oneWire);
//voltage           //ประมวลผลตัวแปรและกำหนดค่าต่างๆ ของอุปกรณ์วัดแรงดัน
double sensorValue=0;
double sensorValue1=0;
int crosscount=0;
int climbhill=0;
double VmaxD=0;
double VeffD;
double Veff;
//current           //ประมวลผลตัวแปรและกำหนดค่าต่างๆ ของอุปกรณ์วัดกระแส
const int sensorIn = A0;
int mVperAmp = 100;
double Voltage = 0;
double VRMS = 0;
double current = 0;
void displaySensorDetails(void)           //ประมวลผลฟังก์ชันอุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือน
{
    sensor_t sensor;
    accel.getSensor(&sensor);
    /*Serial.println("-----");
```

```

Serial.print ("Sensor:    "); Serial.println(sensor.name);
Serial.print ("Driver Ver:  "); Serial.println(sensor.version);
Serial.print ("Unique ID:   "); Serial.println(sensor.sensor_id);
Serial.print ("Max Value:   "); Serial.print(sensor.max_value); Serial.println(" m/s^2");
Serial.print ("Min Value:   "); Serial.print(sensor.min_value); Serial.println(" m/s^2");
Serial.print ("Resolution:  "); Serial.print(sensor.resolution); Serial.println(" m/s^2");
Serial.println("-----");
Serial.println("");/*
delay(500);
}

void displayDataRate(void) //ประการใช้งานฟังก์ชันอุปกร์ดการสั่นสะเทือน
{
//Serial.print ("Data Rate:  ");
switch(accel.getDataRate())
{
case ADXL345_DATARATE_3200_HZ:
//Serial.print ("3200 ");
break;
case ADXL345_DATARATE_1600_HZ:
//Serial.print ("1600 ");
break;
case ADXL345_DATARATE_800_HZ:
//Serial.print ("800 ");
break;
case ADXL345_DATARATE_400_HZ:
//Serial.print ("400 ");
break;
case ADXL345_DATARATE_200_HZ:
//Serial.print ("200 ");
break;
}

```

```
case ADXL345_DATARATE_100_HZ:  
    //Serial.print ("100 ");  
    break;  
  
case ADXL345_DATARATE_50_HZ:  
    //Serial.print ("50 ");  
    break;  
  
case ADXL345_DATARATE_25_HZ:  
    //Serial.print ("25 ");  
    break;  
  
case ADXL345_DATARATE_12_5_HZ:  
    //Serial.print ("12.5 ");  
    break;  
  
case ADXL345_DATARATE_6_25HZ:  
    //Serial.print ("6.25 ");  
    break;  
  
case ADXL345_DATARATE_3_13_HZ:  
    //Serial.print ("3.13 ");  
    break;  
  
case ADXL345_DATARATE_1_56_HZ:  
    //Serial.print ("1.56 ");  
    break;  
  
case ADXL345_DATARATE_0_78_HZ:  
    //Serial.print ("0.78 ");  
    break;  
  
case ADXL345_DATARATE_0_39_HZ:  
    //Serial.print ("0.39 ");  
    break;  
  
case ADXL345_DATARATE_0_20_HZ:  
    //Serial.print ("0.20 ");  
    break;
```

```

case ADXL345_DATARATE_0_10_HZ:
    //Serial.print ("0.10 ");
    break;
default:
    //Serial.print ("???? ");
    break;
}

//Serial.println(" Hz");
}

void displayRange(void)           //ประการใช้งานฟังก์ชันอุปกร์วัดการสั่นสะเทือน
{
    //Serial.print ("Range:      +/- ");
    switch(accel.getRange())
    {
        case ADXL345_RANGE_16_G:
            //Serial.print ("16 ");
            break;
        case ADXL345_RANGE_8_G:
            //Serial.print ("8 ");
            break;
        case ADXL345_RANGE_4_G:
            //Serial.print ("4 ");
            break;
        case ADXL345_RANGE_2_G:
            //Serial.print ("2 ");
            break;
default:
    //Serial.print ("?? ");
    break;
}

```

