

การตรวจวัดและวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของน้ำมันไฮดรอลิก
ภายใต้สภาวะการใช้งานเวลาจริง
MEASUREMENT AND ANALYSIS OF HYDRAULIC OIL
DETERIORATION UNDER REAL-TIME OPERATING CONDITIONS



คณินท์ อรุณาทิตย์
ชนาริป พลัปเดต
ณัฐวัฒน์ โฆษารรณะ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MEASUREMENT AND ANALYSIS OF HYDRAULIC OIL
DETERIORATION UNDER REAL-TIME OPERATING CONDITIONS



KANIN ARUNATHIT

CHANATIP PLUBTO

NATTAWAT KOSAWANTANA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG
ACADEMIC YEAR 2022


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2565
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การตรวจวัดและวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของน้ำมันไฮดรอลิก
ภายใต้สภาวะการใช้งานเวลาจริง
MEASUREMENT AND ANALYSIS OF HYDRAULIC OIL
DETERIORATION UNDER REAL-TIME OPERATING CONDITIONS

นักศึกษาผู้จัดทำ นายคณินท์ อรุณาทิตย์ รหัสนักศึกษา 63015021
นายชนาธิป พลัปปโต รหัสนักศึกษา 63015033
นายณัฐวัฒน์ โฆษารรณนะ รหัสนักศึกษา 63015050

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2565

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ ดร. วิศรุต ศรีรัตน์นะ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การตรวจวัดและวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของน้ำมันไฮดรอลิก ภายใต้สภาวะการใช้งานเวลาจริง MEASUREMENT AND ANALYSIS OF HYDRAULIC OIL DETERIORATION UNDER REAL-TIME OPERATING CONDITIONS			
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายคณินท์	อรุณาทิพย์	รหัสนักศึกษา	63015021
	นายชนาธิป	พลับโต	รหัสนักศึกษา	63015033
	นายณัฐวัฒน์	โฆษวรรธนะ	รหัสนักศึกษา	63015050
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. วิศรุต ศรีรัตน์นะ			
ปีการศึกษา	2565			

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้มีการศึกษาเรื่องเกี่ยวกับ การตรวจจับการปนเปื้อน ของโลหะที่ส่งผลต่อ การเสื่อมสภาพของน้ำมันไฮดรอลิก ด้วยเครื่องมือวัด Hall Effect sensor โดยอาศัยการเหนี่ยวนำ ของแม่เหล็กถาวร ซึ่งอาศัยหลักการของการตัดผ่านของเศษโลหะที่เจือปนอยู่ในน้ำมันไฮดรอลิก ที่วิ่ง ตัดผ่านสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงดันไฟฟ้าที่ ส่งออกจาก Hall Effect sensor แต่ทำให้สามารถมองเห็นถึงความแตกต่างของ การปนเปื้อนของ โลหะในน้ำมันไฮดรอลิกได้ อีกทั้งโครงการยังมีจุดประสงค์ในการพัฒนาสร้าง อุปกรณ์ที่สามารถจับยึด กับสายไฮดรอลิกและตรวจสอบการปนเปื้อนของโลหะได้โดยง่ายเพื่อออกแบบไว้เป็นเครื่องมือวัด ใน การตรวจสอบน้ำมันไฮดรอลิกโดยไม่ต้องทำการปิดเครื่องจากไฮดรอลิกเพื่อทำการตรวจสอบ และ สร้างหน้าจอแสดงผลบนอุปกรณ์ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจได้โดยง่ายถึงสภาพการปนเปื้อนของ โลหะในน้ำมันไฮดรอลิกขณะทำการวัด จากการทดลองพบว่าระบบการวัดที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถใ้ งานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา

Thesis Title	MEASUREMENT AND ANALYSIS OF HYDRAULIC OIL DETERIORATION UNDER REAL-TIME OPERATING CONDITIONS
Authors	Mr. Kanin Arunathit Mr. Chanatip Plubto Mr. Nattawat Kosawantana
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Witsarut Sriratana
Year	2022

