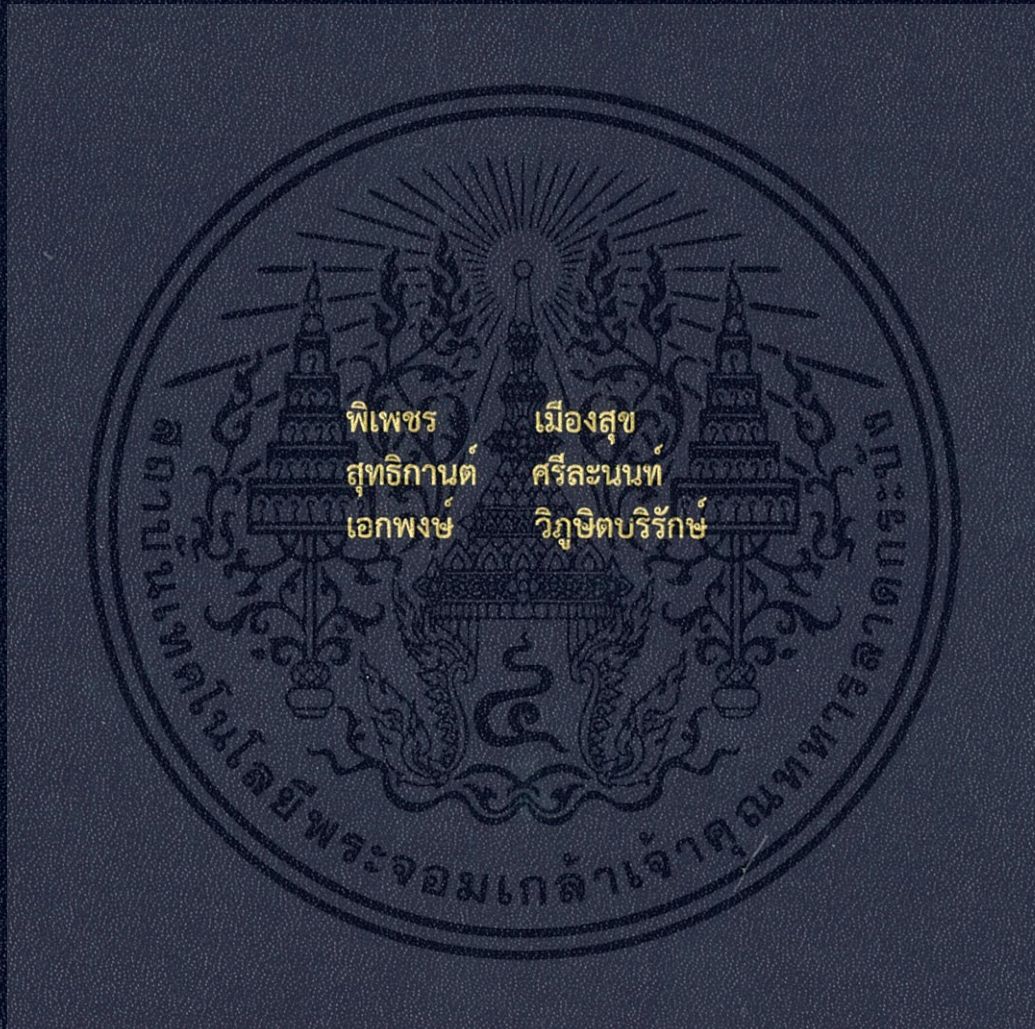


ระบบการตรวจวัดการสั่นสะเทือนด้วยเวลาจริงโดยการแจ้งเตือนผ่านข้อความ
บนพื้นฐานของฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์
A REAL-TIME OF SENSING VIBRATION SYSTEM VIA SMS BASED ON
HALL EFFECT SENSOR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

ระบบการตรวจวัดการสั่นสะเทือนด้วยเวลาจริงโดยการแจ้งเตือนผ่านข้อความ
บนพื้นฐานของฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์
A REAL-TIME OF SENSING VIBRATION SYSTEM VIA SMS BASED ON
HALL EFFECT SENSOR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A REAL-TIME OF SENSING VIBRATION SYSTEM VIA SMS BASED ON
HALL EFFECT SENSOR



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2559

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ ระบบการตรวจวัดการสั่นสะเทือนด้วยเวลาจริงโดยแจ้งเตือนผ่านข้อความบนพื้นฐานของฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์
A REAL-TIME OF SENSING VIBRATION SYSTEM VIA SMS BASED ON HALL EFFECT SENSOR

นักศึกษาผู้จัดทำ นายพิเพชร เมืองสุข รหัสนักศึกษา 56010865


นายสุทธิกานต์ ศรีละนนท์ รหัสนักศึกษา 56011339

นายเอกพงษ์ วิภูษิตบริรักษ์ รหัสนักศึกษา 56011473

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา 2559

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ ดร.วิศรุต ศรีรัตนะ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ ระบบการตรวจวัดการสั่นสะเทือนด้วยเวลาจริงโดยการแจ้งเตือนผ่าน
 ข้อความบนพื้นฐานของฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์
 A REAL-TIME OF SENSING VIBRATION SYSTEM VIA SMS BASED
 ON HALL EFFECT SENSOR

นักศึกษาผู้จัดทำ นายพิเพชร เมืองสุข รหัสนักศึกษา 56010865
 นายสุทธิกานต์ ศรีละนนท์ รหัสนักศึกษา 56011339
 นายเอกพงษ์ วิภูจิตบริรักษ์ รหัสนักศึกษา 56011473

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์.ดร.วิศรุต ศรีรัตน์นะ

ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการคิดค้นเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร โดยอาศัยการตรวจจับ
 สนามแม่เหล็กที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกลโดยส่งผ่านอุปกรณ์วัดที่ได้จัดทำขึ้นมา ซึ่งในที่นี้ใช้
 ฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์มาตรวจจับค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก เพื่อที่จะนำค่าที่ได้ไปพิจารณาความ
 ผิดปกติที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักร เครื่องมือที่ใช้วัดความผิดปกติกการสั่นของเครื่องจักร มีโครงสร้างและ
 อาศัยหลักการทำงานดังต่อไปนี้ โครงสร้างภายในประกอบด้วย แม่เหล็กถาวร 3 ส่วน โดยอาศัย
 หลักการของแรงดันแม่เหล็กส่งผลให้แม่เหล็กตรงกลางลอยอยู่ระหว่างแม่เหล็กทั้งสอง และมีการ
 เคลื่อนที่ตามการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ซึ่งเมื่อเกิดการสั่นสะเทือนจะทำให้สมดุลของแม่เหล็ก
 สูญเสียไปส่งผลให้ค่าสนามแม่เหล็กที่วัดได้เกิดการเปลี่ยนแปลง ช่วงความถี่ของการสั่นสะเทือนที่
 เครื่องมือสามารถวัดได้อยู่ที่ 25 เฮิรตซ์ โดยใช้หน่วยประมวลผลลอจิก เพื่อทำการประมวลผลและ
 แสดงผลได้ทั้ง 2 รูปแบบ ได้แก่จอแสดงผลที่ติดตั้งอยู่บนกล่องควบคุม และแจ้งเตือนแบบทางไกลโดย
 ใช้ GSM Module-SIM 900 ซึ่งจะทำหน้าที่ส่งข้อมูลด้วยวิธีการสื่อสารแบบทางเดียวเพื่อแสดงผลใน
 รูปแบบข้อความที่แจ้งเตือนค่าการสั่นสะเทือนที่สูงกว่าค่าปกติ ในรูปของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
 จากค่าที่ยอมรับได้ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นอุปกรณ์สามารถ
 ตรวจจับการสั่นสะเทือนได้ โดยจะเป็นอัตราส่วนเดียวกับความรุนแรงของการสั่นสะเทือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A REAL-TIME OF SENSING VIBRATION SYSTEM VIA SMS BASED ON HALL EFFECT SENSOR
Name	Mr.Piphed Muangsuk Mr.Suttikarn Srilanon Mr.Aekaphong Wipusitborirax
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Witsarut Sriratana
Year	2016

Abstract

This project presents a Hall Effect based machine vibration detection system consisting of three permanent magnets. Two opposing poles magnets are fixed at the topmost and bottommost part of the device; whilst the third magnet sits in the middle. The middle magnet induces magnetic levitation force only when the machine is in its irregular state. This force is proportional to the displacement of the middle magnet relative to the two stationary magnets, indicating the state of the machineries. The magnetic displacement data is then sent to a microcontroller, which alerts the user via SMS of irregular vibration. Results show that the proposed system is capable of detecting machinery vibrations of up to 25 Hz. Result show that if motor generate the vibration this device can detect, So the result is proportional with the level of vibration.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยคำปรึกษาและคำแนะนำจาก รองศาสตราจารย์ ดร.วิศรุต ศรีรัตนะ และ ผศ.สุธรรม สัทธรรมสกุล คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์และ กราบขอบพระคุณอย่างสูง

ผู้จัดทำได้รับกำลังใจความช่วยเหลือและการสนับสนุนอย่างดีจากเพื่อนร่วมชั้นเรียนหลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาการวัดคุม และเพื่อนร่วมคณะในสาขาวิชาต่างๆ สำหรับหลักการ ความรู้ เฉพาะด้านในแต่ละภาควิชารวมถึงความช่วยเหลือในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ ตลอดจนครอบครัว ของคณะผู้จัดทำ ซึ่งผู้วิจัยมีความซาบซึ้งใจเป็นอย่างยิ่ง

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้แก่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม หลักสูตรวิศวกรรมการวัดคุม ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้ จนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ และมอบให้แก่ผู้ที่สนใจเพื่อ ใช้ประกอบการศึกษา

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และก๊อปปี้หรืออ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปริญญาโท.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาโท.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญาโท.....	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	1
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 หลักการที่ใช้ในการสร้างเครื่องมือวัด.....	3
2.1 ทฤษฎีฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์.....	3
2.2 ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect Sensor).....	5
2.3 แรงแม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก.....	8
2.3.1 แม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก.....	8
2.3.2 การคำนวณสนามแม่เหล็ก.....	9
2.3.3 ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กและจุดสะเทิน.....	10
2.4 ทฤษฎีการเคลื่อนที่แบบหมุน.....	11
2.4.1 ลักษณะการเคลื่อนที่แบบหมุน.....	11
2.4.2 การกระจัดเชิงมุม ความเร็วเชิงมุม ความเร่งเชิงมุม.....	11
2.4.3 สูตรหาปริมาณต่างๆของการเคลื่อนที่แบบหมุน.....	12
2.4.4 โมเมนต์ความเฉื่อย.....	13
2.4.5 ทอร์ก.....	14
2.4.6 งานและกำลังงานของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบหมุน.....	15
2.5 ทฤษฎีการตรวจวัดการสั่นสะเทือน.....	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 วงจร Instrument Amplifier AD524.....	19
2.7 วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass filter).....	20
2.8 Ultralow Offset Voltage Operational Amplifier OP07.....	21
2.8.1 ลักษณะโดยทั่วไป.....	21
2.9 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3.....	21
2.10 GSM SIM 900A Module.....	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1 องค์ประกอบและการทำงานโดยรวมของระบบ.....	24
3.2 รายละเอียดการออกแบบส่วนต่างๆของระบบ.....	25
3.2.1 การออกแบบส่วนฮาร์ดแวร์.....	25
3.2.1.1 ส่วนของอุปกรณ์ตรวจจับการสั่นสะเทือน.....	26
3.2.1.2 ข้อดีของการออกแบบอุปกรณ์ในลักษณะนี้.....	27
3.2.1.3 พัฒนาการการออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับการสั่นสะเทือน.....	27
3.2.1.4 ส่วนของวงจรปรับคุณภาพของสัญญาณ.....	31
3.2.1.4.1 วงจรขยายสัญญาณ.....	31
3.2.1.4.2 วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low-Pass Filter).....	32
3.2.1.4.3 วงจรขยายสัญญาณ(OP07).....	32
3.2.1.5 แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า.....	33
3.2.2 ส่วนรับสัญญาณ-ประมวลผล, ส่งข้อมูล SMS, จอแสดงผล.....	33
3.2.2.1 คำสั่งการทำงานของโปรแกรม Arduino.....	34
3.2.2.2 การทำงานส่วนซอฟต์แวร์.....	36
3.2.2.3 จอแสดงผล (OLED Display Module 0.96" 128x64).....	37
3.3 ขั้นตอนการทำงานของระบบในการตรวจวัดการสั่นสะเทือน.....	39
3.3.1 รายละเอียดการทำงานของทั้งระบบวัดการสั่นสะเทือน.....	39
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	41
4.1 กลุ่มที่ A การสั่นสะเทือนของมอเตอร์โดยสัักเกตที่เปลี่ยนแปลงของ Vhall	42
4.2 กลุ่มที่ B การสั่นสะเทือนของมอเตอร์โดยสัักเกตที่เปลี่ยนแปลงของ Vout	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 กลุ่มที่ C การสันสะเทือนของมอเตอร์โดยสังเกตที่การเปลี่ยนแปลง.....	44
ของสนามแม่เหล็ก	
4.4 กลุ่มที่ D การสันสะเทือนของมอเตอร์โดยสังเกตที่การเปลี่ยนแปลง.....	45
ของกระแสที่มอเตอร์ใช้	
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุต, ทอร์ก และความถี่.....	46
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	53
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	53
5.2 ปัญหา.....	53
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	53
บรรณานุกรม.....	54
ภาคผนวก.....	55

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเชิงเส้นกับปริมาณเชิงมุม.....	12
2.2 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่แบบหมุนกับแบบเส้นตรง.....	12
2.3 โมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุรูปทรงต่างๆ.....	13
2.4 ค่ามาตรฐาน ISO 10816-1.....	16
2.5 ระดับความเสียหาย.....	16
2.6 ความสัมพันธ์ ระหว่างหน่วยการสั้นสะเทือน.....	17
กับ สมมติฐานความเสียหายของเครื่องจักร	
2.7 ตำแหน่งและหน้าที่แต่ละ Port ของ OP07.....	21
4.1 ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง $V_{hall}(V)$ กับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์.....	43
ใน 4 สถานะ	
4.2 ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง $V_{out}(V)$ กับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์.....	44
ใน 4 สถานะ	
4.3 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าสนามแม่เหล็กกับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์.....	45
ใน 4 สถานะ	
4.4 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่มอเตอร์ใช้กับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์.....	46
ใน 4 สถานะ	
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง V_{hall} , Torque และ Frequency.....	48
4.6 ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่กับระยะตัดวัตถุที่ระยะต่างๆ.....	50
แรงเคลื่อนไฟฟ้าตั้งแต่ 3 ถึง 8 โวลต์	
4.7 ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่กับระยะที่ทำงานตัดวัตถุที่ระยะต่างๆโดยคิดการ.....	50
เปลี่ยนแปลงเป็นเปอร์เซ็นต์ที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าตั้งแต่ 3 ถึง 8 โวลต์	
4.8 ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่กับระยะตัดวัตถุที่ระยะต่างๆ.....	51
แรงเคลื่อนไฟฟ้าตั้งแต่ 3 ถึง 8 โวลต์	
4.9 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กกับระยะที่ทำงานตัดวัตถุที่ระยะต่างๆโดยคิดการ.....	51
เปลี่ยนแปลงเป็นเปอร์เซ็นต์ที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าตั้งแต่ 3 ถึง 8 โวลต์	

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะตัวรับรู้ฮอลล์.....	3
2.2 การต่อตัวรับรู้ฮอลล์กับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงและโวลต์มิเตอร์.....	4
2.3 การวัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก.....	4
2.4 ก-ค แสดงการเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์.....	5
2.5 การวัดความต่างศักย์ฮอลล์ V_H	6
2.6 โครงสร้างทางผลึกของแม่เหล็กนิโอดีเมียม.....	8
2.7 เส้นแรงแม่เหล็ก.....	9
2.8 เส้นแรงแม่เหล็กเมื่อนำแท่งเหล็กมาวางไว้ใกล้กัน.....	10
2.9 การเกิดทอร์กของวัตถุแม่เหล็ก.....	14
2.10 การทำงานและกำลังงานสำหรับการเคลื่อนที่แบบหมุน.....	15
2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง หน่วยวัดการสั่นสะเทือน กับ ความถี่.....	17
2.12 ตัวอย่างทิศทางการวัดการสั่นสะเทือนบริเวณแบร์ริง..... (H-Horizontal, V-Vertical, A- Axial)	18
2.13 วงจรภายใน AD524.....	19
2.14 พอร์ตในการเชื่อมต่อของAD524.....	19
2.15 ตัวอย่างการต่อวงจรของ AD524.....	20
2.16 ส่วนประกอบของ OP07.....	21
2.17 โครงสร้างบอร์ดอาดูโน.....	22
2.18 บอร์ด GSM SIM 900A Module.....	22
3.1 บล็อกไดอะแกรมของชุดการทดลอง.....	24
3.2 วงจรรวมของระบบส่วนฮาร์ดแวร์.....	25
3.3 แรงแม่เหล็กภายในอุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือนและ..... ตำแหน่งการติดตั้ง Hall Effect Sensor	26
3.4 การใช้อุปกรณ์เพื่อวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรในแนว Vertical.....	26
3.5 หลักการวัดการสั่นสะเทือนและเครื่องมือ.....	27
3.6 เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนโดยอาศัยหลักการของสปริง.....	28
3.7 อุปกรณ์ตรวจจับการสั่นสะเทือนโดยอาศัยหลักการแรงแม่เหล็ก.....	29
3.8 รูปแบบสุดท้ายของอุปกรณ์ตรวจจับการสั่นสะเทือน.....	29
3.9 ระบบการวัดการสั่นสะเทือน.....	30

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 วงจรปรับคุณภาพของสัญญาณ.....	31
3.11 วงจรขยายสัญญาณ.....	31
3.12 วงจรกรองความถี่ต่ำ.....	32
3.13 วงจรขยายสัญญาณ (OP07).....	32
3.14 แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับบอร์ดวงจรรวม และ ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์.....	33
3.15 การเชื่อมต่อสายของ Arduino, GSM Module, จอแสดงผล.....	34
3.16 จอแสดงผล OLED.....	37
3.17 ขาของโมดูล OLED ในกรณีที่ใช้ I ² C.....	38
3.18 ขั้นตอนการทำงานของระบบ.....	39
3.19 ตำแหน่ง No Load.....	40
3.20 ตำแหน่ง 25% จากตำแหน่งสมดุล.....	40
3.21 ตำแหน่ง 50% จากตำแหน่งสมดุล.....	40
3.22 ตำแหน่ง 75% จากตำแหน่งสมดุล.....	40
3.23 ภาพในส่วนที่ 1 และ 2 ของรูปที่ 3.18.....	41
4.1 ชุดการทดลอง.....	42
4.2 ตัวอย่างการตีวัดวัตถุที่ระยะ 50% Of Length.....	42
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Vhall กับ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์.....	43
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Vout กับ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์.....	44
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสนามแม่เหล็ก กับ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์.....	45
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสที่มอเตอร์ใช้ กับ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์.....	46
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Vhall กับ Frequency.....	49
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง Vhall กับ Torque.....	49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

เครื่องจักรเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ถ้าหากเกิดการชำรุดหรือเสื่อมสภาพ จะส่งผลโดยตรงกับประสิทธิภาพการทำงานโดยในปัจจุบันมีการใช้เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนที่ยังไม่แพร่หลายเนื่องจากข้อจำกัดต่างๆ โครงการนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาวิธีการวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรในรูปแบบและทฤษฎีใหม่ โดยจะใช้อุปกรณ์ฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์มาตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการสั่นสะเทือนในขณะที่มอเตอร์กำลังทำงานอยู่โดยแสดงออกมาเป็นกราฟสำหรับการติดตามสภาพการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่หน้างานอีกทั้งยังมีการส่งข้อมูลมาแสดงผลผ่านระบบ SMS เพื่อสังเกตสภาพการสั่นสะเทือนในระยะไกลและนำผลสรุปไปใช้งานในการวิเคราะห์ความผิดปกติของเครื่องจักรได้ในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาลักษณะของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
2. เพื่อศึกษาการทำงานของฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์
3. เพื่อศึกษาการรับส่งข้อมูลผ่านระบบ SMS
4. ออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือน
5. เพื่อตรวจสอบสภาพการทำงานของเครื่องจักรจากการวัดการสั่น

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. สามารถแสดงและสังเกตการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรจากระยะไกลและใกล้ได้
2. ต้องการพิสูจน์ว่า ฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์สามารถนำมาวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องได้

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎีฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์
2. ศึกษาทฤษฎีสถิตศาสตร์แม่เหล็ก
3. ศึกษาทฤษฎีและการทำงานของเครื่องมือวัดการสั่นของเครื่องจักรที่มีอยู่ในปัจจุบัน
4. เตรียมอุปกรณ์ และวัสดุ ในการทำเครื่องมือประกอบการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทดลองใช้อัลลเอฟเพคต์เซ็นเซอร์เพื่อเก็บข้อมูลค่าที่ตรวจจับได้จากการสั่น
6. วิเคราะห์ผลการทดลอง
7. ปรับปรุงและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทดลอง
8. ศึกษาการทำงานและวิธีการรับส่งข้อมูลไร้สายผ่านระบบ SMS
9. ทดลองการแสดงค่าการส่งข้อมูล
10. ปรับปรุงแก้ไขหากเกิดข้อผิดพลาด
11. จัดทำเอกสารโครงการ
12. สรุปและประเมินผล

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. บูรณาการความรู้ต่างๆที่ได้เรียนมา ประยุกต์ใช้ให้มีความเหมาะสมกับการทำโครงการ
2. ฝึกวางแผนและการแก้ปัญหาในระหว่างการทำโครงการ
3. บูรณาการความรู้ที่ใช้ในการทำโครงการกับภาควิชาอื่นๆ
4. นำความรู้ที่ได้จากการทำโครงการมาประยุกต์ใช้ให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

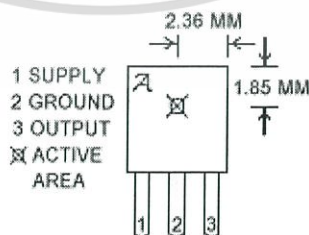
บทที่ 2

หลักการที่ใช้ในการสร้างเครื่องมือวัด

ในการสร้างและออกแบบเครื่องมือวัดจำเป็นต้องทราบถึงส่วนประกอบใช้งานโดยสิ่งที่มีความจำเป็นก็คืออุปกรณ์ตรวจวัด โดยในโครงการนี้ใช้เป็น Hall Effect Sensor อีกทั้งส่วนที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ใช้คือแม่เหล็ก โดยแม่เหล็กที่เลือกใช้นั้นคือ Neodymium ซึ่งเป็นแม่เหล็กที่มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กแรงสูงให้การเปลี่ยนแปลงของเอาท์พุทที่สูง โดยในส่วนของ การสั้นสะท้อนมีการพิจารณาจากการหมุนจึงต้องมีการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการหมุนที่ทำให้เกิดแรงกระทำ ทำให้เกิดการสั้นสะท้อน ในส่วนสุดท้ายเป็นส่วนของภาคปรับสัญญาณการวัดประกอบด้วยวงจรและ Instrument Amplifier ที่ใช้งานว่ามีคุณสมบัติอย่างไร

2.1 ทฤษฎี Hall Effect Sensor

แม่เหล็ก (Magnet) เป็นสิ่งที่สามารถดูดวัสดุบางชนิดได้ เช่น เหล็ก นิกเกิล โคบอลต์ เป็นต้น การที่แม่เหล็กดูดสารบางอย่างได้ เนื่องจากมีสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field) ในบริเวณโดยรอบแม่เหล็ก เราสามารถตรวจสอบว่าบริเวณใดมีสนามแม่เหล็กหรือไม่ โดยใช้เข็มทิศ แต่เราไม่สามารถทราบได้ว่ามีค่าเท่าใด นักวิทยาศาสตร์พยายามวัดสนามแม่เหล็กด้วยวิธีการต่าง ๆ แต่ในปัจจุบันเราสามารถวัดสนามแม่เหล็กได้สะดวกและรวดเร็วโดยใช้ตัวรับรู้ฮอลล์ (Linear Hall Sensor) ซึ่งทำงานโดยอาศัยหลักการของปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect) ตัวรับรู้ฮอลล์เป็นวงจรรวมที่ทำให้เกิดความต่างศักย์ซึ่งเป็นสัดส่วนตรงกับความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ผ่านในแนวตั้ง เมื่อนำตัวรับรู้ฮอลล์ไปต่อกับโวลต์มิเตอร์ แล้วนำไปวางใกล้บริเวณที่มีสนามแม่เหล็กก็จะทำให้ทราบค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กได้ [2]



