การวิเคราะห์ระดับสารทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศด้วยการวิเคราะห์การสั่น

วิทยานิพนธ์

ของ

ธวัช กองสี

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

พฤษภาคม 2563

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การวิเคราะห์ระดับสารทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศด้วยการวิเคราะห์การสั่น

วิทยานิพนธ์

ของ

ธวัช กองสี

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

พฤษภาคม 2563

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Analysis of Refrigerant Levels in Air Conditioner using Vibration Analysis

Thawach Kongsee

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for Master of Engineering (Mechanical Engineering)

May 2020

Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายธวัช กองสี แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. ณัญธิวัฒน์ พลดี)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผศ. ดร. ธวัฒน์ชัย คุณะโคตร)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รศ. ดร. อภินันท์ อุรโสภณ)

....กรรมการ

(ผศ. ดร. นุชิดา สุวแพทย์)

....กรรมการ

(ผศ. ดร. ธีรพัฒน์ ชมภูคำ)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

....	....
(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)	(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์	คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง การวิเคราะห์ระดับสารทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศด้วยการวิเคราะห์การสั่น

ผู้วิจัย ธวัช กองสี

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัฒน์ชัย คุณะโคตร

รองศาสตราจารย์ ดร. อภินันท์ อุรโสภณ

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมเครื่องกล

มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการสั่นสะเทือนของคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนสำหรับหาขนาดของการสั่นสะเทือนพร้อมวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ช่วงขณะที่คอมเพรสเซอร์ตัดและต่อการทำงาน เพื่อทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างการสั่นสะเทือนทางกลและกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ขณะที่มีสารทำความเย็นภายในระบบที่ระดับ 80 60 และ 40 psi โดยทดลองภายใต้อุณหภูมิภายในห้องเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส และมีเงื่อนไขการทดลองเพิ่มเติมที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi ทำการทดลอง 2 กรณี คือ กรณีที่น็อตฐานของคอมเพรสเซอร์แอร์หลุด 1 ตัว และกรณีที่น็อตฐานคอมเพรสเซอร์แอร์ขันแน่นทุกตัว ส่วนระดับสารทำความเย็น 60 และ 40 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่นทุกตัว จากผลการทดลองจะได้สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนเวลา หลังจากนั้นจะถูกนำมาแปลงให้อยู่บนโดเมนของความถี่โดยใช้การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว เพราะยอดของสัญญาณในกราฟสเปคตรัมสูงสุดพร้อมทั้งช่วงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จะบ่งบอกถึงการทำงานของเครื่องทำความเย็นว่ามีระดับสารทำความเย็นในระบบเท่าใด สุดท้ายเพื่อความสะดวกจะนำแค่ค่ากระแสไฟฟ้าซึ่งได้เปรียบเทียบกับคาบการสั่นของระบบไปใช้ในการวิเคราะห์ระบบทำความเย็นว่ามีระดับสารทำความเย็นเท่าไหร่ พร้อมทั้งความบกพร่องที่ฐานยึด

คำสำคัญ : คอมเพรสเซอร์, การสั่นสะเทือน, การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว

TITLE	Analysis of Refrigerant Levels in Air Conditioner using Vibration Analysis
AUTHOR	Thawach Kongsee
ADVISORS	Assistant Professor Tawatchai Kunakote , Ph.D. Associate Professor Apinan Aurasopon , Ph.D.
DEGREE	Master of Engineering MAJOR Mechanical Engineering
UNIVERSITY	Mahasarakham University YEAR 2020

ABSTRACT

In this work, vibration and electric current analysis of a compressor in air conditioner are conducted. The relationship between mechanical vibration and electric current at the refrigerant level of 80, 60, and 40 psi, are investigated under the condition of 25 °c room temperature. Experimental is performed under four conditions including; 80, 60, and 40 psi refrigerant level with normal screw condition and 80 psi refrigerant level with one loose screw condition. The vibration signal obtained from the four cases is converted to the frequency – domains or frequency spectrum using Fast Fourier Transform (FFT). The vibration spectrum and electric current obtained are compared and discussed. It has been found that, based on the electric current values, this technique is efficient to specify the refrigerant level in the refrigeration system.

Keyword : Compressor Vibration fast fourier transform

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากบุคคลหลาย ๆ ท่าน ได้กรุณาช่วยเหลือให้ข้อเสนอแนะ คำปรึกษา แนะนำ ความคิดเห็น และกำลังใจแก่ผู้จัดทำ

ขอกราบขอบพระคุณ ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัฒน์ชัย คุณะโคตร รองศาสตราจารย์ ดร.อภินันท์ อุรโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาให้ความช่วยเหลือ ให้แนวคิดความรู้ทางวิชาการ แนะแนวทางในการจัดทำวิทยานิพนธ์ ตรวจสอบวิทยานิพนธ์ทุกขั้นตอน ตลอดจนให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำ ซึ่งเป็นผลให้ผู้จัดทำมีความสามารถในการทำ และพัฒนาวิทยานิพนธ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ขอขอบพระคุณ บุคลากร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตลอดจนบุคคลต่าง ๆ ที่ให้ความช่วยเหลืออีกมากมาย ที่ผู้วิจัยไม่สามารถกล่าวนามได้หมดในที่นี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้ทำวิจัยทั้งในอดีตตลอดจนถึงปัจจุบัน และกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ปู่ ย่า ตา ยาย ที่ให้การอบรม เลี้ยงดูและส่งเสริมการศึกษามาเป็นอย่างดี รวมถึงครอบครัวที่เป็นกำลังใจมาโดยตลอด จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จด้วยดี

ธวัช กองสี

พหูนํ ปณฺฑิโต ชีเว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ
กิตติกรรมประกาศ .... ฉ
สารบัญ .... ช
สารบัญตาราง .... ฎ
สารบัญรูปภาพ .... ฐ
บทที่ 1 1
บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 2
1.3 ขอบเขตการศึกษา 3
1.3.1 ตัวแปรต้น 3
1.3.2 ตัวแปรตาม 3
1.3.3 ตัวแปรควบคุม 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
1.5 สถานที่ดำเนินการวิจัย 3
1.6 แผนการดำเนินงานวิจัย 4
1.7 งบประมาณที่ใช้ในการทำวิจัย 5
บทที่ 2 6
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6
2.1 ระบบทำความเย็นและปรับอากาศ 6

2.1.1 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type) 6
2.1.2 ปัญหาของคอมเพรสเซอร์ 7
2.2 การบำรุงรักษา (maintenance) 8
2.2.1 วิวัฒนาการของการบำรุงรักษา 8
2.2.2 ประเภทของการบำรุงรักษา 9
2.2.3 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (preventive maintenance) 11
2.2.4 มาตรฐานการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน 13
2.3 พื้นฐานการสั่นสะเทือนทางกล 14
2.3.1 สัญญาณการสั่นสะเทือน 15
2.3.2 การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนเวลา 18
2.3.3 การวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนความถี่ 19
2.3.4 การวิเคราะห์สเปกตรัม (spectrum analysis) 19
2.4 คุณสมบัติอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ 21
2.4.1 เซนเซอร์ความเร่ง 21
2.4.2 ตัวรับรู้ความเร่ง (mems) analog adxl 335 21
2.4.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 22
2.4.4 ตัวรับ–ส่งสัญญาณแบบไร้สาย x-bee 24
2.4.5 โมดูลสื่อสารไร้สาย (NRF24L01) 25
2.5 การใช้กระแสของเครื่องปรับอากาศ 26
2.5.1 กรณีการใช้กระแสปกติ 26
2.5.2 กรณีการใช้กระแสไม่ปกติ 26
2.5.3 การหาค่าเฉลี่ยอนุกรมเวลากระแส 27
2.5.4 ลักษณะของอนุกรมเวลากระแส 27
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 28

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 3 30

วิธีดำเนินการวิจัย 30

3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงาน 30

3.2 อุปกรณ์การทดลอง 31

3.2.1 เครื่องปรับอากาศ (air conditioner) 31

3.2.2 คอยล์ร้อน (condensing unit) 32

3.2.3 สารทำความเย็น R22 33

3.2.4 เกจแมนิโฟลด์ (manifold gauge) 33

3.2.5 ปั๊มแวคคั่ม (vacuum pump) 34

3.2.6 โมดูลวัดกระแสไฟฟ้า acs712 35

3.2.7 บอร์ด arduino uno smd 35

3.2.8 เซ็นเซอร์ความเร่ง adxl 335 36

3.2.9 ไมโครคอนโทรลเลอร์ atmega328p 37

3.2.10 เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย หรือ ตัวรับ-ส่งสัญญาณแบบไร้สาย x-bee 37

3.2.11 โน๊ตบุ๊ค (notebook) 38

3.2.12 โปรแกรม x-ctu 38

3.2.13 โปรแกรม matlab 39

3.2.14 ขนาดของห้องทดลอง 39

3.3 การทดลองวัดค่าการสั่นสะเทือน 40

3.3.1 ติดตั้งเซ็นเซอร์ความเร่ง adxl 335 41

3.3.2 เปิดแอร์ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส 41

3.3.3 เติมสารทำความเย็นเข้าในระบบที่ความดัน 80 psi 42

3.3.4 เชื่อมต่อชุดไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ 42

3.3.5 โปรแกรม x-ctu 43

พหุนํา ปณฺ กิโต ชีเว

3.3.6 โปรแกรม matlab 43

3.3.7 ข้อมูลการรันโปรแกรม 44

3.3.8 แอมพลิจูดรวมของการสั่นสะเทือน 44

3.4 การทดลองวัดค่ากระแสไฟฟ้า........ 45

3.4.1 โมดูลวัดกระแสไฟฟ้า acs712........ 45

3.4.2 บอร์ด arduino uno smd 45

3.4.3 โมดูลบันทึกข้อมูล 46

3.4.4 โปรแกรม arduino 46

3.4.5 ข้อมูลการรันโปรแกรม 47

3.4.6 หลักการทำงาน 48

บทที่ 4........ 49

ผลการทดลอง 49

4.1 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 80 60 และ 40 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1ตัว 50

4.1.1 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi 50

4.1.2 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi 52

4.1.3 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว.... 54

4.2 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็นเท่ากับ 80 60 และ 40 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร........ 57

4.2.1 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi 57

4.2.2 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi 59

4.2.3 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi 62

4.3 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็นเท่ากับ 80 60 และ 40 psi กรณีแผ่นกรองอากาศสกปรก 64

4.3.1 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi 64

พหุปญฺญา ชีเว

4.3.2 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi 64
4.3.3 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi 65
4.4 การเปรียบเทียบผลการทดลองจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 66
บทที่ 5..... 70
สรุปและข้อเสนอแนะ 70
5.1 สรุปผล..... 70
5.2 ข้อเสนอแนะ 73
บรรณานุกรม..... 74
ประวัติผู้เขียน..... 88

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 แผนการดำเนินงานวิจัย.. 4

ตาราง 2 งบประมาณการทำวิจัย... 5

ตาราง 3 คุณสมบัติของตัววัดความเร่ง adxl 335 [13].. 22

ตาราง 4 พอร์ทคอนเนคเตอร์ของโมดูลไร้สาย NRF24L01 [14].. 25

ตาราง 5 คุณสมบัติของคอยล์ร้อน... 32

ตาราง 6 รายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะของบอร์ด arduino uno smd... 36

ตาราง 7 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว........... 52

ตาราง 8 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว........... 54

ตาราง 9 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว........... 56

ตาราง 10 ช่วงของการสั่นสะเทือนและกระแสไฟฟ้าที่ระดับสารทำความเย็น 80 60 และ 40 psi... 56

ตาราง 11 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10....... 59

ตาราง 12 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10....... 61

ตาราง 13 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10....... 63

ตาราง 14 ช่วงของการสั่นสะเทือนและกระแสไฟฟ้าที่ระดับสารทำความเย็น 80 60 และ 40 psi... 64

ตาราง 15 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 80 60 และ 40 psi กรณีแผ่นกรองอากาศสกปรก
.... 65

ตาราง 16 ช่วงของการสั่นสะเทือนที่ให้แอมพลิจูดสูงสุดที่ระดับสารทำความเย็น 80 60 และ 40 psi
น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว และน็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร................. 72

พหุนํ ปญฺญา ติ สาธุ

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน 6

ภาพประกอบ 2 พัฒนาการบำรุงรักษา 8

ภาพประกอบ 3 การแบ่งประเภทของการบำรุงรักษา 10

ภาพประกอบ 4 ประเภทของการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน 12

ภาพประกอบ 5 ค่าการสั่นสะเทือนที่เป็นปัจจัย 14

ภาพประกอบ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่แสดงบนโดเมนเวลา และโดเมนความถี่ 16

ภาพประกอบ 7 การพิจารณาสัญญาณที่มีลักษณะเป็นคาบในรูปแบบของสัญญาณฮาร์โมนิก 17

ภาพประกอบ 8 การแปลงสเปกตรัม 17

ภาพประกอบ 9 การแปลงสัญญาณรูปคลื่นไซน์จากโดเมนเวลาเป็นสัญญาณบนโดเมนความถี่ 20

ภาพประกอบ 10 โมดูลใช้งานเซนเซอร์ความเร่ง adxl 335 21

ภาพประกอบ 11 พอร์ท pic16f88 23

ภาพประกอบ 12 ลักษณะของ x-bee pro series 1 24

ภาพประกอบ 13 พอร์ทเชื่อมต่อของโมดูล NRF24L01 25

ภาพประกอบ 14 พิกัดของเครื่องปรับอากาศรุ่น ar18fvseduvx 26

ภาพประกอบ 15 ลักษณะของอนุกรมเวลากระแสของเครื่องปรับอากาศในสภาวะปกติ 27

ภาพประกอบ 16 ขั้นตอนการทำงานการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของคอมเพรสเซอร์ 30

ภาพประกอบ 17 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน 31

ภาพประกอบ 18 คอยล์ร้อน 32

ภาพประกอบ 19 สารทำความเย็น R22 33

ภาพประกอบ 20 เกจแมนิโฟลด์ 34

ภาพประกอบ 21 ปั๊มแวคคั่ม 34

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

ภาพประกอบ 22 โมดูลวัดกระแสไฟฟ้า acs712 35
ภาพประกอบ 23 บอร์ด arduino uno smd 35
ภาพประกอบ 24 เซ็นเซอร์ความเร่ง adxl 335 36
ภาพประกอบ 25 ไมโครคอนโทรลเลอร์ atmega328p 37
ภาพประกอบ 26 ตัวรับส่งสัญญาณแบบไร้สาย x-bee 37
ภาพประกอบ 27 โน๊ตบุ๊ค (notebook) 38
ภาพประกอบ 28 โปรแกรม x-ctu 38
ภาพประกอบ 29 โปรแกรม matlab 39
ภาพประกอบ 30 ขนาดของห้องทดลอง 39
ภาพประกอบ 31 ไดอะแกรมของระบบ 40
ภาพประกอบ 32 ลักษณะการติดตั้งเซ็นเซอร์ความเร่ง adxl 335 41
ภาพประกอบ 33 เปิดแอร์ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส 41
ภาพประกอบ 34 สารทำความเย็นในระบบเท่ากับ 80 psi 42
ภาพประกอบ 35 เชื่อมต่อชุดไมโครคอลโทรลเลอร์เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ 42
ภาพประกอบ 36 โปรแกรม x-ctu 43
ภาพประกอบ 37 โปรแกรม matlab 43
ภาพประกอบ 38 ข้อมูลการรันโปรแกรม 44
ภาพประกอบ 39 แอมพลิจูดรวมของการสั่นสะเทือน 44
ภาพประกอบ 40 โมดูลวัดกระแสไฟฟ้า acs712 45
ภาพประกอบ 41 บอร์ด arduino uno smd 45
ภาพประกอบ 42 โมดูลบันทึกข้อมูล 46
ภาพประกอบ 43 โปรแกรม arduino 46
ภาพประกอบ 44 ข้อมูลการรันโปรแกรม 47
ภาพประกอบ 45 วงจรการทำงานของโมดูลวัดค่ากระแสไฟฟ้า 48

พหุนปณ ฑิโต ชีเว

ภาพประกอบ 46 ผลการทดลองครั้งที่ 1 ที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว 50

ภาพประกอบ 47 ผลการทดลองครั้งที่ 2 ที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว 50

ภาพประกอบ 48 ผลการทดลองครั้งที่ 3 ที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว 51

ภาพประกอบ 49 ผลการทดลองครั้งที่ 1 ที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว 52

ภาพประกอบ 50 ผลการทดลองครั้งที่ 2 ระดับสารทำความเย็น 60 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว 52

ภาพประกอบ 51 ผลการทดลองครั้งที่ 3 ที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว 53

ภาพประกอบ 52 ผลการทดลองครั้งที่ 1 ที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว 54

ภาพประกอบ 53 ผลการทดลองครั้งที่ 2 ที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว 54

ภาพประกอบ 54 ผลการทดลองครั้งที่ 3 ที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว 55

ภาพประกอบ 55 ผลการทดลองครั้งที่ 1 ที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร 57

ภาพประกอบ 56 ผลการทดลองครั้งที่ 2 ที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร 57

ภาพประกอบ 57 ผลการทดลองครั้งที่ 3 ที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร 58

ภาพประกอบ 58 ผลการทดลองครั้งที่ 1 ที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร 59

พหุน ปณฺ ศฺ ต ชีเว

ภาพประกอบ 59 ผลการทดลองครั้งที่ 2 ที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร 60

ภาพประกอบ 60 ผลการทดลองครั้งที่ 3 ที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร 60

ภาพประกอบ 61 ผลการทดลองครั้งที่ 1 ที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร 62

ภาพประกอบ 62 ผลการทดลองครั้งที่ 2 ที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร 62

ภาพประกอบ 63 ผลการทดลองครั้งที่ 3 ที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร 62

ภาพประกอบ 64 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi กรณีแผ่นกรองอากาศสกปรก 64

ภาพประกอบ 65 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi กรณีแผ่นกรองอากาศสกปรก 64

ภาพประกอบ 66 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi กรณีแผ่นกรองอากาศสกปรก 65

ภาพประกอบ 67 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับโวลต์เตจในแนวแกน y ที่ความถี่ 6 Hz 66

ภาพประกอบ 68 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับโวลต์เตจในแนวแกน y ที่ความถี่ 11 Hz 67

ภาพประกอบ 69 การทำงานของคอมเพรสเซอร์ในสภาวะปกติ 67

ภาพประกอบ 70 การทำงานของคอมเพรสเซอร์กรณีฟิลเตอร์คอยล์เย็นตัน 68

ภาพประกอบ 71 ผลการเปรียบเทียบการใช้กระแสไฟฟ้าที่เงื่อนไขการทดลองทั้ง 2 เงื่อนไข 69

ภาพประกอบ 72 การจัดทำเครื่องวัดการสั่นสะเทือน 79

ภาพประกอบ 73 เครื่องวัดการสั่นสะเทือน 79

ภาพประกอบ 74 ติดตั้งเครื่องวัดการสั่นสะเทือนเข้ากับคอมเพรสเซอร์แอร์ 79

ภาพประกอบ 75 การติดตั้งโมดูลวัดค่ากระแสไฟฟ้า 80

ภาพประกอบ 76 โมดูลวัดค่ากระแสไฟฟ้า 80

ภาพประกอบ 77 การเชื่อมต่อสายไฟเข้าคอมเพรสเซอร์แอร์ 81

ภาพประกอบ 78 ผ้าขาวบางจำลองการสกปรกของแผ่นกรองอากาศในส่วนคอยล์เย็น 81

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีเว

ภาพประกอบ 79 การทดลองที่สภาวะแผ่นกรองอากาศสกปรก 82
ภาพประกอบ 80 ฟังก์ชั่นบล็อคไดอะแกรม adxl335 84
ภาพประกอบ 81 ข้อมูลจำเพาะ adxl335 84
ภาพประกอบ 82 ค่าสัมบูรณ์สูงสุด adxl335 85
ภาพประกอบ 83 การกำหนดค่า pin 85
ภาพประกอบ 84 รายละเอียดของฟังก์ชั่น 85
ภาพประกอบ 85 ฟังก์ชั่นบล็อคไดอะแกรม acs712 86
ภาพประกอบ 86 การกำหนดค่า pin acs712 86
ภาพประกอบ 87 รายละเอียด pin acs712 86
ภาพประกอบ 88 ฟังก์ชั่นการทำงานของโมดูล x-bee pro 87

พหูนำ ปณฺ ฑิโต ชีเว

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เครื่องปรับอากาศ (Air conditioner) หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า “แอร์” เป็นเครื่องอำนวยประโยชน์ที่จำเป็นทั้งในที่พักอาศัย สถานที่ประกอบการงาน และในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะในเขตเมืองร้อน เช่น ประเทศไทย การใช้เครื่องปรับอากาศในส่วนของที่พักอาศัย หรือสถานที่ทำงาน ทำให้เกิดความสุขสบายและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน สำหรับการใช้เครื่องปรับอากาศในงานอุตสาหกรรม เพื่อทำให้เกิดผลผลิตที่มีคุณภาพ และลดการสูญเสียในขบวนการผลิต โดยเฉพาะสำหรับระบายความร้อน ของห้องที่มีเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ เช่น คอมพิวเตอร์ เครื่องส่งสัญญาณโทรศัพท์ โทรทัศน์ วิทยุ และเครื่องเรดาห์ เป็นต้น ดังนั้นอาจจะกล่าวได้ว่า เครื่องปรับอากาศเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำเนินชีวิตในสังคมเมือง

เนื่องจากในปัจจุบัน ระบบปรับอากาศถูกนำมาใช้ในการดำรงชีวิต และใช้ในภาคอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย ดังนั้นปัญหาการชำรุดเสียหายของอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ชำรุด การรั่วซึมของสารทำความเย็นในระบบ ฯลฯ จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องดำเนินการแก้ไข จากการตรวจเช็คความเสียหายของคอมเพรสเซอร์ และการตรวจวัดระดับสารทำความเย็นในระบบที่ผ่านมา ได้ทำการถอดชิ้นส่วนต่าง ๆ เพื่อทำการตรวจหาสาเหตุข้อบกพร่องของคอมเพรสเซอร์ และการตรวจวัดระดับสารทำความเย็น โดยการใช้เกจแมนิโฟลด์ในการวัดค่าความดันของสารทำความเย็นภายในระบบ ซึ่งวิธีการแก้ไขดังกล่าว อาจส่งผลทำให้ชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่าง ๆ เกิดความเสียหายในขณะปฏิบัติงานได้ ทำให้สูญเสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ซ่อมแซมเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น [1]

การตรวจสอบความเสียหายของเครื่องจักรกล จะใช้เซ็นเซอร์ในการวัดตำแหน่งของมุมเพลาข้อเหวี่ยง เพื่อใช้เป็นตำแหน่งในการอ้างอิง สำหรับใช้ระบุกระบวนการที่เกิดขึ้น ตามวัฏจักรการทำงานของการเคลื่อนไหวของลูกสูบ ส่งผลต่อการสั่นสะเทือนของโครงสร้าง [2] วิธีของการแก้ไขการสั่นสะเทือนส่วนใหญ่ คือ ใช้ยางรองฐานของคอมเพรสเซอร์ เพื่อลดแรงสั่นสะเทือน ขณะที่คอมเพรสเซอร์ทำงาน [3] งานวิจัยส่วนใหญ่ ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบสภาวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์ จะใช้เซนเซอร์วัดตำแหน่งของมุมเพลาข้อเหวี่ยง จึงทำให้สามารถระบุกระบวนการทางกล และทางของไหลในสัญญาณได้ เช่น การเปิดหรือปิดของวาล์วด้านดูด หรือด้านส่ง การเคลื่อนที่ของลูกสูบ และช่วงการทำงานของจังหวะอัด หรือจังหวะส่ง [2]

พหุ ปัญญา ชีวา

จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา เป็นการวิเคราะห์สัญญาณด้วยคลื่นเสียงของไมโครโฟน โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์บนโดเมนเวลา โดเมนของมุมเพลาข้อเหวี่ยง และเทคนิคการวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน และนำไปใช้เป็นข้อมูลในการทำนายสภาวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์ที่เงื่อนไขต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในสภาวะการทำงานที่มีความผิดปกติ

งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาและทดลอง สภาวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์ โดยใช้เครื่องวัดการสั่นสะเทือน ติดตั้งเข้าที่ตัวของคอมเพรสเซอร์ เพื่อทำการตรวจวัดการสั่นสะเทือน และส่งข้อมูลผ่านตัวรับสัญญาณ X-bee ที่ถูกเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วทำการประมวลผลและวิเคราะห์ผลของการสั่นสะเทือน ด้วยโปรแกรม Matlab แล้วแสดงผลในรูปของสเปกตรัมที่สูงสุดของการสั่นสะเทือน ขณะที่สารทำความเย็นภายในระบบที่ระดับต่าง ๆ และใช้โมดูลวัดกระแสไฟฟ้าในการวัดค่าของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ ขณะที่มีสารทำความเย็นภายในระบบ ที่ระดับ 80 60 และ 40 psi เพื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างสเปกตรัมของการสั่นสะเทือน และกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบ ในขณะที่มีสารทำความเย็นภายในระบบที่ระดับต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์และบำรุงรักษาเชิงป้องกัน เครื่องปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดี และสะดวกสบายต่อการปฏิบัติงาน อีกทั้งยังเป็นการนำเอาเทคโนโลยีใหม่ ๆ เข้ามาช่วยในการปฏิบัติงานเพื่อให้เกิดความสะดวกสบาย มีความแม่นยำสูง สามารถนำไปปรับใช้กับเครื่องปรับอากาศรุ่นต่าง ๆ ได้ในอนาคตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาและทดลองหาสเปกตรัมการสั่นสะเทือน ของเครื่องปรับอากาศในส่วนของคอมเพรสเซอร์ เมื่อมีสารทำความเย็นในระบบที่ระดับ 80 60 และ 40 psi โดยที่น็อตฐานของคอมเพรสเซอร์ขันแน่นทุกตัว และกรณีที่น็อตฐานของคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว ที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi

1.2.2 เพื่อศึกษาและทดลองหาปริมาณการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับคอมเพรสเซอร์ ขณะที่คอมเพรสเซอร์ตัดและต่อการทำงาน เมื่อมีสารทำความเย็นในระบบที่ระดับ 80 60 และ 40 psi

1.2.3 เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปใช้ในการวิเคราะห์ระดับสารทำความเย็นภายในระบบและวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้น ในส่วนของฐานยึดคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ตัวแปรต้น

1.3.1.1 ปริมาณสารทำความเย็นที่ความดัน 80 60 และ 40 psi โดยที่น็อตฐานของคอมเพรสเซอร์ขันแน่นทุกตัว และกรณีที่น็อตฐานของคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว

1.3.2 ตัวแปรตาม

1.3.2.1 รูปแบบการสั่นสะเทือนของความถี่ธรรมชาติ

1.3.2.2 ค่าแอมพลิจูด (amplitude)

1.3.2.3 กระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าคอมเพรสเซอร์

1.3.3 ตัวแปรควบคุม

1.3.3.1 ชนิดของสารทำความเย็นเป็น R22

1.3.3.2 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 12,075.41 บีทียู/ชั่วโมง

1.3.3.3 ขนาดห้องทดลองกว้าง 3 เมตร ยาว 4.9 เมตร และ สูง 3.4 เมตร

1.3.3.4 อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส

1.3.3.5 ปรับค่าความเร็วลมของคอยล์เย็นที่ระดับสูงสุด

1.3.3.6 เวลาจัดเก็บข้อมูล 60 นาที ต่อ 1 การทดลอง

1.3.3.7 น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบค่าสเปกตรัมสูงสุดและลักษณะการสั่นสะเทือนของระบบปรับอากาศ เมื่อมีสารทำความเย็นในระบบที่ระดับ 80 60 และ 40 psi โดยที่น็อตฐานของคอมเพรสเซอร์ขันแน่นทุกตัว และกรณีที่น็อตฐานของคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว

1.4.2 ทราบค่าปริมาณการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบ ในขณะที่มีสารทำความเย็นในระบบที่ระดับ 80 60 และ 40 psi

1.4.3 สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง มาใช้ในการวิเคราะห์ระดับสารทำความเย็นภายในระบบ และวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นในส่วนฐานยึดคอมเพรสเซอร์ ของเครื่องปรับอากาศเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีต่อไป

1.5 สถานที่ดำเนินการวิจัย

ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล EN2-103 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีวํ

1.6 แผนการดำเนินงานวิจัย

แผนการดำเนินงาน และขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ ในการดำเนินงานวิจัยของการวัดการสั่นสะเทือนของคอมเพรสเซอร์ แสดงดังตาราง 1

ตาราง 1 แผนการดำเนินงานวิจัย

	ขั้นตอนการทำงาน	พ.ศ.2562							พ.ศ.2563				
		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5
1	ศึกษาข้อมูลและสืบค้นเอกสารที่เกี่ยวข้อง	←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→	
2	วางแผนการดำเนินงานวิจัยและจัดทำรูปเล่ม		←	—	—	—	→						
3	สั่งซื้อวัสดุอุปกรณ์และสร้างเครื่องวัดการสั่นสะเทือน			←	→								
4	ดำเนินการทดลองและทำการเก็บข้อมูล					←	—	→					
5	การวิเคราะห์ผลการทดลอง								←	→			
6	สรุป รายงาน และการนำเสนอ										←	—	→

1.7 งบประมาณที่ใช้ในการทำวิจัย

ตาราง 2 งบประมาณและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย แสดงในตาราง 2

ตาราง 2 งบประมาณการทำวิจัย

รายการ	จำนวน	รวม (บาท)
- gy-61 3-axis accelerometer moduie (adxl335)	1 ตัว	200
- บอร์ดไมโครคอนโทลเลอร์ รุ่น nodemcu esp8266	1 ตัว	950
- สายอะแดปเตอร์ 5 โวลต์	2 ตัว	300
- สายยูเอสบี (usb)	1 สาย	350
- โมดูลรับส่งข้อมูลไร้สาย x-bee pro	1 ตัว	2,500
- แผ่นปริ้น prototype pcb board 10x15 cm	1 ตัว	400
- น้ำยากัดแผ่นปริ้น ขนาด 120 cc	1 อัน	60
- หัวแร้งบัดกรี hakko 981	1 ตัว	750
- น้ำยาประสาน บัดกรี	1 อัน	15
- ตะกั่วบัดกรี	1 อัน	150
- สารทำความเย็น R22	2 ถัง	3,400
- เกจแมนิโฟลด์	1 อัน	1,200
- แคลมมิเตอร์ u12041	1 อัน	1,550
- สายไฟเดี่ยวเบอร์ 2.5 ดำแดง	2 ม้วน	580
- กล่องเอนกประสงค์	1 กล่อง	80
- บอร์ด Arduino uno smd	1 อัน	150
- โมดูลวัดกระแสไฟฟ้า acs712-20A	1 อัน	85
- โมดูลบันทึกข้อมูล micro sd card	1 อัน	40
- สายไฟจัมเปอร์ ph2.0 mm	1 ชุด	240
- ปลั๊กไฟ 5 m	1 อัน	300
- ประแจวัดแรงบิด 6-30 nm	1 อัน	1,700
รวมค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น		15,000