```

//Serial.println(" g");
}

void setup() //ประการฟังก์ชันที่ใช้ในการเริ่มต้น ตำแหน่งพอร์ตที่ใช้งาน
{
    //ตั้งค่าเริ่มต้นเพื่อติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์อัตราเร็ว 115200 บิตต่อ
    //วินาที

    Serial.begin(115200); // for Leonardo/Micro/Zero

    sensors.begin();

#ifndef ESP8266
    while (!Serial); //ส่งข้อมูลแบบSerial
#endif

    Serial.begin(115200); //ส่งข้อมูลแบบSerial

    //Serial.println("Accelerometer Test"); Serial.println("");

/* Initialise the sensor */

if(!accel.begin())
{
    /* There was a problem detecting the ADXL345 ... check your connections */
    //Serial.println("Ooops, no ADXL345 detected ... Check your wiring!");

    while(1);
}

accel.setRange(ADXL345_RANGE_16_G);

// accel.setRange(ADXL345_RANGE_8_G);
// accel.setRange(ADXL345_RANGE_4_G);
// accel.setRange(ADXL345_RANGE_2_G);

/* Display some basic information on this sensor */

displaySensorDetails();

/* Display additional settings (outside the scope of sensor_t) */

displayDataRate();

displayRange();

//Serial.println("");

```

```

}

void loop()
{
    sensors_event_t event;

    accel.getEvent(&event);
    Serial.println("send"); //แสดงค่าการสั่นสะเทือนออกเป็นบรรทัด

    /* Display the results (acceleration is measured in m/s^2) */

    Serial.print("X: "); Serial.println(event.acceleration.x);
    Serial.print("Y: "); Serial.println(event.acceleration.y);
    Serial.print("Z: "); Serial.println(event.acceleration.z);
    delay(500);

    sensors.requestTemperatures(); //แสดงค่าอุณหภูมิออกเป็นตัวอักษร

    Serial.print("TEMP: "); //แสดงค่าอุณหภูมิออกเป็นบรรทัด
    Serial.println(sensors.getTempCByIndex(0)); //ประมวลผลฟังก์ชันการรับค่าแรงดัน

    sensorValue1=sensorValue; //ประมวลผลฟังก์ชันการรับค่าแรงดัน

    sensorValue = analogRead(A1);

    if (sensorValue>sensorValue1 && sensorValue>511){

        climbhill=1;
        VmaxD=sensorValue;
    }

    if (sensorValue<sensorValue1 && climbhill==1){

        climbhill=0;
        VmaxD=sensorValue1;
        VeffD=VmaxD/sqrt(2);
        Veff=(((VeffD-420.76)/-90.24)*-218);
        VmaxD=0;
    }

    Serial.print("V : "); //แสดงค่าแรงดันออกเป็นตัวอักษร
    Serial.println(Veff); //แสดงค่าแรงดันออกเป็นบรรทัด
}

```

```

//current                                //ประการฟังก์ชันการรับค่ากระแส
// put your main code here, to run repeatedly:
Voltage = getVPP();
VRMS = (Voltage/2.0) *0.707;
current = (VRMS * 1000)/mVperAmp;
Serial.print("A : ");                  //แสดงค่ากระแสออกเป็นตัวอักษร
Serial.println(current);                //แสดงค่ากระแสออกเป็นบรรทัด
//Serial.println("-----");
}

float getVPP()
{
    float result;
    int readValue;
    int maxValue = 0;
    int minValue = 1024;
    uint32_t start_time = millis();
    while((millis()-start_time) < 1000 )
    {
        readValue = analogRead(sensorIn);
        if (readValue > maxValue){
            maxValue = readValue;
        }
        if (readValue < minValue){
            minValue = readValue;
        }
    }
    result = ((maxValue - minValue) * 5.0)/1024;
    return result;
}

```

ภาคผนวก ๔

การเขียนคำสั่งให้บอร์ด Raspberry Pi

การเขียนคำสั่งให้บอร์ด Raspberry Pi เพื่อใช้ในการรับข้อมูลจาก Arduino Uno ดังนี้