รูปที่ 2.1 ลักษณะตัวรับรู้ฮอลล์[2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

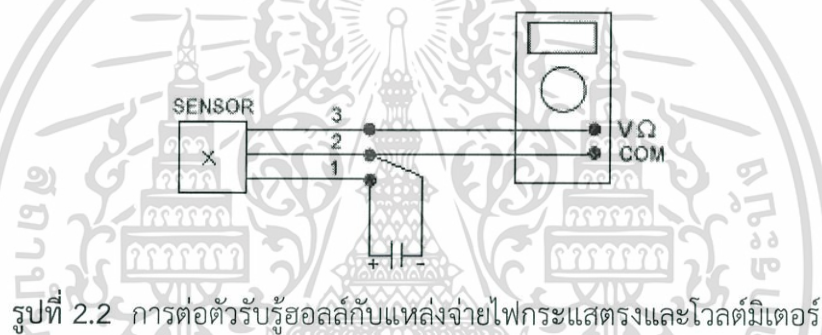
ตัวรับรู้ฮอลล์เป็นวงจรรวม มีขนาดและลักษณะดังรูปที่ 2.1 และมีสมบัติดังนี้

Input Voltage 4.5 – 6 v

Offset Voltage 2.5 V (ประมาณ)

Sensitivity 13 V/T

เมื่อต่อแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงหรือเซลล์ไฟฟ้า 4.5-6 โวลต์ เข้ากับขา 1 และขา 2 และ ต่อ โวลต์มิเตอร์เข้ากับขา 2 และขา 3 ดังรูปที่ 2.2 โวลต์มิเตอร์จะแสดงค่าประมาณ 2.5 โวลต์ ค่านี้เป็น ความต่างศักย์ขณะที่ไม่มีสนามแม่เหล็ก เรียกว่า Offset Voltage ค่านี้อาจเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อย ขึ้นอยู่กับโวลเตจของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่ต่อกับขา 1 และขา 2 แต่จะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของ โวลเตจของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง



รูปที่ 2.3 การวัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก

เมื่อนำแม่เหล็กเข้าใกล้ Active Area ของตัวรับรู้ฮอลล์ ความต่างศักย์จะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือ ลดลงขึ้นอยู่กับทิศของสนามแม่เหล็ก กล่าวคือถ้านำขั้วใต้เข้าใกล้ ความต่างศักย์จะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ถ้า นำขั้วเหนือเข้าใกล้ ความต่างศักย์จะมีค่าลดลง ความต่างศักย์ที่เปลี่ยนไปมีความสัมพันธ์กับความเข้ม ของสนามแม่เหล็กหรือความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Density) ดังนี้ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$B = (V_{out(B)} - V_{out(0)})S^{-1} \quad (2.1)$$

เมื่อ $V_{out(0)}$ เป็นความต่างศักย์ขณะไม่มีสนามแม่เหล็ก

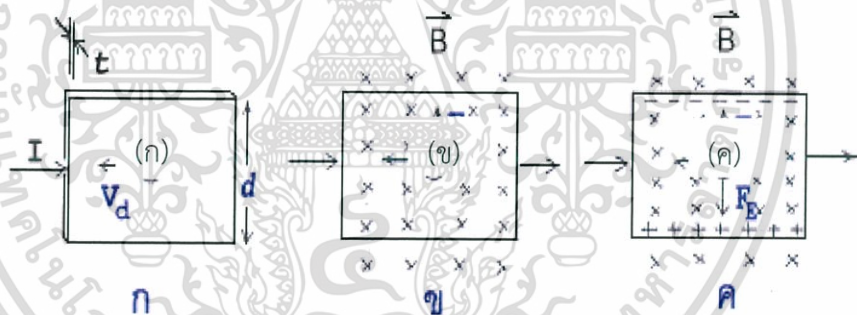
$V_{out(B)}$ เป็นความต่างศักย์ขณะมีสนามแม่เหล็ก

S เป็นสัมประสิทธิ์ฮอลล์ความไว มีหน่วยเป็นโวลต์ต่อเทสลา (V/T)

B สำหรับตัวรับรู้ฮอลล์ที่ใช้ในบทความนี้เป็นความเข้มของสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเทสลา (T)

2.2 ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect)

ใน ค.ศ. 1879 เอ็ดวิน ฮอลล์ (Edwin Hall) นักศึกษามหาวิทยาลัยจอห์น ฮอปคินส์ ซึ่งในขณะนั้นมีอายุ 24 ปี ได้พบว่า เมื่อนำแผ่นตัวนำบางที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านไปวางไว้ในทิศทางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก อิเล็กตรอนภายในตัวนำจะถูกแรงจากแม่เหล็กกระทำ ทำให้เบี่ยงเบนไปจากแนวเดิมได้ และไปสะสมอยู่ที่ด้านหนึ่งของตัวกลางส่งผลให้อนุภาคบวก เคลื่อนไปอยู่ในทิศทางตรงกันข้าม ส่งผลให้ภายในตัวนำเกิดความต่างศักย์ขึ้นมาและทำให้เกิดเป็นสนามไฟฟ้า การค้นพบนี้เรียกว่าปรากฏการณ์ฮอลล์ [2]



รูปที่ 2.4 (ก)-(ค) การเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์[2]

การเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์อาจอธิบายได้โดยใช้รูป 2.4 (ก)-(ค) ดังรูปที่ 2.4 (ก) แสดงแผ่นตัวนำบางที่มีความกว้าง d หนา t และมีกระแสไฟฟ้า (Conventional Current) I ผ่านในทิศทางด้านซ้ายไปด้านขวา พหุประจุคืออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วลอยเลื่อนหรือ Drift Velocity (อิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่มีทิศทางแน่นอนและมีความเร็วเฉลี่ยไม่เป็นศูนย์ v_d) ในทิศตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้า I จากด้านขวาไปด้านซ้าย

รูปที่ 2.4 (ข) เมื่อใส่สนามแม่เหล็ก B ในทิศพุ่งเข้าหาและตั้งฉากกับระนาบแผ่นตัวนำบางหรือกระดาษ จะเกิดแรงแม่เหล็ก F_B กระทำกับอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนเบนไปทางขอบด้านบนของแผ่นตัวนำบาง

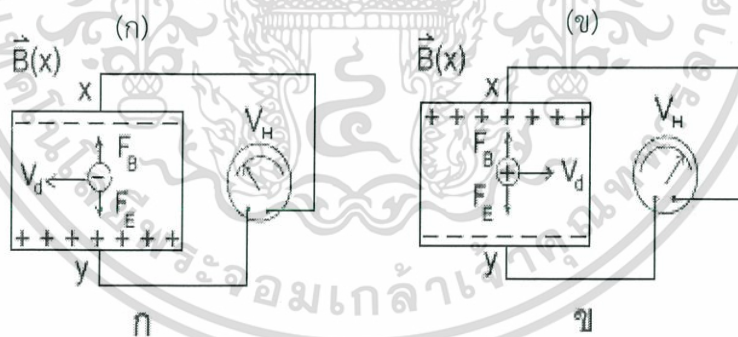
รูปที่ 2.4 (ค) เมื่อเวลาผ่านไปจะมีอิเล็กตรอนถูกผลักไปที่ขอบด้านบนจำนวนมาก ส่วนขอบด้านล่างจะเกิดประจุไฟฟ้าบวกจำนวนมากเช่นกัน การที่มีประจุไฟฟ้าต่างชนิดกันที่ขอบทั้งสอง ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า เรียกว่า สนามไฟฟ้าฮอลล์ (Hall Field) E_H ในแผ่นตัวนำบางมีทิศจากขอบด้านล่างไปขอบด้านบน สนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดแรงไฟฟ้า F_E กระทำกับอิเล็กตรอน ซึ่งจะทำให้อิเล็กตรอนถูกผลักไปทางขอบด้านล่าง เมื่อแรงไฟฟ้าและแรงแม่เหล็กมีขนาดเท่ากัน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ในทิศไปทางซ้ายโดยไม่เบน

สนามไฟฟ้าที่เกิดในแผ่นตัวนำบางมีความสัมพันธ์กับความต่างศักย์หรือโวลเตจ V ดังนี้

$$E_H = \frac{V}{d} \quad (2.2)$$

ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่าความต่างศักย์ฮอลล์ (Hall Potential Difference หรือ Hall Voltage) V_H พบว่า ความต่างศักย์ฮอลล์มีค่ามากที่สุด เมื่อแผ่นตัวนำบางทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน และเจอร์เมเนียม ส่วนตัวนำไฟฟ้าที่ดี ความต่างศักย์ฮอลล์จะมีค่าน้อยกว่ามาก (เหตุผลพิจารณาได้จากสมการที่ (2.7) หรือสมการที่ (2.8) ในตอนท้าย) จากสมการที่ (2.1) จะได้ว่า

$$V_H = E_H d \quad (2.3)$$



รูปที่ 2.5 การวัดความต่างศักย์ฮอลล์ V_H [2]

เราสามารถวัด V_H โดยต่อ มิลลิโวลต์มิเตอร์เข้ากับจุด x และจุด y ดังรูปที่ 2.5 (ก) สภาพขั้วของ V_H ทราบได้จากเครื่องหมายที่อ่านได้จาก มิลลิโวลต์มิเตอร์ จากรูปที่ 2.5 (ก) พาหะประจุคืออิเล็กตรอนจึงมีประจุลบ ถ้าพาหะประจุมีประจุบวก ทิศของ V_d และ E_H จะตรงข้ามกับในรูปที่ 2.5 (ก) แต่ทิศของ F_B และ F_E ยังคงเดิม ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ข) ทำให้ประจุบวกถูกผลักไปที่ขอบด้านขวา ส่วนประจุลบถูกผลักไปที่ขอบด้านซ้าย และสภาพขั้วของ V_H จะตรงข้ามกับกรณีที่มีพาหะประจุประจุลบ จากรูป 2.5 (ค) ขณะที่แรงแม่เหล็กและแรงไฟฟ้ามีขนาดเท่ากัน เราจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}(-e)E_H &= (-e)V_d B \\ E_H &= V_d B\end{aligned}\quad (2.4)$$

จากสมการที่ (2.2) จะได้

$$V_H = V_d B d \quad (2.5)$$

เนื่องจากอัตราเร็วลอยเลื่อน V_d มีค่า

$$V_d = \frac{I}{neA} \quad (2.6)$$

เมื่อ n คือจำนวนพาหะประจุต่อลูกบาศก์เมตร (หรือความหนาแน่นของพาหะประจุ) และ A คือพื้นที่หน้าตัดของแผ่นตัวนำบาง แทนสมการที่ (2.5) ลงในสมการที่ (2.4) จะได้

$$V_H = \frac{IBd}{neA} \quad (2.7)$$

เนื่องจาก $t = \frac{A}{d}$ คือความหนาของแผ่นตัวนำบาง ดังนั้น

$$V_H = \frac{IB}{net} \quad (2.8)$$

สมการที่ (2.7) เขียนได้ใหม่เป็น

$$B = \frac{V_H net}{I} \quad (2.9)$$

ปริมาณ V_H I และ t ในสมการที่ (2.9) หาได้จากการวัด ส่วนค่า n ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำหัววัด วัสดุที่เป็นสารกึ่งตัวนำจะมีจำนวนพาหะประจุน้อยกว่าตัวนำไฟฟ้าที่ดี แต่ก็ยังมีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่สามารถวัดได้ ส่วนฉนวนมีจำนวนพาหะประจุน้อยมาก แต่ก็ยอมให้กระแสไฟฟ้าปริมาณเล็กน้อยผ่าน จากการศึกษาพบว่าสารกึ่งตัวนำที่เจือสิ่งเจือปนมีค่า $n \cong 10^{22} \text{m}^{-3}$ และโลหะทั่วไปมีค่า $n \cong 10^{28} \text{m}^{-3}$ ดังนั้น เราจึงสามารถหาความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กที่ไม่ทราบค่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

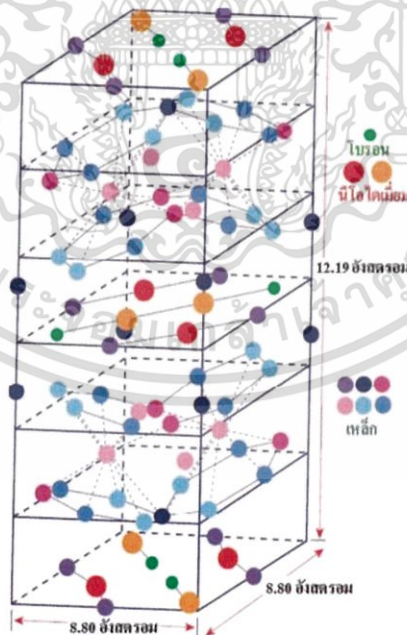
จากสมการที่ (8) ได้ ความเข้มของสนามแม่เหล็กมีหน่วยในระบบเอสไอเป็นเทสลา (Tesla) แทนด้วยสัญลักษณ์ T หน่วยเดิมของความเข้มของสนามแม่เหล็กคือ เกาส์ (Gauss) แทนด้วยสัญลักษณ์ G โดยที่ $1T = 10^4 G$

2.3 แรงแม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก

2.3.1 แม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก

แม่เหล็กเป็นสารที่สามารถดูดและผลักกันเอง โดยสามารถดูดพวกสารแม่เหล็กได้โดยการเหนี่ยวนำ โดยปกติมี 2 ขั้ว คือ ขั้วเหนือ และขั้วใต้

แม่เหล็กถาวรชนิดนีโอไดเมียม (The Permanent Neodymium Magnet) เป็นแม่เหล็กถาวรชนิดพิเศษผลิตจากแร่ Neodymium, Iron, Boron โดยผลิตให้โครงสร้างของเนื้อโลหะผสม (Alloy) เป็นแบบ Tetragonal Crystalline ค่ากำลังสนามแม่เหล็ก 1- 1.4 T Coercivity 750-2000 KA/m อุณหภูมิที่ทำให้สูญเสียความสามารถการเป็นแม่เหล็ก 310-400 เซลเซียส ซึ่งมีค่าของเส้นแรงแม่เหล็กที่สูงมาก มีค่า Br, Max อยู่ที่ 14,300-14,800 G และเมื่อทำการเคลือบเป็นแม่เหล็กแห้งเรียบร้อยแล้วจะมีค่า Gauss on Surface เป็นค่าที่สามารถใช้งานได้จริง อยู่ที่ประมาณ 14,000 G มีคุณสมบัติพิเศษที่เหนือกว่า เกรด Ferrite ตรงที่สามารถดูดโลหะที่เป็น Stainless ได้ ซึ่งแม่เหล็กประเภทนี้จะเหมาะกับงานที่ต้องการความละเอียดในการตรวจจับที่สูง [3]



รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางผลึกของแม่เหล็กนีโอไดเมียม [3]

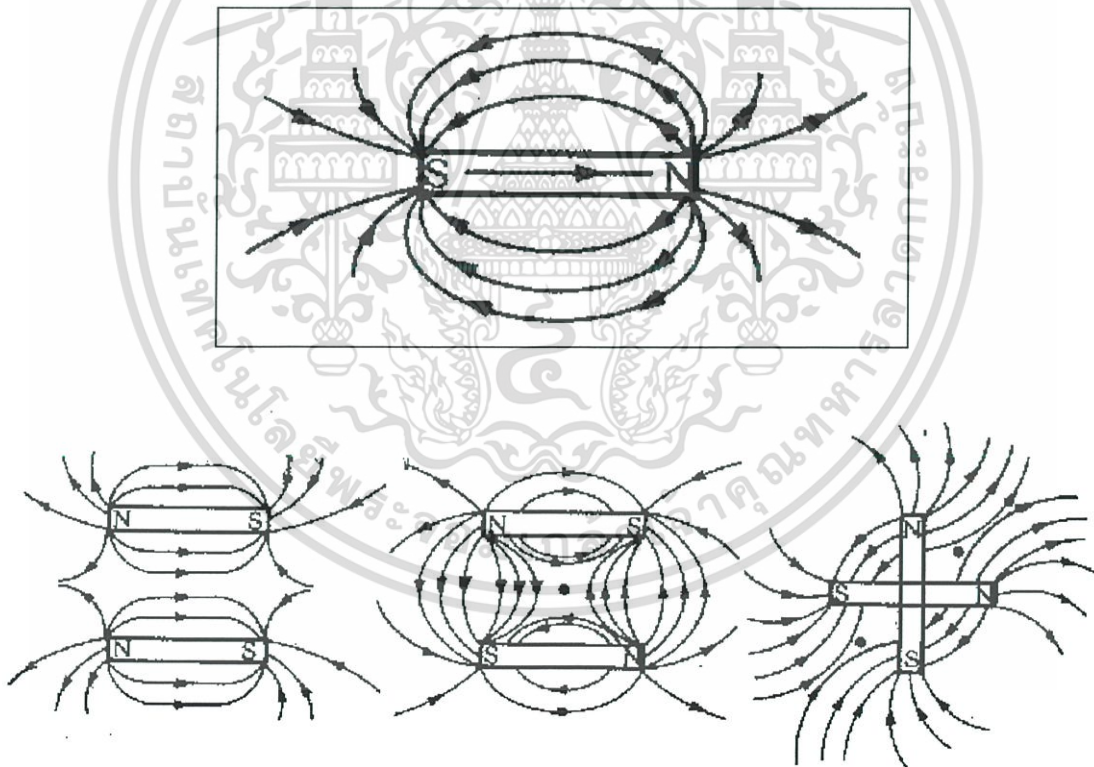
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามแม่เหล็ก คือ บริเวณที่มีอำนาจการกระทำที่เกิดจากแม่เหล็ก มีลักษณะเป็นเวกเตอร์ (Magnetic Field Vector) มีสัญลักษณ์เป็น \vec{B} เรียกอีกชื่อว่า อำนาจแม่เหล็กชักนำ (Magnetic Induction) ซึ่งเป็นอำนาจของเส้นแรงชักนำ (Line of Induction) ซึ่งเป็นเวกเตอร์ เรียกว่าฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux) มีสัญลักษณ์เป็น ϕ มีหน่วยในการวัดเป็น Weber

สำหรับรอบ ๆ แท่งแม่เหล็ก อำนาจแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กแต่ละแท่งจะมีค่าไม่เท่ากัน แต่แต่ละแห่งความแรงของสนามแม่เหล็กจะมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากสนามแม่เหล็กนั้นเรามองไม่เห็นจึงมีทฤษฎีเกี่ยวกับเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นแบบเดียวกับทฤษฎีของเส้นแรงไฟฟ้า หลักเกี่ยวกับเส้นแรงแม่เหล็กที่ควรทราบ คือ [3]

1. ภายนอกแท่งแม่เหล็ก เส้นแรงแม่เหล็กจะมีทิศพุ่งออกจากขั้วเหนือ (N) และพุ่งเข้าสู่ขั้วใต้ (S) เสมอ

2. ภายในแท่งแม่เหล็ก เส้นแรงแม่เหล็กจะมีทิศจากขั้ว S พุ่งเข้าสู่ขั้ว N เสมอ ลักษณะเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากแท่งแม่เหล็ก 2 แท่งซึ่งวางไว้ในลักษณะต่าง ๆ



รูปที่ 2.7 เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากแท่งแม่เหล็ก 2 แท่งซึ่งวางไว้ในลักษณะต่าง ๆ [3]

2.3.2 การคำนวณสนามแม่เหล็ก

สนามแม่เหล็กเป็น " อาณาบริเวณที่มีเส้นแรงแม่เหล็กพุ่งผ่าน " ถ้าบริเวณใดมีจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กผ่านมากบริเวณนั้นจะมีความแรง หรือความเข้มสนามแม่เหล็กสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นแรงแม่เหล็กจะมีทิศพุ่งออกจากขั้วแม่เหล็กขั้วเหนือ ไปยังขั้วแม่เหล็กขั้วใต้
ความแรงของสนามแม่เหล็ก อาจจะถูกกำหนดดังนี้ "จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อ 1 หน่วยพื้นที่ที่มี
เส้นแรงแผ่น" คือ ค่าของสนามแม่เหล็กที่จุดนั้น

ถ้า ϕ เป็นจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก หน่วย Weber

ถ้า A เป็นพื้นที่หน้าตัดของบริเวณที่เส้นแรงแผ่น หน่วย ตารางเมตร

และ B เป็นสนามแม่เหล็ก

$$B = \frac{\phi}{A} \quad (2.10)$$

$$BA = \phi \quad (2.11)$$

จะเห็นว่าหน่วยของสนามแม่เหล็ก คือ Weber / m² ซึ่งเราเรียกใหม่ว่า Tesla

หมายเหตุ 1) ϕ อ่านว่า Phi, ϕ คือ Magnetic Flux หรือเส้นแรงแม่เหล็ก

2) $\frac{\phi}{A}$ เรียกว่า ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก หรือ Magnetic Flux Density

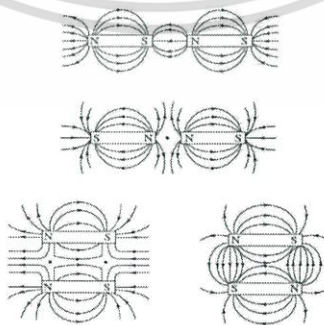
สนามแม่เหล็ก \vec{B} เป็นปริมาณเวกเตอร์ ทิศของ \vec{B} จะไปตามทิศของเส้นแรงแม่เหล็ก ดังต่อไปนี้ คือ

ก) ในกรณีที่เส้นแรงแม่เหล็กเป็นเส้นตรง ทิศของ \vec{B} จะมีทิศเดียวกับทิศของเส้นตรง

ข) ในกรณีที่เส้นแรงแม่เหล็กเป็นเส้นตรง ทิศของ \vec{B} ที่จุดใด ๆ จะมีทิศสัมผัสกับเส้นแรงแม่เหล็กที่จุดนั้นโดยมีทิศไปตามแนวเส้นแรงแม่เหล็ก

2.3.3 ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กและจุดสะเทิน

จุดสะเทิน (Neutral Point) ถ้ามีสนามแม่เหล็ก (\vec{B}) มากกว่าหนึ่งสนามในบริเวณเดียวกัน
สนามแม่เหล็กต่าง ๆ ในบริเวณนั้น อาจจะถูกหักล้างกันจนเป็นศูนย์ก็ได้โดยตำแหน่งนั้นจะเรียกว่าจุดที่
ทำให้เป็นจุดสะเทินโดยลักษณะของเส้นแรงแม่เหล็ก เมื่อนำแท่งแม่เหล็กมาวางไว้ใกล้กัน



รูปที่ 2.8 เส้นแรงแม่เหล็กเมื่อนำแท่งแม่เหล็กมาวางไว้ใกล้กัน [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ทฤษฎีการเคลื่อนที่แบบหมุน

2.4.1 ลักษณะการเคลื่อนที่แบบหมุน

การศึกษาการเคลื่อนที่แบบหมุน วัตถุที่เราศึกษาจะเป็นวัตถุที่มีรูปทรงแน่นอน เรียกว่า วัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body)

วัตถุจะเคลื่อนที่แบบหมุนได้ จะต้องมีโมเมนต์ของแรงหรือ ทอร์ก (Torque) ที่ไม่เป็นศูนย์มากระทำต่อวัตถุ ซึ่งแนวแรงที่กระทำต่อวัตถุจะต้องไม่ผ่านศูนย์กลางมวลของวัตถุ

การพิจารณาการเคลื่อนที่แบบหมุนในที่นี้ จะศึกษาเฉพาะการหมุนของวัตถุรอบแกนหมุนที่อยู่นิ่งกับที่ หรือหมุนรอบแกนหมุนที่มีการเคลื่อนที่ไป ซึ่งกรณีนี้จะเห็นว่าระนาบการหมุนจะตั้งฉากกับแกนหมุนเสมอ

2.4.2 การกระจัดเชิงมุม ความเร็วเชิงมุม และความเร่งเชิงมุม

การกระจัดเชิงมุม ($\bar{\theta}$) คือมุมที่วัตถุหมุนกวาดไปได้ทั้งหมด มีหน่วยเป็นเรเดียน