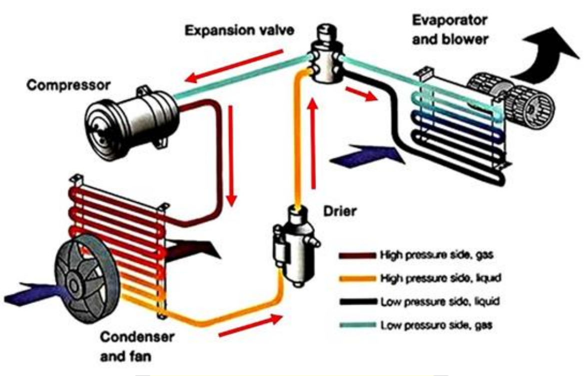
พหุปัญญาภิโต ชีเว

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบทำความเย็นและปรับอากาศ

การปรับอากาศ วัตถุประสงค์หลัก เพื่อต้องการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ไม่ให้ชื้นหรือแห้งจนเกินไป ให้เป็นไปตามความต้องการของพื้นที่นั้น ๆ ควบคุมปริมาณการไหลเวียนของอากาศ ให้มีปริมาณความต้องการ พร้อมกันนั้นก็ควบคุมคุณภาพของอากาศ ให้เป็นไปตามที่ต้องการในประเทศไทย ระบบปรับอากาศที่ใช้กันอย่างแพร่หลายหลัก ๆ แบ่งเป็น 2 ระบบ คือ

2.1.1 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type)



ภาพประกอบ 1 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน [4]

ภาพประกอบ 1 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยระบบนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของเครื่องระเหย (evaporator) ซึ่งติดในพื้นที่ที่ต้องการปรับอากาศ และส่วนของเครื่องควบแน่น (condenser) ซึ่งภายในจะมีคอมเพรสเซอร์ (compressor) ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่อยู่ภายนอกอาคาร โดยระหว่าง 2 ส่วนนี้ จะมีท่อสารทำความเย็นเชื่อมต่อกัน ทำหน้าที่ในการถ่ายเทความร้อน ซึ่งลักษณะการทำงาน สารทำความเย็นที่ความดันต่ำ ไหลผ่านเครื่องระเหย ในขณะที่ผ่านได้ทำการดูดซับความร้อนจากอากาศ ทำให้ระเหยกลายเป็นไอ และอากาศที่ผ่านเครื่องระเหยมีอุณหภูมิลดลง ทำให้ได้อากาศเย็น นำมาใช้ในการปรับอากาศภายในห้อง และสารทำความเย็นก็จะถูกทำให้เป็นของเหลว เมื่อผ่านคอมเพรสเซอร์ แล้วจะถูกส่งไประบายความร้อนทิ้ง ที่ในส่วนของเครื่องควบแน่นต่อไป [4]

อุปกรณ์หลัก (main components) เป็นอุปกรณ์ที่เครื่องทำความเย็นทุกแบบ ทุกขนาดจะต้องมีเหมือนกันหมด คือ คอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ ลิ้นลดความดันหรืออุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล และเครื่องระเหย รายละเอียดของอุปกรณ์หลักทั้ง 4 มีดังนี้

1. คอมเพรสเซอร์ (compressor) ทำหน้าที่ดูดสารทำความเย็นในสภาพที่เป็นไอจากเครื่องระเหย เพื่อทำให้ความดันในเครื่องระเหยลดต่ำลง จนสามารถทำให้สารทำความเย็นกลายเป็นไอ และสร้างความเย็นได้ พร้อมทั้งทำการอัดให้สารทำความเย็นมีความดันสูงขึ้น จนสามารถควบแน่นเป็นของเหลวในคอนเดนเซอร์ และหมุนเวียนทำความเย็นในอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ

2. คอนเดนเซอร์ (condenser) ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็น เพื่อให้สารทำความเย็น ซึ่งถูกอัดออกจากคอมเพรสเซอร์ในสภาพไอ ที่มีอุณหภูมิและความดันสูง ควบแน่นเป็นของเหลวได้

3. เครื่องระเหย (evaporator) ทำหน้าที่รับสารทำความเย็น ที่ถูกลดความดันจากลิ้นลดความดัน โดยขณะที่สารทำความเย็นผ่านเครื่องระเหย จะดูดความร้อนจากบริเวณรอบ ๆ เพื่อใช้ในการเปลี่ยนสถานะ ทำให้บริเวณใกล้เคียงเกิดความเย็นขึ้น

4. ลิ้นลดความดันหรืออุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล (refrigerant control) ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณสารทำความเย็น ที่จะส่งเข้าเครื่องระเหย ลักษณะของการทำงาน สารทำความเย็นที่ผ่านจะถูกลดความดันลง เพื่อให้สารทำความเย็นสามารถเดือดได้ ในเครื่องระเหยจึงเรียกลิ้นลดความดันหรือในเครื่องทำความเย็น และเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก จะใช้ท่อรูเข็ม (capillary tube) ที่สามารถแทนลิ้นลดความดัน อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดท่อรูเข็ม (capillary tube) ทำหน้าที่ลดความดัน ที่ฉีดสารทำความเย็นเหลวเข้าในเครื่องระเหย โดยอาศัยท่อทองแดงที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็ก ไม่สามารถปรับปริมาณสารทำความเย็นได้ จึงเหมาะที่จะใช้กับระบบขนาดเล็ก ที่มีภาวะเปลี่ยนแปลงน้อย เช่น ตู้เย็น ตู้น้ำเย็น ตู้แช่ และเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก [5]

2.1.2 ปัญหาของคอมเพรสเซอร์

คอมเพรสเซอร์ ถือได้ว่าเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของระบบปรับอากาศ เนื่องจากเป็นแกนหลักในการทำให้เกิดวัฏจักรการทำความเย็นภายในระบบ ดังนั้นความเสียหายที่เกิดจากการทำงานของคอมเพรสเซอร์และชิ้นส่วนต่าง ๆ ของระบบปรับอากาศ เช่น คอมเพรสเซอร์เสียงดังมากเกินไป ลูกปืนชำรุด วาล์วด้านดูดและด้านส่งชำรุด น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลวม มีจุดรั่วซึมที่ท่อสารทำความเย็น และกรองอากาศอุดตัน เป็นต้น ซึ่งปัญหาเหล่านี้ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องปรับอากาศลดลง และก่อให้เกิดเสียงดังมากเกินจนไป ปัญหาดังกล่าวถือเป็นส่วนสำคัญที่ต้องดำเนินการแก้ไข และซ่อมแซมให้มีสภาพการทำงานที่ดี เพื่อลดการสูญเสียในส่วนต่าง ๆ ของอุปกรณ์ที่อาจตามมาได้

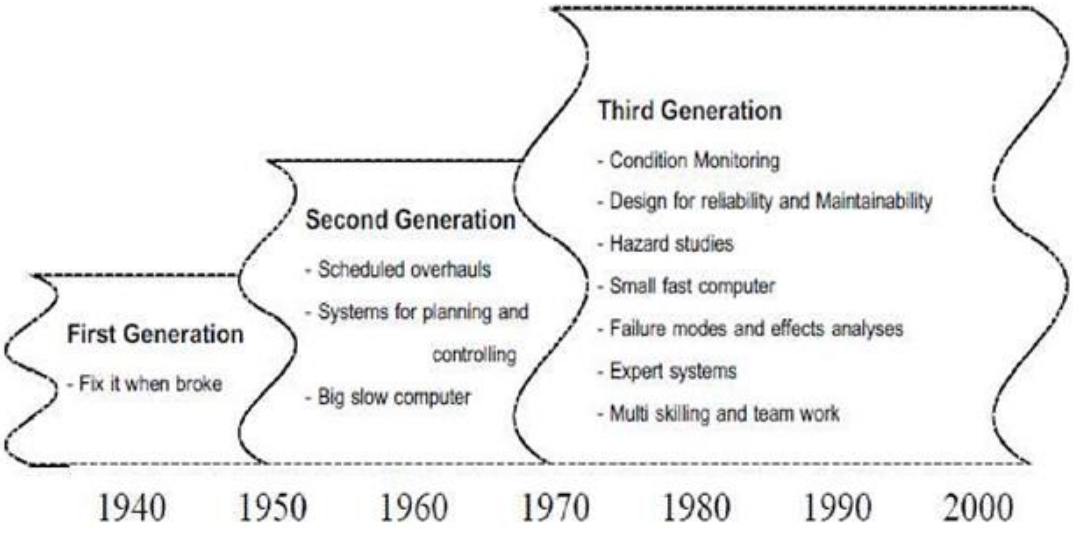
2.2 การบำรุงรักษา (maintenance)

การบำรุงรักษา หมายถึง กระบวนการและกิจกรรมเพื่อการรักษาระบบ หรือทำให้อยู่ในสภาวะที่สามารถยอมรับได้ และยังรวมถึงการปรับสภาพ การตรวจสอบ และการซ่อมแซมอีกด้วย ตามมาตรฐานของอังกฤษ (brutish standard) ได้ให้คำจำกัดความของการบำรุงรักษา หรือการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรไว้ว่า การบำรุงรักษา คืองานที่ต้องปฏิบัติเพื่อรักษาสภาพ หรือยกสภาพของเครื่องจักร รวมทั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด โดยมีกิจกรรมมากมาย เพื่อพัฒนาและบริหารงานบำรุงรักษา โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

- ลดเวลาการหยุดเดินเครื่อง
- ยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือและอุปกรณ์
- เกิดความปลอดภัยในกระบวนการทำงานของเครื่องจักรกล
- เกิดความปลอดภัยสำหรับส่วนบุคคล และองค์กร
- เพิ่มความเชื่อมั่นในระบบ
- สร้างสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมกับการทำงาน
- ควบคุมค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา

2.2.1 วิวัฒนาการของการบำรุงรักษา

ตั้งแต่มนุษย์เริ่มมีการคิดค้นและใช้งานเครื่องจักรกล การซ่อมบำรุงรักษา ได้มีการสร้างและพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน การพัฒนาดังกล่าว ทำให้ความคิดหลายอย่างเกิดขึ้น ทั้งมุมมองในทางด้านความรวดเร็ว และความแม่นยำเที่ยงตรง ของการซ่อมบำรุง การพัฒนาการซ่อมบำรุงรักษานั้น สามารถแบ่งออกได้ตามยุคใหญ่ ๆ ของการพัฒนาการ ซึ่งแสดงได้ตามภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 พัฒนาการบำรุงรักษา [6]

วิวัฒนาการของการบำรุงรักษาแบ่งออกได้เป็น 3 ยุค ดังนี้

1. ยุคเริ่มต้น (first generation)

เริ่มประมาณ ค.ศ. 1930 ถึงปลาย ค.ศ. 1950 เป็นสมัยที่ระบบทางด้านของเครื่องจักรกลก็มีการออกแบบที่เกินความจำเป็น (over designed) ช่วงเวลาดังกล่าว เป็นช่วงที่กิจกรรมด้านอุตสาหกรรม ยังไม่ได้รับความนิยมมากเท่าที่ควร ดังนั้นความยุ่งยากซับซ้อนจึงไม่มากนัก ทำให้การซ่อมบำรุงเป็นไปอย่างง่าย ๆ คือ เสียแล้วจึงทำการซ่อมแซม

2. ยุคที่สอง (second generation)

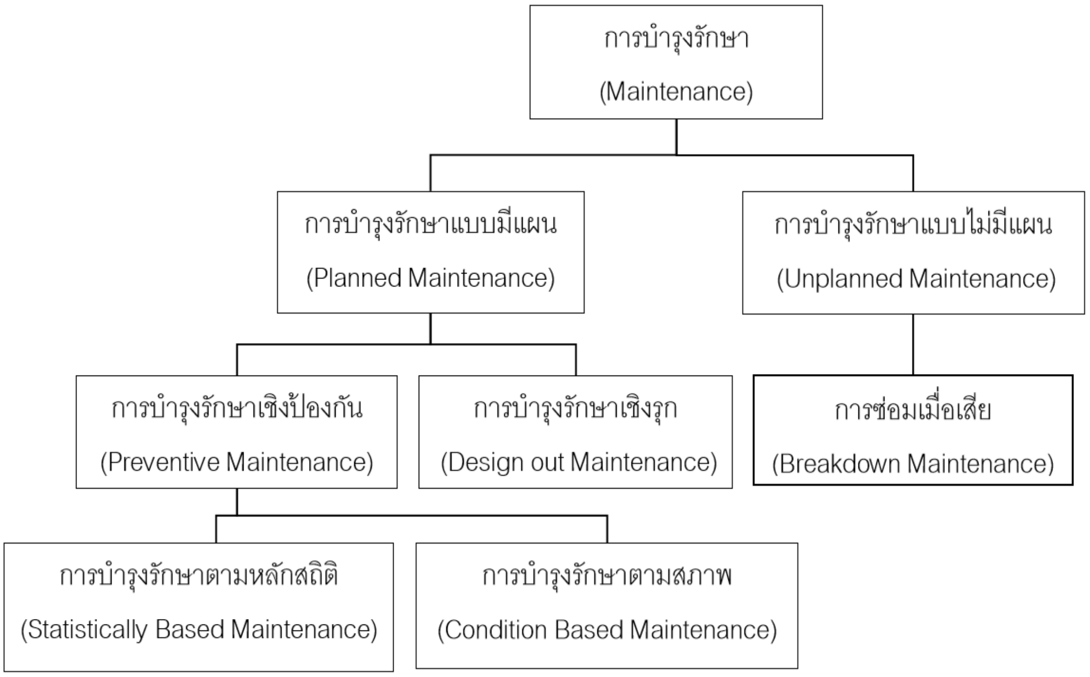
ปลาย ค.ศ.1950 ถึง ค.ศ.1970 ช่วงของสงครามโลกครั้งที่ 2 เทคโนโลยีหลาย ๆ อย่างถูกพัฒนาขึ้นเพื่อการทหาร และค่อย ๆ เผยแพร่ไปสู่ภาคเอกชน นอกจากการคิดค้นแล้ว ยังเริ่มมีการติดต่อซื้อขายเทคโนโลยี ส่งผลให้เครื่องจักรกลแพร่ขยายเป็นอย่างมาก ทั้งทางด้านเทคโนโลยีและขนาดของกำลังการผลิต เครื่องจักรกลถูกนำมาใช้แทนกำลังคน และสัตว์เลี้ยงมากขึ้น ในขณะเดียวกันนักพัฒนาได้ให้ความสนใจกับการลดเวลาการสูญเสีย เนื่องจากการแข่งขันด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ส่งผลกระทบให้เครื่องจักรชนิดที่ออกแบบ ที่เกินความจำเป็นขายไม่ได้ การผลิตลดลงและหมดไปในที่สุด ในยุคนี้เอง จึงเริ่มมีการใช้การบำรุงรักษาเชิงป้องกันเกิดขึ้น

3. ยุคที่สาม (third generation)

การพัฒนาในระยะนี้ เริ่มขึ้นในปี ค.ศ. 1970 การพัฒนาของเครื่องจักรกล และเทคโนโลยีเป็นไปอย่างก้าวกระโดด กระบวนการซ่อมบำรุงก็เช่นกัน และยังคงได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน

2.2.2 ประเภทของการบำรุงรักษา

จากอดีตจนถึงปัจจุบัน การบำรุงรักษาสามารถจำแนกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ การบำรุงรักษาแบบมีแผน (planned maintenance) และการบำรุงรักษาแบบไม่มีแผน (unplanned maintenance) ซึ่งมีวิธีการซ่อมแซมแบบเดียว คือ การซ่อมเมื่อเสีย (breakdown maintenance) ส่วนการบำรุงรักษาแบบมีแผน ได้มีการประยุกต์ใช้วิธีการขึ้นอีกมากมาย แต่โดยภาพรวมแล้ว ความแตกต่างของการบำรุงรักษา แบบมีแผนและไม่มีแผน แตกต่างกันที่ การบำรุงรักษาแบบมีแผน มีการค้นหาปัจจัยหรือวิธีการ ในการบำรุงรักษาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยอาจอาศัยองค์ความรู้ที่เพิ่มมากขึ้น ในการศึกษาระยะเวลาที่จะทำการบำรุงรักษา จำนวนช่วงเวลาทำงานของเครื่องจักรกลหรืออื่น ๆ เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องจักรกล ต้องหยุดชะงักการทำงาน เกิดความปลอดภัย และยังช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักรกลได้อีกด้วย



ภาพประกอบ 3 การแบ่งประเภทของการบำรุงรักษา [6]

การบำรุงรักษา คือสิ่งที่มนุษย์รู้จักเป็นอย่างแรก เนื่องจากการเกิดขึ้นโดยความจำเป็น คือการบำรุงรักษาเมื่อขัดข้อง หรือการซ่อมแซมเมื่อเสีย (breakdown maintenance) จัดเป็นการบำรุงรักษาแบบไม่มีแผน ซึ่งก็คือ การซ่อมบำรุงรักษาตามอาการ เพื่อให้เครื่องจักรสามารถกลับมาใช้งานได้ตามปกติ หมายความว่า ในขณะที่เครื่องจักรยังสามารถทำงานได้ หรือทำงานได้ปกติ จะไม่มีกิจกรรมการบำรุงรักษาอย่างใดเลย อย่างไรก็ดี ถึงแม้ว่าการซ่อมบำรุงรักษาแบบนี้ จะมีประโยชน์ ในการที่ไม่ต้องเสียเวลาวางแผนมาก และต้นทุนสำหรับการเตรียมการซ่อมบำรุงต่ำ แต่ก็ไม่สามารถใช้กับเครื่องจักรที่อะไหล่มีราคาสูง หรือในกระบวนการ ที่จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการอื่นอย่างมากได้ จึงเกิดการพัฒนา การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (preventive maintenance) วิธีดังกล่าว ทำให้เครื่องจักรสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องมากยิ่งขึ้น และถูกใช้งานอย่างแพร่หลาย แต่เนื่องจากการแข่งขันทางวิศวกรรมและเทคโนโลยีสูง บริษัทผู้ผลิตและนักพัฒนา จึงได้คิดค้นการบำรุงรักษาเชิงรุก (design out maintenance) ขึ้น วิธีนี้ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง ว่าสามารถจะบริหารจัดการกับความเสียหายได้ดีที่สุด เพราะในกระบวนการ มีถึงขั้นตอนการออกแบบเครื่องมือ หรือชิ้นส่วนในเครื่องจักรให้เข้าถึงได้ง่าย ซ่อมแซมได้ง่าย ถอดและประกอบได้ง่าย อย่างไรก็ดี การบำรุงรักษาเชิงรุกนี้ ยังเหมาะกับผู้ผลิตและนักพัฒนามากกว่าผู้ใช้งาน

การบำรุงรักษามีวิวัฒนาการมาอย่างต่อเนื่อง แต่การบำรุงรักษา ยังไม่สามารถที่จะมีประสิทธิภาพถึงขีดสุดได้ ด้วยการบำรุงรักษาแบบใดแบบหนึ่ง นอกจากนี้แล้ว ยังสามารถพิจารณาแบ่งระดับของการบำรุงรักษา ได้ดังต่อไปนี้

1. การบำรุงรักษาแบบสมบูรณ์ (perfect repair or perfect maintenance) การทำการบำรุงรักษา ที่ทำให้ระบบกลับคืนสู่สภาพเดิมอย่างสมบูรณ์ เหมือนกับเครื่องจักรใหม่ โดยที่อายุของระบบ และอัตราการขัดข้องที่จะเกิดขึ้น มีสภาพเดียวกับเครื่องจักรใหม่ ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน เช่น การยกเครื่องใหม่อย่างสมบูรณ์ (complete overhaul)

2. การบำรุงรักษาแบบเล็กน้อย (minimal repair or minimal maintenance) เป็นการบำรุงรักษา ที่ทำให้ระบบกลับสู่สภาพเท่ากับตอนก่อนเกิดการขัดข้อง สภาพแบบนี้เรียกว่าแย่เท่าเดิม (As bad as old) เช่น การเปลี่ยนยางรถยนต์ เมื่อเปลี่ยนแล้วรถยนต์จะกลับมาวิ่งได้เหมือนเดิม แต่อัตราการขัดข้องเดิมก็จะยังคงอยู่

3. การบำรุงรักษาแบบไม่สมบูรณ์ (imperfect repair or Imperfect maintenance) เป็นการบำรุงรักษาที่ทำให้ระบบกลับมาดีกว่า ก่อนที่จะเกิดข้อขัดข้อง แต่แย่กว่าของใหม่ เป็นลักษณะของการซ่อมแซมโดยทั่วไป

4. การบำรุงรักษาแบบแย่ลง (poor repair or poor maintenance) เป็นการทำการบำรุงรักษาที่ทำให้ระบบเพียงแต่กลับมาใช้งานได้ แต่ประสิทธิภาพแย่ลง กว่าตอนก่อนที่จะเกิดการขัดข้อง แต่ไม่ถึงกับหยุดชะงัก (breakdown) และระบบจะเกิดการขัดข้องเพิ่มสูงขึ้นด้วย

5. การบำรุงรักษาแบบไร้ผล (worst repair or worst maintenance) เป็นการบำรุงรักษาที่ทำให้ระบบหยุดชะงัก เนื่องจากขาดการบำรุงรักษาที่รอบคอบ

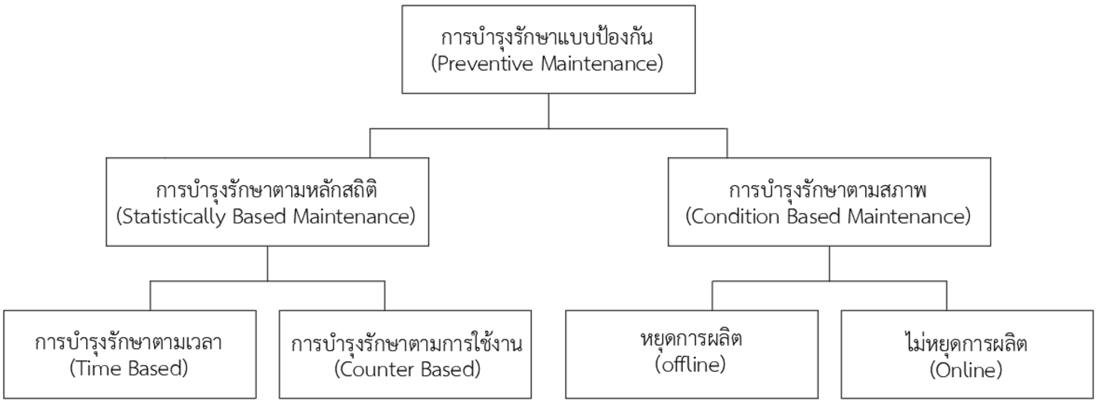
2.2.3 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (preventive maintenance)

การซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน เป็นการกำหนดกิจกรรมต่าง ๆ ในการซ่อมบำรุงรักษา ที่มีจุดมุ่งหมายหลัก เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องจักรเกิดการชำรุด หรือเสียหายก่อนระยะเวลากำหนด หรือจนไม่สามารถใช้งานตามวัตถุประสงค์นั้นได้ หรือหมายถึง การหลีกเลี่ยงการเกิดสิ่งผิดปกติ และการชำรุดเสียหายของอุปกรณ์ การดำเนินการดังกล่าวนั้น ต้องดำเนินการกิจกรรม 3 ประการ ดังนี้

1. การบำรุงรักษาประจำวัน (daily maintenance) เป็นกิจกรรมที่ต้องทำเป็นประจำทุกวัน เช่น การขันยึดอุปกรณ์ การเติมน้ำมัน การทำความสะอาด เป็นต้น

2. การตรวจสอบตามระยะเวลา (schedule inspection) เพื่อหาข้อบกพร่อง ก่อนที่จะเกิดความเสียหาย จากนั้นทำการแก้ไขเบื้องต้นตามอาการ เช่นการตรวจจับความสึกหรอ หารอยรั่วของสารหล่อลื่น

3. การปรับคืนสภาพ (overhaul) เป็นการบำรุงรักษา ด้วยการถอดเปลี่ยนอะไหล่และชิ้นส่วนตามรอบการพยากรณ์ รวมไปถึงการดำเนินการซ่อมใหญ่



ภาพประกอบ 4 ประเภทของการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน [6]

การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. การบำรุงรักษาตามหลักสถิติและความเชื่อมั่น (statistical based maintenance) เป็นการบำรุงรักษาจากการเก็บสถิติ ของเครื่องจักรชนิดนั้น ๆ โดยสถิติที่เก็บจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือการกำหนดระยะเวลา หรือการบำรุงรักษาตามเวลา (time based maintenance) เช่น การบำรุงรักษาทุก ๆ 3 เดือน 6 เดือน 1 ปี เป็นต้น และการบำรุงรักษาตามการใช้งาน (counter based maintenance) เช่น การซ่อมบำรุงทุก ๆ 1,000 ชั่วโมงการทำงาน หรือทุก ๆ 100,000 ชิ้นของผลผลิต วิธีนี้ครอบคลุมการเปลี่ยนอะไหล่ หรือการเติม หรือเปลี่ยนถ่ายสารหล่อลื่น จะกระทำได้ต่อเมื่อทราบข้อมูลการบำรุงรักษาอย่างแน่นอน วิธีการนี้เหมาะกับอะไหล่ชิ้นส่วนที่ถอดเปลี่ยนง่าย หรือเครื่องจักรที่เป็นเอกเทศ เพราะจะลดโอกาสสร้างความเสียหายโดยไม่เจตนา ให้กับชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ในขณะดำเนินการในการกำหนดระยะเวลานี้ ต้องพิจารณาจากผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น เช่น งานที่มีความสำคัญมีความเสี่ยงต่ออันตราย ส่งผลกระทบต่อชิ้นส่วนอื่น ๆ หรือทำให้ระบบการผลิตหยุดชะงัก จำเป็นต้องมี safely period สูง ในทางตรงกันข้าม ถ้าผลกระทบดังกล่าวมีน้อย สามารถลดค่า safety period ลง เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายได้

2. การบำรุงรักษาตามสภาพ (condition based maintenance) แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ การบำรุงรักษาขณะเครื่องจักรหยุดการผลิต (offline) เช่น หลังเวลาเลิกงาน หรือการหยุดตามวงรอบเพื่อการซ่อมบำรุง และการบำรุงรักษา ในขณะที่ยังเดินเครื่องทำงาน (online) การบำรุงรักษาในรูปแบบนี้ จะสามารถได้ข้อมูลของเครื่อง ในขณะที่ใช้งานอยู่ด้วย โดยสามารถตรวจสอบได้ 2 แบบ คือ

2.1 การตรวจสอบโดยใช้ประสาทสัมผัส การตรวจสอบเช่นนี้ ผู้ตรวจสอบต้องมีความรู้ในเครื่องจักรนั้น ๆ พอสมควร และต้องมีทักษะในการตรวจสอบสูง ผู้ที่คุ้นเคยกับเครื่องจักร จะทำการตรวจสอบได้เป็นอย่างดี เช่น เสียงที่ดังผิดปกติ ความร้อนที่สูงขึ้น การสั่นสะเทือน หรือกลิ่นแปลกปลอม

2.2 การตรวจสอบโดยใช้เครื่องมือในปัจจุบัน ผู้ผลิตพยายามใช้วิธีการตรวจสอบเช่นนี้ เพราะสามารถอ้างอิงกับมาตรฐานต่าง ๆ ได้ เช่น iso แต่เนื่องด้วยเครื่องจักรที่มีความทันสมัยขึ้น ทำให้เครื่องมือตรวจสอบมีราคาสูงขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน

2.2.4 มาตรฐานการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

เพื่อให้การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน บรรลุเป้าหมายอย่างมีประสิทธิภาพ การบำรุงรักษาเชิงป้องกันจึงมีมาตรฐานการบำรุงรักษา 2 อย่าง คือ มาตรฐานของการบำรุงรักษาเครื่องจักรกล (equipment maintenance standard) และ มาตรฐานการปฏิบัติงานบำรุงรักษา (maintenance work procedure) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. มาตรฐานการบำรุงเครื่องจักรกล (equipment maintenance standard) คือวิธีการหาความเสื่อมของเครื่องจักรกล ด้วยการตรวจสอบและการทดสอบ (inspection and testing) การบำรุงรักษาประจำวัน (daily routine maintenance) และการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรกล (repairing) เป็นต้น โดยกระบวนการผลิต และระบบของเครื่องจักร ที่จะทำการบำรุงรักษา จะแบ่งให้มาตรฐานทั้ง 3 แตกต่างกันออกไป

1.1 มาตรฐานการตรวจสอบ (inspection standards) เป็นเทคนิคการพิจารณาความเสื่อมของเครื่องจักร หรืออุปกรณ์ด้วยการตรวจวัด โดยจะมีการกำหนดตัวแปรเพื่อการตรวจสอบ เช่น ช่วงเวลา วิธีการ หรืออุปกรณ์ ไปตามชนิดและการทำงานของเครื่องจักร โดยผลลัพธ์ที่ได้ จะมีการนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่ได้จากโรงงาน หรือสถิติที่ได้เก็บรวบรวมมา เพื่อให้ทราบถึงสภาพปัจจุบัน และปัญหาที่กำลังเกิด หรือที่อาจจะเกิดขึ้น

1.2 มาตรฐานการบริการ (servicing standards) เป็นการระบุวิธีการ และช่วงเวลาที่จะต้องทำการบริการ เช่น มาตรฐานการบริการสารหล่อลื่นของรถยนต์ จะอยู่ที่ทุก 10,000 กิโลเมตร นอกจากนี้ยังมีวิธีการถ่ายสารหล่อลื่นเดิมออก วิธีการเติมสารหล่อลื่นชนิดใหม่ และปริมาณของสารหล่อลื่นที่ใช้ เป็นต้น

1.3 มาตรฐานการซ่อมบำรุง (repairing standards) เป็นการระบุถึงวิธีการซ่อมบำรุงรวมถึงสภาพที่ต้องทำการซ่อมบำรุง วิธีการปรับแต่ง บางครั้งอาจรวมถึงเวลาที่ใช้ด้วย

2. มาตรฐานการปฏิบัติงานบำรุงรักษา (maintenance work procedure) เป็นวิธีการตรวจสอบการทำงาน การบริการ และการซ่อมบำรุง โดยมีมาตรฐานดังนี้

2.1 มาตรฐานการบำรุงรักษา (maintenance work standards) เพื่อใช้สำหรับปฏิบัติงานตามความถี่ที่กำหนด มาตรฐานนี้จะช่วยในการวัดประสิทธิภาพของการบำรุงรักษา ซึ่งทำให้การกำหนดแผนงานบำรุงรักษา สำหรับผู้ที่รับผิดชอบเป็นไปอย่างราบรื่น และวางแผนการทำงานได้ และยังสามารถนำไปเป็นมาตรฐาน เพื่อฝึกสอนให้กับผู้ปฏิบัติงานใหม่ได้ด้วย [6]

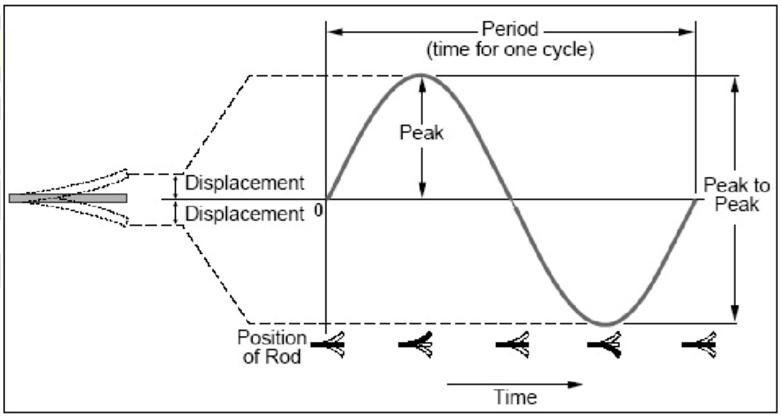
2.3 พื้นฐานการสั่นสะเทือนทางกล

การสั่นสะเทือน คือ ปรากฏการณ์ของการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของวัตถุ ภายใต้แรงกระทำ ซึ่งอาจเป็นแรงภายใน หรือแรงภายนอกก็ได้ ทำให้สามารถแบ่งการสั่นสะเทือนออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ การสั่นสะเทือนแบบอิสระ (free vibration) หรือการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น โดยปราศจากการกระทำของแรงภายนอก และการสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้น (force vibration) หรือการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากแรงภายนอก

การสั่นสะเทือน สามารถอธิบายเป็นแบบจำลองทางกายภาพ ได้ด้วยพารามิเตอร์ 3 ตัว คือ ความยืดหยุ่น (elastic) ความเฉื่อย (inertia) และความหน่วง (damping) ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้ จะช่วยให้ง่ายต่อการสร้างแบบ จำลองทางคณิตศาสตร์ของการสั่นสะเทือน

