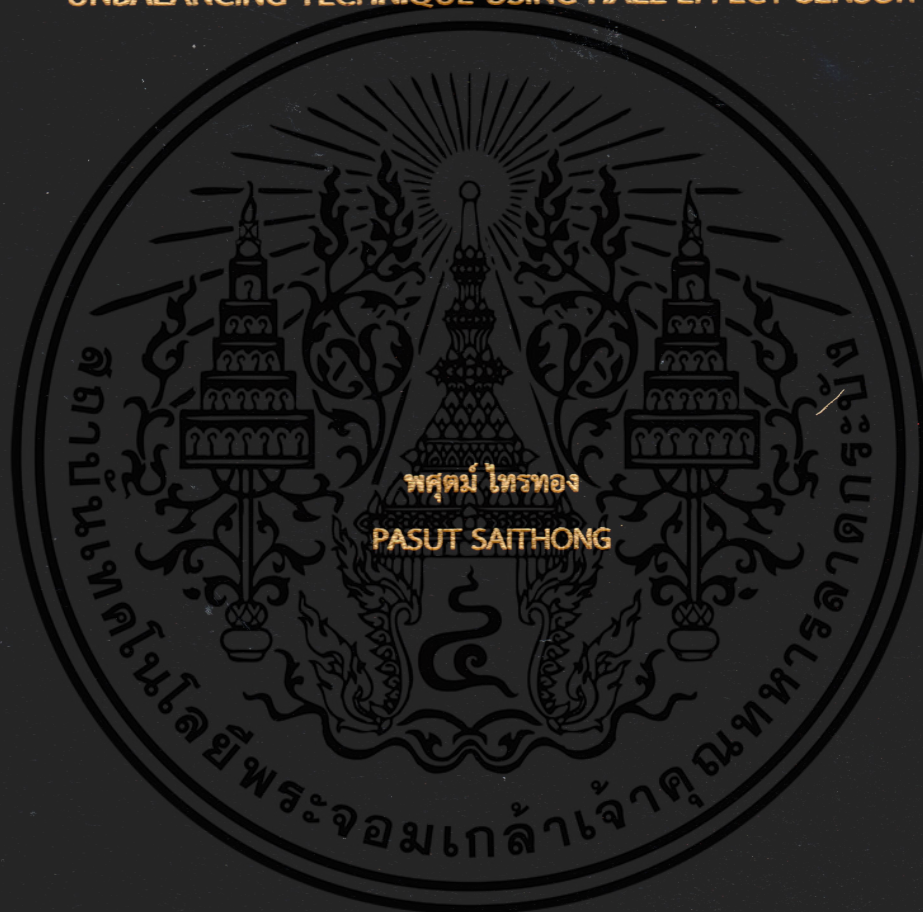


การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนบนพื้นฐานความไม่สมดุล  
ของสนามแม่เหล็กด้วยฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์

A VIBRATION ANALYSIS BASED ON MAGNETIC FIELD  
UNBALANCING TECHNIQUE USING HALL EFFECT SENSOR



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-EN-M-060-131

การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนบนพื้นฐานความไม่สมดุล  
ของสนามแม่เหล็กด้วยฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์

A VIBRATION ANALYSIS BASED ON MAGNETIC FIELD  
UNBALANCING TECHNIQUE USING HALL EFFECT SENSOR



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2562

KMITL-2019-EN-M-060-131

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A VIBRATION ANALYSIS BASED ON MAGNETIC FIELD  
UNBALANCING TECHNIQUE USING HALL EFFECT SENSOR



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2019  
KMITL-2019-EN-M-060-131

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2019

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนบนพื้นฐานความไม่สมดุลของสนามแม่เหล็กด้วยฮอลล์เอฟเฟค เซ็นเซอร์
นักศึกษา	นายพศุทธิ์ ไทรทอง
รหัสประจำตัว	59601076
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.วิศรุต ศรีรัตน์

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการออกแบบระบบการวัดการสั่นสะเทือนตามมาตรฐาน ISO10816-1 บนพื้นฐานของการตรวจวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กโดยใช้การสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในการป้อนโหลดเข้าไป ในแต่ละสภาวะที่แตกต่างกันเป็นกรณีศึกษา เพื่อที่จะวิเคราะห์การทำงานและประสิทธิภาพของมอเตอร์ในลักษณะของโหลดที่เป็นสภาวะสมดุลและไม่สมดุล โดยทำการทดสอบทั้งหมด 4 สภาวะ ได้แก่ สภาวะสมดุล สภาวะไม่สมดุล 25% สภาวะไม่สมดุล 50% และสภาวะไม่สมดุล 75% นำมาเปรียบเทียบกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์จากการตรวจวัด ซึ่งในกรณีนี้ใช้ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์ในการตรวจวัดสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของการสั่นสะเทือนของตัวแปรที่กำหนด โดยการพิจารณาค่าเอาท์พุทของแรงดันไฟฟ้าฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์ ( $V_H$ ) ซึ่งจะมีการพิจารณาในส่วนของ ทอร์กและความถี่ แรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ขนาด 6 VDC มีค่าตั้งแต่ 4 - 8 V โดยมีค่าของการกระตุ้นสูงสุดที่ 8 V ที่ตำแหน่งของโหลดที่สภาวะสมดุล มีค่าความถี่เท่ากับ 807 Hz, สภาวะไม่สมดุล 25% มีค่าความถี่เท่ากับ 2.50 kHz, สภาวะไม่สมดุล 50% มีค่าความถี่เท่ากับ 3.850 kHz และสภาวะไม่สมดุล 75% มีค่าความถี่เท่ากับ 4.170 kHz แรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ขนาด 12 VDC 3,500 RPM มีค่าตั้งแต่ 4 - 8 V โดยมีค่าของการกระตุ้นสูงสุดที่ 8 V ที่ตำแหน่งของโหลดที่สภาวะสมดุล มีค่าความถี่เท่ากับ 275 Hz, สภาวะไม่สมดุล 25% มีค่าความถี่เท่ากับ 1.10 kHz, สภาวะไม่สมดุล 50% มีค่าความถี่เท่ากับ 1.790 kHz และสภาวะไม่สมดุล 75% มีค่าความถี่เท่ากับ 4.170 kHz แรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ขนาด 12 VDC 5,000 RPM มีค่าตั้งแต่ 4 - 8 V โดยมีค่าของการกระตุ้นสูงสุดที่ 8 V ที่ตำแหน่งของโหลดที่สภาวะสมดุล มีค่าความถี่เท่ากับ 0 Hz, สภาวะไม่สมดุล 25% มีค่าความถี่เท่ากับ 460 Hz, สภาวะไม่สมดุล 50% มีค่าความถี่เท่ากับ 746 Hz และสภาวะไม่สมดุล 75% มีค่าความถี่เท่ากับ 1.19 kHz ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความถี่มีค่าสูงสุดที่สภาวะไม่สมดุลมากที่สุดหรือสภาวะไม่สมดุล 75% และเมื่อทำการทดลองกับมอเตอร์ที่มีขนาดที่ใหญ่ขึ้น พบว่าค่าของความถี่จากสั่นสะเทือนมีค่าลดลง โดยในงานวิจัยนี้มีค่าเฉลี่ยรวมของความผิดพลาดเท่ากับ 0.34%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis</b>	A Vibration Analysis Based on Magnetic Field Unbalancing Technique Using Hall Effect Sensor
<b>Student</b>	Mr. Pasut Saithong
<b>Student ID.</b>	59601076
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Instrumentation Engineering
<b>Year</b>	2019
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Witsarut Sriratana

## ABSTRACT

This paper presents the design of a vibration measurement system, according to the standard of ISO 10816-1. In this study, a vibration measuring device using the magnetic field balancing technique. The vibration generates for experiment was used a vibration of the motor for taking load into a different condition as a case study. The operation and performance analysis of the motor in term of balance and unbalance position of load can be determined by dividing the experiment into four conditions: balance of position, 25% unbalance of position, 50% unbalance of position and 75% unbalance of position. The magnetic field method influenced by the permanent magnets was applied and the Hall Effect sensor was used as a sensor. The results of the experiment were then compared to those from output voltage of the Hall Effect sensor as well as those from the magnetic field density for analysis the vibration and the effectiveness of motor. The results of the experiment can be considered in terms of torque and frequency. The voltage that activates a 6 VDC motor is from 4 - 8 V, with a maximum excitation of 8 V at the position of the load at a unbalanced state. It was found that, A balanced state with a frequency equal to 807 Hz, 25% of unbalanced state with a frequency equal to 2.50 kHz, 50% of unbalanced state with a frequency equal to 3.850 kHz and 75% of unbalanced state with a frequency equal to 4.170 kHz. The voltage that activates a 12 VDC 3,500 RPM motor, it was found that, a balanced state with a frequency equal to 275 Hz, 25% of unbalanced state with a frequency equal to 1.1 kHz, 50% of unbalanced state with a frequency equal to 1.79 kHz and 75% of unbalanced state with a frequency equal to 4.170 kHz. The voltage that activates a 12 VDC 5,000 RPM motor, it was found that, a balanced state with a frequency equal to 0 Hz, 25% of unbalanced state with a frequency equal to

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

460 Hz, 50% of unbalanced state with a frequency equal to 746 Hz and 75% of unbalanced state with a frequency equal to 1.19 kHz. It can be seen that the frequency value is highest at the most unbalanced condition or 75% of unbalanced condition, and when experimenting with larger motors found that the frequency of vibration decreased. In this research, the average of process error is 0.34%.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาที่ได้รับคำแนะนำและความช่วยเหลือต่าง ๆ จากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.วิศรุต ศรีรัตนะ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมดูแลการทำวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษา คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า ผู้จัดทำซาบซึ้งใจและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้สั่งสอนและให้คำแนะนำ ข้าพเจ้าจึงนำคำสั่งสอนเหล่านั้นมาประยุกต์ใช้กับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการเซ็นเซอร์และทรานสดิวเซอร์ หลักสูตรวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้สถานที่ในการศึกษาวิจัย และสนับสนุนอุปกรณ์ต่างๆ ในการจัดทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเพื่อนและน้อง ในห้องปฏิบัติการทุกคน ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือต่างๆ พร้อมกำลังใจที่ดีเสมอมาในตลอดการเรียนและการจัดทำวิทยานิพนธ์ที่ผ่านมา

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบคุณครอบครัวของข้าพเจ้า ทั้งคุณพ่อและคุณแม่ ที่สนับสนุนเงินทุนการศึกษาของข้าพเจ้ามาโดยตลอดและเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่งตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

นายพศุตม์ ไทรทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ IV ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	1
1.4 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย.....	1
1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ.....	2
1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	2
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ทบทวนวรรณกรรม.....	3
2.2 ทฤษฎีการสันสเทือน.....	3
2.2.1 การสันสเทือนแบบอิสระ.....	4
2.2.2 การสันสเทือนแบบบังคับ.....	4
2.2.3 ทฤษฎีการตรวจวัดการสันสเทือน.....	4
2.3 ทฤษฎีการเคลื่อนที่แบบหมุน.....	7
2.3.1 ลักษณะการเคลื่อนที่แบบหมุน.....	7
2.3.2 การกระจัดเชิงมุม ความเร็วเชิงมุม และความเร่งเชิงมุม.....	8
2.3.3 สูตรการหาปริมาณต่างๆของการเคลื่อนที่แบบหมุน.....	9
2.4 โมเมนต์ความเฉื่อย.....	9
2.5 ทอร์กและการคำนวณค่าทอร์ก.....	10
2.6 ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์.....	11
2.7 ทฤษฎีเกี่ยวกับความถี่.....	12
2.8 การแปลงสัญญาณแบบฟูเรียร์.....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และVต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8.1 สัญญาณบนโดเมนความถี่.....	14
2.8.2 การวิเคราะห์ฟูเรียร์.....	16
บทที่ 3 การออกแบบและดำเนินงานวิจัย.....	19
3.1 การออกแบบระบบการสั่นสะเทือน.....	19
3.1.1 แหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก.....	19
3.1.2 มอเตอร์.....	21
3.1.2.1 สภาวะสมดุล.....	21
3.1.2.2 สภาวะไม่สมดุล 25%.....	22
3.1.2.3 สภาวะไม่สมดุล 50%.....	22
3.1.2.4 สภาวะไม่สมดุล 75%.....	23
3.2 วงจรแปลงค่าสนามแม่เหล็ก.....	23
3.3 การดำเนินงานวิจัย.....	24
3.3.1 การวิเคราะห์ค่าแรงดันไฟฟ้าจากการสั่นสะเทือน.....	24
3.3.2 การวิเคราะห์ค่าความถี่จากการสั่นสะเทือน.....	25
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	27
4.1 การสั่นสะเทือนของมอเตอร์.....	27
4.2 ความถี่จากการสั่นของมอเตอร์.....	30
4.2.1 มอเตอร์ขนาด 6 VDC.....	30
4.2.1.1 ความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะสมดุล.....	30
4.2.1.2 ความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 25%.....	36
4.2.1.3 ความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 50%.....	42
4.2.1.4 ความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 75%.....	48
4.2.2 มอเตอร์ขนาด 12 VDC 3,500 RPM.....	54
4.2.2.1 ความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะสมดุล.....	54
4.2.2.2 ความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 25%.....	60
4.2.2.3 ความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 50%.....	66
4.2.2.4 ความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 75%.....	72
4.2.3 มอเตอร์ขนาด 12 VDC 5,000 RPM.....	78
4.2.3.1 ความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะสมดุล.....	78
4.2.3.2 ความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 25%.....	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ VI ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.3.3 ความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 50%.....	82
4.2.3.4 ความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 75%.....	86
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการสั่นและความถี่.....	92
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์และแรงดันไฟฟ้า ที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์	
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ขนาดต่างๆ.....	97
4.6 ทอร์กของการสั่นสะเทือน.....	102
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	104
เอกสารอ้างอิง.....	105
ภาคผนวก.....	106
ภาคผนวก ก. ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	107
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์.....	109
ประวัติผู้เขียน.....	116

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา **VI**ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่ามาตรฐาน ISO 10816-1.....	5
2.2 ระดับความเสียหาย.....	5
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยการสั่นสะเทือนกับสมมติฐานความเสียหายของเครื่องจักร.....	7
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเชิงเส้นกับปริมาณเชิงมุม.....	9
2.5 การเปรียบเทียบการเคลื่อนที่แบบหมุนและสูตรการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง.....	10
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 6 VDC ทั้ง 4 สภาวะ.....	27
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์.....	27
12 VDC 3,500 RPM ทั้ง 4 สภาวะ	
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์.....	28
12 VDC 5,000 RPM ทั้ง 4 สภาวะ	
4.4 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของเครื่องมือนัด ในสภาวะต่างๆ.....	29
เมื่อเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้า ในการกระตุ้นมอเตอร์โดยทำการวัดผ่านออสซิลโลสโคป	
4.5 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการแปลงฟูเรียร์ด้วยโปรแกรม MATLAB.....	35
ของมอเตอร์ 6 VDC ที่สภาวะสมดุล	
4.6 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการแปลงฟูเรียร์ด้วยโปรแกรม MATLAB.....	41
ของมอเตอร์ 6 VDC ที่สภาวะไม่สมดุล 25%	
4.7 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการแปลงฟูเรียร์ด้วยโปรแกรม MATLAB.....	47
ของมอเตอร์ 6 VDC ที่สภาวะไม่สมดุล 50%	
4.8 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการแปลงฟูเรียร์ด้วยโปรแกรม MATLAB.....	53
ของมอเตอร์ 6 VDC ที่สภาวะไม่สมดุล 75%	
4.9 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการแปลงฟูเรียร์ด้วยโปรแกรม MATLAB.....	59
ของมอเตอร์ 12 VDC 3,500 RPM ที่สภาวะสมดุล	
4.10 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการแปลงฟูเรียร์ด้วยโปรแกรม MATLAB.....	65
ของมอเตอร์ 12 VDC 3,500 RPM ที่สภาวะไม่สมดุล 25%	
4.11 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการแปลงฟูเรียร์ด้วยโปรแกรม MATLAB.....	71
ของมอเตอร์ 12 VDC 3,500 RPM ที่สภาวะไม่สมดุล 50%	
4.12 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการแปลงฟูเรียร์ด้วยโปรแกรม MATLAB.....	77
ของมอเตอร์ 12 VDC 3,500 RPM ที่สภาวะไม่สมดุล 75%	
4.13 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการแปลงฟูเรียร์ด้วยโปรแกรม MATLAB.....	79
ของมอเตอร์ 12 VDC 5,000 RPM ที่สภาวะสมดุล	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา VIII อย่างเป็นทางการทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.14 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการแปลงฟูเรียร์ด้วยโปรแกรม MATLAB.....	82
ของมอเตอร์ 12 VDC 5,000 RPM ที่สภาวะไม่สมดุล 25%	
4.15 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการแปลงฟูเรียร์ด้วยโปรแกรม MATLAB.....	86
ของมอเตอร์ 12 VDC 5,000 RPM ที่สภาวะไม่สมดุล 50%	
4.16 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการแปลงฟูเรียร์ด้วยโปรแกรม MATLAB.....	91
ของมอเตอร์ 12 VDC 5,000 RPM ที่สภาวะไม่สมดุล 75%	
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์และความถี่.....	92
ของมอเตอร์ 6 VDC ทั้ง 4 สภาวะ	
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์และความถี่.....	92
ของมอเตอร์ 12 VDC 3,500 RPM ทั้ง 4 สภาวะ	
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์และความถี่.....	93
ของมอเตอร์ 12 VDC 5,000 RPM ทั้ง 4 สภาวะ	
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์และแรงดันไฟฟ้า.....	94
ที่กระตุ้นมอเตอร์ขนาด 6 VDC ทั้ง 4 สภาวะ	
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์และแรงดันไฟฟ้า.....	95
ที่กระตุ้นมอเตอร์ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ทั้ง 4 สภาวะ	
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์และแรงดันไฟฟ้า.....	96
ที่กระตุ้นมอเตอร์ขนาด 12 VDC 5,000 RPM ทั้ง 4 สภาวะ	
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 6 VDC ทั้ง 4 สภาวะ.....	97
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 12 VDC 3,500 RPM.....	98
ทั้ง 4 สภาวะ	
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 12 VDC 5,000 RPM.....	99
ทั้ง 4 สภาวะ	
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์.....	101
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กและแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 6 VDC ทั้ง 4 สภาวะ.....	102
4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กและแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 12 VDC 3,500 RPM.....	102
ทั้ง 4 สภาวะ	
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กและแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 12 VDC 5,000 RPM.....	103
ทั้ง 4 สภาวะ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แลIXต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยวัดการสั่นสะเทือนกับความถี่.....	6
2.2 แสดงทิศทางการวัดการสั่นสะเทือนบริเวณแบริ่ง.....	7
2.3 โมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุรูปทรงก้นเล็กยาว $R$ ทะลุศูนย์กลาง.....	10
2.4 การเกิดทอร์กของวัตถุมวล $m$ .....	10
2.5 ตัวรับรู้ฮอลล์เบอร์ A1301.....	12
2.6 ลักษณะองค์ประกอบของการสั่นสะเทือน.....	12
2.7 รูปแบบการเคลื่อนที่ลักษณะแบบเป็นคาบ.....	14
2.8 สัญญาณการสั่นสะเทือนในรูปกราฟโดเมนเวลา.....	14
2.9 สัญญาณการสั่นสะเทือนในรูปกราฟโดเมนความถี่.....	15
2.10 สัญญาณการสั่นสะเทือนในรูปกราฟโดเมนเวลาลักษณะเป็นคาบ.....	15
2.11 สัญญาณการสั่นสะเทือนในรูปกราฟโดเมนความถี่.....	16
2.12 สัญญาณในโดเมนเวลา และโดเมนความถี่.....	17
2.13 ตัวอย่างการวิเคราะห์สัญญาณในโดเมนความถี่.....	17
3.1 ระบบการวัดการสั่นสะเทือน.....	19
3.2 แหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก.....	20
3.3 เครื่องมือสนามแม่เหล็กรุ่น SDL 900.....	20
3.4 มอเตอร์กระแสตรง 6 VDC, 12 VDC 3,500 RPM, 12 VDC 5,000 RPM.....	21
3.5 แสดงการออกแบบสถานะสมดุลของมอเตอร์.....	21
3.6 แสดงการออกแบบสถานะไม่สมดุล 25% ของมอเตอร์.....	22
3.7 แสดงการออกแบบสถานะไม่สมดุล 50% ของมอเตอร์.....	22
3.8 แสดงการออกแบบสถานะไม่สมดุล 75% ของมอเตอร์.....	23
3.9 วงจรแปลงค่าสนามแม่เหล็ก.....	23
3.10 แผนภาพระบบตรวจวัดการสั่นสะเทือน.....	24
3.11 ออสซิลโลสโคป รุ่น Rigol DS1052E.....	25
3.12 การวิเคราะห์ค่าแรงดันไฟฟ้าจากการสั่นสะเทือน.....	25
3.13 การวิเคราะห์ความถี่จากการสั่นสะเทือน.....	26
3.14 บล็อกไดอะแกรมการแปลงฟูเรียร์.....	26
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ ทั้ง 4 สถานะ.....	28
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์และแรงดันไฟฟ้า.....	29
ของมอเตอร์ ทั้ง 4 สถานะ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ X ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 4 V ในสภาวะสมดุล.....	31
ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.4 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 5 V ในสภาวะสมดุล.....	32
ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.5 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 6 V ในสภาวะสมดุล.....	33
ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.6 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 7 V ในสภาวะสมดุล.....	34
ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.7 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 8 V ในสภาวะสมดุล.....	35
ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.8 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 4 V ในสภาวะไม่สมดุล 25%.....	36
ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.9 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 5 V ในสภาวะไม่สมดุล 25%.....	37
ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.10 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 6 V ในสภาวะไม่สมดุล 25%.....	38
ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.11 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 7 V ในสภาวะไม่สมดุล 25%.....	39
ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.12 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 8 V ในสภาวะไม่สมดุล 25%.....	40
ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.13 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 4 V ในสภาวะไม่สมดุล 50%.....	42
ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.14 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 5 V ในสภาวะไม่สมดุล 50%.....	43
ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.15 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 6 V ในสภาวะไม่สมดุล 50%.....	44
ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.16 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 7 V ในสภาวะไม่สมดุล 50%.....	45
ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.17 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 8 V ในสภาวะไม่สมดุล 50%.....	46
ด้วยการแปลงฟูเรียร์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ XI ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.18 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 4 V ในสภาวะไม่สมดุล 75%.....48 ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.19 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 5 V ในสภาวะไม่สมดุล 75%.....49 ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.20 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 6 V ในสภาวะไม่สมดุล 75%.....50 ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.21 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 7 V ในสภาวะไม่สมดุล 75%.....51 ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.22 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 8 V ในสภาวะไม่สมดุล 75%.....52 ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.23 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 4 V.....54 ในสภาวะสมดุล ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.24 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 5 V.....55 ในสภาวะสมดุล ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.25 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 6 V.....56 ในสภาวะสมดุล ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.26 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 7 V.....57 ในสภาวะสมดุล ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.27 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 8 V.....58 ในสภาวะสมดุล ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.28 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 4 V.....60 ในสภาวะไม่สมดุล 25% ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.29 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 5 V.....61 ในสภาวะไม่สมดุล 25% ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.30 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 6 V.....62 ในสภาวะไม่สมดุล 25% ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.31 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 7 V.....63 ในสภาวะไม่สมดุล 25% ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.32 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 8 V.....64 ในสภาวะไม่สมดุล 25% ด้วยการแปลงฟูเรียร์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ XII ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.33 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 4 V.....	66
ในสภาวะไม่สมดุล 50% ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.34 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 5 V.....	67
ในสภาวะไม่สมดุล 50% ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.35 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 6 V.....	68
ในสภาวะไม่สมดุล 50% ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.36 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 7 V.....	69
ในสภาวะไม่สมดุล 50% ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.37 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 8 V.....	70
ในสภาวะไม่สมดุล 50% ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.38 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 4 V.....	72
ในสภาวะไม่สมดุล 75% ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.39 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 5 V.....	73
ในสภาวะไม่สมดุล 75% ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.40 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 6 V.....	74
ในสภาวะไม่สมดุล 75% ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.41 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 7 V.....	75
ในสภาวะไม่สมดุล 75% ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.42 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 8 V.....	76
ในสภาวะไม่สมดุล 75% ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.43 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 5,000 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 4 V.....	78
ในสภาวะสมดุล ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.44 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 5,000 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 7 V.....	80
ในสภาวะไม่สมดุล 25% ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.45 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 5,000 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 8 V.....	81
ในสภาวะไม่สมดุล 25% ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.46 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 5,000 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 6 V.....	83
ในสภาวะไม่สมดุล 50% ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.47 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 5,000 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 7 V.....	84
ในสภาวะไม่สมดุล 50% ด้วยการแปลงฟูเรียร์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ XIII หวังอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.48 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 5,000 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 8 V.....	85
ในสภาวะไม่สมดุล 50% ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.49 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 5,000 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 5 V.....	87
ในสภาวะไม่สมดุล 75% ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.50 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 5,000 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 6 V.....	88
ในสภาวะไม่สมดุล 75% ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.51 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 5,000 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 7 V.....	89
ในสภาวะไม่สมดุล 75% ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.52 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ ขนาด 12 VDC 5,000 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 8 V.....	90
ในสภาวะไม่สมดุล 75% ด้วยการแปลงฟูเรียร์	
4.53 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์และแรงดันไฟฟ้า.....	94
ที่กระตุ้นมอเตอร์ 6 VDC ทั้ง 4 สภาวะ	
4.54 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์และแรงดันไฟฟ้า.....	95
ที่กระตุ้นมอเตอร์ 12 VDC 3,500 RPM ทั้ง 4 สภาวะ	
4.55 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์และแรงดันไฟฟ้า.....	96
ที่กระตุ้นมอเตอร์ 12 VDC 5,000 RPM ทั้ง 4 สภาวะ	
4.56 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการสั่นสะเทือนและแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 6 VDC.....	98
4.57 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการสั่นสะเทือนและแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้น.....	99
มอเตอร์ 12 VDC 3,500 RPM	
4.58 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการสั่นสะเทือนและแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้น.....	100
มอเตอร์ 12 VDC 5,000 RPM	
4.59 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์กับค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด.....	101

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีการใช้งานของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมอยู่อย่างแพร่หลาย นอกจากการใช้งานแล้ว ควบรวมการดูแลและการซ่อมบำรุง ให้เครื่องจักรทำงานได้อย่างปกติ เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในการผลิต สำหรับเครื่องจักรหรือมอเตอร์ในอุตสาหกรรมทุกชนิด จะมีความสัมพันธ์บ่งบอกถึงสภาพของเครื่องจักร ถ้าค่าความสัมพันธ์วัดได้มีค่าสูง อาจมีสาเหตุมาจากเครื่องจักรเกิดความไม่สมดุลหรือมีชิ้นส่วน ส่วนหนึ่งส่วนใดเคลื่อนหรือหลุดไปจากตำแหน่งปกติ ซึ่งจำเป็นต้องทำการบำรุงรักษา หากปล่อยไว้ให้เกิดการสั่นสะเทือนอย่างต่อเนื่องหรือรุนแรง อาจทำให้เครื่องจักรเกิดความเสียหายได้ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับ การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนโดยใช้มอเตอร์เป็นกรณีศึกษา เพื่อวิเคราะห์การทำงานและประสิทธิภาพของมอเตอร์ในลักษณะของโพลต์ที่เป็นสภาวะสมดุล (Balance) และสภาวะไม่สมดุล (Unbalance)

### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการสั่นสะเทือนในรูปแบบต่าง ๆ โดยใช้มอเตอร์เป็นกรณีศึกษาของการสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากความไม่สมดุลของ Rotor
2. เพื่อแสดงการออกแบบของตัวเซ็นเซอร์โมดูลสำหรับตรวจวัดการสั่นสะเทือน
3. เพื่อเปรียบเทียบค่าการสั่นสะเทือนด้วยทอร์ก (Torque) และความถี่ (Frequency) โดยใช้มอเตอร์เป็นกรณีศึกษา
4. เพื่อวัดการสั่นสะเทือนในสภาวะต่าง ๆ ของการเปลี่ยนแปลงสมดุลที่แกน Rotor ของมอเตอร์ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการป้องกันความเสียหายและการบำรุงรักษาเครื่องจักรในอนาคต
5. วิเคราะห์ค่าความถี่ที่ได้จากการทดลอง เพื่อให้ทราบว่าตัวมอเตอร์หรือเครื่องจักรนั้นอยู่ในสภาวะปกติหรือไม่

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาและวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่ สภาวะสมดุล และ สภาวะไม่สมดุล ที่ระยะต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์การทำงานและสามารถป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นได้ของเครื่องจักรในอนาคต ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้มอเตอร์กระแสตรง เป็นกรณีศึกษา โดยประยุกต์ใช้ฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ (Hall effect sensor) เพื่อใช้ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่สนามแม่เหล็กไฟฟ้า พร้อมทั้งการวิเคราะห์ผลการทดลองบนพื้นฐานของการสั่นสะเทือนด้วยหลักการของทอร์กและความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาการประยุกต์ใช้งานฮอลล์เอฟเฟกเซ็นเซอร์และตำแหน่งการติดตั้งที่เหมาะสม
2. ศึกษาและวิเคราะห์ผลจากค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่เกิดขึ้นจากการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ พร้อมทั้งค่าความคลาดเคลื่อนของการวัด

#### 1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. สามารถประยุกต์ใช้งานเซ็นเซอร์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ในการตรวจวัดค่าการสั่นสะเทือนได้
2. สามารถประยุกต์ใช้งานเซ็นเซอร์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ในการดูแลรักษาและการป้องกันเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม ก่อนจะเกิดเหตุการณ์ที่ส่งผลเสียและความเสียหายแก่เครื่องจักร

#### 1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท โดยในแต่ละบทมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

- บทที่ 1 กล่าวถึงที่มาและความสำคัญของการวัดค่าการสั่นสะเทือน จุดมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ในการศึกษาเพื่อวิเคราะห์การสั่นสะเทือนและประโยชน์ที่จะได้รับ
- บทที่ 2 กล่าวถึงการทบทวนวรรณกรรม ทฤษฎีการวัดค่าการสั่นสะเทือนและฮอลล์เอฟเฟกเซ็นเซอร์
- บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบระบบการสั่นสะเทือนโดยใช้มอเตอร์เป็นกรณีศึกษา
- บทที่ 4 กล่าวถึงวิธีการทดลองและการวิเคราะห์ผลการสั่นสะเทือน
- บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์การวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการประยุกต์ใช้งานฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ร่วมกับการวิเคราะห์ผลจากการวัดค่าการสั่นสะเทือน เพื่อสามารถประยุกต์ใช้งานเซ็นเซอร์ในการนำเสนอการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนบนพื้นฐานความสมดุลของสนามแม่เหล็กด้วยฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ โดยใช้มอเตอร์เป็นกรณีศึกษา ได้จากการทบทวนวรรณกรรมดังนี้

### 2.1 ทบทวนวรรณกรรม

การศึกษาในครั้งนี้ได้ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในหลายแขนงวิชา มีจุดประสงค์คือการประยุกต์ใช้งานฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์สำหรับการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน ในการสั่นสะเทือนนั้นมีการศึกษาโดยใช้การตรวจวัดหรือวิธีรูปแบบต่าง ๆ เช่น การวิเคราะห์ข้อบกพร่องการสั่นสะเทือนสำหรับระบบแกนหมุนโดยใช้ฮิลเบิร์ตสเปกตรัม ในการทดลองนี้จะแสดงการวิเคราะห์หาข้อบกพร่องโดยใช้โดเมนเวลาและโดเมนความถี่ในการหาความละเอียดของการวิเคราะห์ฮิลเบิร์ตสเปกตรัม [1] หรือ การตรวจหาข้อผิดพลาดในมอเตอร์เหนี่ยวนำในสถานะ Steady-state โดยมีการวิเคราะห์ทางเสียงและสัญญาณการสั่นสะเทือน โดยงานวิจัยนี้เป็นของ P.A. Delgado-Arredondo และคณะ [2] หรือ การใช้ Bridge configured ในมอเตอร์เหนี่ยวนำสำหรับแรงดึงแม่เหล็กที่ไม่สมดุลที่เกิดขึ้นเนื่องจากการปรากฏตัวของสนามแม่เหล็กของคู่ขั้วในช่องว่างอากาศของมอเตอร์ของ Gaurav Kumar and Karuna Kalita [3] หรือการวิเคราะห์ของการลดชั้นของสนามแม่เหล็กบนการสั่นสะเทือนของมอเตอร์แม่เหล็กถาวร ซึ่งจะมีการวิเคราะห์แรงแม่เหล็กในสถานะไม่สมดุลและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนโดยใช้สเปกตรัม [4] แต่งานวิจัยนี้เราจะพูดถึงการศึกษาวิธีการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในรูปแบบใหม่ โดยจะใช้การสั่นสะเทือนของมอเตอร์เป็นกรณีศึกษา โดยพิจารณาลักษณะของโหลดที่สถานะสมดุลและไม่สมดุล โดยการทดสอบทั้ง 4 สถานะ ได้แก่ สถานะสมดุล สถานะไม่สมดุล 25% สถานะไม่สมดุล 50% และ สถานะไม่สมดุล 75% โดยการพิจารณาค่าเอาต์พุตของแรงดันไฟฟ้าฮอลล์เอฟเฟกต์เซ็นเซอร์ โดยแสดงออกมาเป็นกราฟ ในงานวิจัยนี้เรามีส่วนสำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ต้องใช้ นั่นก็คือแม่เหล็ก โดยแม่เหล็กที่เราเลือกใช้ชิ้นนั้นคือ Neodymium เพราะเป็นแม่เหล็กที่มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กแรงสูง ทำให้การเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุตมีปริมาณสูง โดยในส่วนของการสั่นสะเทือนจะมีการพิจารณาจากการหมุน จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการหมุนที่ทำให้เกิดแรงกระทำและทำให้เกิดการสั่นสะเทือน

### 2.2 ทฤษฎีการสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือน (Vibration) คือการแกว่งหรือการสั่นของวัตถุรอบ ๆ จุดสมดุล ยกตัวอย่างเช่น การแกว่งของลูกตุ้ม การสั่นสะเทือนของปั๊มน้ำ หรือแม้กระทั่งการสั่นสะเทือนของลำโพง มอเตอร์ เครื่องซักผ้า เป็นต้น จะเห็นได้ว่าการสั่นสะเทือน มีทั้งคุณประโยชน์และข้อเสีย โดยส่วนใหญ่เราตรวจสอบความสั่นสะเทือนของไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือและอุปกรณ์ เพื่อนำไปวิเคราะห์และป้องกันความเสียหายของเครื่องจักรกล การสั่นสะเทือนแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ การสั่นสะเทือนแบบอิสระ (Free vibration) และการสั่นสะเทือนแบบบังคับ (Forced vibrations)

### 2.2.1 การสั่นสะเทือนแบบอิสระ

การสั่นสะเทือนแบบอิสระ คือ ปรากฏการณ์ทางกลที่วัตถุหนึ่งได้รับพลังงาน (พลังงานจลหรือพลังงานศักย์) จากนั้นจึงเกิดการสั่นสะเทือนอย่างอิสระ ยกตัวอย่างเช่น การดึงเก้าอี้ชิงช้าแล้วปล่อยให้แกว่งอย่างอิสระ การตีระฆังให้มีเสียงดังและสั่น

### 2.2.2 การสั่นสะเทือนแบบบังคับ

การสั่นสะเทือนที่มีแรงกระทำจากภายนอกอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ความถี่ของการสั่นจะเท่ากับ ความถี่ของแรงกระทำในระบบ แรงกระทำนี้เป็นได้ทั้งแรงเสียดทานหรือความหน่วง (Damp) และแรงเสริม (Force) เช่น ผู้เฝ้าอาจจะคอยๆออกแรงสวทศทางการแกว่ง ซึ่งก็จะทำให้ชิงช้าค่อยๆช้าลง เป็นต้น แต่หากผู้เฝ้าจะออกแรงเสริมในจังหวะที่พอดีกับการแกว่งของชิงช้า ก็จะทำให้ชิงช้าแกว่งแรงขึ้นและสูงขึ้นเรื่อยๆ (คาบการให้แรงพอดีกับคาบการสั่นแบบอิสระ) ลักษณะเช่นนี้คือเรโซแนนซ์

### 2.2.3 ทฤษฎีการตรวจวัดการสั่นสะเทือน

ปัจจุบันเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนแบบพกพา (Vibration Meter) เป็นเครื่องมือที่ถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบความผิดปกติของเครื่องจักรโดยอาศัยขนาดการสั่นสะเทือน (Vibration Amplitude) กับมาตรฐานการสั่นสะเทือน แล้วนำมาประเมินว่าเครื่องจักรนั้นทำงานปกติหรือผิดปกติ เพื่อจะได้วางแผนงานบำรุงรักษาต่อไป โดยเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนแบบพกพาหรือที่หลายๆคนรู้จักกันในชื่อ Vibration Meter เป็นเครื่องมือที่ใช้งานง่ายและสะดวก จึงเหมาะกับผู้เริ่มต้นตรวจสอบสภาพเครื่องจักร แต่ถึงกระนั้นผู้ใช้งานเครื่องมือวัดชนิดนี้ควรเตรียมตัวเบื้องต้นเพื่อจะได้ใช้เครื่องมือได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนี้

ควรมีความรู้เกี่ยวกับมาตรฐานการวัดการสั่นสะเทือน อาทิเช่น ISO 2373:1974, ISO 10816-1 หรือ ISO 10816-3 ในงานวิจัยนี้อ้างอิงโดยมาตรฐาน ISO 10816-1 เป็นมาตรฐานในการบอก ระดับความรุนแรงด้านการสั่นสะเทือน โดยมีเงื่อนไขการใช้งานเบื้องต้น มีดังนี้ [5]

1. ย่านความถี่ 10 – 1000 Hz
2. แอมพลิจูด หน่วย mm/sec, RMS (Root Mean Square)
3. โดยเครื่องจักรต้องมีความเร็วของเพลา ไม่น้อยกว่า 120 รอบต่อนาที

โดยค่าระดับของ ISO 10816-1 แสดงใน ตารางที่ 2.1 และระดับความเสียหายแสดงใน ตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ค่ามาตรฐาน ISO10816-1, Mechanical vibration [6]

R.M.S Vibration Velocity RMS	Class I Up to 15 kW	Class II	Class III	Class IV
0.28	A	A	A	A
0.45				
0.71				
1.12	B	B	B	B
1.8				
2.8	C	C	B	B
4.5	D	C	C	B
7.1				
11.2				
18	D	D	D	C
28	D	D	D	D
45				

ตารางที่ 2.2 ระดับความเสียหาย

ชนิดของความเสียหาย	ระดับความเสียหาย
A	เครื่องจักรใหม่ที่เพิ่งใช้งาน
B	เครื่องจักรเริ่มมีการสั่นสะเทือน ส่งผลเสียระยะยาว
C	เครื่องจักรมีการสั่นสะเทือนรุนแรง ถ้าปล่อยไว้จะส่งผลเสียในเวลาอันสั้น
D	เครื่องจักรมีการสั่นสะเทือนแรงมาก เกิดความเสียหายฉุกเฉิน

โดยมาตรฐาน ISO 10816-1 จำแนกเครื่องจักรตามกำลัง (Power, kW) ของเครื่องจักร โดยแบ่งเป็น 4 Class

Class I: สำหรับเครื่องจักรที่มีกำลัง ไม่เกิน 15 kW

Class II: สำหรับเครื่องจักรขนาดกลางที่มีกำลัง ตั้งแต่ 15 kW ถึง 75 kW

Class III: สำหรับเครื่องจักรขนาดใหญ่ที่มีฐานแบบ Rigid มีกำลัง ไม่เกิน 300 kW

Class IV: สำหรับเครื่องจักรขนาดใหญ่ที่ฐานเป็นแบบ Soft อาทิ Gas Turbine, Turbo Generator  
ที่มีกำลัง ไม่เกิน 10 MW โดย Criteria

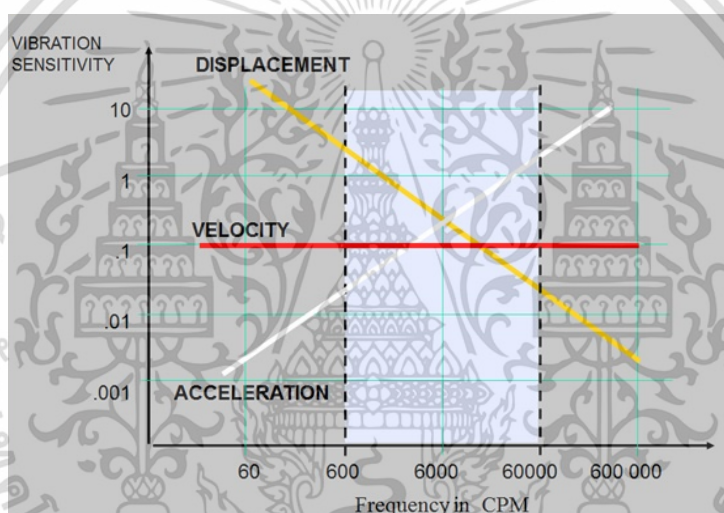
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวัดค่าความสั่นสะเทือนจะใช้เครื่องมือวัดที่เรียกว่า เครื่องวัดการสั่นสะเทือน โดยตัวแปรที่เกี่ยวข้องมีดังต่อไปนี้

1. การกระจัด (Displacement) หมายถึง ระยะทางที่เครื่องจักรเคลื่อนที่ในแต่ละรอบจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง (Peak to Peak) หน่วยที่นิยมใช้เป็นหน่วยความยาวระบบเมตริก (mm หรือ cm) และ ระบบอเมริกัน (inch) เหมาะสำหรับการวัดการสั่นสะเทือน ในช่วงความถี่ต่ำกว่า 10 Hz หรือ 600 RPM

2. ความเร็ว (Velocity) หมายถึง ความเร็วที่เครื่องจักรหรือวัตถุสั่นในแต่ละรอบ มีหน่วยเป็น mm/sec, cm/sec, inch/sec โดยพิจารณาเป็นค่า RMS วิธีการนี้เหมาะสำหรับการตรวจสอบความสั่นสะเทือนที่ความถี่ต่ำถึงปานกลาง 10 Hz ไปจนถึง 1,000 Hz

3. ความเร่ง (Acceleration) หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วของความสั่นสะเทือน มีหน่วยเป็น mm/s<sup>2</sup>, m/s<sup>2</sup>, ft/s<sup>2</sup> เหมาะสำหรับการวัดในช่วงที่มีความถี่สูง ตั้งแต่ 1,000 Hz หรือ 60,000 RPM



รูปที่ 2.1 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยวัดการสั่นสะเทือนกับความถี่

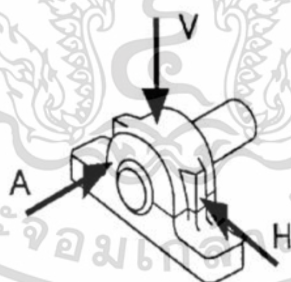
ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนมีความสัมพันธ์แสดงได้ดังรูปที่ 2.1 ในการประเมินความเสียหายของเครื่องจักรด้วยการตรวจวัดการสั่นสะเทือน ในหน่วยความเร็ว เหมาะสำหรับการประเมินระดับความเสียหายตามมาตรฐาน ISO10816 เนื่องจาก ความถี่ไม่มีผลกับขนาดการสั่นสะเทือน ส่วนหน่วยความเร่งใช้ตรวจสอบความผิดปกติของตลับลูกปืนและชุดเกียร์ว่ามีความเสียหายเกิดขึ้นหรือไม่ เพราะความเสียหายของตลับลูกปืนและชุดเกียร์ เมื่อเริ่มเสียหายจะส่งสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ความถี่สูงซึ่งจะมีค่าความถี่สูงกว่า 500 เฮิร์ตซ์ออกมา ถ้าสามารถตรวจพบได้ก่อนจะทำให้เราเตรียมตัว วางแผนการซ่อมบำรุงได้ดียิ่งขึ้น และเมื่อผู้ใช้งานใช้เพียงแต่หน่วยความเร็ว อาจจะไม่ทันการสำหรับการป้องกันความเสียหายของตลับลูกปืน แสดงได้ดังตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยการสั่นสะเทือนกับสมมติฐานความเสียหายของเครื่องจักร [6]

หน่วยวัดการสั่นสะเทือน		จุดประสงค์	สมมติฐานความเสียหาย
หน่วยความเร็ว	mm/sec, RMS inch/sec, RMS	ประเมินระดับการสั่นสะเทือนตามมาตรฐาน ISO	การเสียสมดุล (Unbalance) การเยื้องศูนย์กลาง (Misalignment) การหลวมคลอน (Looseness)
หน่วยความเร่ง (10 - 10000 Hz)	G's, peak mm/sec <sup>2</sup>	ตรวจสอบสภาพแบร็ริง การทำงานของชุดเกียร์	การขาดการหล่อลื่น ความเสียหายจากลูกปืน ความเสียหายจากเกียร์
หน่วยสำหรับตรวจสอบแบร็ริง	gE (Envelope) BDU (Bearing Damage Unit)	ตรวจสอบสภาพแบร็ริง ความผิดปกติของชุดเกียร์ตั้งแต่ความเสียหายยังไม่รุนแรง	การขาดการหล่อลื่น ความเสียหายจากลูกปืน ความเสียหายจากเกียร์ ในช่วงเริ่มต้นของความเสียหาย

กำหนดตำแหน่งการวัดและทิศทางการวัดที่เหมาะสม ซึ่งปกติตำแหน่งการวัดการสั่นสะเทือนจะทำการวัดที่ตำแหน่งแบร็ริงในทิศทางแบบ 3 แกน คือ แกนแนวนอน (Horizontal) แกนแนวตั้ง (Vertical) และแนวแกน (Axial) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงทิศทางการวัดการสั่นสะเทือนบริเวณแบร็ริง [6]