ABSTRACT

This study aims to develop an instrument for detecting the contamination of metals that causes the deterioration of hydraulic oil. A Hall Effect sensor was applied by adopting the method of a permanent magnet induction. When scrap metal contaminated in hydraulic oil running through the magnetic field of the permanent magnet, a change in the voltage output from the Hall Effect sensor could be observed. This change would mainly depend on the different metal contamination in hydraulic fluid. Moreover, a device that can easily be clamped to a hydraulic line and inspected for metal contamination was designed as a part of measuring system to check and display the hydraulic fluid conditions without having to shut off the engine for inspection. Therefore, the developed system was the user-friendly instrument that can be effectively used for measuring the metal contamination condition in the hydraulic oil according to the objective of the study.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องด้วยได้รับความกรุณาในการให้คำแนะนำ และความอนุเคราะห์เป็นอย่างดียิ่งจากท่าน รองศาสตราจารย์ ดร. วิศรุต ศรีรัตนะ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาให้กับโครงการ ที่ได้ให้คำปรึกษา และข้อเสนอแนะข้อแนะนำต่าง ๆ ตลอดจนแนวทางแก้ไข ข้อบกพร่องรวมทั้งวิธีการที่ถูกต้องในการวิเคราะห์ปัญหา ด้วยความเอาใจใส่อย่างเต็มที่โดยตลอดจนทำให้โครงการนี้สามารถประสบความสำเร็จได้ ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

และขอขอบคุณความกรุณาในการให้ใช้ห้องปฏิบัติ จากการ FABLAB ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อใช้ในการ ทำแบบสามมิติรวมทั้งการทำเลเซอร์คัท โดยไม่มีค่าใช้จ่ายอีกทั้งยังได้อำนวยความสะดวกให้คำแนะนำ และข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการออกแบบ สามมิติของอุปกรณ์อีกด้วย ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

รวมทั้งผู้ที่มีได้เอ่ยชื่อมาในที่นี้ ที่ได้มีส่วนร่วมในการให้คำแนะนำรวมทั้ง เป็นผู้ชายที่ดีในการจัดหาอุปกรณ์ต่าง ๆ และการแนะนำข้อเสนอแนะในการทำงาน ทางด้านไฟฟ้าและการออกแบบ รวมทั้งด้านการวัดค่าสนามแม่เหล็ก หากปราศจากทุกท่านแล้วงานปริญญาบัตรฉบับนี้อาจจะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้ ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1. ความสำคัญของปริญญาโท.....	1
1.2. วัตถุประสงค์ของปริญญาโท.....	1
1.3. สมมติฐาน.....	1
1.4. ตัวแปรที่มีผลต่อการทดลอง.....	2
1.5. การดำเนินการทดลอง.....	2
1.6. ขอบเขตของปริญญาโท.....	2
1.7. ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ไฮดรอลิก.....	3
2.1.1 ส่วนประกอบของระบบไฮดรอลิก.....	3
2.1.2 ข้อดี-ข้อเสียของระบบไฮดรอลิก.....	3
2.1.3 หลักการของปาสคาล.....	5
2.2 การเชื่อมสภาพของน้ำมันไฮดรอลิก.....	5
2.3 Arduino.....	6
2.3.1 Arduino Uno.....	6
2.3.2 Arduino IDE.....	7
2.4 Hall Effect เซนเซอร์.....	8
2.5 เซนเซอร์ Hall Effect เชิงเส้น.....	9
2.6 Precision Instrumentation Amplifier AD524.....	10