การกระจัดเชิงมุมเป็นปริมาณเวกเตอร์ จะหาทิศของการกระจัดเชิงมุมได้จากการ ใช้มือขวา กำรอบแกนหมุน ให้นิ้วทั้งสี่ชี้ไปทางเดียวกับทิศของการหมุน นิ้วหัวแม่มือขวาที่ทาไปตามแกนหมุน จะชี้เป็นทิศของการกระจัดเชิงมุม [6]

สำหรับความยาวส่วนโค้งที่วัตถุหมุนไปได้ เรียกว่า การกระจัดเชิงเส้น (S)

ความเร็วเชิงมุม ($\bar{\omega}$) คือ การกระจัดเชิงมุมที่วัตถุหมุนได้ใน 1 วินาที มีหน่วยเป็นเรเดียน/วินาที

$$\bar{\omega} = \frac{\bar{\theta}}{t} \quad (2.12)$$

ความเร็วเชิงมุมเป็นปริมาณเวกเตอร์ มีทิศเดียวกับทิศของการกระจัดเชิงมุม

สำหรับความเร็วที่มีทิศสัมผัสกับวงกลมการหมุน เรียกว่า ความเร็วเชิงเส้น (V)

ความเร่งเชิงมุม ($\bar{\alpha}$) คือ ความเร็วเชิงมุมที่เปลี่ยนไปใน 1 วินาที มีหน่วยเป็น เรเดียน/วินาทียกกำลังสอง

$$\bar{\alpha} = \frac{\Delta \bar{\omega}}{\Delta t} = \frac{\bar{\omega} - \bar{\omega}_0}{\Delta t} \quad (2.13)$$

ความเร่งเชิงมุม ($\bar{\alpha}$) เป็นปริมาณเวกเตอร์ โดยจะหาทิศทางของความเร่งเชิงมุม โดยใช้กฎมือขวาดังนี้

- 1) ถ้าวัตถุหมุนเร็วขึ้น ให้กำนิ้วมือขวาตามทิศการหมุนของวัตถุ นิ้วหัวแม่มือขวาจะชี้เป็นทิศของความเร่งเชิงมุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) ถ้าวัตถุหมุนช้าลง ให้กำลังนี้มีมือขวาตรงข้ามทิศการหมุนของวัตถุ นิ้วหัวแม่มือขวาจะชี้เป็นทิศของความเร่งเชิงมุม
- 3) สำหรับความเร่งที่มีทิศสัมผัสกับวงกลมการหมุน เรียกว่า ความเร่งเชิงเส้น (α, α_T)

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเชิงเส้นกับปริมาณเชิงมุม

ปริมาณ	ปริมาณเชิงเส้น	ปริมาณเชิงมุม	ความสัมพันธ์
การกระจัด	s	θ	$s = \theta R$
ความเร็ว	v	ω	$v = \omega R$
ความเร่ง	a	α	$a = \alpha R$

2.4.3 สูตรการหาปริมาณต่างๆของการเคลื่อนที่แบบหมุน

ถ้าวัตถุหมุนด้วยความเร่งเชิงมุม α คงที่ เริ่มหมุนโดยมีความเร็วเริ่มต้นเป็น ω_0 เมื่อเวลาผ่านไป t จะหมุนได้กระจัดเชิงมุมเป็น θ และจะมีความเร็วเชิงมุมขณะนั้นเป็น ω

จะสรุปสูตรการเคลื่อนที่แบบหมุนเปรียบเทียบกับสูตรการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงได้ดัง

ตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบการเคลื่อนที่แบบหมุน และสูตรการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 โมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of Inertia)

โมเมนต์ความเฉื่อย (I) เป็นความเฉื่อยของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบหมุน ซึ่งเป็นสมบัติที่จะต้านการเปลี่ยนสภาพการหมุนของวัตถุ ถ้าวัตถุมีโมเมนต์ความเฉื่อยมาก วัตถุจะหมุนช้า [6]

ถ้าอนุภาคมวล $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$

อยู่ห่างแกนหมุนเป็นระยะ $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$

จะหาโมเมนต์ความเฉื่อยของระบบได้จาก



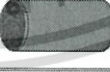



$$\begin{aligned} I &= m_1 R_1^2 + m_2 R_2^2 + m_3 R_3^2 + \dots \\ &= \sum m R^2 \end{aligned} \quad (2.14)$$

โมเมนต์ความเฉื่อยเป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วย $kg \cdot m^2$

ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยจะขึ้นอยู่กับแกนหมุนด้วย วัตถุก้อนเดียวกันถ้าหมุนรอบแกนหมุนที่ต่างกัน จะมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยต่างกันด้วย

กรณีที่วัตถุมีรูปร่างต่างๆ โมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุจะมีค่าขึ้นอยู่กับรูปร่างของวัตถุนั้น เช่น โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนที่ผ่านจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุบางชนิดที่ควรทราบ มีดังนี้

ตารางที่ 2.3 โมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุรูปร่างต่างๆ [6]

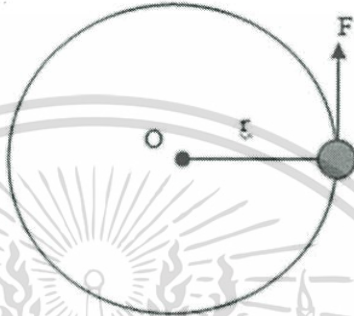
รูปร่างวัตถุ	แกนหมุน	รูป	โมเมนต์ความเฉื่อย I
ทรงกลมตัน มวล m รัศมี R	รอบแกนผ่านศูนย์กลาง		$I = \frac{2}{5} mR^2$
ทรงกลมกลวง มวล m รัศมี R	รอบแกนผ่านศูนย์กลาง		$I = \frac{2}{3} mR^2$
ทรงกระบอกตัน มวล m รัศมี R ยาว L	รอบแกนของทรงกระบอก		$I = \frac{1}{2} mR^2$
แผ่นกลมบาง มวล m รัศมี R	รอบแกนผ่านศูนย์กลาง ตั้งฉากกับแผ่น		$I = \frac{1}{2} mR^2$
แผ่นกลมบาง มวล m รัศมี R	รอบแกนผ่านศูนย์กลาง บนระนาบของแผ่น		$I = \frac{1}{4} mR^2$
แท่งวัตถุเล็ก มวล m ยาว L	รอบแกนผ่านศูนย์กลาง มวล ตั้งฉากกับแท่ง		$I = \frac{1}{12} mR^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 ทอร์ก (Torque)

ทอร์กมีความหมายเดียวกับโมเมนต์ (ทางฟิสิกส์นิยมใช้ทอร์กและทางวิศวกรรมนิยมใช้โมเมนต์)

อนุภาคมวล m ติดอยู่กับปลายแท่งวัตถุเล็ก ๆ เบาล ยาว R อีกปลายหนึ่งของแท่งวัตถุตั้งอยู่กับจุด O คือเกิดทอร์กกระทำต่อวัตถุ



รูปที่ 2.9 การเกิดทอร์กของวัตถุมวล m

สูตรการคำนวณหาทอร์กที่เกิดขึ้น

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

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

ถ้ามีทอร์กกระทำต่อวัตถุหลายค่า ในการคำนวณหาผลรวมของทอร์กที่กระทำต่อวัตถุ จะต้องกำหนดทิศทางใดทิศทางหนึ่งเป็นบวก เช่น กำหนดทอร์กในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเป็นบวก จะได้ทอร์กในทิศตามเข็มนาฬิกาเป็นลบ และจะหาผลรวมของทอร์กที่เกิดขึ้นกับวัตถุได้จาก $\sum \tau = \tau_+ - \tau_-$ และจากสมการดังกล่าวข้างต้นจะเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\sum \vec{\tau} = I\vec{\alpha} \quad \text{เมื่อ} \quad I = \sum mR^2 \quad (2.15)$$

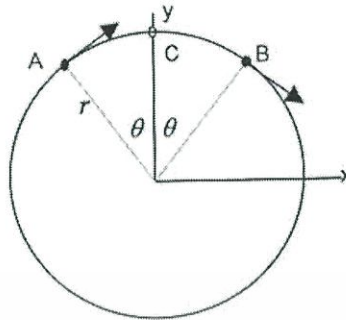
การคำนวณในกรณีที่ว่าวัตถุมีการหมุนรอบจุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์กลางมวลมีการเคลื่อนที่ไปจากเดิมด้วย มีหลักการคำนวณคือ จะต้องคำนวณ 2 ขั้นตอน ได้แก่ [6]

1. การเคลื่อนที่ใช้สูตร $\sum \vec{F} = m\vec{a}$
2. การหมุนใช้สูตร $\sum \vec{\tau} = I\vec{\alpha}$

และโยงทั้งสอง ความสัมพันธ์ นั้นด้วยสูตร $a = \alpha R$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6 งานและกำลังของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบหมุน



รูปที่ 2.10 การหางานและกำลังงานสำหรับการเคลื่อนที่แบบหมุน

งาน = ทอร์ก \times ระยะทางเชิงมุมรอบแกนทอร์ก

$$W = \tau\theta$$

(2.16)

$$P = \frac{W}{t} = \tau\omega$$

2.5 ทฤษฎีการตรวจวัดการสั่นสะเทือน

ปัจจุบัน เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือน แบบพกพา (Vibration Meter) เป็นเครื่องมือที่ถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบความผิดปกติของเครื่องจักร โดยอาศัยขนาดการสั่นสะเทือน (Vibration Amplitude) กับมาตรฐานการสั่นสะเทือน แล้วนำมาประเมินว่าเครื่องจักรนั้นทำงานปกติหรือผิดปกติ เพื่อจะได้วางแผนงานบำรุงรักษาต่อไป โดยเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนแบบพกพา (Vibration Meter) หรือที่หลายๆคนรู้จักกันในชื่อ Vibration Meter เป็นเครื่องมือที่ใช้งานง่าย และสะดวกจึงเหมาะกับผู้เริ่มต้นตรวจสอบสภาพเครื่องจักร แต่ถึงกระนั้นผู้ที่ใช้เครื่องมือวัดชนิดนี้ควรเตรียมตัวเบื้องต้นเพื่อจะได้ใช้เครื่องมือได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนี้

ควรมีความรู้เกี่ยวกับมาตรฐานการวัดการสั่นสะเทือน อาทิเช่น ISO 2373:1974, ISO 10816-1 หรือ ISO 10816-3 ในที่นี้อ้างอิงโดยมาตรฐาน ISO 10816-1 เป็นมาตรฐานในการบอกระดับความรุนแรงด้านการสั่นสะเทือน โดยมีเงื่อนไขการใช้งานเบื้องต้น มีดังนี้ [7]

- ย่านความถี่ 10 – 1000 Hz
- แอมพลิจูด หน่วย mm/sec, rms (ความเร็ว)
- โดยเครื่องจักรต้องมีความเร็วของเพล่า ไม่น้อยกว่า 120 รอบต่อนาที

โดยค่าระดับของ ISO 10816 Part 1 ดังแสดงตาราง 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ค่ามาตรฐาน ISO 10816-1, Mechanical vibration [7]

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

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

Class I: สำหรับเครื่องจักรที่มีกำลัง ไม่เกิน 15 kW

Class II: สำหรับเครื่องจักรขนาดกลางที่มีกำลัง ตั้งแต่ 15 kW ถึง 75 kW

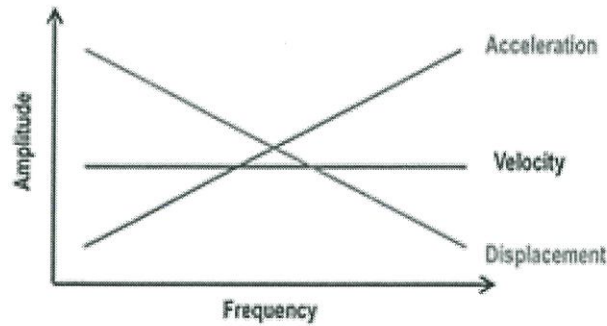
Class III: สำหรับเครื่องจักรขนาดใหญ่ที่มีฐานแบบ Rigid มีกำลัง ไม่เกิน 300 kW

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

ตารางที่ 2.5 ระดับความเสียหาย [7]

A	เครื่องจักรใหม่เพิ่งใช้งาน
B	เครื่องจักรเริ่มมีการสั่นสะเทือน ส่งผลเสียระยะยาว
C	เครื่องจักรมีการสั่นสะเทือนรุนแรง ถ้าปล่อยไว้จะส่งผลเสียในเวลาอันสั้น
D	เครื่องจักรมีการสั่นสะเทือนแรงมาก เกิดความเสียหายในฉุกเฉิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยวัดการสั่นสะเทือนกับความถี่ [7]

จากรูปที่ 2.11 ในการประเมินความเสียหายของเครื่องจักรด้วยการตรวจวัดการสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็ว เหมาะสำหรับการประเมินระดับความเสียหายตามมาตรฐาน ISO 10816 เนื่องจากความถี่ไม่มีผลกับขนาดการสั่นสะเทือน ส่วนหน่วยความเร่งใช้ตรวจสอบความผิดปกติของตลับลูกปืนและชุดเกียร์ว่ามีความเสียหายเกิดขึ้นหรือยัง เพราะความเสียหายของตลับลูกปืนและชุดเกียร์ เมื่อเริ่มเสียหายจะส่งสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ความถี่สูงซึ่งจะสูงกว่า 500 เฮิรตซ์ออกมา

ถ้าสามารถตรวจพบได้ก่อนจะทำให้เราเตรียมตัว วางแผนงานได้ดียิ่งขึ้น ถ้าผู้ใช้ใช้แต่หน่วยความเร็ว อาจจะไม่ทันการในการป้องกันความเสียหายของตลับลูกปืนก็เป็นได้ ดังตารางที่ 2.6

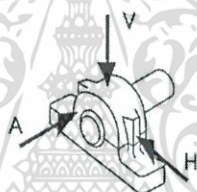
ตารางที่ 2.6 ความสัมพันธ์ ระหว่างหน่วยการสั่นสะเทือนกับสมมติฐานความเสียหายของเครื่องจักร [7]

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 ²	ตรวจสอบสภาพแบร์ริง, การทำงานของชุดเกียร์	การขาดการหล่อลื่น, ความเสียหายจากลูกปืน, ความเสียหายจากเกียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยวัดการ สั้นสะเทือน	จุดประสงค์	สมมติฐานความ เสียหาย	หน่วยวัดการ สั้นสะเทือน
หน่วยสำหรับ ตรวจสอบแบร์ริง	gE (Envelope) BDU (Bearing Damage Unit)	ตรวจสอบสภาพแบร์ริง, ความผิดปกติของชุด เกียร์ ตั้งแต่ความ เสียหายยังไม่รุนแรง	การขาดการหล่อลื่น, ความเสียหายจาก ลูกปืน, ความเสียหาย จากเกียร์ ในช่วง เริ่มต้นของความ เสียหาย

กำหนดตำแหน่งการวัดและทิศทางการวัดให้เหมาะสม ซึ่งปกติตำแหน่งการวัดการสั้นสะเทือนจะทำการวัดที่ตำแหน่งแบร์ริง ในทิศทางแบบ 3 แกนคือ แกนแนวนอน (Horizontal) ,แกนแนวตั้ง (Vertical) และ แนวแกน (Axial) ดังรูปที่ 2.12

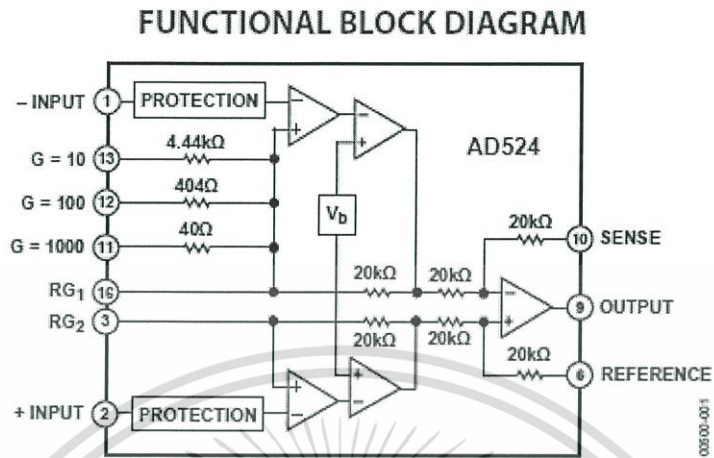


รูปที่ 2.12 ตัวอย่างทิศทางการวัดการสั้นสะเทือนบริเวณแบร์ริง (H-Horizontal, V-Vertical, A- Axial) [7]

การเขียนรายงาน การกำหนด ค่าเตือนภัยต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่ผู้เริ่มต้นการใช้งานจะใช้โปรแกรม Excel ในการสร้างข้อมูลสำหรับรุ่น vPOD II หรือ ถ้าต้องการซอฟต์แวร์ที่สามารถเก็บข้อมูลในรูปแบบฐานข้อมูล สำหรับรุ่น TPI 9080 ปัจจุบันก็มีเครื่องมือที่สามารถตอบสนองความต้องการเราได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 วงจร Instrument Amplifier AD524

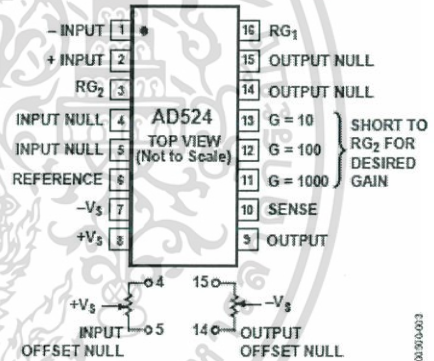


รูปที่ 2.13 วงจรภายใน AD524

Features

- Low noise : 0.3 μV p-p at 0.1 Hz to 10 Hz
- Low nonlinearity: 0.003% ($G = 1$)
- High CMRR: 120 dB ($G = 1000$)
- Low offset voltage: 50 Mv
- Low offset voltage drift: 0.5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- Gain bandwidth product: 25 MHz
- Pin programmable gains of 1, 10, 100, 1000
- Input protection, power-on/power-off
- No external components required
- Internally compensated
- MIL-STD-883B and chips available
- leadless chip carrier available

CONNECTION DIAGRAMS



รูปที่ 2.14 พอร์ตในการเชื่อมต่อของ AD524

- Available in tape and reel in accordance with EIA-481A
- Standard military drawing also

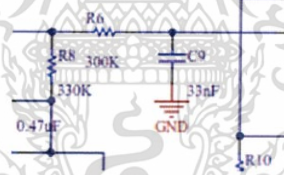
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 ลักษณะโดยทั่วไป

AD524 ถูกออกแบบมาสำหรับข้อมูลที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง โดยมีค่า Offset ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ต่ำ มีการรบกวนต่อสัญญาณข้อมูลในระดับต่ำ

AD524 มีค่า Offset ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าขาออก น้อยกว่า $25 \mu V / ^\circ C$ และค่า Offset ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าขาเข้า น้อยกว่า $0.5 \mu V / ^\circ C$, ค่า CMR (Common – Mode Rejection Ratio, อัตราการกำจัดสัญญาณโหมตร่วม) เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของออปแอมป์แสดงถึงการกำจัดสัญญาณโหมตร่วมที่เข้ามาที่ภาคอินพุต หมายความว่าหากออปแอมป์มีสัญญาณโหมตร่วมเข้ามาที่อินพุต สัญญาณดังกล่าวจะไม่ถูกขยายไปยังเอาต์พุตหรือถูกกำจัดทิ้งไป หมายความว่ายิ่งค่า CMRR สูงเท่าไรสัญญาณรบกวนจะถูกกำจัดมากขึ้นเท่านั้น ในที่นี้อยู่ที่ 120 dB ที่อัตราขยายเท่ากับ 1000 มีช่วงกว้างของสัญญาณอยู่ที่ 25kHz ที่อัตราขยาย 1000 เท่า สำหรับการทำงานในระบบข้อมูลที่มีความเร็วสูง จะมีค่าเอาต์พุต ของ Slew Rate (ความสามารถในการให้เอาต์พุต เพื่อไล่ให้ทันการเปลี่ยนแปลงทางอินพุต) อยู่ที่ $5 v / \mu s$ สำหรับอัตราขยายที่ 1, 10, 100, 1000 สามารถทำได้โดยไม่ต้องต่อตัวต้านทานเพิ่ม มีระบบการป้องกันการในระหว่างการเปิด ปิด ที่ผิดปกติ

2.7 วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass filter)



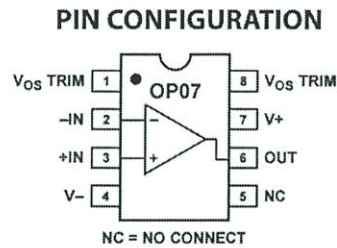
รูปที่ 2.15 ตัวอย่างการต่อวงจรกรองความถี่ต่ำ

จากการออกแบบเราต้องการความถี่ต่ำผ่านที่ 16 Hz ดังนั้น เมื่อเลือกใช้ $R = 300k \Omega$ และขนาด C สามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} c &= \frac{1}{2\pi fR} \\ &= \frac{1}{2\pi(16)(300k)} \\ &= 33nF \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 Ultralow Offset Voltage Operational Amplifier OP07



รูปที่ 2.16 ส่วนประกอบของ OP07

ตารางที่ 2.7 ตำแหน่งและหน้าที่แต่ละ Port ของ OP07

PIN		DESCRIPTION
NAME	NO.	
IN+	3	Noninverting input
IN-	2	Inverting input
NC	5	Do not connect
Offset1	1	External input offset voltage adjustment
Offset	2	External input offset voltage adjustment
V+	7	Positive supply
V-	4	Negative supply

2.8.1 ลักษณะโดยทั่วไป

OP07 มีค่าแรงดันขาเข้าที่มีค่า Offset ต่ำอีกทั้งยังมี High Open Loop Gain เป็น IC ที่ไม่จำเป็นต้องการองค์ประกอบภายนอกมาเป็นส่วนประกอบก็สามารถทำงานได้ มีการชดเชยความถี่ด้วยอีกทั้งยังมีค่าของแรงเคลื่อนไฟฟ้าขาออกที่คงที่ตลอดของช่วงอุณหภูมิแวดล้อมที่แนะนำ (0 ถึง 70 องศาเซลเซียส) โดยทั้งที่กล่าวมานี้ OP07 จึงเหมาะสมที่จะเป็น High Gain Instrument

2.9 Arduino UNO R3

Arduino Uno R3 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัว บอร์ด Arduino ถูกออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

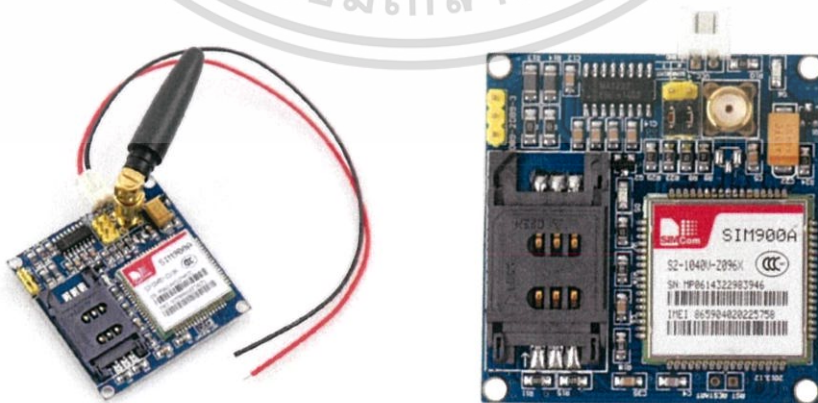
มาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติมพัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย [9]

ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่าง ๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจร อิเล็กทรอนิกส์ จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด หรือเพื่อความสะดวกสามารถ เลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่าง ๆ เช่น Arduino X Bee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลยเนื่องจากอูโน่ UNO R3 นั้นง่ายต่อการพัฒนา มีรูปแบบคำสั่งพื้นฐาน ไม่ซับซ้อนเป็น Open Hardware สามารถนำไปต่อยอด ได้ อีกทั้งยังมีราคาถูก