## 2.3 ทฤษฎีการเคลื่อนที่แบบหมุน

### 2.3.1 ลักษณะการเคลื่อนที่แบบหมุน

การเคลื่อนที่แบบหมุน [6,7] วัตถุที่เราศึกษาจะเป็นวัตถุที่มีรูปทรงแน่นอน เรียกว่า วัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) วัตถุจะเคลื่อนที่แบบหมุนได้ จะต้องมิโมเมนต์ของแรงหรือ ทอร์ก (Torque) ที่ไม่เป็นศูนย์มากระทำต่อวัตถุ ซึ่งแนวแรงที่กระทำต่อวัตถุจะต้องไม่ผ่านศูนย์กลางมวลของวัตถุ การพิจารณาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่แบบหมุนในที่นี้ จะศึกษาเฉพาะการหมุนของวัตถุรอบแกนหมุนที่อยู่นิ่งกับที่ หรือหมุนรอบแกนหมุนที่มีการเคลื่อนไป ซึ่งกรณีนี้จะเห็นว่าระนาบการหมุนจะตั้งฉากกับแกนหมุนเสมอ

### 2.3.2 การกระจัดเชิงมุม ความเร็วเชิงมุม และความเร่งเชิงมุม

การกระจัดเชิงมุม ( $\theta$ ) คือมุมที่วัตถุหมุนกวาดไปได้ทั้งหมด มีหน่วยเป็นเรเดียน การกระจัดเชิงมุมเป็นปริมาณเวกเตอร์ จะหาทิศของการกระจัดเชิงมุมได้จากการ ใช้มือขวากำรอบแกนหมุน ให้นิ้วทั้งสี่ชี้ไปทางเดียวกับทิศของการหมุน นิ้วหัวแม่มือขวาที่ทาบบไปตามแกนหมุน จะชี้เป็นทิศของการกระจัดเชิงมุม [6] สำหรับความยาวส่วนโค้งที่วัตถุหมุนไปได้ เรียกว่า การกระจัดเชิงเส้น ( $s$ )

ความเร็วเชิงมุม ( $\omega$ ) คือ การกระจัดเชิงมุมที่วัตถุหมุนได้ใน 1 วินาที มีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที แสดงได้ดังสมการที่ 2.1 ความเร็วเชิงมุมเป็นปริมาณเวกเตอร์ มีทิศเดียวกับทิศของการกระจัดเชิงมุม สำหรับความเร็วที่มีทิศสัมผัสกับวงกลมการหมุน เรียกว่า ความเร็วเชิงเส้น ( $v$ )

$$\bar{\omega} = \frac{\bar{\theta}}{t} \quad (2.1)$$

ความเร่งเชิงมุม ( $\alpha$ ) คือ ความเร็วเชิงมุมที่เปลี่ยนแปลงไปใน 1 วินาที มีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาทียกกำลังสอง [8] แสดงได้ดังสมการที่ 2.2

$$\bar{\alpha} = \frac{\Delta \bar{\omega}}{\Delta t} = \frac{\omega - \omega_0}{\Delta t} \quad (2.2)$$

ความเร่งเชิงมุม ( $\alpha$ ) เป็นปริมาณเวกเตอร์ โดยจะหาทิศทางของความเร่งเชิงมุม โดยใช้กฎมือขวาดังนี้

- 1) ถ้าวัตถุหมุนเร็วขึ้น ให้นำกำสี่นิ้วมือขวาตามทิศการหมุนของวัตถุ นิ้วหัวแม่มือขวาจะชี้เป็นทิศของความเร่งเชิงมุม
- 2) ถ้าวัตถุหมุนช้าลง ให้นำกำสี่นิ้วมือขวาตรงข้ามทิศการหมุนของวัตถุ นิ้วหัวแม่มือขวาจะชี้เป็นทิศของความเร่งเชิงมุม
- 3) สำหรับความเร่งที่มีทิศสัมผัสกับวงกลมการหมุน เรียกว่า ความเร่งเชิงเส้น ( $\alpha, \alpha_r$ )

ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเชิงเส้นกับปริมาณเชิงมุม

ปริมาณ	ปริมาณเชิงเส้น	ปริมาณเชิงมุม	ความสัมพันธ์
การกระจัด	$S$	$\theta$	$S = \theta R$
ความเร็ว	$V$	$\omega$	$V = \omega R$
ความเร่ง	$a$	$\alpha$	$a = \alpha R$

### 2.3.3 สูตรการหาปริมาณต่าง ๆ ของการเคลื่อนที่แบบหมุน

ถ้าวัตถุหมุนด้วยความเร่งเชิงมุม  $\alpha$  คงที่ เริ่มหมุนโดยมีความเร็วเริ่มต้นเป็น  $\omega_0$  เมื่อเวลาผ่านไป  $t$  จะหมุนได้ การกระจัดเชิงมุมเป็น  $\theta$  และจะมีความเร็วเชิงมุมขณะนั้นเป็น  $\omega$  สรุปสูตรการเคลื่อนที่แบบหมุนเปรียบเทียบกับสูตรการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงได้ดัง ตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบการเคลื่อนที่แบบหมุนและสูตรการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง

สมการการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง	สมการการเคลื่อนที่แบบหมุน
$v = u + at$	$\omega = \omega_0 + \alpha t$
$S = \frac{(u+v)t}{2}$	$\theta = \frac{(\omega_0 + \omega)t}{2}$
$s = ut + \frac{1}{2}at^2$	$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2$
$v^2 = u^2 + 2as$	$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta$

## 2.4 โมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of Inertia)

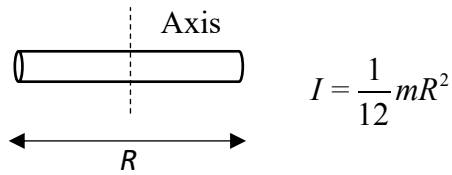
โมเมนต์ความเฉื่อย ( $I$ ) เป็นความเฉื่อยของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบหมุน ซึ่งเป็นสมบัติที่จะต้านการเปลี่ยนสภาพการหมุนของวัตถุ ถ้าวัตถุมีโมเมนต์ความเฉื่อยมาก วัตถุจะหมุนช้า [9]

ถ้าอนุภาคมวล  $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$  อยู่ห่างแกนหมุนเป็นระยะ  $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$  จะหาโมเมนต์ความเฉื่อยของระบบได้จาก สมการที่ 2.3 ดังนี้

$$I = m_1 R_1^2 + m_2 R_2^2 + m_3 R_3^2 + \dots + m_n R_n^2$$

$$I = \sum_{i=1}^n m_i R_i^2 \quad (2.3)$$

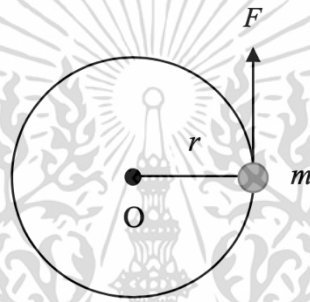
โมเมนต์ความเฉื่อยเป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วย  $\text{kg} \cdot \text{m}^2$  ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยจะขึ้นอยู่กับแกนหมุนด้วย วัตถุก้อนเดียวกันถ้าหมุนรอบแกนหมุนที่ต่างกัน จะมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยต่างกันด้วย กรณีที่วัตถุมีรูปร่างต่างๆ โมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุจะมีค่าขึ้นอยู่กับรูปร่างของวัตถุนั้น เช่น โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนที่ผ่านจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุบางชนิดที่ควรทราบ แสดงดัง รูปที่ 2.3 นั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 โมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุรูปทรงก้นเล็กยาว  $R$  ทะลุส่วนกลาง

## 2.5 ทอร์ก

ทอร์กมีความหมายเดียวกับโมเมนต์อนุภาคมวล  $m$  ติดอยู่กับปลายแท่งวัตถุเล็กๆยาว  $r$  อีกปลายหนึ่งของแท่งวัตถุ ตั้งอยู่ที่จุด  $O$  นั่นคือเกิดทอร์กที่กระทำต่อวัตถุ ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การเกิดทอร์กของวัตถุมวล  $m$

สูตรการคำนวณหาทอร์กที่เกิดขึ้น

1. ทอร์ก = แรง  $\times$  ระยะทางที่ลากจากจุดหมุนมาตั้งฉากกับแนวแรง
2.  $\vec{\tau} = I\vec{\alpha}$  เมื่อ  $I = \sum mR^2$

ทอร์ก เป็นปริมาณเวกเตอร์ โดยจะมีทิศเดียวกันกับทิศของความเร่งเชิงมุม หรือสามารถหาทิศของทอร์กจากการ Cross Vector ตามสมการ  $\vec{\tau} = \vec{R} \times \vec{F}$

ถ้ามีทอร์กกระทำต่อวัตถุหลายค่า ในการคำนวณหาผลรวมของทอร์กที่กระทำต่อวัตถุ จะต้องกำหนดทิศทางใดทิศทางหนึ่งเป็นบวก เช่น กำหนดทอร์กในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเป็นบวก จะได้ทอร์กในทิศตามเข็มนาฬิกาเป็นลบ และจะหาผลรวมของทอร์กที่เกิดขึ้นกับวัตถุได้จาก  $\sum \vec{\tau} = \vec{\tau}_{ccw} - \vec{\tau}_{cw}$  และจากสมการดังกล่าวข้างต้นจะเขียนใหม่ได้ดังสมการที่ 2.4 นี้

$$\sum \vec{\tau} = I\vec{\alpha} \text{ เมื่อ } I = \sum mR^2 \quad (2.4)$$

การคำนวณในกรณีนี้ที่วัตถุมีการหมุนรอบจุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์กลางมวลมีการเลื่อนที่ไปจากเดิมด้วย มีหลักการคำนวณคือ จะต้องคำนวณ 2 ขั้นตอน ได้แก่ [7]

1. การเลื่อนที่ใช้สูตร  $\sum \vec{F} = m\vec{a}$

เอกสารนี้ 2. การหมุนที่ใช้สูตร  $\sum \vec{\tau} = I\vec{\alpha}$  ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และโยงทั้งสองความสัมพันธ์นั้นด้วยความสัมพันธ์  $a = \alpha R$

เมื่อมีการเคลื่อนที่แบบหมุนของมอเตอร์ที่มีสนามแม่เหล็ก ก็จำเป็นต้องนำค่าทอร์ก มาคิดเช่นกัน ซึ่งจะหาค่าทอร์ก ได้จากความสัมพันธ์ของโมเมนต์ความเฉื่อยและความเร่งเชิงมุมของมอเตอร์ แล้วเขียนให้อยู่ในรูปของทอร์ก จะได้ดังสมการที่ 2.7

$$\text{จาก } \tau = I\alpha \quad ; \quad \alpha = \omega^2 R \quad (2.5)$$

$$\tau = I\omega^2 R \quad ; \quad \omega = 2\pi f \quad (2.6)$$

$$\tau = I(2\pi f)^2 R \quad (2.7)$$

เมื่อ  $\tau$  คือ ทอร์ก หน่วยเป็น Nm

$I$  คือ โมเมนต์ความเฉื่อย หน่วยเป็น  $\text{kg}\cdot\text{m}^2$

$f$  คือ ความถี่ หน่วยเป็น Hz

$R$  คือ ระยะห่างระหว่างแกนหมุนกับวัตถุ หน่วยเป็น m

## 2.6 ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์

ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์ คือเซ็นเซอร์ขนาดเล็กที่สามารถประยุกต์ใช้ได้หลายวัตถุประสงค์ ค่าแรงดันไฟฟ้าด้านเอาร์ทพุตถูกสร้างขึ้นเมื่อค่าคงที่ของกระแสไฟฟ้าส่งผ่านไปยังสารกึ่งตัวนำที่ชื่อว่า เครื่องกำเนิดฮอลล์ (Hall generator) ซึ่งถูกเปียงเบน [10] ขนาดของการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เซ็นเซอร์ ( $V_H$ ) ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก ( $B$ ) ความเป็นแม่เหล็กแสดงบนสนามแม่เหล็ก มีความสัมพันธ์กับสมการที่ 2.8

$$V_H = \frac{R_H}{d} I_H B \quad (2.8)$$

เมื่อ  $d$  คือ ความหนาของเครื่องกำเนิดฮอลล์ (mm)

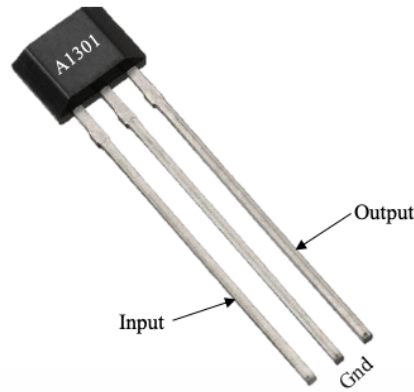
$R_H$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ ( $\Omega$ )

$I_H$  คือ ค่าคงที่กระแสไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์ (mA)

ตัวรับรู้ฮอลล์เป็นวงจรรวม มีขนาดและลักษณะ ดังรูปที่ 2.5 และมีคุณสมบัติดังนี้

- Input Voltage 4.5 - 6 V
- Offset Voltage 2.5 V (โดยประมาณ)
- Sensitivity 2.5 mV/G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

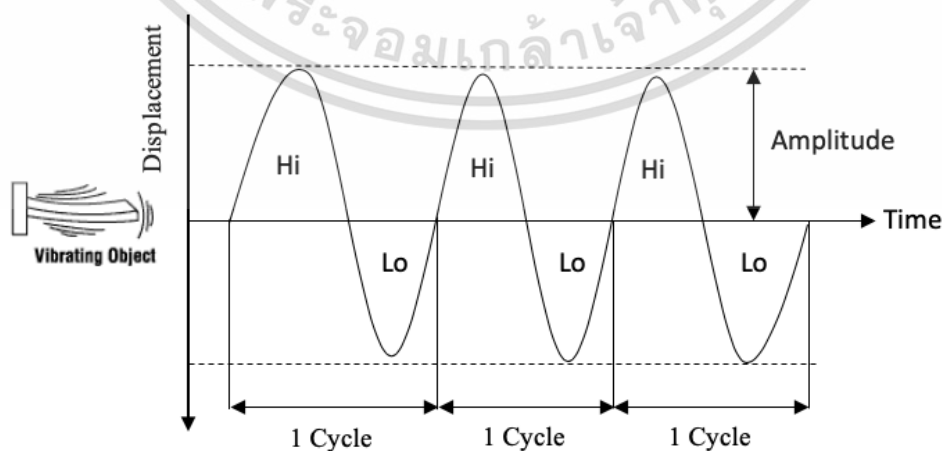


รูปที่ 2.5 ตัวรับรู้ออลต์เบอร์ A1301

## 2.7 ทฤษฎีเกี่ยวกับความถี่

วัตถุที่มีการสั่นจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาผ่านตำแหน่งคงที่หนึ่ง เมื่อเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งสูงสุดค่าหนึ่งและกลับมาผ่านตำแหน่งสูงสุดอีกค่าหนึ่ง และย้อนกลับมายังตำแหน่งคงที่เดิม ถือว่ามีการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ (1 Cycle) ดังแสดงใน รูปที่ 2.6 จำนวนรอบของการสั่นของวัตถุในช่วงเวลา 1 sec จะเรียกว่า ความถี่ ซึ่งจะมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hz) หรือ 1 เฮิรตซ์จะเท่ากับการเคลื่อนที่ไปกลับ 1 รอบในเวลา 1 sec

สัญญาณการสั่นสะเทือนเป็นสัญญาณการสั่นสะเทือนแบบฮาร์มอนิก โดยเป็นไปตามขนาดและลักษณะของแรงที่มากระตุ้น และสัญญาณแสดงผลออกมาจะอยู่ในรูปของกราฟโดเมนเวลา ซึ่งแกนตั้งจะเป็นแกนของขนาดการสั่นสะเทือน ส่วนแกนนอนจะเป็นแกนของเวลาที่ผ่านไป ถ้าทำการวิเคราะห์สภาพของเครื่องจักรจากกราฟโดเมนเวลาแล้ว จะทำการแยกแยะความถี่ค่อนข้างยาก ยิ่งถ้าเครื่องจักรนั้นมีชิ้นส่วนประกอบมากมาย และมีความซับซ้อนแล้ว ก็ยังทำการวิเคราะห์ได้ยากลำบาก โดยในที่นี้จะกล่าวถึงการแปลงสัญญาณแบบฟูเรียร์โดยทำการแปลงสัญญาณลักษณะจากกราฟโดเมนเวลามาเป็นสัญญาณบนโดเมนความถี่ หรือที่เรียกว่ากราฟสเปกตรัม



รูปที่ 2.6 ลักษณะองค์ประกอบของการสั่นสะเทือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.1 การคำนวณค่าความถี่

สำหรับการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบค่า จำเป็นต้องใช้สูตรดังสมการที่ 2.9 เข้ามาช่วยในการหาค่าความถี่ที่เกิดขึ้นจากการสั่นของมอเตอร์ ซึ่งสมการที่ 2.9 สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของพลังงานการหมุนและพลังงานไฟฟ้า แล้วให้เขียนในรูปของความถี่ก็ได้ดังสมการที่ 2.9

$$f = \sqrt[3]{\frac{12vi}{mR^3}} \times \frac{1}{2\pi} \quad (2.9)$$

### 2.8 การแปลงสัญญาณแบบฟูเรียร์

ในปี ค.ศ. 1768 – 1830 J.B.J. de Fourier ซึ่งเป็นนักคณิตศาสตร์ที่มีชื่อเสียงชาวฝรั่งเศส ได้ทำการหาวิธีในการพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์มาใช้สำหรับการวิเคราะห์สัญญาณความถี่ที่เกิดขึ้นจากสัญญาณในรูปลักษณะเป็นคาบมาเป็นสัญญาณในรูปของความถี่ เพื่อให้ง่ายในการแปลผลโดยอาศัยคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือช่วย

การอธิบายความหมายของสมการฟูเรียร์นั้น จะใช้กราฟการเคลื่อนที่ลักษณะเป็นคาบดังแสดงในรูปที่ 2.7 เพื่อให้ง่ายในการอธิบายความหมายในเบื้องต้น ซึ่งการเคลื่อนที่แบบเป็นคาบนี้ เมื่อนำสมการของฟูเรียร์มาใช้สำหรับการแยกสัญญาณแบบฮาร์มอนิกที่ความถี่ต่าง ๆ ออกจากกัน โดยกำหนดให้  $f(t)$  จากรูปที่ 2.7 เป็นการเคลื่อนที่ลักษณะแบบเป็นคาบแล้ว จะทำให้สามารถเขียนสมการของ  $f(t)$  ในรูปแบบของสมการของฟูเรียร์ได้ดังนี้

$$f(t) = A_0 + \sum_{k=0}^{\infty} a_k \cos(\omega_k t) + \sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin(\omega_k t) \quad (2.10)$$

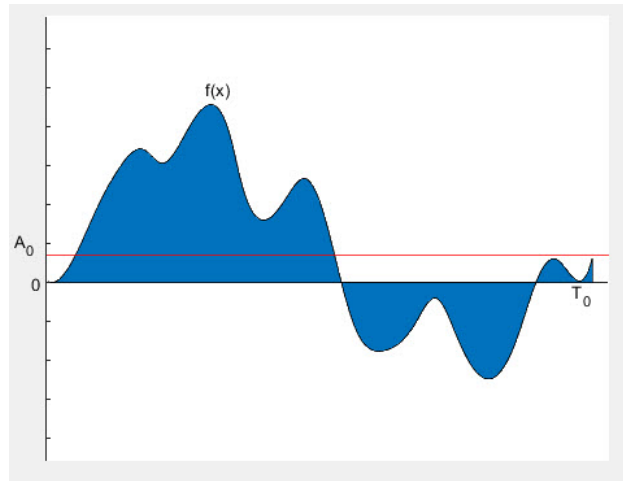
และค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ หาได้จาก

$$A_0 = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} f(t) dt \quad (2.11)$$

$$a_k = \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0} f(t) \cos(k\omega_0 t) dt \quad (2.12)$$

$$b_k = \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0} f(t) \sin(k\omega_0 t) dt \quad (2.13)$$

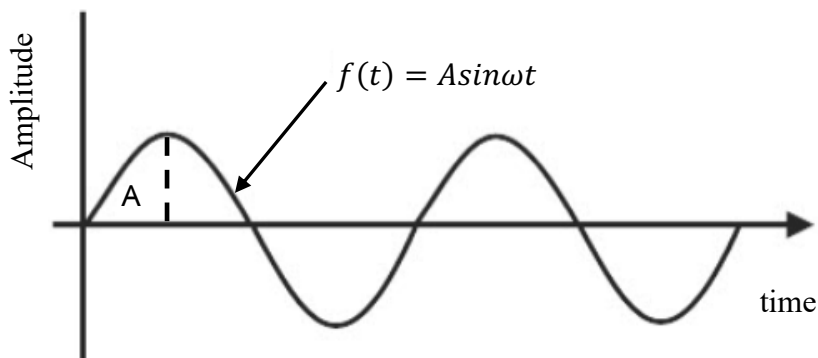
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 รูปแบบการเคลื่อนที่ลักษณะแบบเป็นคาบ

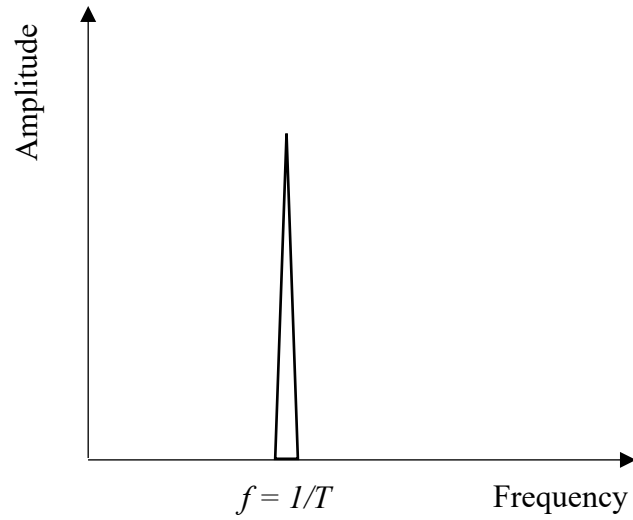
### 2.8.1 สัญญาณบนโดเมนความถี่ (Frequency Domain)

การแสดงผลสุดท้ายสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาการสั่นสะเทือนในเครื่องจักรกล โดยส่วนมากจะแสดงในรูปแบบกราฟสเปกตรัม (Spectrum) หรือที่เรียกอีกชื่อว่า กราฟโดเมนความถี่ ซึ่งกราฟสเปกตรัมนี้จะเป็นกราฟที่แปลงสัญญาณจากสัญญาณในรูปของกราฟโดเมนเวลา ถ้ามีสัญญาณเพียงความถี่เดียวก็จะได้กราฟลักษณะเป็นรูปไซน์ (Sine Wave) [11] ดังแสดงในรูปที่ 2.8 และถ้าแปลงสัญญาณนี้แบบ FFT ไปแสดงในรูปของกราฟสเปกตรัม ก็จะได้ดังกราฟในรูปที่ 2.9

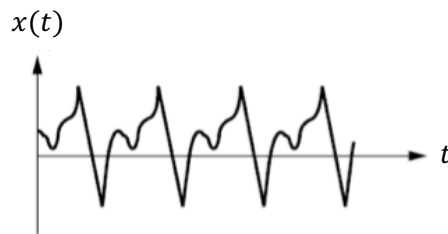


รูปที่ 2.8 สัญญาณการสั่นสะเทือนในรูปกราฟโดเมนเวลา

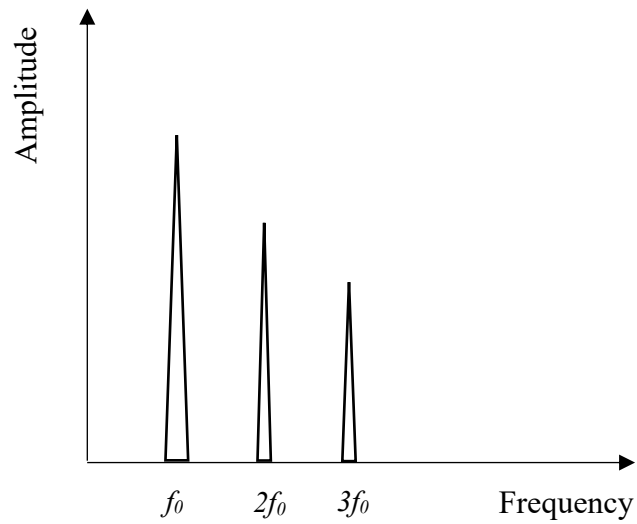
เมื่อมีสัญญาณการสั่นสะเทือนหลาย ๆ ความถี่เข้ามา ความถี่เหล่านั้นก็จะมีผลรวมกันเป็นลักษณะสัญญาณแบบคาบในรูปแบบกราฟบนโดเมนเวลา เช่น มีความถี่ที่เข้ามารวมกันอยู่ 3 ความถี่ ก็จะได้กราฟบนโดเมนเวลาดังแสดงใน รูปที่ 2.10 ซึ่งเมื่อดูผลจากกราฟก็จะเป็นการยากในการวิเคราะห์ผล ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำวิธีแปลงสัญญาณแบบฟูเรียร์มาใช้ในการแยกความถี่ออกจากกัน เพื่อที่จะให้แสดงผลออกมาในรูปแบบของกราฟโดเมนความถี่หรือกราฟสเปกตรัมจากกราฟ รูปที่ 2.10 เมื่อนำมาแยกความถี่ทั้ง 3 ความถี่ก็จะได้เป็น  $f_0$ ,  $2f_0$  และ  $3f_0$  ดังแสดงใน รูปที่ 2.11



รูปที่ 2.9 สัญญาณการสั่นสะเทือนในรูปกราฟโดเมนความถี่



รูปที่ 2.10 สัญญาณการสั่นสะเทือนในรูปกราฟโดเมนเวลาลักษณะเป็นคาบ



รูปที่ 2.11 สัญญาณการสั่นสะเทือนในรูปกราฟโดเมนความถี่

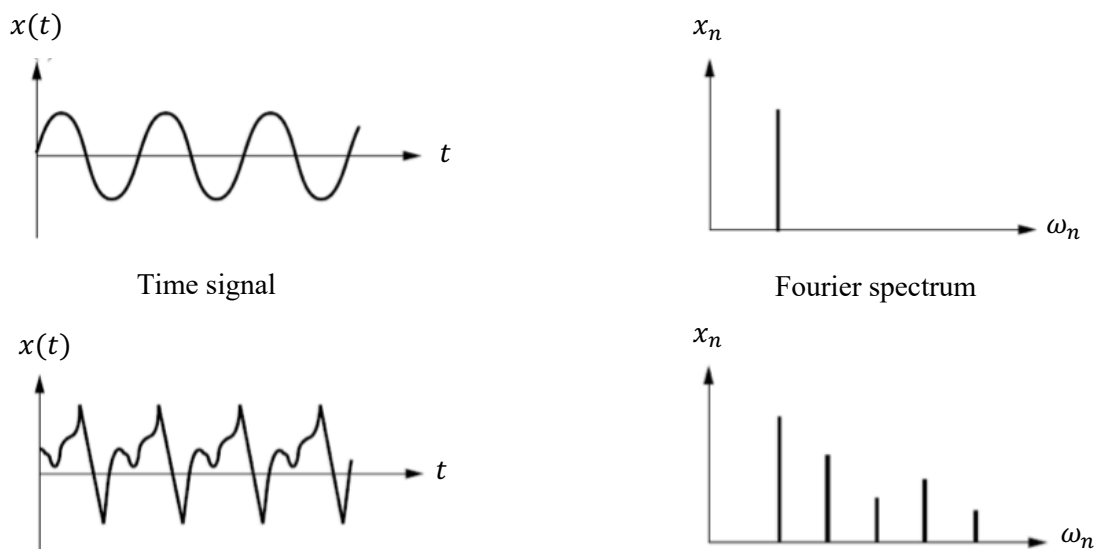
### 2.8.2 การวิเคราะห์ฟูรีเยร์

การวิเคราะห์สัญญาณพื้นฐานที่ใช้กันมากคือ การเปลี่ยนสัญญาณในโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ โดยใช้การแปลงแบบฟูรีเยร์ หลักการของการแปลงฟูรีเยร์ มีความคล้ายคลึงกับการเขียนสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันคาบให้เป็นผลรวมของฟังก์ชันไซน์ซายด์ โดยสมการที่ใช้ในการแปลงฟูรีเยร์ คือสมการที่ 2.14 แสดงได้ดังนี้

$$X(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt \quad (2.14)$$

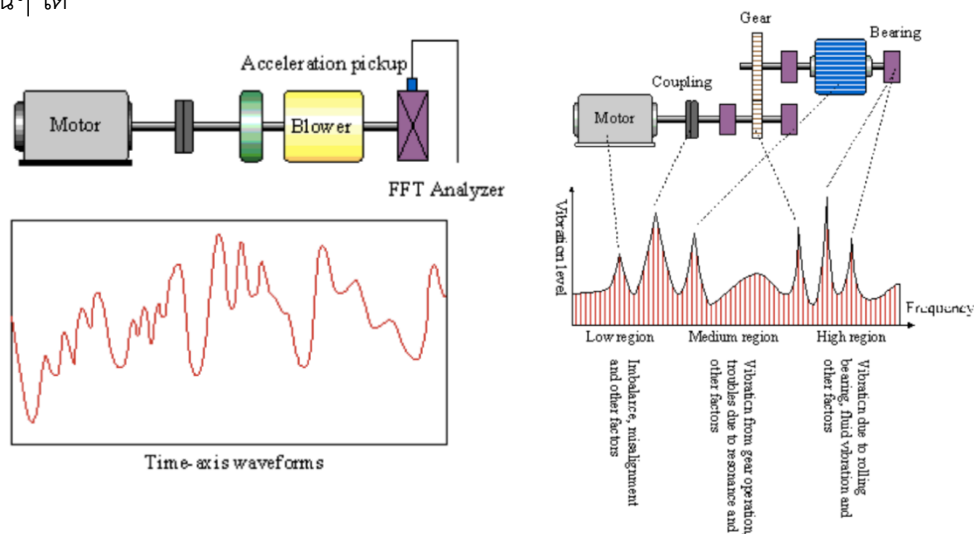
โดย  $X(\omega)$  คือ สัญญาณในโดเมนความถี่ และ  $x(t)$  คือสัญญาณในโดเมนเวลา สำหรับตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่แสดงดังตัวอย่างในรูปที่ 2.12 โดยสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันไซน์ซายด์ในตัวอย่าง คือ  $x(t) = X \cos(\omega t - \frac{\pi}{2}) = X \sin(\omega t)$  เมื่อแปลงเป็นโดเมนความถี่จะแสดงด้วยเส้นในแนวตั้ง ซึ่งความสูงของเส้น หมายถึง ขนาดของสัญญาณ  $X$  และเกิดที่ตำแหน่งในแกนนอน ซึ่งเท่ากับความถี่  $\omega$  ของสัญญาณ จะสังเกตว่าข้อมูลเฟส จะไม่แสดงในสเปกตรัม ในรูปที่ 2.12 อย่างไรก็ตามในการแปลงฟูรีเยร์ จะได้ข้อมูลของค่าเฟสออกมาเช่นกัน ซึ่งอาจจะแสดงได้ด้วยกราฟของค่าเฟสในโดเมนความถี่

สำหรับตัวอย่างในรูปที่ 2.12 แสดงให้เห็นว่า สัญญาณเป็นคาบในโดเมนเวลา แสดงได้ด้วยเส้นในแนวตั้งหลายๆ เส้น ที่ความถี่ต่าง ๆ กัน เมื่อแปลงเป็นโดเมนความถี่ ซึ่งหมายความว่า สัญญาณเป็นคาบในโดเมนเวลา เกิดจากผลรวมของฟังก์ชันไซน์ซายด์หลายๆ ความถี่ ซึ่งมีขนาดแตกต่างกัน



รูปที่ 2.12 สัญญาณในโดเมนเวลา และโดเมนความถี่

ตัวอย่างการใช้การแปลงฟูเรียร์ เพื่อวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนในงานการตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักรแสดงดัง รูปที่ 2.13 รูปทางด้านซ้ายมือแสดงการวัดการสั่นสะเทือนของระบบของเครื่องจักร และแสดงผลมาในโดเมนเวลา เนื่องจากการสั่นสะเทือนอาจเป็นผลมาจากเครื่องจักรต่าง ๆ และจากสาเหตุต่าง ๆ ผลการวัดในโดเมนเวลาจึงเป็นผลรวมของสัญญาณและมีความซับซ้อน ยากต่อการวิเคราะห์ สำหรับในตัวอย่างทางด้านขวามือ เป็นการแสดงข้อมูลในโดเมนความถี่ เนื่องจากยอดของสัญญาณแต่ละยอดที่แสดงในกราฟสเปกตรัม จะสอดคล้องกับความถี่ในการทำงานของชิ้นส่วนของเครื่องจักร จึงทราบได้ว่า ยอดของสัญญาณแต่ละยอดเป็นผลมาจากเครื่องจักรตัวใดโดยในรูปยอดที่ความถี่ต่ำ ๆ เป็นผลมาจากการหมุนของมอเตอร์ การประกอบของคัปปลิง ส่วนยอดที่มีความถี่สูงๆ เป็นผลมาจากการขบกันของเฟือง และการทำงานของตลับ ลูกปืน เมื่อขนาดการสั่นสะเทือนที่ความถี่เดิมนั้นค่ามากผิดปกติ ก็อาจตรวจสอบย้อนกลับไปถึงชิ้นส่วนที่ทำงานนั้นๆ ได้



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างการวิเคราะห์สัญญาณในโดเมนความถี่ [12]

ในงานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับระบบสั่นสะเทือนโดยใช้มอเตอร์เป็นกรณีศึกษาจึงต้องมีการพูดถึงทฤษฎีและหลักการของการสั่นสะเทือน มีการเคลื่อนที่แบบหมุนเข้ามาเกี่ยวข้องกับใบพัดจากแผ่นอะคลิลิกที่ทำเพื่อเชื่อมกับมอเตอร์ และมีการเจาะรูที่แผ่นอะคลิลิกเพื่อจำลองสภาวะไม่สมดุล 25% 50% และ 75% ในงานวิจัยนั้นมีโมเมนต์ความเฉื่อยเข้ามาเกี่ยวข้องกับลักษณะของวัตถุที่ทำการทดลองจึงต้องนำมาคำนวณด้วย ใช้เซ็นเซอร์เข้ามาวัดค่าสนามแม่เหล็กในที่นี้ใช้ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์ จากนั้นจะนำค่าที่ได้จากการวัดไปเข้าโปรแกรม MATLAB เพื่อวิเคราะห์ผลออกมา โดยการแปลงสัญญาณแบบฟูเรียร์ ซึ่งทำการแปลงสัญญาณลักษณะจากกราฟโดเมนเวลามาเป็นสัญญาณบนโดเมนความถี่

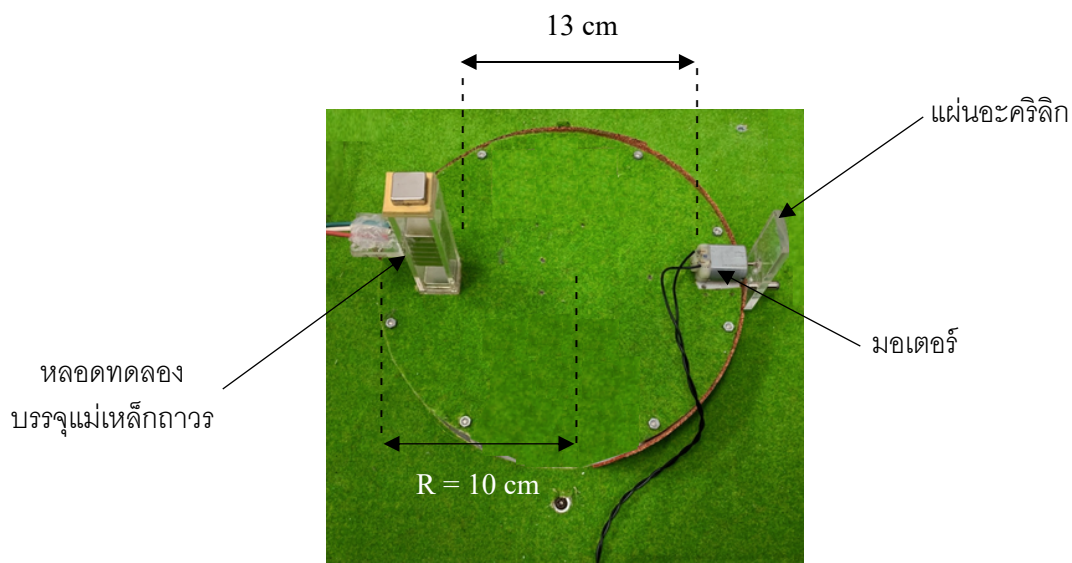
## บทที่ 3

### การออกแบบและดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยการวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ ได้ทำการออกแบบระบบการวัดการสั่นสะเทือน ออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ แหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กและระบบการสั่นสะเทือน ซึ่งได้มีการออกแบบสภาวะการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่แตกต่างกัน 4 สภาวะ ได้แก่ สภาวะสมดุล สภาวะไม่สมดุล 25% สภาวะไม่สมดุล 50% และสภาวะไม่สมดุล 75% โดยฮอลล์เอฟเฟกเซ็นเซอร์ถูกนำมาประยุกต์ใช้สำหรับตรวจรู้การสั่นสะเทือนและความถี่ของมอเตอร์ด้วยการวิเคราะห์จากวิธีการแปลงฟูเรียร์ มีการดำเนินการดังนี้

#### 3.1 การออกแบบระบบการสั่นสะเทือน

การออกแบบระบบการสั่นสะเทือน ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก และมอเตอร์สำหรับสร้างแรงสั่นสะเทือน ซึ่งระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กกับมอเตอร์เท่ากับ 13 cm ดังแสดงในรูปที่ 3.1



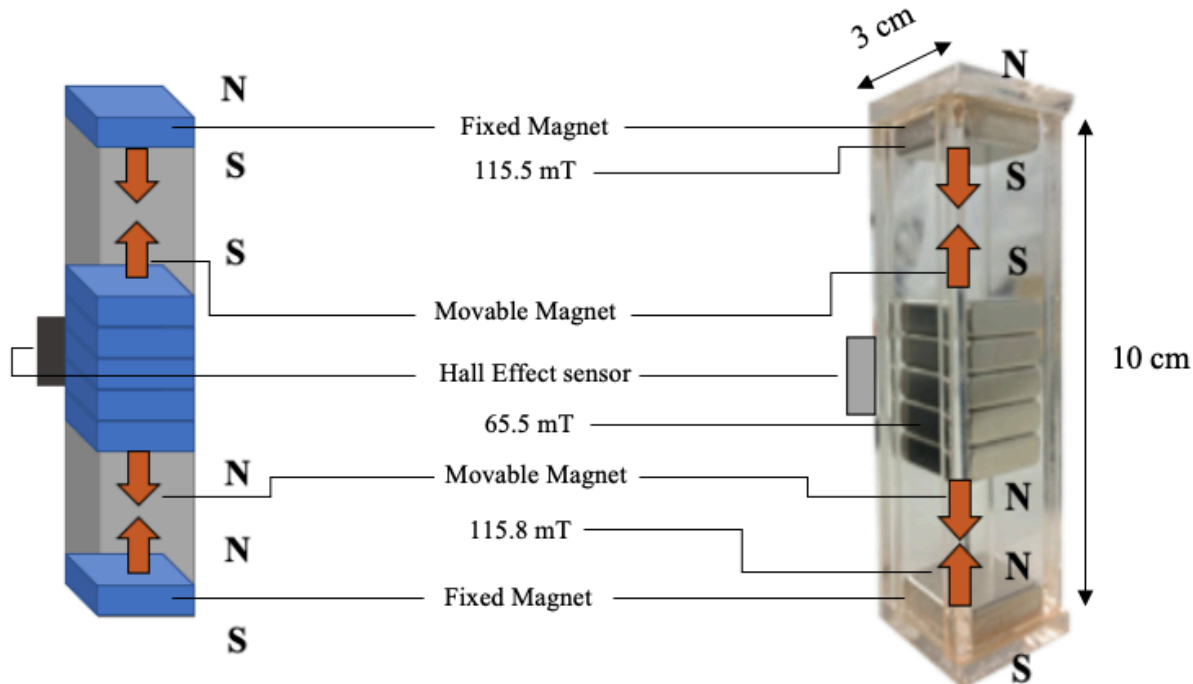
รูปที่ 3.1 ระบบการวัดการสั่นสะเทือน

ในส่วนของการออกแบบแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กและมอเตอร์สำหรับสร้างแรงสั่นสะเทือน แสดงดังนี้

##### 3.1.1 แหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก

การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการสั่นสะเทือนใช้หลักการของแรงแม่เหล็ก ซึ่งมีการใช้แม่เหล็กถาวรชนิด Neodymium เนื่องจากเป็นแม่เหล็กแรงสูง นั่นคือ ช่วยให้ค่าแอมพลิจูดที่สูงขึ้น รวมถึงรูปทรงที่ออกแบบเป็น

ทรงสี่เหลี่ยม ช่วยให้แม่เหล็กไม่เกิดการหมุนขณะมีการสั่นสะเทือน จากนั้นจะติดตั้งแม่เหล็กถาวรบริเวณส่วนหัว, ท้าย และตรงกลางหลอดของอุปกรณ์ ในลักษณะการหันขั้วแม่เหล็กที่แตกต่างกัน เพื่อเป็นการเสริมแรงดันให้กับแม่เหล็กในบริเวณตรงกลาง การออกแบบแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 3.3 เครื่องมือวัดสนามแม่เหล็ก รุ่น SDL 900

การพิจารณาสนามแม่เหล็กด้วยเครื่องมือวัดสนามแม่เหล็ก รุ่น SDL 900 ดังรูปที่ 3.3 โดยบริเวณส่วนหัวของหลอดอุปกรณ์มีความเข้มสนามแม่เหล็กเท่ากับ 115.5 mT บริเวณส่วนกลางหลอดอุปกรณ์เท่ากับ 65.5 mT และบริเวณส่วนท้ายหลอดอุปกรณ์เท่ากับ 115.8 mT สนามแม่เหล็กบริเวณหัวและท้ายของหลอดอุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือน ส่งผลให้แม่เหล็กที่อยู่บริเวณตรงกลางหลอดเกิดการลอยตัว เมื่อนำไปติดตั้งกับ

อุปกรณ์ที่มีการสั่นสะเทือนจะส่งผลให้แม่เหล็กที่อยู่บริเวณตรงกลางหลุดเกิดการเคลื่อนที่ จากนั้นนำฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์มาติดตั้งระหว่างแม่เหล็กทั้งสองที่กึ่งกลางของแม่เหล็กตัวกลาง เพื่อวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงไป อันเนื่องมาจากแรงสั่นสะเทือนที่มีค่าแตกต่างกัน ข้อดีของการออกแบบอุปกรณ์ลักษณะนี้ คือ มีขนาดเล็ก ง่ายต่อการติดตั้งและการวัดค่า อุปกรณ์วัดได้สะดวกต่อการปรับตั้งค่าความเข้มของเส้นแรงแม่เหล็ก อันส่งผลต่อระยะความสามารถในการเคลื่อนที่ได้ของแม่เหล็กบริเวณตรงกลางหลุด อุปกรณ์ เพื่อให้เหมาะสมกับการวัดการสั่นสะเทือนที่ความรุนแรงของระดับการสั่นสะเทือนที่แตกต่างกัน

### 3.1.2 มอเตอร์

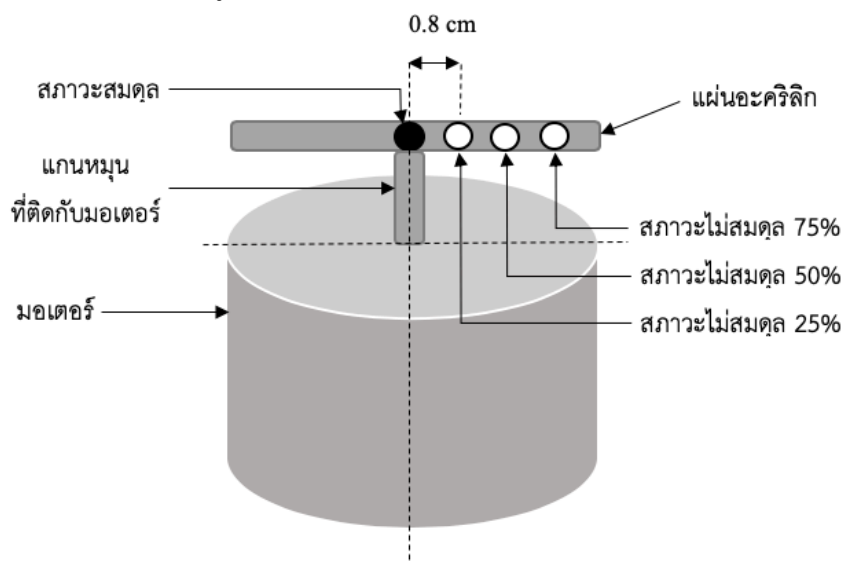
ในการทดลองได้ใช้มอเตอร์กระแสตรง 6 VDC, 12 VDC 3,500 RPM และ 12 VDC 5,000 RPM ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ได้ออกแบบสภาวะที่แตกต่างกันออกไป 4 สภาวะดังนี้



รูปที่ 3.4 มอเตอร์กระแสตรง 6 VDC, 12 VDC 3500 RPM, 12 VDC 5000 RPM

#### 3.1.2.1 สภาวะสมดุล

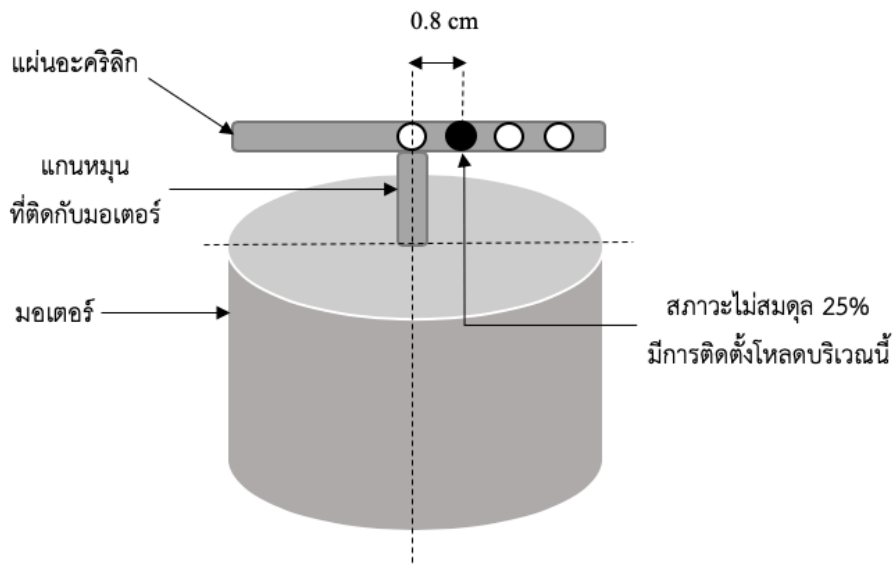
การออกแบบสภาวะสมดุลของมอเตอร์จะไม่มีการติดตั้งโหลดของมอเตอร์ โดยมีการติดตั้งแผ่นอะคริลิกบริเวณกึ่งกลางแกนหมุนของมอเตอร์ โดยมีน้ำหนัก 9.11g ความหนา 0.5 cm ความยาว 6.4 cm และความกว้าง 2.5 cm ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการออกแบบสภาวะสมดุลของมอเตอร์