```

import requests
import serial
import urllib
import time
import datetime
from firebase import firebase
import re

ser = serial.Serial('/dev/ttyACM0', 115200)
url="http://172.22.1.132:8000"
count = 0

while 1:
    try:
        if(not "send" in str(ser.readline())):
            continue
        px = str(ser.readline())
        py = str(ser.readline())
        pz = str(ser.readline())
        tx = str(ser.readline())
        vs = str(ser.readline())
        cs = str(ser.readline())

        if('send' in px or 'send' in py or 'send' in pz or 'send' in tx or 'send' in vs or 'send' in cs):
            continue
        px = re.search("(?=<:\s)-*\[\d|.]+",px).group(0)
        py = re.search("(?=<:\s)-*\[\d|.]+",py).group(0)
        pz = re.search("(?=<:\s)-*\[\d|.]+",pz).group(0)
        tx = re.search("(?=<:\s)-*\[\d|.]+",tx).group(0)
        vs = re.search("(?=<:\s)-*\[\d|.]+",vs).group(0)
        cs = re.search("(?=<:\s)-*\[\d|.]+",cs).group(0)

        print(px, py, pz, tx, vs, cs)
    
```

```
count += 1

if (count == 5):
    count = 0
    ts = time.time()
    st = datetime.datetime.fromtimestamp(ts).strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S')
    db = firebase.FirebaseApplication('https://test-61671.firebaseio.com/')
    db.post="/" + st ,
        {"px" : float(px),
         "py" : float(py),
         "pz" : float(pz),
         "ts" : float(tx),
         "vs" : float(vs),
         "cs" : float(cs)
        })
except:
    pass
```

ภาคผนวก ๔
การเขียนคำสั่งสร้าง Server และดูผล โดย Rstudio

สร้าง Server โดย Rstudio เพื่อใช้ในการแสดงผลออกในรูปแบบกราฟ ดังนี้

```

library(shiny)                                     #เรียกใช้งาน Library
library(magrittr)
library(ggplot2)
library(fireData)

ui <- shinyServer(fluidPage(                  #ประการสร้าง User Interface
  plotOutput("first_column"),                   #แสดงค่ากราฟ การสั่นสะเทือน
  plotOutput("second_column"),                 #แสดงค่ากราฟอุณหภูมิ กระแส
   MPG
))

server <- shinyServer(function(input, output, session){          #สร้าง Server
  # Function to get new observations
  get_new_data <- function(){                         #สร้างฟังก์ชันรับค่าจาก
    # Firebase
    token <- anonymous_login(project_api = "u8T8WZj7Z6ZHcgZr4dtnlpBkPy1")      #ใช้
    Token ยืนยันตัวตนการเข้าถึง
    temp = download(projectURL = "https://test-61671.firebaseio.com/", fileName = "/")  #Load
    #ข้อมูลจาก Firebase
    return(temp)                                #ส่งค่าข้อมูลกลับไปที่ Firebase
  }

  # Initialize my_data
  my_data <- get_new_data()                      #เก็บข้อมูล

  # Plot the 30 most recent values
  output$first_column <- renderPlot({           #render plot
    invalidateLater(10000, session)              #อัพเดททุก ๆ 10 วินาที
  })
})

```

```

temp = download(projectURL = "https://test-61671.firebaseio.com/", fileName = "/") #Load
ข้อมูลจากFirebase

c = 0 #ตัวคูณเวลา
if(input$xcol == "1min"){ #เลือกโหมดแสดงค่า 1 นาที
  c = 10
}
else if (input$xcol == "5min") { #เลือกโหมดแสดงค่า 5 นาที
  c = 50
} else if (input$xcol == "30min") { #เลือกโหมดแสดงค่า 30 นาที
  c = 300
} else if (input$xcol == "1hr") { #เลือกโหมดแสดงค่า 1 ชั่วโมง
  c = 600
} else{ #เลือกโหมด All Time
  c = -1
}

if(length(temp) > c && c > 0) #กำหนดการเลือกโหมดตามข้อมูลอุณหภูมิที่ต้องการ
{
  a = temp[(length(temp)-c):length(temp)] #แสดงค่าตามโหมดที่ต้องการ
} else
{
  a = temp #แสดงค่าทุกช่วง
}

my_data <- a

px = c() #เก็บค่า Vibration แกน X
py = c() #เก็บค่า Vibration แกน Y
pz = c() #เก็บค่า Vibration แกน Z
time = c() #เก็บค่าเวลา
for (i in 1:length(a)) #for ตั้งแต่ 1 ถึง Length
{
  px = c(px , a[[i]][[1]]$px)
}

```