การตอบสนองทั้งหมดที่เกิดขึ้นของระบบนั้น จะมีค่าเป็นผลรวม ระหว่างผลการตอบสนองฮาร์มอนิก (harmonic response) ซึ่งผลที่เกิดจากแรงฮาร์โมนิกที่กระตุ้นระบบ กับผลการตอบสนองในสภาวะชั่วครู่ (transient response) คือผลที่เกิดจากสภาวะเริ่มต้น และจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป [7]

บทนิยามของการสั่นสะเทือน เป็นแบบการเคลื่อนที่ไปกลับ ระหว่างค่าบนค่าความเป็นกลาง (neutral, equilibrium) การไปหน้ามาหลังของการสั่นนั้น เป็นปัจจัยที่ซับซ้อน เพราะว่าการสั่นมีรูปแบบหลายรูปแบบ แสดงดังภาพประกอบ 5 [8]



ภาพประกอบ 5 ค่าการสั่นสะเทือนที่เป็นปัจจัย

(Graphic Representation of a Vibrating Object) [8]

การขจัด (displacement) คือ ระยะของการสั่นของท่อนโลหะ เคลื่อนที่จากตำแหน่งที่เป็นกลาง ในกราฟแสดงถึงการขจัดที่มากที่สุดเรียกว่า peak amplitude บริเวณที่สูงสุด (peak-to-peak)

แอมพลิจูดในกราฟแสดงถึงระยะการเคลื่อนที่ของแกน จากด้านที่มากที่สุดด้านหนึ่ง ถึงอีกสุดของอีกด้านหนึ่ง การวัดค่าของการขจัดที่วัดโดยมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร หนึ่งมิลลิเมตรมีค่าเท่ากับ 0.001 นิ้ว. หรือวัดค่าโดยไมโครเมตร micrometers หนึ่งไมโครเมตร เทากับ 0.001 มิลลิเมตร เมื่อมีการขจัดที่แกนมากขึ้นการสั่นสะเทือนก็จะรุนแรงมากยิ่งขึ้น

บทนิยามความถี่ (frequency) คือ ค่าตัวเลขของวงจรการสั่นสะเทือน ที่เกิดขึ้นภายในหนึ่งวินาที กราฟในภาพประกอบ 5 แสดงหนึ่งในวงจรของการสั่นที่แกน และช่วงเวลาที่ทำให้วงจรสมบูรณทาง เทคนิค ในการคำนวณหาคาความถี่ของการสั่นสามารถทำได้ดังนี้ [8]

$$Frequency = \frac{1}{period} = cycles\ per\ second, or\ hertz\ f = \frac{1}{t}\ t = \frac{1}{f} \quad (1)$$

หรือ

$$Frequency = \frac{number\ of\ cycles}{time}\ f = \frac{cycles}{t} \quad (2)$$

2.3.1 สัญญาณการสั่นสะเทือน

สัญญาณที่ได้จากการทดลองการสั่นสะเทือนนั้น จะอยู่ในรูปของพารามิเตอร์ คือ ขนาด ความถี่ และ เฟส สำหรับขนาดของการสั่นสะเทือนที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ การขจัดหรือการเคลื่อนที่ ซึ่งก็คือระยะการเคลื่อนที่ของมวลจากตำแหน่งสมดุล ความเร็ว ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงระยะของการเคลื่อนที่กลับไป-กลับมา และความเร่ง คืออัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็ว ของมวลในการเคลื่อนที่กลับไป–กลับมา โดยความสัมพันธ์ระหว่างขนาดทั้งสามนั้นแสดงดังสมการที่ (3) (4) และ (5) ตามลำดับ ซึ่งขนาดทั้งสามรูปแบบนี้ มีความเหมาะสมต่อการวัดการสั่นสะเทือนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับช่วงความถี่ที่ต้องการวัดสัญญาณ

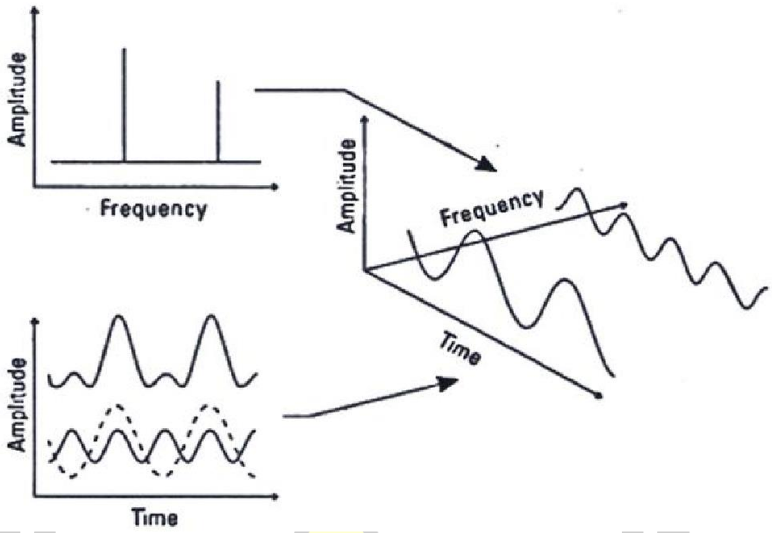
$$x = A_0 sin(2\pi ft) \quad (3)$$

$$v = \dot{x} = (2\pi f)A_0 cos(2\pi ft) \quad (4)$$

$$a = \ddot{x} = -(2\pi f)^2 A_0 sin(2\pi ft) \quad (5)$$

โดยที่ A_0 คือ ขนาดของการขจัดสูงสุด

สัญญาณการสั่นสะเทือนนิยมวัดได้ 2 รูปแบบ คือ บนโดเมนเวลา (time domain) และโดเมนความถี่ (frequency domain) ซึ่งลักษณะของสัญญาณที่แสดงบนโดเมนทั้งสองนั้น มีความสัมพันธ์กัน ดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่แสดงบนโดเมนเวลา และโดเมนความถี่ [7]

สัญญาณการสั่นสะเทือน ที่แสดงบนโดเมนทั้งสอง ต่างก็มีจุดเด่น-จุดด้อย ที่แตกต่างกันในการวิเคราะห์ผล เนื่องจากการวินิจฉัยสัญญาณบนโดเมนเวลานั้น จะพิจารณาได้จากขนาดเพียงอย่างเดียว ในขณะที่ผลบนโดเมนความถี่นั้น จะวิเคราะห์ได้จากทั้งขนาดและความถี่ แต่หากพิจารณาถึงความยากง่าย และเวลาที่ใช้ จะพบว่า การที่จะได้ผลการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่นั้น จะต้องแปลงมาจากผลบนโดเมนเวลาอีกต่อหนึ่งด้วย ซึ่งวิธีการแปลงที่ใช้ในปัจจุบัน คือการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (fast fourier transform : fft)

การแปลงฟูเรียร์แบบเร็วนี้ เป็นการประยุกต์ใช้สมการอนุกรมฟูเรียร์ ร่วมกับวิทยาการทางคอมพิวเตอร์ เพื่อให้การแปลงฟูเรียร์ทำได้สะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น วิธีการแปลงจากผลการสั่นสะเทือนบนโดเมนเวลา มาเป็นผลการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ โดยอาศัยการแปลงฟูเรียร์นั้นมาจากหลักการคือ สัญญาณการสั่นสะเทือน ที่รูปแบบของสัญญาณมีลักษณะเป็นคาบ (periodic signal) นั้น จะสามารถพิจารณา เป็นสัญญาณที่มีรูปแบบเป็นสัญญาณฮาร์โมนิกได้ โดยสัญญาณที่มีลักษณะเป็นคาบ จะมีค่าเท่ากับผลรวมของสัญญาณ ในรูปแบบฮาร์โมนิกที่มีค่าความถี่ต่างกันได้ สมการอนุกรมฟูเรียร์ ของสมการที่มีรูปแบบเป็นคาบ (periodic function) แสดงในสมการที่ (6) ส่วนตัวอย่างการพิจารณา สัญญาณที่มีลักษณะเป็นคาบ ในรูปแบบของสัญญาณฮาร์โมนิกส์ และตัวอย่างผลการแปลงสัญญาณ จากโดเมนเวลา เป็นสัญญาณบนโดเมนความถี่ ภาพประกอบ 7 และ 8 ตามลำดับ [7]

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty}[a_n\,cos(n\omega_0 t) + b_n sin(n\omega_0 t)] \quad (6)$$

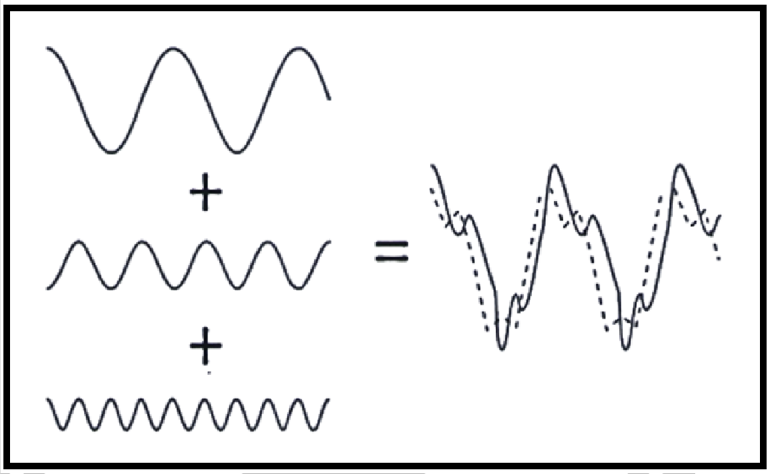
โดยที่ $$\omega_0 = \frac{2\pi}{t} \quad (7)$$

$$a_0 = \frac{2}{t}\int_0^T x(t)\mathrm{dt} \quad (8)$$

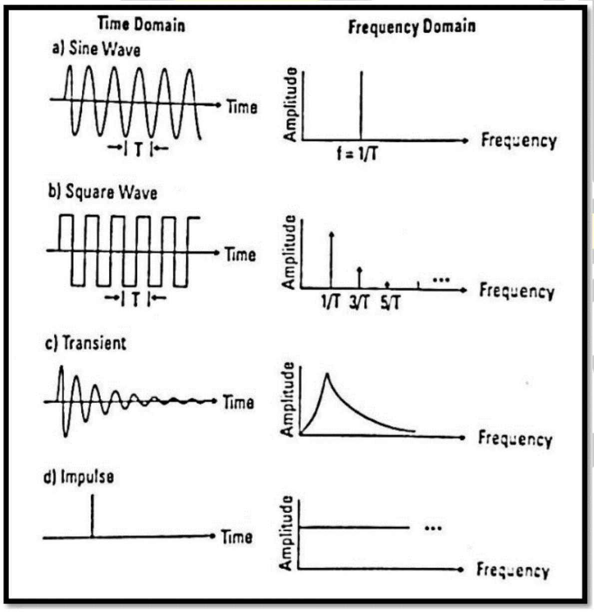
$$a_n = \frac{2}{t}\int_0^T x(t)\cos(n\omega_0 \mathrm{t})\,dt \quad (9)$$

$$b_n = \frac{2}{t}\int_0^T x(t)\sin(n\omega_0 \mathrm{t})\,dt \quad (10)$$

โดยที่ T คือ คาบของสัญญาณ



ภาพประกอบ 7 การพิจารณาสัญญาณที่มีลักษณะเป็นคาบในรูปแบบของสัญญาณฮาร์โมนิก [7]



ภาพประกอบ 8 การแปลงสเปกตรัม [7]

2.3.2 การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนเวลา

สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนเวลา จะแสดงแอมพลิจูดการสั่นสะเทือน ของการกระจัด ความเร็ว หรือความเร่ง ในช่วงเวลาที่ทำการวัดสัญญาณ โดยในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนของเวลา จะพิจารณาจากผลเฉลยของสมการอนุพันธ์ (differential equation) ของระบบที่พิจารณา

ลักษณะสัญญาณที่ได้จากการวัด จะมีความซับซ้อนมาก เนื่องมาจากเกิดการมอดูเลต ทั้งแอมพลิจูดมอดูเลชั่น และมอดูเลชั่นของความถี่ขึ้นในระบบ ซึ่งเป็นการยากที่จะวิเคราะห์หาสาเหตุของความบกพร่องที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจากไม่สามารถสังเกตเห็นความถี่พื้นฐาน และความถี่มอดูเลชั่นของสัญญาณได้ การวิเคราะห์ที่สามารถทำได้คือ การพิจารณาขนาดของแอมพลิจูดโดยรวมของสัญญาณจากเครื่องวัดสัญญาณ และนำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณในรูปแบบเดียวกัน ของชิ้นส่วนดังกล่าวที่มีสภาพที่สมบูรณ์

พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ความเสียหาย ที่ได้จากสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนเวลา มีอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่น ระดับค่าแอมพลิจูดสูงสุด (peak) ระดับค่าแอมพลิจูดอาร์เอ็มเอส (root mean square, rms) และค่าเครสต์แฟคเตอร์ (crest factor)

1. ค่าแอมพลิจูดสูงสุด (peak, X_{max}) หมายถึง ค่าการสั่นสะเทือนที่มีระดับสูงสุด ในช่วงเวลาที่ทำการวัดสัญญาณ โดยสามารถเป็นได้ทั้งค่าบวกและค่าลบ

2. ค่าแอมพลิจูดอาร์เอ็มเอส (root mean square, rms) คือ ค่าการสั่นสะเทือนโดยรวม สามารถคำนวณได้จาก การนำเอาข้อมูลเวลาในแต่ละจุดมายกกำลังสอง แล้วทำการเฉลี่ย และถอดรากที่สองดังสมการ (11)

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{N-1} x_i^2}{N}} \tag{11}$$

3. ค่าเครสต์แฟคเตอร์ (crest factor) คือ อัตราส่วนระหว่างค่าแอมพลิจูดสูงสุด และ ค่าแอมพลิจูดอาร์เอ็มเอส เพื่อทำให้อยู่ในรูปพารามิเตอร์ที่ไร้หน่วย (normalized) จึงสามารถนำค่านี้ไปเปรียบเทียบกับสัญญาณชนิดอื่น ๆ ได้ ถ้าสัญญาณมีค่าเครสต์แฟคเตอร์ สูงกว่าสัญญาณในกรณีที่เครื่องจักรมีสภาวะปกติ แสดงว่า สัญญาณจะมีพัลส์เกิดขึ้นแบบทันทีทันใด (shock pulse) เกิดขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากความบกพร่องที่เกิดขึ้นในเครื่องจักร [9]

$$Crest\ Factor = \frac{X_{max}}{RMS} \tag{12}$$

2.3.3 การวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนความถี่

สัญญาณการสั่นสะเทือน สามารถประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์บนโดเมนความถี่ เช่น การแปลงฟูเรียร์ การแปลงฟูเรียร์อย่างเร็ว การวิเคราะห์ power spectrum density (psd) ของสัญญาณ เป็นต้น การแปลงฟูเรียร์เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการหาค่าสเปกตรัมของฟังก์ชันที่ไม่เป็นรายคาบ (aperiodic function) โดยจะแปลงฟังก์ชันที่มีความต่อเนื่องทางด้านเวลาดังสมการที่ (13) เป็นฟังก์ชันที่มีความต่อเนื่องทางด้านความถี่ดังสมการที่ (14)

$$f(t) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} F(i\omega_0)e^{i\omega_0 t}d\omega_0 \qquad (13)$$

$$F(i\omega_0) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega_0 t}dt \qquad (14)$$

เมื่อ $F(i\omega_0)$ เป็น Fourier Transform ของ $f(t)$

$f(t)$ เป็น Inverse Fourier Transform ของ $F(i\omega_0)$

การแปลงฟูเรียร์เร็ว หรือ fft คือ วิธีการแปลงสัญญาณที่อยู่ในโดเมนเวลา ให้อยู่ในโดเมนความถี่ เนื่องจากวิธีการคำนวณ discrete fourier transform (dft) ใช้เวลามากในการคำนวณ คือต้องทำการบวกจำนวนเชิงซ้อนทั้งหมด n ครั้ง และคูณจำนวนเชิงซ้อนทั้งหมดอีก n ครั้ง รวมแล้วต้องทำการคำนวณทั้งหมด n^2 ครั้ง ดังนั้น จึงมีการคิดวิธีการแปลงฟูเรียร์เร็ว โดยการพัฒนาจาก dft โดยใช้การคำนวณเพียง $n \log_2 N$ ครั้งเท่านั้น การหา fft ข้อมูลจะต้องมีจำนวนเป็น 2^n โดย n เป็นจำนวนเต็ม ด้วยการวิเคราะห์ความเข้มข้นของพลังงาน ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ จะนิยมใช้เทคนิคการวิเคราะห์ power spectrum density (psd) ซึ่งจะอยู่ในรูปของ power/Hz หรือ energy/Hz ซึ่งค่า psd แทนด้วย Øω คำนวณได้ดังสมการ 15 [10]

$$Ø\omega = |x(\omega)^2| = \left|\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-i\omega t}dt\right|^2 \qquad (15)$$

2.3.4 การวิเคราะห์สเปกตรัม (spectrum analysis)

fft (fast fourier transform) เป็นเทคนิคที่เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนที่สามารถแยกความถี่ได้ (spectrum analysis) นำมาใช้ในการแยกความถี่จากสัญญาณสั่นสะเทือนที่วัดได้ โดย fft เป็นแค่เทคนิคในการคำนวณกระบวนการแปลง dft เพื่อลดเวลาในการแปลง dft

dft (discrete fourier transform) คือ กระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้พิจารณาฮาร์โมนิกส์หรือความถี่ และองค์ประกอบทางด้านต่าง ๆ ของลำดับหรือกลุ่มสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่อง (discrete time signal) ซึ่งสัญญาณไม่ต่อเนื่องนี้ จะได้มาจากกระบวนการสุ่มสัญญาณที่มีความต่อเนื่องในช่วงคาบเวลาใด ๆ (sampling)

dfs (discrete fourier series) เป็นกระบวนการแปลงสัญญาณในโดเมนเวลาที่ไม่ต่อเนื่องกัน (discrete) และเป็นคาบไปเป็นสัญญาณในโดเมนความถี่ ที่ไม่ต่อเนื่องและเป็นคาบเช่นกัน แต่ในทางปฏิบัติ เราอาจพบสัญญาณที่ไม่มีคาบเวลาก็ได้ เช่น สัญญาณอิมพัลส์ และสัญญาณแรนดอม ในการวิเคราะห์จึงต้องเลือกพิจารณา โดยตัดสัญญาณนั้นมาช่วงหนึ่ง และหา dfs ของสัญญาณช่วงดังกล่าว โดยสมมุติให้เป็นช่วงเวลาหนึ่งคาบ โดยกระบวนแปลงสัญญาณโดยกระบวนการ dfs เพียงช่วงหนึ่งคาบนี้ เราจะเรียกว่า dfs โดยสมการการแปลง dfs เป็นดังนี้

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft}dt \qquad (16)$$

โดย x(t) คือ สัญญาณที่เป็นรายคาบต่อเนื่องใด ๆ

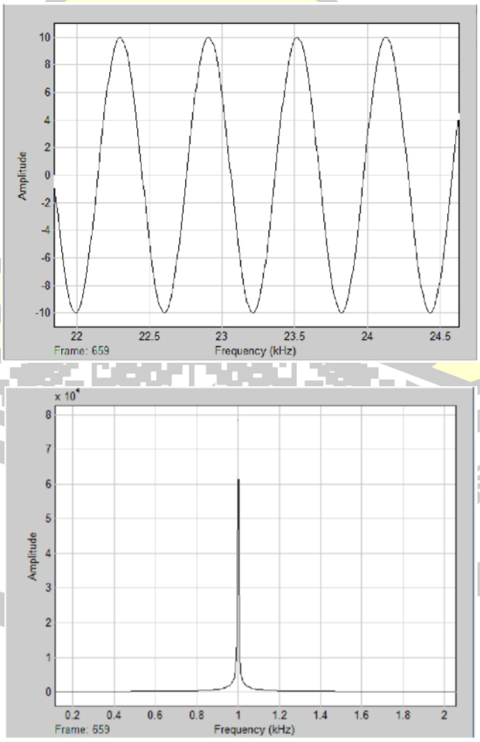
dfs equqtion (expotential form)

$$X(m) = \sum_{n=0}^{n-1} x(n)e^{-j2\pi nm/N} \qquad (17)$$

dft equqtion (rectangular form)

โดย X(m) คือผลของการแปลงเป็นลำดับของสัญญาณในโดเมนความถี่ไม่ต่อเนื่อง (discrete) และ x(n) คือสัญญาณไม่ต่อเนื่องทางอินพุตที่ได้จากการสุ่มสัญญาณต่อเนื่องเป็นรายคาบ x(t) N คือจำนวนการการสุ่ม และ n คือความถี่มูลฐาน [11]

การเปลี่ยนโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่จะได้ดังภาพประกอบ 9

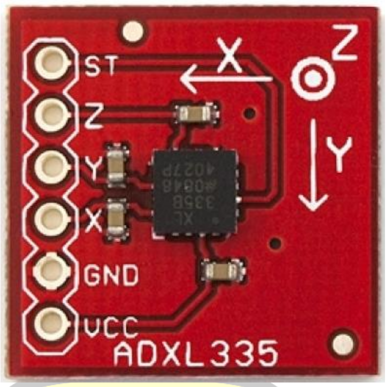


ภาพประกอบ 9 การแปลงสัญญาณรูปคลื่นไซน์จากโดเมนเวลาเป็นสัญญาณบนโดเมนความถี่ [11]

2.4 คุณสมบัติอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์

2.4.1 เซนเซอร์ความเร่ง

เซนเซอร์วัดความเร่ง เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร่ง (g) ในงานวิจัยนี้ใช้เซนเซอร์ adxl 335 ซึ่งเป็นเซนเซอร์วัดความเร่ง 3 แกน คือ แกน x y และ z ใช้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยง 1.8-3.6 V ระดับอุณหภูมิที่สามารถทำงานได้ คือ -40 ถึง +86 องศาเซลเซียส ซึ่งให้เอาต์พุตเป็นอะนาล็อก ในลักษณะของแรงดันไฟฟ้านั้นคือ เมื่อแต่ละแกนมีการเปลี่ยนแปลงมุมองศา แรงดันเอาต์พุตที่ส่งออกมาจะเปลี่ยนแปลง ซึ่งระดับแรงดันจะมีความสัมพันธ์กับมุมองศา ที่เปลี่ยนแปลงของแต่ละแกน ดังภาพประกอบ 10 [12]



ภาพประกอบ 10 โมดูลใช้งานเซนเซอร์ความเร่ง adxl 335 [12]

2.4.2 ตัวรับรู้ความเร่ง (mems) analog adxl 335

adxl 335 เป็นตัววัดความเร่งแบบสามแกน มีช่วงการวัดอยู่ในช่วง ±3 g ซึ่งภายในประกอบไปด้วยโพลีซิลิกอน (polysilicon) และวงจรสำหรับปรับปรุงสัญญาณ (signal conditioning) เอาท์พุทเป็นแบบอนาล็อก (analog output) แปรผันตรงตามความเร่ง สามารถใช้วัดความโน้มถ่วงเมื่อต้องการวัดความเอียงของวัตถุ และยังสามารถวัดความเร่งพลวัต (dynamic acceleration) อันได้แก่การสั่นสะเทือน หรือแรงตกกระทบเป็นต้น สำหรับคุณลักษณะที่สำคัญของตัววัดความเร่ง adxl 335 ที่สำคัญแสดงได้ดังตารางแสดงคุณลักษณะ [13]

ตาราง 3 คุณสมบัติของตัววัดความเร่ง adxl 335 [13]

parameter	
ช่วงการวัด (measurement range)	±3 g
ความไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinearity % of full scale)	±0.3 %
ความไวเมื่อให้ไฟเลี้ยง V_s = 3 V	
แกน x	300 mV/g
แกน y	300 mV/g
แกน z	300 mV/g
ค่าโวลต์เตจที่ระดับความเร่งเท่ากับศูนย์ (zero g bias level) เมื่อไฟเลี้ยง V_s = 3 V	
แกน x	1.5 V
แกน y	1.5 V
แกน z	1.5 V

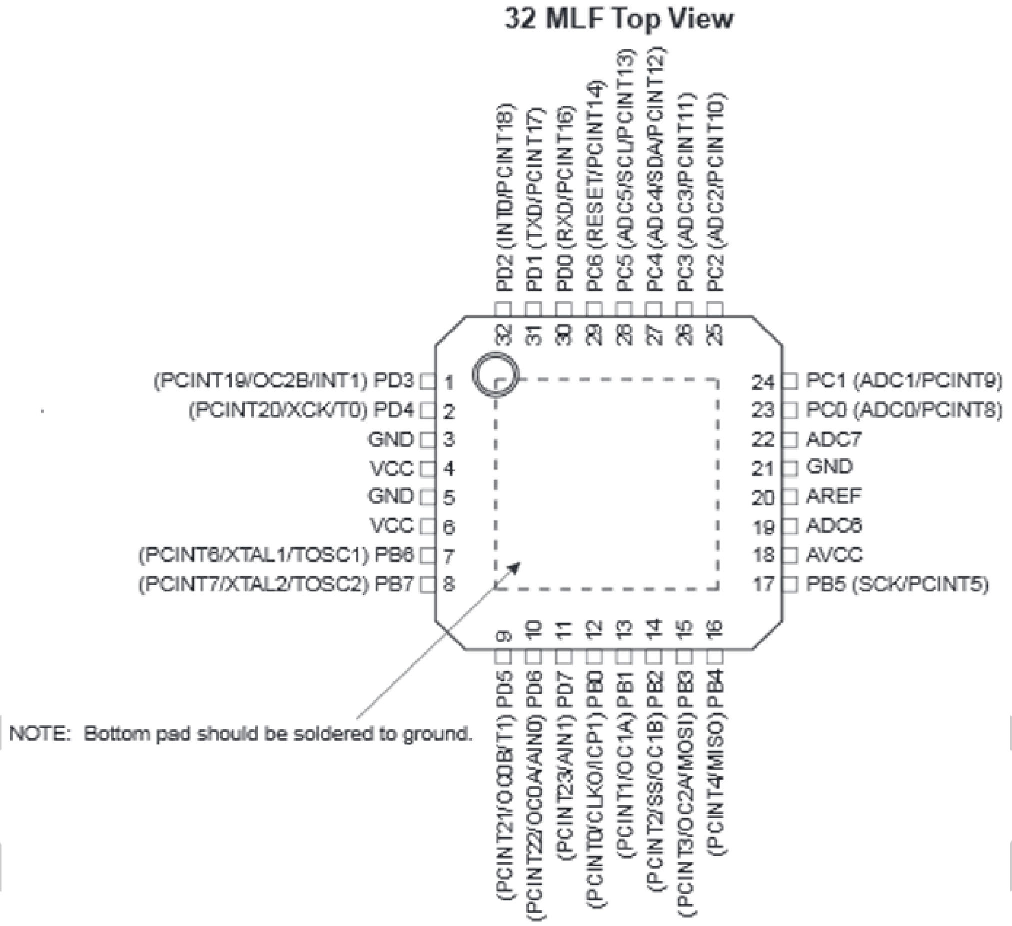
2.4.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ใช้สำหรับแปลงลักษณะสัญญาณจากสัญญาณอนาล็อก ให้เป็นสัญญาณดิจิตอลใช้ atmega328p โครงสร้างหลักคือ ซีพียู หน่วยความจำโปรแกรม หน่วยความจำข้อมูล ส่วนติดต่ออินพุท-เอาท์พุต, วงจรสัญญาณนาฬิกา วงจรไฟเลี้ยง วงจรรีเซตหลัก และมีคุณสมบัติโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ต่าง ๆ ดังภาพประกอบ 11

1.8-5.5V operating range

- up to 20MHz
- part atmega328p-au
- 32kb flash program memory
- 1kb eeprom
- 2kb Internal sram
- 2-8 bit timer/counters
- 1-16 bit timer/counter
- rtc with separate oscillator
- 6 pwm channels

- 8 channel 10-bit adc
- serial usart
- master/slave spi interface
- 2-wire (i2c) interface
- watchdog timer
- analog comparator
- 23 io lines
- data retention: 20 years at 85C/ 100 years at 25C

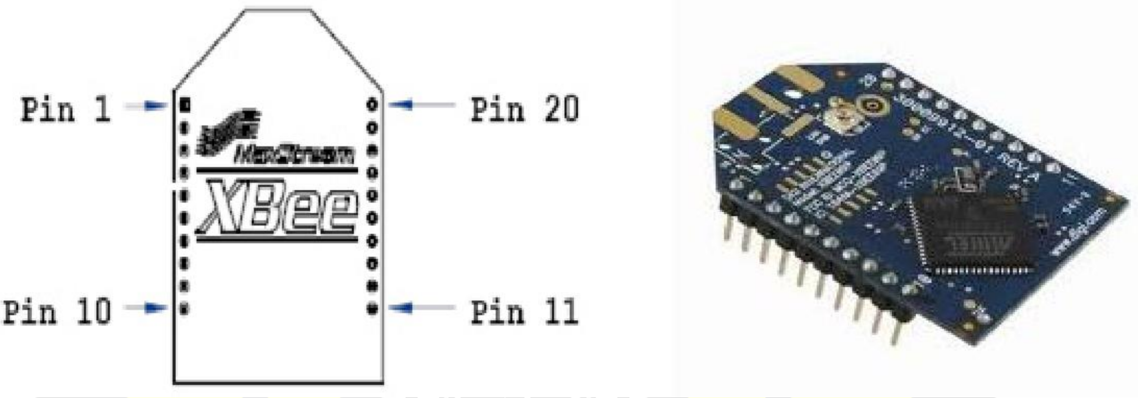


ภาพประกอบ 11 พอร์ท pic16f88 [12]

2.4.4 ตัวรับ–ส่งสัญญาณแบบไร้สาย x-bee

ในการส่งสัญญาณข้อมูลจากชุดเซนเซอร์ไปยังคอมพิวเตอร์ จะใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบไร้สาย โดยใช้ x-bee ดังภาพประกอบ 12 โมดูลรับส่งข้อมูลไร้สาย point-to-multipoint protocol ออกแบบสำหรับส่งข้อมูลในระยะทางที่ไกล ซึ่งคุณสมบัติและลักษณะของการใช้งาน มีดังต่อนี้ [12]

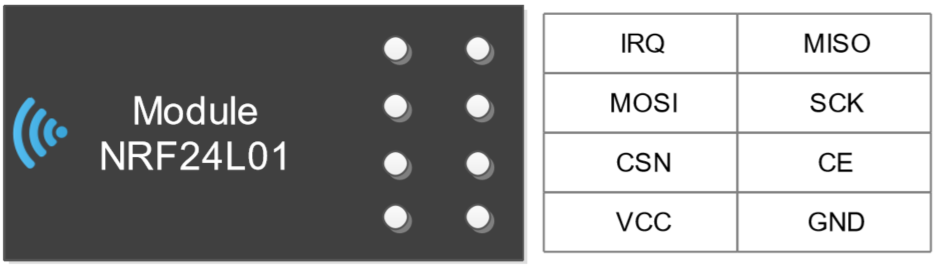
- กำลังส่ง 50 mW
- ความถี่ใช้งาน 2.4 GHz
- ระยะทางรับส่ง 1.5 km
- สั่งการด้วย AT Command
- ความเร็วในการรับส่งข้อมูล 156 Kbps
- กระแสไฟฟ้าขณะส่งข้อมูล 210 mA
- กระแสไฟฟ้าขณะรับข้อมูล 80 mA
- กระแสไฟฟ้าขณะ sleep 60 uA
- ขนาดโมดูล 2.438 cm x 3.294 cm



ภาพประกอบ 12 ลักษณะของ x-bee pro series 1 [12]

2.4.5 โมดูลสื่อสารไร้สาย (NRF24L01)