### 3.1.2.2 สภาวะไม่สมดุล 25%

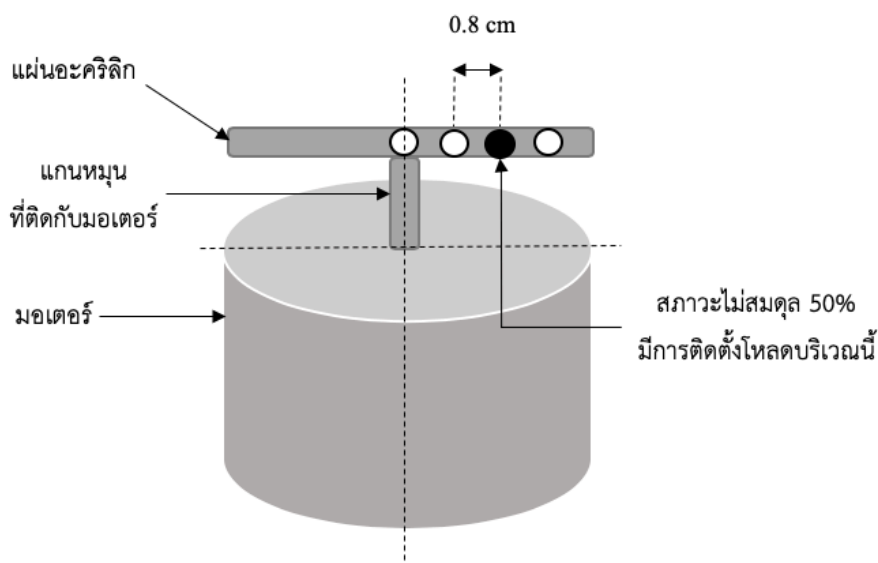
การออกแบบสภาวะไม่สมดุลของมอเตอร์ที่ 25% ได้ทำการติดตั้งโหลดที่มีน้ำหนัก 3.69 g ห่างจากแกนหมุนมอเตอร์เป็นระยะ 0.8 cm ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงการออกแบบสภาวะไม่สมดุล 25% ของมอเตอร์

### 3.1.2.3 สภาวะไม่สมดุล 50%

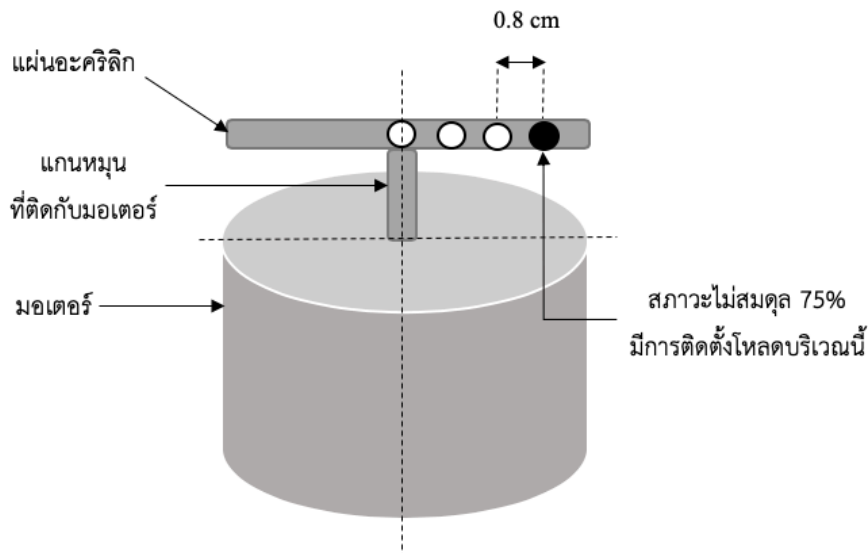
การออกแบบสภาวะไม่สมดุลของมอเตอร์ที่ 50% ได้ทำการติดตั้งโหลดที่มีน้ำหนัก 3.69 g ห่างจากแกนหมุนมอเตอร์เป็นระยะ 1.6 cm ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงการออกแบบสภาวะไม่สมดุล 50% ของมอเตอร์

### 3.1.2.4 สภาวะไม่สมดุล 75%

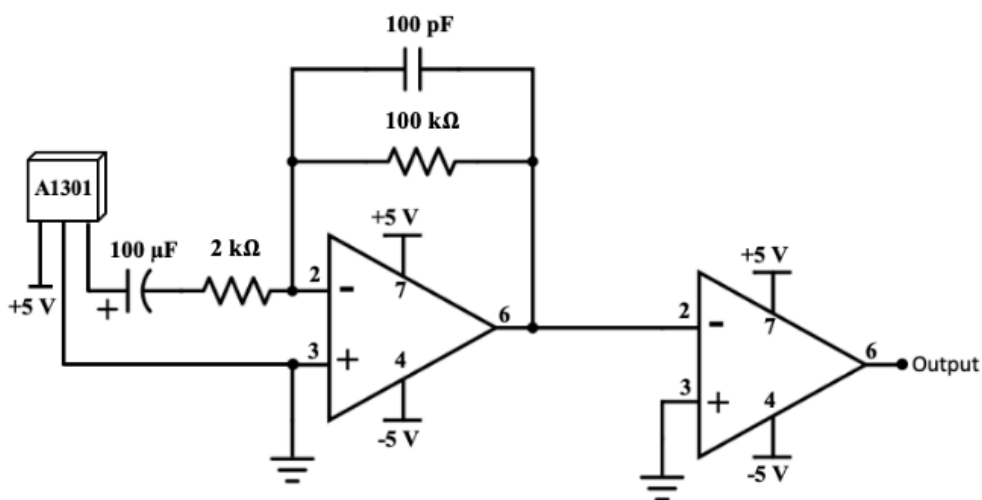
การออกแบบสภาวะไม่สมดุลของมอเตอร์ที่ 75% ได้ทำการติดตั้งโหลดที่มีน้ำหนัก 3.69 g ห่างจากแกนหมุนมอเตอร์เป็นระยะ 2.4 cm ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงการออกแบบสภาวะไม่สมดุล 75% ของมอเตอร์

### 3.2 วงจรแปลงค่าสนามแม่เหล็ก

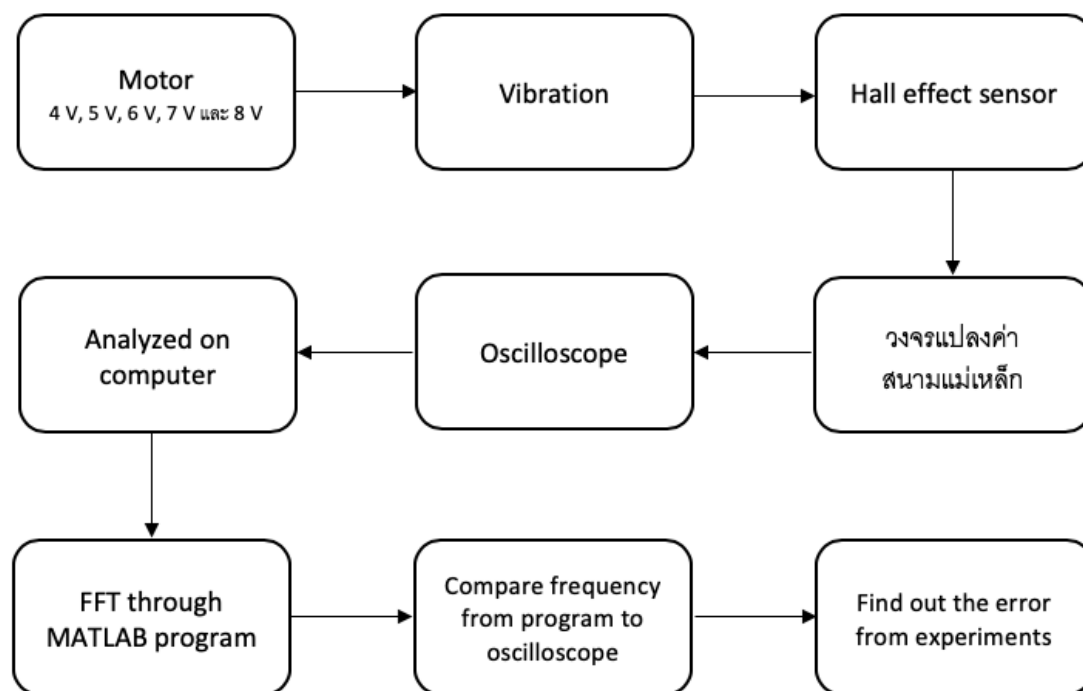
ในการพิจารณาสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนไปจากผลของการสั่นสะเทือนได้ใช้ฮอลล์เอฟเฟกเซ็นเซอร์เบอร์ A1301 ร่วมกับวงจรแปลงค่าสนามแม่เหล็กซึ่งประกอบไปด้วยวงจรขยายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (Voltage Amplifier Circuit) ที่กำลังขยาย 50 เท่าและวงจรคอมแพเรเตอร์ (comparator) ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 วงจรแปลงค่าสนามแม่เหล็ก

### 3.3 การดำเนินงานวิจัย

ในส่วนการดำเนินงานวิจัยการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่สภาวะแตกต่างกัน 4 สภาวะ ได้กระตุ้นมอเตอร์กระแสตรงด้วยแรงดันไฟฟ้าที่ระดับแตกต่างกัน ได้แก่ 4 V 5 V 6 V 7 และ 8 V ตามลำดับ แสดงแผนภาพระบบตรวจวัดการสั่นสะเทือนดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แผนภาพระบบตรวจวัดการสั่นสะเทือน

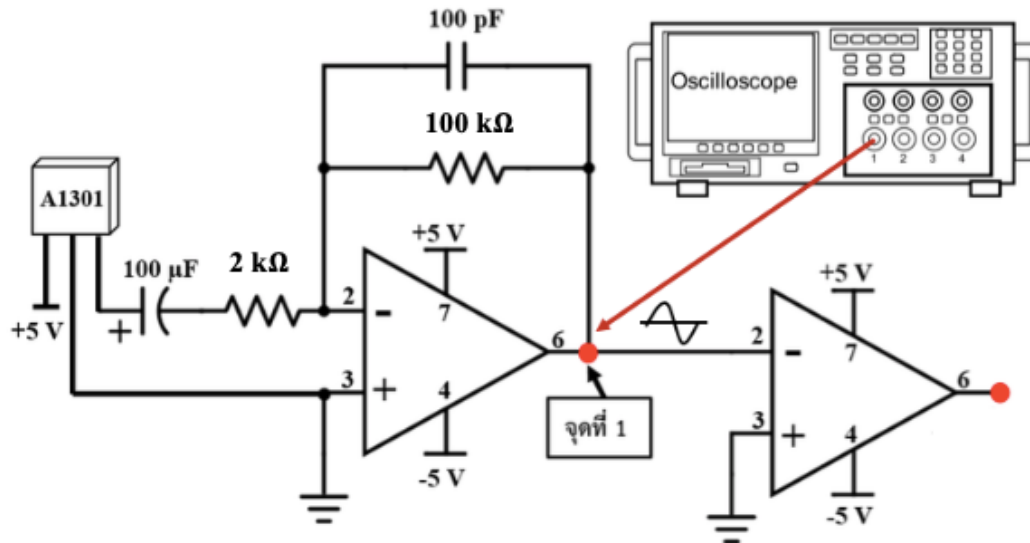
ในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของมอเตอร์ได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนจากค่าแรงดันไฟฟ้าและการวิเคราะห์ความถี่จากการสั่นสะเทือนที่เปลี่ยนแปลงไป แสดงได้ดังนี้

#### 3.3.1 การวิเคราะห์ค่าแรงดันไฟฟ้าจากการสั่นสะเทือน

ในส่วนของการวิเคราะห์ค่าแรงดันไฟฟ้าจากฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์สำหรับตรวจรู้การสั่นสะเทือนของสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงไปร่วมกับวงจรแปลงค่าสนามแม่เหล็ก โดยใช้ฮอสซิลโลสโคป รุ่น Rigol DS1052E ดังรูปที่ 3.11 สำหรับพิจารณาค่าแรงดันไฟฟ้าจากฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์ แสดงการพิจารณาค่าแรงดันไฟฟ้าจากฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์ผ่านวงจรแปลงค่าสนามแม่เหล็กด้วยฮอสซิลโลสโคป ด้วยการทดลองทั้งหมด 20 ครั้งเพื่อหาค่าความผิดพลาดจากการทดลอง ดังรูปที่ 3.12



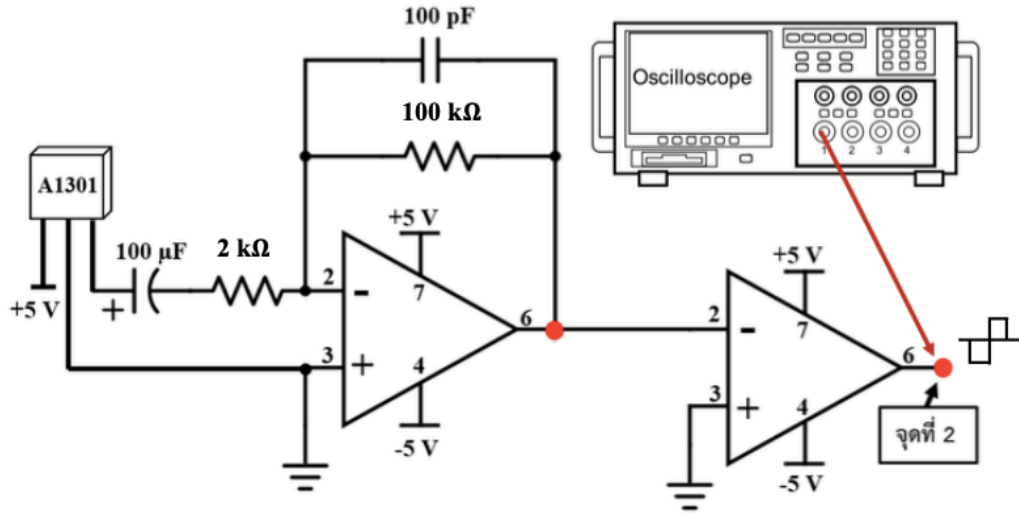
รูปที่ 3.11 ออสซิลโลสโคป รุ่น Rigol DS1052E



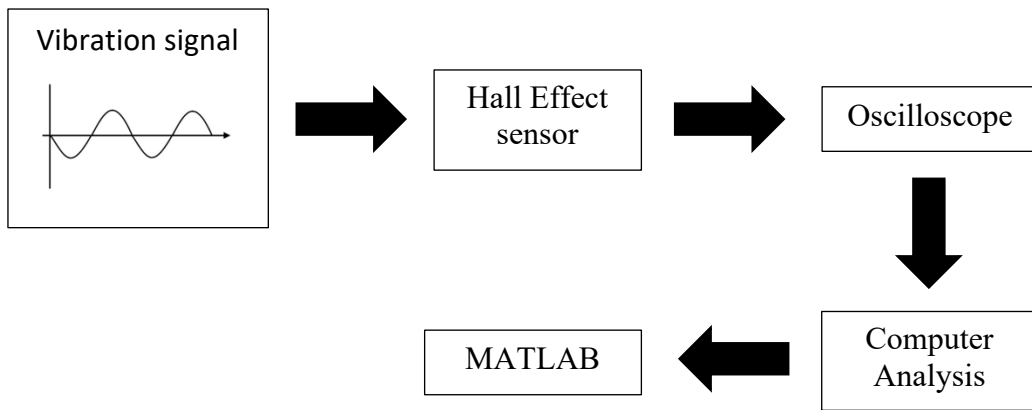
รูปที่ 3.12 การวิเคราะห์ค่าแรงดันไฟฟ้าจากการสั่นสะเทือน

### 3.3.2 การวิเคราะห์ค่าความถี่จากการสั่นสะเทือน

ในส่วนของการวิเคราะห์ค่าความถี่จากฮอลล์เอฟเฟกเซ็นเซอร์สำหรับตรวจรู้การสั่นสะเทือนของสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงไปร่วมกับวงจรแปลงค่าสนามแม่เหล็ก โดยใช้ออสซิลโลสโคป สำหรับพิจารณาความถี่จากการสั่นสะเทือนของมอเตอร์กระแสตรง ดังแสดงในรูปที่ 3.13 และสัญญาณขาออกที่ได้จากออสซิลโลสโคปจะถูกนำไปวิเคราะห์ในโปรแกรม MATLAB เพื่อแปลงสัญญาณให้อยู่ในของโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ ตามลำดับ ด้วยการทดลองทั้งหมด 20 ครั้งเพื่อหาค่าความผิดพลาดจากการทดลอง แสดงบล็อกไดอะแกรมการแปลงฟูเรียร์ได้ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.13 การวิเคราะห์ความถี่จากการสั่นสะเทือน



รูปที่ 3.14 บล็อกไดอะแกรมการแปลงฟูเรียร์

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

ในการทดลองของงานวิจัยนี้ได้แบ่งขั้นตอนในการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ๆ ได้แก่ การสั่นสะเทือนของมอเตอร์ ความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ และความสัมพันธ์ระหว่างการสั่นกับความถี่ ซึ่งแสดงได้ดังต่อไปนี้

#### 4.1 การสั่นสะเทือนของมอเตอร์

ในการทดลองการวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ขนาด 6 VDC 12 VDC 3,500 RPM และ 12 VDC 5,000 RPM ได้ใช้ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์สำหรับตรวจรู้การสั่นสะเทือนของมอเตอร์ทั้ง 4 สภาวะ ได้แก่ สภาวะสมดุล สภาวะไม่สมดุล 25% สภาวะไม่สมดุล 50% และสภาวะไม่สมดุล 75% โดยออสซิลโลสโคปถูกนำมาใช้วิเคราะห์สัญญาณจากฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์ ผลการทดลองแสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 6 VDC ทั้ง 4 สภาวะ

Voltage for Exciting (V)	Current (A)			
	No load	25%	50%	75%
4	0.04	0.06	0.06	0.06
5	0.04	0.06	0.06	0.06
6	0.05	0.06	0.06	0.07
7	0.05	0.06	0.07	0.07
8	0.06	0.07	0.07	0.08

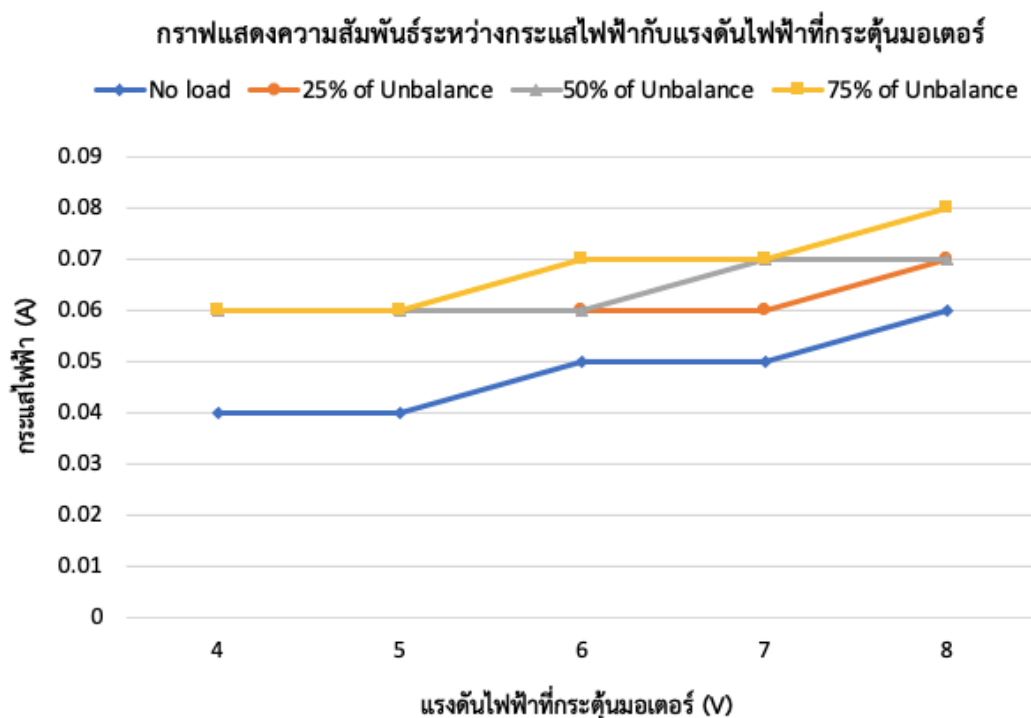
ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 12 VDC 3,500 RPM ทั้ง 4 สภาวะ

Voltage for Exciting (V)	Current (A)			
	No load	25%	50%	75%
4	0.03	0.03	0.03	0.03
5	0.03	0.03	0.03	0.04
6	0.03	0.03	0.03	0.04
7	0.03	0.04	0.04	0.05
8	0.03	0.04	0.04	0.05

ตารางที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 12 VDC 5,000 RPM ทั้ง 4 สภาวะ

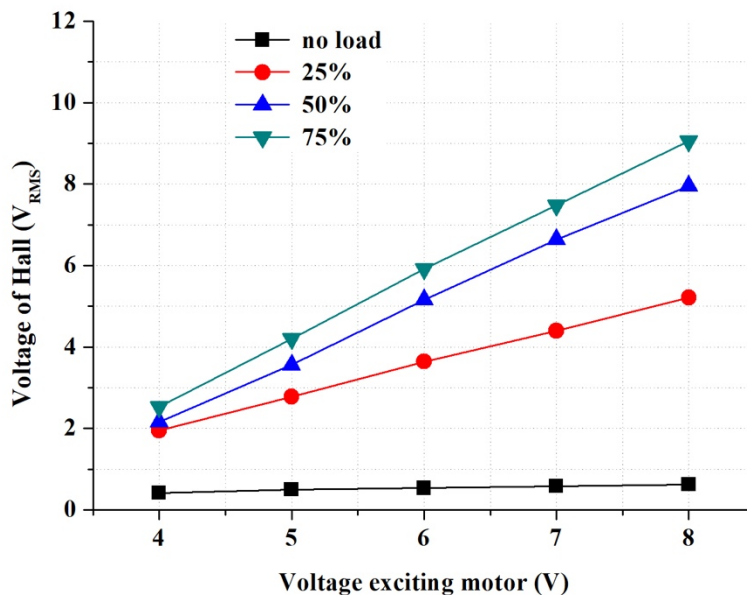
Voltage for Exciting (V)	Current (A)			
	No load	25%	50%	75%
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0.03
6	0	0	0.03	0.03
7	0	0.03	0.03	0.04
8	0	0.03	0.04	0.04

เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าที่เข้าสู่ทั้ง 3 มอเตอร์ให้มีความเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 4 V ถึง 8 V ในสภาวะสมดุล สภาวะไม่สมดุล 25% สภาวะไม่สมดุล 50% และสภาวะไม่สมดุล 75% จากการทดลองจะพบว่าค่าของกระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้จะมีความเพิ่มขึ้นตามลำดับในแต่ละสภาวะการทดลอง ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์แปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 4.1-4.3



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ ทั้ง 4 สภาวะ

จากรูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ ทั้ง 4 สภาวะพบว่า ค่าของกระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้จะมีความเพิ่มขึ้นตามลำดับในแต่ละสภาวะการทดลอง ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์แปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์และแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ทั้ง 4 สภาวะ

เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าที่เข้าสู่มอเตอร์ให้มีความเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 4 V ถึง 8 V ในสภาวะสมดุล สภาวะไม่สมดุล 25% สภาวะไม่สมดุล 50% และสภาวะไม่สมดุล 75% จากการทดลองจะพบว่าค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์จะมีความเพิ่มขึ้นตามลำดับในแต่ละสภาวะการทดลอง ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์แปรผันตรงกับแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของเครื่องมือวัด ในสภาวะต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์โดยทำการวัดผ่านออสซิลโลสโคป

Voltage for exciting motor (V)	%Error			
	No load	25% of Unbalance	50% of Unbalance	75% of Unbalance
4	0.28	0.30	0.33	0.36
5	0.30	0.33	0.35	0.39
6	0.35	0.38	0.40	0.43
7	0.40	0.42	0.45	0.48
8	0.43	0.45	0.48	0.52

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของเครื่องมือวัดสภาวะต่างๆ เปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้า ในการกระตุ้นมอเตอร์ จะพบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อการทดลองมีสภาวะความไม่สมดุลเพิ่มมากขึ้น และค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ ในแต่ละสภาวะใดๆ

## 4.2 ความถี่จากการสั่นของมอเตอร์

ผลการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ 3 รูปแบบ ใน 4 สภาวะ ได้แก่ สภาวะสมดุล สภาวะไม่สมดุล 25% สภาวะไม่สมดุล 50% และสภาวะไม่สมดุล 75% ที่แรงดันไฟฟ้ามอเตอร์เท่ากับ 4 5 6 7 และ 8 V ได้ใช้ออสซิลโลสโคปสำหรับวิเคราะห์ความถี่ที่ได้จากการตรวจรู้ด้วยฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์ และนำค่าที่ได้แปลงให้อยู่ในรูปของฟูเรียร์ด้วยออสซิลโลสโคป เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการแปลงฟูเรียร์ด้วยโปรแกรม MATLAB ผลการทดลองแสดงได้ดังนี้

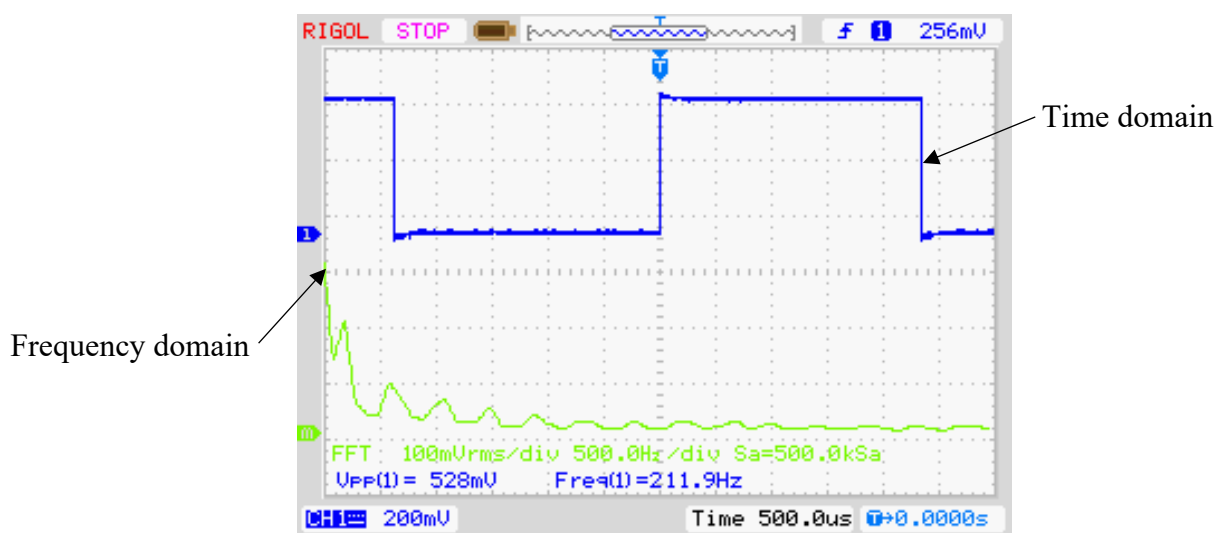
### 4.2.1 มอเตอร์ขนาด 6 VDC

#### 4.2.1.1 ความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะสมดุล

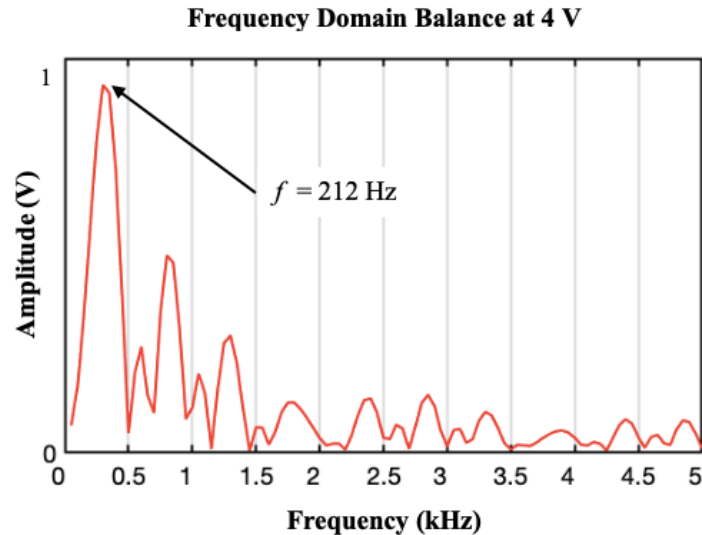
การทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะสมดุล ที่แรงดันไฟฟ้ากระตุ้นมอเตอร์เท่ากับ 4 5 6 7 และ 8 V ในกรณีนี้จะไม่มีการไหลเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยเปรียบเทียบค่าความถี่จากการแปลงฟูเรียร์ด้วยออสซิลโลสโคปกับโปรแกรม MATLAB ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3 – 4.7

จากรูปที่ 4.3 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะสมดุล ที่ไม่มีโหลดเข้ามาเกี่ยวข้อง ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 4 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ จะพบว่า ค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 211.9 Hz

จากรูปที่ 4.3 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการ Frequency domain ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 212 Hz



(ก)

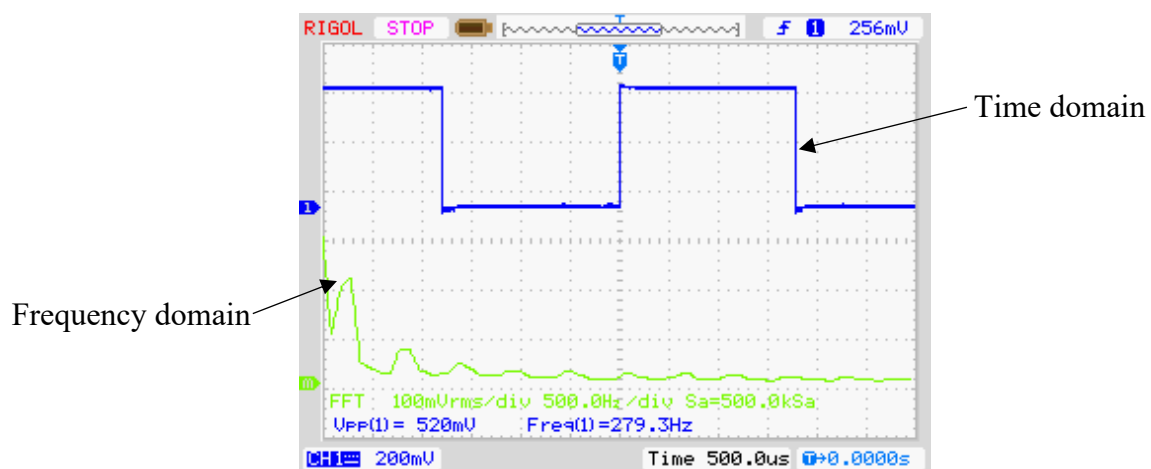


(ข)

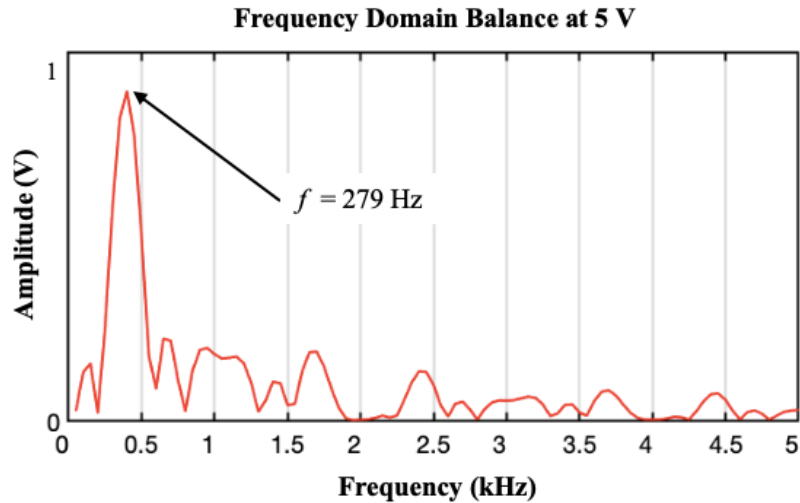
- รูปที่ 4.3 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 4 V  
 ในสภาวะสมดุลด้วยการแปลงฟูเรียร์  
 (ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป  
 (ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.4 (ก) ในการทดลองค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะสมดุล ที่ไม่มีโหลดเข้ามาเกี่ยวข้อง ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 5 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลอง รูปที่ 4.3 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 279.3 Hz

จากรูปที่ 4.4 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 279 Hz



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.4 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 5 V

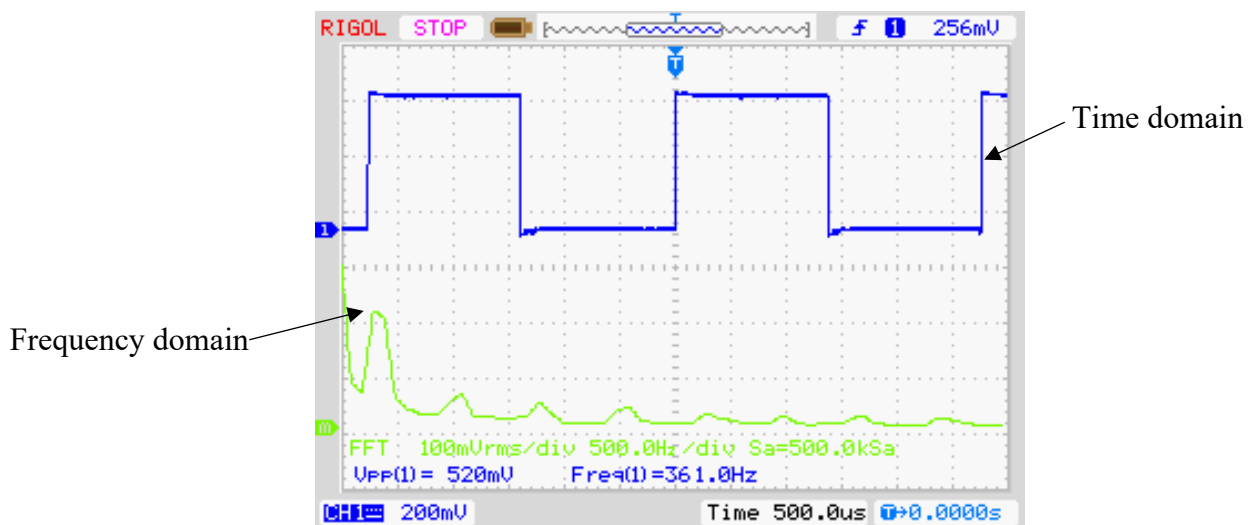
ในสถานะสมดุลด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

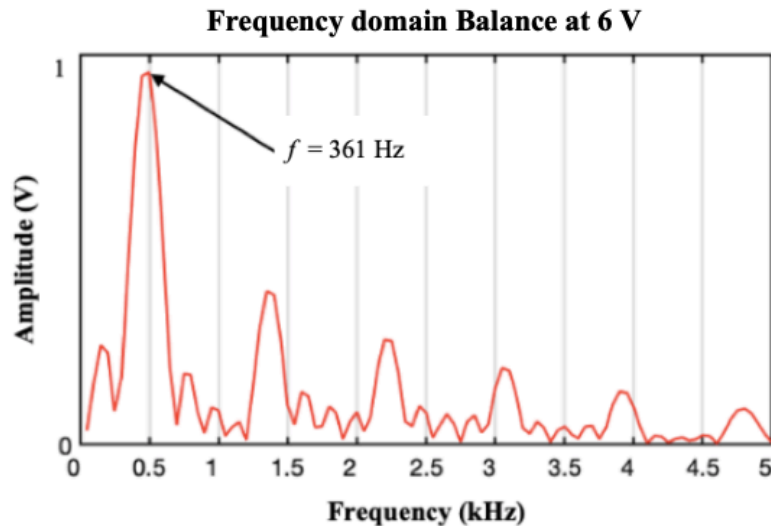
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.5 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสถานะสมดุล ที่ไม่มีโหลดเข้ามาเกี่ยวข้อง ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 6 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลอง รูปที่ 4.4 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 361 Hz

จากรูปที่ 4.5 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 361 Hz



(ก)

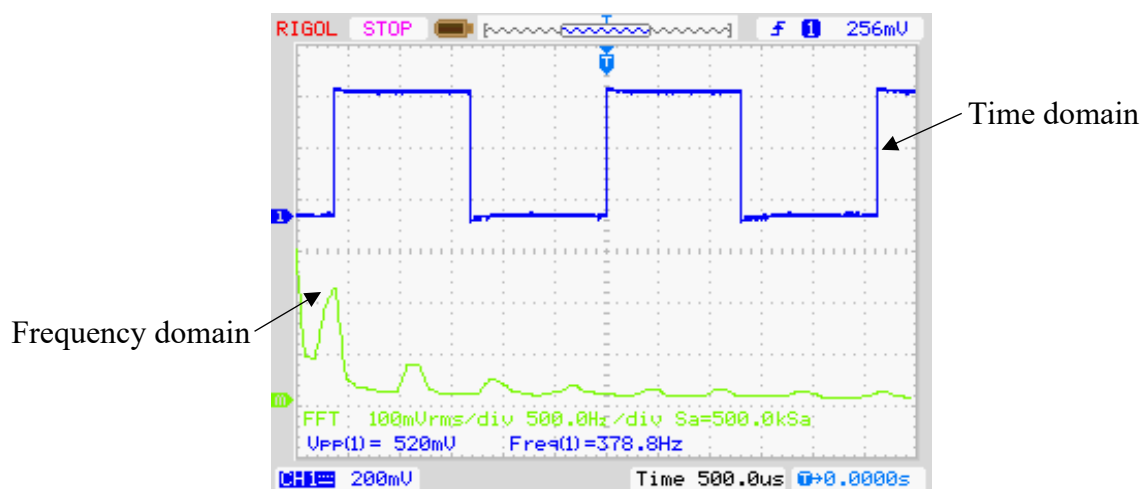


(จ)

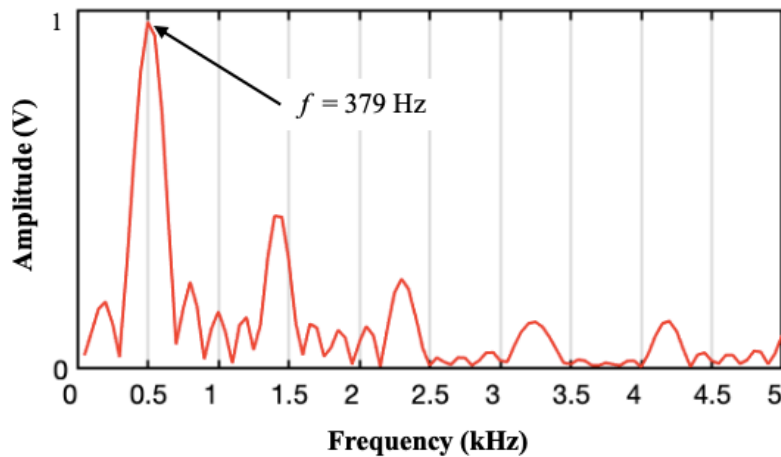
- รูปที่ 4.5** ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 6 V  
 ในสภาวะสมดุลด้วยการแปลงฟูเรียร์  
 (ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป  
 (ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.6 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะสมดุล ที่ไม่มีโหลดเข้ามาเกี่ยวข้อง ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 7 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลอง รูปที่ 4.5 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 378.8 Hz

จากรูปที่ 4.6 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 379 Hz



Frequency Domain Balance at 7 V



(ข)

รูปที่ 4.6 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 7 V

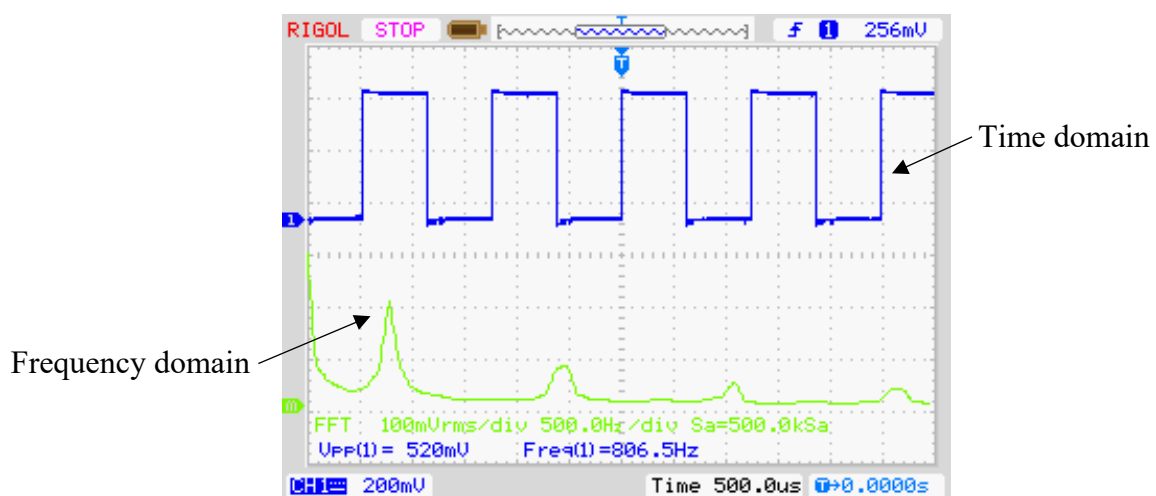
ในสถานะสมดุลด้วยการแปลงฟูรีเยร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

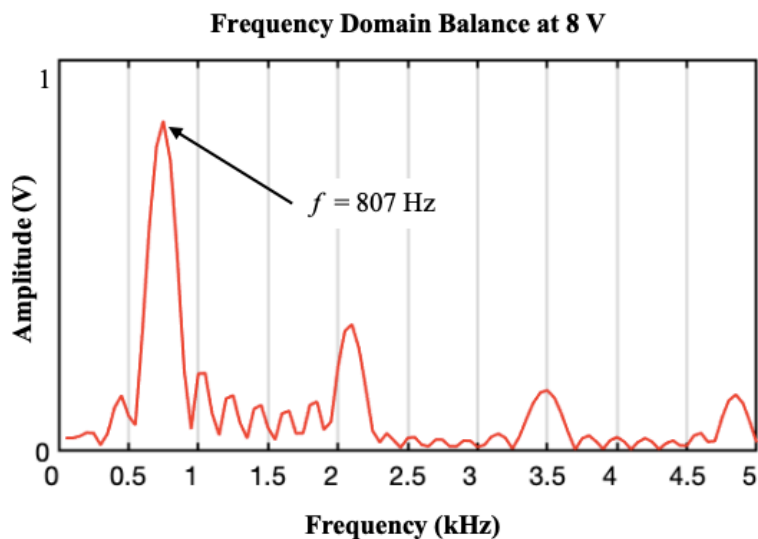
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.7 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสถานะสมดุล ที่ไม่มีโหลดเข้ามาเกี่ยวข้อง ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 8 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลอง รูปที่ 4.6 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 806.5 Hz

จากรูปที่ 4.7 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 807 Hz



(ก)



(ข)

**รูปที่ 4.7** ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 8 V  
 ในสภาวะสมดุลด้วยการแปลงฟูเรียร์  
 (ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป  
 (ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากการทดลองค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะสมดุลพบว่า เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 4 V ถึง 8 V ค่าความถี่โดยวิธีการแปลงฟูเรียร์จากออสซิลโลสโคปและจากโปรแกรม MATLAB จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ

ผลการทดลองค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ที่แรงดันไฟฟ้า 4 5 6 7 และ 8 V ด้วยการแปลงฟูเรียร์เปรียบเทียบผลจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคปกับโปรแกรม MATLAB ด้วยการทดลอง 20 ครั้ง ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการคำนวณความถี่ด้วยโปรแกรม MATLAB แสดงดังตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าค่าความผิดพลาดจากโปรแกรมมีค่าไม่เกิน 1% และค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 0.45%

**ตารางที่ 4.5** ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการแปลงฟูเรียร์ด้วยโปรแกรม MATLAB ของมอเตอร์ 6 VDC ที่สภาวะสมดุล

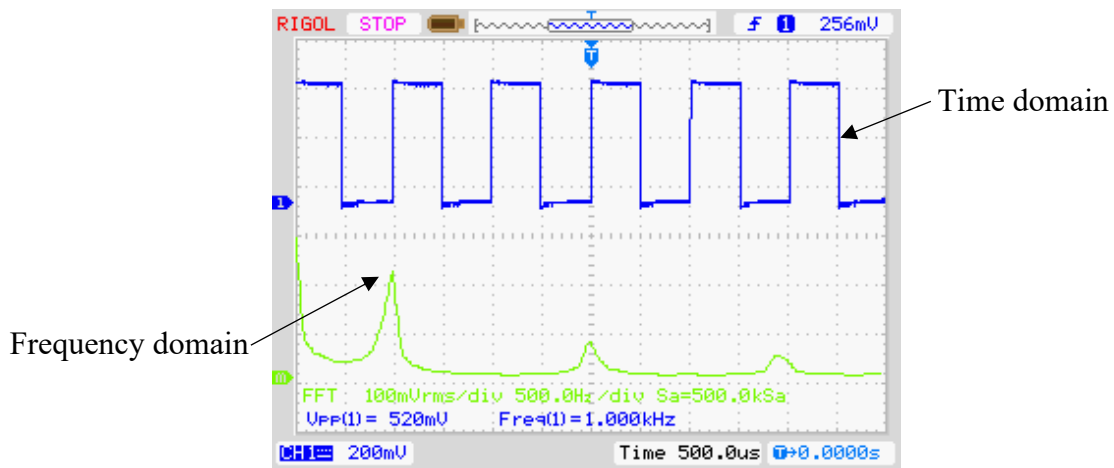
แรงดันไฟฟ้า (V)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
4	0.05%
5	0.11%
6	0%
7	0.05%
8	0.06%