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 OP07	12
2.8 Microsoft Visual Studio.....	13
2.9 Microsoft Excel	15
2.10 เครื่องพิมพ์สามมิติ	16
2.11 ไดโอดเปล่งแสงอินทรีรี่	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินการออกแบบและพัฒนา.....	20
3.1 การออกแบบโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดสายไฮดรอลิกรุ่นต้นแบบ	20
3.1.1 ส่วนที่ทำหน้าที่จับยึดสายไฮดรอลิก	20
3.1.2 ส่วนพื้นที่สำหรับการติดตั้งวงจรวัด	20
3.2 การออกแบบลักษณะการจัดวางอุปกรณ์จับยึดสายไฮดรอลิกและอุปกรณ์การวัด	20
3.3 การทดสอบวัดค่าสนามแม่เหล็ก	21
3.4 การออกแบบโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดสายไฮดรอลิกรุ่นแรก.....	22
3.5 การจัดทำวงจรรขยายสัญญาณ.....	23
3.6 ออกแบบโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดสายไฮดรอลิกรุ่นสอง	24
3.7 จัดทำโครงสร้างอุปกรณ์ใหม่ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ	24
3.8 ประกอบอุปกรณ์จัดยึดสายไฮดรอลิก วงจรวัดค่าสนามแม่เหล็ก และวงจรรขยายสัญญาณ	27
3.9 อุปกรณ์จำลองเครื่องจักรไฮดรอลิก	29
บทที่ 4 การนำเสนอผลของข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล	30
4.1 การทดลองวัดค่าสนามแม่เหล็กในระยะห่างต่าง ๆ ของแม่เหล็กถาวร	30
4.1.1 ขั้นตอนการทดลองวัดค่าสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวร	30
4.1.2 สรุปผลการทดลองวัดความเข้มสนามแม่เหล็ก	33
4.2 การทดลองวัดค่าการเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าเมื่อเพิ่มมวลของโลหะที่ใช้ในการเหนี่ยวนำ.....	33
4.2.1 เงื่อนไขการทดลอง.....	33
4.2.2 ผลการทดลองเพิ่มมวลของโลหะที่ใช้ในการเหนี่ยวนำ.....	33
4.2.3 การวิเคราะห์การทดลอง.....	34
4.3 ทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากับโมดูลจำลองเครื่องจักรไฮดรอลิก	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.1 ผลการทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากับโมดูลจำลองเครื่องจักรไฮดรอลิก.....	35
4.3.2 การวิเคราะห์การทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากับโมดูลจำลองเครื่องจักรไฮดรอลิก.....	40
บทที่ 5 สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ.....	41
5.1 สรุปผลการทดลอง	41
5.2 ปัญหาที่พบขณะทำการทดลอง	41
5.3 วิธีการแก้ปัญหา	42
5.4 ข้อเสนอเชิงทฤษฎีจากการวิจัย.....	42
บรรณานุกรม.....	43
ภาคผนวก ก.....	46
ภาคผนวก ข.....	54
ภาคผนวก ค.....	70
ภาคผนวก ง.....	96

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กขั้วใต้.....	30
4.2 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กขั้วเหนือ.....	31
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ Hall Effect และอนุภาคโลหะ.....	33
4.4. ความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตเซ็นเซอร์ Hall Effect แรงดันเฉลี่ยและปริมาณอนุภาคโลหะ.....	34
4.5 แรงดันไฟขาออกเมื่ออุปกรณ์ตั้งแคมป์พร้อมสายไฮดรอลิก.....	35
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ Hall Effect และอนุภาคโลหะที่จุด P....	37
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ Hall Effect และอนุภาคโลหะที่จุด A....	38
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ Hall Effect และอนุภาคโลหะที่จุด B....	39