โมดูลสื่อสารไร้สาย NRF24L01 เป็นโมดูลไร้สายที่สามารถรับและส่งข้อมูลในตัวเดียวกัน ซึ่งใช้ความถี่ที่ 2.4 GHz ที่มีเสาอากาศภายในรวมโมดูลต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับรับส่งข้อมูลและสามารถแปลงอินเตอร์เฟสไว้ด้วยกัน โดยเอาท์พุตของโมดูลนี้เป็นการใช้โปรโตคอลแบบ spi ในการสื่อสาร ตัวโมดูลมีขนาดเล็กใช้พลังงานต่ำ มีระบบจัดการข้อมูล เช่น การเข้าคิว การแก้ไขความผิดพลาดของข้อมูล ฯลฯ ใช้ไฟเลี้ยงได้ตั้งแต่ 1.9 โวลต์ ถึง 3.6 โวลต์ สามารถใช้ระดับแรงดันในการติดต่อได้ถึง 5 โวลต์ และยังสามารถส่งสัญญาณได้ไกลถึง 500 เมตร ในสถานที่โล่งแจ้ง แสดงดังภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 พอร์ทเชื่อมต่อของโมดูล NRF24L01 [14]

การติดต่อสื่อสารกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับโมดูลไร้สายนั้น ใช้โปรโตคอลในการสื่อสารแบบ spi อินเตอร์เฟส โดยรับข้อมูลที่ถูกประมวลผลมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อส่งสัญญาณไปยังตัวรับ ซึ่งโมดูลไร้สายรุ่น NRF24L01 นั้น มีพอร์ทคอนเนคเตอร์ไว้สำหรับต่อเข้าใช้งาน ดังตารางที่ 2 [14]

ตาราง 4 พอร์ทคอนเนคเตอร์ของโมดูลไร้สาย NRF24L01 [14]

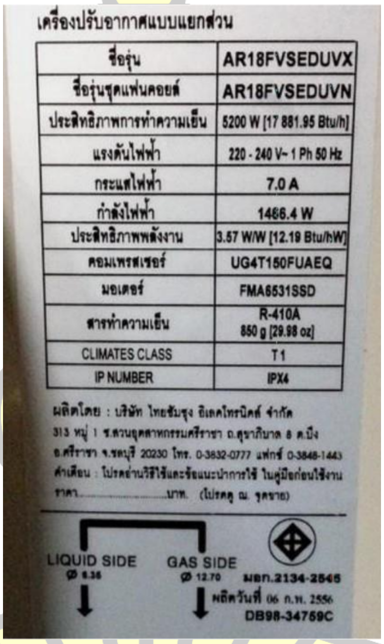
พอร์ทที่	ชื่อ	คุณสมบัติการทำงาน
1	GND	กราวด์ของระบบ
2	VCC	ไฟเลี้ยงเข้าโมดูล ขนาดกระแสไฟฟ้า (3.3 โวลต์)
3	CE	chip enable ใช้สำหรับเปิดการทำงานของโมดูล
4	NSS	chip select ใช้ควบคุมการสื่อสารของโปรโตคอล spi
5	SCK	clock ใช้รับสัญญาณนาฬิกาจากไมโครคอนโทรลเลอร์
6	MOSI	data input ใช้รับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์
7	MISO	data output ใช้ส่งข้อมูลให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์
8	IRQ	interrupt ใช้ส่งสัญญาณอินเตอร์รัพท์ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์

2.5 การใช้กระแสของเครื่องปรับอากาศ

กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศ ถูกใช้สำหรับควบคุมการทำงานและเปลี่ยนเป็นพลังงานกล เช่น สำหรับส่วนควบคุม พัดลม และคอมเพรสเซอร์ที่ใช้กระแสสูง การใช้กระแสไฟฟ้าสามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

2.5.1 กรณีการใช้กระแสปกติ

กรณีปกติ เครื่องปรับอากาศใช้พลังงานไฟฟ้าตามพิกัดที่ระบุไว้ในป้ายบอกพิกัด เช่น ประสิทธิภาพทำความเย็น 5200 วัตต์ กระแสไฟฟ้าพิกัดสูงสุด 7 แอมป์ แรงดันพิกัด 220-240 โวลต์ ใช้งานที่ความถี่ 50 เฮิร์ต เป็นต้น กรณีนี้เครื่องปรับอากาศจะทำงานภายใต้ขนาดพิกัดของกระแสสูงสุด เช่น เครื่องปรับอากาศรุ่น ar18fvseduvx พิกัดกระแสสูงสุดเท่ากับ 7 แอมป์



ภาพประกอบ 14 พิกัดของเครื่องปรับอากาศรุ่น ar18fvseduvx [15]

2.5.2 กรณีการใช้กระแสไม่ปกติ

กรณีที่เครื่องปรับอากาศมีการใช้กระแสผิดปกติ คือ เมื่อใช้งานเครื่องปรับอากาศ แล้วกระแสที่วัดได้นั้นไม่ตรงตามพิกัดที่ระบุไว้ในป้ายบอกพิกัด บางส่วนเกิดจากสาเหตุที่กล่าวมา ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การตรวจวัดความผิดปกติของเครื่องปรับอากาศ เราสามารถสังเกตกระแสในขณะที่เครื่องกำลังทำงานได้ อย่างไรก็ตามกรณีนี้ต้องใช้ช่างที่มีความรู้เป็นผู้ตรวจสอบ ในกรณีการตรวจสอบล่าช้า อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์และชิ้นส่วนของเครื่องปรับอากาศ เช่น กรณีที่พัดลมระบายความร้อนไม่ทำงาน ทำให้คอมเพรสเซอร์ร้อนจนเกินไปอาจส่งผลให้ชิ้นส่วนเกิดการชำรุดเสียหายได้

2.5.3 การหาค่าเฉลี่ยอนุกรมเวลากระแส

การหาค่าเฉลี่ยอนุกรมเวลากระแส หาได้โดยการนำค่ากระแสไฟฟ้าขณะคอมเพรสเซอร์ทำงานปกติ หารด้วยคาบเวลา ดังสมการต่อไปนี้

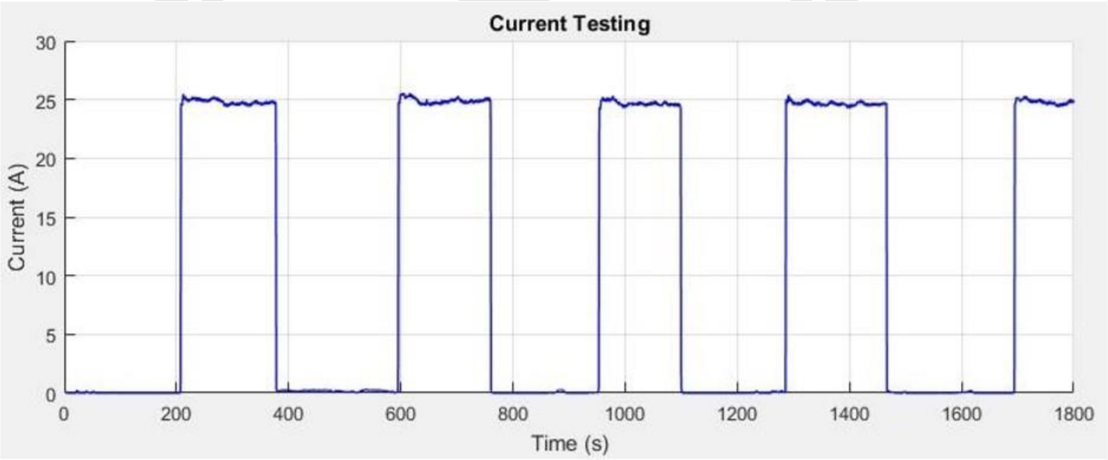
ค่าเฉลี่ย (Avg) = กระแสไฟฟ้าขณะคอมเพรสเซอร์ทำงาน / คาบเวลา

$$= \frac{A_{on}}{T} \qquad (18)$$

โดยที่ A_{on} คือ กระแสไฟฟ้าขณะคอมเพรสเซอร์ทำงาน

T คือ คาบเวลาในการทำงาน 1 คาบเวลา

2.5.4 ลักษณะของอนุกรมเวลากระแส



ภาพประกอบ 15 ลักษณะของอนุกรมเวลากระแสของเครื่องปรับอากาศในสภาวะปกติ [15]

จากภาพประกอบ 15 แสดงลักษณะของอนุกรมเวลาและกระแสของเครื่องปรับอากาศในสภาวะการทำงานปกติ เมื่ออุณหภูมิภายในห้องมีค่าที่สูงกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ คอมเพรสเซอร์จะเริ่มต่อการทำงาน กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์อยู่ที่ประมาณ 25 แอมแปป์ และเมื่อเวลาผ่านไปช่วงหนึ่ง อุณหภูมิภายในห้องลดลงเท่ากับค่าที่ตั้งไว้ คอมเพรสเซอร์ก็จะทำการตัดการทำงาน กระแสที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ก็จะลดลงอยู่ประมาณ 0 แอมแปร์ [15]

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กิตติศักดิ์ สุดดวง, พรชัย นิเวศน์รังสรรค์. 2552. การตรวจสอบสภาวะของคอมเพรสเซอร์ แบบลูกสูบอัดอากาศสองชั้นด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือน คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบอัดอากาศสองชั้น จะถูกใช้จำลองการทำนาย การทำงานที่เงื่อนไขต่าง ๆ เช่น การทำงานปกติ ความเสียหายที่แผ่นวาล์วด้านดูด ความเสียหายที่แผ่นวาล์วด้านส่ง และความเสียหายที่แหวนของลูกสูบทางด้านห้องความดันต่ำ โดยใช้สัญญาณการสั่นสะเทือน ที่ตรวจวัดได้จากหัววัดการสั่นสะเทือน ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ฝาสูบของคอมเพรสเซอร์ พร้อมทั้งวัดรอบการทำงานด้วย proximity sensor การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน ด้วยพารามิเตอร์ทางสถิติ พบว่า การใช้ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติแต่ละชนิด เช่น ค่า crest factor ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความเบ้ หรือค่าความโด่ง ไม่สามารถทำนายสภาวะของคอมเพรสเซอร์ได้ครบทุกกรณี ส่วนการใช้ค่า crest factor เทียบกับค่าความโด่ง จะทำให้สามารถจำแนกกลุ่มข้อมูล และระบุสภาวะของคอมเพรสเซอร์ได้ [2]

ทรงพล กลิ่นชะเอม, พรชัย นิเวศน์รังสรรค์. 2550. การตรวจสอบสภาวะของคอมเพรสเซอร์ด้วยสัญญาณเสียงและสัญญาณการสั่นสะเทือน. การศึกษานี้จะเป็นการศึกษาเบื้องต้น เกี่ยวกับการจำลองการตรวจสอบสภาวะการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ 2 ชนิด คือ คอมเพรสเซอรแบบลูกสูบ และคอมเพรสเซอรแบบโรตารี โดยคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ มีเงื่อนไขในการทดลองคือ การทำงานที่สภาวะปกติ การจำลองความเสียหายที่แหวนรองกันรั่ว การจำลองความเสียหายที่ลูกสูบ การจำลองความเสียหายที่แผ่นวาล์วด้านดูด และคอมเพรสเซอร์แบบโรตารี มีเงื่อนไขการทดลองคือ การทำงานที่สภาวะปกติ การจำลองความเสียหายที่วาล์วด้านดูด การจำลองความเสียหายที่วาล์วด้านส่ง การจำลองความเสียหายที่ใบพัด โดยใช้สัญญาณเสียงที่สามารถตรวจวัด โดยใช้อุปกรณพื้นฐานของคอมพิวเตอร์ เช่น ไมโครโฟน ซาว์ดการ์ด และ คอมพิวเตอร์ เพื่อพัฒนามาใช้เป็นอุปกรณ์ในการทดลอง สำหรับการเรียนการสอนในห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้ การศึกษานี้ยังจะใช้สัญญาณการสั่นสะเทือนมาเป็นสัญญาณในการเปรียบเทียบความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ จากการศึกษาพบว่าสัญญาณเสียงที่ได้ จะให้ผลการทำนายที่ด้อยกว่า บนโดเมนเวลาหรือโดเมนมุมเพลาข้อเหวี่ยง แต่ไม่มีข้อแตกต่างกันบนโดเมนความถี่ การศึกษาต่อไปยังจำเป็นต้องปรับปรุง พัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลที่ได้กับสัญญาณอื่น ๆ เชน สัญญาณความดัน เป็นต้น เพื่อเป็นการยืนยันถึงความถูกต้องของคำตอบอีกครั้ง ก่อนที่จะนำมาใช้งานจริง [1]

ธีรพัฒน์ ชมพูคำ. 2556. การถ่วงสมดุลเชิงออฟติมั่มคอมเพรสเซอร์แบบสูบเดียวเพื่อให้เกิดแรงสั่นต่ำที่สุด. งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการออกแบบเชิงออฟติมั่ม ในการถ่วงสมดุลกลไกคอมเพรสเซอร์แบบสูบเดียว เพื่อทำให้การสั่นสะเทือนมีค่าต่ำที่สุด โดยการเพิ่มมวล (counter weight) เข้าในระบบเพื่อลดแรงสั่น ที่ทำให้คอมเพรสเซอร์เกิดการสั่นสะเทือนและเกิดเสียงดัง วัตถุประสงค์ คือ การสั่นสะเทือนรวมในทิศทางแนวเดียว และแนวตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลูกสูบ ตัวแปรออกแบบ คือ ขนาดมวล (m_c) และตำแหน่งติดตั้งมวลถ่วงสมดุล (r_c) การเพิ่มมวลที่มีขนาดเท่ากับมวลเคลื่อนที่แบบหมุน (rotating mass, m_{rot}) บวกกับค่าคงที่ k คูณด้วยมวลเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมา (reciprocating mass, m_{rec}) โดยค่าคงที่ k มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ตำแหน่งติดตั้งมวลถ่วงสมดุล ระยะไม่เกินความยาวของแขนข้อเหวี่ยง (r) จากการคำนวณพบว่า แรงสั่นแปรผันตามระยะชักของลูกสูบ ค่าที่เหมาะสมที่สุดของมวลถ่วงสมดุล คือ เมื่อ k เท่ากับ 0.6218 และตำแหน่งติดตั้งมวลถ่วงสมดุลเมื่อเทียบกับความยาวแขนข้อเหวี่ยง (r_c/r) เท่ากับ 0.9473 จึงทำให้เกิดการสั่นต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาที่ความเร็วรอบเฉลี่ยของการทำงาน [16]

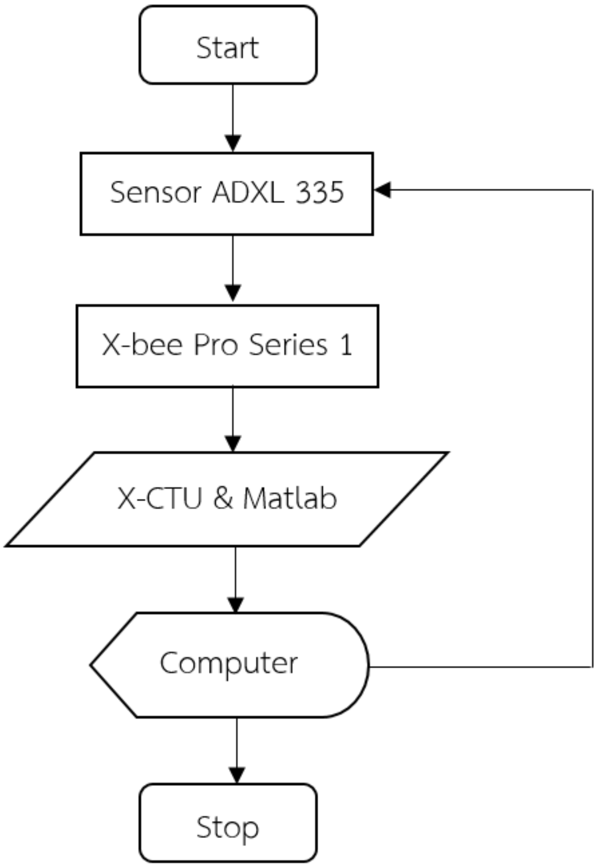
เฟิงตง และคณะ. 2562. การศึกษาและทดลองการสั่นสะเทือนของใบพัดและเสียงรบกวนในคอมเพรสเซอร์แรงดันสูงแบบหลายระดับ. งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองคอมเพรสเซอร์แรงดันสูงแบบหลายระดับ เมื่อเกิดการสั่นสะเทือนของใบพัดโรเตอร์และคอมเพรสเซอร์ เพื่อวิเคราะห์สเปกตรัมสูงสุดของการสั่นสะเทือน โดยการวิเคราะห์ความถี่ ความกว้างของการเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือนและความเร็วของมอเตอร์ของใบพัด จากการทดลองพบว่า การสั่นสะเทือนระดับสูงที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของใบพัดโรเตอร์ สเปกตรัมของการสั่นสะเทือนจะสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน และมีการกระจายตัวของความถี่ที่เงื่อนไขของแต่ละการทดลองแตกต่างกัน สามารถยืนยันได้ว่า การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในคอมเพรสเซอร์แบบหลายระดับ โดยใช้เครื่องวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนมีผลการทดลองที่ถูกต้องแม่นยำ สามารถนำไปวิเคราะห์ความเสียหายของใบพัดและคอมเพรสเซอร์แรงดันสูงแบบหลายระดับที่เงื่อนไขต่าง ๆ ได้ [17]

กงเผิง และคณะ. 2562. การควบคุมการสั่นสะเทือนแบบซิงโครนัสที่เหมาะสมของแม่เหล็กเพื่อลดแรงเหวี่ยงของคอมเพรสเซอร์. งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองการควบคุมการสั่นสะเทือนแบบซิงโครนัสที่เหมาะสมของแม่เหล็กเพื่อลดแรงเหวี่ยงของคอมเพรสเซอร์ การเปลี่ยนแปลงของระบบการป้องกันแม่เหล็กของโรเตอร์ ในสภาวะที่ไม่สมดุลมวล โดยใช้ตัวปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ มุมเฟสจะถูกนำมาเป็นตัวแปรที่สามารถปรับค่าให้เหมาะสม และความต่อเนื่องของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบ ผลการทดลองพบว่า แรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากแรงเหวี่ยงของคอมเพรสเซอร์จะลดลงอย่างรวดเร็ว โดยการควบคุมแบบซิงโครนัส และเริ่มคงที่ในช่วงความเร็วที่สูงขึ้น [18]

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

บทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ และขั้นตอนการทดลองการตรวจวัดการสั่นสะเทือนของคอมเพรสเซอร์ และตรวจวัดค่าของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ ในขณะที่สารทำความเย็นที่อยู่ในระบบ มีค่าเท่ากับ 80 60 และ 40 psi โดยการทดลองจะติดตั้งเครื่องวัดการสั่นสะเทือน เข้าที่ตัวของคอมเพรสเซอร์ เซ็นเซอร์จะส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการวิเคราะห์ผลต่อไป ซึ่งมีขั้นตอนการทำงาน ของการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของคอมเพรสเซอร์ ดังแสดงในภาพประกอบ 16

3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงาน



ภาพประกอบ 16 ขั้นตอนการทำงานการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของคอมเพรสเซอร์

จากแผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงาน การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของคอมเพรสเซอร์ ดังภาพประกอบที่ 16 สามารถอธิบายหลักการทำงานได้ดังนี้ เมื่อคอมเพรสเซอร์ทำงาน เซ็นเซอร์ (adxl 335) ที่ถูกติดตั้งไว้ที่ตัวคอมเพรสเซอร์ จะทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณการสั่นสะเทือน และส่งสัญญาณไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ (x-bee pro serie 1) ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำหน้าที่รับสัญญาณจากเซ็นเซอร์ (adxl 335) และแปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล พร้อมส่งสัญญาณไปที่โปรแกรม x-ctu และ โปรแกรม matlab ดึงสัญญาณข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ผล และผลที่ได้จะแสดงผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งหลักการวิเคราะห์และประมวลผล การสั่นสะเทือนของคอมเพรสเซอร์ ก็จะวนซ้ำตามวัฏจักรของการทำงานต่อไป จนกระทั่งถึงค่าระยะเวลาที่ได้ตั้งไว้ในโปรแกรม

3.2 อุปกรณ์การทดลอง

3.2.1 เครื่องปรับอากาศ (air conditioner)

เครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการทดลอง มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- เครื่องปรับอากาศ (แบบแยกส่วน)
- ประสิทธิภาพ (บีทียู/ชั่วโมง/วัตต์) เท่ากับ 12.05
- ใช้พลังงานไฟฟ้า (หน่วย/ปี) 2,925.80
- ค่าไฟฟ้า (บาท/ปี) 9,595.80
- รุ่น msft-12/msct-12
- ขนาด 12,075.41 บีทียู/ชั่วโมง
- ชุดแฟนคอยล์รุ่น msft-12
- ชุดคอนเดนซิงรุ่น msct-12

ภาพประกอบ 17 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

3.2.2 คอยล์ร้อน (condensing unit)

คอยล์ร้อนเป็นส่วนที่ถูกติดตั้งอยู่ภายนอกอาคาร ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากระบบ เมื่อคอมเพรสเซอร์ทำการอัดสารทำความเย็น ซึ่งคอยล์ร้อน (condensing unit) มีชิ้นส่วนประกอบดังนี้

- ฝาครอบ หรือ หน้ากากแอร์ (casing)
- ชุดควบคุมการทำงานของคอยล์ร้อน (control box)
- พัดลมระบายอากาศ (condensing fan)
- แผงคอยล์ร้อน (condenser)
- เครื่องอัดไอ (compressor)

ภาพประกอบ 18 คอยล์ร้อน

ตาราง 5 คุณสมบัติของคอยล์ร้อน

รายการ	**ขนาด**
พิกัดแรงดันไฟฟ้า	220V/1Ph/50Hz
ชื่อรุ่นมอเตอร์คอมเพรสเซอร์	48S283VM-5ESF
ขีดความสามารถทำความเย็น	3600 W, 12100 Btu/h
พิกัดกำลังไฟฟ้า	1000 W
พิกัดกระแสไฟฟ้า	4.44 Amps
อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน	12.05
กระแสขณะสตาร์ท	3.4 Amps
ชื่อสารทำความเย็นและปริมาณ R-22	1.00 kg, 2.20 lbs

3.2.3 สารทำความเย็น R22

สารทำความเย็นที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน สำหรับเครื่องปรับอากาศที่ใช้ภายในบ้านทั่วไป เป็นสารจำพวก cfc_s (chloro fluoro carbons) ซึ่งมีคุณสมบัติคือ ไม่มีพิษ ไม่มีกลิ่น และความถ่วงจำเพาะของสารในสถานะก๊าซ จะหนักกว่าอากาศ โดยที่สารเหล่านี้ จะมีจุดเดือดที่ต่ำกว่าสารทั่วไป จึงถูกนำมาใช้ในการทำความเย็น โดยที่สารทำความเย็นที่มีจุดเดือดต่ำ จะถูกใช้ในการทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำ และสารทำความเย็นที่มีจุดเดือดสูง จะถูกใช้ในการทำความเย็นที่อุณหภูมิสูงขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน สำหรับชนิดที่นิยมใช้กันมากที่สุด สำหรับแอร์บ้านก็คือ R-22 (freon-22) โดยมีจุดเดือดอยู่ที่ -40.B °C ใช้ในการเติมเข้าภายในระบบเครื่องปรับอากาศ ดังภาพประกอบ 19

ภาพประกอบ 19 สารทำความเย็น R22

3.2.4 เกจแมนนิโฟลด์ (manifold gauge)

เกจแมนิโฟล (manifold gauge) เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดค่าความดันภายในระบบ เพื่อการตรวจซ่อมหรือบริการเครื่องทำความเย็น ประกอบไปด้วย

1. เกจวัดความดันด้านต่ำ (low pressure gauge) ติดตั้งอยู่ทางด้านซ้ายของเกจแมนิโฟลด์ ปกติจะเป็นเกจสีน้ำเงิน ใช้ติดตั้งกับระบบทางด้านความดันต่ำ สามารถอ่านได้ทั้งค่าความดันต่ำและค่าสุญญากาศ คือ ค่าความดันต่ำกว่าบรรยากาศ (vacuum) อ่านค่าได้ตั้งแต่ 0-30 นิ้วปรอท (in.Hg) ค่าความดันต่ำ (low pressure) อ่านค่าได้ตั้งแต่ 0-250 ปอนด์/ตารางนิ้ว ค่าอุณหภูมิที่ระเหยของสารทำความเย็น (evaporating หรือ bolling temperature) อ่านค่าได้จากตัวเลข ตามชนิดของสารทำความเย็น ที่ระบุบนหน้าปัด มีหน่วยเป็น °F

2. เกจวัดความดันด้านสูง (high pressure gauge) ติดตั้งอยู่ทางด้านขวาของเกจแมนิโฟลด์ ปกติจะเป็นเกจสีแดง ใช้ติดตั้งกับระบบทางด้านความดันสูง สามารถอ่านค่าได้คือ ค่าความดันสูงในระบบ (high pressure) อ่านค่าได้ตั้งแต่ 0-500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ใช้สำหรับอ่านค่าความดันด้านสูงของระบบ และค่าอุณหภูมิควบแน่น (condensing temperature) ของสารทำความเย็น อ่านค่าได้จากตัวเลขตามชนิดของสารทำความเย็น ที่ระบุบนหน้าปัด มีหน่วยเป็น °F มีหน้าที่ใช้วัดค่าความดันภายในระบบ เพื่อใช้ในการตรวจวัดแรงดันขณะซ่อม และขณะใช้งาน ดังภาพประกอบ 20

ภาพประกอบ 20 เกจแมนิโฟลด์

3.2.5 ปั๊มแวคคั่ม (vacuum pump)

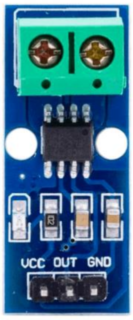
ยี่ห้อ value รุ่น ve125n อัตราการกำจัดอากาศ 150 ลิตร/นาที แรงดันไฟฟ้า 230 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 50 เฮิร์ต ขนาดมอเตอร์ 1/4 แรงม้า ความจุน้ำมัน 250 มิลลิลิตร ขนาดภายนอก 290 x 124 x 224 mm น้ำหนัก 7.1 kg ใช้ในการอัดสุญญากาศเข้าสู่ท่อทำความเย็น ดังภาพประกอบ 21

ภาพประกอบ 21 ปั๊มแวคคั่ม

3.2.6 โมดูลวัดกระแสไฟฟ้า acs712

เป็นอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการวัดค่ากระแสไฟฟ้า ใช้ได้กับไฟฟ้ากระแสตรง dc และไฟฟ้ากระแสสลับ ac สามารถต่อร่วมกับ arduino ได้โดยตรง ใช้ ic เบอร์ acs712-20A ในการวัดกระแส สามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้าได้ถึง 20 แอมป์ ซึ่งคุณสมบัติของโมดูลวัดกระแสไฟฟ้า acs712 มีดังต่อไปนี้

- วัดกระแสในย่าน -20 ถึง +20A (วัดได้ทั้งกระแส ac และ dc)
- ใช้แหล่งจ่ายแรงดัน 5 V
- ความไวเอาต์พุต 100 mV/A



ภาพประกอบ 22 โมดูลวัดกระแสไฟฟ้า acs712

3.2.7 บอร์ด arduino uno smd

Arduino คือบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ (mcu) เป็นชิ้นส่วนหลัก ถูกนำมาประกอบร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน โดยบอร์ด arduino เองก็มีหลายรุ่นให้เลือกใช้ โดยในแต่ละรุ่นอาจมีความแตกต่างกันในเรื่องขนาดของบอร์ด หรือสเปค เช่น จำนวนของขารับส่งสัญญาณ แรงดันไฟที่ใช้ ประสิทธิภาพของ mcu เป็นต้น ซึ่งบอร์ด Arduino uno smd มีคุณสมบัติดังนี้

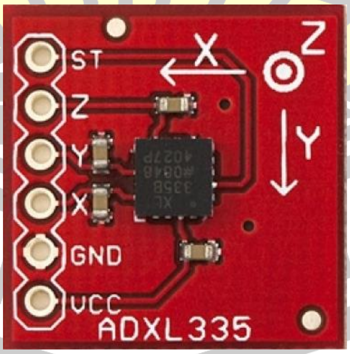
ภาพประกอบ 23 บอร์ด arduino uno smd

ตาราง 6 รายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะของบอร์ด arduino uno smd

คุณลักษณะเฉพาะทางเทคนิค (technic specifications)	
ชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์	atmega328
ใช้แรงดันไฟฟ้า	5V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7-12V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6-20V
พอร์ต digital i/o	14 พอร์ต (มี 6 พอร์ต pwm output)
พอร์ต analog input	6 พอร์ต
กระแสไฟฟ้าที่จ่ายในแต่ละพอร์ต	40mA
กระแสไฟฟ้าที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3V	50mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	32kb
พื้นที่แรม	2kb
พื้นที่หน่วยความจำถาวร	1kb
ความถี่คริสตัล	16MHz
ขนาด	68.6X53.4 mm
น้ำหนัก	25 กรัม

3.2.8 เซ็นเซอร์ความเร่ง adxl 335

เซ็นเซอร์ความเร่ง adxl 335 ทำหน้าที่ในการตรวจวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องคอนเดนเซอร์ในแนวแกน x y และ z ดังภาพประกอบ 24



ภาพประกอบ 24 เซ็นเซอร์ความเร่ง adxl 335

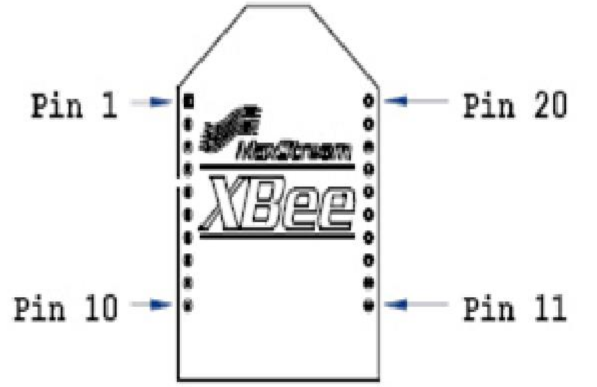
3.2.9 ไมโครคอนโทรลเลอร์ atmega328p

ใช้สำหรับแปลงลักษณะสัญญาณ จากสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล ที่รับมาจากเซ็นเซอร์ความ เร่ง adxl 335 ดังภาพประกอบ 25

ภาพประกอบ 25 ไมโครคอนโทรลเลอร์ atmega328p

3.2.10 เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย หรือ ตัวรับ-ส่งสัญญาณแบบไร้สาย x-bee

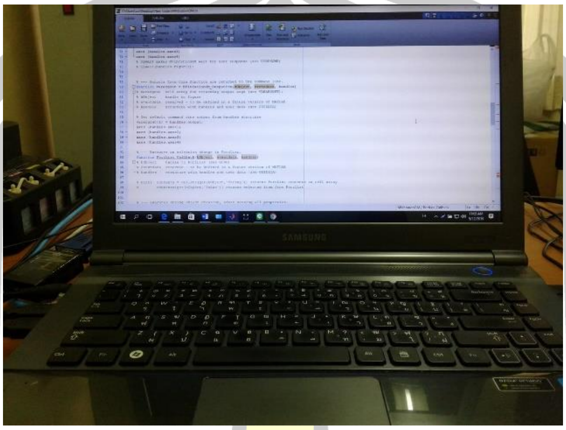
x-bee pro 60 mW wire antenna (x-bee series 1) เป็นโมดูลรับส่งสัญญาณไร้สาย ย่านความถี่ 2.4 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่วิทยุสมัครเล่น ตามมาตรฐานโปรโตคอล zig-bee/ieee 802.15 ใช้พลังงานต่ำ สายอากาศ แบบ Whip Antenna ซึ่งสามารถส่งสัญญาณได้ไกลถึง 1.5 กิโลเมตร ทำหน้าที่รับ-ส่งสัญญาณการสั่นสะเทือน ที่วัดค่าได้จากเซนเซอร์ความเร่ง adxl 335 ส่งไปยังโปรแกรม x-ctu ดังภาพประกอบ 26