รูปที่ 2.17 โครงสร้างบอร์ดของอาดูโน่

2.10 GSM SIM 900A Module



รูปที่ 2.18 บอร์ด GSM SIM 900A Module [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นโมดูลการสื่อสารไร้สายที่ทำให้ Arduino มีความสามารถเหมือนโทรศัพท์ ที่สามารถโทรเข้า/โทรออก รับสาย/วางสาย ส่ง SMS ส่งคำสั่ง ussd เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต หรือทำงานต่าง ๆ ได้เหมือนโทรศัพท์มือถือ สามารถเพิ่มความสามารถโทรศัพท์มือถือนี้ลงไปให้กับ Arduino ได้ง่าย ๆ เพียงแค่เสียบหรือต่อ SIM Module ลงไป

SIM900 Module นี้สามารถติดต่อกับ Arduino ได้ผ่านทางอินเตอร์เฟส UART หรือทางขา RX, TX ใช้สายสัญญาณ 2 เส้น โดยคำสั่งที่ติดต่อเรียกว่าคำสั่ง AT Command

หมายเหตุ : การใช้งานบอร์ดจะมีขาจัมเปอร์ให้เซตว่าจะเลือก RX และ TX เป็นขาอะไร ในกรณีนี้ใช้ไลบรารี SIM900 ซึ่งขา RX และ TX เป็นขา 2 และ 3 ตามโปรแกรมในไลบรารีที่เซตไว้ โดยสิ่งที่ทำให้เลือกใช้ GSM SIM 900 A เนื่องจากต้องการพัฒนาให้ Arduino UNO R3 มีความสามารถในการส่งข้อความเพื่อนแจ้งเตือนผู้ใช้งานในรูปแบบของ SMS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

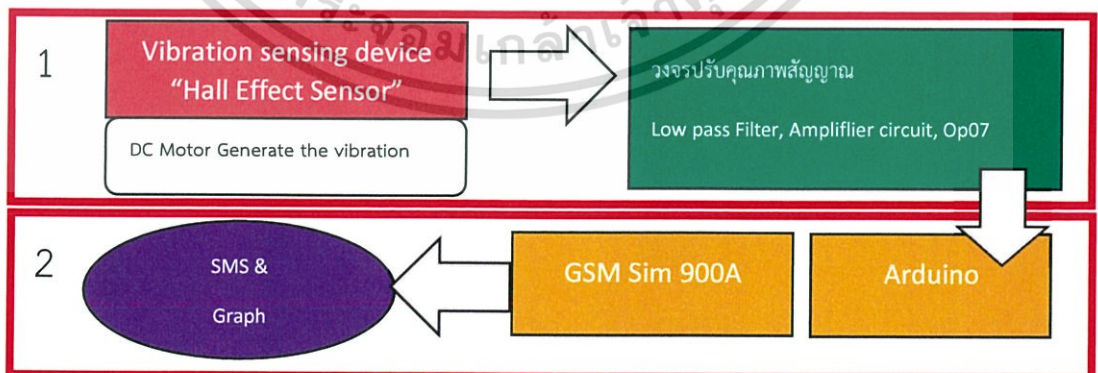
บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ

ในส่วนของวิธีดำเนินการจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) ภาพรวมของระบบ จะแสดงให้เห็นว่าทั้งหมดของโครงการนี้ในเรื่องของ การวัดการสั่นสะเทือนนั้นตั้งแต่การรับค่าการสั่นสะเทือนมาแล้วจัดการอย่างไรต่อรวมถึงขั้นตอนลระรูปแบบในการแสดงผล 2) รายละเอียดและส่วนประกอบโดยละเอียดของเครื่องมือวัดว่าประกอบด้วยอะไรบ้าง, รูปแบบต่างๆในการพัฒนาเครื่องมือวัดตั้งแต่ต้นอีกทั้งยังแสดงขั้นตอนลำดับในการทำงานของการประมวลผลทางด้านโปรแกรมด้วย

3.1 องค์ประกอบและการทำงานโดยรวมของระบบ

ระบบการวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ 1) ส่วนตรวจจับการสั่นสะเทือน, วงจรขยายสัญญาณ 2) ส่วนรับสัญญาณ, ประมวลผล และแสดงผลระยะไกลผ่านระบบข้อความ ซึ่งในบทนี้จะแสดงให้เห็นถึงภาพรวมของการทำงานขององค์ประกอบทั้งสอง ที่ใช้ในการวัดค่าการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร จากนั้นส่งแสดงข้อมูลที่วัดได้ทางระบบ SMS เพื่อติดตามผลการวัดผ่านทางไกล กระบวนการทำงานของระบบวัดการสั่นสะเทือนเป็นดังนี้ เมื่อนำเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนที่ออกแบบโดยอาศัยหลักการของแรงแม่เหล็กที่ส่งจากแม่เหล็กบริเวณส่วนหัว และท้ายมายังก่อนแม่เหล็กตรงกลางติด Hall Effect Sensor ที่บริเวณแม่เหล็กตรงกลางที่ลอยอยู่อันเนื่องจากแรงแม่เหล็ก เมื่อเครื่องจักรที่เราเอาไปวัดเกิดการสั่นสะเทือนจะทำให้แม่เหล็กตรงกลางสั่นตามไปด้วย จากนั้นนำค่าที่ Hall Effect Sensor สามารถจับได้ผ่านวงจขยายสัญญาณ (AD524) และส่งเข้าสู่หน่วยประมวลผล Arduino เพื่อทำการประมวลผลและส่งไปยัง GSM SIM 900A Module เพื่อส่งข้อมูลในระยะไกล ผ่านระบบ SMS



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของชุดการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

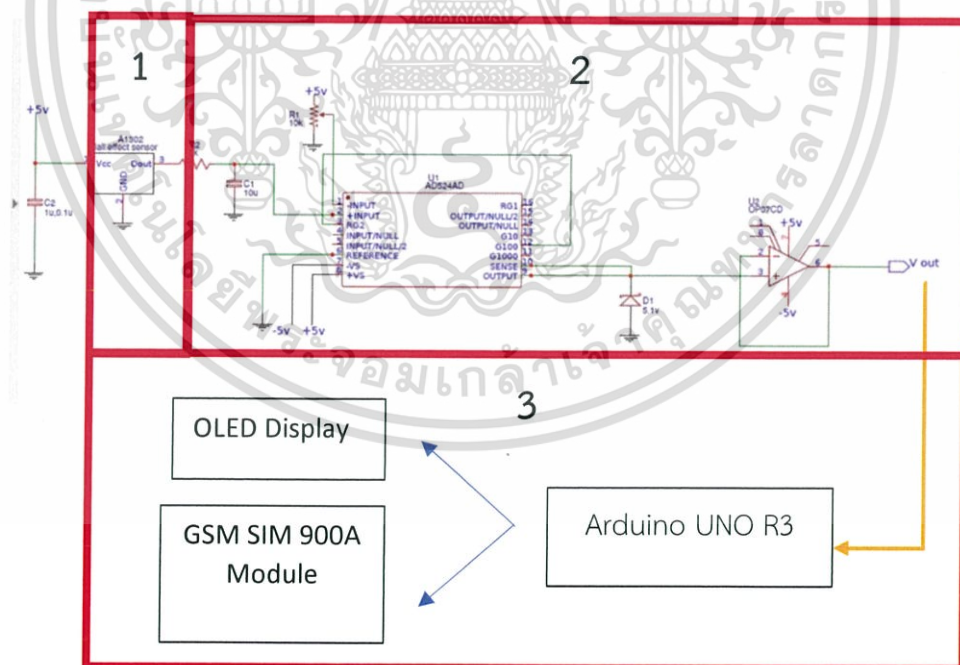
จากรูปที่ 3.1 จะเป็นการแสดงการทำงานโดยรวมตั้งแต่รับค่าการสั่นสะเทือนและประมวลผล ไปจนถึงการแสดงผล โดยในส่วนของ การรับการสั่นสะเทือนนั้นจะมีการออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดเอง โดยใช้ Hall Effect Sensor ในการตรวจจับสัญญาณ ก่อนจะนำสัญญาณไปผ่านกระบวนการปรับตั้ง ค่าโดยจะผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ, วงจรขยายสัญญาณและวงจรปรับคุณภาพสัญญาณ ก่อนจะถูกส่ง มายังหน่วยประมวลผลคือ Arduino UNO R3 และส่งสัญญาณแจ้งเตือน SMS ด้วย GSM SIM 900A อีกทั้งยังแสดงผลในรูปแบบของกราฟอีกด้วย

3.2 รายละเอียดการออกแบบส่วนต่างๆของระบบ

รายละเอียดการออกแบบทั้งหมดแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของฮาร์ดแวร์ที่ใช้ตรวจจับ การสั่นสะเทือน และส่วนของซอฟต์แวร์

3.2.1 การออกแบบส่วนฮาร์ดแวร์

ในส่วนของฮาร์ดแวร์ของระบบวัดการสั่นสะเทือน สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือส่วนของ 1) อุปกรณ์ตรวจจับการสั่นสะเทือน 2) ส่วนของวงจรปรับคุณภาพของสัญญาณ (วงจรขยายสัญญาณ, วงจรกรองความถี่ต่ำและวงจรปรับสภาพสัญญาณ) 3) ส่วนของหน่วยประมวลผลและส่งข้อมูลขึ้นแสดงผลเป็นกราฟและส่งข้อความในการแจ้งเตือน

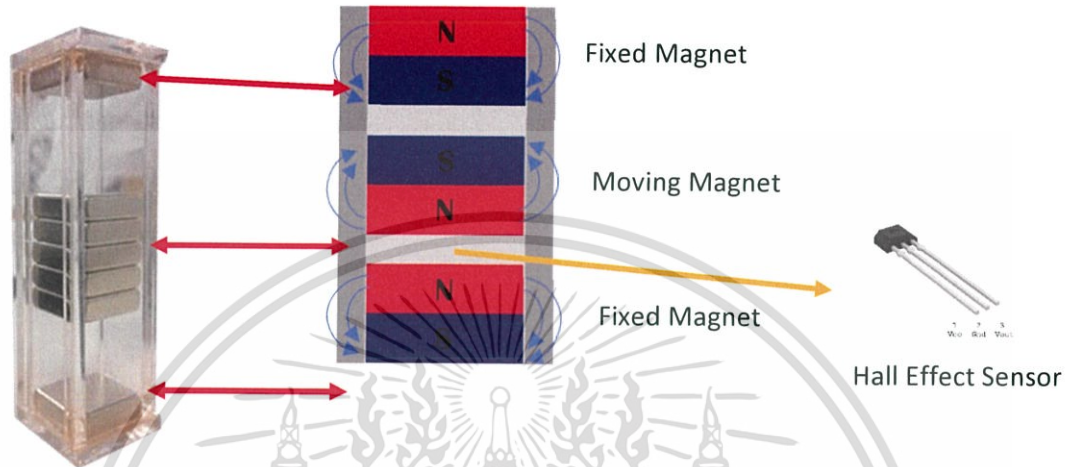


รูปที่ 3.2 วงจรรวมของระบบส่วนฮาร์ดแวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.1 ส่วนของอุปกรณ์ตรวจวัดการสั่นสะเทือน

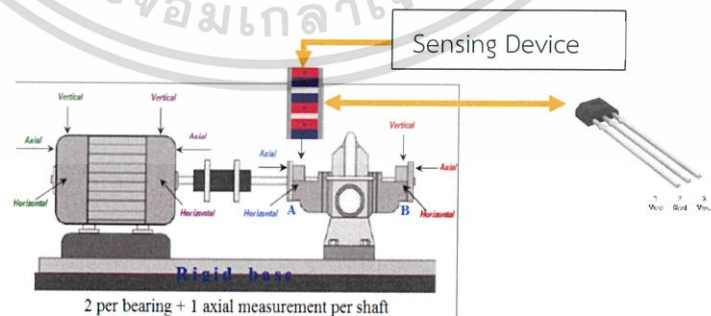
การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดการสั่นสะเทือน โดยอาศัยหลักการของแรงแม่เหล็กซึ่งมีการติดตั้งแม่เหล็กถาวรบริเวณส่วนหัว, ท้ายและตรงกลางตลอดของอุปกรณ์ ในลักษณะการหันขั้วแม่เหล็กที่แตกต่างกันเพื่อเป็นการเสริมแรงดันให้กับแม่เหล็กในบริเวณตรงกลาง



รูปที่ 3.3 แรงแม่เหล็กภายในอุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือนและตำแหน่งการติดตั้ง Hall Effect Sensor

จากแรงดันของแม่เหล็กบริเวณหัวท้ายของหลอดอุปกรณ์การวัดการสั่นสะเทือน ส่งผลให้แม่เหล็กที่อยู่บริเวณตรงกลางหลอดเกิดการลอยตัว เมื่อนำไปติดตั้งกับอุปกรณ์ที่มีการสั่นสะเทือน จะส่งผลให้แม่เหล็กที่อยู่บริเวณตรงกลางหลอดเกิดการเคลื่อนที่

นำ Hall Effect Sensor มาติดตั้งระหว่างแม่เหล็กทั้งสองที่กึ่งกลางของแม่เหล็กตัวกลาง เพื่อวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงไปอันเนื่องมาจากความแรงของการสั่นสะเทือนที่มีค่าแตกต่างกัน



รูปที่ 3.4 การใช้อุปกรณ์เพื่อวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรในแนว Vertical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

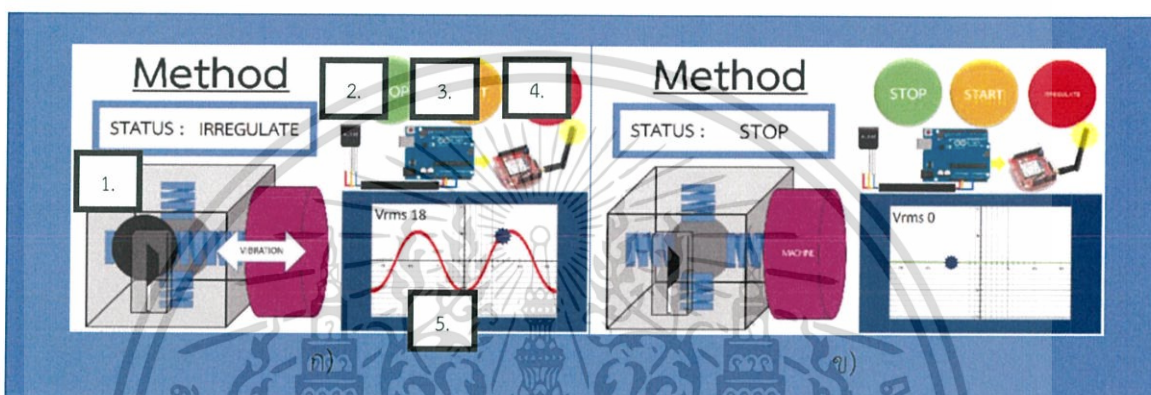
3.2.1.2 ข้อดีของการออกแบบอุปกรณ์ในลักษณะนี้

- 1) มีขนาดเล็กง่ายต่อการติดตั้งและการวัดค่า
- 2) อุปกรณ์วัดง่ายต่อการปรับตั้งค่าความเข้มของเส้นแรงแม่เหล็กอันจะส่งผลต่อระยะความสามารถในการเคลื่อนที่ได้ของแม่เหล็กบริเวณตรงกลาง เพื่อให้เหมาะสมกับการวัดการสั่นสะเทือนที่ความรุนแรงของระดับการสั่นสะเทือนที่แตกต่างกัน

3.2.1.3 พัฒนาการการออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับการสั่นสะเทือน

ออกแบบโดยใช้หลักการของสปริง รูปแบบที่ 1

ใช้หลักการทำงาน ในการตรวจจับการสั่นสะเทือนดังนี้



ชิ้นงานรูปแบบ 1

ชิ้นงานรูปแบบ 2



รูปที่ 3.5 หลักการวัดการสั่นสะเทือนและเครื่องมือ

จากรูปที่ 3.5 ก) เป็นการแสดงภาพรวมของระบบการวัดเริ่มจากหมายเลข 1) เครื่องมือวัด ไปยังหมายเลข 2) คือ Hall Effect Sensor ส่งสัญญาณไปยังหน่วยประมวลผลหมายเลข 3) คือ Arduino UNO R3 ก่อนจะส่งไปยังหมายเลข 4) คือ SMS SIM 900A เพื่อส่งข้อความและแสดงออกมาในรูปของกราฟในส่วนที่ 5) แต่ภาพ ข) แสดงในสภาวะหยุดการทำงาน ทำให้กราฟแสดงออกมาในสภาวะศูนย์ ส่วนชิ้นงานในรูปแบบที่ 1 และ 2 นั้นแตกต่างกันตรงที่ขนาดของสปริงและขนาดของแม่เหล็กซึ่งมีผลกับการเข้าสู่สภาวะสมดุลได้ไม่เท่ากันโดยโดยการใช้สปริงที่เส้นผ่าศูนย์กลางเล็กและมวลของแม่เหล็กน้อยจะเหมาะสมกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบโดยใช้หลักการของสปริง รูปแบบที่ 2



รูปที่ 3.6 เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนโดยอาศัยหลักการของสปริง

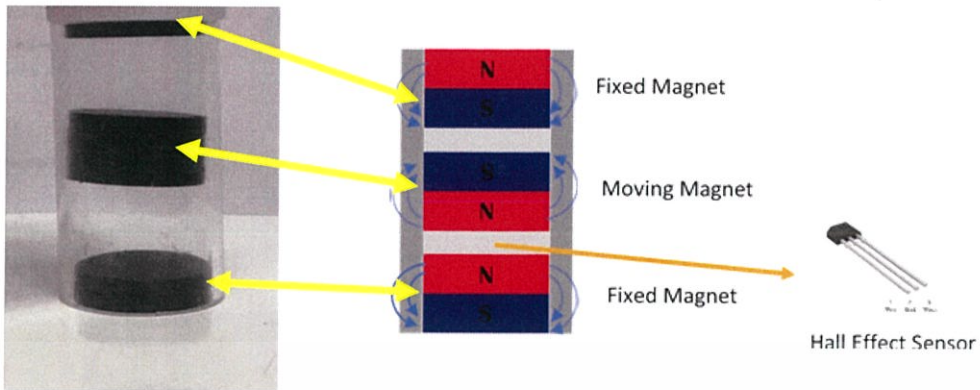
จากรูปที่ 3.6 ก) เป็นรูปของอุปกรณ์การวัดด้านข้างภายในประกอบด้วยสปริง รูป ข) เป็นตำแหน่งในการติดตั้ง Hall Effect มี 2 ที่คือด้านบนและด้านล่างโดยการติดตั้งไว้ด้านล่างจะต้องมีการใส่น้ำหนักคงที่ไว้ค่าหนึ่ง รูป ค) เป็นการทดลองวัดทั้งค่าจาก Hall Effect ทั้ง 2 ตำแหน่ง พบว่าในรูป ง) นั้นเป็นค่าเอาท์พุทที่ได้การติดตั้งโดยติดตั้ง Hall Effect ไว้ด้านบนจะเหมาะสมกว่าเพราะไม่มีน้ำหนักที่เป็นตัวเพิ่ม Damping ทำให้มีการเข้าสู่สภาวะคงที่ได้เร็วกว่า

ข้อเสียสำหรับระบบวัดการสั่นสะเทือนโดยใช้สปริง

1) ไม่สะดวกในการนำอุปกรณ์การวัดไปวัดการสั่นสะเทือนที่มีช่วงการสั่นสะเทือนที่แตกต่างกันมากๆ เนื่องจากต้องปรับเปลี่ยนสปริงเพื่อให้มีความแข็งที่เหมาะสมกับการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบโดยใช้หลักการแรงแม่เหล็ก (Semi-final Design)



รูปที่ 3.7 อุปกรณ์ตรวจจับการสั่นสะเทือนโดยอาศัยหลักการแรงแม่เหล็ก

จากรูปที่ 3.7 เป็นรูปแบบในการใช้แรงของแม่เหล็กในการสร้างแรงลอยตัวเพื่อให้แม่เหล็กก้อนตรงกลางลอยอย่างอิสระในสภาวะสมดุล แต่แม่เหล็กที่ใช้เป็นชนิดเฟอร์ไรท์ ซึ่งมีความเข้มของสนามแม่เหล็กต่ำ ทำให้ได้แค่แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่น้อยและมีลักษณะเป็นวงกลมทำให้แม่เหล็กมีการหมุนส่งผลเสียทำให้ค่าในสภาวะคงที่ไม่ใช่ค่าเดิมจึงมีการพัฒนาเป็นแบบต่อไป

ออกแบบโดยใช้หลักการแรงแม่เหล็ก (Final Design)

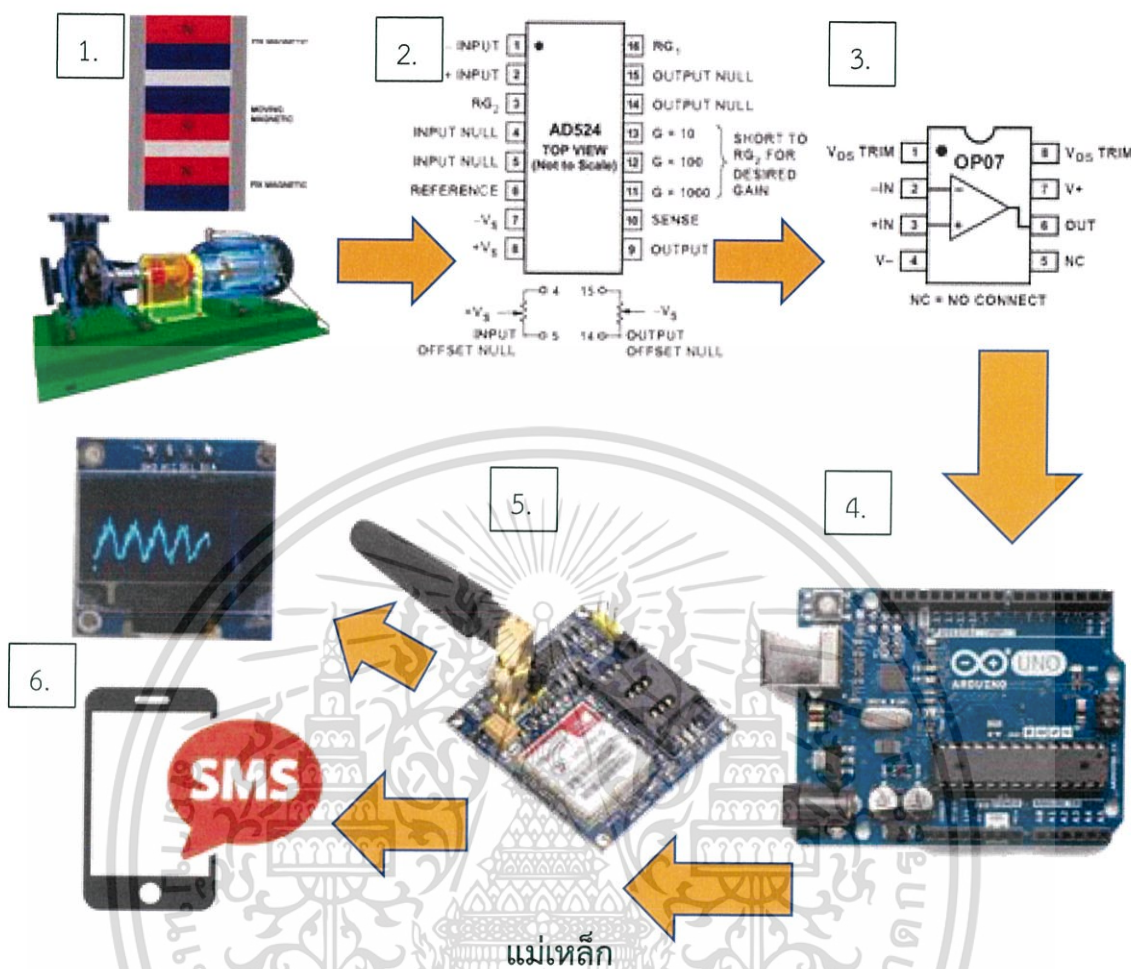


รูปที่ 3.8 รูปแบบสุดท้ายของอุปกรณ์ตรวจจับการสั่นสะเทือน

จากรูปที่ 3.8 เป็นจากพัฒนาต่อยอดมาจากรูปที่ 3.7 โดยเปลี่ยนมาใช้แม่เหล็กแรงสูงหรือ Neodymium ซึ่งช่วยให้ได้ค่าเอาต์พุตที่สูงขึ้นรวมถึงรูปทรงที่ออกแบบยังเป็นทรงสี่เหลี่ยมทำให้แก้ปัญหาแม่เหล็กที่มีการหมุนขณะเกิดการสั่นสะเทือนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภาพการทำงานวงจรรวมอาศัยการตรวจวัดการสั่นสะเทือนโดยใช้หลักการ