#### 4.2.1.2 ความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 25%

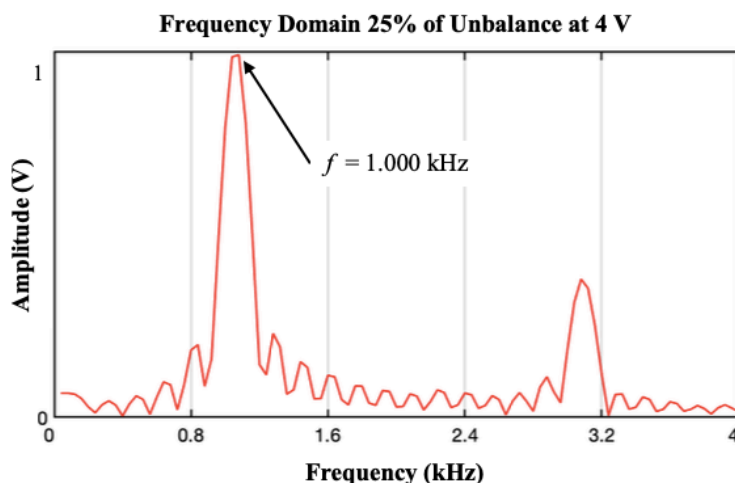
การทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 25% ที่แรงดันไฟฟ้ามอเตอร์เท่ากับ 4 5 6 7 และ 8 V ในกรณีนี้มีการติดตั้งโหลดห่างจากแกนหมุนของมอเตอร์เท่ากับ 0.8 cm โดยเปรียบเทียบค่าความถี่จากการแปลงฟูเรียร์ด้วยออสซิลโลสโคปกับโปรแกรม MATLAB ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.8 – 4.11

จากรูปที่ 4.8 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 25% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 4 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ จะพบว่า ค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 1.000 kHz

จากรูปที่ 4.8 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการหาโดเมนความถี่ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 1.000 kHz



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.8 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 4 V

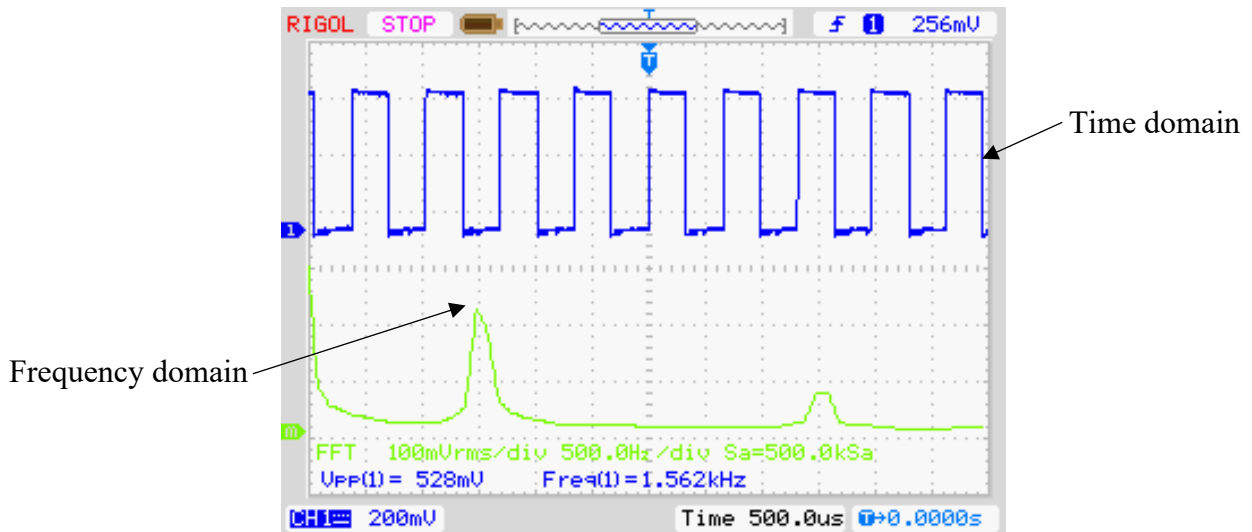
ในสภาวะไม่สมดุล 25% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

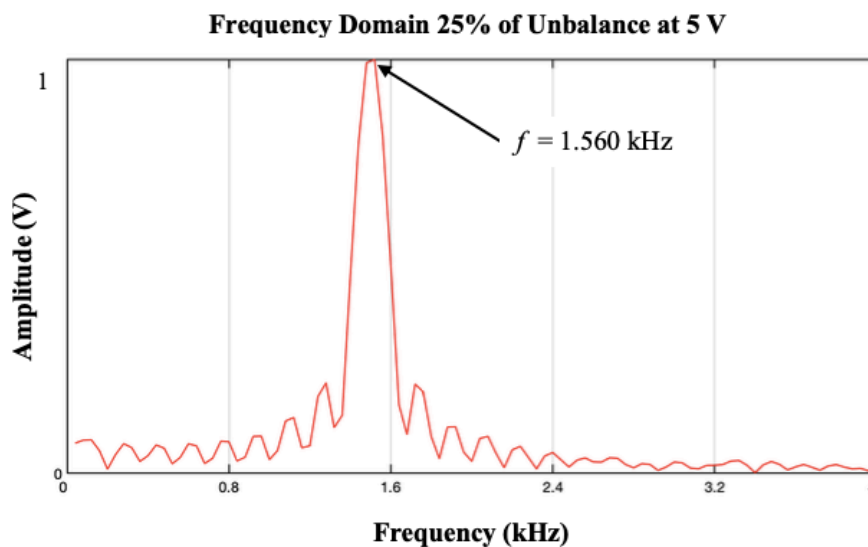
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.9 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 25% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 5 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.8 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 1.562 kHz

จากรูปที่ 4.9 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 1.560 kHz



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.9 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 5 V

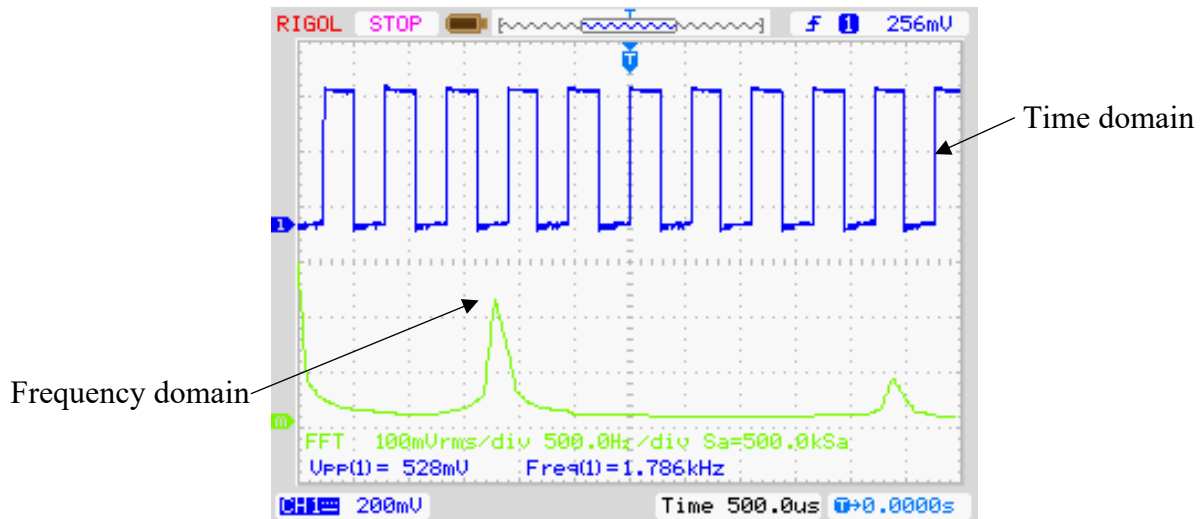
ในสภาวะไม่สมดุล 25% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

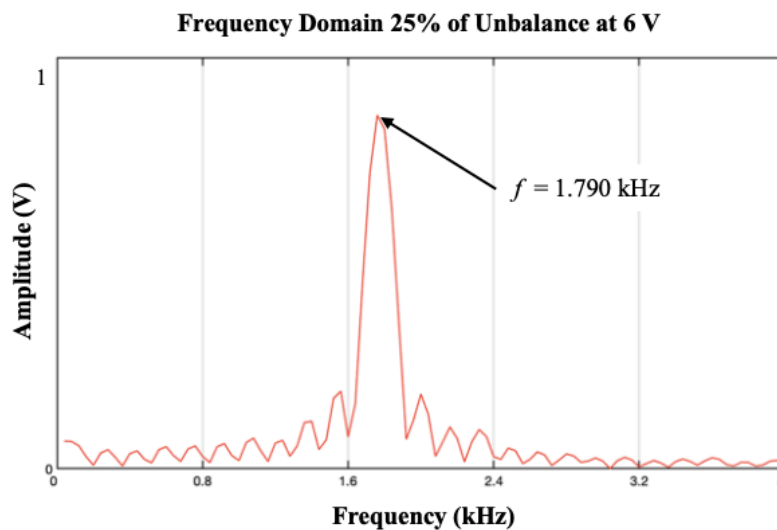
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.10 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสถานะไม่สมดุล 25% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 6 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.9 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 1.786 kHz

จากรูปที่ 4.10 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 1.790 Hz



(ก)



(ข)

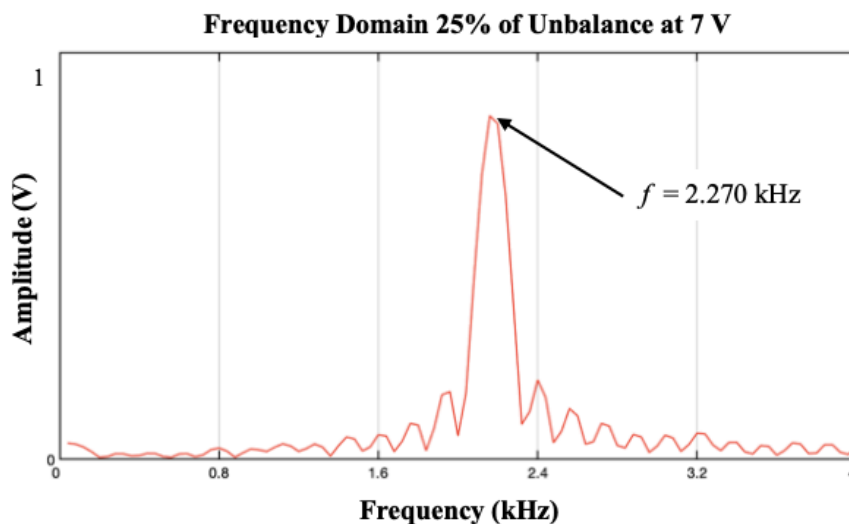
รูปที่ 4.10 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 6 V ในสถานะไม่สมดุล 25% ด้วยการแปลงฟูเรียร์  
(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป  
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.11 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 25% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 7 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.10 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 2.273 kHz

จากรูปที่ 4.11 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 2.270 kHz



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.11 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 7 V

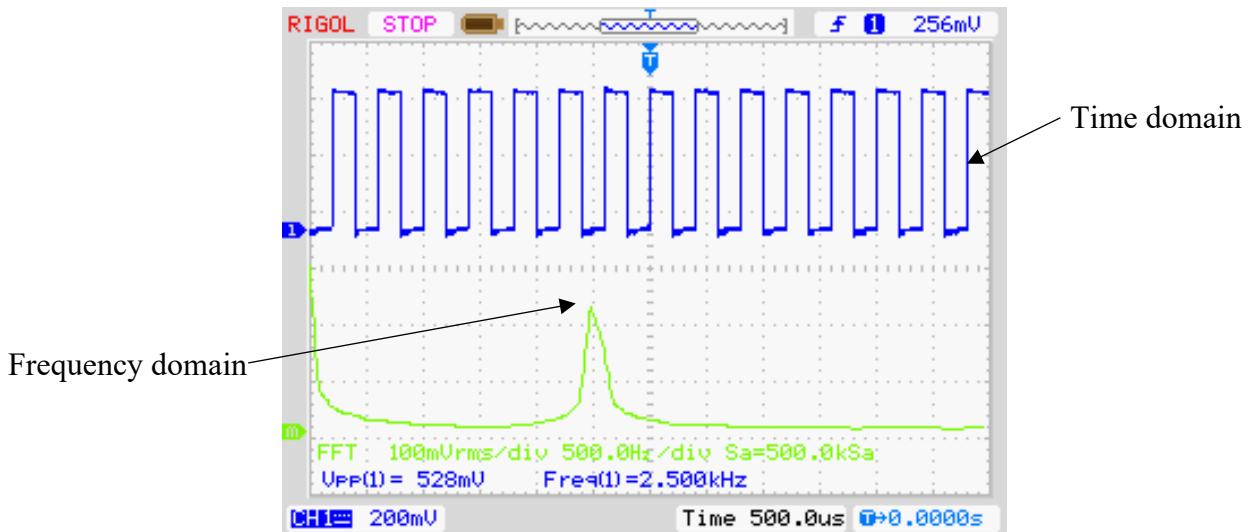
ในสภาวะไม่สมดุล 25% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

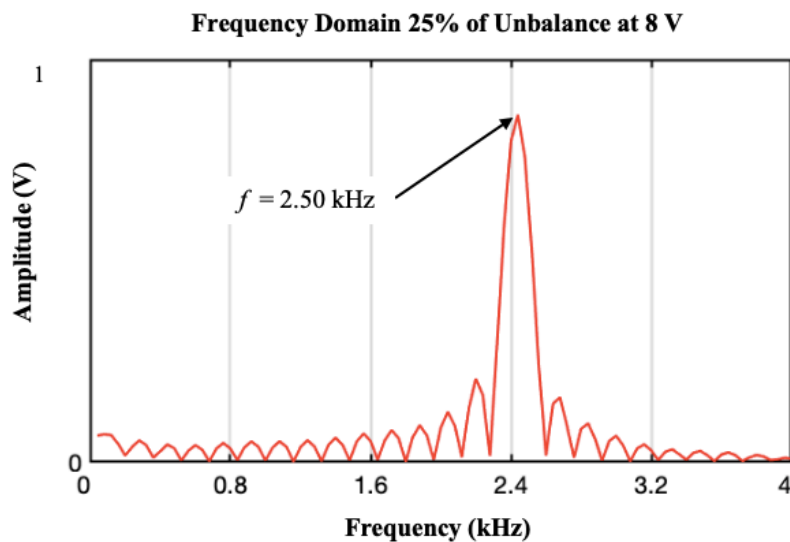
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.12 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 25% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 8 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.11 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 2.50 kHz

จากรูปที่ 4.12 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 2.50 kHz



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.12 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 8 V

ในสภาวะไม่สมดุล 25% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 25% พบว่า เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้า ตั้งแต่ 4 V ถึง 8 V ค่าความถี่โดยวิธีการแปลงฟูรีเยร์จากออสซิลโลสโคปและจากโปรแกรม MATLAB จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ

ผลการทดลองค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ที่แรงดันไฟฟ้า 4 5 6 7 และ 8 V ด้วยการแปลงฟูรีเยร์เปรียบเทียบผลจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคปกับโปรแกรม MATLAB ด้วยการทดลอง 20 ครั้ง ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการคำนวณความถี่ด้วยโปรแกรม MATLAB แสดงดังตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าค่าความผิดพลาดจากโปรแกรมมีค่าไม่เกิน 1% และค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 0.22%

**ตารางที่ 4.6** ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการแปลงฟูรีเยร์ด้วยโปรแกรม MATLAB ของมอเตอร์ 6 VDC ที่สภาวะไม่สมดุล 25%

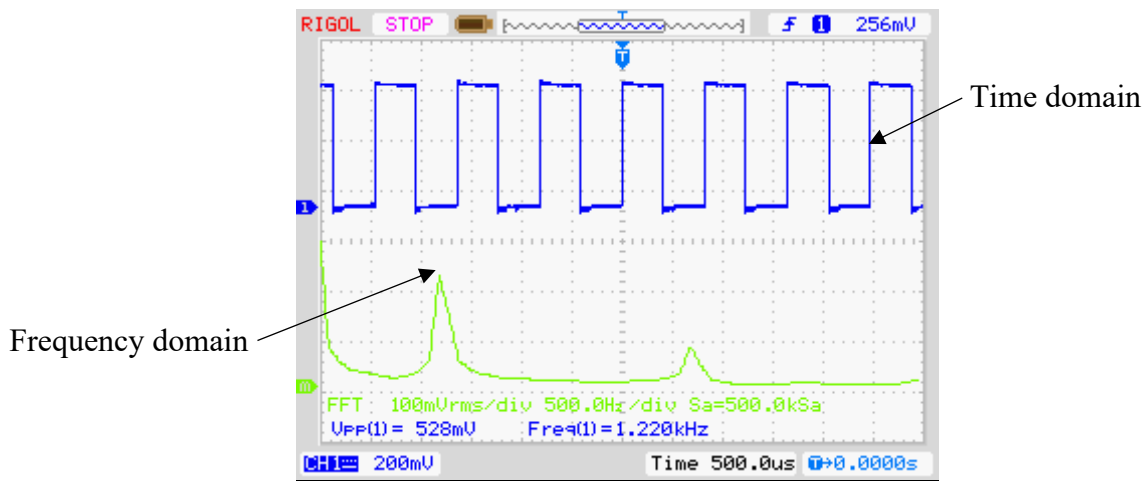
แรงดันไฟฟ้า (V)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
4	0%
5	0.13%
6	0.22%
7	0.13%
8	0%

### 4.2.1.3 ความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 50%

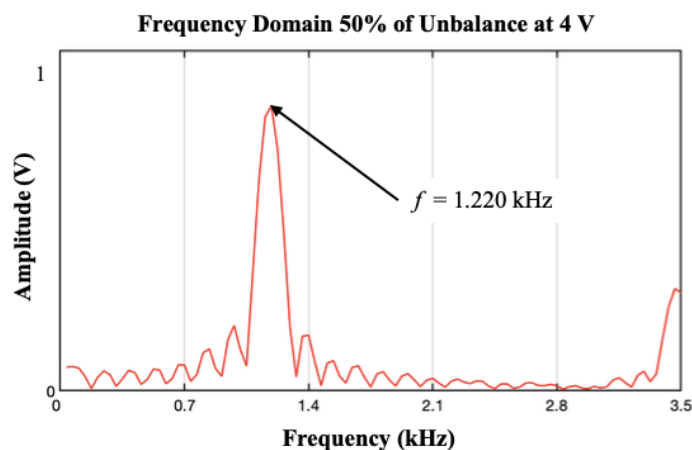
การทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 50% ที่แรงดันไฟฟ้ามอเตอร์เท่ากับ 4, 5, 6, 7 และ 8 V ในกรณีนี้มีการติดตั้งโหลดห่างจากแกนหมุนของมอเตอร์เท่ากับ 1.6 cm โดยเปรียบเทียบค่าความถี่จากการแปลงฟูเรียร์ด้วยออสซิลโลสโคปกับโปรแกรม MATLAB ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.13 – 4.17

จากรูปที่ 4.13 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 50% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 4 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ จะพบว่า ค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 1.220 kHz

จากรูปที่ 4.13 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 1.220 kHz



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.13 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 4 V

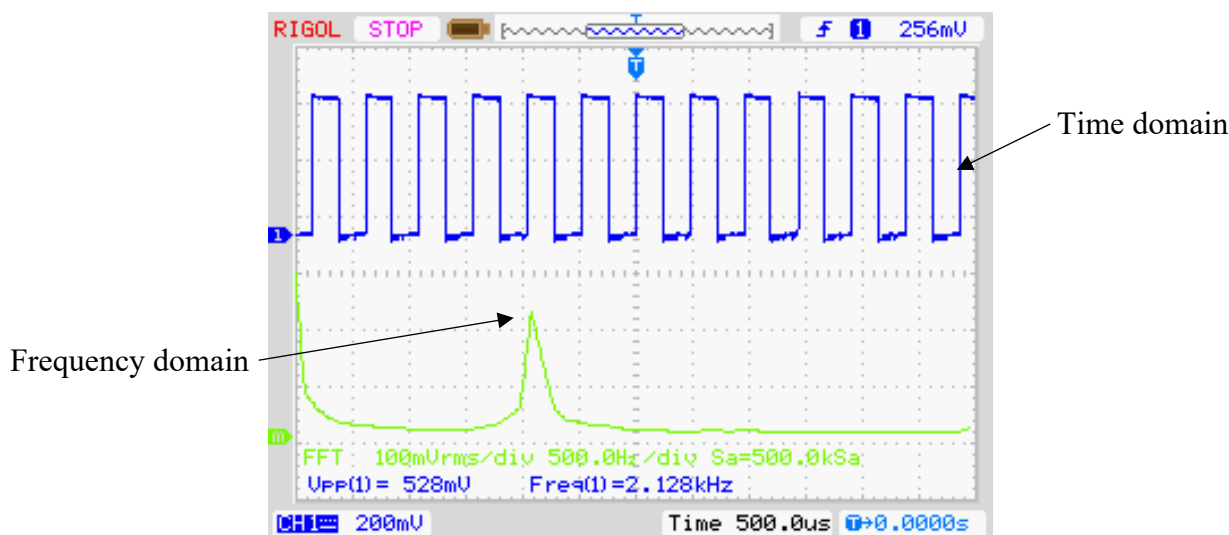
ในสภาวะไม่สมดุล 50% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

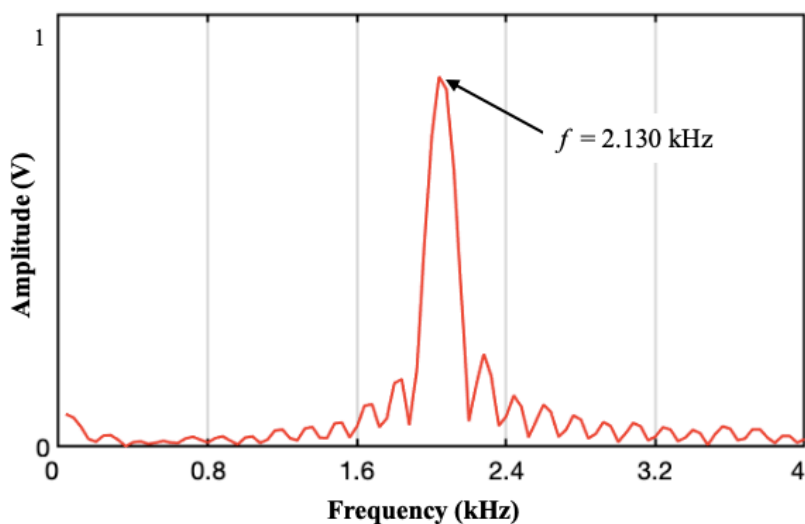
จากรูปที่ 4.14 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 50% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 5 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.13 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 2.128 kHz

จากรูปที่ 4.14 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 2.130 kHz



(ก)

Frequency Domain 50% of Unbalance at 5 V



(ข)

รูปที่ 4.14 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 5 V

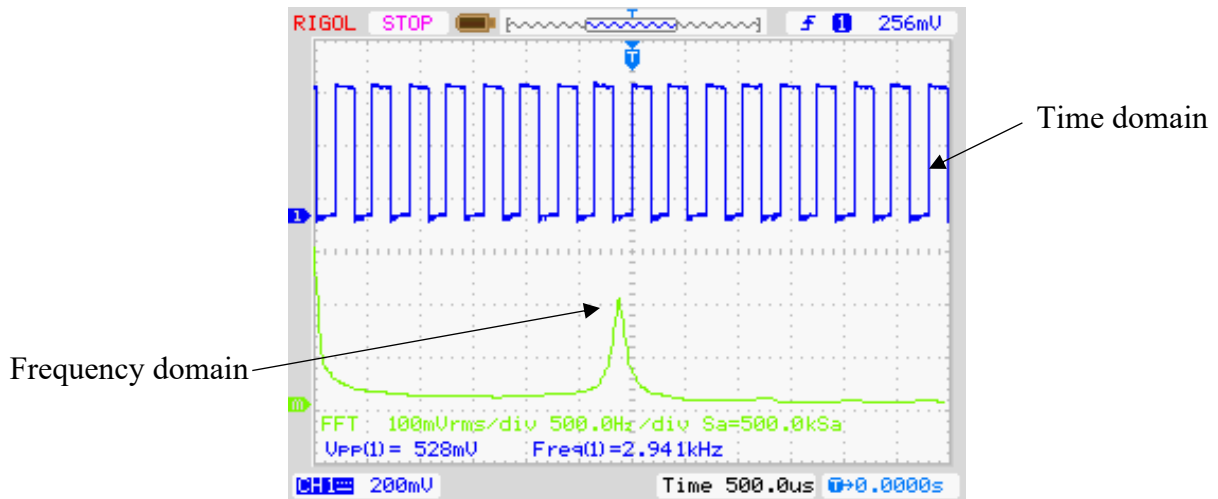
ในสภาวะไม่สมดุล 50% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

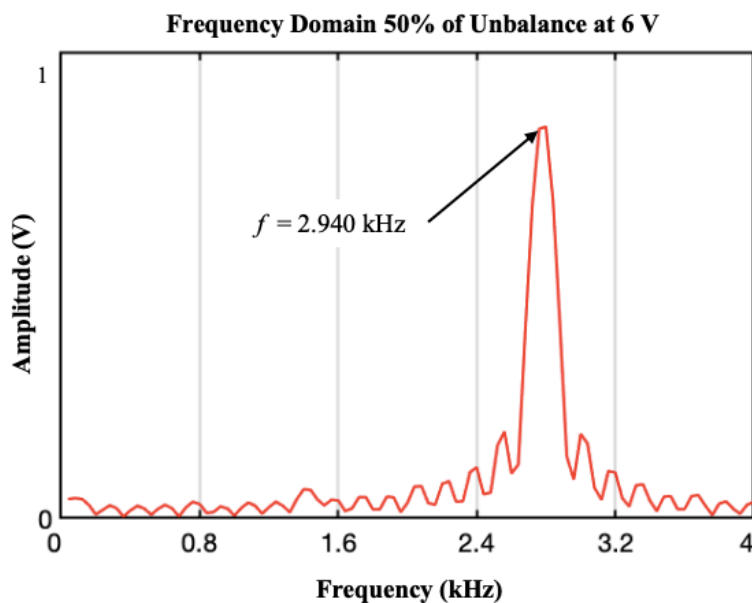
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.15 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสถานะไม่สมดุล 50% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 6 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.14 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 2.941 Hz

จากรูปที่ 4.15 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 2.940 Hz



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.15 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 6 V

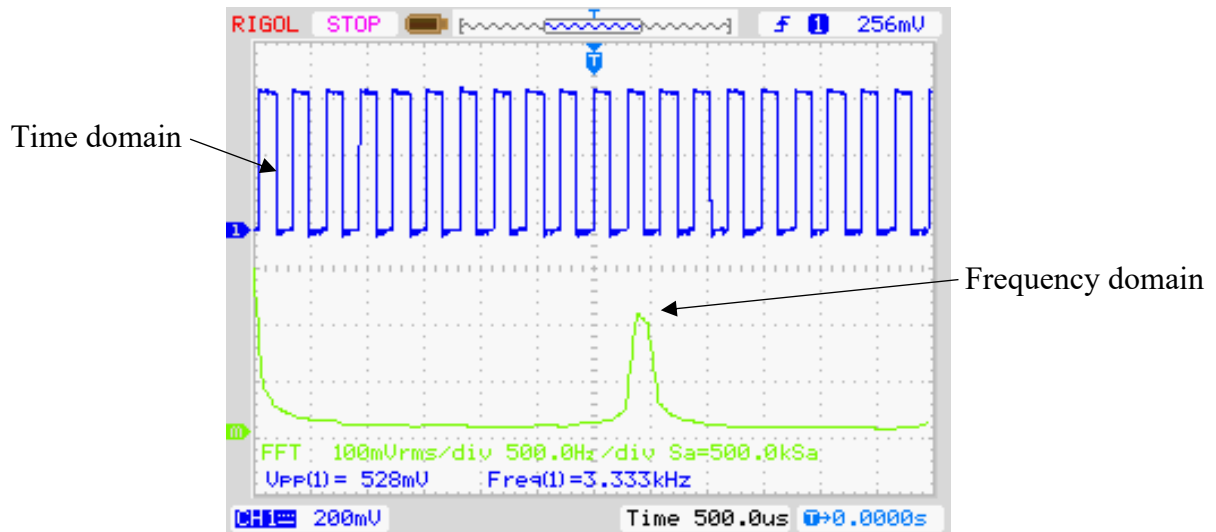
ในสถานะไม่สมดุล 50% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

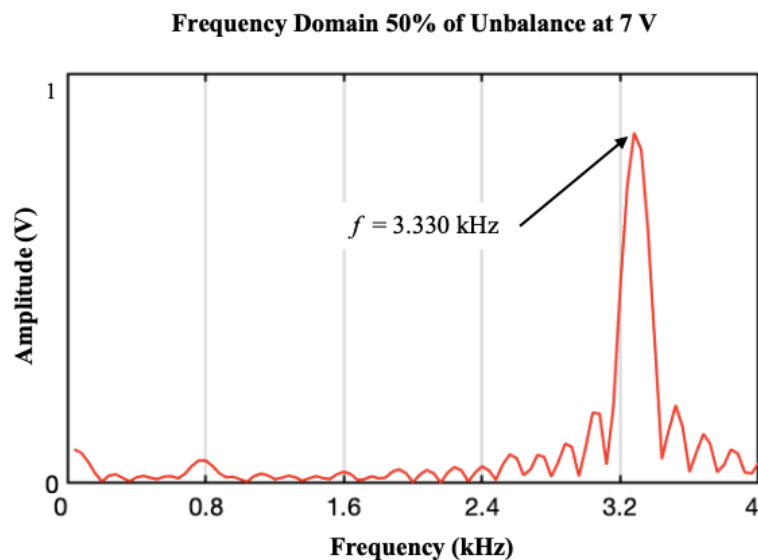
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.16 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสถานะไม่สมดุล 50% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 7 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.15 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 3.333 kHz

จากรูปที่ 4.16 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 3.330 Hz



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.16 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 7 V

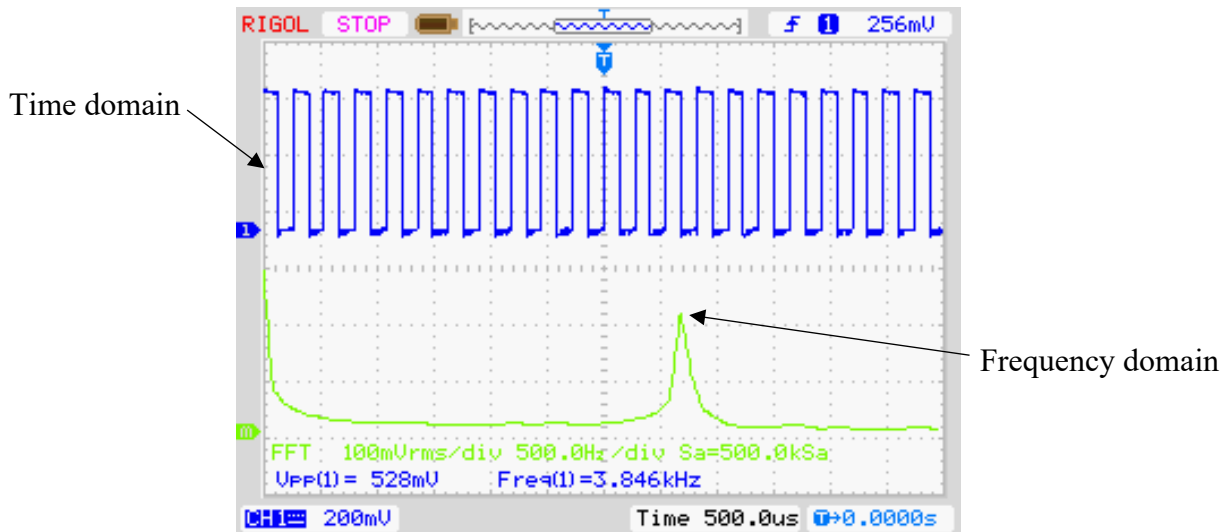
ในสถานะไม่สมดุล 50% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

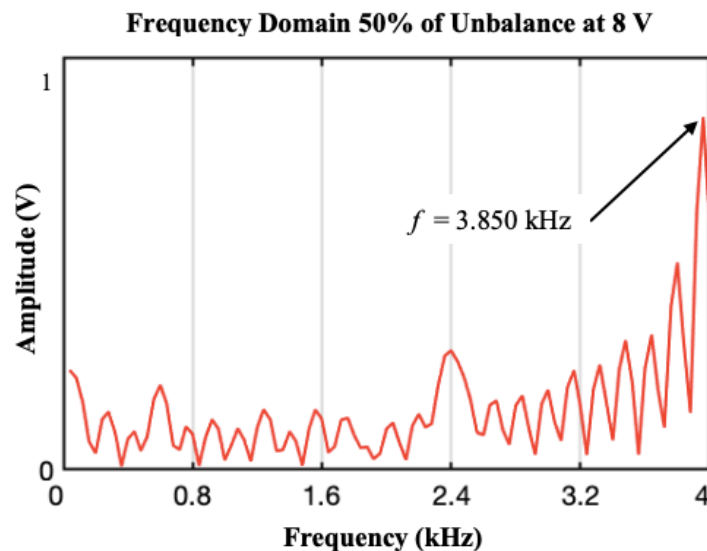
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.17 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสถานะไม่สมดุล 50% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 8 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.16 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 3.846 kHz

จากรูปที่ 4.17 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 3.850 kHz



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.17 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 8 V

ในสถานะไม่สมดุล 50% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 50% พบว่า เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 4 V ถึง 8 V ค่าความถี่โดยวิธีการแปลงฟูรีเยร์จากออสซิลโลสโคปและจากโปรแกรม MATLAB จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ

ผลการทดลองค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ที่แรงดันไฟฟ้า 4 5 6 7 และ 8 V ด้วยการแปลงฟูรีเยร์เปรียบเทียบผลจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคปกับโปรแกรม MATLAB ด้วยการทดลอง 20 ครั้ง ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการคำนวณความถี่ด้วยโปรแกรม MATLAB แสดงดังตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าค่าความผิดพลาดจากโปรแกรมมีค่าไม่เกิน 1% และค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 0.10%

**ตารางที่ 4.7** ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการแปลงฟูรีเยร์ด้วยโปรแกรม MATLAB ของมอเตอร์ 6 VDC ที่สภาวะไม่สมดุล 50%

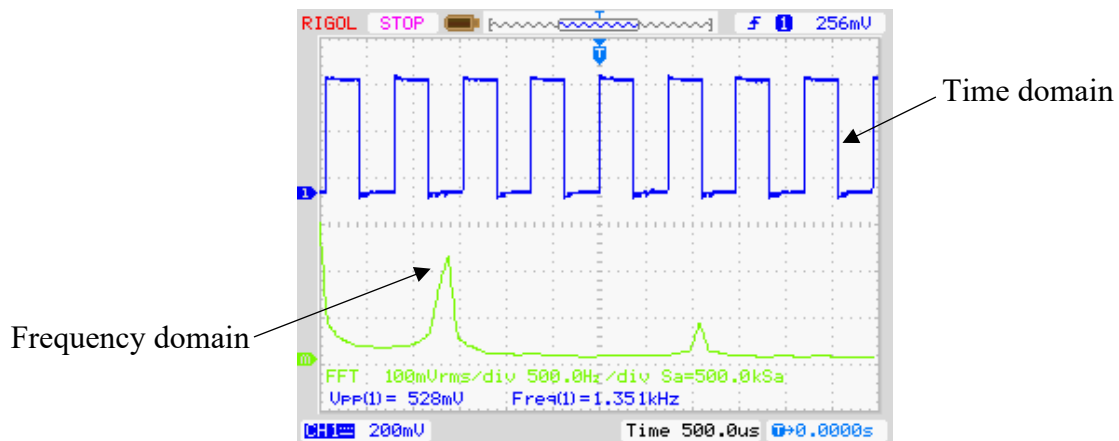
แรงดันไฟฟ้า (V)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
4	0%
5	0.09%
6	0.03%
7	0.09%
8	0.10%

#### 4.2.1.4 ความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 75%

การทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 75% ที่แรงดันไฟฟ้ามอเตอร์เท่ากับ 4, 5, 6, 7 และ 8 V ในกรณีนี้มีการติดตั้งโหนดห่างจากแกนหมุนของมอเตอร์เท่ากับ 2.4 cm โดยเปรียบเทียบค่าความถี่จากการแปลงฟูเรียร์ด้วยออสซิลโลสโคปกับโปรแกรม MATLAB ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.18 – 4.22

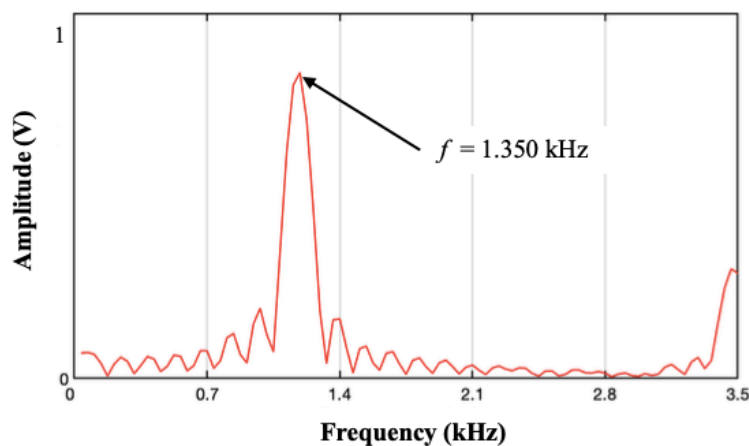
จากรูปที่ 4.18 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 75% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 4 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ จะพบว่า ค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 1.351 kHz

จากรูปที่ 4.18 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 1.350 kHz



(ก)

**Frequency Domain 75% of Unbalance at 4 V**



(ข)

**รูปที่ 4.18** ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 4 V

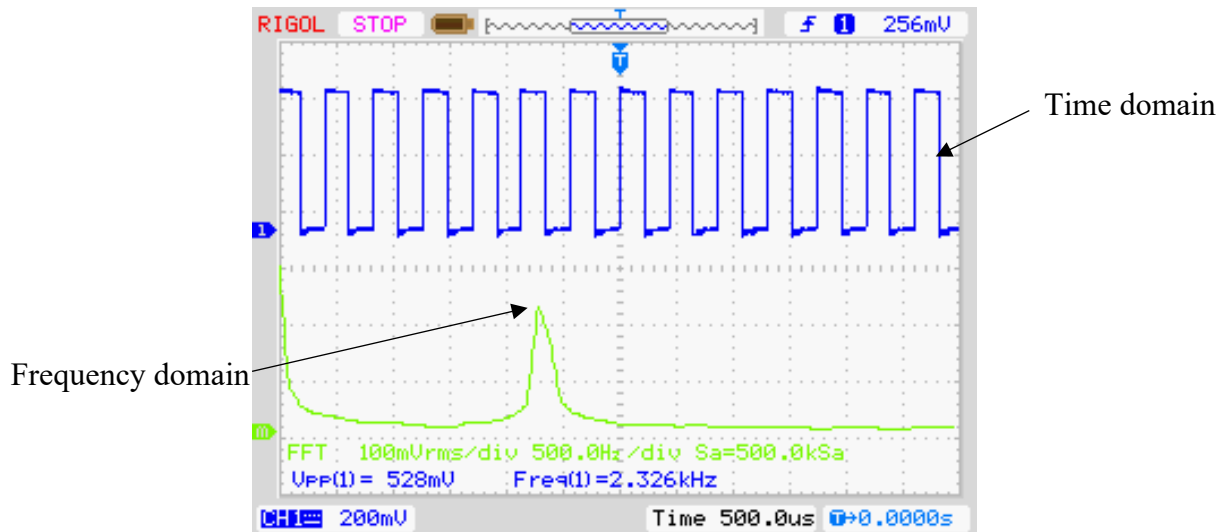
ในสภาวะไม่สมดุล 75% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

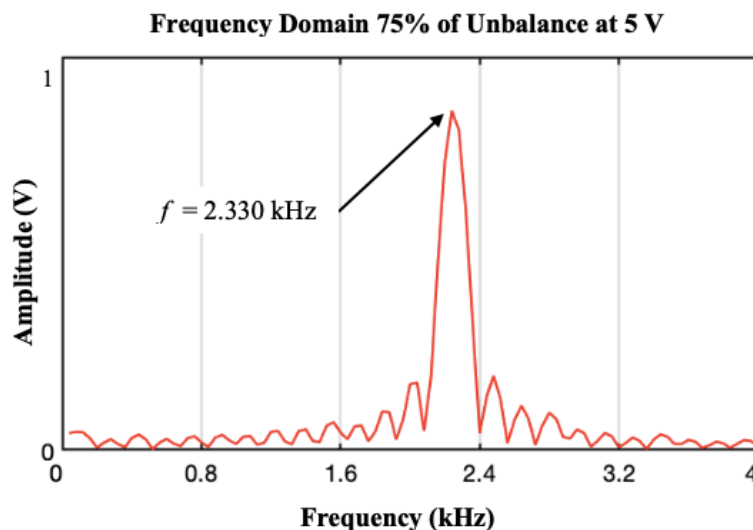
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.19 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 75% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 5 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.18 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 2.326 kHz

จากรูปที่ 4.19 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 2.330 kHz



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.19 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 5 V

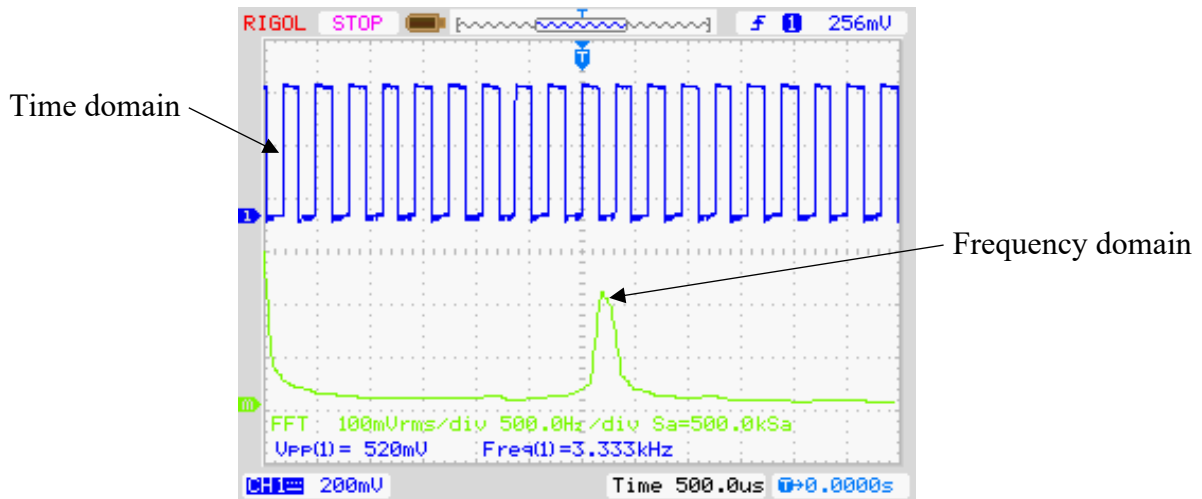
ในสภาวะไม่สมดุล 75% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

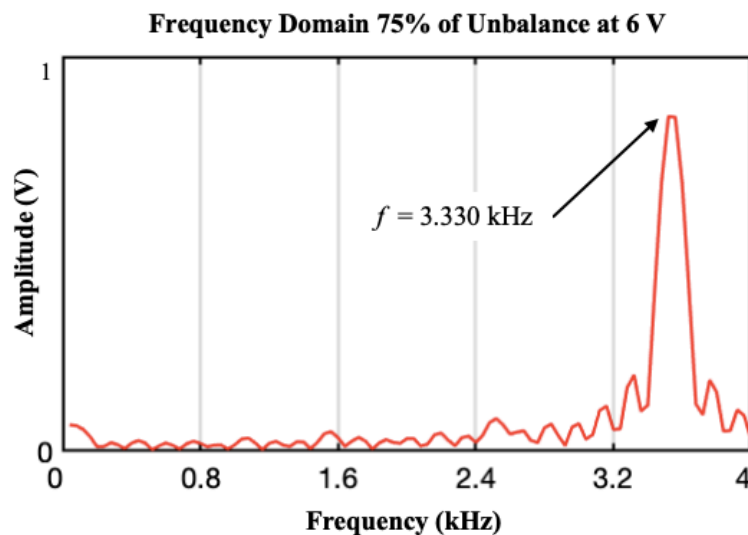
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.20 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสถานะไม่สมดุล 75% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 6 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.19 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 3.333 kHz

จากรูปที่ 4.20 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 3.330 kHz



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.20 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 6 V