ภาพประกอบ 26 ตัวรับส่งสัญญาณแบบไร้สาย x-bee

3.2.11 โน๊ตบุ๊ค (notebook)

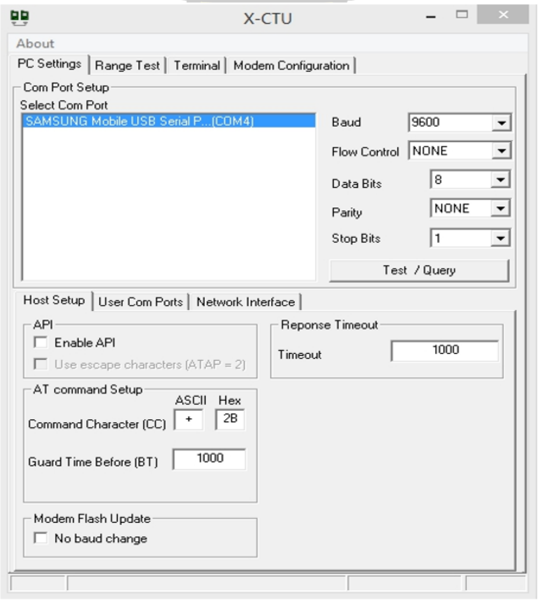
ทำหน้าที่ประมวลผล จากการรับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ทำการแปลงสัญญาณจากเซ็นเซอร์ความเร่ง adxl 335 ที่วัดการสั่นสะเทือนในแนวแกน x y และ z ดังภาพประกอบ 27



ภาพประกอบ 27 โน๊ตบุ๊ค (notebook)

3.2.12 โปรแกรม x-ctu

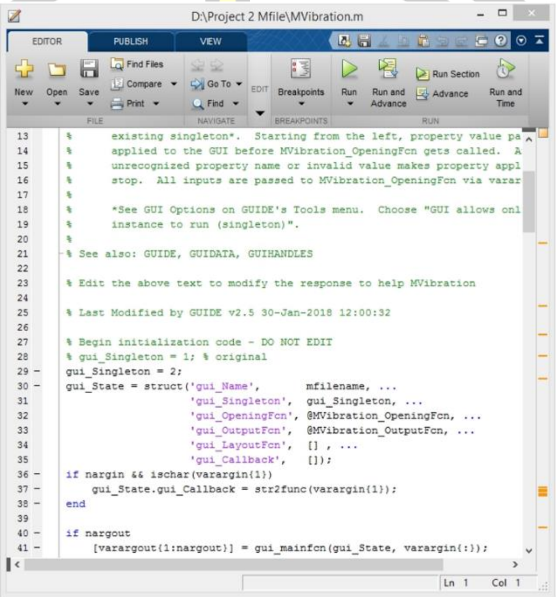
มีหน้าที่รับและประมวลผลสัญญาณเพื่อหาแอมพลิจูด หรือขนาดของการสั่นสะเทือนของคอยล์ร้อน ที่ส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์คำนวณที่เขียนไว้ในโปรแกรม matlab ทำหน้าที่รับสัญญาณข้อมูลมาวิเคราะห์ผล และทำการประมวลผลต่อไป แสดงดังภาพประกอบ 28



ภาพประกอบ 28 โปรแกรม x-ctu

3.2.13 โปรแกรม matlab

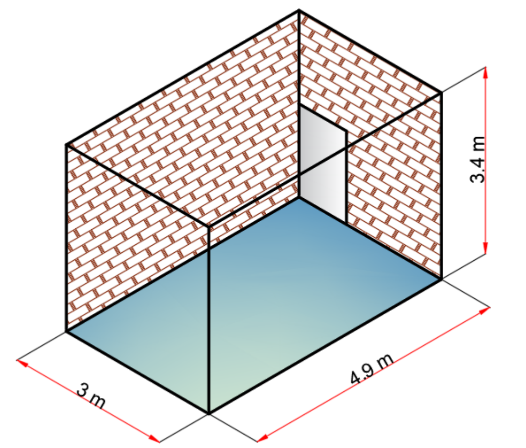
มีหน้าที่สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลพิกัดตำแหน่งที่ได้จากโปรแกรม x–ctu โดยการนำพิกัดมาพล็อตเป็นกราฟในลักษณะของแกน x y และ z เพื่อหาแอมพลิจูดโดยรวม และค่าสเปคตรัมสูงสุดของการสั่นสะเทือน ดังภาพประกอบ 29



ภาพประกอบ 29 โปรแกรม matlab

3.2.14 ขนาดของห้องทดลอง

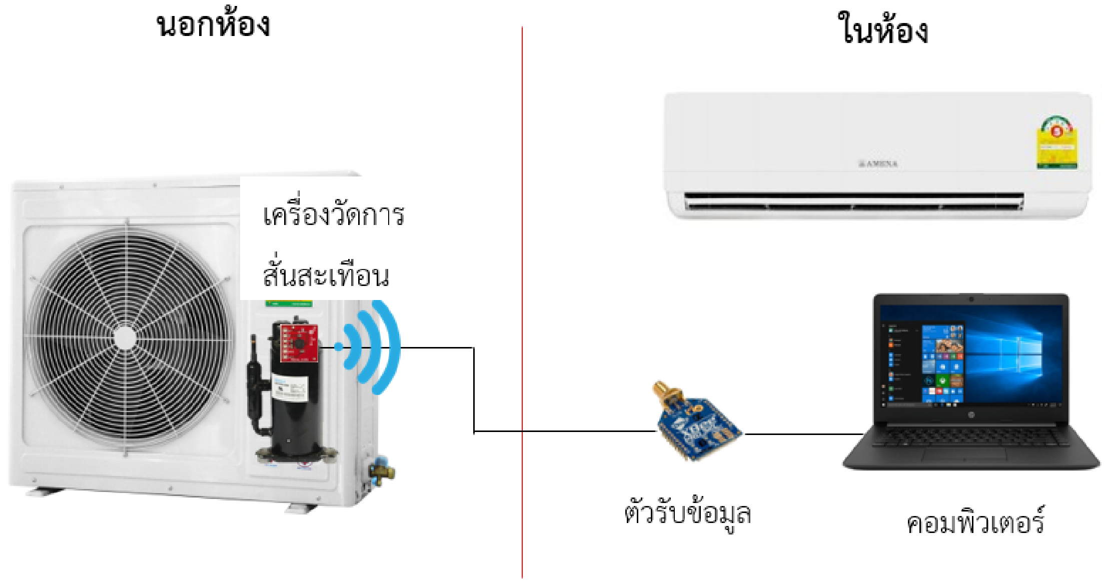
ห้องที่ใช้ในการทดลองมีความกว้าง 3 เมตร ยาว 4.9 เมตร และ สูง 3.4 เมตร แสดงดังภาพประกอบ 30



ภาพประกอบ 30 ขนาดของห้องทดลอง

3.3 การทดลองวัดค่าการสั่นสะเทือน

การศึกษานี้ จะทดลองการสั่นสะเทือนของคอมเพรสเซอร์ เพื่อวิเคราะห์หาค่าสเปกตรัมสูงสุด ของการสั่นสะเทือน และกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ ในสภาวะของสารทำความเย็นภายในระบบที่ระดับต่าง ๆ โดยมีเงื่อนไข คือ สารทำความเย็นภายในระบบเท่ากับ 80 60 และ 40 psi ปรับอุณภูมิห้องแต่ละการทดลองเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ต่อ 1 ความดัน ใช้เวลาในการทดลองครั้งละ 60 นาที ซึ่งขั้นตอนและวิธีการในการทดลอง มีดังต่อไปนี้

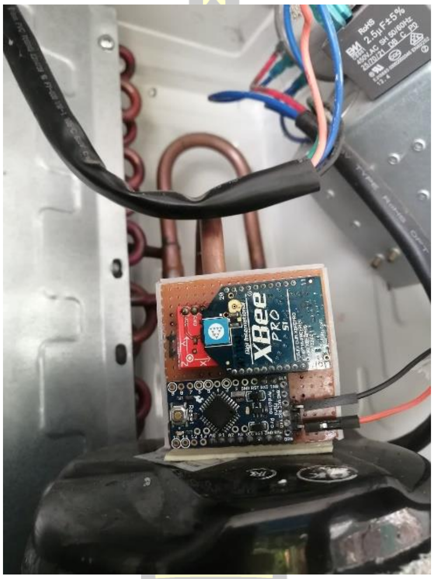


ภาพประกอบ 31 ไดอะแกรมของระบบ

จากแผนภาพไดอะแกรมของระบบ ขณะที่เครื่องปรับอากาศทำงาน เครื่องวัดการสั่นสะเทือน ที่ถูกติดตั้งอยู่ที่ตัวของคอมเพรสเซอร์ จะส่งสัญญาณความเร็วและความเร่งของแกน x y และ z ในรูปของสัญญาณอนาล็อกมาที่ตัวรับสัญญาณ X-bee ที่ถูกเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำการแปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล และส่งไปประมวลผลการสั่นสะเทือนที่เครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม matlab จากนั้นโปรแกรม matlab จะทำการประมวลผลในรูปแบบของกราฟการสั่นสะเทือนของแกน x y และ z เพื่อหาแอมพลิจูดรวมของการสั่นสะเทือนทั้งสามแนวแกน แล้วนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ผลการสั่นสะเทือนในรูปของสเปกตรัมต่อไป ซึ่งการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.1 ติดตั้งเซ็นเซอร์ความเร่ง adxl 335

เซ็นเซอร์ความเร่ง adxl 335 ที่สามารถวัดค่าการสั่นสะเทือนได้ทั้งแกน x y และ z ถูกติดตั้งเข้าที่ตัวของคอมเพรสเซอร์ เพื่อทำการวัดค่าการสั่นสะเทือน ในขณะที่คอมเพรสเซอร์ทำงาน และหยุดการทำงาน โดยที่มีสารทำความเย็นภายในระบบ มีค่าตามที่กำหนด และส่งสัญญาณการสั่นสะเทือนไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการประมวลผลต่อไป ดังภาพประกอบ 32



ภาพประกอบ 32 ลักษณะการติดตั้งเซ็นเซอร์ความเร่ง adxl 335

3.3.2 เปิดแอร์ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส

เปิดแอร์ภายในห้องทดลองไว้ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส รอประมาณ 30 นาที เพื่อให้อุณหภูมิภายในห้องคงที่ จากนั้นทำการทดลองตามขั้นตอนต่อไป

ภาพประกอบ 33 เปิดแอร์ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส

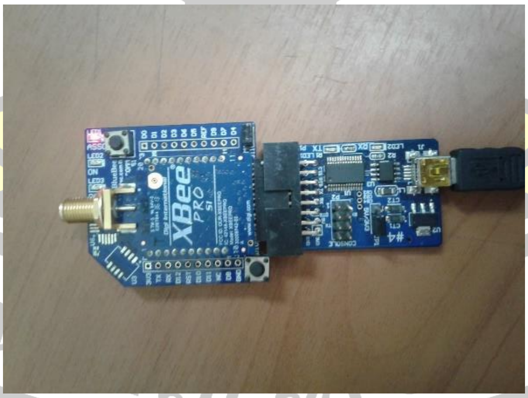
3.3.3 เติมสารทำความเย็นเข้าในระบบที่ความดัน 80 psi

ใช้สารทำความเย็น R22 เติมเข้าในระบบ ให้มีค่าความดันเท่ากับ 80 psi โดยที่ค่าความดันในระบบ สามารถวัดค่าได้จากเกจแมนิโฟลด์ด้านความดันต่ำ ดังภาพประกอบ 34

ภาพประกอบ 34 สารทำความเย็นในระบบเท่ากับ 80 psi

3.3.4 เชื่อมต่อชุดไมโครคอลโทรลเลอร์เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์

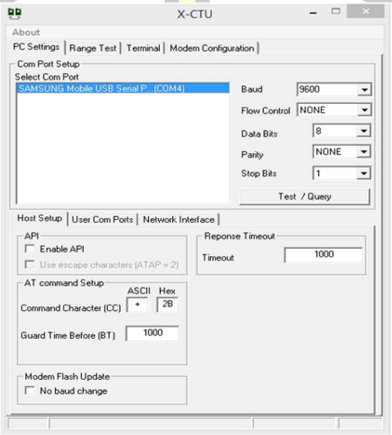
ทำการเชื่อมต่อชุดไมโครคอลโทรลเลอร์ เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อรับสัญญาณจากเซ็นเซอร์ความเร่ง adxl 335 และส่งข้อมูลไปที่โปรแกรม matlab เพื่อทำการวิเคราะห์ผลและประมวลผล ดังภาพประกอบ 35



ภาพประกอบ 35 เชื่อมต่อชุดไมโครคอลโทรลเลอร์เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์

3.3.5 โปรแกรม x-ctu

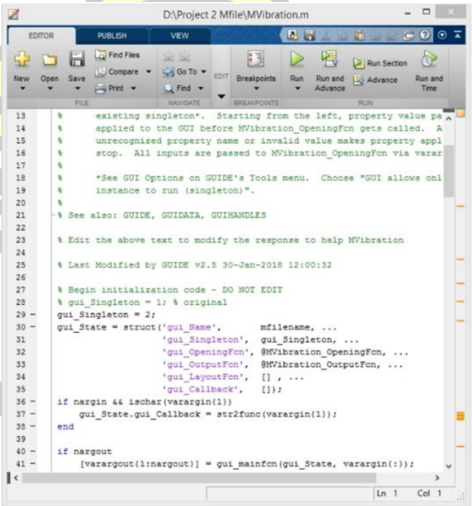
เปิดโปรแกรม x-ctu เพื่อทำการรับสัญญาณ จากชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ ขณะเดียวกัน ลำดับชุดคำสั่งที่เขียนขึ้นในโปรแกรม matlab จะรับสัญญาณของผลการสั่นสะเทือนจากการทดลอง มาทำการวิเคราะห์ ดังภาพประกอบ 36



ภาพประกอบ 36 โปรแกรม x-ctu

3.3.6 โปรแกรม matlab

เปิดไฟล์ชุดคำสั่งที่เขียนขึ้นในโปรแกรม matlab เพื่อทำการรับข้อมูลจากโปรแกรม x–ctu แล้วทำการประมวลผลที่เกิดขึ้นจากการทดลอง จากนั้นนำผลที่ได้จากการทดลอง ไปวิเคราะห์หาค่าสเปกตรัม จากการสั่นสะเทือนของคอมเพรสเซอร์ ในขณะที่สารทำความเย็นในระบบ มีค่าที่ระดับต่าง ๆ ตามที่กำหนด ดังภาพประกอบ 37



ภาพประกอบ 37 โปรแกรม matlab

3.3.7 ข้อมูลการรันโปรแกรม

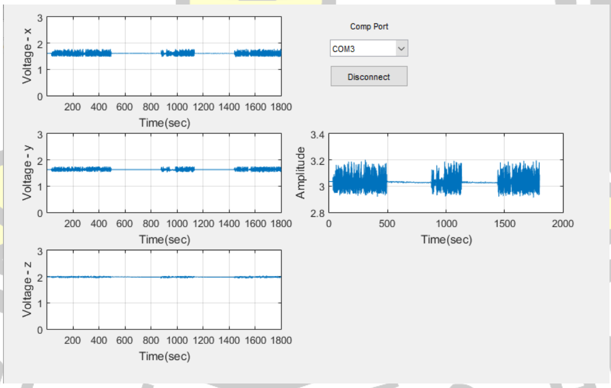
ทำการทดลอง 60 นาที เท่ากับ 3600 วินาที ข้อมูลที่ได้จากการรันโปรแกรม จะนำไปพล็อตในรูปของกราฟ เพื่อหาค่าแอมพลิจูดโดยรวมของการสั่นสะเทือนในแนวแกน x y และ z และนำไปวิเคราะห์หาค่าสเปกตรัมสูงสุดของการสั่นสะเทือนต่อไป

1.7750	0.0010	0.0010	0.0016	0.0016	0.0020
1.7760	0.0009	0.0010	0.0016	0.0016	0.0020
1.7770	0.0009	0.0010	0.0016	0.0016	0.0020
1.7780	0.0010	0.0010	0.0016	0.0016	0.0020
1.7790	0.0009	0.0010	0.0016	0.0016	0.0020
1.7800	0.0009	0.0010	0.0016	0.0016	0.0020
1.7810	0.0009	0.0010	0.0016	0.0016	0.0020
1.7820	0.0009	0.0010	0.0016	0.0016	0.0020
1.7830	0.0009	0.0010	0.0016	0.0016	0.0020
1.7840	0.0009	0.0010	0.0016	0.0016	0.0020
1.7850	0.0010	0.0010	0.0016	0.0016	0.0020
1.7860	0.0009	0.0010	0.0016	0.0016	0.0020
1.7870	0.0009	0.0010	0.0016	0.0016	0.0020
1.7880	0.0009	0.0010	0.0016	0.0016	0.0020
1.7890	0.0009	0.0010	0.0016	0.0016	0.0020
1.7900	0.0009	0.0010	0.0016	0.0016	0.0020
1.7910	0.0009	0.0010	0.0016	0.0016	0.0020
1.7920	0.0009	0.0010	0.0016	0.0016	0.0020
1.7930	0.0009	0.0010	0.0016	0.0016	0.0020
1.7940	0.0009	0.0010	0.0016	0.0016	0.0020
1.7950	0.0009	0.0010	0.0016	0.0016	0.0020
1.7960	0.0009	0.0010	0.0016	0.0016	0.0020
1.7970	0.0009	0.0010	0.0016	0.0016	0.0020
1.7980	0.0009	0.0010	0.0016	0.0016	0.0020
1.7990	0.0009	0.0010	0.0016	0.0016	0.0020
1.8000	0.0009	0.0010	0.0016	0.0016	0.0020

ภาพประกอบ 38 ข้อมูลการรันโปรแกรม

3.3.8 แอมพลิจูดรวมของการสั่นสะเทือน

จากภาพประกอบ 39 แสดงค่าแอมพลิจูดโดยรวมของการสั่นสะเทือนในแนวแกน x y และ z โดยการนำเอาข้อมูลการสั่นสะเทือนของทั้งสามแกน มาพล็อตรวมกันเพื่อหาค่าแอมพลิจูด และวิเคราะห์ลักษณะการสั่นสะเทือน จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าสเปกตรัมสูงสุดของการสั่นสะเทือนต่อไป



ภาพประกอบ 39 แอมพลิจูดรวมของการสั่นสะเทือน

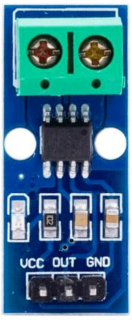
การทดลองครั้งต่อไป ที่ระดับความดันของสารทำความเย็นภายในระบบ ที่ระดับ 60 และ 40 psi สามารถดำเนินการทดลองได้ตามหัวข้อที่ 3.3.1 จนถึงหัวข้อที่ 3.3.8 ตามลำดับ จนครบตามเงื่อนไขของการทดลองที่กำหนด

3.4 การทดลองวัดค่ากระแสไฟฟ้า

การศึกษานี้ จะทดลองการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับคอมเพรสเซอร์ ขณะที่คอมเพรสเซอร์ตัดและต่อการทำงาน โดยใช้เซ็นเซอร์ในการวัดค่ากระแสไฟฟ้า เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่ากระแสไฟฟ้าในขณะที่ความดันของสารทำความเย็นในระบบ และอุณหภูมิภายในห้องที่ระดับต่าง ๆ โดยมีเงื่อนไข คือ สารทำความเย็นภายในระบบเท่ากับ 80 60 และ 40 psi ปรับอุณภูมิห้องแต่ละการทดลองเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทดลองครั้งละ 60 นาที จำนวน 3 ครั้ง ต่อ 1 การทดลอง ซึ่งอุปกรณ์และหลักการทำงาน มีดังต่อไปนี้

3.4.1 โมดูลวัดกระแสไฟฟ้า acs712

ทำหน้าที่วัดค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ แล้วทำการส่งข้อมูลไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลที่โปรแกรม arduino



ภาพประกอบ 40 โมดูลวัดกระแสไฟฟ้า acs712

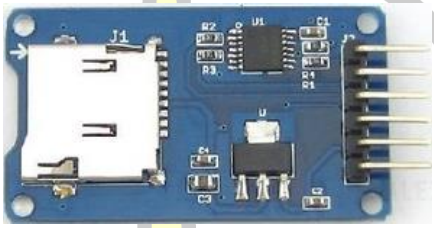
3.4.2 บอร์ด arduino uno smd

arduino uno คือ การนำชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลต่าง ๆ มาใช้ร่วมกันในภาษา c โดยการเขียนไลบารี่ขึ้นมา เพื่อให้สั่งงานไมโครคอนโทรลเลอร์ที่แตกต่างกัน ให้สามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด

ภาพประกอบ 41 บอร์ด arduino uno smd

3.4.3 โมดูลบันทึกข้อมูล

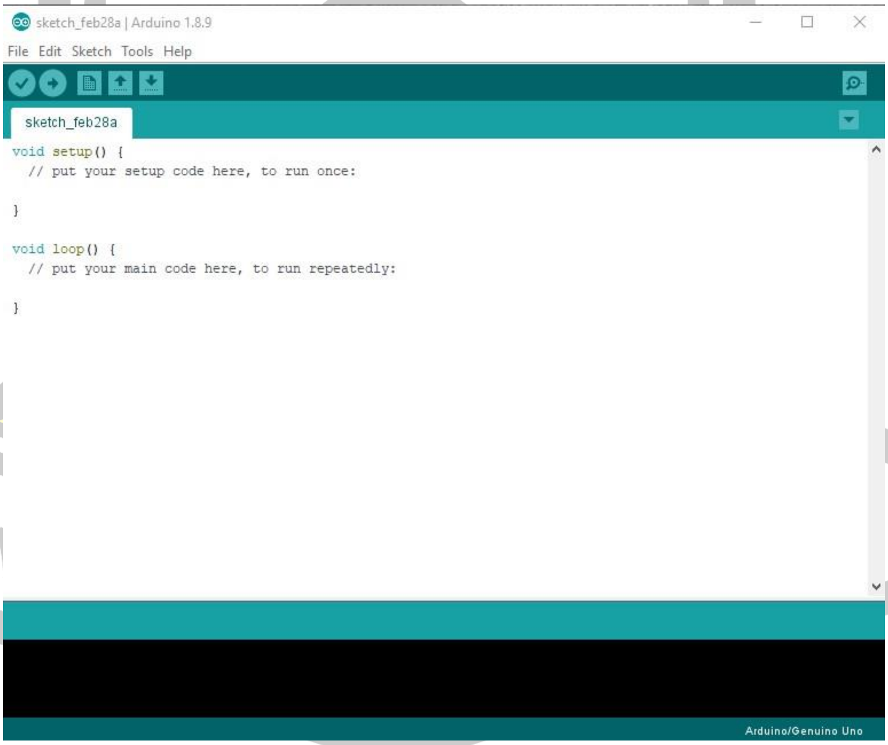
micro sd card module เป็นโมดูลสำหรับบันทึกข้อมูลที่ได้จากการวัดค่ากระแสไฟฟ้า มาเก็บไว้ที่ตัว sd card เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ค่ากระแสไฟฟ้าเทียบกับเวลา ขณะที่ความดันของสารทำความเย็นในระบบ และอุณหภูมิภายในห้องที่ระดับต่าง ๆ



ภาพประกอบ 42 โมดูลบันทึกข้อมูล

3.4.4 โปรแกรม arduino

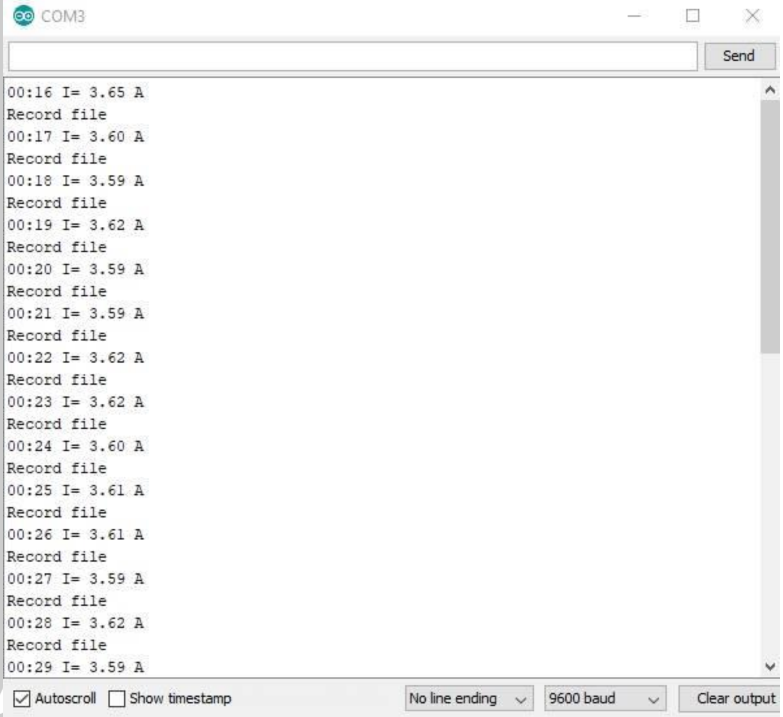
เป็นโปรแกรมทางด้านภาษา c โดยเขียนไลบารี่เพื่อควบคุมบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ต่าง ๆ ให้ทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนด



ภาพประกอบ 43 โปรแกรม arduino

3.4.5 ข้อมูลการรันโปรแกรม

จากการศึกษาและทดลองวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์แอร์ โดยใช้เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า ที่เงื่อนไขการทดลองที่อุณหภูมิภายในห้องและความดันของสารทำความเย็นในระบบที่ระดับต่าง ๆ โดยตั้งค่าการวัดกระแสไฟฟ้าทุก ๆ 1 วินาที จนครบ 60 นาที ต่อ 1 การทดลอง เมื่อทำการรันโปรแกรมจะได้ผลการทดลองจำนวน 2 ค่า คือ ช่องที่ 1 จะแสดงค่าของเวลา ช่องที่ 2 จะแสดงค่าของกระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถนำผลการทดลองที่ได้ ไปวิเคราะห์หาปริมาณการจ่ายกระแสไฟฟ้าของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง และวิเคราะห์ความผิดปกติของการจ่ายกระแสไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ เพื่อบำรุงเชิงป้องกันเครื่องปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีต่อไป

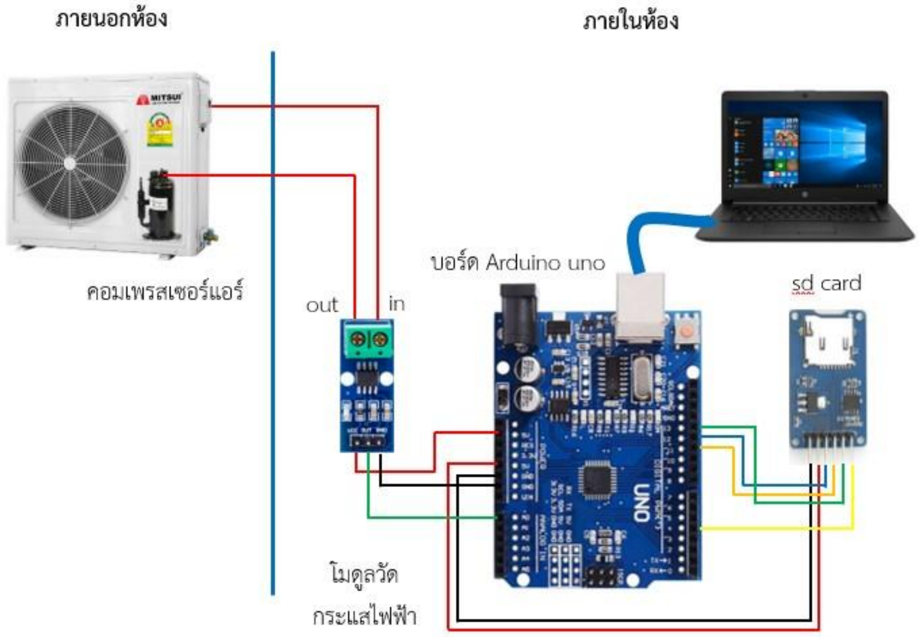


ภาพประกอบ 44 ข้อมูลการรันโปรแกรม

พหุนำ ปณฺฑิโต ชีเว

3.4.6 หลักการทำงาน

ในขณะที่เปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ โมดูลวัดค่ากระแสไฟฟ้า acs712 จะทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าก่อนที่จะเข้าคอมเพรสเซอร์แอร์ แล้วทำการส่งค่าไปที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล และแสดงผลที่ตัวโปรแกรม arduino ผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ค่าที่ได้ถูกบันทึกไว้ใน sd card เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์แอร์ ในขณะที่ความดันของสารทำความเย็นภายในระบบ และอุณหภูมิภายในห้องที่ระดับต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ และบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีต่อไป



ภาพประกอบ 45 วงจรการทำงานของโมดูลวัดค่ากระแสไฟฟ้า

บทที่ 4
ผลการทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงผลที่ได้จากการทดลอง การวิเคราะห์ระดับสารทำความเย็น ในเครื่องปรับอากาศด้วยการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน ในส่วนของคอมเพรสเซอร์แอร์ ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 12,075.41 บีทียู/ชั่วโมง เทียบกับการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับคอมเพรสเซอร์ ในขณะที่คอมเพรสเซอร์ตัดและต่อการทำงาน โดยมีเงื่อนไขการทดลอง คือ

1. ที่ระดับสารทำความเย็นภายในระบบเท่ากับ 80 60 และ 40 psi กรณีน็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว
2. ที่ระดับสารทำความเย็นภายในระบบเท่ากับ 80 60 และ 40 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร
3. อุณหภูมิภายในห้องเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส
4. ทำการทดลอง 3 ครั้ง ครั้งละ 60 นาที ต่อ 1 ความดัน
5. ที่เงื่อนไขการทำงานผิดปกติของคอมเพรสเซอร์ เนื่องจากแผ่นกรองอากาศสกปรก ที่ระดับสารทำความเย็น 80 60 และ 40 psi

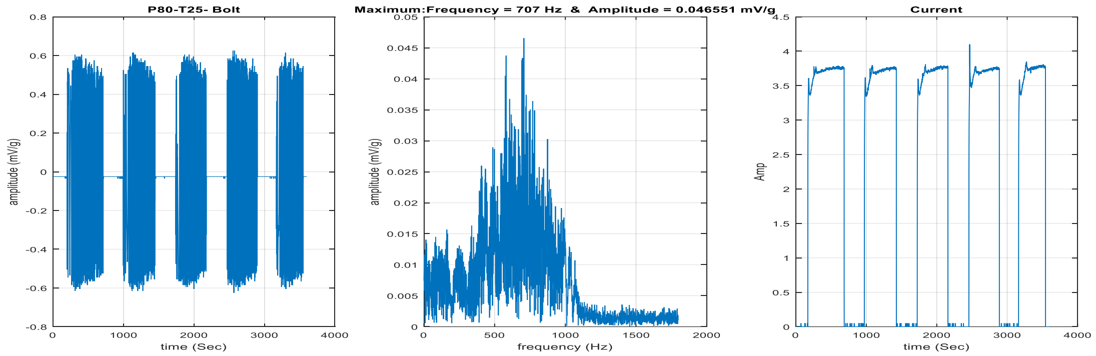
จากการทดลองโดยใช้เครื่องวัดการสั่นสะเทือน ในการวัดแรงสั่นสะเทือนของคอมเพรสเซอร์ขณะที่ระดับสารทำความเย็นภายในระบบมีค่าเท่ากับ 80 60 และ 40 psi กรณีน็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร และในกรณีที่น็อตฐานของคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว พร้อมทั้งวัดปริมาณการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับคอมเพรสเซอร์แอร์ โดยใช้โมดูลวัดค่ากระแสไฟฟ้า จากผลการทดลองที่เงื่อนไขต่าง ๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