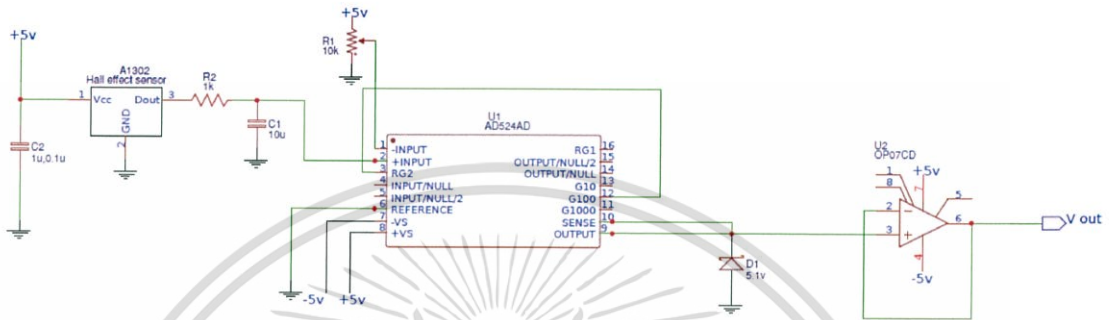
รูปที่ 3.9 ระบบการวัดการสั่นสะเทือน

จากรูปที่ 3.9 แสดงขั้นตอนการทำงานทั้งหมดคือ 1) เป็นส่วนของเครื่องมือวัดในการตรวจจับการสั่นสะเทือนจากมอเตอร์ 2) หลังจากนั้นจะเป็นการขยายสัญญาณที่ได้มาจากอุปกรณ์ตรวจวัดแล้วส่งมาขยายสัญญาณด้วย วงจรขยายเบอร์ AD524 3) เป็นส่วนของการปรับสภาพสัญญาณให้มีความเสถียรด้วย OP07 4) เป็นส่วนของการประมวลผลโดยการใช้ Arduino Uno R3 5) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เสริมทำให้ Arduino ที่ใช้งานมีความสามารถในการส่งข้อความได้ 6) เป็นส่วนของการแสดงผลมีสองแบบคือแสดงในรูปแบบของกราฟและส่ง SMS แจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานในกรณีที่มีการสั่นสะเทือนถึงระดับที่ตั้งค่าไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

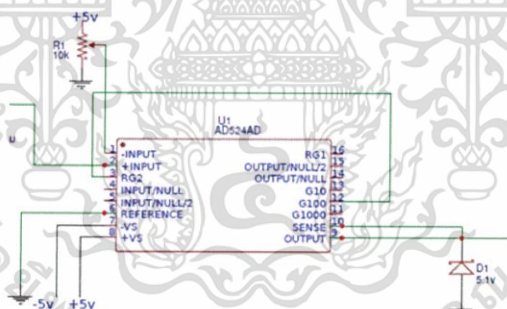
3.2.1.4 ส่วนของวงจรปรับคุณภาพของสัญญาณ

ส่วนของวงจรปรับคุณภาพของสัญญาณมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการปรับสภาพสัญญาณให้เป็นไปได้ตามคุณสมบัติที่เราต้องการลดสัญญาณรบกวนประกอบไปด้วย 1) วงจรขยายสัญญาณ ซึ่งทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่เข้ามาให้มีขนาดมากขึ้น 2) วงจรกรองความถี่ต่ำ และ 3) วงจรขยาย (OP07)



รูปที่ 3.10 แสดงวงจรปรับคุณภาพของสัญญาณ

3.2.1.4.1 วงจรขยายสัญญาณ

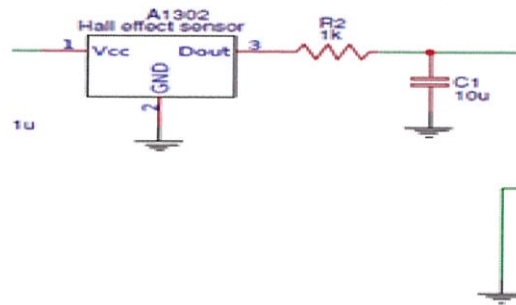


รูปที่ 3.11 วงจรขยายสัญญาณ

การทำงานของวงจรขยายสัญญาณ เริ่มจากรับค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือน ส่งเข้าสู่ขาที่ 2 ของ AD524 และเนื่องจากในขณะที่ไม่มีการวัดการสั่นสะเทือน Hall Effect Sensor จะสามารถตรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กได้อันเป็นค่าที่เกิดระหว่างแม่เหล็กทั้งสองตัว จึงได้มีการต่อ ตัวต้านทานอีกตัวเข้าสู่ขาที่ 1 ของ AD524 เพื่อเป็นค่าความต้านทานอ้างอิง ในการปรับค่าความต้านทานขณะที่ไม่มีการสั่นสะเทือนให้เป็นศูนย์ โดยในที่นี้ตั้งอัตราขยายไว้ที่ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.4.2 วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low-Pass Filter)

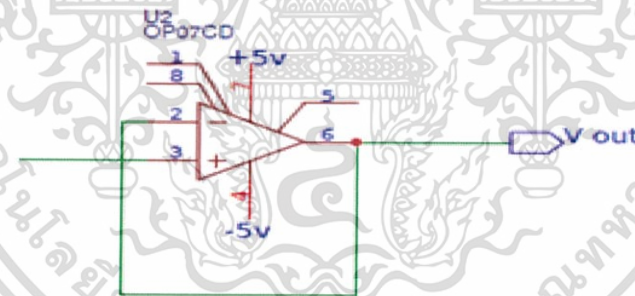


รูปที่ 3.12 วงจรกรองความถี่ต่ำ

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน เป็นวงจรที่ยอมให้สัญญาณความถี่ตั้งแต่ 0 Hz จนถึงความถี่ที่กำหนดผ่านไปได้โดยที่ความถี่ที่สูงกว่านั้นจะถูกลดทอนไปตามลำดับ สามารถทำได้โดยการต่อตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ จากการออกแบบเราต้องการความถี่ต่ำผ่านที่ประมาณ 16 Hz ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า $R = 1k$ และค่า $C = 10\mu F$ จากสูตร

$$f = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi(1K\Omega)(10\mu F)} = 16\text{Hz}$$

3.2.1.4.3 วงจรขยายสัญญาณ (OP07)



รูปที่ 3.13 วงจรขยายสัญญาณ (OP07)

OP07 มีค่าแรงดันขาเข้าที่มีค่า Offset ต่ำอีกทั้งยังมี High Open Loop Gain เป็น IC ที่ไม่จำเป็นต้องการองค์ประกอบภายนอกมาเป็นส่วนประกอบก็สามารถทำงานได้ มีการชดเชยความถี่ด้วย อีกทั้งยังมีค่าของแรงเคลื่อนไฟฟ้าขาออกที่คงที่ตลอดของช่วงอุณหภูมิ แวดล้อมที่แนะนำ (0 ถึง 70 องศาเซลเซียส) โดยทั้งที่กล่าวมานี้ OP07 จึงเหมาะสมที่จะเป็น High Gain Instrument โดยจากการทดลองพบว่าเมื่อค่า Output ผ่านวงจร OP07 ค่าที่ได้จะมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.5 แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 3.14 แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับบอร์ดวงจรรวม และ ฮอลล์เอฟเฟคเซ็นเซอร์

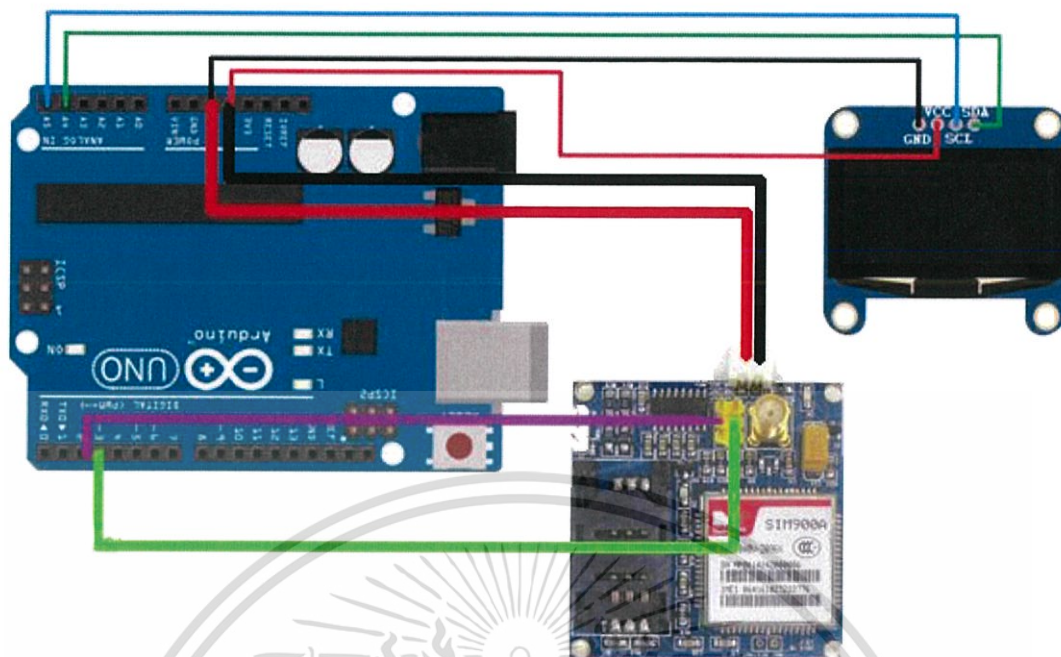
แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับบอร์ด และ Hall Effect Sensor ซึ่งแปลงกระแสไฟฟ้าจาก 220 VAC เป็น +15VDC, -15VDC, +5VDC และ Ground

3.2.2 ส่วนรับสัญญาณ-ประมวลผล, ส่งข้อมูล SMS, จอแสดงผล

ในส่วนนี้ประกอบไปด้วย Arduino UNO R3 ซึ่งทำหน้าที่เป็นหน่วยรับสัญญาณและประมวลผลข้อมูล เพื่อแสดงค่าของการวัดการสั่นสะเทือนออกมาเป็นกราฟ สำหรับการติดตามผลการวัดหน้างาน และสำหรับการติดตามผลในระยะไกลข้อมูลจะถูกส่งไปยังไปยัง GSM SIM 900A Module เพื่อทำการส่งข้อมูลแบบระยะไกลผ่านระบบข้อความ

โดยค่าการสั่นสะเทือนที่วัดได้ จาก Hall Effect Sensor มีหน่วยเป็น Volt โดยมีการแสดงผลอยู่ 2 แบบคือ จอแสดงผลที่แสดงออกมาเป็นกราฟสามารถบอกถึงความรุนแรงของการสั่นสะเทือนโดยสามารถแยกได้ด้วยสายตา โดยกราฟจะแสดงเป็นสีเหลืองเมื่อมีการสั่นสะเทือนที่มีการติดวัดระยะห่างจากจุดศูนย์กลาง 75 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการแจ้งเตือนเป็นข้อความจะแจ้งเตือนเมื่อการสั่นสะเทือนเกินระดับที่ตั้งไว้ซึ่งเราต้องทำการเช็คค่า Parameter ต่างๆของกราฟและค่าตัวแปรในโปรแกรมให้เหมาะสมกับการวัดการสั่นสะเทือนที่ระดับความรุนแรงต่าง

ในโปรเจกต์นี้ได้ทำการทดลองหาค่าการสั่นสะเทือนที่เป็นเอาต์พุตจากตัว Sensor ที่ได้สร้างขึ้นมาในรูปแบบของ Vhall, Vout, Magnetic field และ กระแสที่มอเตอร์ใช้ ตามตารางที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ ดังแสดงหน้า 35 โดยตัวเลขที่กำหนดความรุนแรงในการสั่นสะเทือนเพื่อแจ้งเตือนสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์โดยสามารถดูได้จากตารางที่ 4.2 กรณีที่มีการกำหนดให้ใช้ค่า Vout ในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน



รูปที่ 3.15 การเชื่อมต่อสายของ Arduino, GSM Module, จอแสดงผล

3.2.2.1 คำสั่งการทำงานของโปรแกรม Arduino

ตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้ Vout ในการวิเคราะห์การสั้นสะพานโดยใช้แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้มอเตอร์ที่ 7 โวลต์

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#define OLED_RESET 4
Adafruit_SSD1306 display(OLED_RESET);
#include "SIM900.h"
#include <SoftwareSerial.h>
#include "sms.h"
SMSGSM sms;
int x=0;
float h;
int r;
float b;
int c;
int numdata;
boolean started = false;
char smsbuffer[160];
char n[20];