```

py = c(py , a[[i]][[1]]$py)
pz = c(pz , a[[i]][[1]]$pz)
time = c(time, names(a[i])[1])
}

ggplot() +                                     #Plot ค่า
  geom_line(aes(col = "X", y = px , x = 1:length(px))) +
  geom_line(aes(col = "Y", y = py , x = 1:length(px))) +
  geom_line(aes(col = "Z", y = pz , x = 1:length(px))) +
  xlab("time") + ylab("") +
  scale_x_continuous(breaks = c(1, length(px)/2, length(px))),           #กำหนดค่าบนกราฟ
  แกน X ให้มีความต่อเนื่องเปลี่ยนแปลงตามข้อมูล
  labels = c(time[1], time[length(px)/2], time[length(px)])) +
  scale_y_continuous(breaks = seq(20,-20))                                     #กำหนดค่าบนกราฟแกนY
  ให้มีความต่อเนื่องเปลี่ยนแปลงตามข้อมูล
}

output$second_column <- renderPlot({                                         #render plot
  invalidateLater(10000, session)
  temp = download(projectURL = "https://test-61671.firebaseio.com/", fileName = "/")
  # temp = my_data
  c = 0
  if(input$xcol == "1min"){
    c = 10
  }
  else if (input$xcol == "5min") {
    c = 50
  }else if (input$xcol == "30min") {
    c = 300
  }else if (input$xcol == "1hr") {
    c = 600
  }else{

```

```

c = -1
}
if(length(temp) > c && c > 0)
{
  a = temp[(length(temp)-c):length(temp)]
} else
{
  a = temp
}
my_data <<- a

cs = c() #เก็บค่ากระแทก
vs = c() #เก็บค่าแรงดัน
tx = c() #เก็บค่าอุณหภูมิ
time = c()

for (i in 1:length(a)) #for ตั้งแต่ 1 ถึง Length
{
  cs = c(cs , a[[i]][[1]]$cs)
  vs = c(vs , a[[i]][[1]]$vs)
  tx = c(tx , a[[i]][[1]]$ts)
  time = c(time, names(a[i])[1])
}

ggplot() + #Plot ค่า
  geom_line(aes(col = "A", y = cs , x = 1:length(cs))) +
  geom_line(aes(col = "V", y = vs , x = 1:length(vs))) +
  geom_line(aes(col = "temp", y = tx , x = 1:length(tx))) +
  xlab("time") + ylab("") +
  scale_x_continuous(breaks = c(1, length(cs)/2, length(cs)), #กำหนดค่าบนกราฟ
  แกน X ให้มีความต่อเนื่องเปลี่ยนแปลงตามข้อมูล
  labels = c(time[1], time[length(cs)/2], time[length(cs)])) +

```

```
scale_y_continuous(breaks = seq(250,-250, length.out = 41))          #กำหนดค่าบัน
กราฟเคนYให้มีความต่อเนื่องเปลี่ยนแปลงตามข้อมูล
})
}

shinyApp(ui=ui,server=server)          #แสดงผลตาม ui และ server
```

ประวัติผู้แต่ง

ปริญญาบัณฑิตที่เรื่อง : การวิเคราะห์เทคนิคการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ล่วงหน้าของมอเตอร์

สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา : วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ : วิศวกรรมศาสตร์

ชื่อ : นายพัทธพล เดชจาร

ประวัติ

เกิดวันที่ 4 กันยายน พ.ศ. 2539 ภูมิลำเนา บ้านเลขที่ 483/6 หมู่ 3 ตำบลหนองขาม อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี รหัสไปรษณีย์ 20230 สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตร วิชาชีพ (ปวช.) สาขาวิชา ช่างไฟฟ้ากำลัง จากวิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ ปีการศึกษา 2558 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี แขนงวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา 2561