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 Arduino.....	7
2.2 หน้าจอ Arduino IDE.....	8
2.3 หลักการเซ็นเซอร์ Hall Effect.....	9
2.4 Hall Effect sensor A1301.....	10
2.5 ไดอะแกรมการทำงานของ A1301.....	10
2.6 Signal amplifier AD524.....	12
2.7 ไดอะแกรมการทำงานของ AD524.....	12
2.8 OP07.....	13
2.9 ไดอะแกรมบล็อกการทำงานของ OP07.....	13
2.10 หน้าต่าง Microsoft Visual Studio Code.....	14
2.11 หน้าต่างโปรแกรม Microsoft Excel.....	16
2.12 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ.....	16
2.13 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ รุ่น jgaurora a5.....	18
2.14 I2C Arduino.....	19
3.1 แบบจำลองอุปกรณ์จับยึดสายไฮดรอลิกรุ่นต้นแบบ.....	20
3.2 ลักษณะการวางแนวของอุปกรณ์.....	21
3.3 การทดสอบวัดค่าสนามแม่เหล็ก ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิวของแม่เหล็ก.....	21
3.4 การทดสอบวัดค่าสนามแม่เหล็ก ณ ระยะห่างใด ๆ เทียบกับผิวแม่เหล็ก.....	21
3.5 การออกแบบอุปกรณ์จับยึดสายไฮดรอลิกรุ่นแรก.....	22
3.6 ลักษณะการติดตั้งของ อุปกรณ์จับยึดสายไฮดรอลิกและเซ็นเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็ก.....	22
3.7 ลักษณะวงจรรายของวงจรรขยายสัญญาณ.....	23
3.8 ทดลองต่อวงจรรขยายสัญญาณ.....	23
3.9 จัดทำวงจรรขยายสัญญาณ.....	24
3.10 ออกแบบอุปกรณ์จับยึดสายไฮดรอลิกรุ่นที่สอง.....	24
3.11 การเตรียมแบบสามมิติเพื่อการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ.....	25
3.12 พิมพ์โครงสร้างกล่องวงจรรด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ.....	25
3.13 อุปกรณ์จับยึดสายไฮดรอลิกรุ่นที่สอง.....	25
3.14 แผนผังการทำงานของอุปกรณ์.....	26
3.15 ส่วนประกอบภายนอกของอุปกรณ์.....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.16 ลักษณะการติดตั้งของเซ็นเซอร์วัดสนามแม่เหล็ก.....	28
3.17 ลักษณะการวางแม่เหล็กถาวร.....	28
3.18 อุปกรณ์จับยึดสายไฮดรอลิกรุ่นที่สองที่เสร็จสมบูรณ์.....	28
3.19 แบบการทำงานของเครื่องจำลองเครื่องจักรไฮดรอลิก.....	29
3.20 อุปกรณ์จำลองเครื่องจักรไฮดรอลิก.....	29
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างตามแนวแกนตั้งและความเข้มของสนามแม่เหล็ก.....	31
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างตามแนวแกนตั้งและความเข้มของสนามแม่เหล็ก.....	32
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ Hall Effect และอนุภาคโลหะ.....	34
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตเซ็นเซอร์ Hall Effect แรงดันเฉลี่ยและปริมาณอนุภาคโลหะ.....	35
4.5 กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเมื่อทำการหนีบสายไฮดรอลิก.....	36
4.6 ตำแหน่งที่ทำการติดตั้งเครื่องมือวัด.....	36
4.7 กราฟแสดงการเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าด้วยการไหลที่จุด P.....	36
4.8 กราฟแสดงการเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าด้วยการไหลที่จุด A.....	37
4.9 กราฟแสดงการเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าด้วยการไหลที่จุด B.....	37
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ Hall Effect และอนุภาคโลหะที่จุด P.....	38
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ Hall Effect และอนุภาคโลหะที่จุด A.....	39
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ Hall Effect และอนุภาคโลหะที่จุด B.....	39

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในยุคปัจจุบัน อุตสาหกรรมและกระบวนการผลิตมีการใช้น้ำมันไฮดรอลิกในเครื่องจักรเป็นจำนวนมาก แต่สาเหตุของการเสียหายของเครื่องจักรส่วนใหญ่มาจากการเสื่อมสภาพของน้ำมันไฮดรอลิกจากจุดศูนย์กลางการสูญเสียความหนืดของน้ำมันไฮดรอลิก ซึ่งมีสาเหตุจากหลายปัจจัย เช่น การรั่วไหลและอากาศเข้าสู่ระบบความร้อนจากการเสียดสี การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการปนเปื้อนของโลหะ เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนน้ำมันไฮดรอลิก อย่างสม่ำเสมอตามระยะเวลาที่กำหนด แต่ในสภาพการใช้งานจริงของเครื่องจักรที่มีการใช้งานต่างกัน ทำให้น้ำมันไฮดรอลิกเสื่อมสภาพก่อนถึงกำหนดเปลี่ยน หรือการเปลี่ยนน้ำมันไฮดรอลิกที่ยังใช้งานอยู่ตามขอบเขตการใช้งาน ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากเกินไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทดสอบความหนืดของน้ำมันไฮดรอลิก โดยการทดสอบสามารถทำได้หลายวิธี เช่น Ultrasonic Liquid Viscosity Measurement, Optical Liquid Viscosity Measurement, Capacitive Sensor and IR Absorption ในการทดลองนี้ เราจะเน้นการทดสอบการปนเปื้อนของโลหะเป็นปัจจัยสนับสนุนประการหนึ่ง ต่อการเสื่อมสภาพของน้ำมันไฮดรอลิกด้วยเซนเซอร์ Hall Effect เพื่อวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของน้ำมันไฮดรอลิก เพื่อให้สามารถตรวจวัดการเสื่อมสภาพของน้ำมันไฮดรอลิกได้อย่างแม่นยำ