พหูนํ ปณฺฑิโต ชีเว

4.1 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 80 60 และ 40 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว

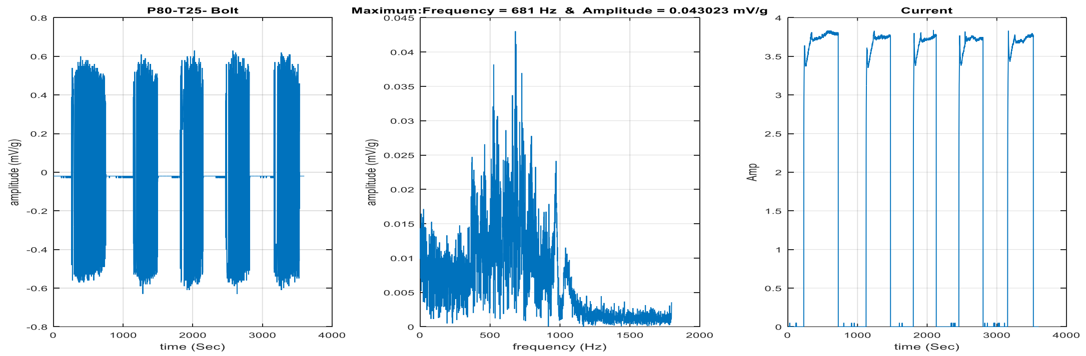
4.1.1 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi

ครั้งที่ 1



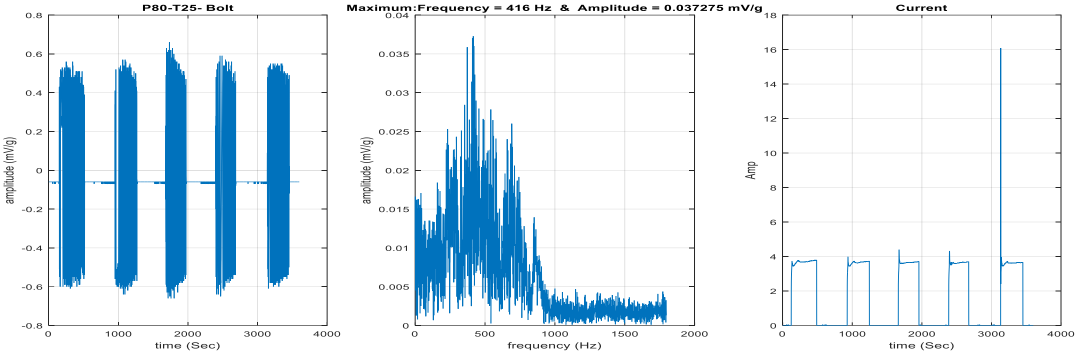
ภาพประกอบ 46 ผลการทดลองครั้งที่ 1 ที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว

ครั้งที่ 2



ภาพประกอบ 47 ผลการทดลองครั้งที่ 2 ที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว

ครั้งที่ 3



ภาพประกอบ 48 ผลการทดลองครั้งที่ 3 ที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว

จากผลการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ที่ระดับสารทำความเย็นเท่ากับ 80 psi ที่อุณหภูมิภายในห้องเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส เทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ กรณีน็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว จากการทดลองที่เวลา 60 นาที สามารถสรุปได้ดังนี้

1. กราฟแสดงค่าแอมพลิจูดเทียบกับเวลา ขณะที่คอมเพรสเซอร์เริ่มทำงาน แอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนในช่วงแรก จะมีระดับการสั่นสะเทือนที่สูง เนื่องจากน็อตฐานของคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว รวมไปถึงการใช้กำลังงานขับมอเตอร์ขณะสตาร์ทสูง แรงบิดสูง และจะค่อย ๆ ลดต่ำลงจนเริ่มคงที่ ซึ่งการสั่นสะเทือนจะมีค่าอยู่ในช่วงแอมพลิจูดเฉลี่ย 0 ถึง 0.6 mV/g และ 0 ถึง -0.6 mV/g

2. กราฟแสดงค่าแอมพลิจูดเทียบกับความถี่ของการสั่นสะเทือน แอมพลิจูดคือ ระยะกระจัดสูงสุดของการเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือนที่วัดจากตำแหน่งเฉลี่ย ซึ่งมีค่าเฉลี่ยในช่วง 0.037 ถึง 0.047 mV/g และค่าความถี่ คือความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบของการเคลื่อนที่ หรือจำนวนรอบของการหมุนต่อหน่วยเวลาของมอเตอร์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยในช่วง 400 ถึง 700 Hz

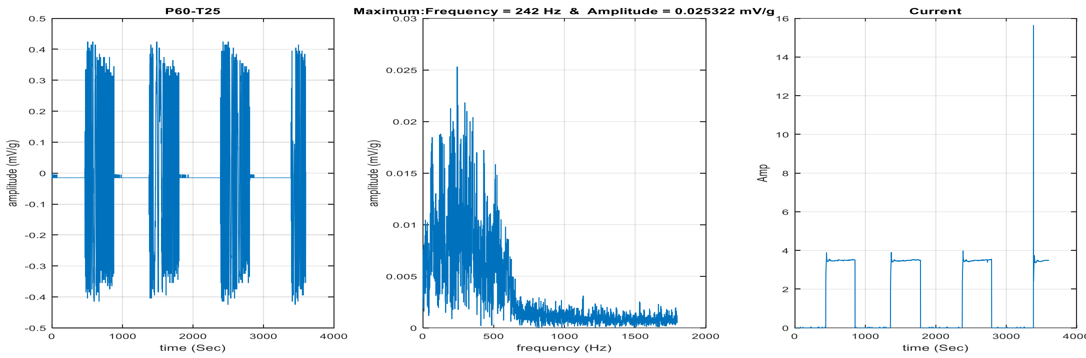
3. กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าเทียบกับเวลา เนื่องจากมอเตอร์เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนลูกสูบของคอมเพรสเซอร์แอร์ เพื่อดูดและอัดสารทำความเย็นให้กับระบบ ซึ่งภายในมอเตอร์จะมีขดลวดพันอยู่ 2 ชุด คือ ขดลวดรัน และขดลวดสตาร์ท แต่เนื่องด้วยขดลวดชุดสตาร์ทต่ออนุกรมกับคาปาซิเตอร์ จึงส่งผลให้ช่วงทำงานเริ่มต้นของคอมเพรสเซอร์มีแรงบิดสูง และใช้กระแสไฟฟ้าสูงเพียงแค่ช่วงการสตาร์ทการทำงาน ภายหลังที่มอเตอร์หมุนออกตัวได้ปกติ ขดลวดสตาร์ทจะถูกตัดการทำงาน และขดลวดรันจะเป็นตัวจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับคอมเพรสเซอร์ ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ในช่วงการทำงานปกติ มีค่าเฉลี่ยในช่วง 3.63 ถึง 3.68 แอมแปร์

ตาราง 7 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว

ครั้งที่	อุณหภูมิห้อง ˚C	ผลการสั่นสะเทือนที่ให้แอมพลิจูดสูงสุด		กระแสไฟฟ้า	
		ความถี่ Hz	แอมพลิจูด mV/g	คอมเพรสเซอร์ทำงาน Amp	คอมเพรสเซอร์ตัดการทำงาน Amp
1	25	707	0.046551	3.68	0
2	25	681	0.043023	3.68	0
3	25	416	0.037275	3.64	0

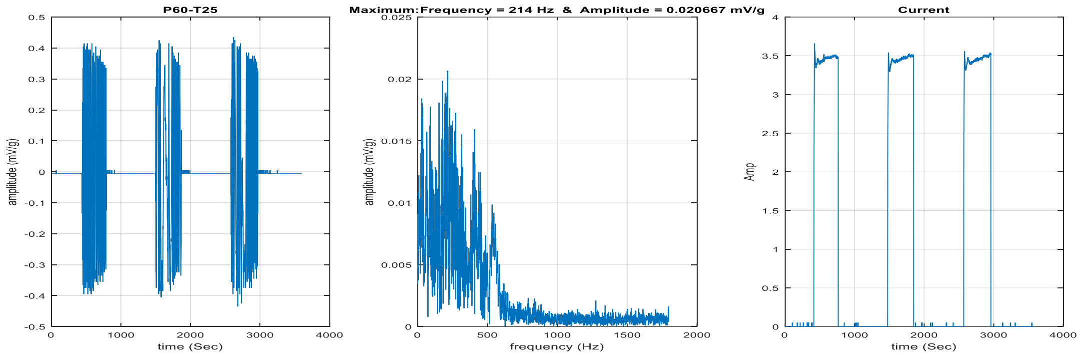
4.1.2 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi

ครั้งที่ 1



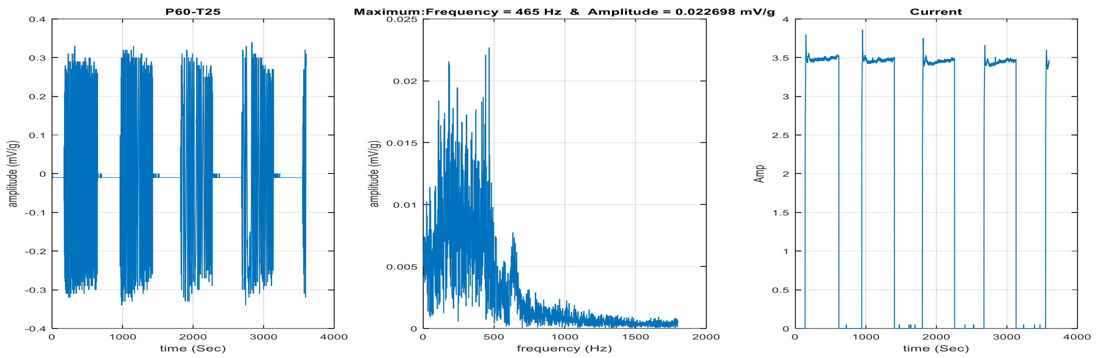
ภาพประกอบ 49 ผลการทดลองครั้งที่ 1 ที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว

ครั้งที่ 2



ภาพประกอบ 50 ผลการทดลองครั้งที่ 2 ระดับสารทำความเย็น 60 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว

ครั้งที่ 3



ภาพประกอบ 51 ผลการทดลองครั้งที่ 3 ที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว

จากผลการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ที่ระดับสารทำความเย็นเท่ากับ 60 psi ที่อุณหภูมิภายในห้องเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส เทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ กรณีน็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว จากการทดลองที่เวลา 60 นาที สามารถสรุปได้ดังนี้

1. กราฟแสดงค่าแอมพลิจูดเทียบกับเวลา ขณะที่คอมเพรสเซอร์เริ่มทำงาน แอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนในช่วงแรก จะมีระดับการสั่นสะเทือนที่สูง เนื่องจากน็อตฐานของคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว รวมไปถึงการใช้กำลังงานขับมอเตอร์ขณะสตาร์ทสูง แรงบิดสูง และจะค่อย ๆ ลดต่ำลงจนเริ่มคงที่ซึ่งการสั่นสะเทือนจะมีค่าอยู่ในช่วงแอมพลิจูดเฉลี่ย 0 ถึง 0.3 mV/g และ 0 ถึง -0.3 mV/g

2. กราฟแสดงค่าแอมพลิจูดเทียบกับความถี่ของการสั่นสะเทือน แอมพลิจูดคือ ระยะกระจัดสูงสุดของการเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือนที่วัดจากตำแหน่งเฉลี่ย ซึ่งมีค่าเฉลี่ยในช่วง 0.020 ถึง 0.026 mV/g และค่าความถี่ คือความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบของการเคลื่อนที่ หรือจำนวนรอบของการหมุนต่อหน่วยเวลาของมอเตอร์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยในช่วง 200 ถึง 500 Hz

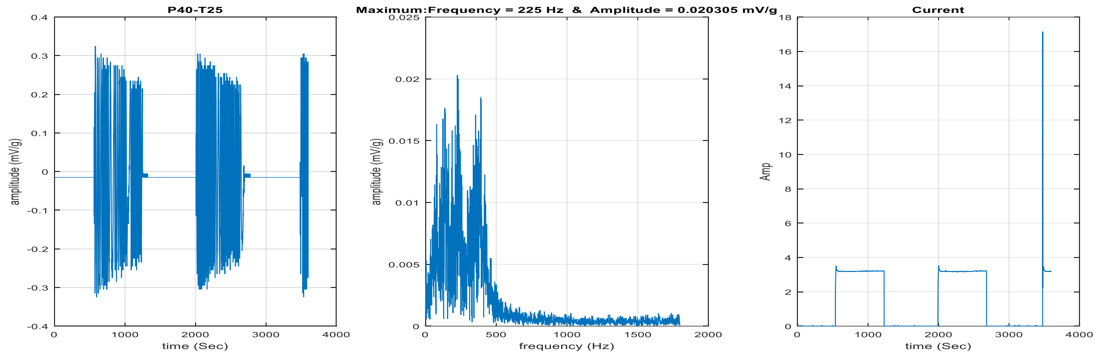
3. กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าเทียบกับเวลา เนื่องจากมอเตอร์เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนลูกสูบของคอมเพรสเซอร์แอร์ เพื่อดูดและอัดสารทำความเย็นให้กับระบบ ซึ่งภายในมอเตอร์จะมีขดลวดพันอยู่ 2 ชุด คือ ขดลวดรัน และขดลวดสตาร์ท แต่เนื่องด้วยขดลวดชุดสตาร์ทต่ออนุกรมกับคาปาซิเตอร์จึงส่งผลให้ช่วงทำงานเริ่มต้นของคอมเพรสเซอร์มีแรงบิดสูง และใช้กระแสไฟฟ้าสูงเพียงแค่ช่วงการสตาร์ทการทำงาน ภายหลังที่มอเตอร์หมุนออกตัวได้ปกติ ขดลวดสตาร์ทจะถูกตัดการทำงาน และขดลวดรันจะเป็นตัวจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับคอมเพรสเซอร์ ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ในช่วงการทำงานปกติ มีค่าเฉลี่ยในช่วง 3.44 ถึง 3.47 แอมแปร์

ตาราง 8 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว

ครั้งที่	อุณหภูมิห้อง °C	ผลการสั่นสะเทือนที่ให้แอมพลิจูดสูงสุด		กระแสไฟฟ้า	
		ความถี่ Hz	แอมพลิจูด mV/g	คอมเพรสเซอร์ทำงาน Amp	คอมเพรสเซอร์ตัดการทำงาน Amp
1	25	242	0.025322	3.47	0
2	25	214	0.020667	3.66	0
3	25	465	0.022698	3.45	0

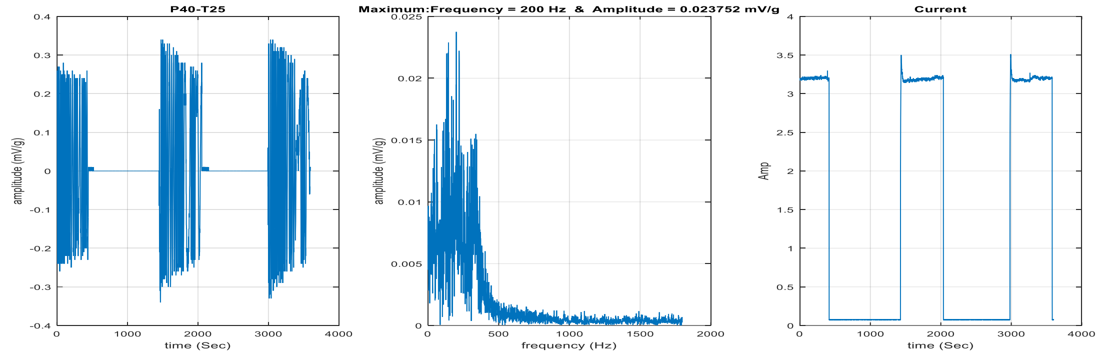
4.1.3 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว

ครั้งที่ 1



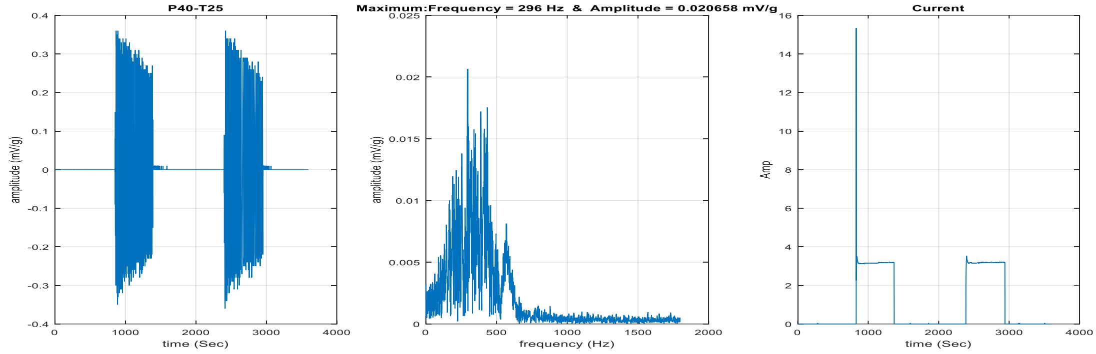
ภาพประกอบ 52 ผลการทดลองครั้งที่ 1 ที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว

ครั้งที่ 2



ภาพประกอบ 53 ผลการทดลองครั้งที่ 2 ที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว

ครั้งที่ 3



ภาพประกอบ 54 ผลการทดลองครั้งที่ 3 ที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว

จากผลการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ที่ระดับสารทำความเย็นเท่ากับ 40 psi ที่อุณหภูมิภายในห้องเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส เทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ กรณีน็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว จากการทดลองที่เวลา 60 นาที สามารถสรุปได้ดังนี้

1. กราฟแสดงค่าแอมพลิจูดเทียบกับเวลา ขณะที่คอมเพรสเซอร์เริ่มทำงาน แอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนในช่วงแรก จะมีระดับการสั่นสะเทือนที่สูง เนื่องจากน็อตฐานของคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว รวมไปถึงการใช้กำลังงานขับมอเตอร์ขณะสตาร์ทสูง แรงบิดสูง และจะค่อย ๆ ลดต่ำลงจนเริ่มคงที่ ซึ่งการสั่นสะเทือนจะมีค่าอยู่ในช่วงแอมพลิจูดเฉลี่ย 0 ถึง 0.2 mV/g และ 0 ถึง -0.2 mV/g

2. กราฟแสดงค่าแอมพลิจูดเทียบกับความถี่ของการสั่นสะเทือน แอมพลิจูดคือ ระยะกระจัดสูงสุดของการเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือนที่วัดจากตำแหน่งเฉลี่ย ซึ่งมีค่าเฉลี่ยในช่วง 0.020 ถึง 0.023 mV/g และค่าความถี่ คือความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบของการเคลื่อนที่ หรือจำนวนรอบของการหมุนต่อหน่วยเวลาของมอเตอร์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยในช่วง 200 ถึง 300 Hz

3. กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าเทียบกับเวลา เนื่องจากมอเตอร์เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนลูกสูบของคอมเพรสเซอร์แอร์ เพื่อดูดและอัดสารทำความเย็นให้กับระบบ ซึ่งภายในมอเตอร์จะมีขดลวดพันอยู่ 2 ชุด คือ ขดลวดรัน และขดลวดสตาร์ท แต่เนื่องด้วยขดลวดชุดสตาร์ทต่ออนุกรมกับคาปาซิเตอร์ จึงส่งผลให้ช่วงทำงานเริ่มต้นของคอมเพรสเซอร์มีแรงบิดสูง และใช้กระแสไฟฟ้าสูงเพียงแค่ช่วงการสตาร์ทการทำงาน ภายหลังที่มอเตอร์หมุนออกตัวได้ปกติ ขดลวดสตาร์ทจะถูกตัดการทำงาน และขดลวดรันจะเป็นตัวจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับคอมเพรสเซอร์ ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ในช่วงการทำงานปกติ มีค่าเฉลี่ยในช่วง 3.17 ถึง 3.20 แอมแปร์

ตาราง 9 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว

ครั้งที่	อุณหภูมิห้อง °C	ผลการสั่นสะเทือนที่ให้แอมพลิจูดสูงสุด		กระแสไฟฟ้า	
		ความถี่ Hz	แอมพลิจูด mV/g	คอมเพรสเซอร์ทำงาน Amp	คอมเพรสเซอร์ตัดการทำงาน Amp
1	25	225	0.020305	3.20	0
2	25	200	0.023752	3.19	0
3	25	296	0.020658	3.17	0

ตาราง 10 ช่วงของการสั่นสะเทือนและกระแสไฟฟ้าที่ระดับสารทำความเย็น 80 60 และ 40 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว

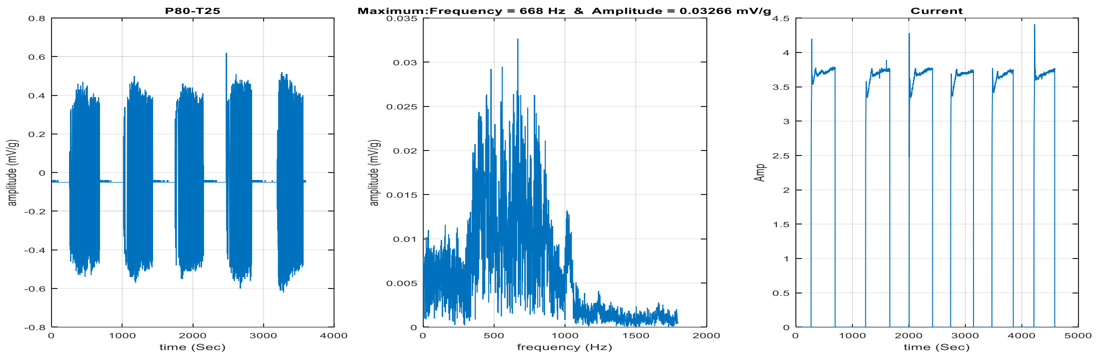
ความดัน psi	อุณหภูมิห้อง °C	ช่วงของการสั่นสะเทือนที่ให้แอมพลิจูดสูงสุด		กระแสไฟฟ้า
		ความถี่ Hz	แอมพลิจูด mV/g	คอมเพรสเซอร์ทำงาน Amp
80	25	400 - 700	0.037 – 0.047	3.63 – 3.68
60	25	200 - 500	0.020 – 0.026	3.44 – 3.47
40	25	200 - 300	0.020 – 0.023	3.17 – 3.20

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีเว

4.2 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็นเท่ากับ 80 60 และ 40 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร

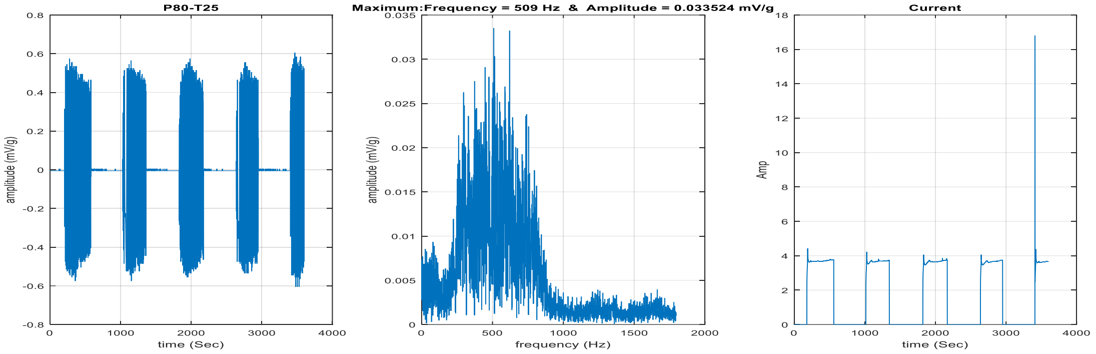
4.2.1 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi

ครั้งที่ 1



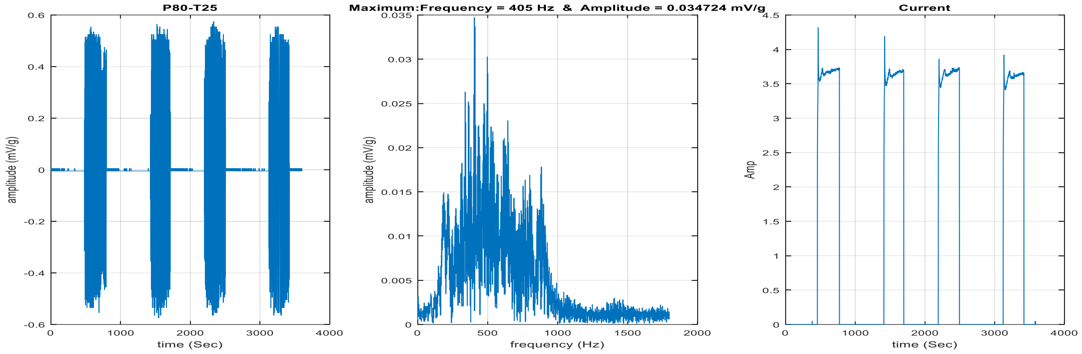
ภาพประกอบ 55 ผลการทดลองครั้งที่ 1 ที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร

ครั้งที่ 2



ภาพประกอบ 56 ผลการทดลองครั้งที่ 2 ที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร

ครั้งที่ 3



ภาพประกอบ 57 ผลการทดลองครั้งที่ 3 ที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร

จากผลการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ที่ระดับสารทำความเย็นเท่ากับ 80 psi ที่อุณหภูมิภายในห้องเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส เทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ กรณีน็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขัน 10 นิวตันเมตร จากการทดลองที่เวลา 60 นาที สามารถสรุปได้ดังนี้

1. กราฟแสดงค่าแอมพลิจูดเทียบกับเวลา ขณะที่คอมเพรสเซอร์เริ่มทำงาน แอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนในช่วงแรก จะมีระดับการสั่นสะเทือนที่ต่ำ เนื่องจากน็อตฐานของคอมเพรสเซอร์ขันแน่นทุกตัว และสารทำความเย็นในระบบมีปริมาณที่มาก ส่งผลให้แรงสั่นสะเทือนในช่วงแรกมีไม่มาก แต่จะค่อย ๆ สูงขึ้นจนเริ่มคงที่ ซึ่งการสั่นสะเทือนจะมีค่าอยู่ในช่วงแอมพลิจูดเฉลี่ย 0 ถึง 0.6 mV/g และ 0 ถึง -0.6 mV/g

2. กราฟแสดงค่าแอมพลิจูดเทียบกับความถี่ของการสั่นสะเทือน แอมพลิจูดคือ ระยะกระจัดสูงสุดของการเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือนที่วัดจากตำแหน่งเฉลี่ย ซึ่งมีค่าเฉลี่ยในช่วง 0.032 ถึง 0.034 mV/g และค่าความถี่ คือความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบของการเคลื่อนที่ หรือจำนวนรอบของการหมุนต่อหน่วยเวลาของมอเตอร์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยในช่วง 400 ถึง 670 Hz

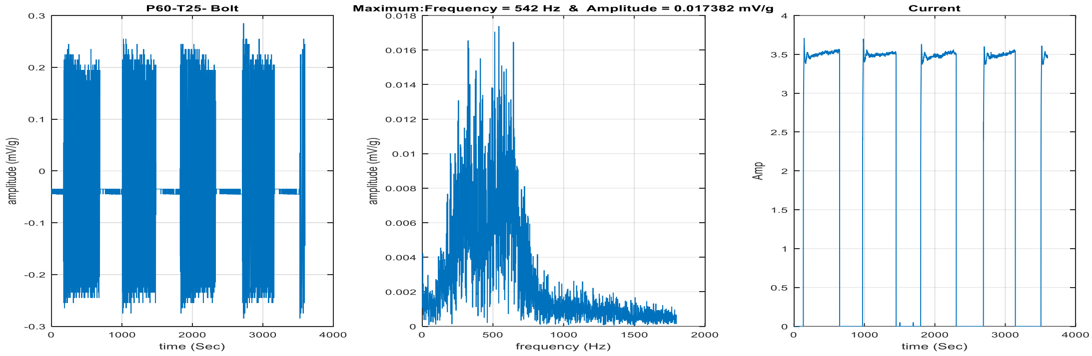
3. กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าเทียบกับเวลา เนื่องจากมอเตอร์เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนลูกสูบของคอมเพรสเซอร์แอร์ เพื่อดูดและอัดสารทำความเย็นให้กับระบบ ซึ่งภายในมอเตอร์จะมีขดลวดพันอยู่ 2 ชุด คือ ขดลวดรัน และขดลวดสตาร์ท แต่เนื่องด้วยขดลวดชุดสตาร์ทต่ออนุกรมกับคาปาซิเตอร์ จึงส่งผลให้ช่วงทำงานเริ่มต้นของคอมเพรสเซอร์มีแรงบิดสูง และใช้กระแสไฟฟ้าสูงเพียงแค่ช่วงการสตาร์ทการทำงาน ภายหลังที่มอเตอร์หมุนออกตัวได้ปกติ ขดลวดสตาร์ทจะถูกตัดการทำงาน และขดลวดรันจะเป็นตัวจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับคอมเพรสเซอร์ ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ในช่วงการทำงานปกติ มีค่าเฉลี่ยในช่วง 3.62 ถึง 3.66 แอมแปร์

ตาราง 11 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร

ครั้งที่	อุณหภูมิห้อง °C	ผลการสั่นสะเทือนที่ให้แอมพลิจูดสูงสุด		กระแสไฟฟ้า	
		ความถี่ Hz	แอมพลิจูด mV/g	คอมเพรสเซอร์ทำงาน Amp	คอมเพรสเซอร์ตัดการทำงาน Amp
1	25	668	0.03266	3.66	0
2	25	509	0.033524	3.64	0
3	25	405	0.034724	3.62	0

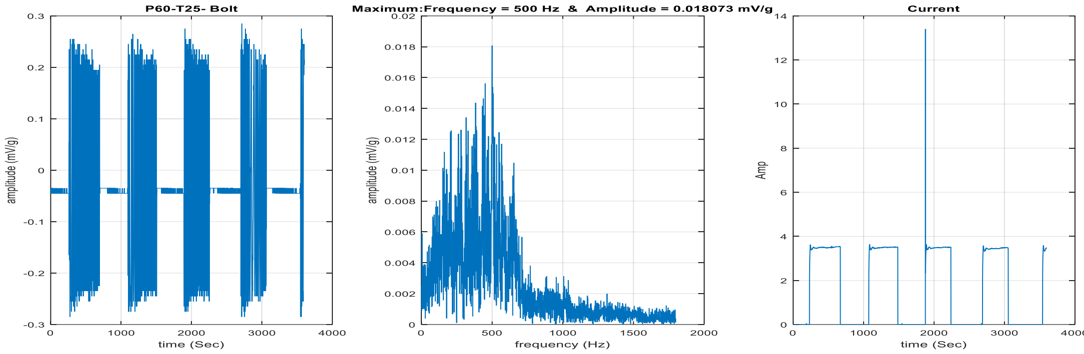
4.2.2 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi

ครั้งที่ 1



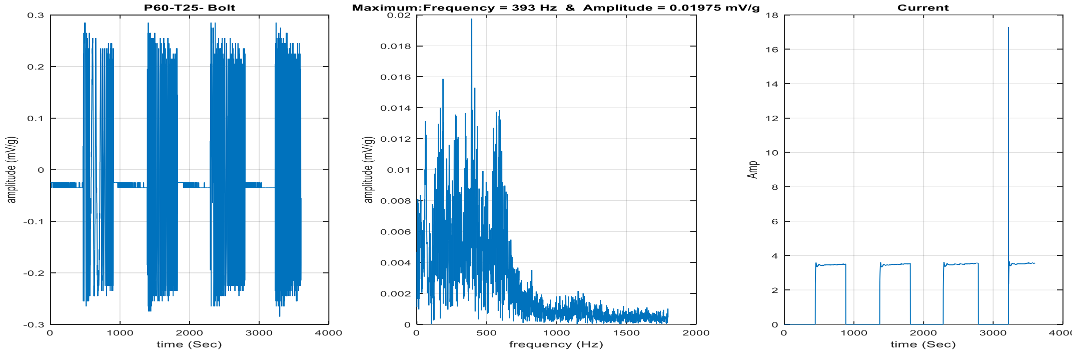
ภาพประกอบ 58 ผลการทดลองครั้งที่ 1 ที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร

ครั้งที่ 2



ภาพประกอบ 59 ผลการทดลองครั้งที่ 2 ที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร

ครั้งที่ 3



ภาพประกอบ 60 ผลการทดลองครั้งที่ 3 ที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร

จากผลการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ที่ระดับสารทำความเย็นเท่ากับ 60 psi ที่อุณหภูมิภายในห้องเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส เทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ กรณีน็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขัน 10 นิวตันเมตร จากการทดลองที่เวลา 60 นาที สามารถสรุปได้ดังนี้

1. กราฟแสดงค่าแอมพลิจูดเทียบกับเวลา ขณะที่คอมเพรสเซอร์เริ่มทำงาน แอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนในช่วงแรก จะมีระดับการสั่นสะเทือนที่ต่ำ เนื่องจากน็อตฐานของคอมเพรสเซอร์ขันแน่นทุกตัว และสารทำความเย็นในระบบมีปริมาณที่มาก ส่งผลให้แรงสั่นสะเทือนในช่วงแรกมีไม่มาก แต่จะค่อย ๆ สูงขึ้นจนเริ่มคงที่ ซึ่งการสั่นสะเทือนจะมีค่าอยู่ในช่วงแอมพลิจูดเฉลี่ย 0 ถึง 0.25 mV/g และ 0 ถึง -0.25 mV/g

2. กราฟแสดงค่าแอมพลิจูดเทียบกับความถี่ของการสั่นสะเทือน แอมพลิจูดคือ ระยะกระจัดสูงสุดของการเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือนที่วัดจากตำแหน่งเฉลี่ย ซึ่งมีค่าเฉลี่ยในช่วง 0.017 ถึง 0.020 mV/g และค่าความถี่ คือความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบของการเคลื่อนที่ หรือจำนวนรอบของการหมุนต่อหน่วยเวลาของมอเตอร์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยในช่วง 390 ถึง 550 Hz

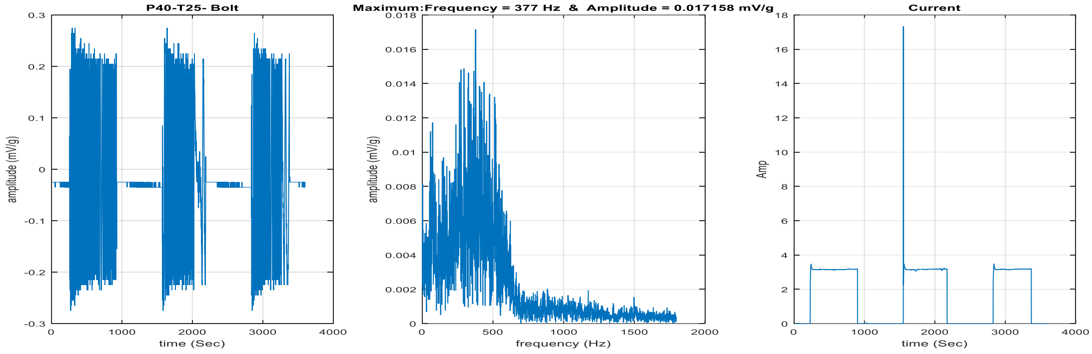
3. กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าเทียบกับเวลา เนื่องจากมอเตอร์เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนลูกสูบของคอมเพรสเซอร์แอร์ เพื่อดูดและอัดสารทำความเย็นให้กับระบบ ซึ่งภายในมอเตอร์จะมีขดลวดพันอยู่ 2 ชุด คือ ขดลวดรัน และขดลวดสตาร์ท แต่เนื่องด้วยขดลวดชุดสตาร์ทต่ออนุกรมกับคาปาซิเตอร์ จึงส่งผลให้ช่วงทำงานเริ่มต้นของคอมเพรสเซอร์มีแรงบิดสูง และใช้กระแสไฟฟ้าสูงเพียงแค่ช่วงการสตาร์ทการทำงาน ภายหลังที่มอเตอร์หมุนออกตัวได้ปกติ ขดลวดสตาร์ทจะถูกตัดการทำงาน และขดลวดรันจะเป็นตัวจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับคอมเพรสเซอร์ ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ในช่วงการทำงานปกติ มีค่าเฉลี่ยในช่วง 3.46 ถึง 3.48 แอมแปร์

ตาราง 12 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร

ครั้งที่	**อุณหภูมิห้อง** °C	**ผลการสั่นสะเทือนที่ให้แอมพลิจูดสูงสุด**		**กระแสไฟฟ้า**	
		ความถี่ Hz	**แอมพลิจูด** mV/g	**คอมเพรสเซอร์ทำงาน** Amp	**คอมเพรสเซอร์ตัดการทำงาน** Amp
1	25	542	0.017382	3.48	0
2	25	500	0.018073	3.46	0
3	25	393	0.01975	3.48	0

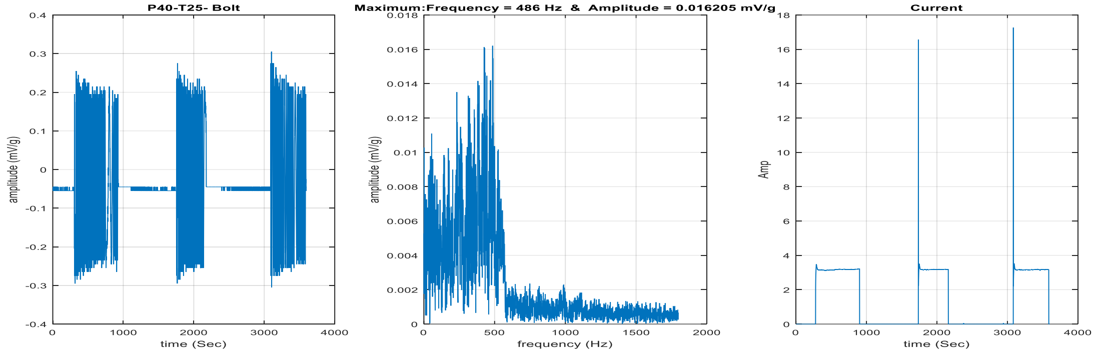
4.2.3 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi

ครั้งที่ 1



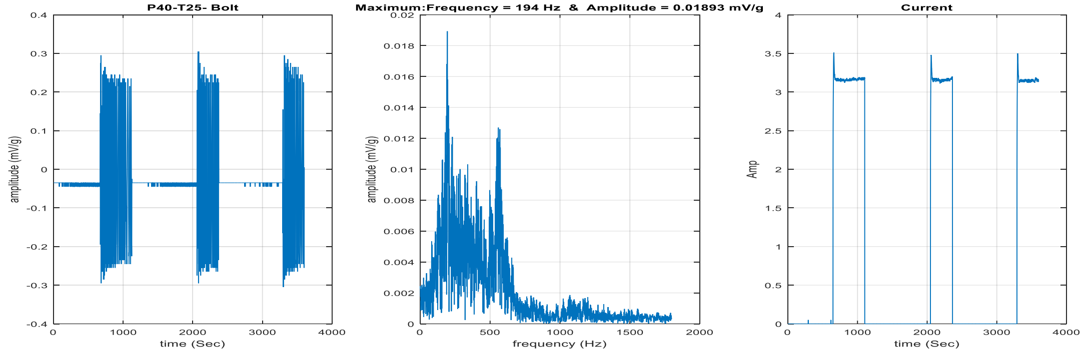
ภาพประกอบ 61 ผลการทดลองครั้งที่ 1 ที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร

ครั้งที่ 2



ภาพประกอบ 62 ผลการทดลองครั้งที่ 2 ที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร

ครั้งที่ 3



ภาพประกอบ 63 ผลการทดลองครั้งที่ 3 ที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร

จากผลการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ที่ระดับสารทำความเย็นเท่ากับ 40 psi ที่อุณหภูมิภายในห้องเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส เทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ กรณีน็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขัน 10 นิวตันเมตร จากการทดลองที่เวลา 60 นาที สามารถสรุปได้ดังนี้

1. กราฟแสดงค่าแอมพลิจูดเทียบกับเวลา ขณะที่คอมเพรสเซอร์เริ่มทำงาน แอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนในช่วงแรก จะมีระดับการสั่นสะเทือนที่ต่ำ เนื่องจากน็อตฐานของคอมเพรสเซอร์ขันแน่นทุกตัว และสารทำความเย็นในระบบมีปริมาณที่มาก ส่งผลให้แรงสั่นสะเทือนในช่วงแรกมีไม่มาก แต่จะค่อย ๆ สูงขึ้นจนเริ่มคงที่ ซึ่งการสั่นสะเทือนจะมีค่าอยู่ในช่วงแอมพลิจูดเฉลี่ย 0 ถึง 0.2 mV/g และ 0 ถึง -0.2 mV/g

2. กราฟแสดงค่าแอมพลิจูดเทียบกับความถี่ของการสั่นสะเทือน แอมพลิจูดคือ ระยะกระจัดสูงสุดของการเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือนที่วัดจากตำแหน่งเฉลี่ย ซึ่งมีค่าเฉลี่ยในช่วง 0.016 ถึง 0.018 mV/g และค่าความถี่ คือความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบของการเคลื่อนที่ หรือจำนวนรอบของการหมุนต่อหน่วยเวลาของมอเตอร์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยในช่วง 190 ถึง 380 Hz

3. กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าเทียบกับเวลา เนื่องจากมอเตอร์เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนลูกสูบของคอมเพรสเซอร์แอร์ เพื่อดูดและอัดสารทำความเย็นให้กับระบบ ซึ่งภายในมอเตอร์จะมีขดลวดพันอยู่ 2 ชุด คือ ขดลวดรัน และขดลวดสตาร์ท แต่เนื่องด้วยขดลวดชุดสตาร์ทต่ออนุกรมกับคาปาซิเตอร์ จึงส่งผลให้ช่วงทำงานเริ่มต้นของคอมเพรสเซอร์มีแรงบิดสูง และใช้กระแสไฟฟ้าสูงเพียงแค่ช่วงการสตาร์ทการทำงาน ภายหลังที่มอเตอร์หมุนออกตัวได้ปกติ ขดลวดสตาร์ทจะถูกตัดการทำงาน และขดลวดรันจะเป็นตัวจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับคอมเพรสเซอร์ ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ในช่วงการทำงานปกติ มีค่าเฉลี่ยในช่วง 3.16 ถึง 3.18 แอมแปร์

ตาราง 13 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร

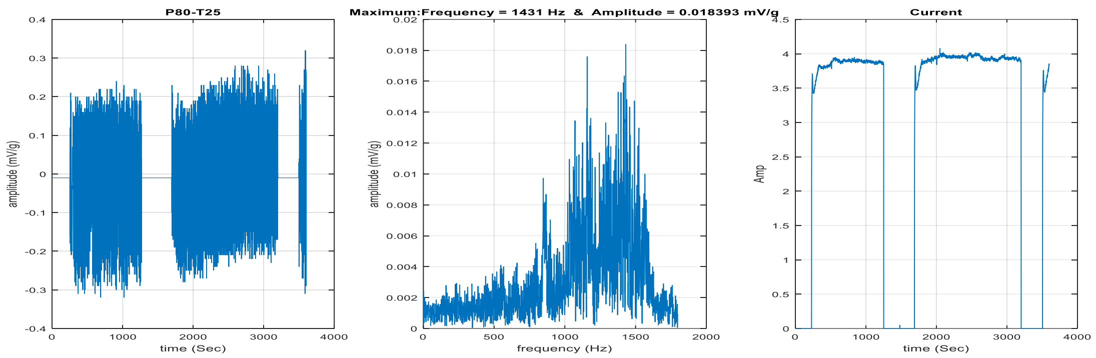
ครั้งที่	**อุณหภูมิห้อง** $^{\circ}C$	**ผลการสั่นสะเทือนที่ให้แอมพลิจูดสูงสุด**		**กระแสไฟฟ้า**	
		ความถี่ Hz	**แอมพลิจูด** mV/g	**คอมเพรสเซอร์ทำงาน** Amp	**คอมเพรสเซอร์ตัดการทำงาน** Amp
1	25	377	0.017158	3.16	0
2	25	486	0.016205	3.17	0
3	25	194	0.01893	3.16	0

ตาราง 14 ช่วงของการสั่นสะเทือนและกระแสไฟฟ้าที่ระดับสารทำความเย็น 80 60 และ 40 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร

ความดัน psi	อุณหภูมิห้อง °C	ช่วงของการสั่นสะเทือนที่ให้แอมพลิจูดสูงสุด		กระแสไฟฟ้า
		ความถี่ Hz	แอมพลิจูด mV/g	คอมเพรสเซอร์ทำงาน Amp
80	25	400 - 670	0.032 – 0.034	3.62 – 3.66
60	25	390 - 550	0.017 – 0.020	3.46 – 3.48
40	25	190 - 380	0.016 – 0.018	3.16 – 3.18

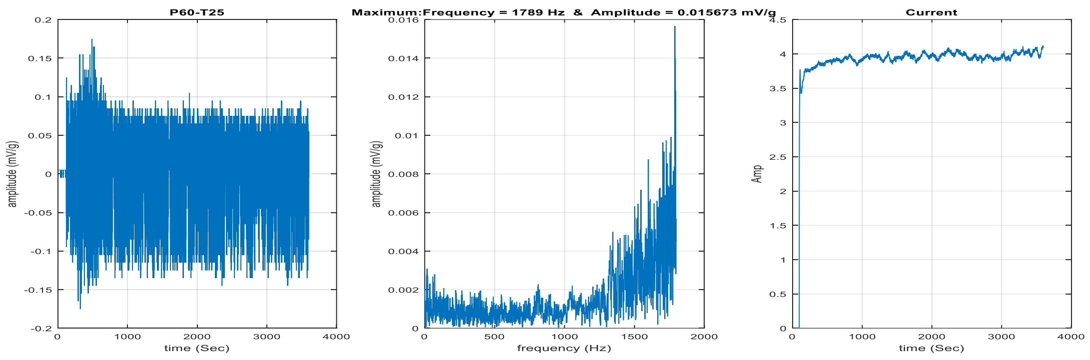
4.3 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็นเท่ากับ 80 60 และ 40 psi กรณีแผ่นกรองอากาศสกปรก

4.3.1 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi



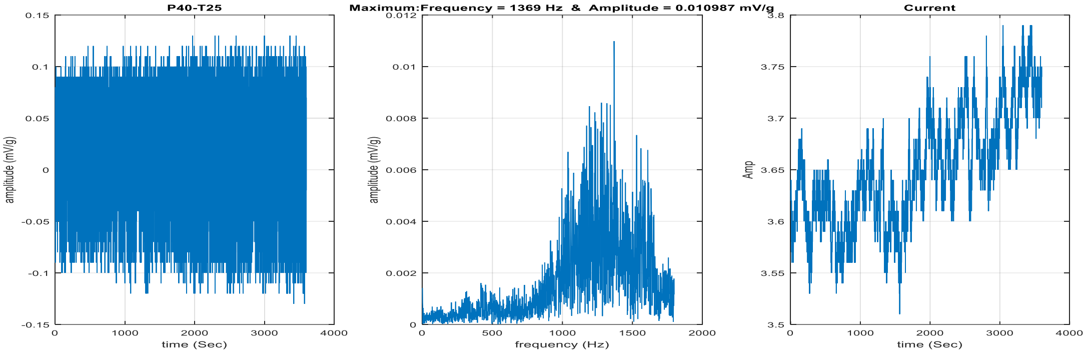
ภาพประกอบ 64 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi กรณีแผ่นกรองอากาศสกปรก

4.3.2 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi



ภาพประกอบ 65 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi กรณีแผ่นกรองอากาศสกปรก

4.3.3 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi



ภาพประกอบ 66 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi กรณีแผ่นกรองอากาศสกปรก

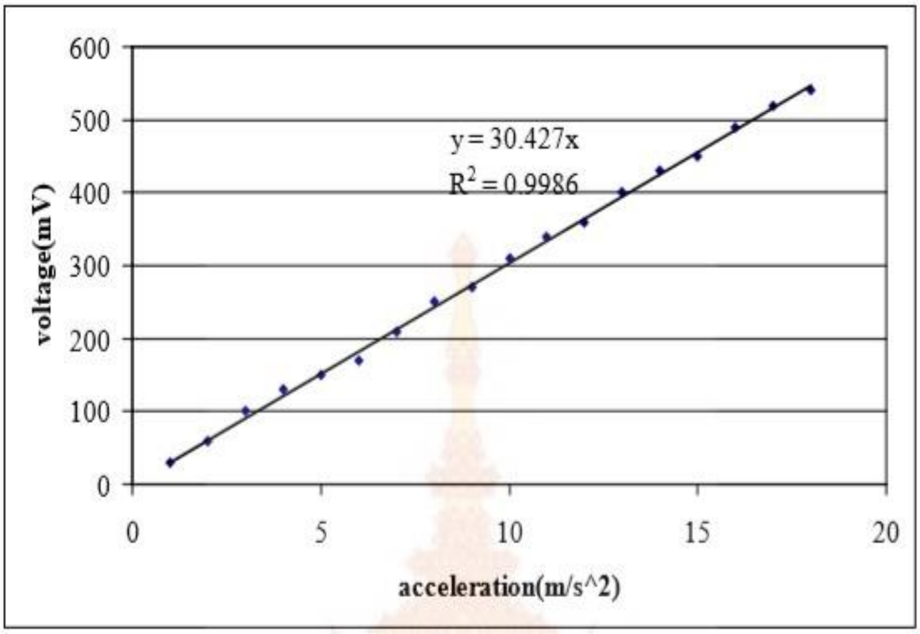
จากผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 80 60 และ 40 psi ที่อุณหภูมิภายในห้องเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส กรณีแผ่นกรองอากาศสกปรก พบว่า คอมเพรสเซอร์มีการทำงานที่นานขึ้น และใช้กระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำความเย็นของคอมเพรสเซอร์ลดลง เนื่องจากแผ่นกรองอากาศในส่วนของคอยล์เย็นมีการอุดตัน ทำให้อากาศที่อยู่ภายในห้องเคลื่อนตัวผ่านแผงคอยล์เย็นน้อยลง อากาศภายในห้องจึงเย็นตัวช้าหรืออาจไม่มีความเย็น ซึ่งจากผลการทดลองสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะการทำงานของเครื่องปรับอากาศ เพื่อบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีต่อไป

ตาราง 15 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 80 60 และ 40 psi กรณีแผ่นกรองอากาศสกปรก

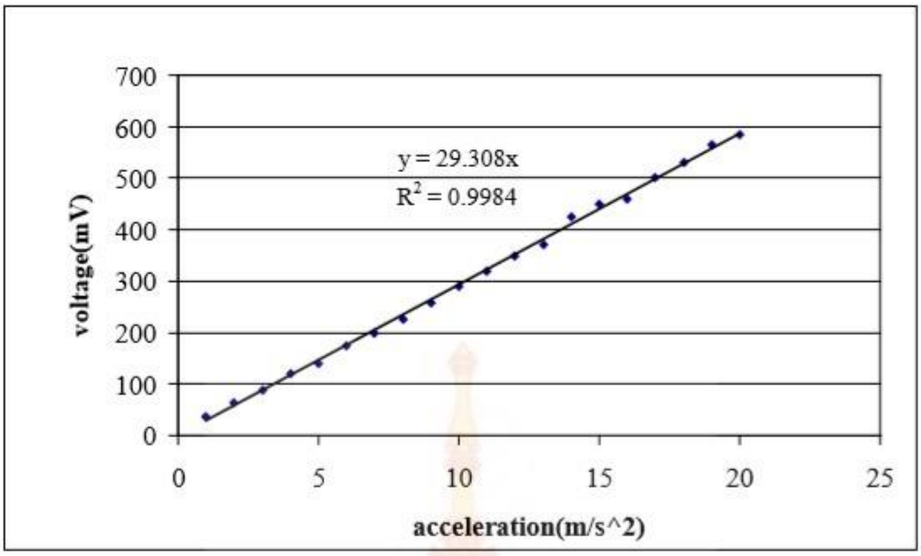
ความดัน	อุณหภูมิห้อง	ผลการสั่นสะเทือนที่ให้แอมพลิจูดสูงสุด		กระแสไฟฟ้า	
psi	°C	ความถี่ Hz	แอมพลิจูด mV/g	คอมเพรสเซอร์ทำงาน Amp	คอมเพรสเซอร์ตัดการทำงาน Amp
80	25	1431	0.018393	3.88	0
60	25	1789	0.015673	3.84	0
40	25	1369	0.010987	3.65	0

4.4 การเปรียบเทียบผลการทดลองจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. สิริพงศ์ เอี่ยมชัยมงคล “การศึกษาการวัดการสั่นสะเทือนเชิงกลโดยใช้ตัวรับรู้แบบระบบไฟฟ้าเครื่องกลจุลภาค” ทำการทดลองวัดค่าความเร่งแบบสถิต โดยใช้ตัววัดความเร่ง (mems) adxl335 และวัดความเร่งพลวัต โดยใช้เครื่องวัดการสั่นสะเทือน (vibration meter) รุ่น vm-82 ของแผ่นคานที่ยึดติดแบบคานทิเลเวอร์ ที่ความถี่ 6 Hz และ 11 Hz โดยการวัดโวลต์เตจแบบ ac และวัดความเร่งในโหมด rms จากผลการทดลองพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับโวลต์เตจในแนวแกน x y และ z ทั้งที่ความถี่ 6 Hz และ 11 Hz ในช่วงความเร่ง 0 mV/m/s^2 ถึง 20 mV/m/s^2 หรือ 0 g ถึง 2 g มีลักษณะเป็นเชิงเส้น และเมื่อหาสมการเชิงเส้นพบว่า สมการทั้งหกสมการมีความชันประมาณ 30 mV/m/s^2 ซึ่งความชันมีความหมายถึงความไวของตัววัดความเร่ง ดังนั้นจากผลการทดลองพบว่า ตัววัดความเร่งมีความไวประมาณเท่ากับ 300 mV/g ซึ่งตรงกับคุณสมบัติของตัววัดความเร่งในช่วงความเร่ง 0 g ถึง 2 g เมื่อทำการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ถึงลักษณะของการสั่นสะเทือนกับงานวิจัยนี้พบว่า เมื่อความเร็วรอบของมอเตอร์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความถี่ของการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้น และแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนมีค่าเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งจากผลการทดลองลักษณะของการสั่นสะเทือนมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน จึงสามารถยืนยันได้ว่าเครื่องวัดการสั่นสะเทือน adxl335 ที่นำมาใช้ในการวัดค่าการสั่นสะเทือน มีความถูกต้อง และแม่นยำ สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์สภาวะการทำงานต่าง ๆ ของเครื่องปรับอากาศ หรือเครื่องจักรกลได้อย่างถูกต้อง [13]

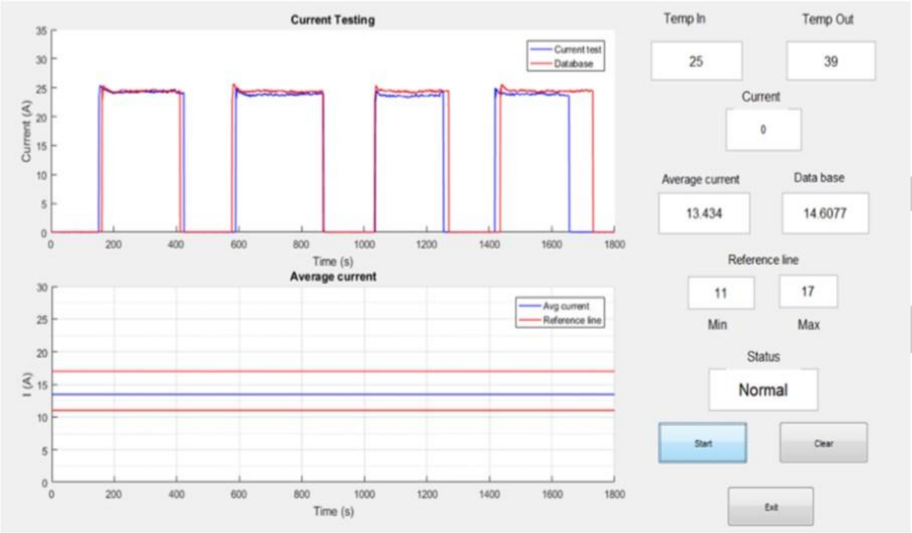


ภาพประกอบ 67 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับโวลต์เตจในแนวแกน y ที่ความถี่ 6 Hz [13]

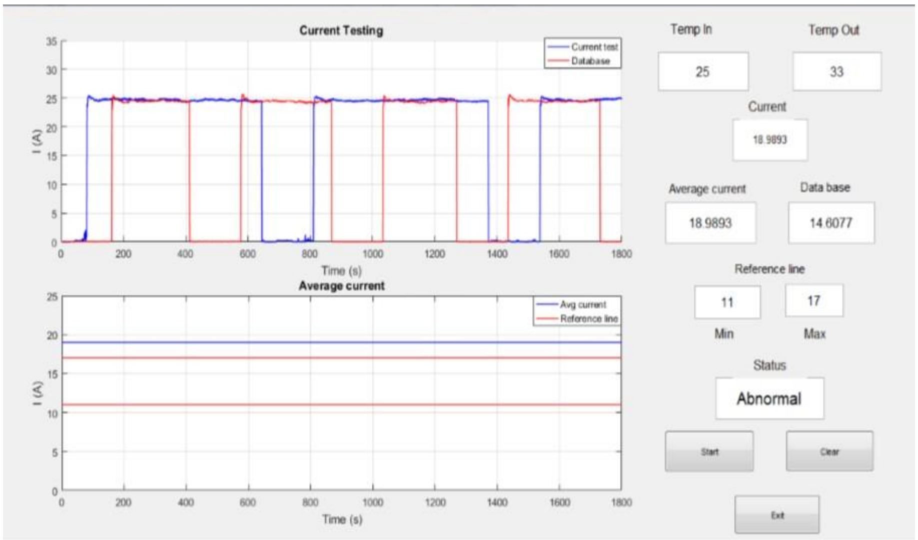


ภาพประกอบ 68 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับโวลต์เตจในแนวแกน y ที่ความถี่ 11 Hz [13]

2. อรรฆพร ไชยพอ และ จิราวดี สีสอง “การคัดแยกความผิดปกติของเครื่องปรับอากาศโดยใช้อนุกรมเวลาของกระแส” ทำการทดลองที่เงื่อนไขสภาวะการทำงานปกติ และเงื่อนไขของฟิลเตอร์คอยล์เย็นตัน โดยใช้เซ็นเซอร์ในการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์แอร์ จากผลการทดลองพบว่า การทำงานของเครื่องปรับอากาศ ที่สภาวะการอุดตันของฟิลเตอร์คอยล์เย็น จะทำงานผิดปกติ คือ ไม่สามารถทำความเย็นภายในห้องให้ตรงกับค่าอุณหภูมิที่ปรับตั้งไว้ เนื่องจากการอุดตันบริเวณฟิลเตอร์ ทำให้คอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศทำงานนานขึ้น ใช้กระแสไฟฟ้ามากขึ้นกว่าสภาวะการทำงานปกติ ดังภาพประกอบ 67 และ 68 [15]



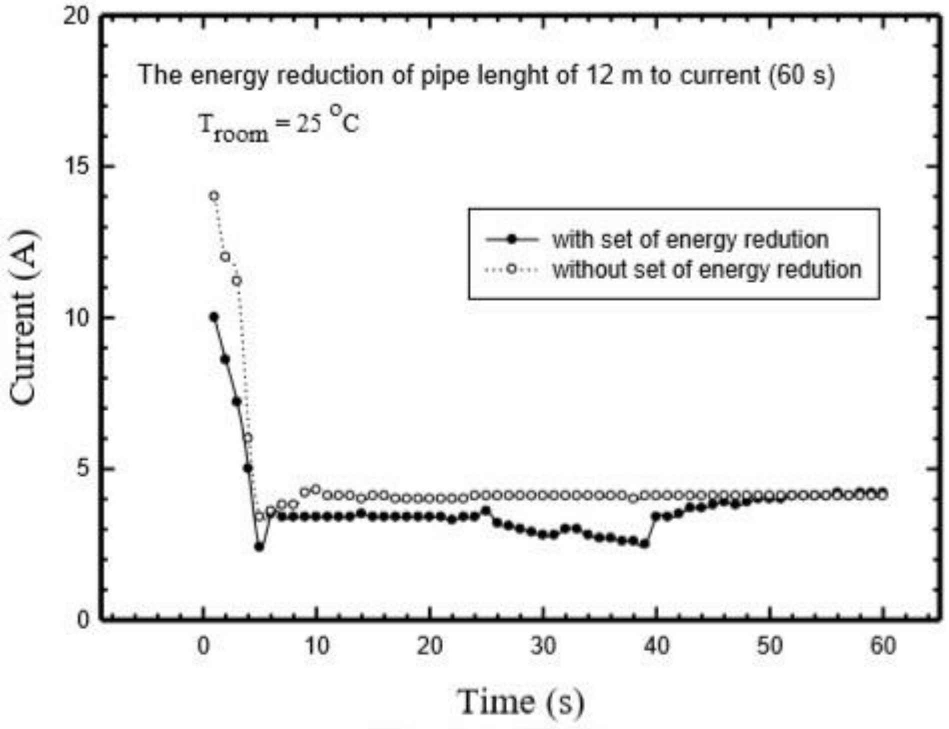
ภาพประกอบ 69 การทำงานของคอมเพรสเซอร์ในสภาวะปกติ [15]



ภาพประกอบ 70 การทำงานของคอมเพรสเซอร์กรณีฟิลเตอร์คอยล์เย็นตัน [15]

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น กับผลการทดลองของงานวิจัยนี้ ที่เงื่อนไขการอุดตันของแผ่นกรองอากาศของคอยล์เย็นพบว่า คอมเพรสเซอร์ทำงานนานขึ้น กระแสไฟฟ้ามีค่าสูงกว่าสภาวะการทำงานปกติ ซึ่งผลการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยนี้ จึงสามารถยืนยันได้ว่า ผลจากการทดลองมีความถูกต้อง และแม่นยำ สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความเสียหายกรณีแผ่นกรองอากาศที่แผงคอยล์เย็นอุดตันได้อย่างถูกต้อง

3. อภิเดช บุญเจือ “การศึกษาวิธีการลดพลังงานของคอมเพรสเซอร์เมื่อชุดคอยล์เย็นอยู่ต่ำกว่าชุดคอยล์ร้อน” โดยมีเงื่อนไขการทดลอง 2 เงื่อนไขคือ กรณีที่ไม่มีการติดตั้งชุดลดพลังงานเครื่องปรับอากาศ และกรณีที่มีการติดตั้งชุดลดพลังงานเครื่องปรับอากาศ จากผลการทดลองเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าทั้ง 2 เงื่อนไข พบว่า ในการสตาร์ทออกตัวของคอมเพรสเซอร์ จะมีค่าพลังงานไฟฟ้าในการสตาร์ทคอมเพรสเซอร์ต้องใช้พลังงานมาก ทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน ซึ่งผลการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยนี้ จึงสามารถยืนยันได้ว่า โมดูลวัดค่ากระแสไฟฟ้าสามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง และแม่นยำ สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์สภาวะการทำงานต่าง ๆ ของคอมเพรสเซอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [5]