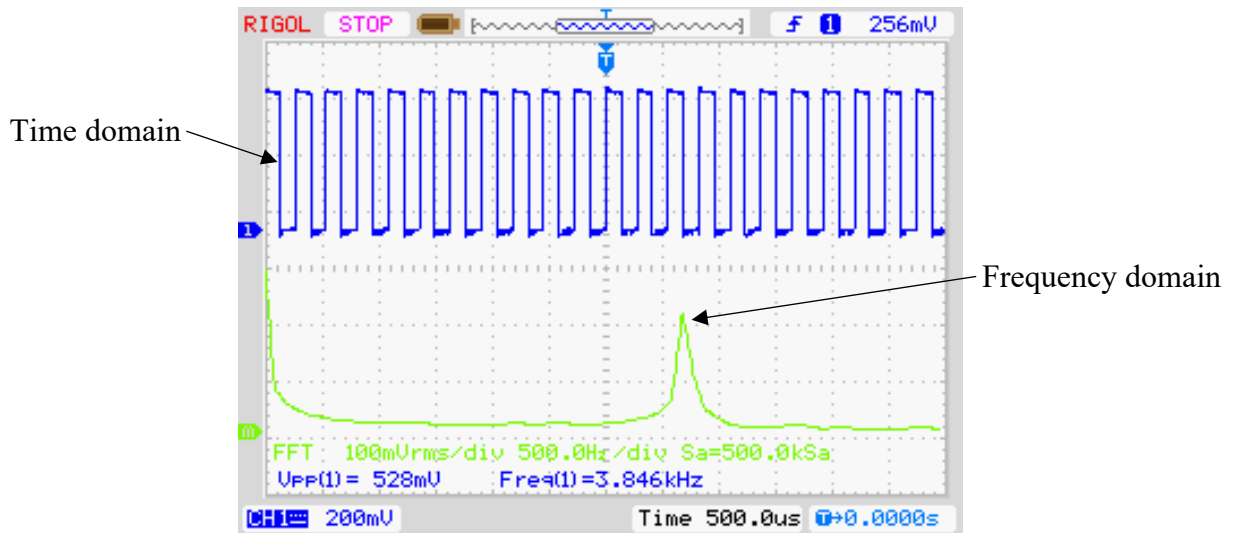
ในสถานะไม่สมดุล 75% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

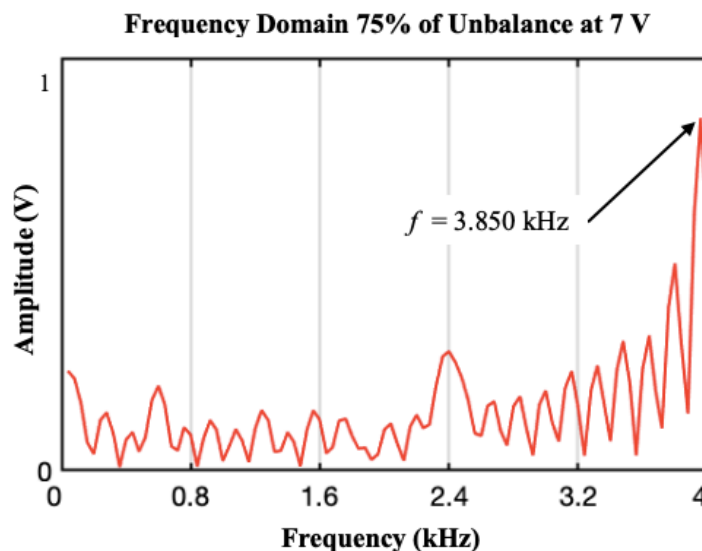
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.21 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสถานะไม่สมดุล 75% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 7 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.20 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 3.846 kHz

จากรูปที่ 4.21 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 3.850 kHz



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.21 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 7 V

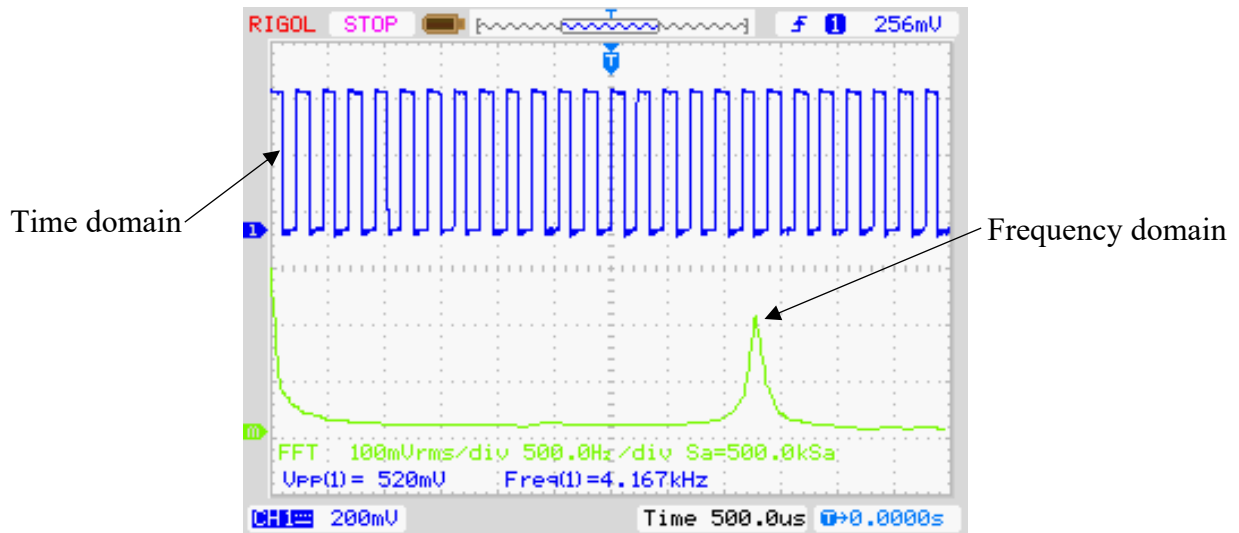
ในสถานะไม่สมดุล 75% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

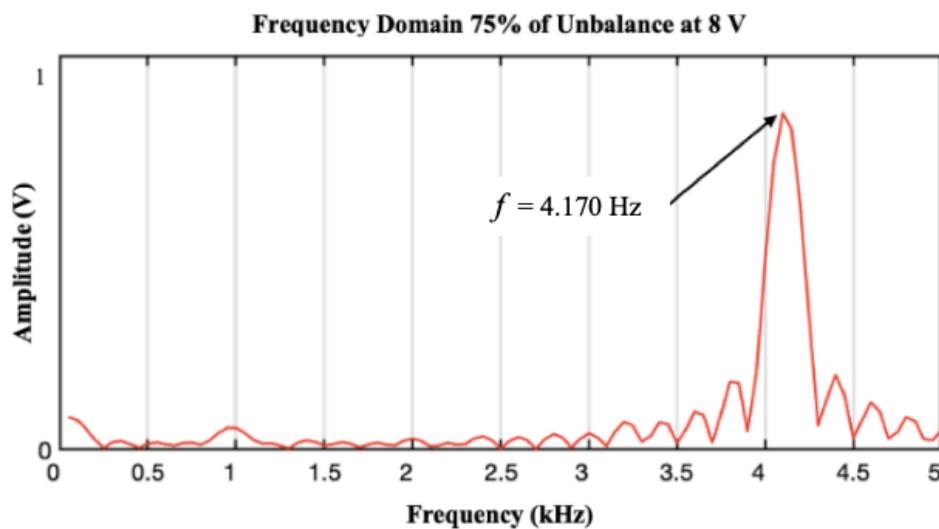
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.22 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 75% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 8 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.21 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 4.167 kHz

จากรูปที่ 4.22 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 4.170 kHz



(ก)



(ข)

- รูปที่ 4.22 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 6 VDC ที่แรงดันไฟฟ้า 8 V  
 ในสภาวะไม่สมดุล 75% ด้วยการแปลงฟูเรียร์  
 (ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป  
 (ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 75% พบว่า เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 4 V ถึง 8 V ค่าความถี่โดยวิธีการแปลงฟูรีเยร์จากออสซิลโลสโคปและจากโปรแกรม MATLAB จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ

ผลการทดลองค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ที่แรงดันไฟฟ้า 4 5 6 7 และ 8 V ด้วยการแปลงฟูรีเยร์เปรียบเทียบผลจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคปกับโปรแกรม MATLAB ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการคำนวณความถี่ด้วยโปรแกรม MATLAB ด้วยการทดลอง 20 ครั้ง แสดงดังตารางที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าค่าความผิดพลาดจากโปรแกรมมีค่าไม่เกิน 1% และค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 0.17%

**ตารางที่ 4.8** ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการแปลงฟูรีเยร์ด้วยโปรแกรม MATLAB ของมอเตอร์ 6 VDC ที่สภาวะไม่สมดุล 75%

แรงดันไฟฟ้า (V)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
4	0.07%
5	0.17%
6	0.09%
7	0.10%
8	0.07%

จากการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะสมดุล สภาวะไม่สมดุล 25% สภาวะไม่สมดุล 50% และสภาวะไม่สมดุล 75% พบว่า เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 4 V ถึง 8 V ค่าความถี่โดยวิธีการแปลงฟูรีเยร์จากออสซิลโลสโคปและจากโปรแกรม MATLAB จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับและมีค่าอย่างมีนัยสำคัญและที่แรงดันไฟฟ้า 4 5 6 7 และ 8 V ทำการแปลงฟูรีเยร์เปรียบเทียบผลจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคปกับโปรแกรม MATLAB ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการคำนวณความถี่ด้วยโปรแกรม MATLAB ด้วยการทดลอง 20 ครั้งแสดงให้เห็นว่า ค่าความผิดพลาดจากโปรแกรมมีค่าไม่เกิน 1%

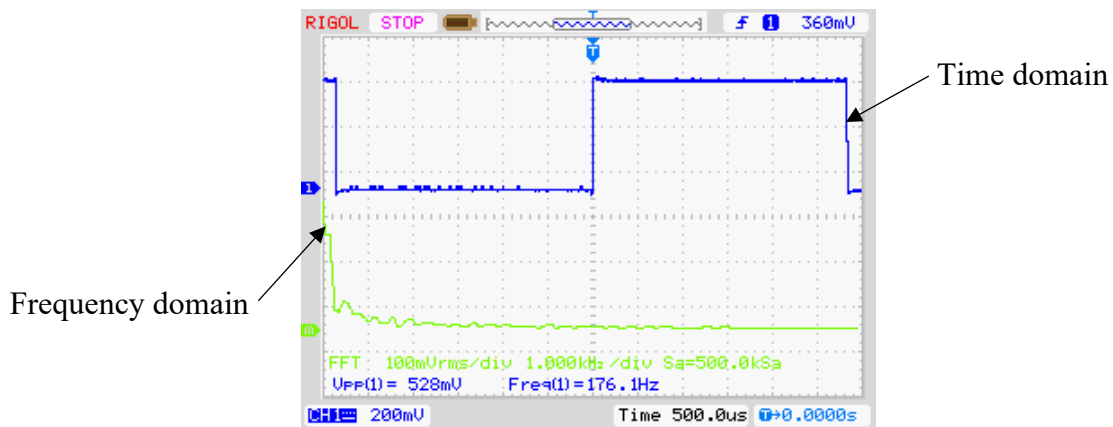
## 4.2.2 มอเตอร์ขนาด 12 VDC 3,500 RPM

### 4.2.2.1 ความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะสมดุล

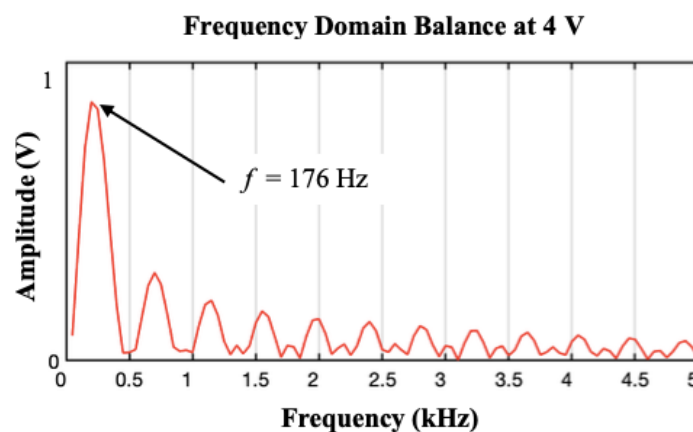
การทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะสมดุล ที่แรงดันไฟฟ้ากระตุ้นมอเตอร์ เท่ากับ 4 5 6 7 และ 8 V ในกรณีนี้จะไม่ม็โพลด์เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยเปรียบเทียบค่าความถี่จากการแปลงฟูเรียร์ด้วยออสซิลโลสโคปกับโปรแกรม MATLAB ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.23 – 4.27

จากรูปที่ 4.23 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะสมดุล ที่ไม่มีโพลด์ ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 4 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ จะพบว่า ค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 176.1 Hz

จากรูปที่ 4.23 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 176 Hz



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.23 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 4 V

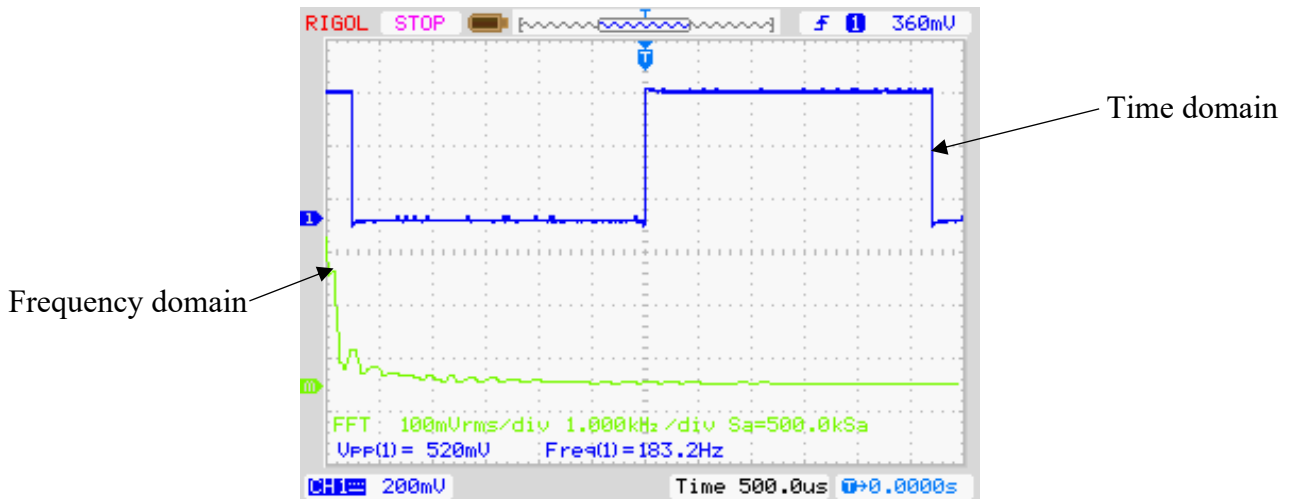
ในสภาวะสมดุล ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

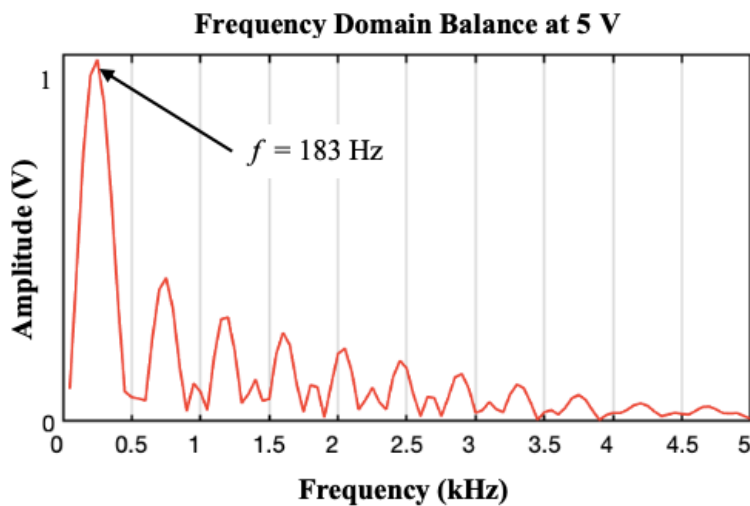
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.24 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสถานะสมดุล ที่ไม่มีโหลดเข้ามาเกี่ยวข้อง ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 5 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลอง รูปที่ 4.23 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 183.2 Hz

จากรูปที่ 4.24 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 183 Hz



(ก)

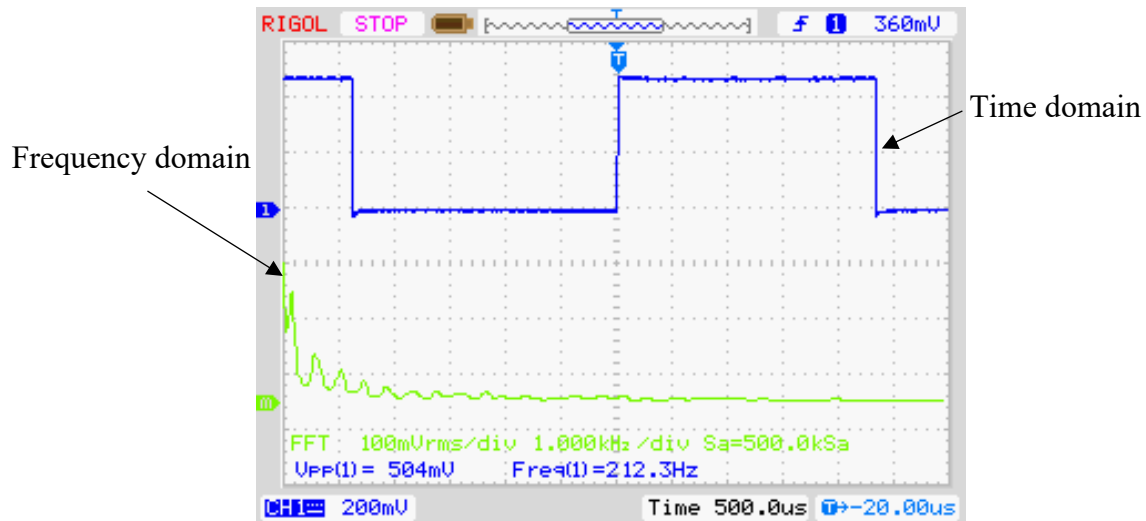


(ข)

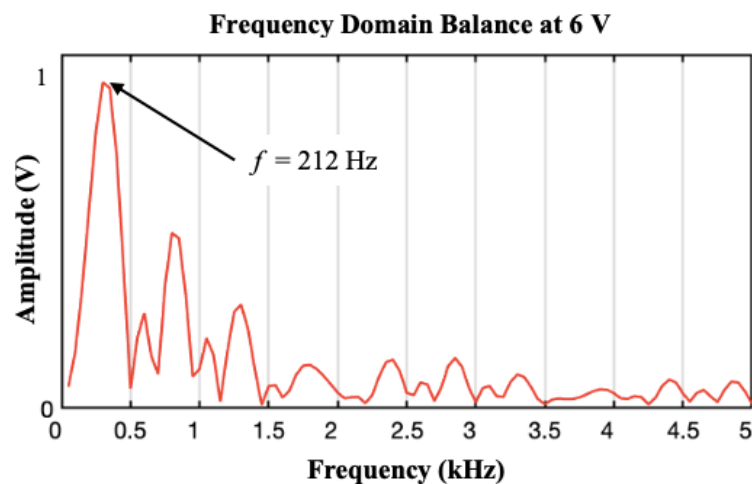
- รูปที่ 4.24 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 5 V  
 ในสถานะสมดุล ด้วยการแปลงฟูเรียร์  
 (ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป  
 (ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.25 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะสมดุล ที่ไม่มีโหลดเข้ามาเกี่ยวข้อง ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 6 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.24 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 212.3 Hz

จากรูปที่ 4.25 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 212 Hz



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.25 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 6 V

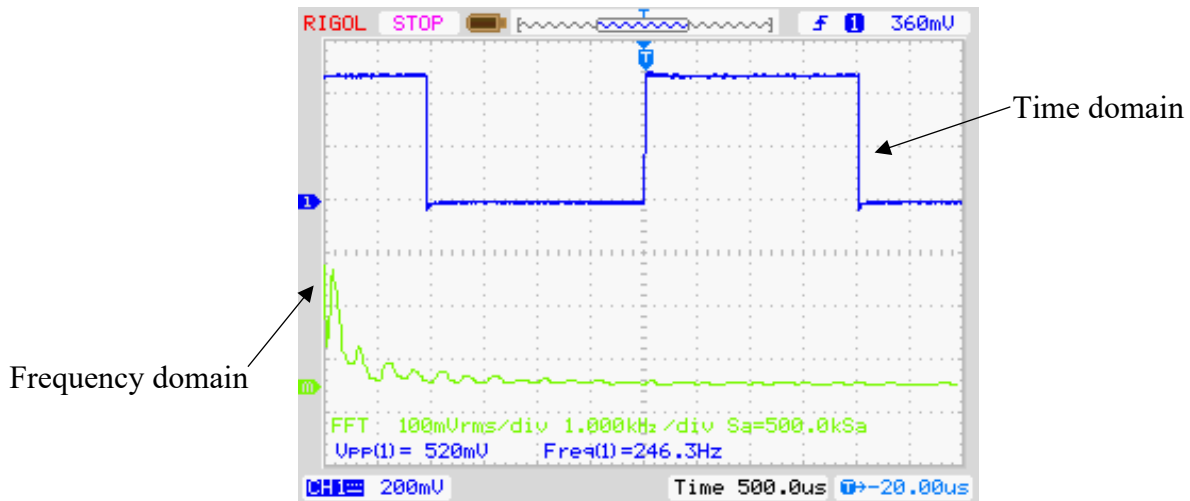
ในสภาวะสมดุล ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

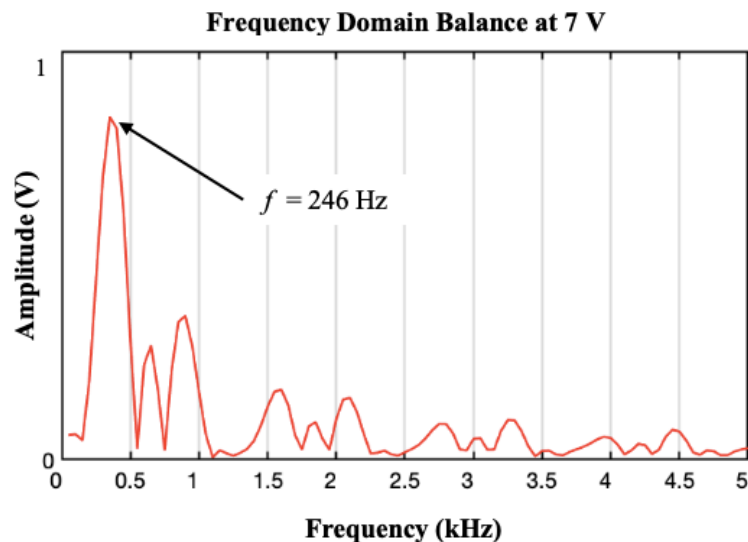
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.26 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะสมดุล ที่ไม่มีโหลดเข้ามาเกี่ยวข้อง ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 7 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.25 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 246.3 Hz

จากรูปที่ 4.26 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 246 Hz



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.26 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 7 V

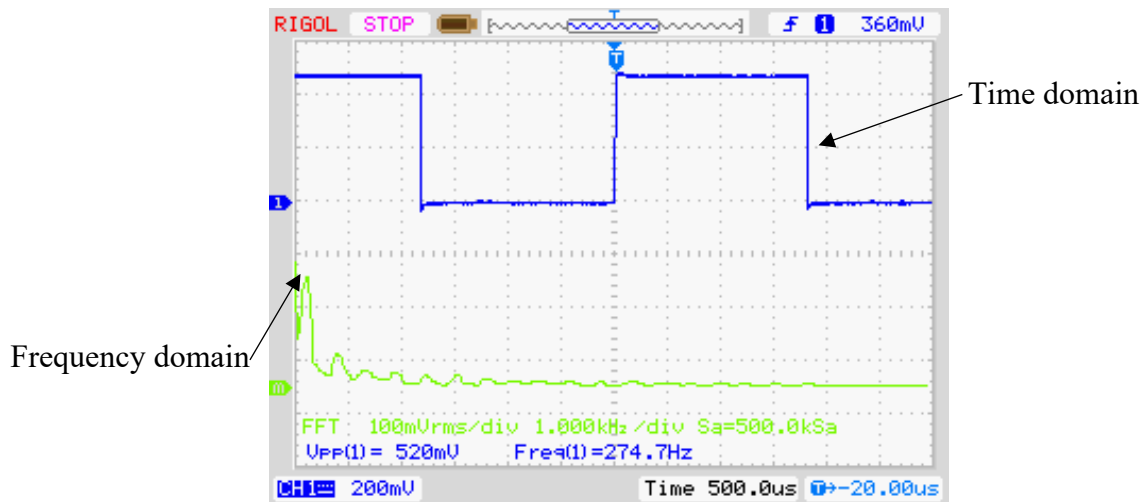
ในสภาวะสมดุล ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

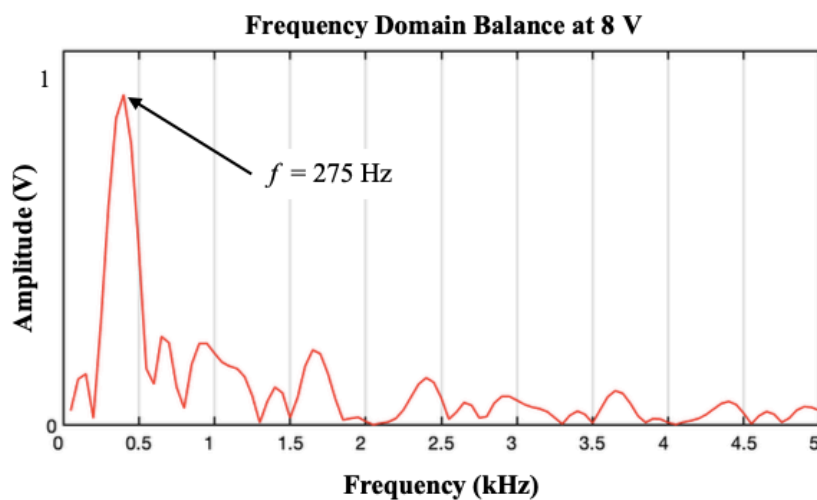
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.27 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะสมดุล ที่ไม่มีโหลดเข้ามาเกี่ยวข้อง ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 8 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.26 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 274.7 Hz

จากรูปที่ 4.27 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 275 Hz



(ก)



(ข)

- รูปที่ 4.27 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 8 V  
 ในสภาวะสมดุล ด้วยการแปลงฟูเรียร์  
 (ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป  
 (ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะสมดุลพบว่า เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 4 V ถึง 8 V ค่าความถี่โดยวิธีการแปลงฟูเรียร์จากออสซิลโลสโคปและจากโปรแกรม MATLAB จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ

ผลการทดลองค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ที่แรงดันไฟฟ้า 4 5 6 7 และ 8 V ด้วยการแปลงฟูเรียร์เปรียบเทียบผลจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคปกับโปรแกรม MATLAB ด้วยการทดลอง 20 ครั้ง ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการคำนวณความถี่ด้วยโปรแกรม MATLAB แสดงดังตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าค่าความผิดพลาดจากโปรแกรมมีค่าไม่เกิน 1% และค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 0.14%

**ตารางที่ 4.9** ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการแปลงฟูเรียร์ด้วยโปรแกรม MATLAB ของมอเตอร์ 12 VDC 3,500 RPM ที่สภาวะสมดุล

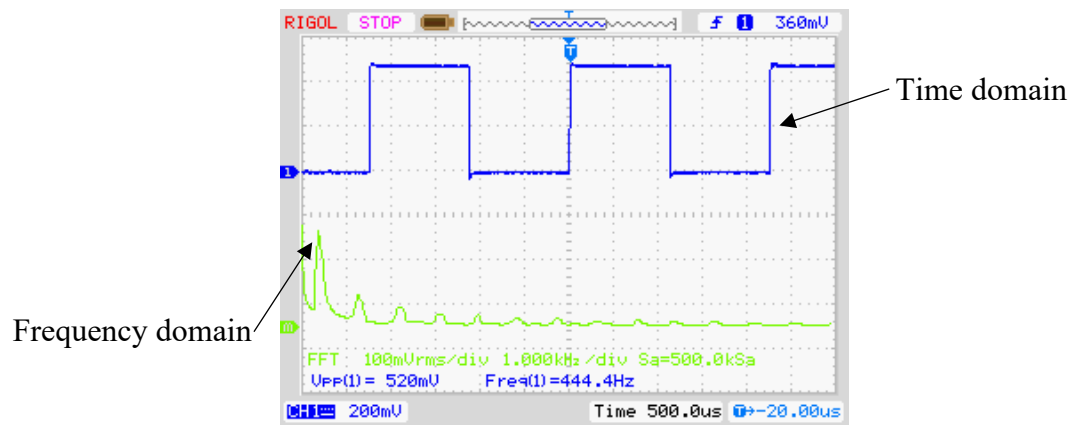
แรงดันไฟฟ้า (V)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
4	0.06%
5	0.11%
6	0.14%
7	0.12%
8	0.11%

#### 4.2.2.2 ความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 25%

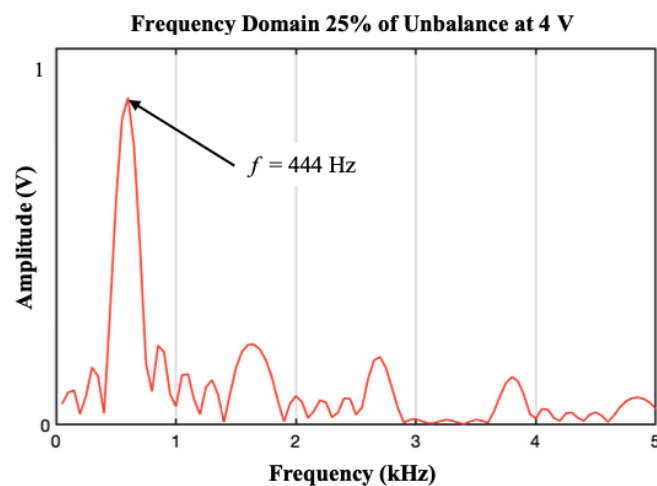
การทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 25% ที่แรงดันไฟฟ้ามอเตอร์เท่ากับ 4 5 6 7 และ 8 V ในกรณีนี้มีการติดตั้งโหนดห่างจากแกนหมุนของมอเตอร์เท่ากับ 0.8 cm โดยเปรียบเทียบค่าความถี่จากการแปลงฟูเรียร์ด้วยออสซิลโลสโคปกับโปรแกรม MATLAB ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.28 – 4.32

จากรูปที่ 4.28 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 25% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 4 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ จะพบว่า ค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 444.4 Hz

จากรูปที่ 4.28 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 444 Hz



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.28 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 4 V

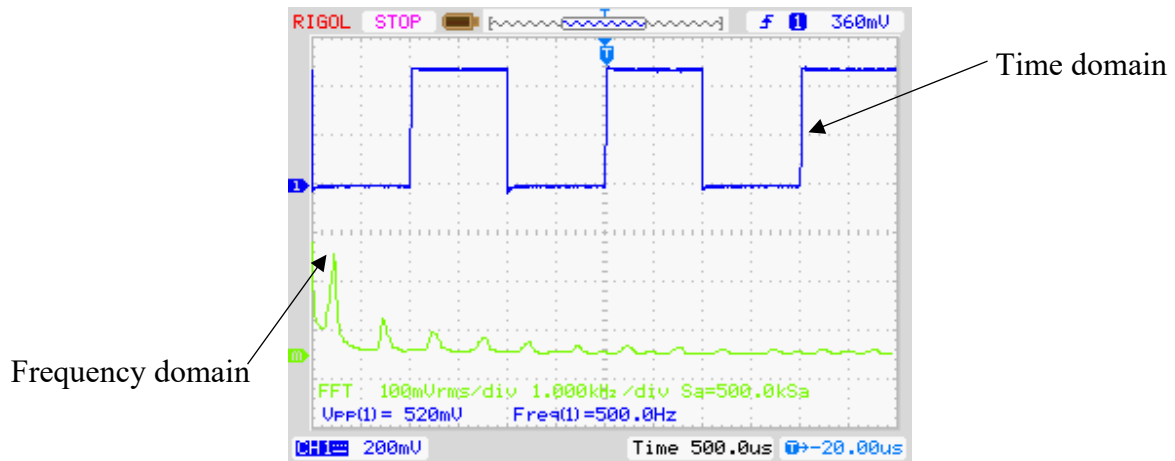
ในสภาวะไม่สมดุล 25% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

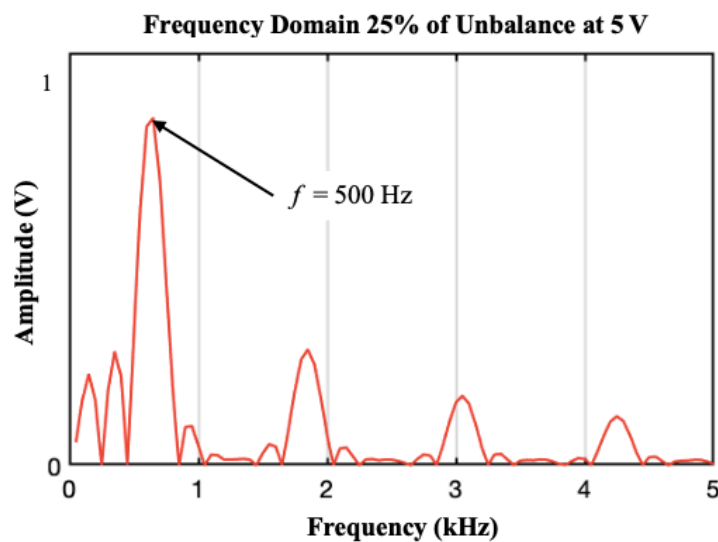
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.29 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสถานะไม่สมดุล 25% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 5 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.28 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 500 Hz

จากรูปที่ 4.29 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 500 Hz



(ก)



(ข)

**รูปที่ 4.29** ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 5 V

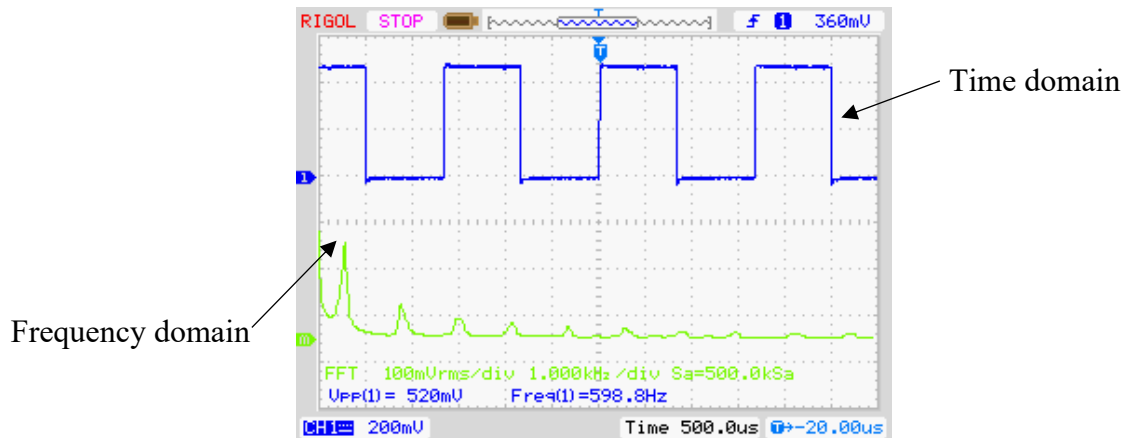
ในสถานะไม่สมดุล 25% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

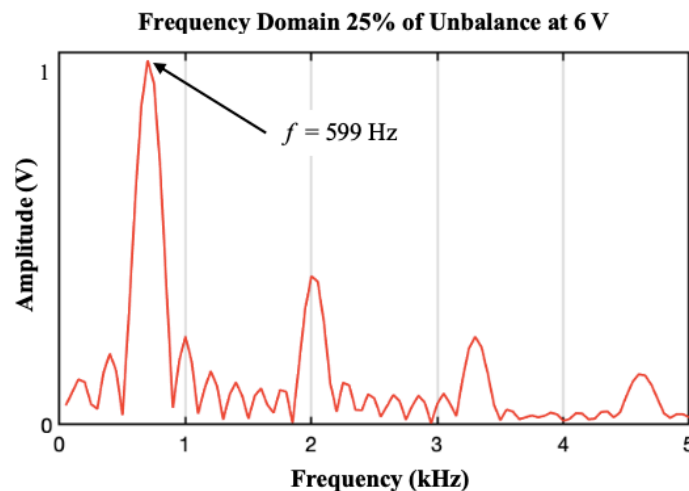
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.30 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสถานะไม่สมดุล 25% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 6 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.29 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 598.8 Hz

จากรูปที่ 4.30 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 599 Hz



(ก)

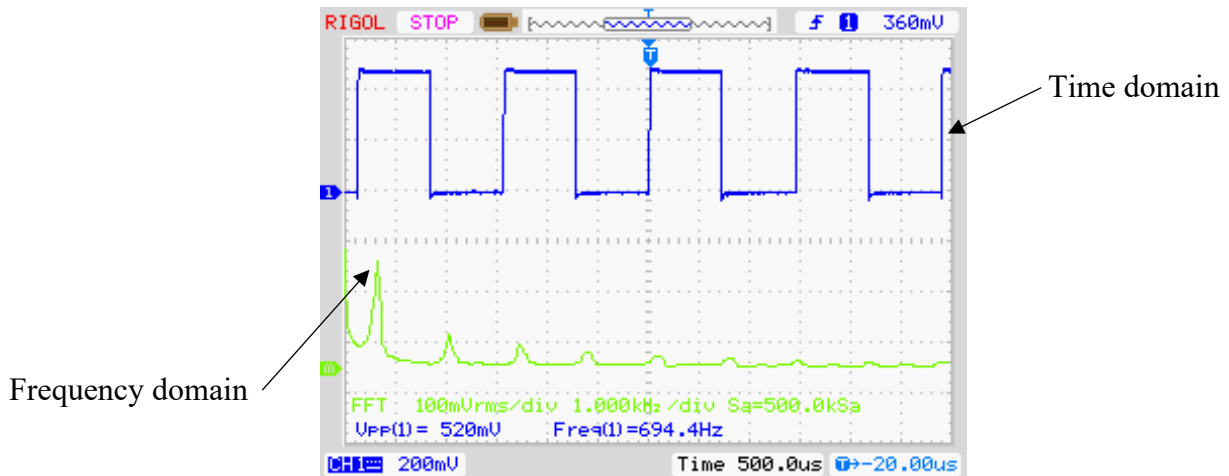


(ข)

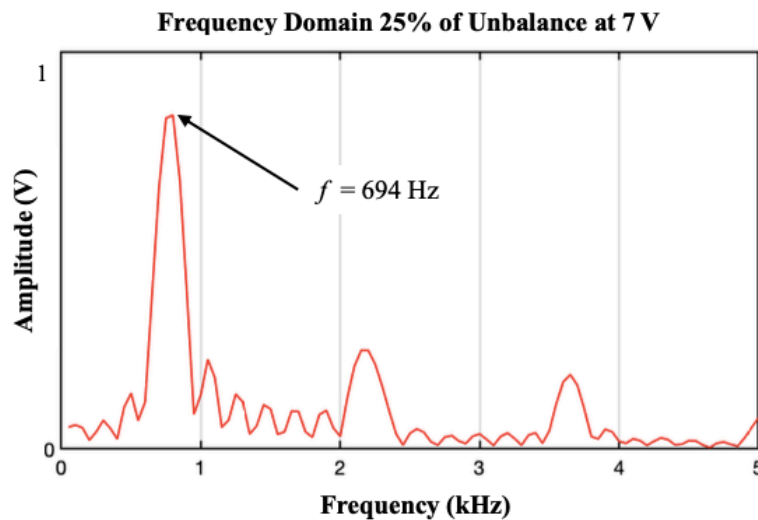
- รูปที่ 4.30 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 6 V ในสถานะไม่สมดุล 25% ด้วยการแปลงฟูเรียร์
- (ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป
- (ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.31 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 25% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 7 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.30 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 694.4 kHz

จากรูปที่ 4.31 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 694 Hz



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.31 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 7 V

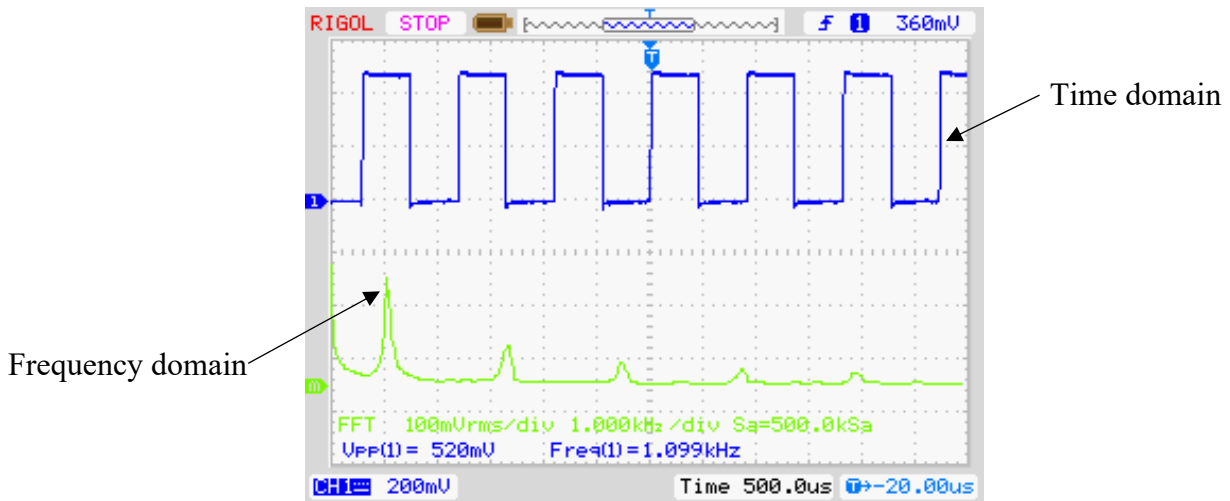
ในสภาวะไม่สมดุล 25% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

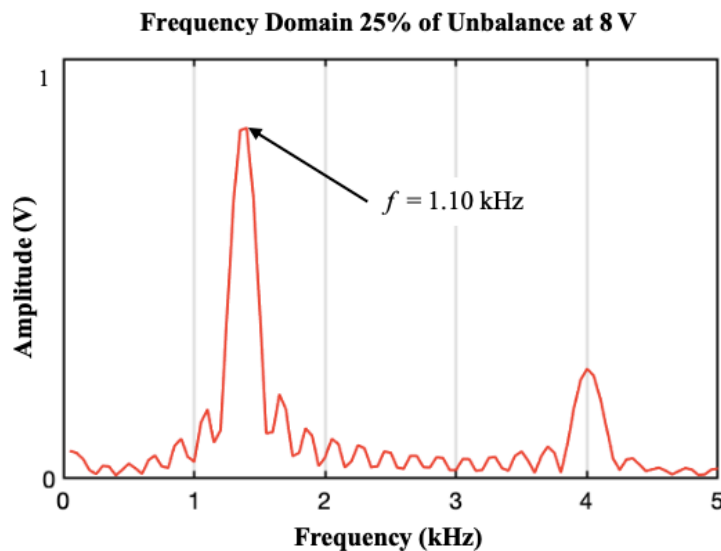
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.32 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสถานะไม่สมดุล 25% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 8 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.31 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 1.099 kHz

จากรูปที่ 4.32 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 1.10 kHz



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.32 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 8 V

ในสถานะไม่สมดุล 25% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 25% พบว่า เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้า ตั้งแต่ 4 V ถึง 8 V ค่าความถี่โดยวิธีการแปลงฟูเรียร์จากออสซิลโลสโคปและจากโปรแกรม MATLAB จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ

ผลการทดลองค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ที่แรงดันไฟฟ้า 4 5 6 7 และ 8 V ด้วยการแปลงฟูเรียร์เปรียบเทียบผลจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคปกับโปรแกรม MATLAB ด้วยการทดลอง 20 ครั้ง ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการคำนวณความถี่ด้วยโปรแกรม MATLAB แสดงดังตารางที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าค่าความผิดพลาดจากโปรแกรมมีค่าไม่เกิน 1% และค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 0.09%

**ตารางที่ 4.10** ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการแปลงฟูเรียร์ด้วยโปรแกรม MATLAB ของมอเตอร์ 12 VDC 3,500 RPM ที่สภาวะไม่สมดุล 25%

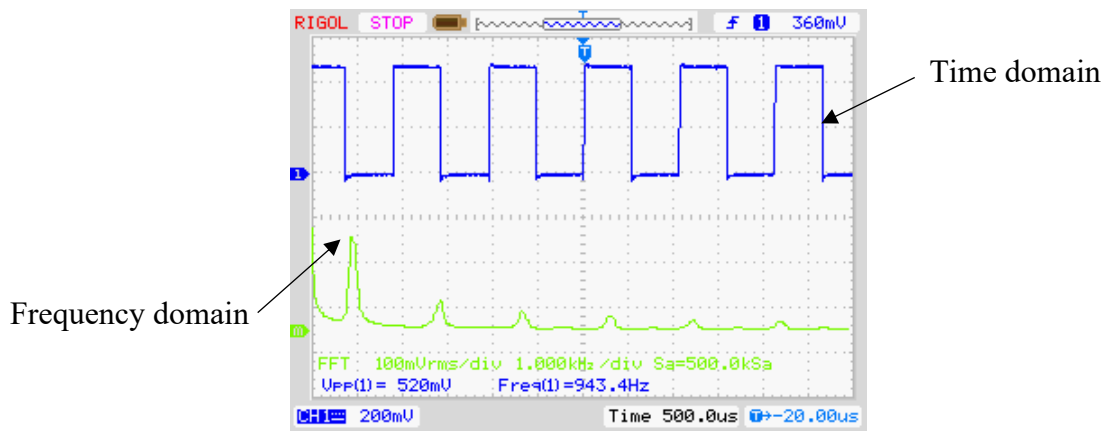
แรงดันไฟฟ้า (V)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
4	0.09%
5	0%
6	0.03%
7	0.06%
8	0.09%