float k;//volts

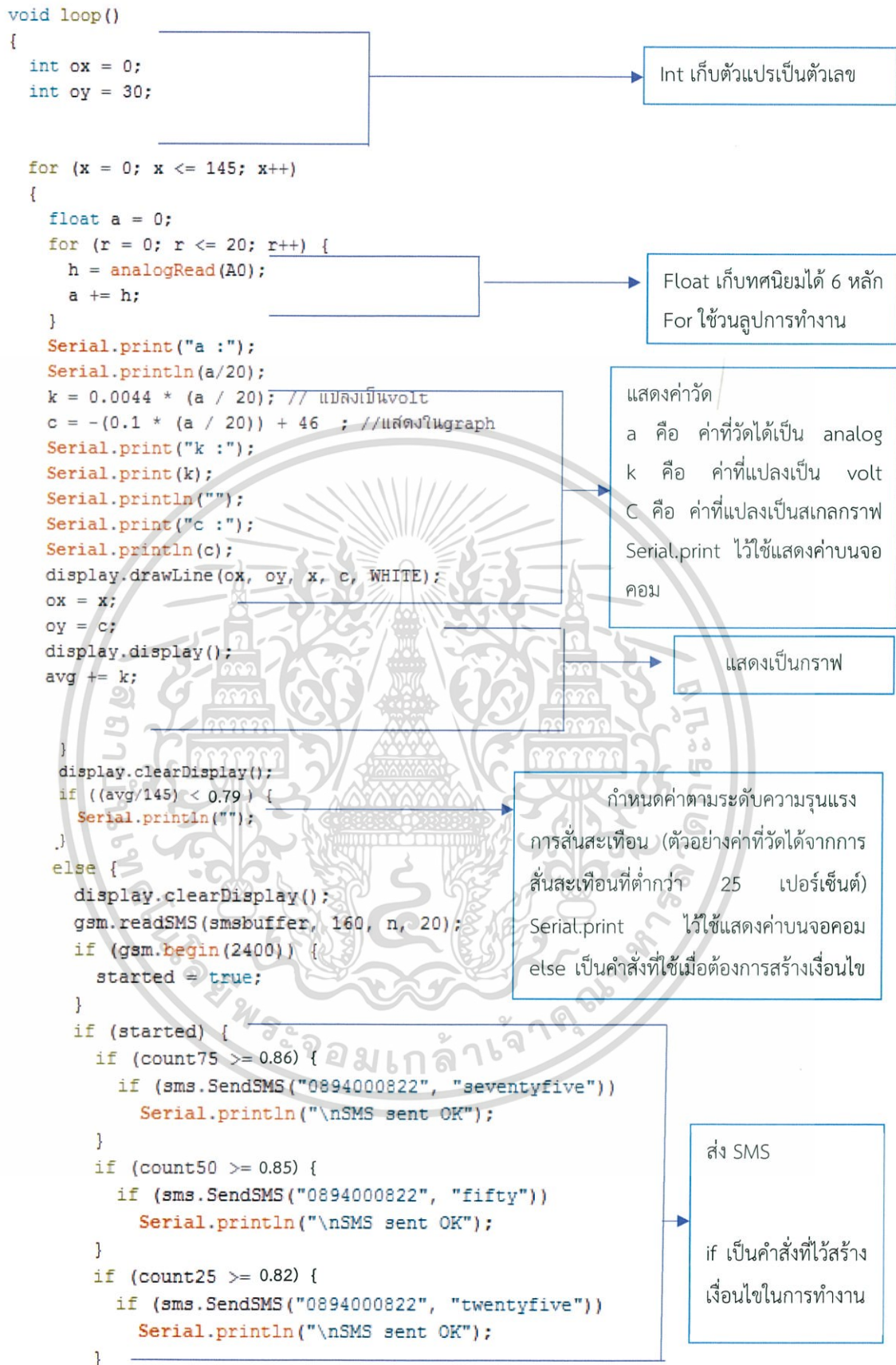
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3c); //initialize I2C addr 0x3c
  display.drawPixel(127, 63, WHITE);
}
```

LIBRARY จอ OLED มีคำสั่ง #include ใช้ในการประกาศการทำงาน

LIBRARY sim900 มีคำสั่ง #include ใช้ในการประกาศการทำงาน

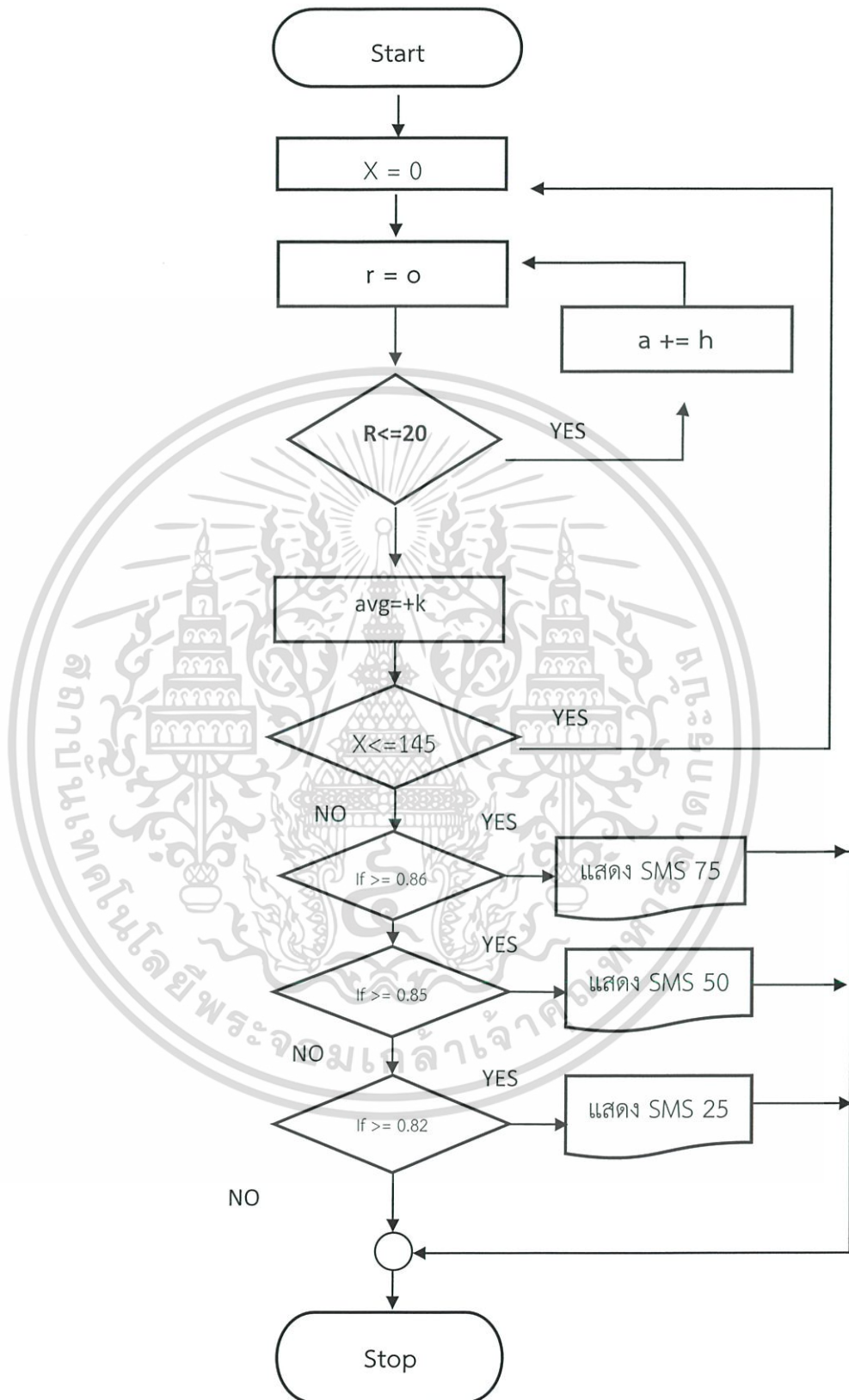
ประกาศตัวแปรใช้งาน
int เก็บตัวแปรจำนวนเต็ม
float เก็บทศนิยมได้ 6 ตำแหน่ง
Boolean เก็บตรรกะ
char เก็บข้อมูลตัวหนังสือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.2 การทำงานส่วนซอฟต์แวร์

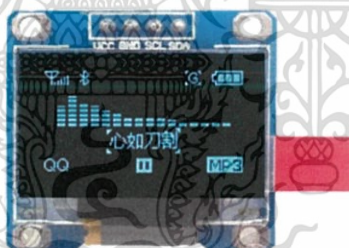


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของ Flow Chart ในตอนเริ่มต้นจะเป็นการกำหนดตัวแปร x ใช้สำหรับนับรอบการวนลูปการทำงานให้ครบจำนวน 145 รอบเพื่อที่จะได้แสดงกราฟที่บนจอภาพครบหนึ่งช่วงของจอภาพพอดี โดยตอนแรกให้มีค่าเท่ากับ 0 เป็นการกำหนดขนาดของหน้าจอที่จะแสดงกราฟ ต่อมาเป็นการกำหนดตัวแปร r ให้เท่ากับ 0 เพื่อเป็นการนับรอบเพื่อเฉลี่ยค่าที่วัดได้โดยในส่วนนี้กำหนดให้มีการเฉลี่ยค่า 20 ค่าแล้วนำค่าที่เฉลี่ยไปทำการวิเคราะห์ต่อและแสดงผลเป็นกราฟ โดยในส่วนนี้จะวนลูปในการแสดงโชว์เป็นกราฟอยู่ 145 ค่าก็จะสิ้นสุดหนึ่งหน้าจอในการแสดง หลังจากนั้นนำค่าที่ได้จากการเฉลี่ยของทั้งหมด 145 ค่ามาวิเคราะห์ว่าเข้าเงื่อนไขที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยเงื่อนไขต่างๆคือค่าที่ทำการทดลองไว้มีอยู่ 4 เงื่อนไขการทำงานคือ 1) การทำงานในสภาวะ No Load 2) การทำงานในสภาวะที่มีการติดวัตถุที่ระยะ 25 เปอร์เซ็นต์ของความยาวใบพัด 3) การทำงานในสภาวะที่มีการติดวัตถุที่ระยะ 50 เปอร์เซ็นต์ของความยาวใบพัด 4) การทำงานในสภาวะที่มีการติดวัตถุที่ระยะ 75 เปอร์เซ็นต์ของความยาวใบพัด โดยถ้าเข้าเงื่อนไขที่ 2, 3 หรือ 4 จะมีการส่ง SMS ไปแจ้งเตือนผู้ใช้งาน

3.2.2.3 จอแสดงผล (OLED Display Module 0.96" 128x64)

จอแสดงผลแบบ OLED LCD สำหรับ Arduino หน้าจอ 128x64 ขนาด 0.96" เชื่อมต่อแบบ IIC สีสี่สีเงิน ใช้ไฟได้ทั้ง 3.3V หรือ 5V ให้จอสว่างแสดงผลมองเห็นได้อย่างชัดเจนและประหยัดไฟ สามารถวาดภาพกราฟฟิกส์เป็นรูปต่างๆ หรือทำเป็นเมนูตามแบบที่ต้องการได้



รูปที่ 3.16 จอแสดงผล OLED [10]

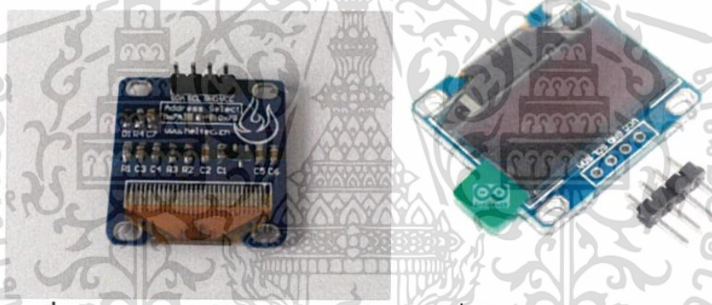
โมดูล OLED ที่ได้เลือกมาทดลองใช้งาน สามารถแสดงผลได้แบบสีเดียว (Monochrome) มีขนาดจอภาพ 0.96" ความละเอียด 128x64 พิกเซล ซึ่งถือว่ามีความเล็ก และใช้แรงดันไฟเลี้ยง +3.3V แม้ว่าจะมีความเล็กแต่ก็เหมาะสำหรับนำไปใช้กับระบบ Embedded Systems ที่ต้องการส่วนแสดงผลกราฟิกขนาดเล็ก มีพื้นที่จำกัด เป็นต้น ภายในโมดูลมีชิป SSD1306 เป็นตัวควบคุมการทำงาน สามารถเชื่อมต่อกับโมดูลโดยใช้บัส SPI หรือ I²C ถ้าต้องการแสดงข้อความจะต้องมีข้อมูลสำหรับสร้างตัวอักษร (FONT) แต่ละตัวซึ่งมีลักษณะเป็นแบบ Bitmap เก็บไว้ในหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น เก็บไว้ในหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมที่เรียกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Program Memory (เป็นแบบ Flash Memory) เพื่อประหยัดการใช้พื้นที่ใน SRAM ของไมโครคอนโทรลเลอร์

การจัดการหน่วยความจำภายในของ SSD1306 ที่เรียกว่า Graphic Display Data RAM (GDDRAM) สำหรับขนาด 128x64 พิกเซล แบ่งเป็น Column และ Page ซึ่งมีทั้งหมด 128 คอลัมน์ หมายเลข (0 ถึง 127) และมีทั้งหมด 8 เพจ หมายเลข (0 ถึง 7) แต่ละเพจจะประกอบด้วย 8 บรรทัด ดังนั้นจึงมี $8 \times 8 = 64$ บรรทัด การแสดงผลของจอภาพขึ้นอยู่กับค่าบิต (0 หรือ 1) สำหรับแต่ละพิกเซลที่ได้เขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำ GDDRAM

การสื่อสารข้อมูลกับชิป SSD1306 ทำได้โดยผ่านบัส SPI หรือ I²C โดยต้องส่งคำสั่ง (Command) เพื่อกำหนดค่าต่างๆในการทำงาน ศึกษารายละเอียดได้จาก (Datasheet ของผู้ผลิต) เช่น คำสั่ง Turn On/Off Display คำสั่งเลือกรูปแบบ Memory Address Mode คำสั่งกำหนดค่า Start Address และ End Address สำหรับ Column และ Page หรือ การเขียนข้อมูลลงใน GDDRAM

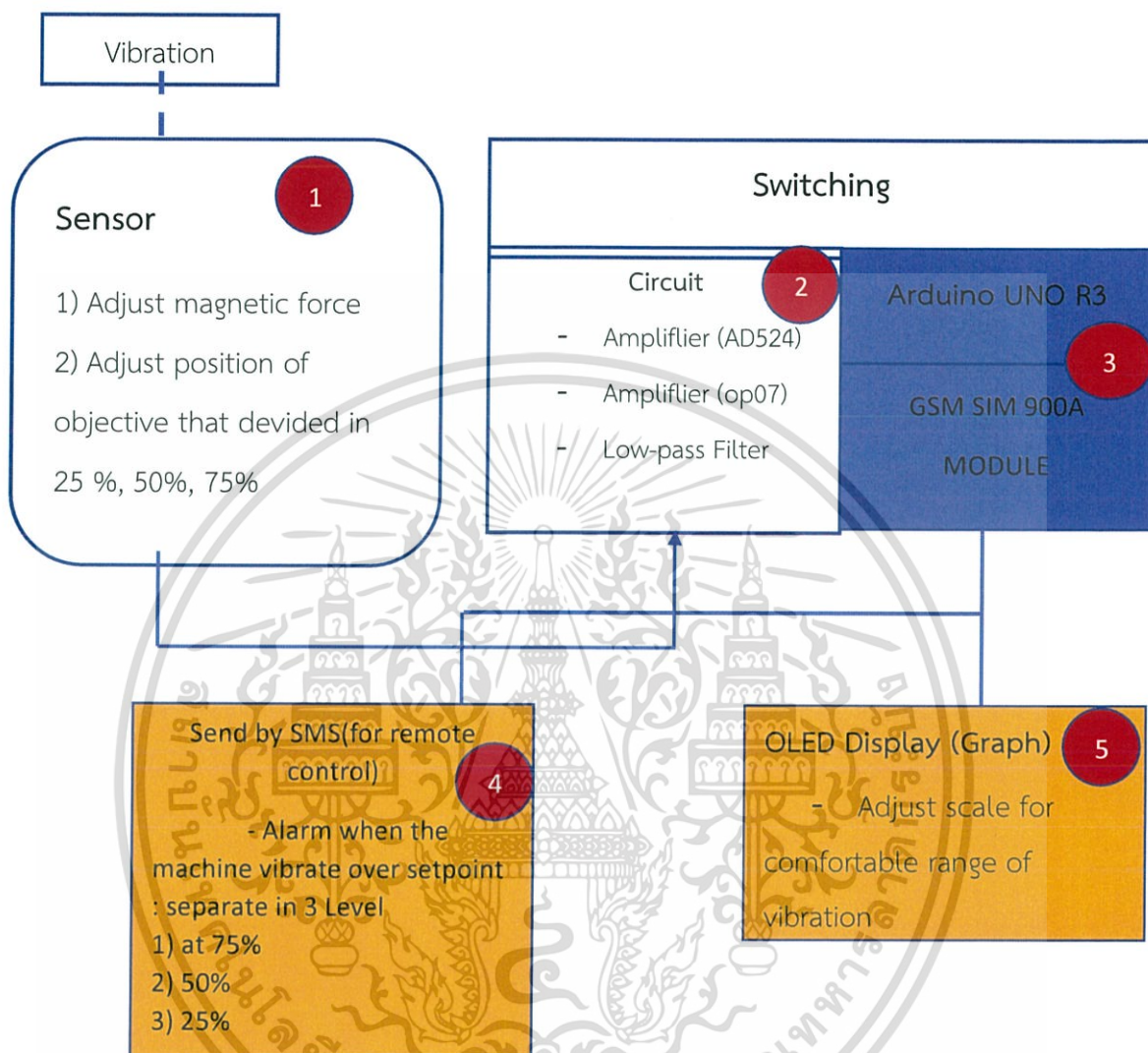


รูปที่ 3.17 ขาของโมดูล OLED ในกรณีที่ใช้ I²C [10]

- VCC เป็นขาสำหรับแรงดันไฟเลี้ยง +3.3V
- GND เป็นขา Ground
- SCL เป็นขา I/O สำหรับสัญญาณ SCL (Serial Clock) สำหรับ I²C
- SDA เป็นขา I/O สำหรับสัญญาณ SDA (Serial Data) สำหรับ I²C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการทำงานของระบบในการตรวจวัดการสั่นสะเทือน



รูปที่ 3.18 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

3.3.1 รายละเอียดการทำงานของทั้งระบบวัดการสั่นสะเทือน

ในหมายเลข 1 เป็นส่วนวัดการสั่นสะเทือน โดยเราจะทำการตรวจจับการการสะเทือนของแม่เหล็กกึ่งตรงกลาง โดยค่าที่วัดได้จาก Hall Effect Sensor มีหน่วยเป็น Volt การตั้งค่าของเครื่องมือวัดให้เหมาะสมกับขนาดของการสั่นสะเทือน แบ่งเป็น 2 วิธี ได้แก่

1. ปรับค่าความแข็งของแม่เหล็กตรงกลาง ซึ่งจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ได้น้อยลง สามารถทำได้โดยการเพิ่มแม่เหล็กหัว-ท้าย โดย
 - เครื่องจักรที่มีการสั่นสะเทือนมาก ตั้งค่าให้มีความแข็งมาก
 - เครื่องจักรที่มีการสั่นสะเทือนน้อย ตั้งค่าให้มีความแข็งน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ในที่นี้ขนาดของการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรจำลอง โดยการติดตั้งวัสดุที่ใบพัดในตำแหน่งต่างๆ ซึ่งถ้าวัสดุไม่ได้อยู่ในตำแหน่งศูนย์กลางจะทำให้มอเตอร์สูญเสีย สมดุลในการหมุน ทำการคำนวณค่าโมเมนต์ของแรงที่เกิดขึ้นจากการหมุนของวัสดุที่ตำแหน่งต่างๆ ตำแหน่งการติดตั้งแบ่งได้ดังนี้
- ที่ 25 % จากตำแหน่งสมดุล
 - ที่ 50 % จากตำแหน่งสมดุล
 - ที่ 75 % จากตำแหน่งสมดุล



รูปที่ 3.19 ตำแหน่ง No Load

รูปที่ 3.20 ตำแหน่ง 25% จากตำแหน่ง
สมดุล

รูปที่ 3.21 ตำแหน่ง 50% จากตำแหน่งสมดุล

รูปที่ 3.22 ตำแหน่ง 75% จากตำแหน่ง
สมดุล

ในหมายเลข 2 เป็นส่วนของวงจรปรับคุณภาพของสัญญาณ โดยเมื่อเราได้ข้อมูลจาก Hall Effect Sensor ในข้อ 1 มาแล้ว จะเข้าสู่วงจรขยายสัญญาณ โดยเราสามารถเลือกที่จะปรับขนาดของการขยายข้อมูลได้ตามต้องการ แบ่งเป็นอัตราขยายดังนี้ 10, 100, 1000 เท่า โดยถ้าอัตราขยายมากยิ่งขึ้นสามารถตรวจจับการสั่นสะเทือนน้อยๆได้ดี

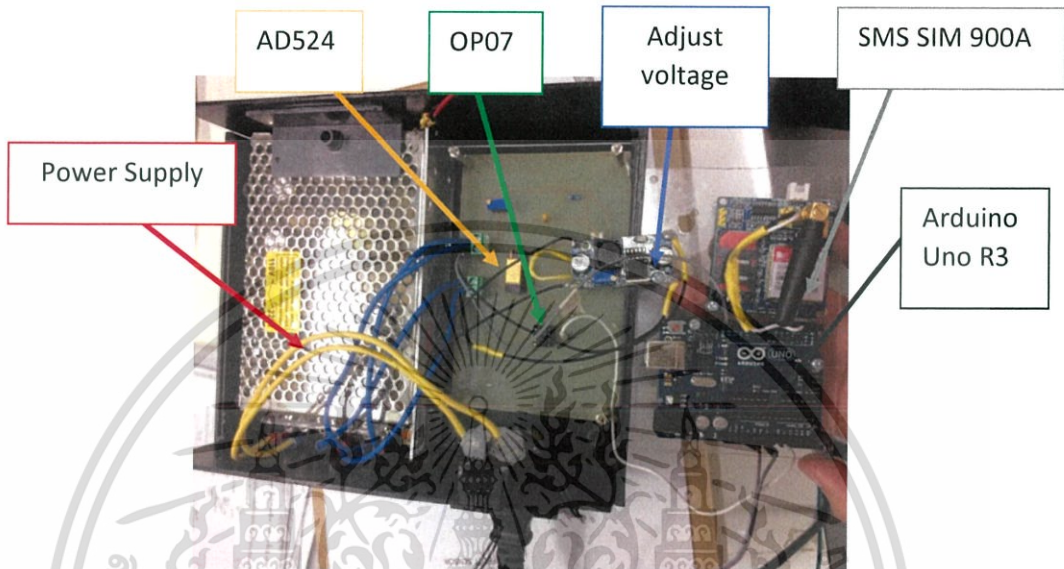
ในหมายเลข 3 เป็นส่วนของการประมวลผล โดยจะรับข้อมูลจากวงจรปรับคุณภาพของสัญญาณ เข้าสู่ Arduino UNO R3 ซึ่งข้อมูลจะถูกแสดงบนจอแสดงผลสำหรับการติดตามสภาพการสั่นสะเทือนของใบพัดของ Motor และข้อมูลอีกส่วน จะถูกส่งเข้าไปยัง GSM SIM 900A Module เพื่อส่งการแจ้งเตือนผ่านระบบข้อความไปยังผู้ใช้งานเป็นระดับความแรงของการสั่นสะเทือน

ในหมายเลขที่ 4 เป็นส่วนของการแจ้งเตือนผ่านข้อความไปยังผู้ใช้งาน โดยจะแจ้งเตือนเมื่อเครื่องมือตรวจจับค่าได้ตามที่ผู้ใช้งานตั้งค่าไว้แบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่ 25 % จากตำแหน่งสมดุล
- ที่ 50 % จากตำแหน่งสมดุล
- ที่ 75 % จากตำแหน่งสมดุล

ในหมายเลขที่ 5 เป็นส่วนของการแสดงผลส่วนที่สองคือจะแสดงผลในรูปแบบของกราฟผ่านจอ OLED Display



รูปที่ 3.23 ภาพในส่วนที่ 1 และ 2 ของรูปที่ 3.18

Power Supply นั้นใช้จ่ายไฟเลี้ยงไปยังวงจรที่ ± 15 V สำหรับ AD524 และจ่ายไปยัง Adjust Voltage เพื่อใช้ปรับไฟเลี้ยงไปยังมอเตอร์ตามต้องการ อีกทั้งยังจ่ายไฟเลี้ยงขนาด ± 5 V ไปเลี้ยง OP07 และ โมดูล SMS SIM 900A เพื่อนที่จะเพิ่มขอบเขตความสามารถของ Arduino UNO R3 ให้สามารถส่ง SMS ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

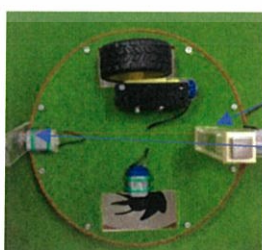
บทที่ 4

ผลการทดลอง

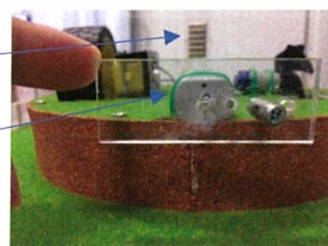
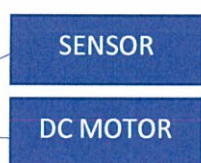
ผลการทดลองจะพิจารณา 4 ค่าประกอบด้วย Vhall, Vout, Gauss และ Current โดย 1) Vhall คือค่าที่ได้จาก Hall Effect โดยตรงซึ่งแสดงออกมาเป็น Volt 2) Vout เป็นค่าสุทธิหลังจากผ่านวงจรการปรับค่าสัญญาณรวมถึงสามารถปรับตั้งค่า Offset ได้กรณีที่ต้องการตั้งค่าให้ค่าวัดหรือค่าเอาต์พุตที่ไม่เป็นศูนย์ให้เป็นค่าเริ่มต้นหรือการเซตค่า Zero ของอุปกรณ์ 3) Gauss เป็นค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กด้วยเครื่องวัดสนามแม่เหล็กด้วย (Magnetic Meter SDL900) ที่ตำแหน่งเดียวกับ Hall Effect Sensor โดยจะมีความสัมพันธ์กับค่าที่วัดได้จาก Hall Effect หรือ Vhall 4) Current เป็นค่าที่วัดกระแสไฟฟ้าบริเวณมอเตอร์โดยจะแสดงให้เห็นว่ามอเตอร์มีการดึงกระแสไปใช้งานเท่าใด

พิจารณาความแตกต่างแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ที่ระดับ 3v, 4v, 5v, 6v, 7v และ 8v

1. กลุ่ม A คือกลุ่มที่พิจารณาค่าเอาต์พุต Vhall โดยจะทดลองการหมุน 4 แบบของมอเตอร์ใน 4 ลักษณะได้แก่ 1) No Load, 2) 25% of Length, 3) 50% of Length และ 4) 75% of Length โดยจะพิจารณาความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ที่ระดับต่างๆ
2. กลุ่ม B คือกลุ่มที่พิจารณาค่าเอาต์พุต Vout โดยจะทดลองการหมุน 4 แบบของมอเตอร์ใน 4 ลักษณะได้แก่ 1) No Load, 2) 25% of Length, 3) 50% of Length และ 4) 75% of Length โดยจะพิจารณาความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ที่ระดับต่างๆ
3. กลุ่ม C คือกลุ่มที่พิจารณาค่าเอาต์พุต Gauss โดยจะทดลองการหมุน 4 แบบของมอเตอร์ใน 4 ลักษณะได้แก่ 1) No Load, 2) 25% of Length, 3) 50% of Length และ 4) 75% of Length โดยจะพิจารณาความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ที่ระดับต่างๆ
4. กลุ่ม D คือกลุ่มที่พิจารณาค่าเอาต์พุต Current โดยจะทดลองการหมุน 4 แบบของมอเตอร์ใน 4 ลักษณะได้แก่ 1) No Load, 2) 25% of Length, 3) 50% of Length และ 4) 75% of Length โดยจะพิจารณาความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ที่ระดับต่างๆ



รูปที่ 4.1 ชุดการทดลอง



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างการติดตั้งวัตถุที่ระยะ

50% of Length

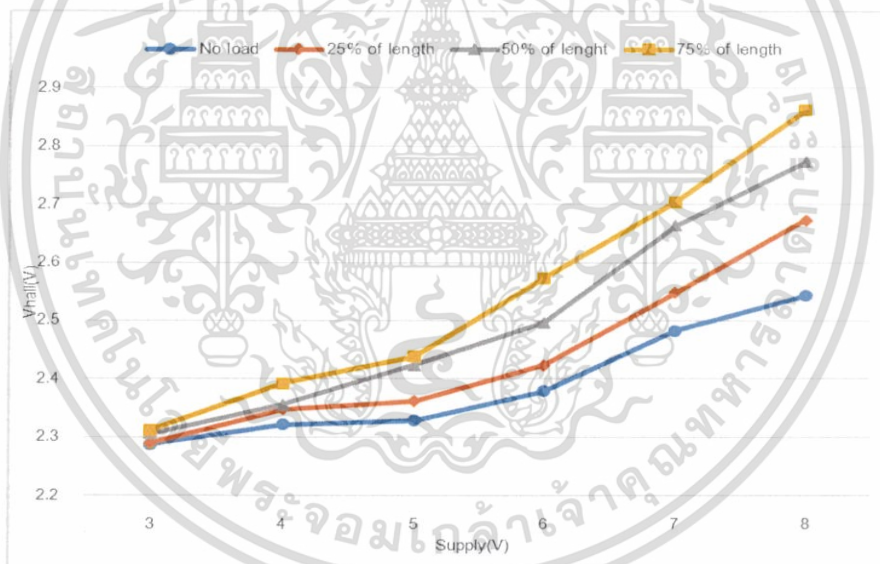
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 กลุ่มที่ A การสั่นสะเทือนของมอเตอร์โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงของ Vhall

ตารางที่ 4.1 ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Vhall(V) กับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ใน 4 สภาวะการทำงานคือได้แก่ 1) No Load, 2) 25% of Length, 3) 50% of Length และ 4) 75% of Length

Sample	Vhall(V)			
	No load	25% of length	50% of length	75% of length
3V	2.29	2.29	2.31	2.31
4V	2.32	2.35	2.36	2.39
5V	2.33	2.36	2.42	2.44
6V	2.38	2.42	2.50	2.57
7V	2.48	2.55	2.66	2.70
8V	2.54	2.67	2.77	2.86

ค่าการเปลี่ยนแปลงของ Vhall นั้นคือค่าเอาต์พุตที่มาจาก Hall Effect โดยตรงโดยวัดได้จากขาเอาต์พุตหรือที่ 3 ของ Hall Effect โดยค่าที่ได้นั้นมีหน่วยเป็น Volt



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Vhall กับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์

จากการทดลองค่าเอาต์พุต Vhall มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ทั้ง 4 การทดลอง แต่ค่าของเอาต์พุต Vhall แต่จะมีค่าแตกต่างกัน โดยของเอาต์พุตจะมีค่าน้อยไปมากที่สุดเดียวกันตามระยะที่มีการติดโหลดคือ 1) No Load, 2) 25% of Length, 3) 50% of Length และ 4) 75% of Length ดังแสดงในรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าถ้ามีการเพิ่มแรงดันให้กับมอเตอร์ก็จะได้ออกค่าของ Vhall มากขึ้นเช่นกันเนื่องจากการสั่นสะเทือนมากขึ้น

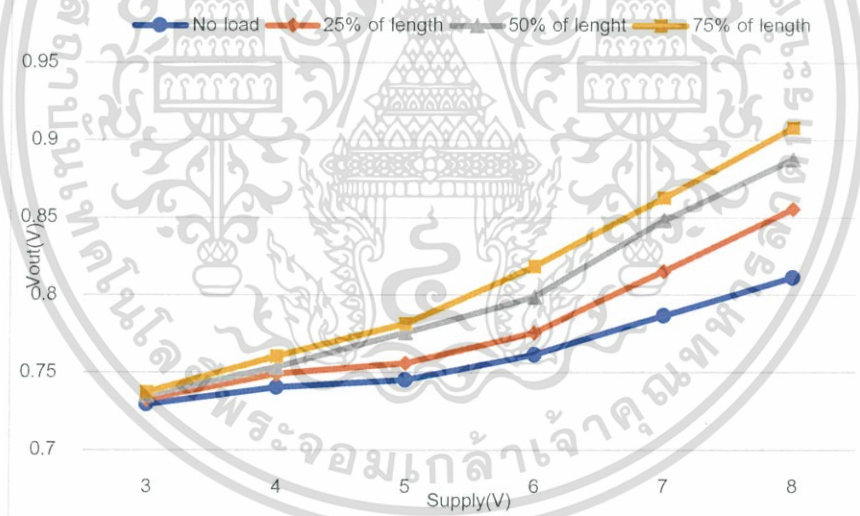
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 กลุ่มที่ B การสั้นสะพานของมอเตอร์โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงของ Vout

ตารางที่ 4.2 ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Vout (V) กับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ใน 4 สถานะการทำงานคือได้แก่ 1) No Load, 2) 25% of Length, 3) 50% of Length และ 4) 75% of Length

Sample	Vout(V)			
	No load	25% of length	50% of length	75% of length
3V	0.73	0.73	0.74	0.74
4V	0.74	0.75	0.75	0.76
5V	0.75	0.76	0.78	0.78
6V	0.76	0.78	0.80	0.82
7V	0.79	0.82	0.85	0.86
8V	0.81	0.87	0.91	0.92

ค่า Vout เป็นค่าที่แสดงการสั้นสะพานในหน่วยของ V ซึ่งแตกต่างจาก V_{hall} ตรงที่สามารถตั้งค่า Offset ของการวัดได้โดย Vout นั้นวัดจากสัญญาณก่อนที่จะส่งไปควบคุมหรือวิเคราะห์ผล



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Vout กับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์

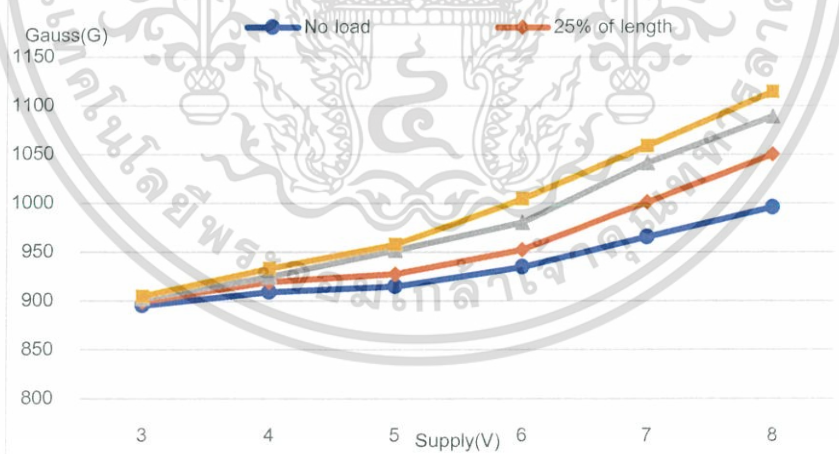
จากการทดลองค่าเอาต์พุต Vout มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ทั้ง 4 การทดลอง และมีแนวโน้มเช่นเดียวกับ V_{hall} โดยมีความเกี่ยวข้องกับการสั้นสะพานที่มอเตอร์สร้างขึ้นเมื่อมอเตอร์ได้รับแรงดันไฟฟ้ามากขึ้น

4.3 กลุ่มที่ C การสั่นสะเทือนของมอเตอร์โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก

ตารางที่ 4.3 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าสนามแม่เหล็กกับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ใน 4 สถานะการทำงานคือได้แก่ 1) No Load, 2) 25% of Length, 3) 50% of Length และ 4) 75% of Length

Sample	Magnetic field(G)			
	No load	25% of length	50% of length	75% of length
3V	895	899	902	905
4V	909	919	925	933
5V	915	928	952	958
6V	935	952	980	1005
7V	965	1001	1041	1059
8V	1000	1065	1112	1128

ค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก (Gauss) เป็นค่าที่วัดได้จากตำแหน่งที่ติดตั้ง Hall Effect Sensor โดยใช้เครื่องมือวัดสนามแม่เหล็กคือ (Magnetic Meter SDL900) ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กมีความสัมพันธ์กับ V_{hall} ที่วัดได้เนื่องจาก Hall Effect นั้นเป็นการวัดค่าสนามแม่เหล็กแล้วจึงเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้าหรือ V_{hall}



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสนามแม่เหล็ก กับ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์

จากการทดลองค่าเอาต์พุต คือสนามแม่เหล็กมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ทั้ง 4 การทดลอง โดยค่าที่แสดงตามตารางที่ 4.3 นั้นเพื่อยืนยันว่าค่าของสนามแม่เหล็กมีการสัมพันธ์กับ V_{hall} ตามทฤษฎีที่ 2.1 ที่ว่าด้วย ทฤษฎี Hall Effect Sensor

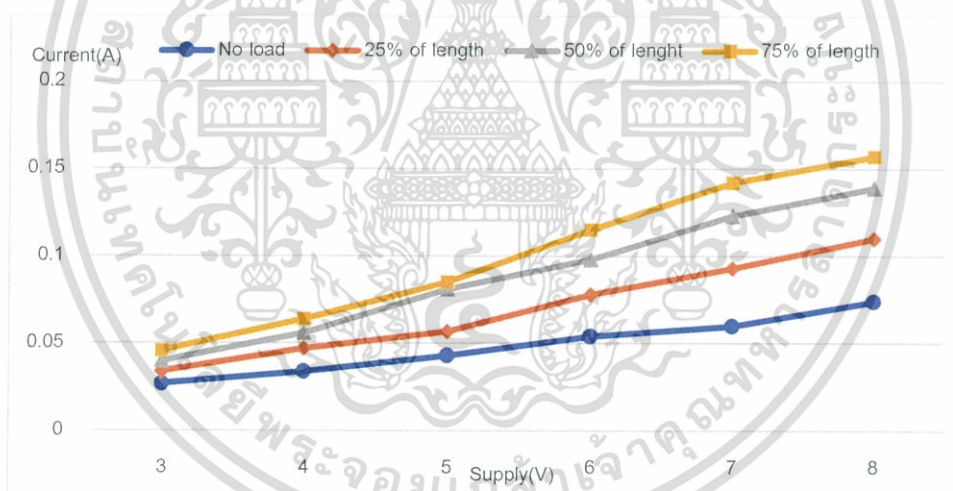
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 กลุ่มที่ D การสั้นสะท้อนของมอเตอร์โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่มอเตอร์ใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่มอเตอร์ใช้กับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ใน 4 สถานะการทำงานคือได้แก่ 1) No Load, 2) 25% of Length, 3) 50% of Length และ 4) 75% of Length

Sample	Current(A)			
	No load	25% of length	50% of length	75% of length
3V	0.027	0.034	0.040	0.046
4V	0.034	0.047	0.056	0.064
5V	0.043	0.057	0.081	0.085
6V	0.054	0.078	0.098	0.115
7V	0.060	0.093	0.123	0.142
8V	0.083	0.119	0.148	0.165

ค่าของกระแสที่แสดงในตารางที่ 4.4 เป็นค่าที่วัดได้จากมอเตอร์โดยตรงมีหน่วยการวัดเป็น แอมป์



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสที่มอเตอร์ใช้ กับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์

จากการทดลองค่าเอาต์พุตคือ ค่ากระแสที่มอเตอร์ใช้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ทั้ง 4 การทดลอง โดยค่าของกระแสนั้นแสดงถึงการที่มอเตอร์เมื่อรับโหลดเพิ่มขึ้นแล้วสิ่งที่แตกต่างกันก็คือ จะมีการดึงกระแสไปใช้มากขึ้นในการที่จะขับโหลดหรือทำให้มอเตอร์ทำงาน ทั้งนี้ก็มีการสั้นสะท้อนมากขึ้นตามไปด้วย

ทั้ง 4 การทดลองแสดงให้เห็นว่า V_{hall} , V_{out} , Gauss และ Current ที่วัดได้สามารถนำไปแยกกระยะของวัตถุที่ติดอยู่บนใบพัดของมอเตอร์กระแสตรงขนาด 12v ซึ่งได้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ในบทที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ความสัมพันธ์ของเอาท์พุทกับทอร์กและความถี่

หลังจากได้ผลการทดลองทั้งหมดแล้ว นำผลการทดลองที่ได้มาต่อยอดโดยสังเกตว่าสิ่งที่ได้จากค่าวัดนั้นเกี่ยวข้องกับทางกลหรือการสั่นสะเทือนอย่างไร โดยในส่วนี้จะแสดงให้เห็นในรูปของความถี่และทอร์กที่เกิดจากการสั่นสะเทือนเมื่อมอเตอร์มีการทำงานใน 4 สภาวะคือ 1) No Load 2) 25% of Length, 3) 50% of Length และ 4) 75% of Length โดยการคำนวณค่าของความถี่นั้นสามารถทำได้ตามสมการที่ (4.9) โดยตัวแปร V คือค่าของแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์, i คือ กระแสที่มอเตอร์ใช้ดูได้จากตารางที่ 4.4, m คือ มวลของวัตถุที่ติดอยู่บนใบพัดน้ำหนัก 3.55 g, R คือ ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของวัตถุที่ติดบนใบพัด