ภาพประกอบ 71 ผลการเปรียบเทียบการใช้กระแสไฟฟ้าที่เงื่อนไขการทดลองทั้ง 2 เงื่อนไข [5]

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาการสั่นสะเทือนของคอมเพรสเซอร์แอร์ ขณะที่สารทำความเย็นภายในระบบที่ระดับ 80 60 และ 40 psi ที่อุณหภูมิภายในห้องเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องวัดการสั่นสะเทือนในการวัดค่าการสั่นสะเทือนของแกน x y และ z เพื่อวิเคราะห์หาค่าแอมพลิจูด และค่าความถี่ของการสั่นสะเทือน ที่สภาวะการทำงานต่าง ๆ พร้อมทั้งวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบความแตกต่างของการใช้กระแสไฟฟ้า ขณะที่มีสารทำความเย็นภายในระบบที่ระดับตามเงื่อนไขกำหนด โดยใช้โมดูลวัดค่ากระแสไฟฟ้า ในการวัดค่ากระแสไฟฟ้าขณะที่คอมเพรสเซอร์ตัดและต่อการทำงาน

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ จึงได้มุ่งเน้นในการวิเคราะห์หาระดับการสั่นสะเทือน ที่เกิดขึ้นจากการสั่นสะเทือนของคอมเพรสเซอร์แอร์ ในขณะที่มีสารทำความเย็นภายในระบบที่ระดับต่าง ๆ พร้อมทั้งวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ เพื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบระหว่างผลการสั่นสะเทือน และค่ากระแสไฟฟ้า ที่สภาวะการทำงานต่าง ๆ ของคอมเพรสเซอร์แอร์ เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ปัญหา และการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 12,075.41 บีทียู/ชั่วโมง ซึ่งจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผล

1. ที่ระดับสารทำความเย็นเท่ากับ 80 60 และ 40 psi ที่อุณหภูมิภายในห้องเท่ากับ 25 ˚C กรณีน็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว จากผลการลองพบว่า ที่ระดับสารทำความเย็นเท่ากับ 80 psi ค่าแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือน และค่ากระแสไฟฟ้าขณะที่คอมเพรสเซอร์ทำงาน มีค่าสูงกว่าที่ระดับสารทำความเย็นเท่ากับ 60 และ 40 psi และมีค่าลดลงตามปริมาณของสารทำความเย็นภายในระบบ เป็นผลเนื่องมาจาก เมื่อปริมาณสารทำความเย็นภายในระบบมีมาก ส่งผลให้มอเตอร์ไฟฟ้าทำงานหนัก เพื่อขับใบพัดโรเตอร์ให้ดูดและอัดสารทำความเย็นให้ไหลเวียนภายในระบบ ทำให้กำลังอัดสูง ส่งผลให้คอมเพรสเซอร์เกิดการสั่นสะเทือนสูง และใช้กระแสไฟฟ้าในการขับเคลื่อนมอเตอร์สูง เมื่อเทียบกับปริมาณสารทำความเย็นภายในระบบลดลง กำลังในการดูดและอัดสารทำความเย็นลดลง ส่งผลให้การสั่นสะเทือนและกระแสไฟฟ้ามีค่าลดลงตามไปด้วย และมีระดับการสั่นสะเทือนตามช่วงของผลการทดลอง ดังแสดงในตาราง 10

2. ที่ระดับสารทำความเย็นเท่ากับ 80 60 และ 40 psi ที่อุณหภูมิภายในห้องเท่ากับ 25 °C กรณีน็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร จากผลการลองพบว่า ที่ระดับสารทำความเย็นเท่ากับ 80 psi ค่าแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือน และค่ากระแสไฟฟ้าขณะที่คอมเพรสเซอร์ทำงาน มีค่าสูงกว่าที่ระดับสารทำความเย็นเท่ากับ 60 และ 40 psi และมีค่าลดลงตามปริมาณของสารทำความเย็นภายในระบบ เป็นผลเนื่องมาจาก เมื่อปริมาณสารทำความเย็นภายในระบบมีมาก ส่งผลให้มอเตอร์ไฟฟ้าทำงานหนัก เพื่อขับใบพัดโรเตอร์ให้ดูดและอัดสารทำความเย็นให้ไหลเวียนภายในระบบ ทำให้กำลังอัดสูง ส่งผลให้คอมเพรสเซอร์เกิดการสั่นสะเทือนสูง และใช้กระแสไฟฟ้าในการขับเคลื่อนมอเตอร์สูง เมื่อเทียบกับปริมาณสารทำความเย็นภายในระบบลดลง กำลังในการดูดและอัดสารทำความเย็นลดลง ส่งผลให้การสั่นสะเทือนและกระแสไฟฟ้ามีค่าลดลงตามไปด้วย และมีระดับการสั่นสะเทือนตามช่วงของผลการทดลอง ดังแสดงในตาราง 14

3. ที่ระดับสารทำความเย็นเท่ากับ 80 60 และ 40 psi ที่อุณหภูมิภายในห้องเท่ากับ 25 °C กรณีแผ่นกรองอากาศสกปรก จากผลการทดลองพบว่า คอมเพรสเซอร์มีช่วงการทำงานที่นานขึ้น ใช้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานของคอมเพรสเซอร์ลดลง เนื่องจากไม่สามารถทำความเย็นภายในห้องได้ตามที่ตั้งไว้ ซึ่งเป็นสาเหตุมาจาก การอุดตันของแผ่นกรองอากาศในส่วนของคอยล์เย็น ทำให้อากาศที่อยู่ภายในห้องเคลื่อนตัวผ่านแผ่นกรองอากาศได้น้อย อากาศที่เข้าไปภายในแผงคอยล์เย็นมีปริมาณน้อย ส่งผลให้อุณภูมิภายในห้องไม่สารมารถทำความเย็นได้ตามค่าที่ตั้งไว้ ดังแสดงในตาราง 15

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 16 ช่วงของการสั่นสะเทือนที่ให้แอมพลิจูดสูงสุดที่ระดับสารทำความเย็น 80 60 และ 40 psi น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว และน็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 นิวตันเมตร

ความดัน psi	อุณหภูมิห้อง °C	ช่วงของการสั่นสะเทือนที่ให้แอมพลิจูดสูงสุด		กระแสไฟฟ้า
		ความถี่ Hz	แอมพลิจูด mV/g	คอมเพรสเซอร์ทำงาน Amp
80(bolt)	25	400 - 700	0.037 – 0.047	3.63 – 3.68
80	25	400 - 670	0.032 – 0.034	3.62 – 3.66
60(bolt)	25	200 - 500	0.020 – 0.026	3.44 – 3.47
60	25	390 - 550	0.017 – 0.020	3.46 – 3.48
40(bolt)	25	200 - 300	0.020 – 0.023	3.17 – 3.20
40	25	190 - 380	0.016 – 0.018	3.16 – 3.18

จากตารางผลการทดลองสามารถอธิบายได้ว่า ค่าความถี่ ค่าแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือน และค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ขณะทำงาน ที่เงื่อนไขการทดลองทั้ง 2 เงื่อนไข มีค่าที่ใกล้เคียงกันของแต่ละความดันภายในระบบ ซึ่งผลการสั่นสะเทือนที่เงื่อนไขน็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว จะมีค่าการสั่นสะเทือน และค่ากระแสไฟฟ้าที่สูงกว่าที่สภาวะปกติ เนื่องจากความไม่สมดุลในการหมุนของมอเตอร์ ประกอบกับน็อตฐานคอมเพรสเซอร์ไม่แน่นพอ จึงส่งผลให้คอมเพรสเซอร์เกิดแรงสั่นสะเทือนสูง ซึ่งผลที่ได้จากการทดลอง สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ระดับสารทำความเย็นภายในระบบ โดยการวิเคราะห์จากช่วงของการสั่นสะเทือน และช่วงของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ขณะทำงาน เพื่อบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 12,075.41 บีทียู/ชั่วโมง ให้มีประสิทธิภาพในการทำงานยาวนานต่อไป

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงที่จ่ายให้กับเครื่องวัดการสั่นสะเทือน และโมดูลวัดค่ากระแสไฟฟ้าไม่ควรเกิน 5 V หรือตามที่เครื่องวัดชนิดนั้น ๆ กำหนดไว้ หากกระแสไฟฟ้าเกินอาจส่งผลให้อุปกรณ์เสียหายได้

2. การติดตั้งเครื่องวัดการสั่นสะเทือนควรติดตั้งตรงกลางด้านบนของคอมเพรสเซอร์ ตามแนวแกนของเครื่องวัดการสั่นสะเทือน เพื่อให้ผลการวัดค่าที่ได้มีค่าแม่นยำ

3. ขนาดห้องของการทดลองควรเหมาะสมกับขนาดของเครื่องปรับอากาศ เพื่อให้คอมเพรสเซอร์สามารถทำอุณหภูมิภายในห้องได้ตามที่กำหนด มีการตัดและต่อการทำงานได้เป็นระยะ เพื่อให้การวิเคราะห์ผลที่สภาวะการทำงานต่าง ๆ ของคอมเพรสเซอร์ มีความเที่ยงตรงและแม่นยำ

4. ก่อนทำการทดลองควรเปิดเครื่องปรับอากาศไว้ก่อนอย่างน้อย 30 นาที เพื่อให้อุณหภูมิภายในให้องคงที่และจะทำให้ผลที่ได้จากการทดลองถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

[1] ทรงพล กลิ่นชะเอม และ พรชัย นิเวศน์รังสรรค์, “การตรวจสอบสภาวะของคอมเพรสเซอร์ด้วยสัญญาณเสียงและสัญญาณการสั่นสะเทือน,” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, pp. 735–740, 2550.

[2] กิตติศักดิ์ สุดดวง และ พรชัย นิเวศน์รังสรรค์, “การตรวจสอบสภาวะของคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบอัดอากาศสองชั้นด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือน,” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 23 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2552.

[3] J. Rens, R. E. Clark, and D. Howe, “Vibration analysis and control of reciprocating air-compressors,” Int. J. Appl. Electromagn. Mech., vol. 15, no. 1-4 SPEC, pp. 155–162, 2001.

[4] ธนินท์รัฐ วิทยาไกรสิน, “การศึกษาความเหมาะสมของการใช้ระบบปรับอากาศแบบดูดซึมในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.

[5] อภิเดช บุญเจือ, “การศึกษาวิธีการลดพลังงานของคอมเพรสเซอร์เมื่อชุดคอยล์เย็นอยู่ต่ำกว่าชุดคอยล์ร้อน,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2554.

[6] เอิบเปรม ปิ่นประดับ, “การลดเวลาและค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศด้วยการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2556.

[7] พิณภรณ์ ตันธนาศิริกุล, “การศึกษาการสั่นสะเทือน และการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนของส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสไดร์ฟ,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.

[8] ศรายุทธ ทัพแสง, “การบำรุงรักษาลิฟท์โดยการวิเคราะห์ความสั่นสะเทือน,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2549.

[9] ปรัชญา นวลพลับ, “การศึกษาพฤติกรรมของสัญญาณการสั่นสะเทือนกับรูปแบบการสึกหรอของเฟืองตรง,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

[10] จิรพงศ์ สุขาทิพย์, “การศึกษากระบวนการทำงานของเครื่องยนต์สันดาปภายในโดยใช้สัญญาณการสั่นสะเทือนด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ความถี่,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, 2560.

[11] ศุภกิจ ไตรรัตน์ภิบาล, “การตรวจวัดการสั่นสะเทือนของดีซีบัสเลสมอเตอร์,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง, 2556.

[12] ปิยะพงศ์ ป่ากว้าง และ มนัสศักดิ์ วรรณสิน, “การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในส่วนคอมเพรสเซอร์ของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน,” ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2560.

[13] สิริพงศ์ เอี่ยมชัยมงคล, “การศึกษาการวัดการสั่นสะเทือนเชิงกลโดยใช้ตัวรับรู้แบบระบบไฟฟ้าเครื่องกลจุลภาค,” โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ, 2554.

[14] พีรพงศ์ แสนหมุด, “ระบบค้นหาตำแหน่งที่ว่างสถานที่จอดรถและแสดงผลผ่านเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาการสื่อสารข้อมูลและเครือข่าย ภาควิชาการสื่อสารข้อมูลและเครือข่าย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2559.

[15] อรรฆพร ไชยพอ และ จิราวดี สีสอง, “การคัดแยกความผิดปกติของเครื่องปรับอากาศโดยใช้อนุกรมเวลาของกระแส,” ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2561.

[16] ธีรพัฒน์ ชมภูคำ, “การถ่วงสมดุลเชิงออฟติมั่มคอมเพรสเซอร์แบบสูบเดียวเพื่อให้เกิดแรงสั่นต่ำสุด,” บทความวิจัย วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ หน่วยวิจัยท่อความร้อนและออกแบบเครื่องมือทางความร้อน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, pp. 64–74, 2556.

[17] F. ZHAO, X. JING, M. YANG, D. WANG, Y. SHA, and X. LUAN, “Experimental study of rotor blades vibration and noise in multistage high pressure compressor and their relevance,” Chinese J. Aeronaut., 2019.

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีวา

[18] C. Peng, J. He, M. Zhu, Z. Deng, Z. Zhen, and Q. Liu, “Optimal synchronous vibration control for magnetically suspended centrifugal compressor,” Mech. Syst. Signal Process., vol. 132, pp. 776–789, 2019.

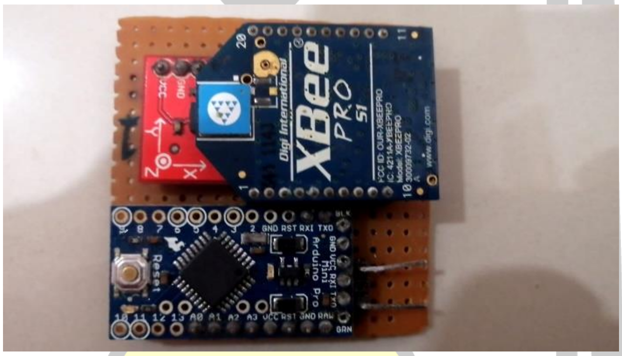
พหูน ปณฺ ทิโต ชีเว

ภาคผนวก ก

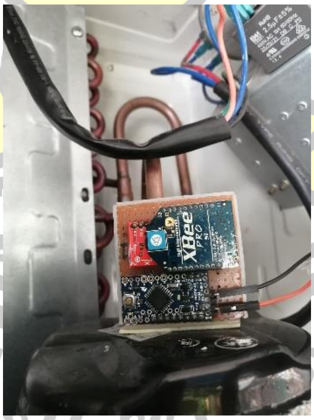
การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีเว

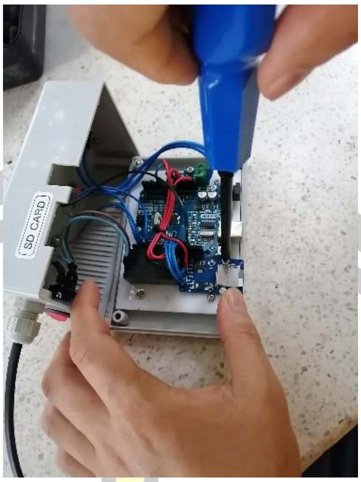
ภาพประกอบ 72 การจัดทำเครื่องวัดการสั่นสะเทือน



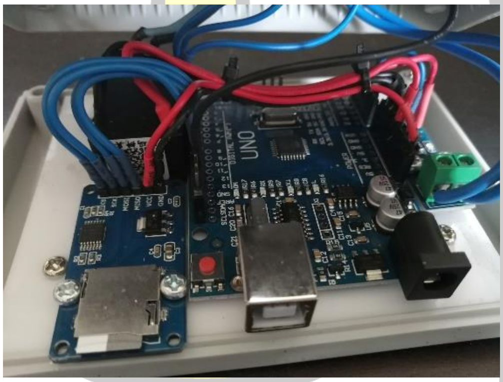
ภาพประกอบ 73 เครื่องวัดการสั่นสะเทือน



ภาพประกอบ 74 ติดตั้งเครื่องวัดการสั่นสะเทือนเข้ากับคอมเพรสเซอร์แอร์

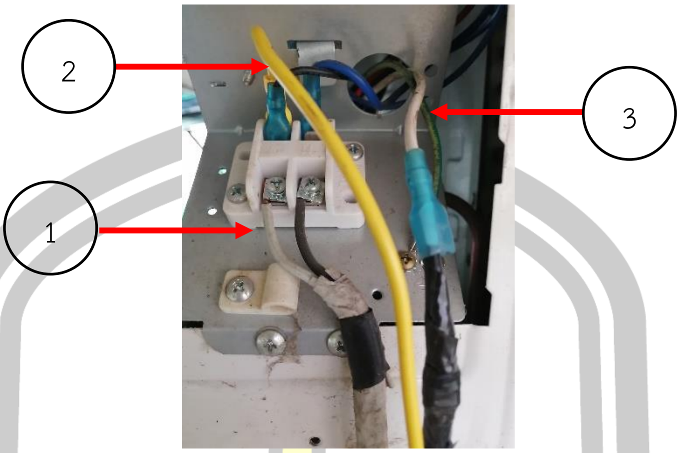


ภาพประกอบ 75 การติดตั้งโมดูลวัดค่ากระแสไฟฟ้า



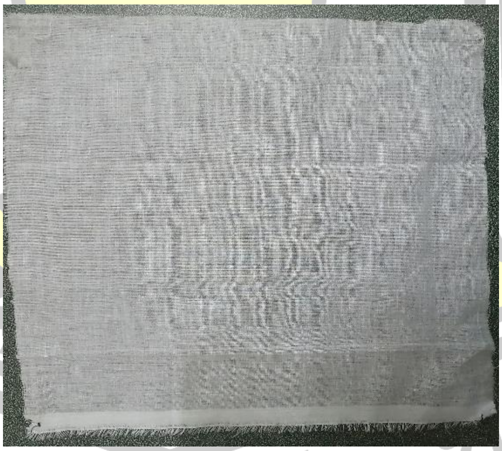
ภาพประกอบ 76 โมดูลวัดค่ากระแสไฟฟ้า

พหูนํ ปณฺฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 77 การเชื่อมต่อสายไฟเข้าคอมเพรสเซอร์แอร์

การเชื่อมต่อสายไฟฟ้าเข้ากับโมดูลวัดค่ากระแสไฟฟ้า ก่อนต่อเข้าคอมเพรสเซอร์แอร์ ควรต่อกับสายไฟฟ้าที่เข้าคอมเพรสเซอร์แอร์โดยตรง เพื่อให้ได้ค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์แอร์จริง ๆ หากต่อเข้ากับสายไฟฟ้าที่มาจากเบรกเกอร์โดยตรง จะเป็นการวัดกระแสรวมทั้งหมดของชุดคอนเดนเซอร์แอร์ เช่น จากภาพประกอบ 75 จุดที่ 1 คือสายไฟฟ้าที่มาจากเบรกเกอร์ จุดที่ 2 คือสายไฟฟ้าที่ออกจากขั้วแล้วต่อเข้ากับโมดูลวัดค่ากระแสไฟฟ้า จุดที่ 3 คือ สายไฟฟ้าที่ต่อออกจากโมดูลวัดค่ากระแสไฟฟ้าเข้าไปยังคอมเพรสเซอร์แอร์



ภาพประกอบ 78 ผ้าขาวบางจำลองการสกปรกของแผ่นกรองอากาศในส่วนคอยล์เย็น

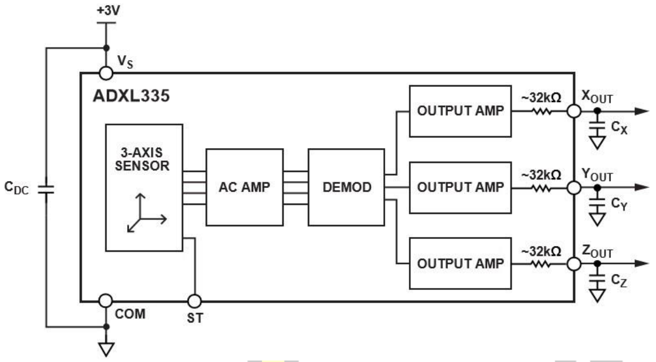
ภาพประกอบ 79 การทดลองที่สภาวะแผ่นกรองอากาศสกปรก

ที่เงื่อนไขการทดลองในสภาวะที่มีสิ่งสกปรกอุดตันแผ่นกรองอากาศในส่วนของคอยล์เย็น ทำการทดลองโดยใช้ผ้าขาวบางขนาด ความกว้าง 280 มม. ความยาว 340 มม. หนา 0.028 มม. คลุมเข้ากับแผ่นกรองอากาศ เพื่อทำการทดลองในสภาวะที่มีฝุ่นละอองเกาะอยู่ที่แผ่นกรองอากาศเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้คอมเพรสเซอร์มีการทำงานที่ไม่ปกติ

ภาคผนวก ข

คุณสมบัติของอุปกรณ์

พหุน ปณฺ ฑิโต ชีเว



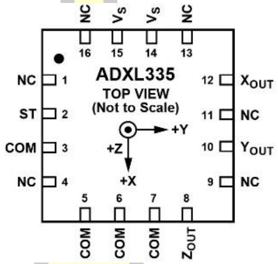
ภาพประกอบ 80 ฟังก์ชั่นบล็อคไดอะแกรม adxl335

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
SENSOR INPUT	Each axis				
Measurement Range		±3	±3.6		*g*
Nonlinearity	% of full scale		±0.3		%
Package Alignment Error			±1		Degrees
Interaxis Alignment Error			±0.1		Degrees
Cross-Axis Sensitivity[1]			±1		%
SENSITIVITY (RATIOMETRIC)[2]	Each axis				
Sensitivity at X_{OUT}, Y_{OUT}, Z_{OUT}	V_S = 3 V	270	300	330	mV/*g*
Sensitivity Change Due to Temperature[3]	V_S = 3 V		±0.01		%/°C
ZERO *g* BIAS LEVEL (RATIOMETRIC)					
0 *g* Voltage at X_{OUT}, Y_{OUT}	V_S = 3 V	1.35	1.5	1.65	V
0 *g* Voltage at Z_{OUT}	V_S = 3 V	1.2	1.5	1.8	V
0 *g* Offset vs. Temperature			±1		m*g*/°C
NOISE PERFORMANCE					
Noise Density X_{OUT}, Y_{OUT}			150		μ*g*/√Hz rms
Noise Density Z_{OUT}			300		μ*g*/√Hz rms
FREQUENCY RESPONSE[4]					
Bandwidth X_{OUT}, Y_{OUT}[5]	No external filter		1600		Hz
Bandwidth Z_{OUT}[5]	No external filter		550		Hz
R_{FILT} Tolerance			32 ± 15%		kΩ
Sensor Resonant Frequency			5.5		kHz
SELF-TEST[6]					
Logic Input Low			+0.6		V
Logic Input High			+2.4		V
ST Actuation Current			+60		μA
Output Change at X_{OUT}	Self-Test 0 to Self-Test 1	−150	−325	−600	mV
Output Change at Y_{OUT}	Self-Test 0 to Self-Test 1	+150	+325	+600	mV
Output Change at Z_{OUT}	Self-Test 0 to Self-Test 1	+150	+550	+1000	mV
OUTPUT AMPLIFIER					
Output Swing Low	No load		0.1		V
Output Swing High	No load		2.8		V
POWER SUPPLY					
Operating Voltage Range		1.8		3.6	V
Supply Current	V_S = 3 V		350		μA
Turn-On Time[7]	No external filter		1		ms
TEMPERATURE					
Operating Temperature Range		−40		+85	°C

ภาพประกอบ 81 ข้อมูลจำเพาะ adxl335

Parameter	Rating
Acceleration (Any Axis, Unpowered)	10,000 *g*
Acceleration (Any Axis, Powered)	10,000 *g*
V_S	−0.3 V to +3.6 V
All Other Pins	(COM − 0.3 V) to (V_S + 0.3 V)
Output Short-Circuit Duration (Any Pin to Common)	Indefinite
Temperature Range (Powered)	−55°C to +125°C
Temperature Range (Storage)	−65°C to +150°C

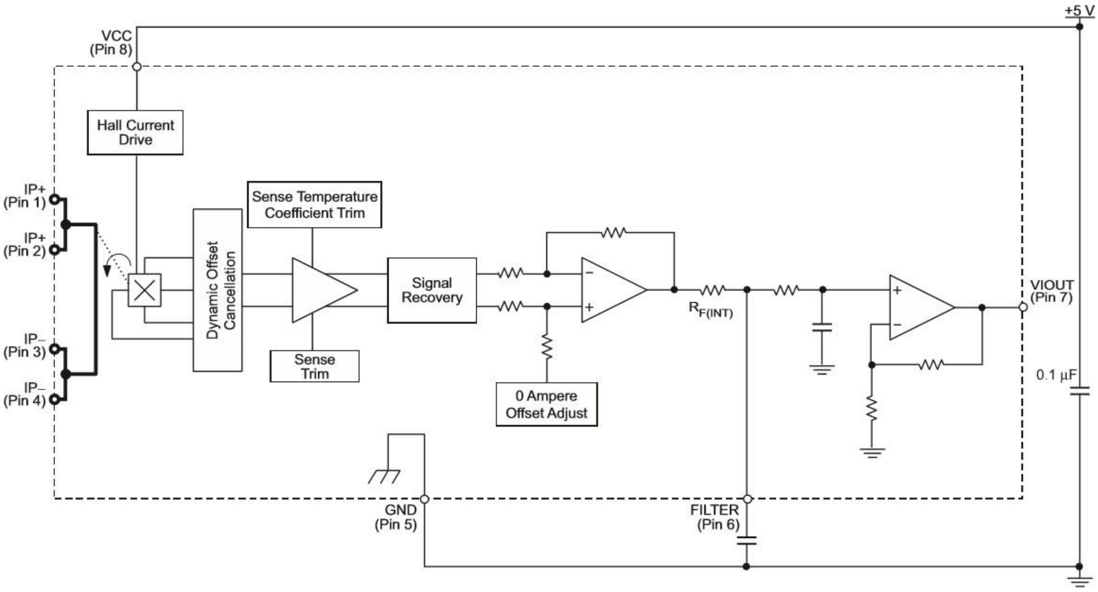
ภาพประกอบ 82 ค่าสัมบูรณ์สูงสุด adxl335



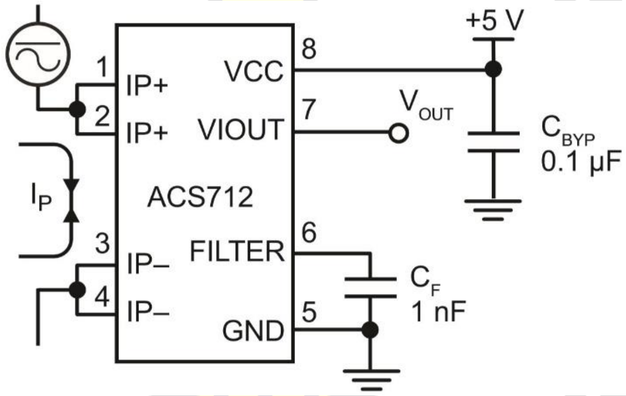
ภาพประกอบ 83 การกำหนดค่า pin

Pin No.	Mnemonic	Description
1	NC	No Connect.[1]
2	ST	Self-Test.
3	COM	Common.
4	NC	No Connect.[1]
5	COM	Common.
6	COM	Common.
7	COM	Common.
8	Z_{OUT}	Z Channel Output.
9	NC	No Connect.[1]
10	Y_{OUT}	Y Channel Output.
11	NC	No Connect. [1]
12	X_{OUT}	X Channel Output.
13	NC	No Connect. [1]
14	V_S	Supply Voltage (1.8 V to 3.6 V).
15	V_S	Supply Voltage (1.8 V to 3.6 V).
16	NC	No Connect. [1]
EP	Exposed Pad	Not internally connected. Solder for mechanical integrity.

ภาพประกอบ 84 รายละเอียดของฟังก์ชั่น



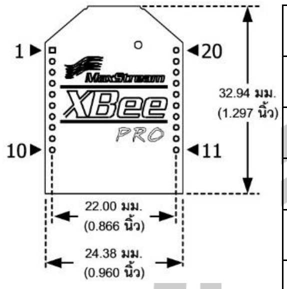
ภาพประกอบ 85 ฟังก์ชั่นบล็อคไดอะแกรม acs712



ภาพประกอบ 86 การกำหนดค่า pin acs712

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sampled; fused internally
3 and 4	IP–	Terminals for current being sampled; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VIOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal

ภาพประกอบ 87 รายละเอียด pin acs712



ขาที่	ชื่อขา/การทำงาน
1	Vcc : ขาต่อไฟเลี้ยง +3.3V
2	DOUT : ขาเอาต์พุตส่งข้อมูลอนุกรม
3	DIN : ขาอินพุตรับข้อมูลอนุกรม
4	DO8 : ขาเอาต์พุตดิจิตอล ช่อง 8
5	RESET : ขารีเซตหลัก (แอกตีฟ "0")
6	PWMO/RSSI : ขาเอาต์พุต PWM ช่อง 0 และขาเอาต์พุตแสดงความแรงของการรับสัญญาณ
7	PWM1 : ขาเอาต์พุต PWM ช่อง 1
8	ไม่ใช้งาน
9	DTR/SLEEP_RQ/DI8 : ขาอินพุตรับสัญญาณให้หยุดทำงานเข้าสู่โหมดสลีป หรือเป็นขาอินพุตดิจิตอลช่อง 8
10	GND : ขาต่อกราวด์
11	AD4/DIO4 : ขาอินพุตอะนาลอก 4 หรือ ขาอินพุตดิจิตอล 4
12	CTS/DIO7 : อินพุตรับสัญญาณแจ้งการส่งข้อมูลจากโฮสต์ (Clear-To-Send) ใช้ในการควบคุมจังหวะการรับส่งข้อมูล หรือเป็นขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 7
13	ON/SLEEP : ขาแสดงสถานการณ์ทำงาน "1" : อยู่ในโหมดทำงานปกติ "0" : อยู่ในโหมดสลีป
14	VREF : ขาต่อแรงดันอ้างอิงสำหรับโมดูลแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลภายใน XBee-PRO
15	Associated/AD5/DIO5 : ขาแสดงสถานการณ์เชื่อมต่อ หรือ ขาอินพุตอะนาลอก 5 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 5
16	RTS/AD6/DIO6 : ขาเอาต์พุตแจ้งความพร้อมในการส่งข้อมูล (Ready-To-Send) ใช้ควบคุมจังหวะการรับส่งข้อมูล หรือเป็นขาอินพุตอะนาลอก 6 หรือเป็นขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 6
17	AD3/DIO3 : ขาอินพุตอะนาลอก 3 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 3
18	AD2/DIO2 : ขาอินพุตอะนาลอก 2 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 2
19	AD1/DIO1 : ขาอินพุตอะนาลอก 1 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 1
20	AD0/DIO0 : ขาอินพุตอะนาลอก 0 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 0

ภาพประกอบ 88 ฟังก์ชั่นการทำงานของโมดูล x-bee pro

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายธวัช กองสี

วันเกิด 24 พฤศจิกายน 2532

สถานที่เกิด โรงพยาบาลกุมภวาปี อ.กุมภวาปี จ.อุดรธานี

สถานที่อยู่ปัจจุบัน เลขที่ 97 หมู่ที่ 11 บ้านนางาม ตำบลตาดทอง อำเภอศรีธาตุ จังหวัดอุดรธานี รหัสไปรษณีย์ 41230

ตำแหน่งหน้าที่การงาน นักวิชาการศึกษา

สถานที่ทำงานปัจจุบัน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2548 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนตาดทองพิทยาคม อำเภอศรีธาตุ จังหวัดอุดรธานี

พ.ศ. 2551 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาวิชาเครื่องกล สาขางานยานยนต์ วิทยาลัยเทคนิคกาญจนาภิเษกอุดรธานี

พ.ศ. 2556 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

พ.ศ. 2563 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ทุนวิจัย -

ผลงานวิจัย -