#### 4.2.2.3 ความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 50%

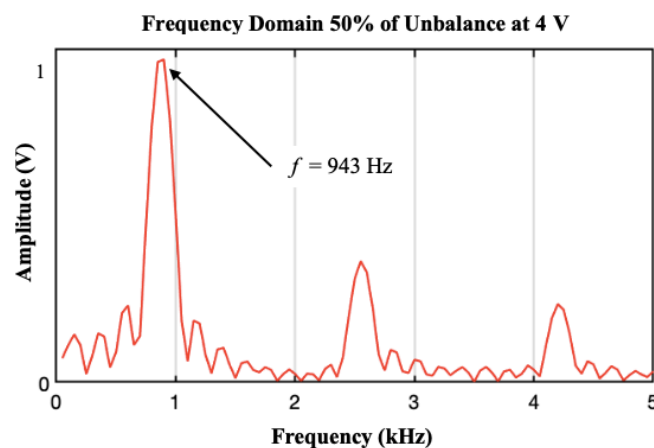
การทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 50% ที่แรงดันไฟฟ้ามอเตอร์เท่ากับ 4 5 6 7 และ 8 V ในกรณีนี้มีการติดตั้งโหนดห่างจากแกนหมุนของมอเตอร์เท่ากับ 1.6 cm โดยเปรียบเทียบค่าความถี่จากการแปลงฟูเรียร์ด้วยออสซิลโลสโคปกับโปรแกรม MATLAB ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.33 – 4.37

จากรูปที่ 4.33 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 50% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 4 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ จะพบว่า ค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 943.4 Hz

จากรูปที่ 4.33 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 943 Hz



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.33 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 4 V

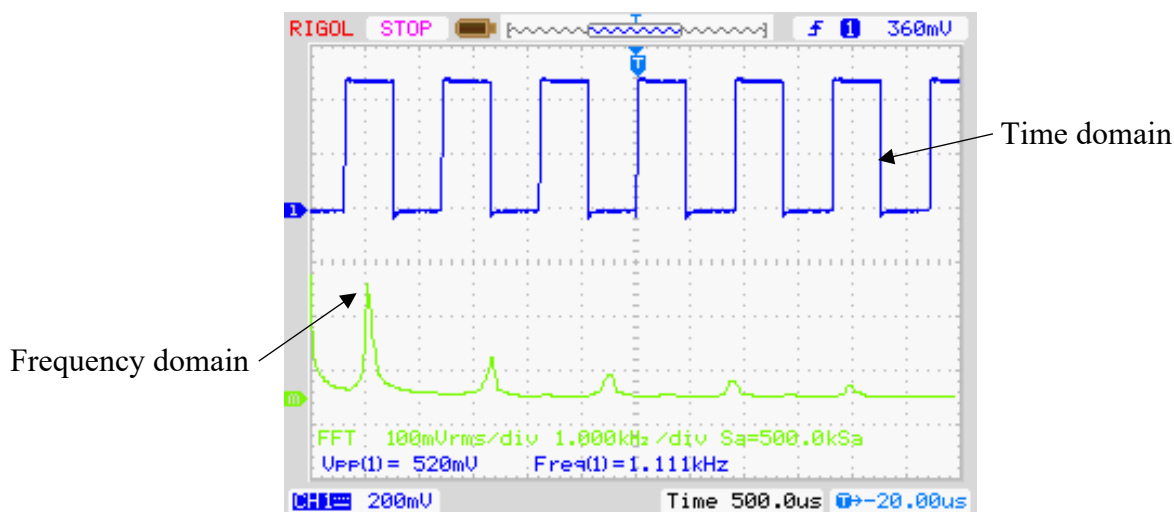
ในสภาวะไม่สมดุล 50% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

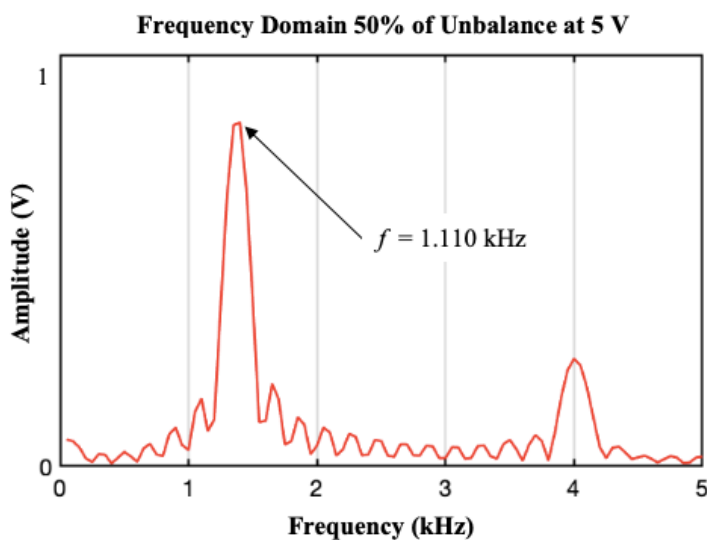
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.34 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 50% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 5 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.33 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 1.111 kHz

จากรูปที่ 4.34 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 1.110 kHz



(ก)



(ข)

**รูปที่ 4.34** ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 5 V

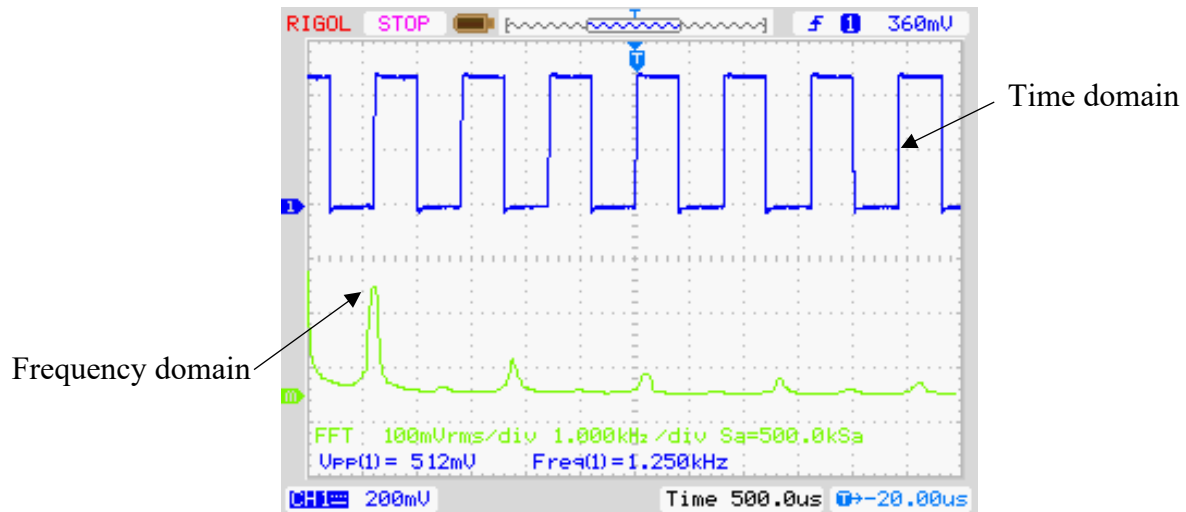
ในสภาวะไม่สมดุล 50% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

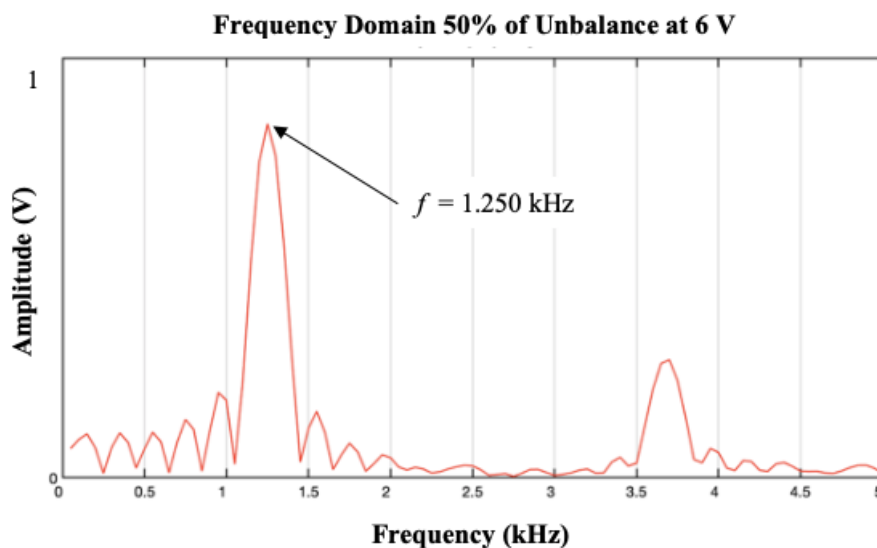
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.35 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 50% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 6 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.34 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 1.250 kHz

จากรูปที่ 4.35 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 1.250 kHz



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.35 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 6 V

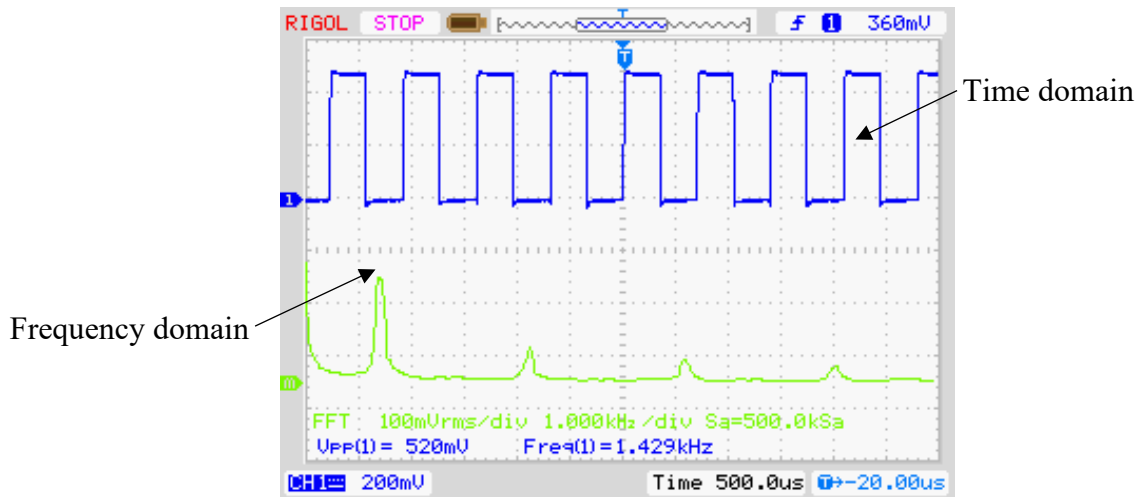
ในสภาวะไม่สมดุล 50% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

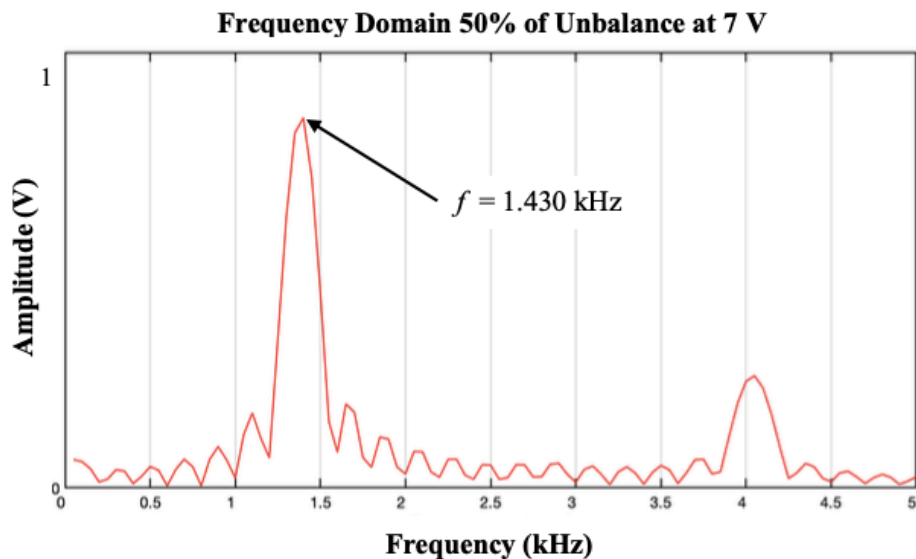
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.36 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสถานะไม่สมดุล 50% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 7 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.36 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 1.429 kHz

จากรูปที่ 4.36 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 1.430 kHz



(ก)



(ข)

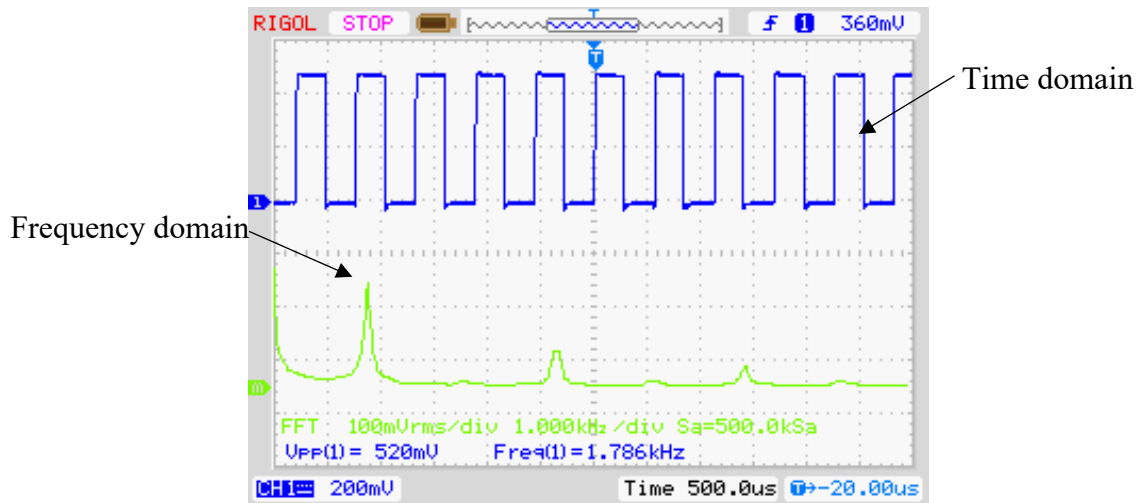
รูปที่ 4.36 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ที่แรงดันไฟฟ้า 7 V ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

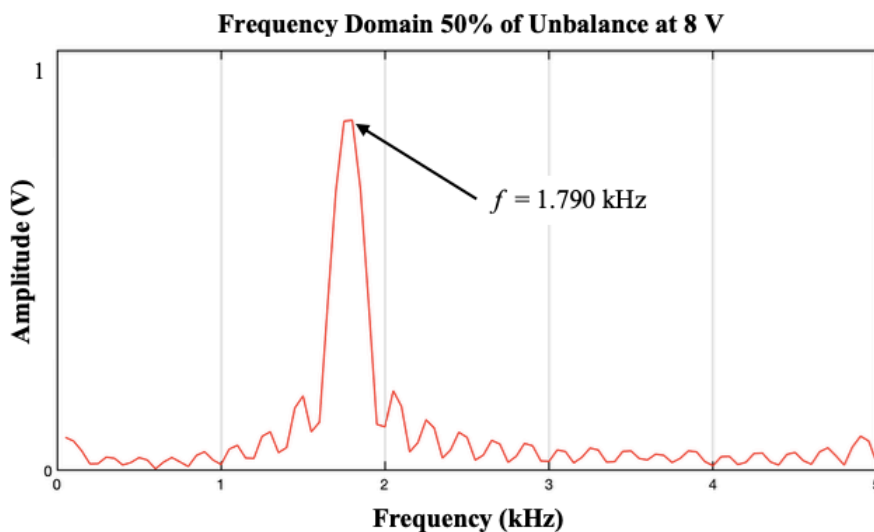
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.37 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสถานะไม่สมดุล 50% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 8 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.36 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 1.786 kHz

จากรูปที่ 4.37 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 1.790 kHz



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.37 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 8 V

ในสถานะไม่สมดุล 50% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 50% พบว่า เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 4 V ถึง 8 V ค่าความถี่โดยวิธีการแปลงฟูเรียร์จากออสซิลโลสโคปและจากโปรแกรม MATLAB จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ

ผลการทดลองค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ที่แรงดันไฟฟ้า 4, 5, 6, 7 และ 8 V ด้วยการแปลงฟูเรียร์เปรียบเทียบผลจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคปกับโปรแกรม MATLAB ด้วยการทดลอง 20 ครั้ง ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการคำนวณความถี่ด้วยโปรแกรม MATLAB แสดงดังตารางที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าค่าความผิดพลาดจากโปรแกรมมีค่าไม่เกิน 1% และค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 0.22%

**ตารางที่ 4.11** ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการแปลงฟูเรียร์ด้วยโปรแกรม MATLAB ของมอเตอร์ 12 VDC 3,500 RPM ที่สภาวะไม่สมดุล 50%

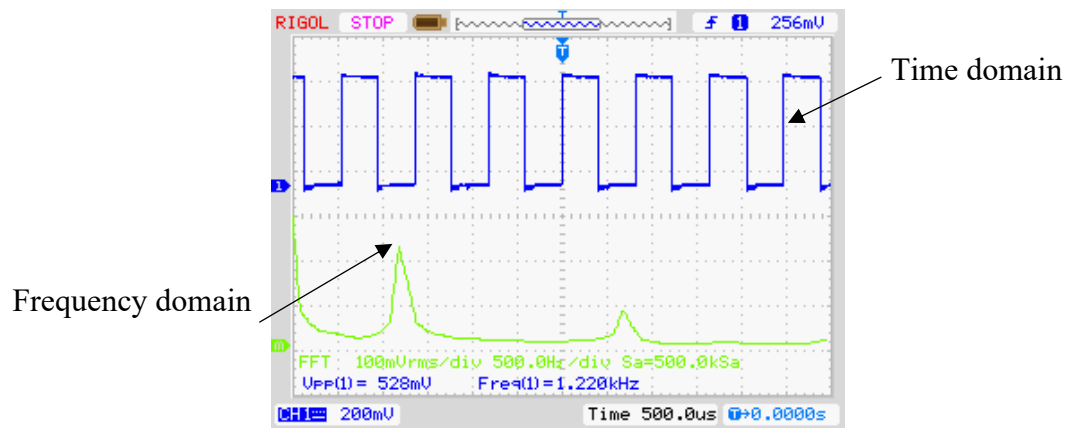
แรงดันไฟฟ้า (V)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
4	0.04%
5	0.09%
6	0%
7	0.07%
8	0.22%

#### 4.2.2.4 ความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 75%

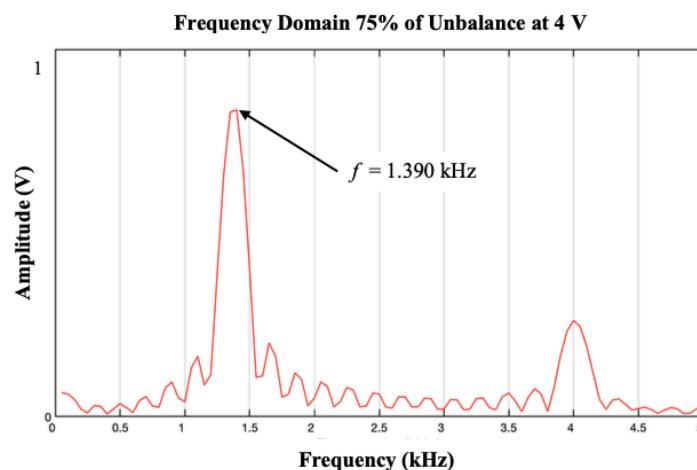
การทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 75% ที่แรงดันไฟฟ้ามอเตอร์เท่ากับ 4 5 6 7 และ 8 V ในกรณีนี้มีการติดตั้งโหนดห่างจากแกนหมุนของมอเตอร์เท่ากับ 2.4 cm โดยเปรียบเทียบค่าความถี่จากการแปลงฟูเรียร์ด้วยออสซิลโลสโคปกับโปรแกรม MATLAB ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.38 – 4.42

จากรูปที่ 4.38 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 75% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 4 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ จะพบว่า ค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 1.220 kHz

จากรูปที่ 4.38 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 1.220 kHz



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.38 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 4 V

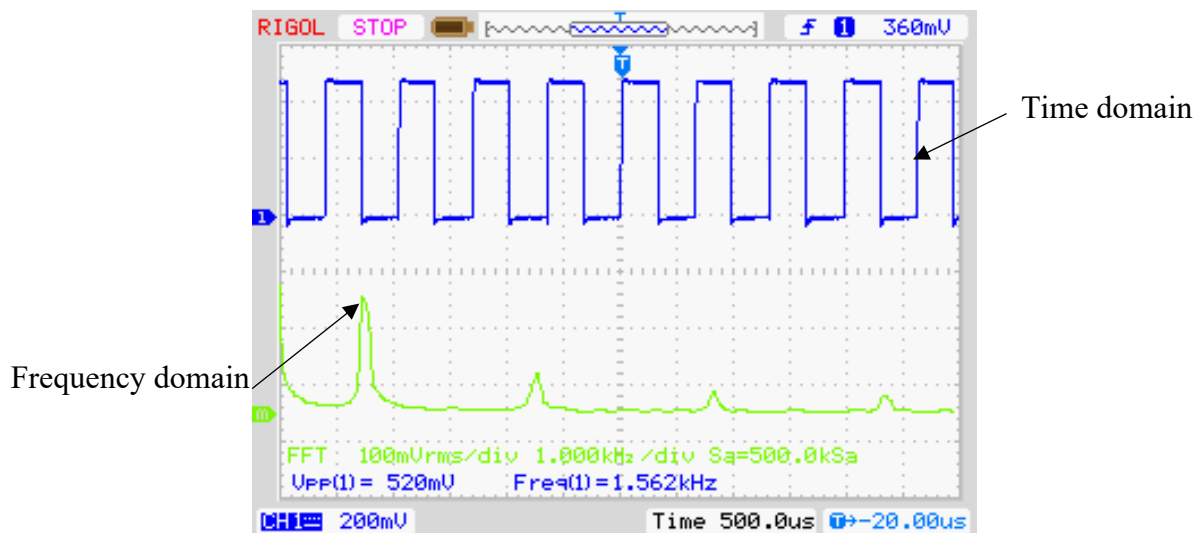
ในสภาวะไม่สมดุล 75% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

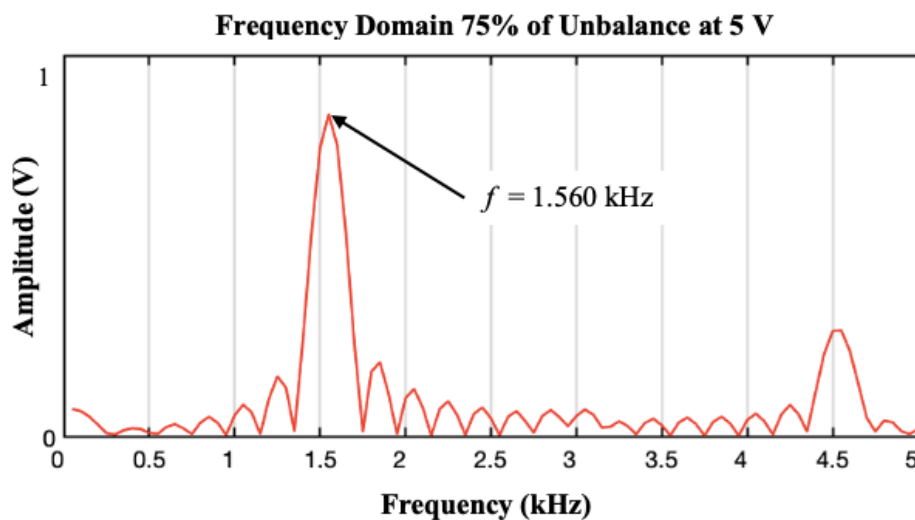
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.39 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสถานะไม่สมดุล 75% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 5 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.38 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 1.562 kHz

จากรูปที่ 4.39 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 1.560 kHz



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.39 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 5 V

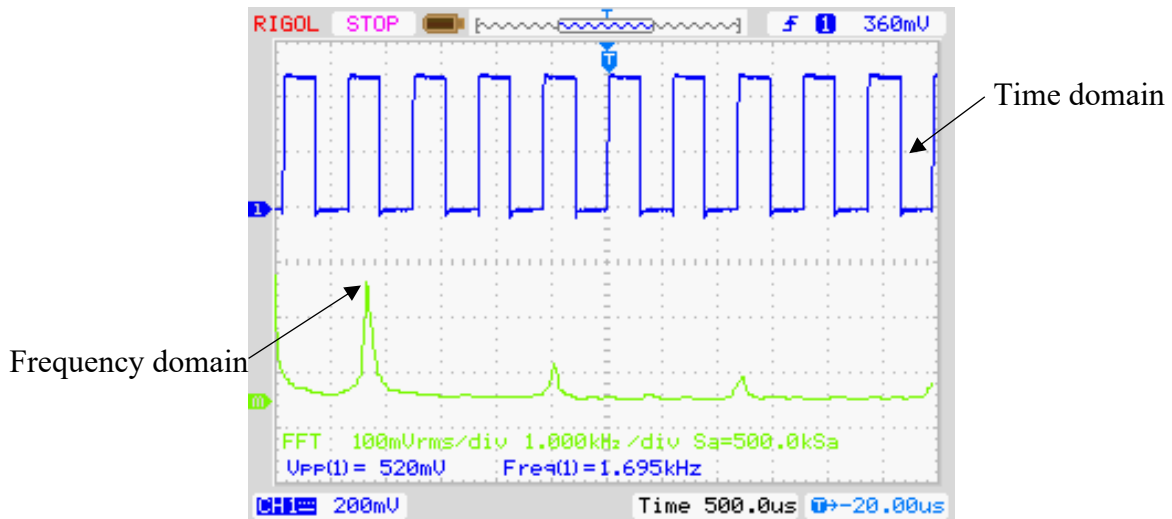
ในสถานะไม่สมดุล 75% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

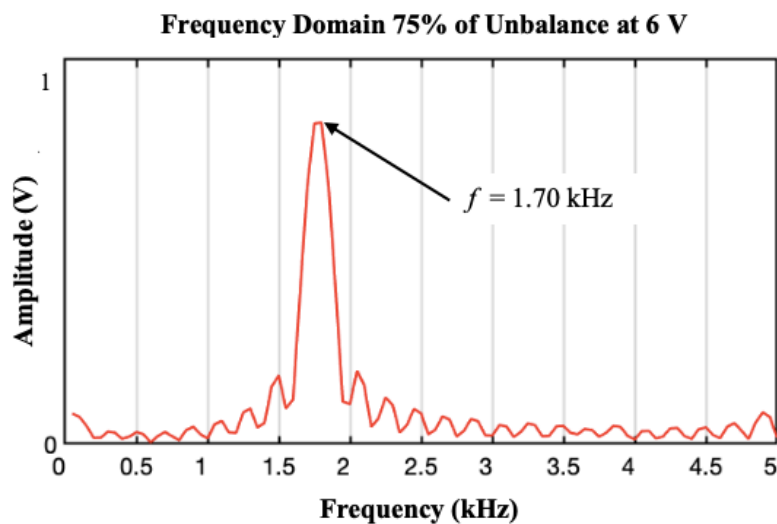
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.40 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสถานะไม่สมดุล 75% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 6 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.39 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 1.695 kHz

จากรูปที่ 4.40 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 1.70 kHz



(ก)



(ข)

**รูปที่ 4.40** ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 6 V

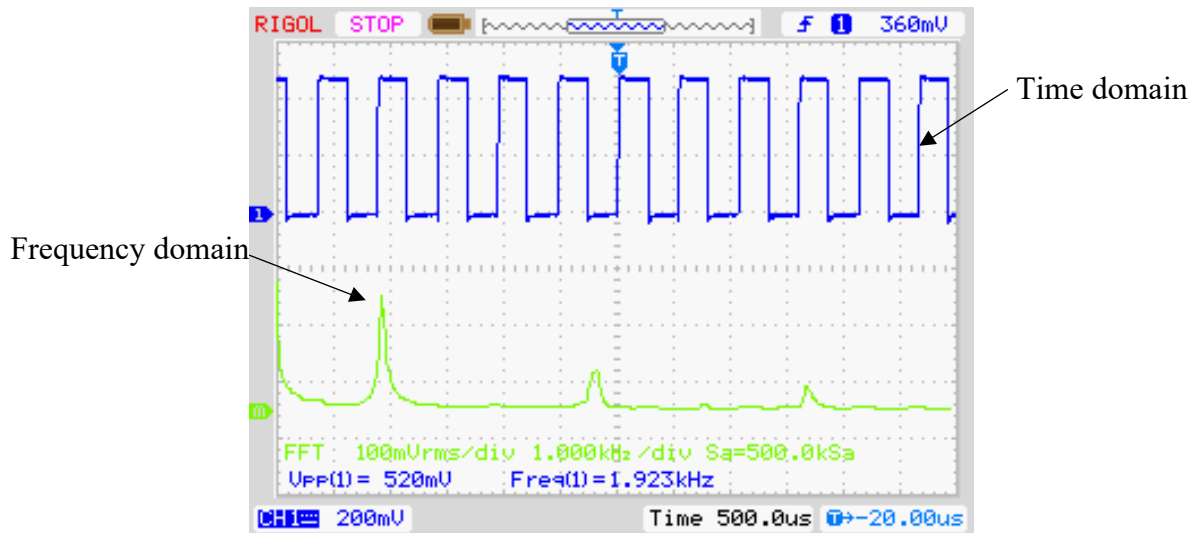
ในสถานะไม่สมดุล 75% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

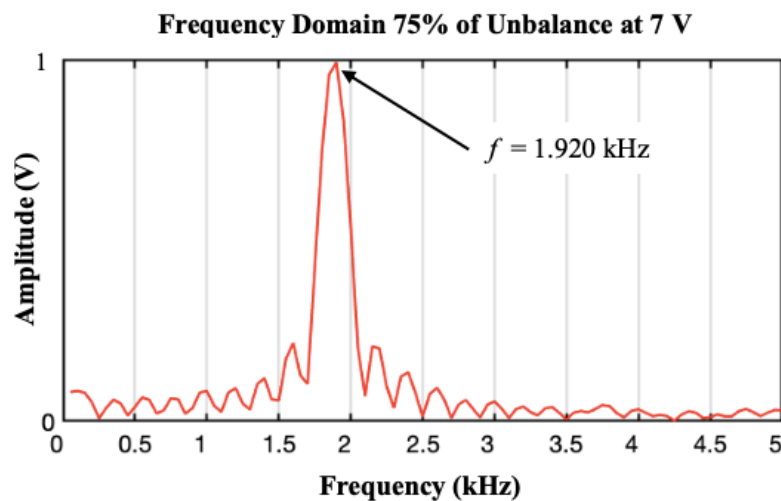
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.41 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสถานะไม่สมดุล 75% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 7 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.40 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 1.923 kHz

จากรูปที่ 4.41 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 1.920 kHz



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.41 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 7 V

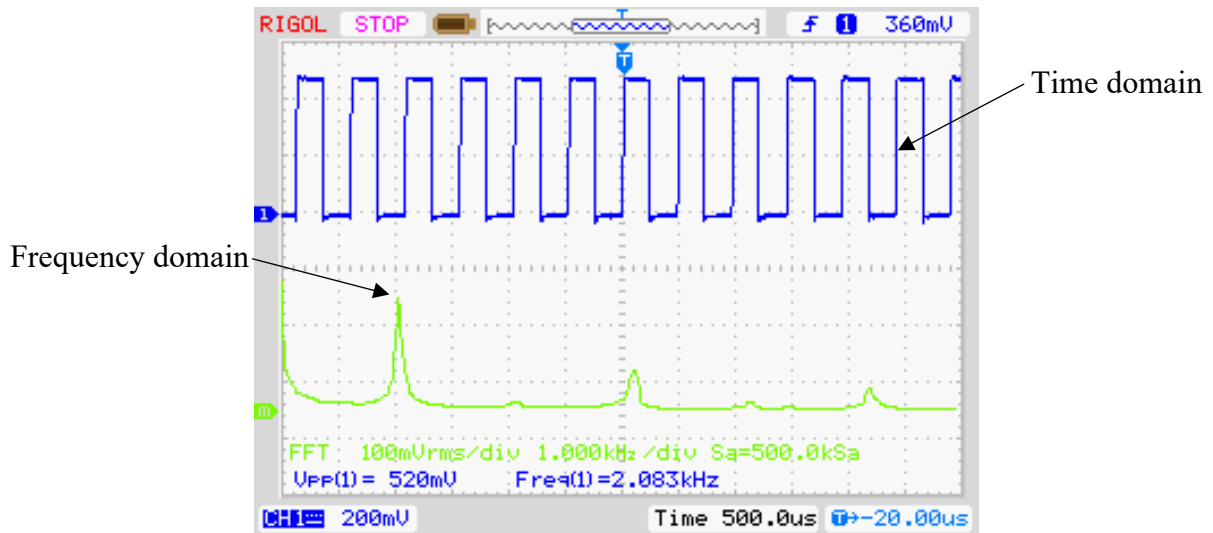
ในสถานะไม่สมดุล 75% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

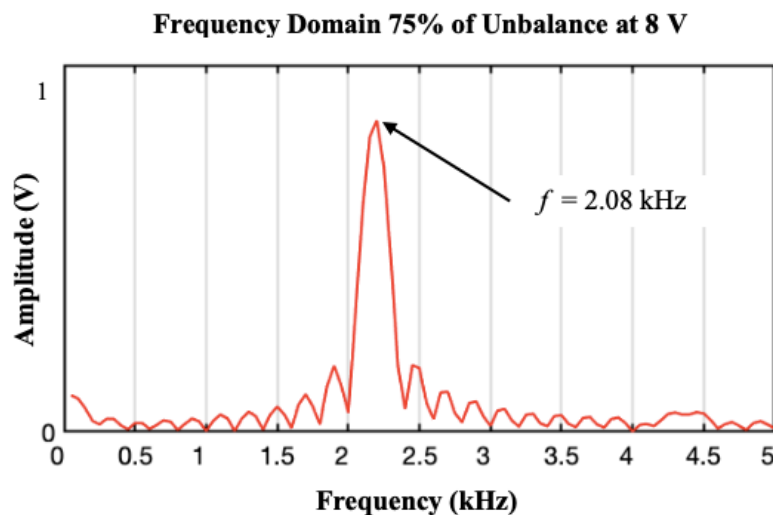
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.42 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสถานะไม่สมดุล 75% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 8 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.41 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 4.167 kHz

จากรูปที่ 4.42 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 4.170 kHz



(ก)



(ข)

**รูปที่ 4.42** ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 8 V

ในสถานะไม่สมดุล 75% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 75% พบว่า เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 4 V ถึง 8 V ค่าความถี่โดยวิธีการแปลงฟูเรียร์จากออสซิลโลสโคปและจากโปรแกรม MATLAB จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ

ผลการทดลองค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ที่แรงดันไฟฟ้า 4 5 6 7 และ 8 V ด้วยการแปลงฟูเรียร์เปรียบเทียบผลจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคปกับโปรแกรม MATLAB ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการคำนวณความถี่ด้วยโปรแกรม MATLAB ด้วยการทดลอง 20 ครั้ง แสดงดังตารางที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าค่าความผิดพลาดจากโปรแกรมมีค่าไม่เกิน 1% และค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 0.29%

**ตารางที่ 4.12** ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการแปลงฟูเรียร์ด้วยโปรแกรม MATLAB ของมอเตอร์ 12 VDC 3,500 RPM ที่สภาวะไม่สมดุล 75%

แรงดันไฟฟ้า (V)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
4	0%
5	0.13%
6	0.29%
7	0.16%
8	0.14%

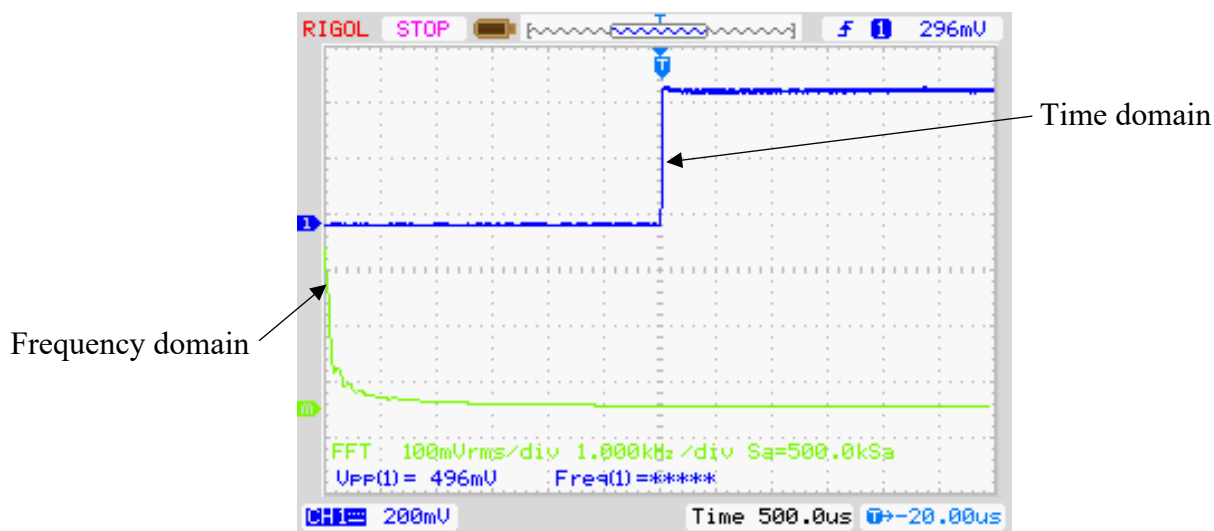
จากการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะสมดุล สภาวะไม่สมดุล 25% สภาวะไม่สมดุล 50% และสภาวะไม่สมดุล 75% พบว่า เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 4 V ถึง 8 V ค่าความถี่โดยวิธีการแปลงฟูเรียร์จากออสซิลโลสโคปและจากโปรแกรม MATLAB จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับและมีค่าอย่างมีนัยสำคัญและที่แรงดันไฟฟ้า 4 5 6 7 และ 8 V ทำการแปลงฟูเรียร์เปรียบเทียบผลจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคปกับโปรแกรม MATLAB ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการคำนวณความถี่ด้วยโปรแกรม MATLAB ด้วยการทดลอง 20 ครั้งแสดงให้เห็นว่า ค่าความผิดพลาดจากโปรแกรมมีค่าไม่เกิน 1%

### 4.2.3 มอเตอร์ขนาด 12 VDC 5,000 RPM

#### 4.2.3.1 ความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะสมดุล

การทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะสมดุล ที่แรงดันไฟฟ้ากระตุ้นมอเตอร์ เท่ากับ 4 5 6 7 และ 8 V ในกรณีนี้จะไม่มียोलต์เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยเปรียบเทียบค่าความถี่จากการแปลงฟูเรียร์ด้วยออสซิลโลสโคปกับโปรแกรม MATLAB ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.43

จากรูปที่ 4.43 ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะสมดุล ที่ไม่มีโวลต์เข้ามาเกี่ยวข้อง ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 4 5 6 7 และ 8 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ จะพบว่า ค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้ง ไม่สามารถวัดค่าความถี่ได้ หรือมีค่าความถี่เท่ากับ 0 Hz ซึ่งเมื่อผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ก็ไม่สามารถวัดค่าความถี่ได้เช่นกันหรือมีความถี่เท่ากับ 0 Hz



รูปที่ 4.43 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 5,000 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 4 V ในสภาวะสมดุล ด้วยการแปลงฟูเรียร์ จากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

จากการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะสมดุลพบว่า เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 4 V ถึง 8 V ค่าความถี่โดยวิธีการแปลงฟูเรียร์จากออสซิลโลสโคปและจากโปรแกรม MATLAB จะมีค่าคงเดิม

ผลการทดลองค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ที่แรงดันไฟฟ้า 4 5 6 7 และ 8 V ด้วยการแปลงฟูเรียร์เปรียบเทียบผลจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคปกับโปรแกรม MATLAB ด้วยการทดลอง 20 ครั้ง ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการคำนวณความถี่ด้วยโปรแกรม MATLAB แสดงดังตารางที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าค่าความผิดพลาดจากโปรแกรมมีค่าไม่เกิน 1% และค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 0%

**ตารางที่ 4.13** ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการแปลงฟูเรียร์ด้วยโปรแกรม MATLAB ของมอเตอร์ 12 VDC 5,000 RPM ที่สภาวะสมดุล

แรงดันไฟฟ้า (V)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
4	0%
5	0%
6	0%
7	0%
8	0%

#### 4.2.3.2 ความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 25%

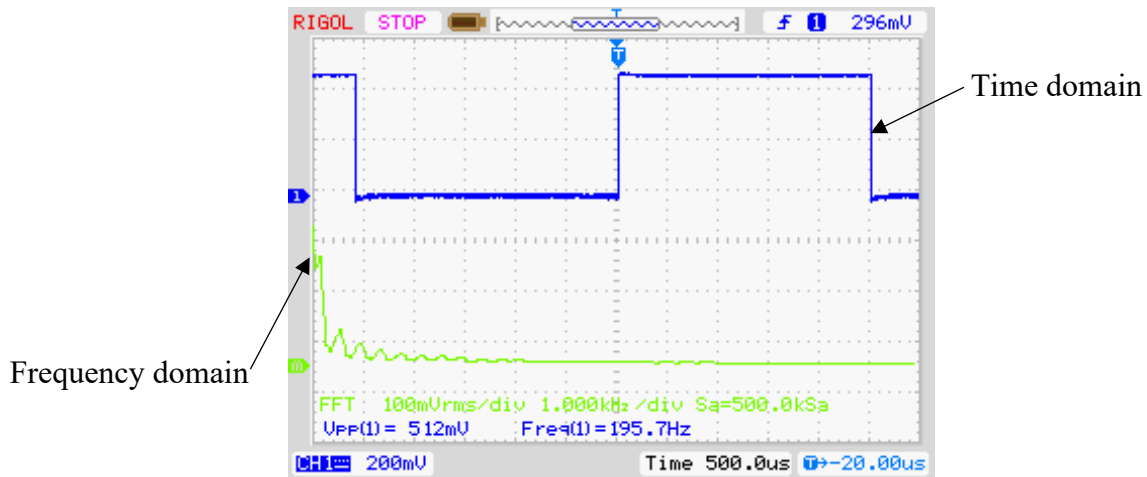
การทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 25% ที่แรงดันไฟฟ้ามอเตอร์เท่ากับ 4 5 6 7 และ 8 V ในกรณีนี้มีการติดตั้งโหนดห่างจากแกนหมุนของมอเตอร์เท่ากับ 0.8 cm โดยเปรียบเทียบค่าความถี่จากการแปลงฟูเรียร์ด้วยออสซิลโลสโคปกับโปรแกรม MATLAB ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.44 – 4.45

ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 25% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 4 5 6 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ จะพบว่าค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าน้อยเสียจนเครื่องมือวัดไม่สามารถวัดค่าได้

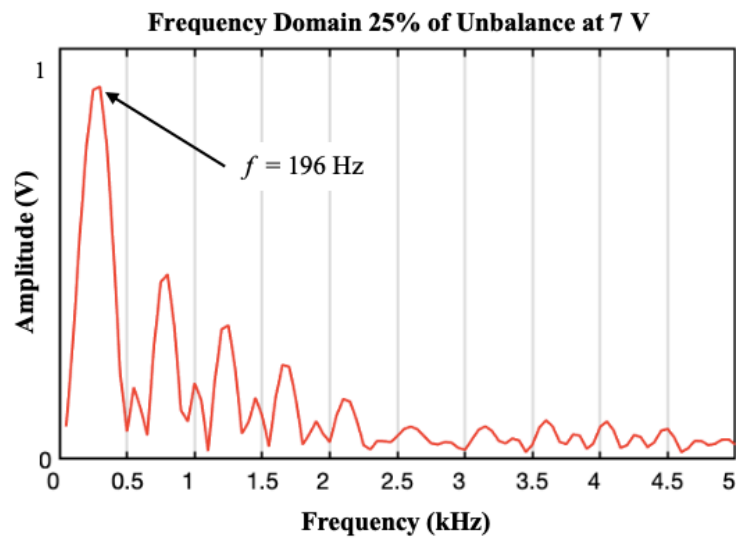
จากนั้นเป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าน้อยเสียจนเครื่องมือวัดไม่สามารถวัดค่าได้

จากรูปที่ 4.44 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 25% มีโหนดเข้ามา วางระยะห่างจากแกนของมอเตอร์เป็นระยะ 0.8 cm ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 7 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.43 ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคปเป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 195.7 Hz

จากรูปที่ 4.44 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 196 Hz



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.44 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 5,000 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 7 V

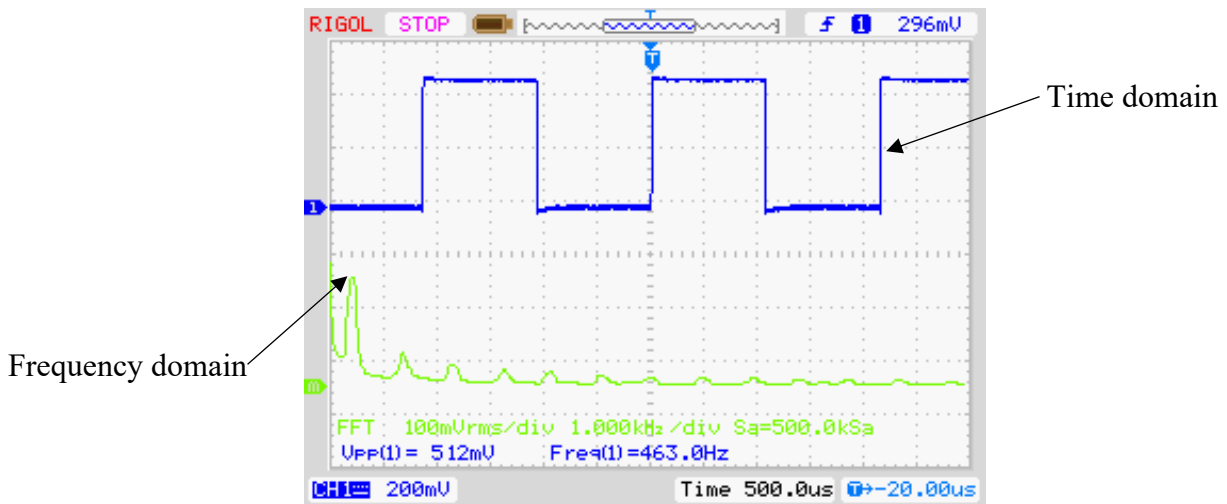
ในสถานะไม่สมดุล 25% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