การคำนวณค่ากระแสและค่าของทอร์กมาจากความสัมพันธ์

พลังงานการหมุน = พลังงานไฟฟ้า

$$P = \omega\tau = vi \quad (4.1)$$

$$\omega I\alpha = vi \quad ; I = \frac{1}{12}mR^2 \quad (4.2)$$

$$\omega \frac{1}{12}mR^2\alpha = vi \quad (4.3)$$

$$i = \omega \frac{1}{12v}mR^2\alpha \quad ; \alpha = \omega^2 R \quad (4.4)$$

$$i = \omega \frac{1}{12v}mR^2\omega^2 R \quad (4.5)$$

$$i = \frac{1}{12v}mR^3\omega^3 \quad ; \omega = 2\pi f \quad (4.6)$$

$$i = \frac{1}{12v}mR^3(2\pi f)^3 \quad (4.7)$$

$$(2\pi f)^3 = \frac{12vi}{mR^3} \quad (4.8)$$

$$f = \sqrt[3]{\frac{12vi}{mR^3}} \times \frac{1}{2\pi} \quad (4.9)$$

การหาค่า Torque จากความสัมพันธ์

$$\tau = I\alpha \quad ; \alpha = \omega^2 R \quad (4.10)$$

$$\tau = I\omega^2 R \quad ; \omega = 2\pi f \quad (4.11)$$

$$\tau = I(2\pi f)^2 R \quad (4.12)$$

เมื่อนำค่าเอาท์พุท V_{hall} ทุกค่าที่ได้จากการทดลองไปเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณได้จากสมการที่ (4.9) จะทำให้ได้ความสัมพันธ์ของเอาท์พุทที่ได้ V_{hall} และความถี่ที่เกิดจากการสั่นสะเทือน หลังจากนั้นเราสามารถหาค่าทอร์กโดยใช้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ (4.12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

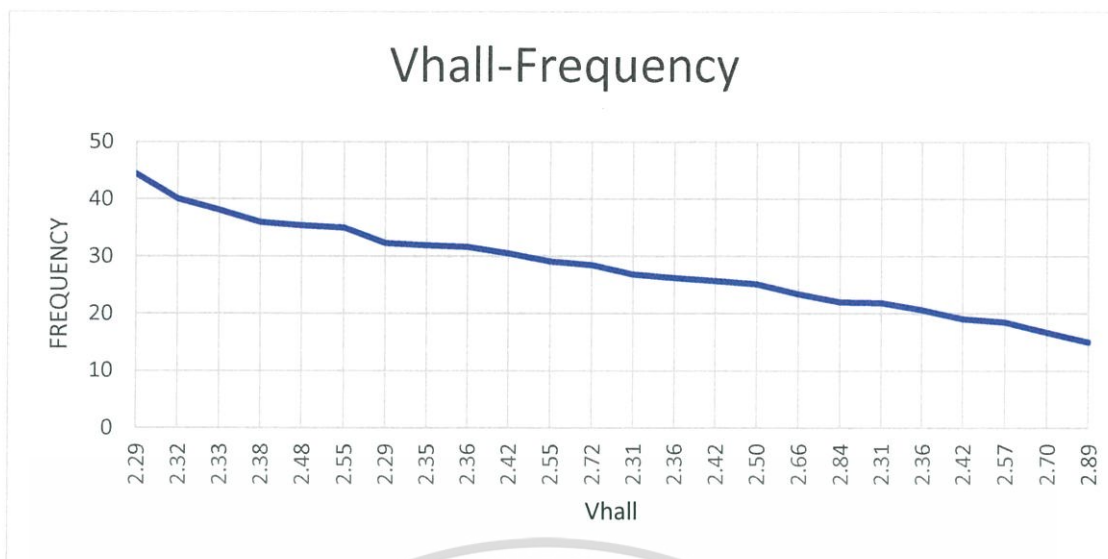
ตารางที่ 4.5 ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Vhall, Torque, Frequency

VHALL(V)	TORQUE ($N \cdot m10^5$)	FREQUENCY(Hz)
2.29	3.16	44.38
2.29	5.20	40.09
2.31	5.37	38.10
2.31	8.02	35.92
2.32	8.25	35.32
2.33	10.00	34.94
2.35	11.30	32.30
2.36	12.60	31.93
2.36	15.00	31.64
2.36	15.20	30.47
2.38	16.10	29.05
2.42	21.20	28.44
2.42	25.80	26.82
2.42	27.10	26.16
2.48	28.90	25.72
2.50	35.90	25.12
2.55	36.10	23.34
2.55	42.00	22.01
2.57	54.90	21.88
2.66	60.70	20.62
2.70	63.10	19.04
2.72	88.20	18.48
2.84	89.10	16.75
2.89	119.00	15.04

เมื่อนำค่าเอาต์พุต Vhall ทุกค่าที่ได้จากการทดลองไปเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ (4.9) จะทำให้ได้ความสัมพันธ์ของเอาต์พุตที่ได้ Vhall และความถี่ที่เกิดจากการสั่นสะเทือน หลังจากนั้นเราสามารถหาค่าทอร์กโดยใช้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ (4.12)

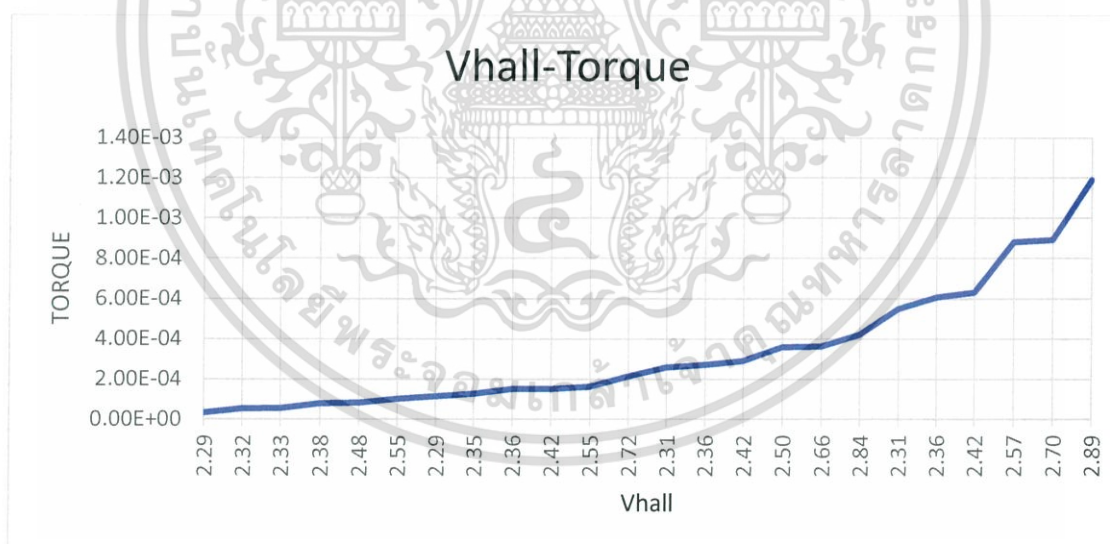
โดยค่าที่ได้ในตารางที่ 4.5 มาจากการคำนวณทั้งนี้ค่าของความถี่ ได้จากการคำนวณตามสมการที่ (4.9) และค่าของทอร์กได้มาจากการคำนวณตามสมการที่ (4.12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Vhall กับ Frequency

เมื่อนำค่าเอาท์พุต (Vhall) ที่วัดได้ทั้งหมดจากการทดลองมาเรียงตั้งแต่ต่ำไปจนถึงกระทั่งมากที่สุดและเปรียบเทียบความสัมพันธ์กับความถี่ ตามสมการที่ (4.9) พบว่าค่าของความถี่จะเป็นอัตราส่วนผกผันกับค่าเอาท์พุต (Vhall) เนื่องจากความสัมพันธ์ตามสมการที่ (4.9) โดยสามารถดูค่าได้ตามตารางที่ 4.5 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Vhall และ ความถี่



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง Vhall กับ Torque

เมื่อนำค่าเอาท์พุต (Vhall) ที่วัดได้ทั้งหมดจากการทดลองมาเรียงตั้งแต่ต่ำไปจนถึงกระทั่งมากที่สุดและเปรียบเทียบความสัมพันธ์กับ Torque ที่มีความสัมพันธ์กับความถี่ตามสมการที่ (4.12) พบว่าเมื่อความเอาท์พุตเพิ่มขึ้นค่าของ Torque ก็จะมีการเพิ่มขึ้นตามไปด้วยดังตารางที่ 4.5 เนื่องจากเป็นตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Vhall กับ Torque

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับระยะตัดวัตถุที่ระยะต่างๆ
แรงเคลื่อนไฟฟ้าตั้งแต่ 3 ถึง 8 โวลต์

Supply(v)	Frequency(Hz)			
	No load	25% of length	50% of length	75% of length
3	22.010	19.039	16.745	15.041
4	26.160	23.344	20.618	18.482
5	30.474	26.816	25.118	21.884
6	34.938	31.637	28.442	25.720
7	38.095	35.317	32.298	29.048
8	44.379	40.086	35.916	31.929

ค่าที่แสดงในตาราง 4.6 ได้มาจากผลการทดลองและใช้การคำนวณตามสมการที่ (4.9) พบว่ามีการลดลงของความถี่ เป็นอัตราส่วนผกผันกับระยะที่ตัดวัตถุ แต่ที่ระยะเดียวกันในการตัดวัตถุที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่างๆพบว่าค่าความถี่มีค่ามากขึ้นเมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์

ตารางที่ 4.7 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับระยะที่ทำงานตัดวัตถุที่ระยะต่างๆโดยคิดการเปลี่ยนแปลงเป็นเปอร์เซ็นต์ที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าตั้งแต่ 3 ถึง 8 โวลต์

Supply(v)	% Frequency			
	No load	25% of length	50% of length	75% of length
3	100	86.50	76.08	68.34
4	100	89.24	78.82	70.65
5	100	88.00	82.42	71.81
6	100	90.55	81.41	73.62
7	100	92.71	84.78	76.25
8	100	90.33	80.93	71.95
AVG	100	89.55	80.74	72.10

เมื่อนำค่าความถี่ที่คำนวณดังตารางที่ 4.6 ได้ทั้งหมดมาทำการเทียบอัตราส่วน โดยคิดว่าที่สถานะปกติหรือ No Load เป็น 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีการลดลงของความถี่โดยเป็นอัตราส่วนผกผัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับการเพิ่มขึ้นของระยะที่ติดวัตถุบนใบพัด โดยถ้ายังติดวัตถุห่างจากศูนย์กลางมากเท่าไรก็จะยังมีค่าการลดลงของความถี่มากขึ้น โดยการลดลงของความถี่เมื่อเทียบเป็นอัตราส่วนนั้นจะพบว่ามีการลดลงเฉลี่ยใกล้เคียงกันทุกแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์

ตารางที่ 4.8 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับระยะที่ติดวัตถุที่ระยะต่างๆ
แรงเคลื่อนไฟฟ้าตั้งแต่ 3 ถึง 8 โวลต์

Supply(v)	Torque			
	No load	25% of length	50 of length	75 of length
3	3.82	5.58	7.47	9.57
4	5.40	8.39	11.33	14.45
5	7.33	11.07	16.81	20.26
6	9.64	15.41	21.56	27.99
7	11.46	19.20	27.80	35.71
8	15.55	24.73	34.37	43.14

ค่าที่แสดงในตาราง 4.8 ได้มาจากผลการทดลองและใช้การคำนวณตามสมการที่ (4.12) พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของทอร์ก เป็นอัตราส่วนเดียวกันกับระยะที่ติดวัตถุ แต่ที่ระยะเดียวกันในการติดวัตถุพบที่ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่างๆพบว่าทอร์กมีค่ามากขึ้นเมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์

ตารางที่ 4.9 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กกับระยะที่ทำงานติดวัตถุที่ระยะต่างๆโดยคิดการเปลี่ยนแปลงเป็นเปอร์เซ็นต์ที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าตั้งแต่ 3 ถึง 8 โวลต์

Supply(v)	% Torque			
	No load	25% of length	50 of length	75 of length
3	100	146	195	250
4	100	155	210	267
5	100	151	229	276
6	100	160	224	290
7	100	168	243	312
8	100	159	221	277
AVG	100	156	220	279

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่าทอร์กที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.8) ทั้งหมดมาทำการเทียบอัตราส่วน โดยคิดว่าที่สถานะปกติหรือ No Load เป็น 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของทอร์กโดยเป็นอัตราส่วนเดียวกันกับการเพิ่มขึ้นของระยะที่ติดวัตถุบนใบพัด โดยถ้ายังติดวัตถุห่างจากศูนย์กลางมากเท่าไรก็จะมีค่าของอัตราส่วนของทอร์กที่เพิ่มขึ้น โดยการการเพิ่มขึ้นของทอร์กเมื่อเทียบเป็นอัตราส่วนนั้น จะพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเฉลี่ยใกล้เคียงกันทุกแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

การประดิษฐ์เครื่องมือวัดที่ตรวจจับการสั่นสะเทือนนี้ขึ้นมาสามารถตรวจจับการสั่นสะเทือนได้ตามแรงที่เกิดขึ้น โดยถ้ายังมีการสั่นสะเทือนที่แรงมากก็จะให้เอาท์พุทที่มากตามไปด้วย ดังเช่นการดำเนินการสั่นสะเทือนในการทดลองที่มีการตีวัตถุที่มีมวลคงที่ไว้ที่ระยะต่างๆตามที่กำหนด ก็จะมีการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการหมุนแตกต่างกัน ทั้งนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องอีกอย่างเช่นทอร์กและความถี่ในการหมุนของแกนมอเตอร์ที่ยังเปลี่ยนแปลงไปอีกด้วย

จากการทดลองพบว่าที่ระยะการตีวัตถุบนใบพัดที่ระยะเดียวกัน แต่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์นั้นค่าเอาท์พุทที่ตรวจจับได้ก็จะมีเพิ่มขึ้น ในขณะที่จ่ายแรงเคลื่อนแรงดันไฟฟ้าคงที่ค่าหนึ่งให้กับมอเตอร์โดยที่วัตถุที่ติดอยู่บนใบพัดอยู่ไกลจากจุดศูนย์กลางการหมุนมากเท่าไร ค่าเอาท์พุทที่ตรวจจับได้นั้นก็มากขึ้นตามไปด้วย รวมถึงยังมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการหมุนคือ ทอร์ก โดยค่าของทอร์กนั้นแปรผันตรงกับค่าเอาท์พุทที่วัดได้ แต่ในทางตรงกันข้ามค่าความถี่ในการหมุนจะแปรผกผัน สุดท้ายนั้นการเพิ่มขึ้นของทอร์กและการลดลงของความถี่ที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าในระดับต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบในรูปของอัตราส่วนจะอยู่ในอัตราส่วนไม่ว่าที่แรงดันไฟฟ้าค่าใดก็ตาม การเปลี่ยนแปลงจะอยู่ในอัตราส่วนเดียวกัน

5.2 ปัญหา

1) เอาท์พุทที่ได้คือ Vout มีความแตกต่างกันน้อยมากในแต่ละระดับของการสั่นสะเทือนที่จำลองขึ้น ทำให้อาจเกิดความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ระดับของการสั่นสะเทือนได้

2) โปรแกรมที่ใช้ Monitor นั้นทำงานเป็นลูป ลูปละ 1 นาทีเท่านั้น แล้วก็จะมีการ Reset ค่าที่บันทึกไว้ โดยในการทดลองนี้ใช้โปรแกรม Terminal เพื่อต้องการระยะเวลา

5.3 ข้อเสนอแนะ

1) ควรออกแบบเครื่องมือวัดให้เหมาะสมกับระดับของการสั่นสะเทือนรวมถึงความเข้มสนามแม่เหล็ก ยิ่งถ้ามีความเข้มสนามแม่เหล็กมากก็จะมีผลกับสัญญาณหรือกลับสู่สภาวะคงที่ที่เร็ว แต่จะเหมาะสมกับการวัดสั่นสะเทือนที่มีความรุนแรงมาก เพราะถ้านำไปวัดการสั่นสะเทือนน้อยๆจะให้ค่าเอาท์พุทน้อยตามไปด้วย

2) เปลี่ยนโปรแกรมที่ใช้ Monitor หรือเพิ่มในส่วนของการบันทึกข้อมูลลง SD การ์ด แต่โครงการนี้ทำไม่ได้เนื่องจากหน่วยความจำของตัว Controllor ที่ใช้ไม่พอ (Arduino UNO R3) อาจจะใช้การทำงานแบบคู่ขนานโดยใช้ Controllor 2 ตัวหรือมีเช่นนั้นก็เลือกใช้ Controllor ตัวอื่นที่หน่วยความจำมากกว่า

บรรณานุกรม

- [1] อ.พิสิฏฐ์ วัฒนผดุงศักดิ์. (ม.ป.ป.). Essential & Formula.
- [2] รังสรรค์ ศรีสาร.สาขาวิชาฟิสิกส์ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (เครื่องวัดสนามแม่เหล็ก)[Online].Available:<https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet3/saowalak/hall/hall.html>
- [3] ศิวโรดม ศิริลักษณ์. 2013. Neodymium Magnet and Mineral processing. [Online]. Available: <http://www.thaiscience.info/journals/Article/EJCM/10895277.pdf>
- [4] แม่เหล็กไฟฟ้า. เอกสารประกอบการสอนวิชาฟิสิกส์พื้นฐานหน่วยการเรียนรู้ที่ 2 สนามของแรง.[Online].Availablehttps://krubengamat2012.files.wordpress.com/2012/05/e0b8aae0b899e0b8b2e0b8a1e0b882e0b8ade0b887e0b981e0b8a3e0b887-1_e0b8aae0b899e0b8b2e0b8a1e0b981e0b8a1e0b988e0b980e0b8abe0b8a5e0b987.pdf
- [5] สุกัญญา นิมพันธ์. 8 10 2012. เอกสารประกอบการเรียนฟิสิกส์พื้นฐาน. [Online]. Available:<https://www.slideshare.nethttps://www.slideshare.net/sukanyanimpunth/ss14644568>.
- [6] TITISAK. การเคลื่อนที่แบบหมุน 15 04 2017 [Online]. Available: http://e-learning.tu.ac.th: http://elearningtu.ac.th/sc133/doc_download/number11-12_250749.pdf
- [7] อัญญาธ รอดพ่าย. (ม.ป.ป.). การตรวจวัดการสั่นสะเทือนด้วย Vibration meter. [Online].Available.<http://www.blissinstrument.com/article/6/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B8%A7%E0%B8%88%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0>
- [8] ANALOG DEVICE. Ultralow Offset Voltage Operational Amplifier .OP07 [Online].Available.<http://www.analog.com/media/en/technicaldocumentation/datasheets/OP07.pdf>
- [9] บทความ Arduino คืออะไร. (10 04 2017). [Online]. Available <http://www.thaieasyelec.com/articlewiki/basicelectronics/%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1-arduino->

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] ห้องปฏิบัติการระบบสมองกลฝังตัว. (14 07 2014). การทดลองใช้งานโมดูล OLED Display ขนาด 128x64 พิกเซล. [Online]. Available <http://cpre.kmutnb.ac.th>:
<http://cpre.kmutnb.ac.th/es/learning/index.php?article=oled-ssd1306>
- [11] การใช้งาน Sim900 Module. (ม.ป.ป.). [Online]. Available <https://www.arduinothai.com>:<https://www.arduinothai.com/article/35/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%AE0%B9>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

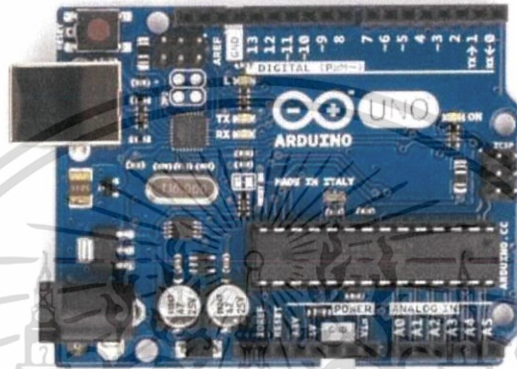


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specification ของอุปกรณ์

1. Arduino UNO R3

Arduino Uno R3 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัว บอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย



รูปที่ 1 Arduino UNO R3

Specifications

Microcontroller: ATmega328

Operating Voltage: 5V

Input Voltage (recommended): 7-12V

Input Voltage (limits): 6-20V

Digital I/O Pins: 14 (of which 6 provide PWM output)

Analog Input Pins: 6

DC Current per I/O Pin: 40 mA

DC Current for 3.3V Pin: 50 mA

Flash Memory: 32 KB of which 0.5 KB used by bootloader

SRAM: 2 KB (ATmega328)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Power Supply

เป็นตัวจ่ายไฟให้กับวงจรไฟฟ้าที่ใช้รวมถึงอุปกรณ์ต่างๆเช่น Module SIM 900A โดยมีขนาด 15 โวลต์กระแสตรง



รูปที่ 2 Power supply 15 V DC

Specifications

Complies with RoHS Directive

AC Input Voltage Range: 85-264VAC

Input Frequency: 47-63Hz

Inrush Current: Cold Start, 20A/115V, 40A/230V

Input Leakage Current: <0.7mA/230V

Line Regulation (Full Load): $\pm 0.5\%$

Output Voltage Adj. Range: $\pm 10\%$

Output Overload Protection: 110-150%

Output Over Voltage Protection: 115-150%

Withstand Voltage: I/P-O/P: 3.0KVAC/1min; I/P-F/G: 1.5KVAC/1min; O/P-F/G: 0.5KVAC/1min

Rise Time: 50ms@full load (typical)

Hold Up Time: 20ms@full load (typical)

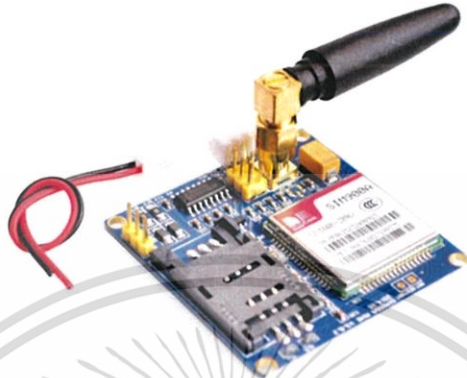
Operating temp.& humidity: -10°C to 50°C (14°F - 122°F), 20%-93%RH (non-condensing)

Storage temp.& humidity: -20°C to 85°C (-4°F - 185°F), 20%-93%RH (non-condensing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. GSM SIM 900A

เป็นโมดูลที่ต่อร่วมกับ Arduino เพื่อนที่จะเพิ่มขีดความสามารถทำให้สามารถส่งข้อความหรือโทรเข้าโทรออกผ่านโปรแกรมได้



รูปที่ 3 GSM SIM 900A

Specifications

Dual-Band 900/ 1800 MHz.

GPRS multi-slot class 10/8.

GPRS mobile station class B.

Compliant to GSM phase 2/2+ Class 4 (2 W @ 900 MHz) Class 1 (1 W @ 1800MHz)

Dimensions: 24x24x3mm.

Weight: 3.4g.

Control via AT commands (GSM 07.07 ,07.05 and SIMCOM enhanced AT Commands)

SIM application toolkit.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.SDL 900

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าสนามแม่เหล็กโดยจะแสดงได้ทั้งหน่วย G และ T อีกทั้งยังบอกขั้วของแม่เหล็กที่วัดได้อีกด้วย



รูปที่ 4 Magnetic Meter SDL900

Specifications

Utilizes Hall effect sensor with ATC (Automatic Temperature Compensation)

Adjustable data sampling rate: 1 to 3600 seconds

Memory stores 99 readings manually

Datalogging feature records readings with date and time stamp on an SD card (included) in Excel® format

N pole/S pole indicator

Zero button for DC measurement

Data Hold and Min/Max

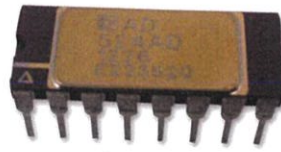
Auto power off with disable

Complete with uniaxial magnetic probe sensor with protective cover, SD memory card, Universal AC adaptor with multi-plugs (US, EU, UK, AUS), 6 AA batteries, and hard carrying case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. AD524

ใช้สำหรับเพิ่มอัตราขยายของสัญญาณ Output ที่ได้ โดยสามารถขยายได้ตั้งแต่ 10, 100, 1000 เท่า โดยไม่ต้องต่ออุปกรณ์ใดเพิ่มเติม