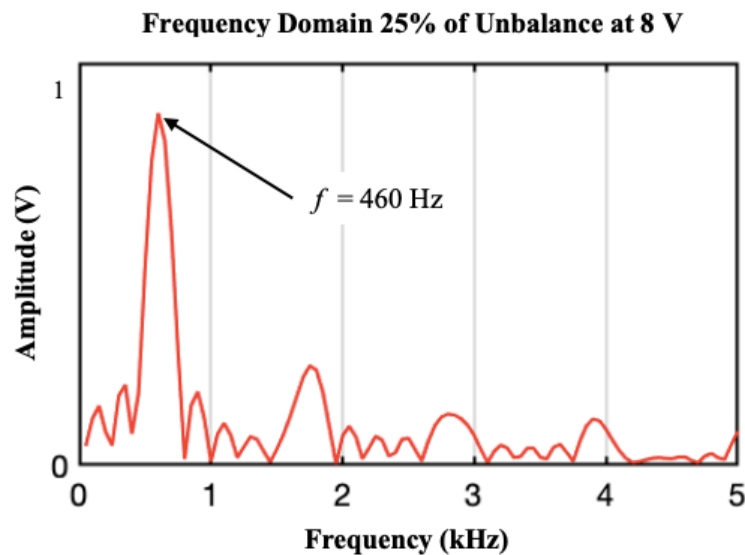
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.45 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสถานะไม่สมดุล 25% มีโหนดเข้ามา วางระยะห่างจากแกนของมอเตอร์เป็นระยะ 0.8 cm ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 8 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.44 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 463 Hz

จากรูปที่ 4.45 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 460 Hz



(ก)



(ข)

- รูปที่ 4.45 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 5,000 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 8 V  
 ในสภาวะไม่สมดุล 25% ด้วยการแปลงฟูเรียร์  
 (ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป  
 (ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากการทดลองค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 25% พบว่า เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้า ตั้งแต่ 4 V ถึง 8 V ค่าความถี่โดยวิธีการแปลงฟูเรียร์จากออสซิลโลสโคปและจากโปรแกรม MATLAB จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ

ผลการทดลองค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ที่แรงดันไฟฟ้า 4, 5, 6, 7 และ 8 V ด้วยการแปลงฟูเรียร์เปรียบเทียบกับผลจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคปกับโปรแกรม MATLAB ด้วยการทดลอง 20 ครั้ง

ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการคำนวณความถี่ด้วยโปรแกรม MATLAB แสดงดังตารางที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าค่าความผิดพลาดจากโปรแกรมมีค่าไม่เกิน 1% และค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 0.15%

**ตารางที่ 4.14** ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการแปลงฟูเรียร์ด้วยโปรแกรม MATLAB ของมอเตอร์ 12 VDC 5,000 RPM ที่สภาวะไม่สมดุล 25%

แรงดันไฟฟ้า (V)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
4	-
5	-
6	-
7	0.15%
8	0.06%

#### 4.2.3.3 ความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 50%

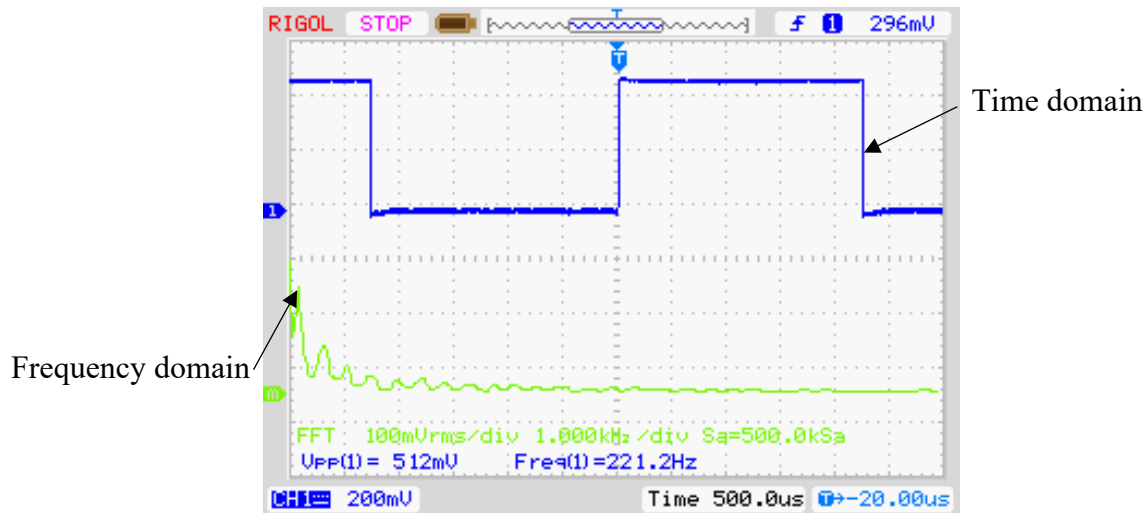
การทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 50% ที่แรงดันไฟฟ้ามอเตอร์เท่ากับ 4 5 6 7 และ 8 V ในกรณีนี้มีการติดตั้งโหลดห่างจากแกนหมุนของมอเตอร์เท่ากับ 1.6 cm โดยเปรียบเทียบค่าความถี่จากการแปลงฟูเรียร์ด้วยออสซิลโลสโคปกับโปรแกรม MATLAB ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.46 – 4.48

จากการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 50% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 4, 5 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ จะพบว่าค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าน้อยเสียจนเครื่องมือวัดไม่สามารถวัดค่าได้

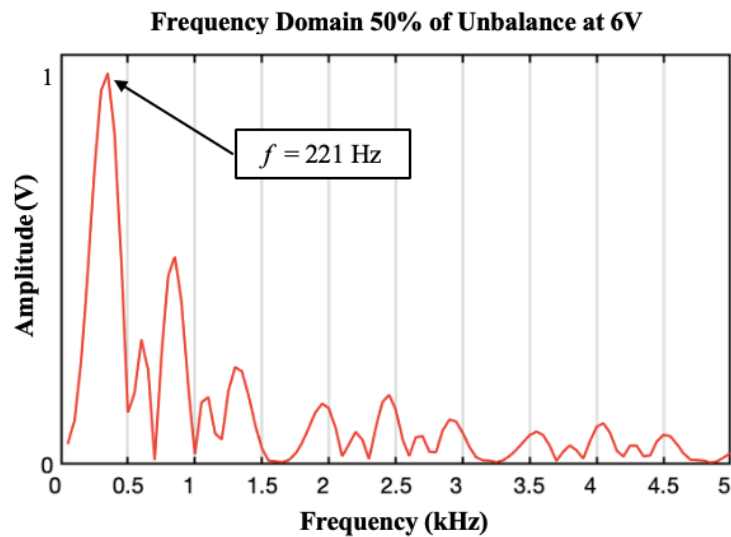
จากนั้นเป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าน้อยเสียจนเครื่องมือวัดไม่สามารถวัดค่าได้

จากรูปที่ 4.46 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 50% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 6 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 221.2 Hz

จากรูปที่ 4.46 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 221 Hz



(ก)

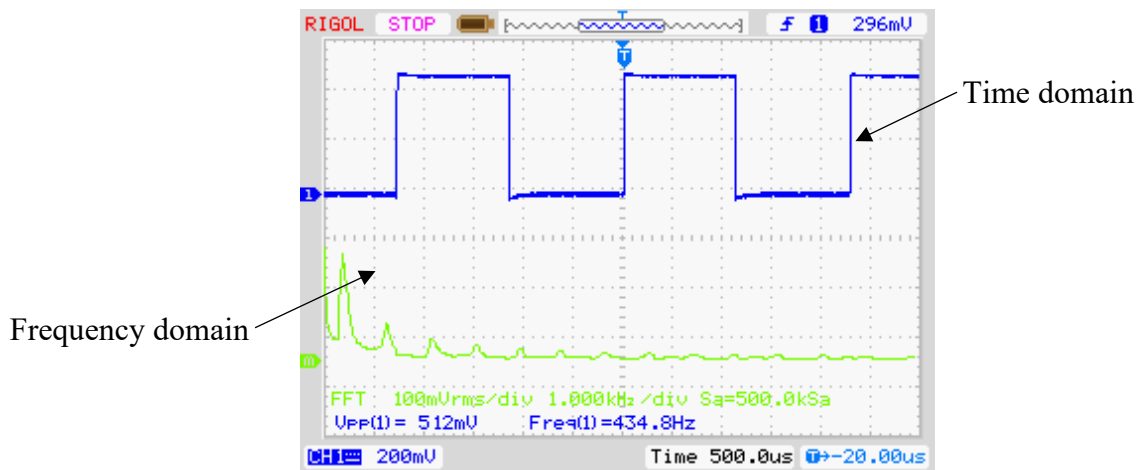


(ข)

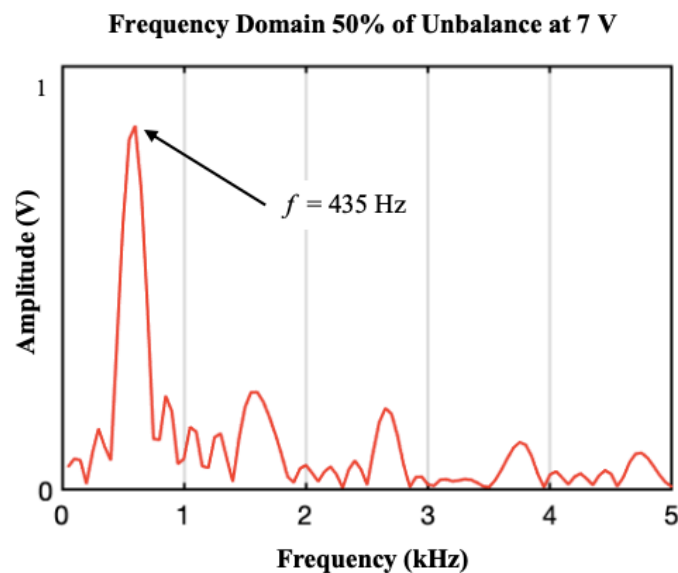
- รูปที่ 4.46 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 5,000 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 6 V ในสภาวะไม่สมดุล 50% ด้วยการแปลงฟูเรียร์
- (ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป
- (ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.47 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 50% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 7 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.46 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 434.8 Hz

จากรูปที่ 4.47 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 435 Hz



(ก)

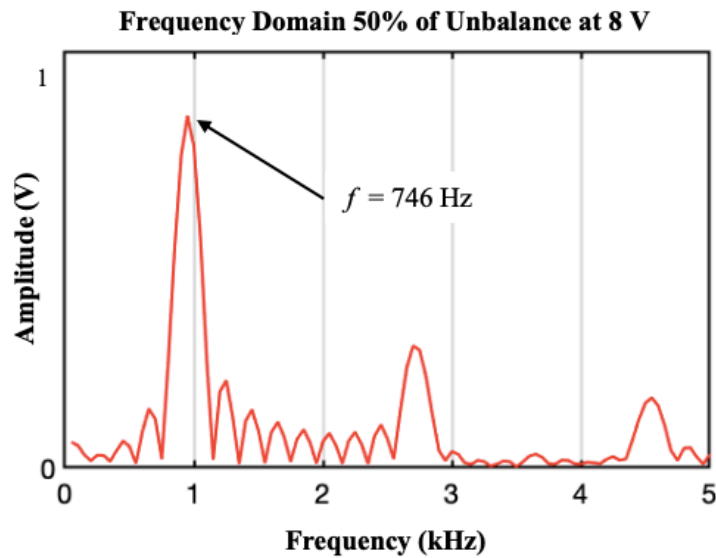
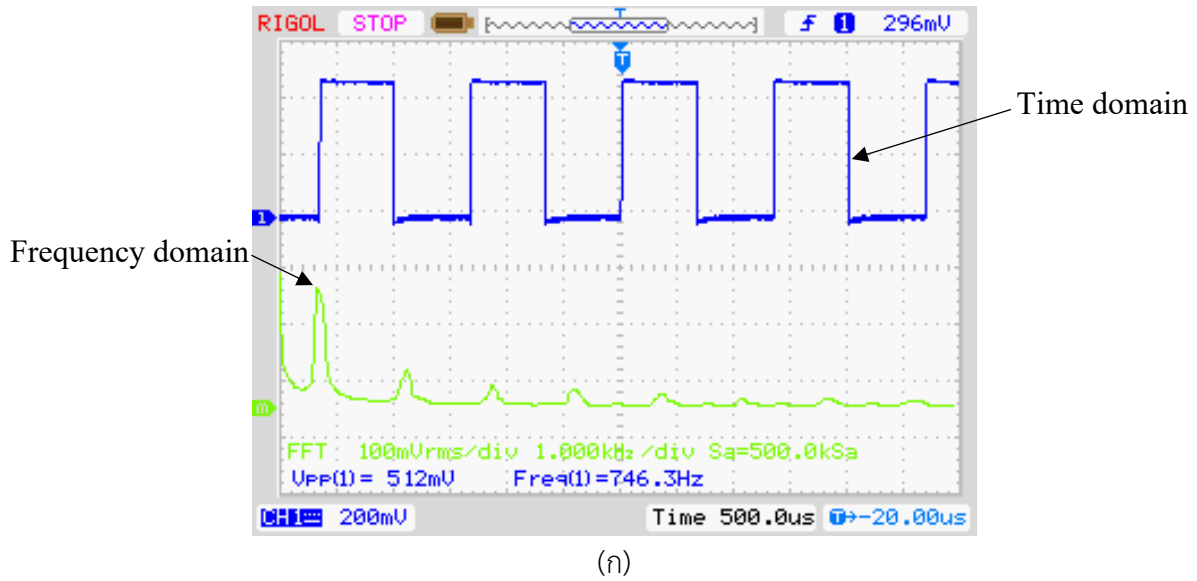


(ข)

- รูปที่ 4.47 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 5,000 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 7 V  
 ในสภาวะไม่สมดุล 50% ด้วยการแปลงฟูเรียร์  
 (ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป  
 (ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.48 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 50% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 8 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.47 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 746.3 Hz

จากรูปที่ 4.48 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 746 Hz



รูปที่ 4.48 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 5,000 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 8 V ในสภาวะไม่สมดุล 50% ด้วยการแปลงฟูเรียร์  
(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป  
(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 50% พบว่า เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้า ตั้งแต่ 4 V ถึง 8 V ค่าความถี่โดยวิธีการแปลงฟูเรียร์จากออสซิลโลสโคปและจากโปรแกรม MATLAB จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ

ผลการทดลองค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ที่แรงดันไฟฟ้า 4 5 6 7 และ 8 V ด้วยการแปลงฟูเรียร์เปรียบเทียบผลจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคปกับโปรแกรม MATLAB ด้วยการทดลอง 20 ครั้ง ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการคำนวณความถี่ด้วยโปรแกรม MATLAB แสดงดังตารางที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าค่าความผิดพลาดจากโปรแกรมมีค่าไม่เกิน 1% และค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 0.09%

**ตารางที่ 4.15** ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการแปลงฟูเรียร์ด้วยโปรแกรม MATLAB ของมอเตอร์ 12 VDC 5,000 RPM ที่สภาวะไม่สมดุล 50%

แรงดันไฟฟ้า (V)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
4	-
5	-
6	0.09%
7	0.05%
8	0.04%

#### 4.2.3.4 ความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 75%

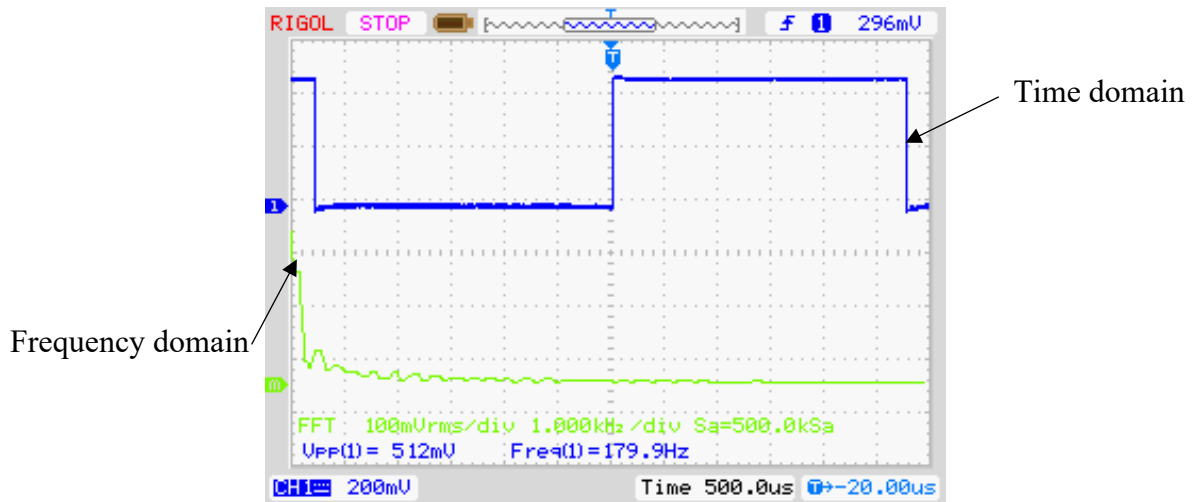
การทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 75% ที่แรงดันไฟฟ้ามอเตอร์เท่ากับ 4, 5, 6, 7 และ 8 V ในกรณีนี้มีการติดตั้งโหลดห่างจากแกนหมุนของมอเตอร์เท่ากับ 2.4 cm โดยเปรียบเทียบค่าความถี่จากการแปลงฟูเรียร์ด้วยออสซิลโลสโคปกับโปรแกรม MATLAB ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.49 – 4.52

ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 75% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 4 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ จะพบว่า ค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าน้อยเสียจนเครื่องมือวัดไม่สามารถวัดค่าได้

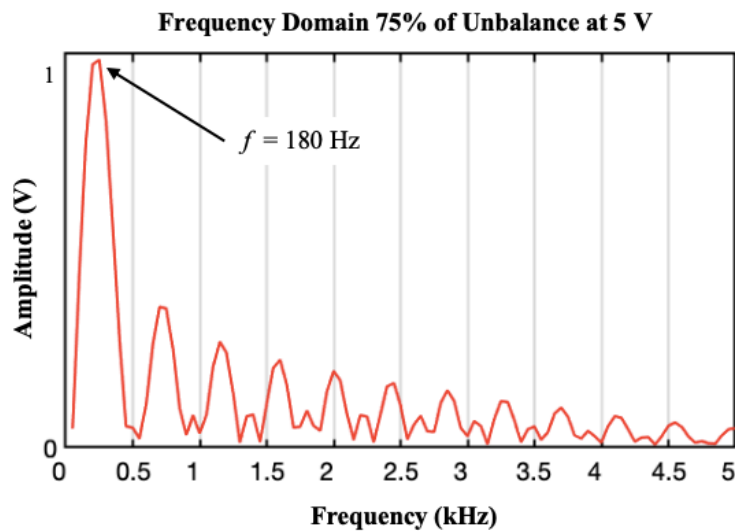
ในการทดลองขั้นต่อไปเป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าน้อยเสียจนเครื่องมือวัดไม่สามารถวัดค่าได้

จากรูปที่ 4.49 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 75% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 5 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 179.9 Hz

จากรูปที่ 4.49 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 180 Hz



(ก)

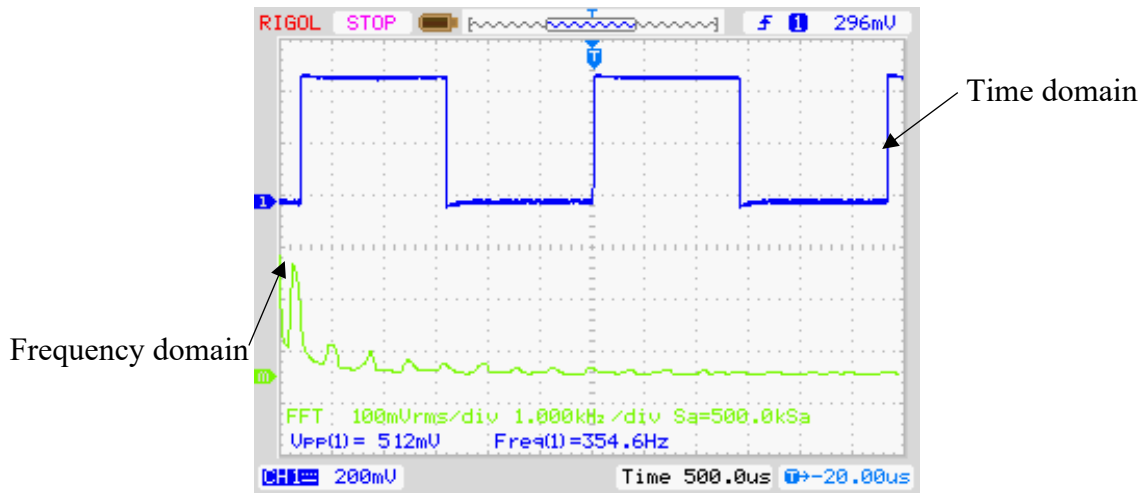


(ข)

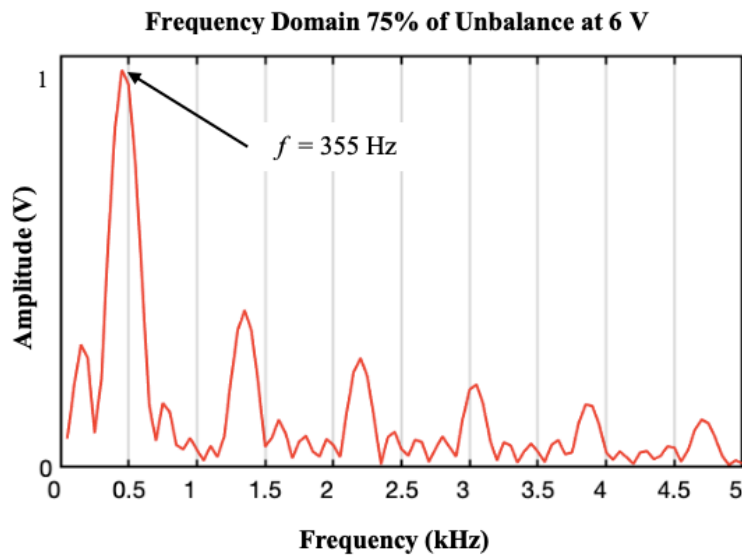
**รูปที่ 4.49** ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 5,000 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 5 V ในสถานะไม่สมดุล 75% ด้วยการแปลงฟูเรียร์  
 (ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป  
 (ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.50 (ก) ในการทดลองค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสถานะไม่สมดุล 75% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 6 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.49 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 354.6 Hz

จากรูปที่ 4.50 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 355 Hz



(ก)

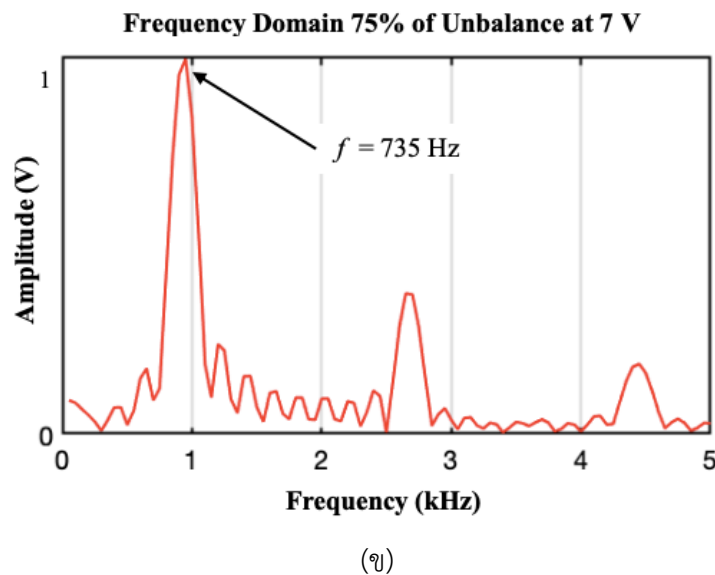
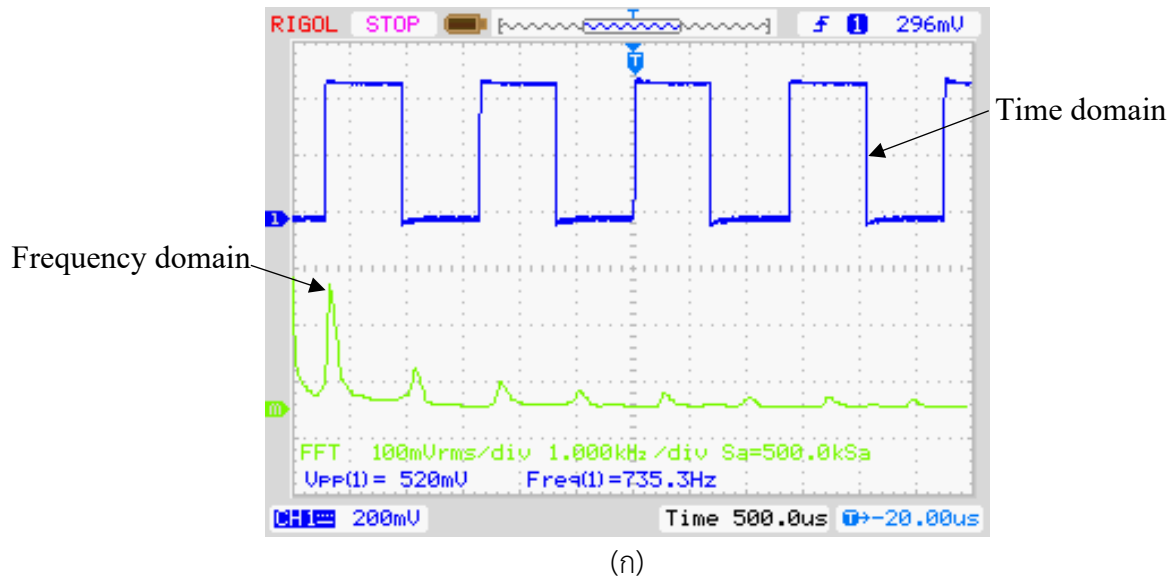


(ข)

- รูปที่ 4.50 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 5,000 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 6 V  
 ในสภาวะไม่สมดุล 75% ด้วยการแปลงฟูเรียร์  
 (ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป  
 (ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.51 (ก) ในการทดลองค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะไม่สมดุล 75% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 7 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.50 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 735.3 Hz

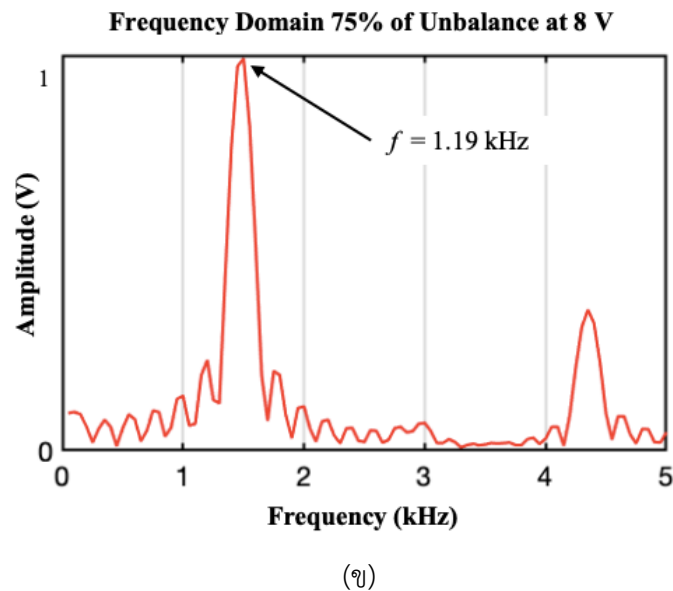
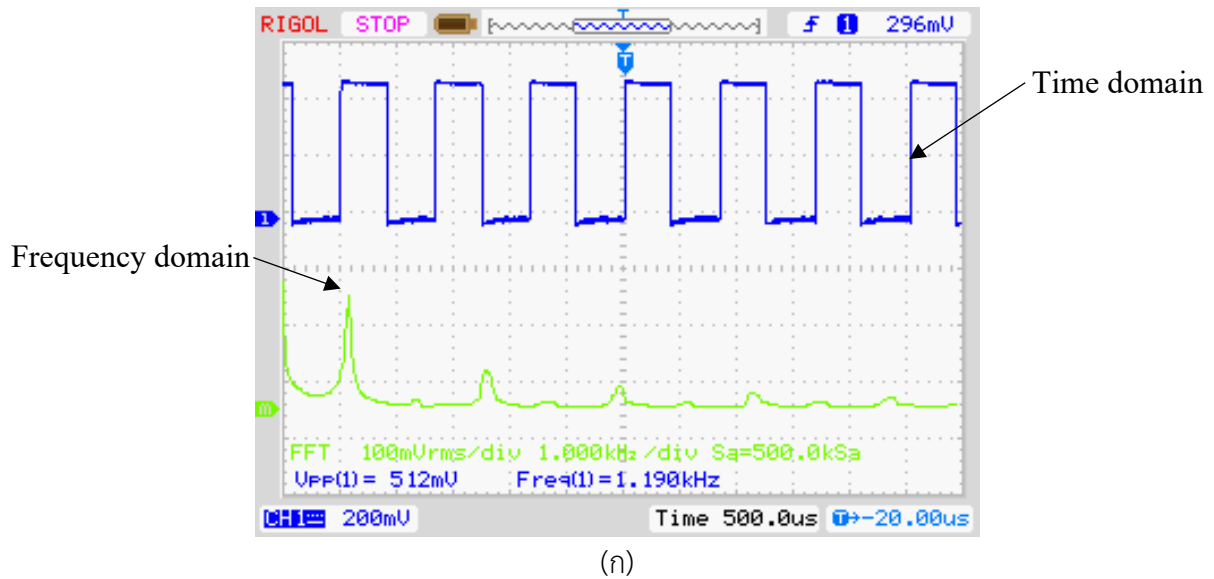
จากรูปที่ 4.51 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 735 Hz



รูปที่ 4.51 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 5,000 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 7 V  
 ในสถานะไม่สมดุล 75% ด้วยการแปลงฟูเรียร์  
 (ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป  
 (ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.52 (ก) ในการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสถานะไม่สมดุล 75% ที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 8 V โดยหาค่าความถี่จากการแปลงค่าสัญญาณโดเมนเวลา เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟโดเมนเวลาจะมีความถี่มากยิ่งขึ้น และมากกว่าในการทดลองรูปที่ 4.51 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถี่ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป เป็นจำนวน 10 ครั้งมีค่าเท่ากับ 1.19 kHz

จากรูปที่ 4.52 (ข) เป็นการหาค่าความถี่โดยใช้กระบวนการโดเมนความถี่ ซึ่งผ่านการใช้โปรแกรม MATLAB ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าความถี่ที่วัดได้เป็นจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 1.19 kHz



รูปที่ 4.52 ค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ขนาด 12 VDC 5,000 RPM ที่แรงดันไฟฟ้า 8 V

ในสถานะไม่สมดุล 75% ด้วยการแปลงฟูเรียร์

(ก) ค่าจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคป

(ข) ค่าจากโปรแกรม MATLAB

จากการทดลองค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสถานะไม่สมดุล 75% พบว่า เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 4 V ถึง 8 V ค่าความถี่โดยวิธีการแปลงฟูเรียร์จากออสซิลโลสโคปและจากโปรแกรม MATLAB จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ

ผลการทดลองค่าความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ที่แรงดันไฟฟ้า 4 5 6 7 และ 8 V ด้วยการแปลงฟูเรียร์เปรียบเทียบผลจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคปกับโปรแกรม MATLAB ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด

จากการคำนวณความถี่ด้วยโปรแกรม MATLAB ด้วยการทดลอง 20 ครั้ง แสดงดังตารางที่ 4.16 แสดงให้เห็นว่าค่าความผิดพลาดจากโปรแกรมมีค่าไม่เกิน 1% และค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 0.11%

**ตารางที่ 4.16** ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการแปลงฟูรีเยอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB ของมอเตอร์ 12 VDC 5,000 RPM ที่สภาวะไม่สมดุล 75%

แรงดันไฟฟ้า (V)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
4	-
5	0.06%
6	0.11%
7	0.04%
8	0%

จากการทดลองความถี่จากการสั่นของมอเตอร์ในสภาวะสมดุล สภาวะไม่สมดุล 25% สภาวะไม่สมดุล 50% และสภาวะไม่สมดุล 75% พบว่า เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 4 V ถึง 8 V ค่าความถี่โดยวิธีการแปลงฟูรีเยอร์จากออสซิลโลสโคปและจากโปรแกรม MATLAB จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับและมีค่าอย่างมีนัยสำคัญ และที่แรงดันไฟฟ้า 4 5 6 7 และ 8 V ทำการแปลงฟูรีเยอร์เปรียบเทียบผลจากการทดลองผ่านออสซิลโลสโคปกับโปรแกรม MATLAB ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการคำนวณความถี่ด้วยโปรแกรม MATLAB ด้วยการทดลอง 20 ครั้งแสดงให้เห็นว่า ค่าความผิดพลาดจากโปรแกรมมีค่าไม่เกิน 1%

### 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการสั่นและความถี่

ในส่วนของการทดลองนี้ได้นำผลการทดลองการสั่นของมอเตอร์ในตอนๆที่ 4.1 และความถี่ของมอเตอร์ในตอนๆที่ 4.2 มาเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์ระหว่างการสั่นและความถี่ของมอเตอร์ทั้ง 4 สภาวะที่แรงดันไฟฟ้า 4 5 6 7 และ 8 V แสดงดังตารางที่ 4.14

**ตารางที่ 4.17** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์และความถี่ของมอเตอร์ 6 VDC ทั้ง 4 สภาวะ

Voltage for Exciting (V)	Frequency (Hz)				Voltage of Hall ( $V_{RMS}$ )			
	No load	25%	50%	75%	No load	25%	50%	75%
4	212	1,000	1,220	1,350	0.244	1.032	1.233	1.405
5	279	1,560	2,130	2,330	0.287	1.536	2.108	2.301
6	361	1,790	2,940	3,330	0.384	1.826	2.840	3.124
7	379	2,270	3,330	3,850	0.402	2.218	3.332	3.608
8	807	2,500	3,850	4,170	0.800	2.505	3.608	4.209

จากตารางที่ 4.17 เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์จะพบว่า ค่าความถี่และค่าแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ และเมื่อพิจารณาที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ที่ค่าใดๆ ค่าหนึ่ง จะพบว่า ค่าความถี่มีค่าลดลงตามลำดับเมื่ออยู่ในสภาวะไม่สมดุลมากขึ้นเรื่อยๆ และจะพบว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่ออยู่ในสภาวะไม่สมดุลมากขึ้นเรื่อยๆ

**ตารางที่ 4.18** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์และความถี่ของมอเตอร์ 12 VDC 3,500 RPM ทั้ง 4 สภาวะ

Voltage for Exciting (V)	Frequency (Hz)				Voltage of Hall ( $V_{RMS}$ )			
	No load	25%	50%	75%	No load	25%	50%	75%
4	176	444	943	1,390	0.052	0.508	1.055	1.517
5	183	500	1,110	1,560	0.209	0.569	1.237	1.672
6	212	599	1,250	1,700	0.242	0.678	1.377	1.845
7	246	694	1,430	1,920	0.288	0.773	1.579	2.013
8	275	1,100	1,790	2,080	0.319	1.237	1.939	2.232

จากตารางที่ 4.18 เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์จะพบว่า ค่าความถี่และค่าแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ และเมื่อพิจารณาที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ที่ค่าใดๆค่าหนึ่ง จะพบว่า ค่าความถี่มีค่าลดลงตามลำดับเมื่ออยู่ในสภาวะไม่สมดุลมากขึ้นเรื่อยๆ และจะพบว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่ออยู่ในสภาวะไม่สมดุลมากขึ้นเรื่อยๆ

**ตารางที่ 4.19** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์และความถี่ของมอเตอร์ 12 VDC 5000 RPM ทั้ง 4 สภาวะ

Voltage for Exciting (V)	Frequency (Hz)				Voltage of Hall ( $V_{RMS}$ )			
	No load	25%	50%	75%	No load	25%	50%	75%
4	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	180	-	-	-	0.208
6	-	-	221	355	-	-	0.251	0.410
7	-	196	435	735	-	0.227	0.492	0.815
8	-	460	746	1,190	-	0.520	0.843	1.320

จากตารางที่ 4.19 เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์จะพบว่า ค่าความถี่และค่าแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ และเมื่อพิจารณาที่แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ที่ค่าใดๆค่าหนึ่ง จะพบว่า ค่าความถี่มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่ออยู่ในสภาวะไม่สมดุลมากขึ้นเรื่อยๆ และจะพบว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่ออยู่ในสภาวะไม่สมดุลมากขึ้นเรื่อยๆ

#### 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์และแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์

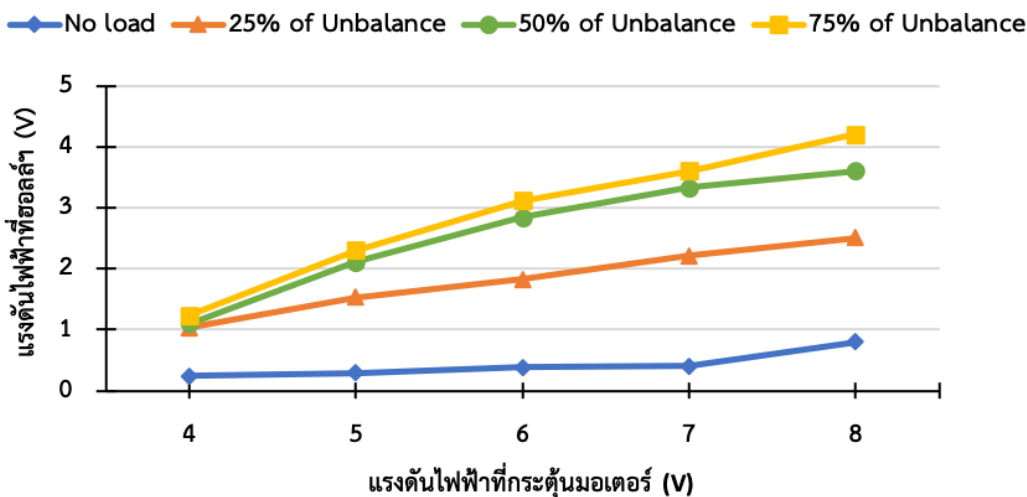
ในส่วนของผลการทดลองนี้ได้นำผลการทดลองของแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์กับแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์ ในตอนที่ 4.2 มาเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและความถี่ของมอเตอร์ ทั้ง 4 สภาวะที่แรงดันไฟฟ้า 4, 5, 6, 7 และ 8 V แสดงดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์และแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ขนาด 6 VDC ทั้ง 4 สภาวะ

Voltage for Exciting (V)	Voltage of Hall ( $V_{RMS}$ )			
	No load	25%	50%	75%
4	0.244	1.032	1.105	1.233
5	0.287	1.536	2.108	2.301
6	0.384	1.826	2.840	3.124
7	0.402	2.218	3.332	3.608
8	0.800	2.505	3.608	4.209

จากตารางที่ 4.20 จะพบว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 6 VDC จาก 4 V ถึง 8 V และค่าแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อการทดลองมีสภาวะความไม่สมดุลเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์สูงสุดที่สภาวะไม่สมดุล 75% หรือสภาวะที่ไม่สมดุลมากที่สุดในการทดลองนี้ มีค่าเท่ากับ 4.209 V

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์และแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 6 VDC ทั้ง 4 สภาวะ



รูปที่ 4.53 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์และแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 6 VDC ทั้ง 4 สภาวะ

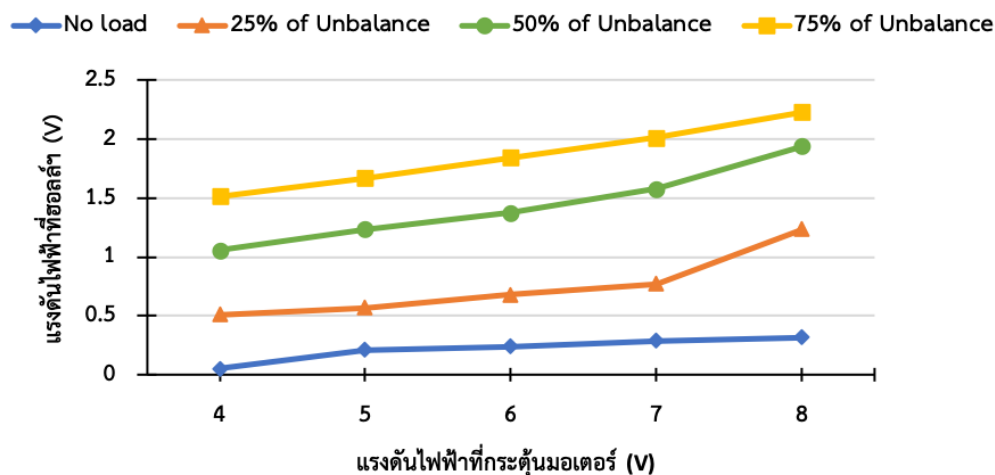
จากรูปที่ 4.53 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์และแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 6 VDC ทั้ง 4 สภาวะ พบว่า เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 6 VDC จาก 4 V ถึง 8 V และค่าแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อการทดลองมีสภาวะความไม่สมดุลเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์สูงสุดที่สภาวะไม่สมดุล 75%

ตารางที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์และแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ขนาด 12 VDC 3,500 RPM ทั้ง 4 สภาวะ

Voltage for Exciting (V)	Voltage of Hall ( $V_{RMS}$ )			
	No load	25%	50%	75%
4	0.052	0.508	1.055	1.517
5	0.209	0.569	1.237	1.672
6	0.242	0.678	1.377	1.845
7	0.288	0.773	1.579	2.013
8	0.319	1.237	1.939	2.232

จากตารางที่ 4.21 จะพบว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 12 VDC 3,500 RPM จาก 4 V ถึง 8 V และค่าแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อการทดลองมีสภาวะความไม่สมดุลเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์สูงสุดที่สภาวะไม่สมดุล 75% หรือสภาวะที่ไม่สมดุลมากที่สุดในการทดลองนี้ มีค่าเท่ากับ 2.232 V

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์และแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 12 VDC 3,500 RPM ทั้ง 4 สภาวะ



รูปที่ 4.54 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์และแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 12 VDC 3,500 RPM ทั้ง 4 สภาวะ

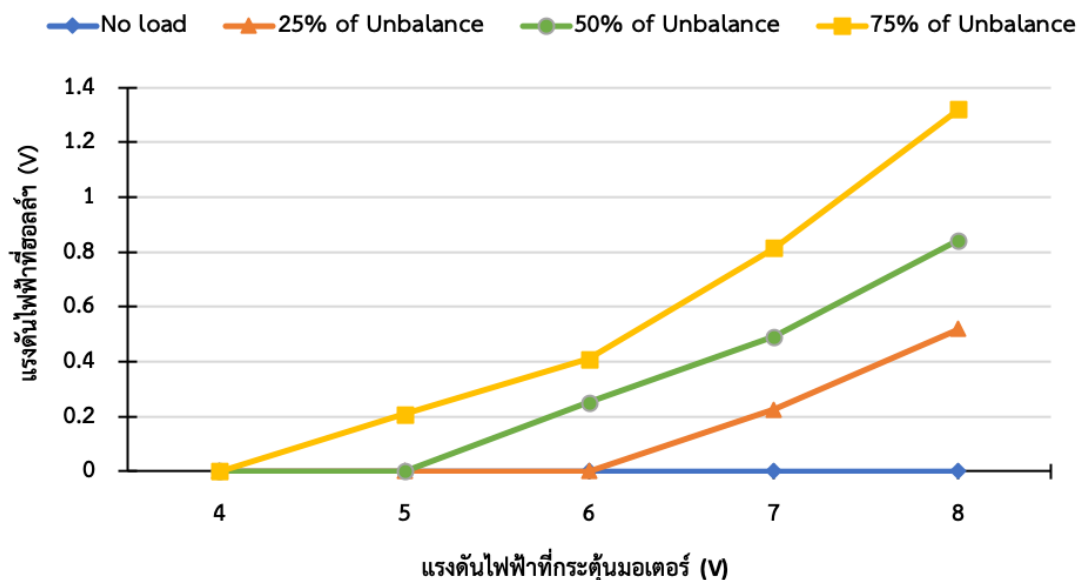
จากรูปที่ 4.54 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์และแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 12 VDC 3,500 RPM ทั้ง 4 สภาวะ พบว่า เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 12 VDC 3,500 RPM จาก 4 V ถึง 8 V และค่าแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อการทดลองมีสภาวะความไม่สมดุลเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์สูงสุดที่สภาวะไม่สมดุล 75%

ตารางที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์และแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ขนาด 12 VDC 5,000 RPM ทั้ง 4 สภาวะ

Voltage for Exciting (V)	Voltage of Hall ( $V_{RMS}$ )			
	No load	25%	50%	75%
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0.208
6	0	0	0.251	0.410
7	0	0.227	0.492	0.815
8	0	0.520	0.843	1.320

จากตารางที่ 4.22 จะพบว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 12 VDC 5,000 RPM จาก 4 V ถึง 8 V และค่าแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อการทดลองมีสภาวะความไม่สมดุลเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์สูงสุดที่สภาวะไม่สมดุล 75% หรือสภาวะที่ไม่สมดุลมากที่สุดในการทดลองนี้ มีค่าเท่ากับ 1.32 V

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์และแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 12 VDC 5,000 RPM ทั้ง 4 สภาวะ



รูปที่ 4.55 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์และแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 12 VDC 5,000 RPM ทั้ง 4 สภาวะ

จากรูปที่ 4.55 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์และแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 12 VDC 5,000 RPM ทั้ง 4 สภาวะ พบว่า เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์

12 VDC 5,000 RPM จาก 4 V ถึง 8 V และค่าแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อการทดลองมีสภาวะความไม่สมดุลเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์สูงสุดที่สภาวะไม่สมดุล 75%

#### 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ขนาดต่างๆ

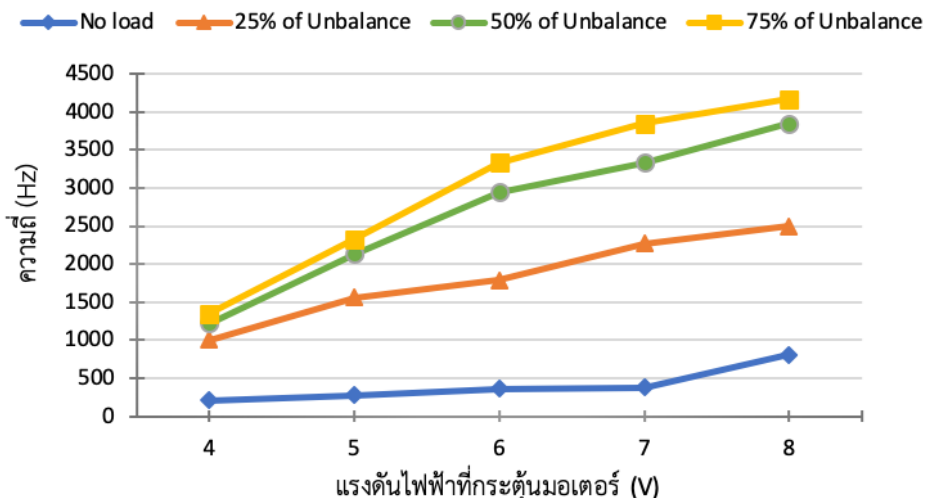
ในส่วนของผลการทดลองนี้ได้นำผลการทดลองของแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์กับความถี่ ในตอนที่ 4.2 มาเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและความถี่ของมอเตอร์ทั้ง 4 สภาวะ ที่แรงดันไฟฟ้า 4 5 6 7 และ 8 V แสดงดังตารางที่ 4.23 - 4.25

**ตารางที่ 4.23** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 6 VDC ทั้ง 4 สภาวะ

Voltage for Exciting (V)	Frequency (Hz)			
	No load	25%	50%	75%
4	212	1,000	1,220	1,350
5	279	1,560	2,130	2,330
6	361	1,790	2,940	3,330
7	379	2,270	3,330	3,850
8	807	2,500	3,850	4,170

จากตารางที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 6 VDC ทั้ง 4 สภาวะ จะพบว่า เมื่อเพิ่มขนาดของแรงดันไฟฟ้าให้มีขนาดเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 4 V ถึง 8 V ค่าความถี่ที่ได้จากการสั่นสะเทือนมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ และที่แรงดันไฟฟ้าใดๆ เมื่อมีการเปลี่ยนสภาวะจากสมดุลหรือไม่มีโหลดไปเป็นสภาวะที่ไม่สมดุลมากยิ่งขึ้น จะพบว่า ค่าความถี่ที่ได้มีขนาดเพิ่มขึ้นตามลำดับด้วยเช่นกัน และค่าความถี่ของการสั่นสะเทือนจะมีค่ามากที่สุด ที่สถานะไม่สมดุล 75% หรือสภาวะที่ไม่สมดุลมากที่สุดในการทำกรทดลอง ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 4,170 Hz

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการสั่นสะเทือน และแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 6 VDC ทั้ง 4 สภาวะ



รูปที่ 4.56 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการสั่นสะเทือนและแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 6 VDC

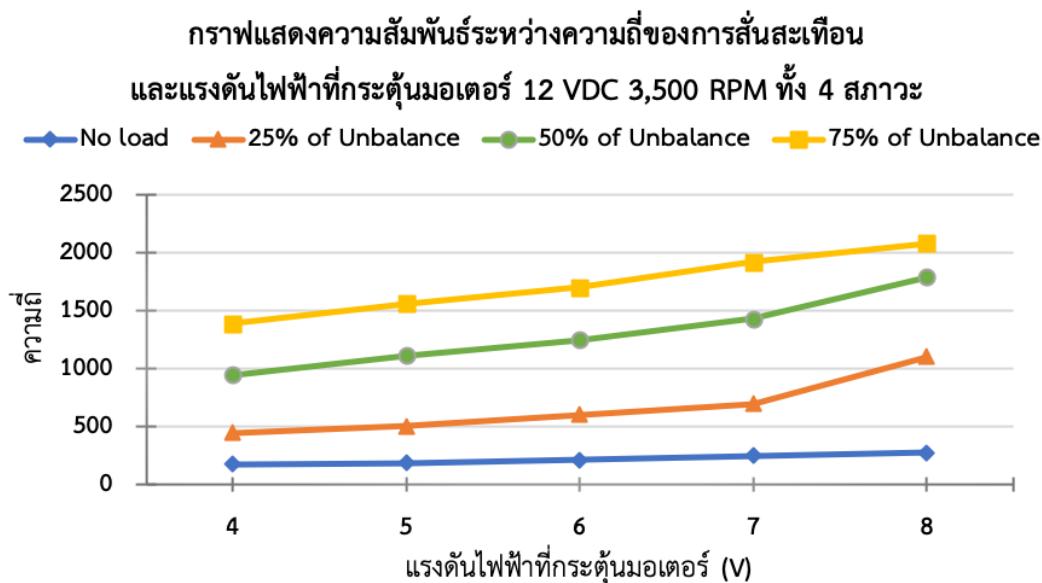
จากรูปที่ 4.56 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการสั่นสะเทือนเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ขนาด 6 VDC พบว่า เมื่อเพิ่มขนาดของแรงดันไฟฟ้าให้มีขนาดเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 4 V ถึง 8 V ค่าความถี่ที่ได้จากการสั่นสะเทือนมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ และที่แรงดันไฟฟ้าใดๆ เมื่อมีการเปลี่ยนสภาวะจากสมดุลหรือไม่มีโหลดไปเป็นสภาวะที่ไม่สมดุลมากยิ่งขึ้น ค่าของความถี่จะมีค่ามากยิ่งขึ้น จากกราฟข้างต้นจะเห็นว่า ค่าของความถี่จะมีขนาดสูงสุดที่สภาวะไม่สมดุลมากที่สุดหรือที่สถานะไม่สมดุล 75% ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 4,170 Hz

ตารางที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 12 VDC 3,500 RPM ทั้ง 4 สภาวะ

Voltage for Exciting (V)	Frequency (Hz)			
	No load	25%	50%	75%
4	176	444	943	1,390
5	183	500	1,110	1,560
6	212	599	1,250	1,700
7	246	694	1,430	1,920
8	275	1,100	1,790	2,080

จากตารางที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 12 VDC 3,500 RPM ทั้ง 4 สภาวะ จะพบว่า เมื่อเพิ่มขนาดของแรงดันไฟฟ้าให้มีขนาดเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 4 V ถึง 8 V ค่าความถี่ที่ได้จากการสั่นสะเทือนมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ และที่แรงดันไฟฟ้าใดๆ เมื่อมีการเปลี่ยนสภาวะจาก

สมดุลหรือไม่มีโหลดไปเป็นสถานะที่ไม่สมดุลมากยิ่งขึ้น จะพบว่า ค่าความถี่ที่ได้มีขนาดเพิ่มขึ้นตามลำดับด้วยเช่นกัน และค่าความถี่ของการสั่นสะเทือนจะมีค่ามากที่สุด ที่สถานะไม่สมดุล 75% หรือสถานะที่ไม่สมดุลมากที่สุดในการทำการทดลอง ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 2,080 Hz



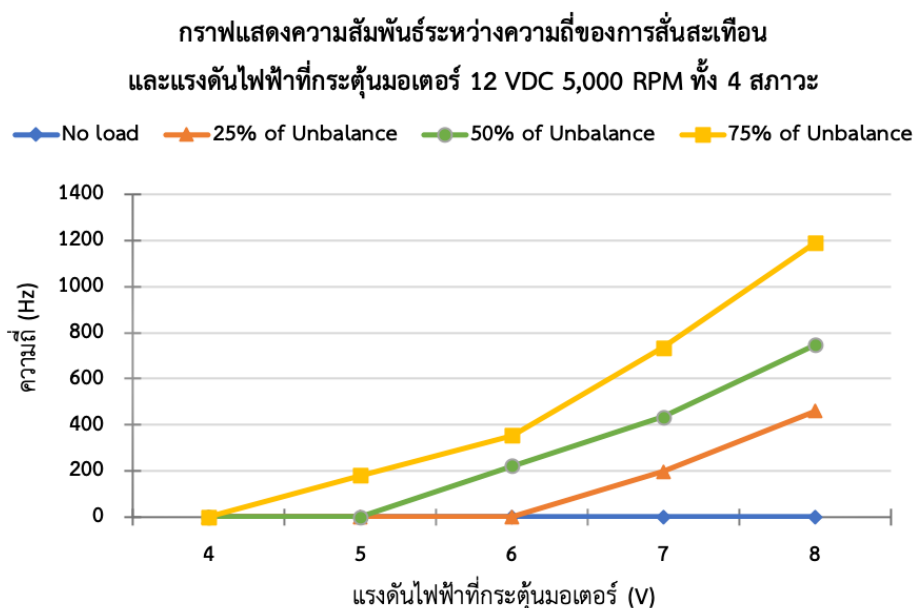
**รูปที่ 4.57** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการสั่นสะเทือนและแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 12 VDC 3,500 RPM

จากรูปที่ 4.57 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการสั่นสะเทือนเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ขนาด 12 VDC 3,500 RPM พบว่า เมื่อเพิ่มขนาดของแรงดันไฟฟ้าให้มีขนาดเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 4 V ถึง 8 V ค่าความถี่ที่ได้จากการสั่นสะเทือนมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ และที่แรงดันไฟฟ้าใดๆ เมื่อมีการเปลี่ยนสถานะจากสมดุลหรือไม่มีโหลดไปเป็นสถานะที่ไม่สมดุลมากยิ่งขึ้น ค่าของความถี่จะมีค่ามากยิ่งขึ้น จากกราฟข้างต้นจะเห็นว่า ค่าของความถี่จะมีขนาดสูงสุดที่สถานะไม่สมดุลมากที่สุดหรือที่สถานะไม่สมดุล 75% ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 2,080 Hz

**ตารางที่ 4.25** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 12 VDC 5,000 RPM ทั้ง 4 สถานะ

Voltage for Exciting (V)	Frequency (Hz)			
	No load	25%	50%	75%
4	-	-	-	-
5	-	-	-	180
6	-	-	221	355
7	-	196	435	735
8	-	460	746	1,190

จากตารางที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 12 VDC 3,500 RPM ทั้ง 4 สภาวะ จะพบว่า เมื่อเพิ่มขนาดของแรงดันไฟฟ้าให้มีขนาดเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 4 V ถึง 8 V ค่าความถี่ที่ได้จากการสั่นสะเทือนมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ และที่แรงดันไฟฟ้าใดๆ เมื่อมีการเปลี่ยนสภาวะจากสมดุลหรือไม่มีโหลดไปเป็นสภาวะที่ไม่สมดุลมากยิ่งขึ้น จะพบว่า ค่าความถี่ที่ได้มีขนาดเพิ่มขึ้นตามลำดับด้วยเช่นกัน และค่าความถี่ของการสั่นสะเทือนจะมีค่ามากที่สุด ที่สถานะไม่สมดุล 75% หรือสภาวะที่ไม่สมดุลมากที่สุดในการทำการทดลอง ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 1,190 Hz สำหรับค่าความถี่ในสภาวะต่างๆที่มีค่าเท่ากับ 0 Hz เนื่องจากเครื่องมือวัดไม่สามารถหาค่าความถี่ได้เพราะมีค่าความถี่น้อยมากๆจนเครื่องมือวัดแสดงผลว่ามีค่าเท่ากับ 0 Hz



**รูปที่ 4.58** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการสั่นสะเทือนและแรงดันไฟฟ้า  
ที่กระตุ้นมอเตอร์ 12 VDC 5,000 RPM

จากรูปที่ 4.58 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการสั่นสะเทือนเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ขนาด 12 VDC 5,000 RPM พบว่า เมื่อเพิ่มขนาดของแรงดันไฟฟ้าให้มีขนาดเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 4 V ถึง 8 V ค่าความถี่ที่ได้จากการสั่นสะเทือนมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ และที่แรงดันไฟฟ้าใดๆ เมื่อมีการเปลี่ยนสภาวะจากสมดุลหรือไม่มีโหลดไปเป็นสภาวะที่ไม่สมดุลมากยิ่งขึ้น ค่าของความถี่จะมีค่ามากยิ่งขึ้น จากกราฟข้างต้นจะเห็นว่า ค่าของความถี่จะมีขนาดสูงสุดที่สภาวะไม่สมดุลมากที่สุดหรือที่สถานะไม่สมดุล 75% ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 2,080 Hz

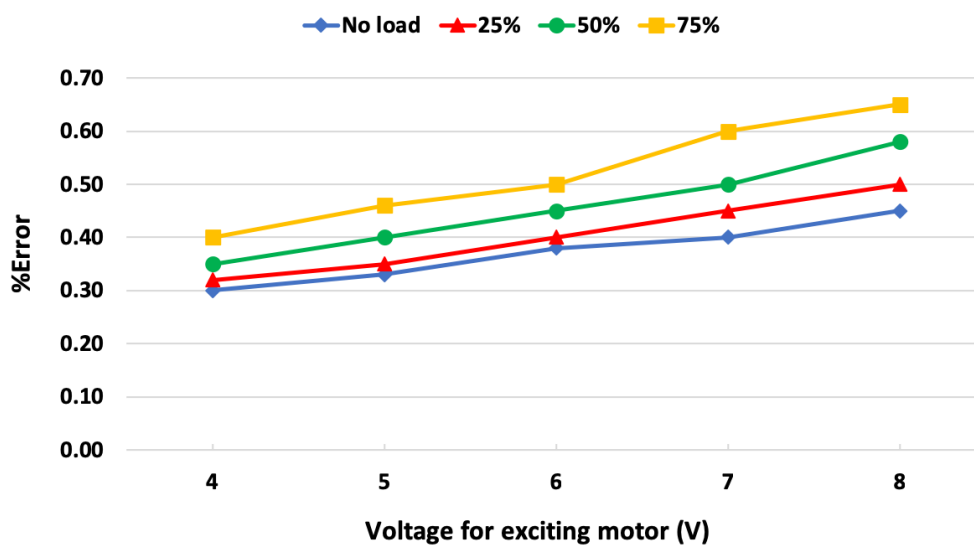
จากนั้นจะสังเกตค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเปรียบเทียบกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ แสดงดังตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์

Voltage for exciting motor (V)	%Error			
	No load	25% of Unbalance	50% of Unbalance	75% of Unbalance
4	0.30	0.32	0.35	0.40
5	0.33	0.35	0.40	0.46
6	0.38	0.40	0.45	0.50
7	0.40	0.45	0.50	0.60
8	0.45	0.50	0.58	0.65

เมื่อนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์กับค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด มาพล็อตกราฟจะพบว่า เมื่อค่าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจะมีค่ามากขึ้น ณ สภาวะใดสภาวะหนึ่ง และค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อการทดลองมีสภาวะไม่สมดุลมากยิ่งขึ้น ณ แรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ค่าหนึ่งๆแสดงดังรูปที่ 4.59

กราฟเปรียบเทียบ Voltage for exciting motor กับ %Error



รูปที่ 4.59 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์กับค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด

#### 4.6 ทอร์กของการสั้นเสเทือน

จากการทดลองในการหาความถี่การสั้นเสเทือน จะมีการคิดย้อนกลับเพื่อหาทอร์กโดยการคำนวณโดยใช้สมการที่ 2.7 ในบทที่ 2 ในการหาค่าทอร์ก ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กและแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 6 VDC ทั้ง 4 สภาวะ

Voltage for Exciting (V)	Torque (Nm)			
	No load	25%	50%	75%
4	0	0.98	2.93	5.37
5	0	2.39	8.92	16.01
6	0	3.15	16.99	32.70
7	0	5.07	21.80	43.71
8	0	6.14	29.14	51.28

จากตารางที่ 4.27 เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์จะพบว่า ค่าทอร์กที่ได้จากการคำนวณจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ยกเว้นแต่สภาวะสมดุลหรือสภาวะที่ไม่มีโหลด จะมีค่าคงที่เท่ากับ 0 เพราะการที่ไม่มีโหลด นั่นคือ ไม่มีมวล ดังนั้นเมื่อคำนวณโดยสมการที่ 2.7 ทำให้ค่าทอร์กที่ได้มีค่าเท่ากับ 0 และเมื่อแรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ที่มีค่าหนึ่งๆ จะพบว่าค่าทอร์กที่ได้นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ และจะมีค่าทอร์กมากที่สุดเท่ากับ 51.28 Nm ที่สภาวะไม่สมดุล 75% แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 8 V และจะมีค่าทอร์กน้อยที่สุดเท่ากับ 0 Nm ที่สภาวะสมดุลหรือไม่มีโหลดในทุกๆแรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์

ตารางที่ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กและแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 12 VDC 3,500 RPM ทั้ง 4 สภาวะ

Voltage for Exciting (V)	Torque (Nm)			
	No load	25%	50%	75%
4	0	0.19	1.75	4.39
5	0	0.25	2.42	7.18
6	0	0.35	3.07	8.52
7	0	0.47	4.02	10.87
8	0	1.19	6.30	12.76

จาก ตารางที่ 4.28 เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 12 VDC 3,500 RPM จะพบว่า ค่าทอร์กที่ได้จากการคำนวณจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ยกเว้นแต่สภาวะสมดุลหรือสภาวะที่ไม่มีโหลด จะมีค่าคงที่เท่ากับ 0 เพราะการที่ไม่มีโหลด นั่นคือ ไม่มีมวล ดังนั้นเมื่อคำนวณโดยสมการที่ 2.7 ทำให้ค่าทอร์กที่ได้มีค่าเท่ากับ 0 และเมื่อแรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ที่มีค่าหนึ่งๆ จะพบว่าค่าทอร์กที่ได้นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ และจะมีค่าทอร์กมากที่สุดเท่ากับ 12.76 Nm ที่สภาวะไม่สมดุล 75% แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 8 V และจะมีค่าทอร์กน้อยที่สุดเท่ากับ 0 Nm ที่สภาวะสมดุลหรือไม่มีโหลดในทุกๆแรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์

**ตารางที่ 4.29** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กและแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ 12 VDC 5,000 RPM ทั้ง 4 สภาวะ

Voltage for Exciting (V)	Torque (Nm)			
	No load	25%	50%	75%
4	0	-	-	-
5	0	-	-	0.09
6	0	-	0.10	0.37
7	0	0.04	0.40	1.59
8	0	0.21	1.09	4.18

จาก ตารางที่ 4.29 เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 12 VDC 5,000 RPM จะพบว่า ค่าทอร์กที่ได้จากการคำนวณจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ยกเว้นแต่สภาวะสมดุลหรือสภาวะที่ไม่มีโหลด จะมีค่าคงที่เท่ากับ 0 เพราะการที่ไม่มีโหลด นั่นคือ ไม่มีมวล ดังนั้นเมื่อคำนวณโดยสมการที่ 2.7 ทำให้ค่าทอร์กที่ได้มีค่าเท่ากับ 0 และเมื่อแรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ที่มีค่าหนึ่งๆ จะพบว่าค่าทอร์กที่ได้นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ และจะมีค่าทอร์กมากที่สุดเท่ากับ 4.18 Nm ที่สภาวะไม่สมดุล 75% แรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์ 8 V และจะมีค่าทอร์กน้อยที่สุดเท่ากับ 0 Nm ที่สภาวะสมดุลหรือไม่มีโหลด ในทุกๆแรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นมอเตอร์และบางสภาวะที่ไม่สามารถวัดค่าได้ เนื่องจากค่าความถี่จากการสั่นสะเทือนที่นำมาคำนวณ มีค่าน้อยจนไม่สามารถหาค่าได้ จึงทำให้การหาค่าทอร์กจากการคำนวณมีค่าเท่ากับ 0 Nm

จากตาราง 4.27 – 4.29 จะทำให้ทราบว่า ค่าทอร์กที่ได้จากการคำนวณจากสมการที่ 2.7 ในแต่ละตารางจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ยกเว้นแต่สภาวะสมดุลหรือสภาวะที่ไม่มีโหลด จะมีค่าคงที่เท่ากับ 0 Nm แต่ค่าของทอร์กจะมีค่าลดลงตามขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง นั่นคือเมื่อใช้มอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และมีจำนวนรอบที่มากขึ้น จะทำให้มีความถี่จากการสั่นสะเทือนลดลง และเมื่อนำความถี่ไปคำนวณเพื่อหาค่าทอร์ก จะได้ค่าทอร์กที่มีขนาดลดลงด้วยเช่นกัน

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

การออกแบบระบบการวัดการสั่นสะเทือนในงานวิจัยนี้ สามารถตรวจจับการสั่นสะเทือนได้ตามแรงที่กำหนด โดยการสั่นสะเทือนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตของฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์ ซึ่งในการทดลองที่มีการติดวัตถุที่มีมวลคงที่ไว้ที่ระยะต่างๆตามที่กำหนด ก็จะมีการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการหมุนแตกต่างกัน ทั้งนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องอีก คือ ทอร์กและความถี่ โดยค่าของทอร์กแปรผันตรงกับค่าเอาต์พุตที่วัดได้ แต่ค่าความถี่จะแปรผกผันกับค่าเอาต์พุตที่วัดได้ จากการทดลองพบว่า ระยะการติดวัตถุที่ระยะเดียวกัน แต่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์ ค่าเอาต์พุตแรงดันไฟฟ้าที่ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์ที่ตรวจจับได้ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าที่กระตุ้นมอเตอร์คงที่ค่าหนึ่งให้กับมอเตอร์ จากนั้นนำค่าของความถี่ที่หาได้จากมอเตอร์ขนาด 6 VDC, 12 VDC 3,500 RPM และ 12 VDC 5,000 RPM ในแต่ละสภาวะการทดลอง ที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 4 – 8 V คัดย้อนกลับเพื่อหาขนาดของความเร็วการสั่นสะเทือนเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ISO 10816-3 ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงระดับความเสียหายของเครื่องจักรและสามารถซ่อมบำรุงเครื่องจักรนั้นๆได้ทันเวลาก่อนจะเกิดความเสียหาย

งานวิจัยนี้สามารถพัฒนาต่อไปในอนาคตได้อีก เช่น การส่งข้อมูลแสดงผลผ่านระบบเครือข่าย (Network) และระบบการส่งข้อความสั้นๆผ่านโทรศัพท์ (SMS) เพื่อสังเกตสภาพการสั่นสะเทือนในระยะไกลและสรุปผล เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การทำงานที่ปกติของเครื่องจักรแบบรายงานผลได้ทันที (Real time)

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Xiaonan Hui, Shilie Zheng, Jinhai Zhou, Hao Chi, Xiaofeng Jin and Xianmin Zhang. “Hilbert–Huang Transform Time-Frequency Analysis in  $\phi$ -OTDR Distributed Sensor” IEEE Photonics Technology Letters, Volume: 26, Issue: 23, Dec 1 2014
- [2] P.A. Delgado-Arredondo et al., “Methodology for fault detection in induction motors via sound and vibration signals”, Mechanical Systems and Signal Processing, ScienceDirect, 83 (2017), P. 568
- [3] Gaurav Kumar and Karuna Kalita. “Vibration Control using BCW Induction Motor” 12th International Conference on Vibration Problems, ICOVP 2015, Indian Institute of Technology Guwahati, India
- [4] Laszlo Mathe, Uffe Jakobsen, Peter Omand Rasmussen and John K. Pedersen. “Analysis of the vibration spectrum based on the input voltage spectrum” IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, San Jose, USA 2009
- [5] ISO 10816-3:2009, Vibration Standard Evaluation
- [6] Cummings, Karen, Halliday and David. “Understanding physics”, John Wiley & Sons Inc., India 2007, P. 449, 484, 485, 487.
- [7] Crowell and Benjamin. “Conservation Laws”, Light and Matter, 2003, P. 107.
- [8] Knight, Randall, Jones, Brian, Field and Stuart. “College Physics: A Strategic Approach” (Third edition, technology update ed.), Boston: Pearson, 2016, P. 199
- [9] Halliday, David, Resnick and Robert. “Fundamentals of Physics”, John Wiley & Sons, Inc. 1970, P. 184 – 185
- [10] E. Ramsden. “Hall-Effect Sensor: Theory and Applications”, Elsevier, Burlington, 2006
- [11] ประดิษฐ์ หมู่เมืองสอง “การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน”, ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ 2550, หน้า 86 – 94
- [12] Inman, D. J., 2001, Engineering Vibration, 2<sup>nd</sup> edition, Prentice Hall.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและคำสั่งที่ใช้ในโปรแกรม MATLAB

## 1. ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

### 1.1 มอเตอร์ขนาด 6 VDC

- Small DC motor 1 to 6V
- Runs on as little as 1 Volts, 6 Volts Maximum.
- Can be speed controlled with PWM (Pulse Width Modulation) by for Arduino. A power transistor must be used to control the motor; for arduino pins do not have enough power to run this motor directly.

- Current at 5V: 400 mA no load, 1.7 min stalled (Do not stall for more than a few seconds at 5V).

When running from an external power supply, can supply 5V at 2A which can run one of these motors. Otherwise a separate 5V supply is needed. Runs well from two AA batteries. Shaft length: 8 mm

Shaft Diameter: 2 mm

Voltage: 1 - 6 V

Reference current: 0.35 - 0.4 A

Application: Connecting spindle gear and propeller, model car, airplane etc.

Product Size : 25\*20\*15 mm 0.98\*0.78\*0.59 inch

### 1.2 มอเตอร์ขนาด 12 VDC 3,500 RPM

- Model: 775 Rated power: 60W Product type: brushless dc motor Rated voltage: 12 V Rated current: 0.32 (A) Rated speed: 3,500 (RPM) Weight: 356g

### 1.3 มอเตอร์ขนาด 12 VDC 5,000 RPM

- Working Voltage: DC 6-12V
- No-load Current: 0.05A@6V, 0.055A@12V
- No-load Speed: 5000RPM@6V, 8,500RPM@12V
- Output Shaft Diameter: approx. 2.3 mm
- Output Shaft Length: approx. 12 mm
- Motor Body Diameter: approx. 27.5 mm
- Motor Body Length: approx. 32.5mm
- Fix Hole Screw: use M2.5 Fix
- Hole Pitch: approx. 16 mm 365 mini DC motor DIY small electric drill motor.

ภาคผนวก ข

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์

### ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] Witsarut Sriratana, Pasut Saithong, Lerdlekha Sriratana. “Vibration Analysis Based on Magnetic Field Balancing Technique” International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST) Year: 2018 Page(s): 1 - 4

Conference Proceedings



# iceast 2018

The 4<sup>th</sup> International Conference on Engineering,  
Applied Sciences and Technology



"Exploring Innovative Solutions  
for Smart Society"

Swissôtel Resort Phuket Patong Beach  
Phuket, Thailand

July 4-7, 2018

iceast2018@kmitl.ac.th  
www.iceast.org



# Vibration Analysis Based on Magnetic Field Balancing Technique

Witsarut Sriratana  
 Department of Instrumentation and  
 Control Engineering  
 Faculty of Engineering, King Mongkut's  
 Institute of Technology Ladkrabang  
 (KMITL)  
 Bangkok, Thailand  
 witsarut.sr@kmitl.ac.th

Pasut Saithong  
 Department of Instrumentation and  
 Control Engineering  
 Faculty of Engineering, King Mongkut's  
 Institute of Technology Ladkrabang  
 (KMITL)  
 Bangkok, Thailand  
 pasut.saithong@gmail.com

Lerdlekha Sriratana  
 Department of Industrial Engineering  
 Faculty of Engineering, Ramkhamhaeng  
 University  
 Bangkok, Thailand  
 lerdlekha\_s@ru.ac.th

**Abstract**— This paper presents the design of a vibration measurement system according to ISO 10816-1 standard. In this study, a vibration measuring device was applied the magnetic field balancing technique. For study, the vibration generated for experiment was from a vibration of the motor which taking load in various conditions. The operation and performance analysis of the motor in terms of balance and unbalance position of load can be determined by dividing the experiment into four conditions: balance position, 25% of unbalance position, 50% of unbalance position and 75% of unbalance position. The magnetic field method influenced by the permanent magnets was applied and the Hall Effect sensor was used as a sensor. The results of the experiment were then compared to those from output voltage of the Hall Effect sensor as well as those from the magnetic field density for analysis the vibration and the effectiveness of motor. The results of the experiment can be considered in terms of torque, frequency and the output voltage of Hall Effect sensor. It was found that the output voltage of Hall Effect sensor at balance position, 25% of unbalance position, 50% of unbalance position and 75% of unbalance position were equal to 2.54 V, 2.67 V, 2.77 V and 2.86 V, respectively while the average of process error was 0.34%.

**Keywords**—vibration, magnetic field, magnet, hall effect sensor, voltage

## I. INTRODUCTION

There have been some studies on vibration measurement by using various approaches such as detecting faults in induction motors in steady-state operation based on the analysis of acoustic sound and vibration signals, conducted by P.A. Delgado-Arredondo et. Al.(1), or using bridge configured winding Induction Motor for unbalanced magnetic pull is generated due to the presence of the magnetic fields of pole pair in the air gap of the motor, conducted by Gaurav Kumar and Karuna Kalita (2). However, this research will place an emphasis on the study of methods of an analysis of the vibration by using a new pattern and a new approach in analyzing the vibration of a motor as a case study. This includes a careful consideration of a particular kind of load which can be categorized as Balance and Unbalance through a testing of its four conditions: Balance, 25% of Unbalance, 50% of Unbalance, and 75% of Unbalance. This can be measured by using the output value of the power supply force using the Hall

Effect sensor. Then, it will display in the graphic form. Since magnet plays an important part in this research, Neodymium, which possesses a very high magnetic quality and it can cause a considerable amount of change in the output, is selected to use in this study. And as the vibration results from a spinning force, it is necessary to study some additional theories related to the spinning that causes a powerful force and later causes a vibration.

## II. FUNDAMENTAL METHOD

### A. Principle of Hall Effect sensor

Hall Effect sensor is a small passive transducer which is applicable in many purposes. The output voltage is generated when the constant current transmitting through a semiconductor namely Hall generator is diverted [3]. The size of measured voltage at Hall sensor ( $V_H$ ) rely on Magnetic Flux density ( $B$ ). Magnetically acting on magnetic field is related to (1).

$$V_H = \frac{R_H}{d} IB \quad (1)$$

where  $d$  is The thickness of Hall generator (mm)  
 $R_H$  is Hall coefficient ( $\Omega$ )  
 $I$  is The constant current (mA)

### B. Frequency Condition

In this study, a motor is used for an observation of its vibration in order to find out its efficiency when taking load under different conditions like balance and unbalance. In order to compare the values of those conditions, the equation (2) will be used for obtaining the frequency of vibration of the motor which can be computed through the correlation between the spinning force and the power output (4, 5). This will be recorded in the form of the frequency.

$$f = \sqrt[3]{\frac{12vi}{mR^3}} \times \frac{1}{2\pi} \quad (2)$$

where  $f$  is frequency of vibration  
 $V$  is voltage generate to motor  
 $I$  is motor current as shown in Table II

$m$  is mass of object attach on the propellers and weight 3.55 grams.  
 $R$  is distance from center of mass.

### C. Torque Condition

It is also necessary to find out the value of Torque since there is a spinning movement in the magnetic fields. This can be obtained from the correlation between Moment of Inertia and the angular speeding of the motor [6, 7]. Torque will be shown in (3).

$$\tau = I(2\pi f)^2 R \quad (3)$$

where  $I$  is Moment of Inertia (in this case  $I = \frac{1}{12} m R^2$ )

### III. DESIGN OF THE SENSOR MODULE

The instrument is designed specifically for the measurement of the vibration based on the principle of magnetic force. Pieces of permanent magnet are fixed at different parts, the head, the middle, and the tail of the test tube with different magnetic poles in order to facilitate the magnetic force in the middle part of the tube as shown in Fig. 2.

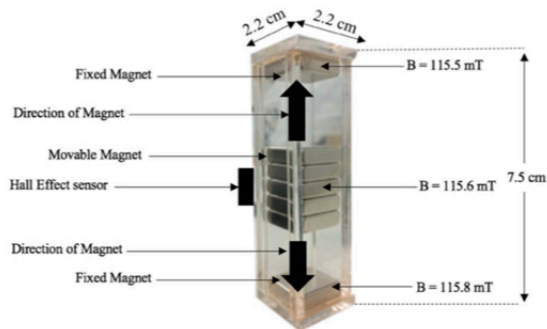


Fig. 1. The sensor module for vibration detect.

In measuring the magnetic force in different parts of the tube, it is found that the head part is 115.5 mT, the middle part is 115.6 mT, and the tail part is 115.8 mT. The force at the head and the tail parts cause the middle part lift up. When this tube is installed with the vibrated equipment, it will cause a movement in the middle part of that equipment. Then, a Hall Effect sensor is placed between two pieces of magnet, and in the middle of the middle piece of the magnet for measuring the changing value of the magnetic field caused by different values of different vibration forces. The next step is the design of measuring and testing systems for the vibration of the designated motor of this study. This can be done by using Hall Effect sensor and sending the values of vibration to the section of Signal Conditioning, passing the Low pass filter and instrument amplifier AD524 for signal quality adjustment, to a Sensor Module. The values will be processed, computed, and displayed on the computer. The result of this part will be shown in graphic presentation for further analysis, as shown in Fig.2. vibration conditions

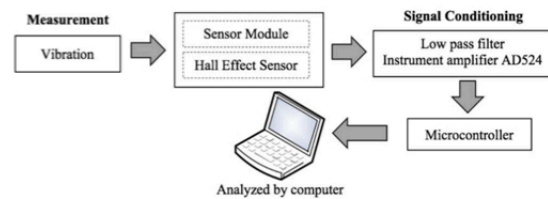


Fig. 2. Block diagram of overall

### IV. EXPERIMENT AND RESULT

In testing of the vibration by using Hall Effect sensor, based on the balance of magnetic field, the propellers are installed in various parts including Balance, 25% of Unbalance, 50% of Unbalance, and 75% of Unbalance as shown in Fig 3. Then, finding out the values of  $V_H$  and Current in each position. Next, supply with the input voltage to observe the changing values of the  $V_H$  and Current. Finally, send the results to the signal quality control system, and later send to the microcontroller. The data will be displayed on the computer screen for the follow-up of the propeller vibration of the motor.

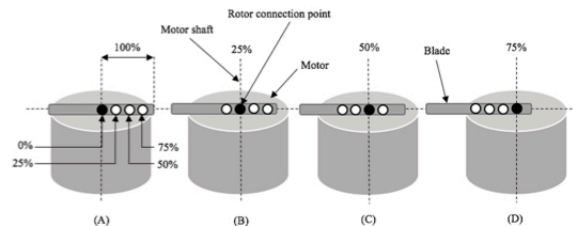


Fig. 3. Simulation of the propeller installation in the four experimental locations.

- (A) Balance
- (B) 25% of Unbalance
- (C) 50% of Unbalance
- (D) 75% of Unbalance

The relationship between the  $V_H$  (V) and the electricity force supplying to those four installation positions makes us know the size of the electricity force in each particular position. When we increase the size of the voltage for exciting motor, the value of  $V_H$  will be increased significantly, from the status of Balance to the status of 75% of Unbalance respectively as shown in Table 1. When we calculate the mean of average error, the value is 0.34%.

Table I. The relationship between the  $V_H$  (V) and the electricity force supplying to those four installation positions including Balance, 25% of Unbalance, 50% of Unbalance and 75% of Unbalance.

Voltage for generate vibration (V)	$V_H$ (V)			
	Balance	25% of Unbalance	50% of Unbalance	75% of Unbalance
3	2.29	2.29	2.31	2.31
4	2.32	2.35	2.36	2.39
5	2.33	2.36	2.42	2.44
6	2.38	2.42	2.50	2.57
7	2.48	2.55	2.66	2.70
8	2.54	2.67	2.77	2.86
Error (%)	0.28	0.35	0.39	0.35

Figure 4 illustrates the relationship between  $V_H$  and the electricity force supplying to the motor. If we plot the data from Table 1 in a graphic presentation, we will find that if we increase the size of voltage for exciting motor, the value of  $V_H$  will be increased significantly from the position of Balance to 75% of Unbalance. If we notice the increasing value of  $V_H$ , we will find that the farthest position from the Balance or (75% of Unbalance) in each voltage for exciting motor obtains the highest  $V_H$  at this position.

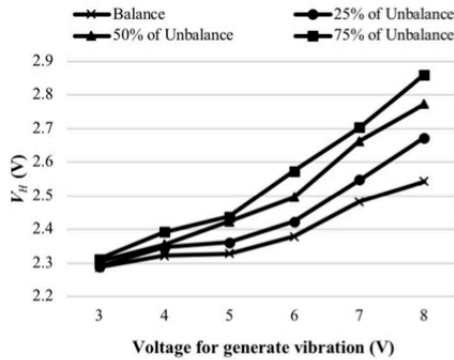


Fig. 4. The relationship between the  $V_H$  (V) and the electricity force supplying to the motor.

The relationship between the electricity used for the motor and the electricity force makes us learn about the changes in electricity in each position. We can also find that when we increase the size of voltage for exciting motor, the value of electricity consumed by the motor will be increased significantly from Balance to 75% of Unbalance respectively as shown in Table 2. The average error is at 0.30%.

Table II. The relationship between the electricity used for the motor and the electricity force supplying to those four installation positions including Balance, 25% of Unbalance, 50% of Unbalance and 75% of Unbalance.

Voltage for generate vibration (V)	Current (A)			
	Balance	25% of Unbalance	50% of Unbalance	75% of Unbalance
3	0.027	0.034	0.040	0.046
4	0.034	0.047	0.056	0.064
5	0.043	0.057	0.081	0.085
6	0.054	0.078	0.098	0.115
7	0.060	0.093	0.123	0.142
8	0.083	0.119	0.148	0.165
Error (%)	0.25	0.34	0.30	0.29

When we take the data from Table 2 and plot in the graphic presentation, we will find that when we increase the size of voltage for generate vibration, the value of the electricity will be increased significantly from Balance to 75% of Unbalance. If we notice the increasing value of the electricity, we will find that this position has the highest value of electricity and it is the farthest position from the Balance or (75% of Unbalance) in each voltage for generate vibration as shown in Fig 5.

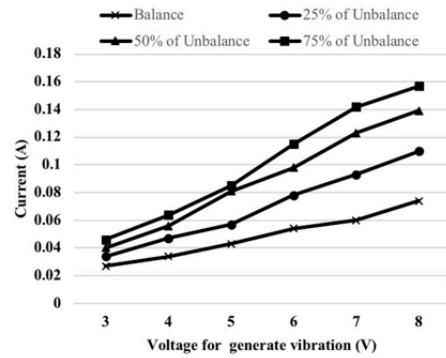


Fig. 5. The relationship between the electricity used for the motor and the electricity force supplying.

After all experimentations have been accomplished, the findings can be observed in relation to the extent of its mechanical aspects and the vibration. This can be shown in the forms of frequency and Torque which result from the vibration when the motor is operating at 4 different positions: Balance, 25% of Unbalance, 50% of Unbalance, and 75% of Unbalance. We can start with computing to get the value of the frequency and Torque and compare with the every  $V_H$ . Then, we can see their relationship of the output. We can see that  $V_H$  and Frequency resulted from the vibration and Torque will be increased in relation to the increasing voltage for generate vibration show in Table III.

Table III. The relationship between  $V_H$ , Torque, and Frequency to those four installation positions including Balance, 25% of Unbalance, 50% of Unbalance and 75% of Unbalance.

Position	Voltage for generate vibration (V)	Balance		
		$V_H$ (V)	Frequency (Hz)	Torque (Nm $10^{-4}$ )
Balance	3	2.29	22.01	5.87
	4	2.32	26.16	8.29
	5	2.33	30.47	11.24
	6	2.38	34.94	14.78
	7	2.48	38.10	17.58
8	2.54	44.38	23.85	
25% of Unbalance	3	2.29	19.04	8.69
	4	2.35	23.34	13.05
	5	2.36	26.82	17.23
	6	2.42	31.64	23.98
	7	2.55	35.32	29.88
8	2.67	40.09	38.50	
50% of Unbalance	3	2.31	16.75	11.23
	4	2.36	20.62	17.01
	5	2.42	25.12	25.25
	6	2.50	28.44	32.36
	7	2.66	32.30	41.74
8	2.77	35.92	51.62	
75% of Unbalance	3	2.31	15.04	14.55
	4	2.39	18.48	21.96
	5	2.44	21.88	30.79
	6	2.57	25.72	42.54
	7	2.70	29.05	54.27
8	2.86	31.93	65.57	

As for the relationship between voltage for generating vibration and Frequency, it is found that the value in frequency of a vibration will be increased in relation to the increase in the voltage for generate vibration. The nearer an object is at the unbalance, the decreasing value of the frequency it becomes.

The lowest value of the frequency is at the position of 75% of unbalance in each voltage for generating vibration as shown in Table IV.

Table IV. The relationship between voltage for generating vibration and frequency.

Voltage for generate vibration (V)	Frequency (Hz)			
	Balance	25% of Unbalance	50% of Unbalance	75% of Unbalance
3	22.01	19.04	16.75	15.04
4	26.16	23.34	20.62	18.48
5	30.47	26.82	25.12	21.88
6	34.94	31.64	28.44	25.72
7	38.10	35.32	32.30	29.05
8	44.38	40.09	35.92	31.93

As for the relationship between voltage for generating vibration and Torque, it is found that the value of the spinning of Torque will be increased in relation to the increase in the voltage for generating vibration. The nearer an object is at the position of unbalance, the increasing value of Torque it becomes. The highest value of Torque is at the position of 75% of unbalance in each voltage for generate vibration as shown in Table V.

Table V. The relationship between voltage for generating vibration and Torque.

Voltage for generate vibration (V)	Torque (Nm 10 <sup>-4</sup> )			
	Balance	25% of Unbalance	50% of Unbalance	75% of Unbalance
3	5.87	8.69	11.23	14.55
4	8.29	13.05	17.01	21.96
5	11.24	17.23	25.25	30.79
6	14.78	23.98	32.36	42.54
7	17.58	29.88	41.74	54.27
8	23.85	38.50	51.62	65.57

As for the relationship between frequency and different distance of the object, at the electricity force from 3 to 8 volts. It is found that there will be an increasing value of the frequency in relation to an increase in the voltage for generating vibration. However, the value of the frequency will be decreased when the object is far away from the position of the Balance, at the same voltage for generating vibration. When we take the data from all experiments to put in order from the lowest to the highest value in each voltage for generating vibration and compare its relation with the frequency, it is found that the value of frequency is reversed to the output value  $V_H$ , as show in Fig. 6.

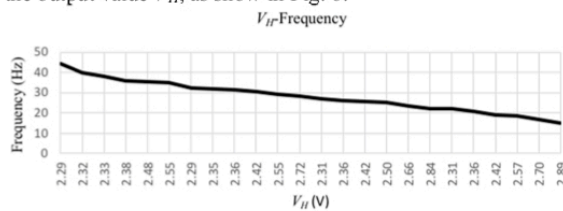


Fig. 6. The relationship between  $V_H$  and Frequency.

As for the relationship between Torque,  $V_H$  and the nearness of an object at different distance, with the electricity force of 3 to

8 volts, it is found that the value of Torque will be increased in relation to the increase in the voltage for generating vibration. The farther the object is from the Balance, the more values of Torque it becomes. When all data of the output are arranged from the lowest to the highest values, in each voltage for generating vibration, and compare the relationship with Torque, it is found that the value of Torque is reversed to the output  $V_H$ , as shown in Fig. 7.

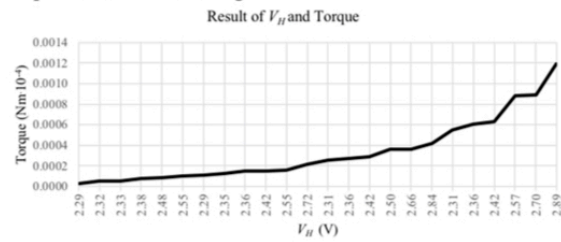


Fig. 7. The relationship between  $V_H$  and Torque.

V. CONCLUSION

The study of the development of a system for the measurement of vibration can detect the vibration in accordance with the designated force, with direct proportionate vibration and the electricity force on the output of the Hall Effect sensor. The constant-mass objects are placed in different distance. Different rates of vibration result from different rate of spinning. There are certain changes in Torque and Frequency. The value of Torque varies along with the value of the output. On the other hand, the value of the frequency is reversed to the value of the output. It is also found that fixing the objects at the same distance with the changing voltage for generating vibration is resulted in the increasing value of the output. It is suggested that there should be further study in the aspects of transmitting and displaying information through network and SMS in order to observe the state of vibration from a long distance. Then, draw a conclusion, make an analysis, and apply to use as real time.

REFERENCES

- [1] P.A. Delgado-Arredondo et al., Methodology for fault detection in induction motors via sound and vibration signals, Mechanical Systems and Signal Processing, ScienceDirect, 83 (2017) P. 568
- [2] Gaurav Kumar, Karuna Kalita. "Vibration Control using BCW Induction Motor" 12th International Conference on Vibration Problems, ICOVP 2015 Indian Institute of Technology Guwahati, Guwahati-781039, India
- [3] E. Ramsden, "Hall-Effect Sensor: Theory and Applications," Elsevier, Burlington, 2006.
- [4] Cummings, Karen; Halliday, David (2007). Understanding physics. New Delhi: John Wiley & Sons Inc., authorized reprint to Wiley-India. pp. 449, 484, 485, 487.
- [5] Crowell, Benjamin (2003). Conservation Laws. Light and Matter. p.107.
- [6] Halliday, David; Resnick, Robert (1970). Fundamentals of Physics. John Wiley & Sons, Inc. pp.184-185
- [7] Knight, Randall; Jones, Brian; Field, Stuart (2016). College Physics: A Strategic Approach. Jones, Brian, 1960-, Field, Stuart, 1958- (Third edition, technology update ed.). Boston: Pearson. p. 199

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นายพศุทธิ์ ไทรทอง
วัน เดือน ปีเกิด	15 ต.ค. 2536
ที่อยู่	32/5 ซ.เจตนจำลอง ถ.บริพัตร ต.ท่าราบ อ.เมือง จ.เพชรบุรี
ประวัติการศึกษา	2558 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความสนใจและ	1.) การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน
ความชำนาญเฉพาะด้าน	2.) การใช้โปรแกรม MATLAB 3.) การคำนวณโดยใช้โดเมนความถี่

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้

- [1] Witsarut Sriratana, Pasut Saithong, Lerdlekha Sriratana. “Vibration Analysis Based on Magnetic Field Balancing Technique” International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST) Year: 2018 Page(s): 1 - 4