รูปที่ 5 AD524

Specifications

Low noise: 0.3μ

V p-p at 0.1 Hz to 10 Hz

Low nonlinearity: 0.003% ($G = 1$)

High CMRR: 120 dB ($G = 1000$)

Low offset voltage: 50μ V

Low offset voltage drift: 0.5μ V/°C

Gain bandwidth product: 25 MHz

Pin programmable gains of 1, 10, 100, 1000

6. OP07

ใช้สำหรับปรับค่าของสัญญาณให้มีความเสถียรมากขึ้นก่อนที่จะนำสัญญาณไปวิเคราะห์ด้วย Micro Controller



รูปที่ 6 OP07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specifications

Low VOS: 75 μV

maximum Low VOS drift: 1.3 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$

maximum Ultrastable vs. time: 1.5 μV per month maximum

Low noise: 0.6 μV p-p maximum

Wide input voltage range: ± 14 V typical

Wide supply voltage range: ± 3 V to ± 18 V

125 $^{\circ}\text{C}$ temperature-tested dice

7. โมดูลเรกูเลเตอร์ LM2596S DC

อุปกรณ์ตัวนี้ทำหน้าที่ยกระดับแรงดันจาก 3 - 32 โวลต์ ไปเป็น 5 - 35 โวลต์ โดยสามารถปรับค่าแรงดันด้านออกได้ตามต้องการโดยการปรับที่ค่าตัวต้านทาน มีประสิทธิภาพสูง ขนาดเล็ก มี ripple น้อยเนื่องจากสวิตซ์ที่ความถี่สูง รับกระแสได้ถึง 4A



รูปที่ 7 Voltage Regulator Module

Specifications

Input voltage 4.5-35V

Output voltage 3-34V

Maximum output current 2.5A

Dimensions: 49(L) x 26(W) x 12(H)mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. Hall Effect Sensor A1301

เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้วัดค่าสนามแม่เหล็กโดยค่าเอาต์พุตจะออกมาเป็น volt โดยจะสามารถบอกขั้วของแม่เหล็กได้โดยสังเกตจากค่าเอาต์พุตที่แสดงออกมานั่นเอง

TXNANGelectronic



รูปที่ 8 Hall Effect Sensor

Specifications

Low-noise output

Fast power-on time

Ratiometric rail-to-rail output

4.5 to 6.0 V operation

Solid-state reliability

Factory-programmed at end-of-line for optimum performance

Robust ESD performance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข
(Data Sheet ของอุปกรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Continuous-Time Ratiometric Linear Hall Effect Sensor ICs

FEATURES AND BENEFITS

- Low-noise output
- Fast power-on time
- Ratiometric rail-to-rail output
- 4.5 to 6.0 V operation
- Solid-state reliability
- Factory-programmed at end-of-line for optimum performance
- Robust ESD performance

DESCRIPTION

The A1301 and A1302 are continuous-time, ratiometric, linear Hall-effect sensor ICs. They are optimized to accurately provide a voltage output that is proportional to an applied magnetic field. These devices have a quiescent output voltage that is 50% of the supply voltage. Two output sensitivity options are provided: 2.5 mV/G typical for the A1301, and 1.3 mV/G typical for the A1302.

The Hall-effect integrated circuit included in each device includes a Hall circuit, a linear amplifier, and a CMOS Class A output structure. Integrating the Hall circuit and the amplifier on a single chip minimizes many of the problems normally associated with low voltage level analog signals.

High precision in output levels is obtained by internal gain and offset trim adjustments made at end-of-line during the manufacturing process.

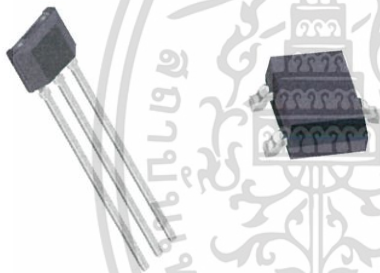
These features make the A1301 and A1302 ideal for use in position sensing systems, for both linear target motion and rotational target motion. They are well-suited for industrial applications over extended temperature ranges, from -40°C to 125°C .

Two device package types are available: LH, a 3-pin SOT23W type for surface mount, and UA, a 3-pin ultramini SIP for through-hole mount. They are lead (Pb) free (suffix, -T) with 100% matte tin plated leadframes.

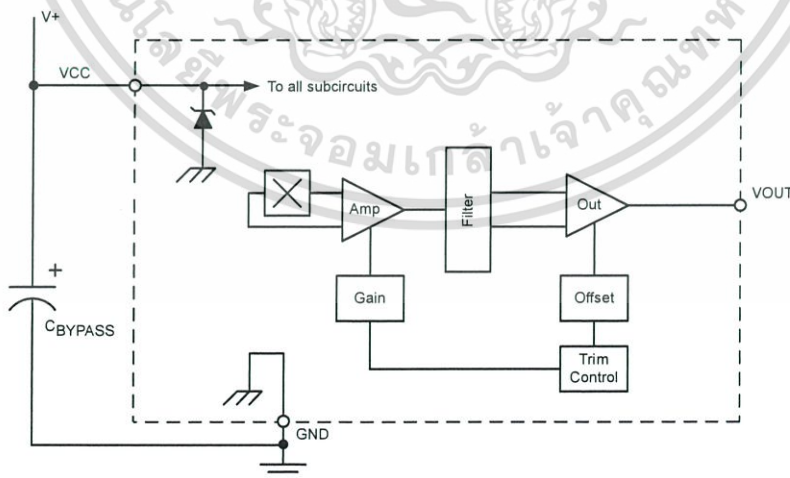
Packages:

3-Pin SOT23W (suffix LH)

3-Pin SIP (suffix UA)



Not to scale



Functional Block Diagram

FEATURES

Low noise: 0.3 μV p-p at 0.1 Hz to 10 Hz
Low nonlinearity: 0.003% ($G = 1$)
High CMRR: 120 dB ($G = 1000$)
Low offset voltage: 50 μV
Low offset voltage drift: 0.5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Gain bandwidth product: 25 MHz
Pin programmable gains of 1, 10, 100, 1000
Input protection, power-on/power-off
No external components required
Internally compensated
MIL-STD-883B and chips available
16-lead ceramic DIP and SOIC packages and 20-terminal leadless chip carrier available
Available in tape and reel in accordance with EIA-481A standard
Standard military drawing also available

GENERAL DESCRIPTION

The AD524 is a precision monolithic instrumentation amplifier designed for data acquisition applications requiring high accuracy under worst-case operating conditions. An outstanding combination of high linearity, high common-mode rejection, low offset voltage drift, and low noise makes the AD524 suitable for use in many data acquisition systems.

The AD524 has an output offset voltage drift of less than 25 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, input offset voltage drift of less than 0.5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, CMR above 90 dB at unity gain (120 dB at $G = 1000$), and maximum nonlinearity of 0.003% at $G = 1$. In addition to the outstanding dc specifications, the AD524 also has a 25 kHz bandwidth ($G = 1000$). To make it suitable for high speed data acquisition systems, the AD524 has an output slew rate of 5 V/ μs and settles in 15 μs to 0.01% for gains of 1 to 100.

As a complete amplifier, the AD524 does not require any external components for fixed gains of 1, 10, 100 and 1000. For other gain settings between 1 and 1000, only a single resistor is required. The AD524 input is fully protected for both power-on and power-off fault conditions.

The AD524 IC instrumentation amplifier is available in four different versions of accuracy and operating temperature range. The economical A grade, the low drift B grade, and lower drift,

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

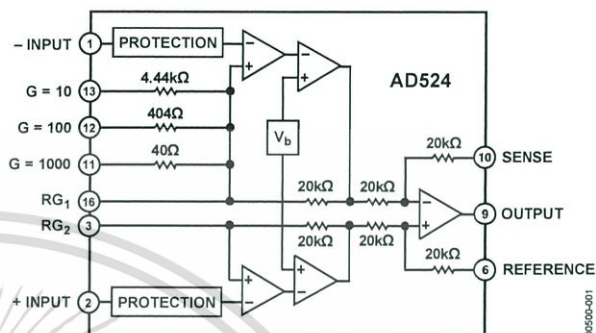


Figure 1.

higher linearity C grade are specified from -25°C to $+85^\circ\text{C}$. The S grade guarantees performance to specification over the extended temperature range -55°C to $+125^\circ\text{C}$. The AD524 is available in a 16-lead ceramic DIP, 16-lead SBDIP, 16-lead SOIC wide packages, and 20-terminal leadless chip carrier.

PRODUCT HIGHLIGHTS

1. The AD524 has guaranteed low offset voltage, offset voltage drift, and low noise for precision high gain applications.
2. The AD524 is functionally complete with pin programmable gains of 1, 10, 100, and 1000, and single resistor programmable for any gain.
3. Input and output offset nulling terminals are provided for very high precision applications and to minimize offset voltage changes in gain ranging applications.
4. The AD524 is input protected for both power-on and power-off fault conditions.
5. The AD524 offers superior dynamic performance with a gain bandwidth product of 25 MHz, full power response of 75 kHz and a settling time of 15 μs to 0.01% of a 20 V step ($G = 100$).

Rev. F

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
 Tel: 781.329.4700 www.analog.com
 Fax: 781.461.3113 ©2007 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

1 Features

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

2 Applications

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

3 Description

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

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

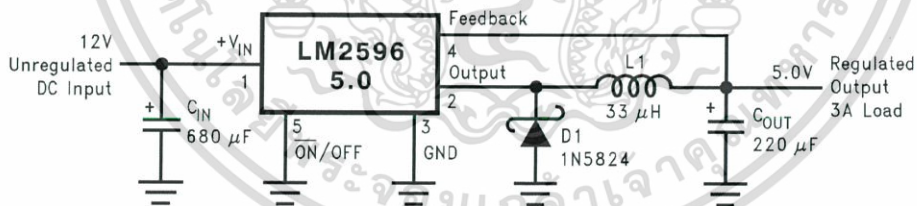
The LM2596 series operates at a switching frequency of 150 kHz, thus allowing smaller sized filter components than what would be required with lower frequency switching regulators. Available in a standard 7-pin TO-220 package with several different lead bend options, and a 7-pin TO-263 surface mount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

Device Information⁽¹⁾

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

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

Typical Application



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

(Fixed Output Voltage Versions)

FEATURES

- Low V_{OS} : 75 μV maximum
- Low V_{OS} drift: 1.3 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ maximum
- Ultrastable vs. time: 1.5 μV per month maximum
- Low noise: 0.6 μV p-p maximum
- Wide input voltage range: $\pm 14\text{ V}$ typical
- Wide supply voltage range: $\pm 3\text{ V}$ to $\pm 18\text{ V}$
- 125 $^\circ\text{C}$ temperature-tested dice

APPLICATIONS

- Wireless base station control circuits
- Optical network control circuits
- Instrumentation
- Sensors and controls
 - Thermocouples
 - Resistor thermal detectors (RTDs)
 - Strain bridges
 - Shunt current measurements
- Precision filters

GENERAL DESCRIPTION

The OP07 has very low input offset voltage (75 μV maximum for OP07E) that is obtained by trimming at the wafer stage. These low offset voltages generally eliminate any need for external nulling. The OP07 also features low input bias current ($\pm 4\text{ nA}$ for the OP07E) and high open-loop gain (200 V/mV for the OP07E). The low offset and high open-loop gain make the OP07 particularly useful for high gain instrumentation applications.

The wide input voltage range of $\pm 13\text{ V}$ minimum combined with a high CMRR of 106 dB (OP07E) and high input impedance provide high accuracy in the noninverting circuit configuration. Excellent linearity and gain accuracy can be maintained even at high closed-loop gains. Stability of offsets and gain with time or variations in temperature is excellent. The accuracy and stability of the OP07, even at high gain, combined with the freedom from external nulling have made the OP07 an industry standard for instrumentation applications.

The OP07 is available in two standard performance grades. The OP07E is specified for operation over the 0°C to 70°C range, and the OP07C is specified over the -40°C to $+85^\circ\text{C}$ temperature range.

The OP07 is available in epoxy 8-lead PDIP and 8-lead narrow SOIC packages. For CERDIP and TO-99 packages and standard microcircuit drawing (SMD) versions, see the OP77.

PIN CONFIGURATION

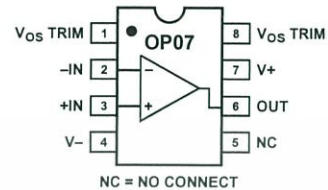
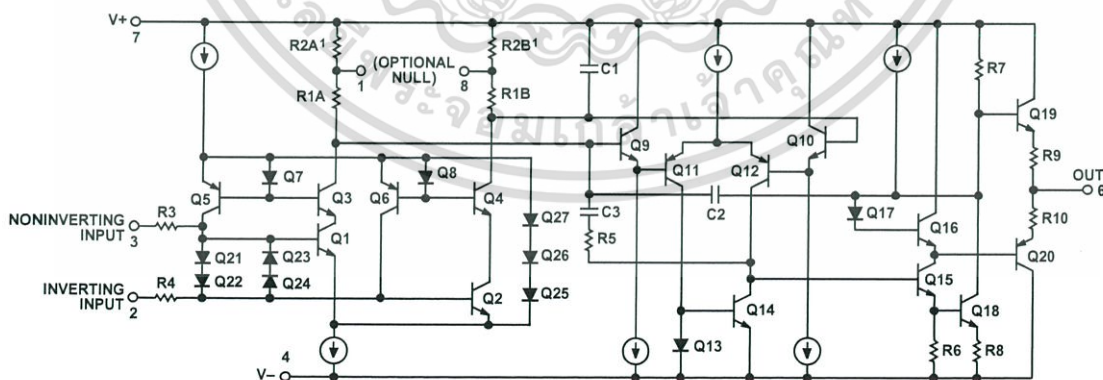


Figure 1.



¹R2A AND R2B ARE ELECTRONICALLY ADJUSTED ON CHIP AT FACTORY FOR MINIMUM INPUT OFFSET VOLTAGE.

Figure 2. Simplified Schematic

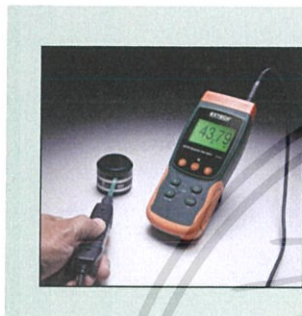
Rev. G

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
 Tel: 781.329.4700 www.analog.com
 Fax: 781.461.3113 ©2002-2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SDL900 AC/DC Magnetic Field Meter/Datalogger



Extech's SDL900 measures and datalogs both AC and DC Magnetic Field in Gauss and mT (milli Tesla) with a uniaxial Hall effect sensor and built-in ATC. Internal memory stores up to 99 readings, while SD memory card (included) allows continuous datalogging and readings can easily be exported to an Excel[®] format for further analysis.

Applications:

- Electric transmission equipment
- Power line
- Microwave oven
- Air conditioner
- Refrigerator
- Computer monitor
- Video/audio device
- Particle accelerators
- MRI
- Industrial & research labs
- Transportation Systems
- Elevators
- Battery Power
- Wind Power



Features

- Utilizes Hall effect sensor with ATC (Automatic Temperature Compensation)
- Adjustable data sampling rate: 1 to 3600 seconds
- Memory stores 99 readings manually
- Datalogging feature records readings with date and time stamp on an SD card (included) in Excel[®] format
- N pole/S pole indicator
- Zero button for DC measurement
- Data Hold and Min/Max
- Auto power off with disable
- Complete with uniaxial magnetic probe sensor with protective cover, SD memory card, Universal AC Adaptor with multi-plugs (US, EU, UK, AUS), 6 AA batteries, and hard carrying case

Specifications	Range	Max Resolution	Basic Accuracy
DC milli Tesla	300.00mT	0.01mT	±(5% + 10d)
	3000.0mT	0.1mT	±(5% + 10d)
DC Gauss	3000.0G	0.1G	±(5% + 10d)
	30,000G	1G	±(5% + 10d)
AC milli Tesla	150.00mT	0.01mT	±(5% + 20d)
	1500.0mT	0.1mT	±(5% + 20d)
AC Gauss	1500.0G	0.1G	±(5% + 20d)
	15,000G	1G	±(5% + 20d)
Number of Axis	Uniaxial		
AC Bandwidth	50Hz/60Hz		
Sampling Rate	1 to 3600 seconds		
Datalogging	Datalog readings on SD card (included)		
Dimensions/ Weight	7.1x2.9x1.9" (182x73x48mm)/ 10.7oz (303g)		

Ordering

SDL900..... AC/DC Magnetic Field Meter/Datalogger



UPC Code: 793950439012

SIM900

GSM/GPRS Module



The SIM900 is a complete Quad-band GSM/GPRS solution in a SMT module which can be embedded in the customer applications.

Featuring an industry-standard interface, the SIM900 delivers GSM/GPRS 850/900/1800/1900MHz performance for voice, SMS, Data, and Fax in a small form factor and with low power consumption. With a tiny configuration of 24mm x 24mm x 3 mm, SIM900 can fit almost all the space requirements in your M2M application, especially for slim and compact demand of design.

- SIM900 is designed with a very powerful single-chip processor integrating AMR926EJ-S core
- Quad - band GSM/GPRS module with a size of 24mmx24mmx3mm
- SMT type suit for customer application
- An embedded Powerful TCP/IP protocol stack
- Based upon mature and field-proven platform, backed up by our support service, from definition to design and production

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ATMEL 8-BIT MICROCONTROLLER WITH 4/8/16/32KBYTES IN-SYSTEM PROGRAMMABLE FLASH

DATASHEET

Features

- High Performance, Low Power Atmel® AVR® 8-Bit Microcontroller Family
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 20 MIPS Throughput at 20MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
 - 4/8/16/32KBytes of In-System Self-Programmable Flash program memory
 - 256/512/512/1KBytes EEPROM
 - 512/1K/1K/2KBytes Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- Atmel® QTouch® library support
 - Capacitive touch buttons, sliders and wheels
 - QTouch and QMatrix® acquisition
 - Up to 64 sense channels
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Six PWM Channels
 - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
 - Temperature Measurement
 - 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
 - Temperature Measurement
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I²C compatible)
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change