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

วัตถุประสงค์ของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีดังต่อไปนี้:

- 1.2.1 พัฒนา ออกแบบ และสร้างอุปกรณ์ตรวจสอบคุณภาพ น้ำมันไฮดรอลิก.
- 1.2.2 ออกแบบการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจสอบคุณภาพ น้ำมันไฮดรอลิก.
- 1.2.3 รวบรวมข้อมูลและสร้างกราฟเพื่อวิเคราะห์โลหะเจือปนในน้ำมันไฮดรอลิก
- 1.2.4 เปรียบเทียบเพื่อตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันไฮดรอลิกในกระบวนการ

1.3 สมมติฐาน

สมมติฐานของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีดังนี้

- 1.3.1 แรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเศษโลหะเพิ่มขึ้น
- 1.3.2 การรบกวนจากสิ่งแวดล้อมจะไม่ส่งผลต่อการเหนี่ยวนำของแม่เหล็กถาวร
- 1.3.3 การเสื่อมสภาพของน้ำมันไฮดรอลิกสามารถประมาณได้จากปริมาณเศษโลหะในน้ำมันไฮดรอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ตัวแปรที่มีผลต่อการทดลอง

ตัวแปรในการศึกษามีดังนี้

- 1.4.1 ตัวแปรอิสระ : ปริมาณเศษโลหะในน้ำมันไฮดรอลิก
- 1.4.2 ตัวแปรตาม : การเปลี่ยนแปลงของแรงดัน สีของน้ำมันไฮดรอลิก และความหนืดของน้ำมันไฮดรอลิก
- 1.4.3 ตัวแปรควบคุม : ระยะเวลาเหล็ก, ค่าแรงดันเริ่มต้นและอุณหภูมิระหว่างการทดลอง

1.5 การดำเนินการทดลอง

สามารถตรวจสอบการเสื่อมสภาพของน้ำมันไฮดรอลิกได้โดยการวัดแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น

- 1.5.1 วัดแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณโลหะเพิ่มขึ้นด้วยเซ็นเซอร์ Hall Effect
- 1.5.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบการเสื่อมสภาพของน้ำมันไฮดรอลิกดำเนินการโดยการเปรียบเทียบการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าของน้ำมันไฮดรอลิกที่จะทดสอบ

1.6 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

เป้าหมายหลักของโครงการแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

- 1.6.1 พัฒนา ออกแบบ และสร้างอุปกรณ์ ตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันไฮดรอลิก
- 1.6.2 ออกแบบการรับส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจสอบคุณภาพ น้ำมันไฮดรอลิก เพื่อรวบรวมข้อมูล และ สร้างกราฟ เพื่อวิเคราะห์ปริมาณโลหะเจือปนในน้ำมันไฮดรอลิกโดยเปรียบเทียบเพื่อตรวจสอบคุณภาพของ น้ำมันไฮดรอลิกในกระบวนการ

1.7 ขั้นตอนการศึกษา

- 1.7.1 ศึกษาการทำงานของเครื่องจักรไฮดรอลิก เพื่อให้เข้าใจการทำงานหลักการพื้นฐานเบื้องต้น ของเครื่องจักรไฮดรอลิก
- 1.7.2 ศึกษาการทำงานของเซ็นเซอร์วัดสนามแม่เหล็กและหลักการเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัด การปนเปื้อนของโลหะในเครื่องจักรไฮดรอลิก
- 1.7.3 โครงการศึกษาวางจรขยายสัญญาณสำหรับขยายค่าที่ได้จากการวัดการเปลี่ยนแปลงของเซ็นเซอร์วัดค่าสนามแม่เหล็ก
- 1.7.4 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเส้นแรงแม่เหล็ก กับรูปร่างลักษณะแม่เหล็กและระยะห่างจากตัวแม่เหล็กเพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวร
- 1.7.5 ศึกษาทำความเข้าใจ เกี่ยวกับการใช้งานอาร์ดีโน และการเขียนโค้ดโปรแกรมเพื่อใช้ในการรับค่าและแสดงผล ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปแบบอนาล็อกจากเครื่องมือวัดค่าสนามแม่เหล็ก
- 1.7.6 ทำการทดลองตามที่ได้วางแผนไว้เพื่อสรุปผลโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไฮดรอลิก

ไฮดรอลิกเป็นสาขาหนึ่งของวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติเชิงกลและการใช้ของเหลว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการผลิต การควบคุม และการส่งกำลังผ่านการใช้ของเหลวที่มีแรงดัน มันเกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของไหลและถูกนำไปใช้ในงานที่หลากหลาย รวมถึงการออกแบบท่อ เชื้อเพลิง และวงจรควบคุมของไหล คำว่า "ไฮดรอลิก" มาจากคำภาษากรีกที่แปลว่าน้ำและท่อ

ระบบไฮดรอลิกใช้ของไหลที่มีแรงดันในการส่งพลังงานและทำงาน เช่น การยกของหนัก หรือการหมุนเพลา ประกอบด้วยกระบอกสูบพร้อมลูกสูบที่เติมน้ำมันไฮดรอลิกและเชื่อมต่อกับระบบ วาล์ว เมื่อมีแรงกระทำต่อลูกสูบหนึ่ง ความดันจะถูกส่งไปทั่วของไหลและสร้างแรงเท่ากันที่ลูกสูบอีก อันหนึ่ง ตามกฎของปาสคาล ระบบไฮดรอลิกถูกนำไปใช้ในการใช้งานที่หลากหลาย และเป็นที่ยอมรับในด้านความสามารถในการส่งกำลังในทันทีเนื่องจากธรรมชาติของน้ำมันไฮดรอลิกที่อัดตัวแทบไม่ได้ เครื่องอัดไฮดรอลิกเครื่องแรกพัฒนาโดยโจเซฟ บรามานีในช่วงการปฏิวัติอุตสาหกรรมยุคแรก ๆ อิงตามหลักการของกฎของปาสคาล

2.1.1 ส่วนประกอบของระบบไฮดรอลิก

ระบบไฮดรอลิกประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 5 ส่วน ได้แก่ ตัวขับ ซึ่งโดยปกติจะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์ บีบซึ่งเพิ่มแรงดัน วาล์วควบคุมซึ่งควบคุมการไหลของของไหลและลดแรงดันส่วนเกิน กระบอกสูบซึ่งแปลงกำลังของของไหลไฮดรอลิกกลับเป็นพลังงานกล และไหลตซึ่งเป็นวัตถุหรืออุปกรณ์ที่ขับเคลื่อนโดยระบบ ระบบยังมีอ่างเก็บน้ำสำหรับกักเก็บน้ำมันไฮดรอลิกและปั๊มไฮดรอลิกที่ดันของเหลวผ่านระบบ มีระบบไฮดรอลิกหลายประเภท แต่ทั้งหมดมีส่วนประกอบหลักเหล่านี้และทำงานในลักษณะเดียวกัน

2.1.2 ข้อดี-ข้อเสียของระบบไฮดรอลิก

ระบบไฮดรอลิกเป็นระบบส่งกำลังประเภทหนึ่งที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นแรงดันและการไหล แล้วกลับเป็นการเคลื่อนที่ทางกล พวกเขาใช้น้ำมันไฮดรอลิกเพื่อส่งแรงดันและการไหล และสามารถสร้างการเคลื่อนที่แบบหมุนหรือแบบเชิงเส้น ดังนั้น

ข้อดีของระบบไฮดรอลิก:

- (1) อัตราส่วนกำลังต่อน้ำหนักสูง: ระบบไฮดรอลิกสามารถสร้างกำลังได้มากด้วยส่วนประกอบที่ค่อนข้างเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (2) ความยืดหยุ่นในการถ่ายโอนพลังงาน: พลังงานสามารถถ่ายโอนผ่านท่อไฮดรอลิกไปยังส่วนต่าง ๆ ของระบบได้อย่างง่ายดาย
- (3) ตัวเลือกการควบคุม: ระบบไฮดรอลิกสามารถควบคุมได้ด้วยตนเองหรือด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทันสมัย
- (4) การหล่อลื่นตัวเอง: ระบบไฮดรอลิกไม่ต้องการการหล่อลื่นภายนอกเนื่องจากน้ำมันไฮดรอลิกทำหน้าที่นี้
- (5) ความสามารถในการส่งงานจากระยะไกล: การส่งงานระบบไฮดรอลิกสามารถแยกออกจากการผลิตไฟฟ้าได้ เนื่องจากการถ่ายโอนพลังงานไฮดรอลิกทำได้ง่าย
- (6) ส่วนประกอบขนาดเล็ก: โดยทั่วไปแล้วส่วนประกอบไฮดรอลิกจะมีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับระบบส่งกำลังประเภทอื่น ๆ
- (7) การทำงานที่ราบรื่น: ระบบไฮดรอลิกสามารถสร้างการเคลื่อนไหวที่ราบรื่นและต่อเนื่องได้

ข้อเสียของระบบไฮดรอลิก:

- (1) ต้องการของเหลวที่สะอาด: ระบบไฮดรอลิกต้องการน้ำมันเกียร์ที่สะอาดเพื่อให้ทำงานได้อย่างถูกต้องและหลีกเลี่ยงความเสียหาย
- (2) การขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ: คุณลักษณะของของไหลไฮดรอลิกอาจได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ
- (3) การสูญเสียกำลังในการส่งกำลังทางไกล: กำลังอาจสูญเสียไปเมื่อส่งพลังงานไฮดรอลิกในระยะทางไกล
- (4) ข้อกำหนดในการบำรุงรักษา: ส่วนประกอบและของไหลในระบบไฮดรอลิกจำเป็นต้องได้รับการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้มั่นใจว่าทำงานได้อย่างเหมาะสม
- (5) อายุการใช้งานจำกัด: ส่วนประกอบไฮดรอลิกมีอายุการใช้งานจำกัด และในที่สุดจะต้องเปลี่ยนใหม่
- (6) ข้อกังวลด้านสิ่งแวดล้อม: น้ำมันไฮดรอลิกอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมหากรั่วไหลหรือกำจัดไม่ถูกวิธี
- (7) ค่าใช้จ่าย: ระบบไฮดรอลิกอาจมีราคาแพงกว่าในการติดตั้งและบำรุงรักษาเมื่อเทียบกับระบบส่งกำลังประเภทอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 หลักการของปาสคาล

หลักการของปาสคาลระบุว่า การเปลี่ยนแปลงของความดันที่กระทำต่อของไหลที่ปิดล้อมนั้นจะถูกส่งโดยไม่สูญเสียไปยังทุกจุดในของไหลและไปยังผนังของภาชนะที่กักเก็บไว้ สิ่งนี้เกิดขึ้นเนื่องจากของไหลเกือบจะอัดตัวไม่ได้ ดังนั้นเมื่อมีการใช้แรงดัน มันจะถูกส่งในแนวตั้งไปยังผนังของภาชนะทุกทิศทาง ในระบบไฮดรอลิก แรงเพียงเล็กน้อยที่ใช้กับลูกสูบขนาดเล็กจะสร้างแรงดันเพิ่มขึ้นในของไหล ซึ่งจะถูกส่งไปยังลูกสูบที่ใหญ่ขึ้นผ่านของไหลที่บีบอัดไม่ได้ ส่งผลให้ลูกสูบที่ใหญ่ขึ้นมีแรงมากขึ้น ระบบไฮดรอลิกช่วยให้สามารถยกของหนักโดยใช้แรงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากแรงบนลูกสูบที่ใหญ่กว่าจะมากกว่าแรงที่ลูกสูบที่เล็กกว่าโดยปัจจัยที่เท่ากับอัตราส่วนของพื้นที่ของลูกสูบทั้งสอง ความดันในลูกสูบทั้งสองเท่ากัน แต่แรงต่างกันเนื่องจากความแตกต่างของพื้นที่ลูกสูบ

2.2 การเสื่อมสภาพของน้ำมันไฮดรอลิก

น้ำมันไฮดรอลิกเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของระบบไฮดรอลิก เนื่องจากทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นและช่วยส่งแรงดันและการไหลทั่วทั้งระบบ อย่างไรก็ตาม เช่นเดียวกับของเหลวอื่น ๆ น้ำมันไฮดรอลิกสามารถเสื่อมสภาพเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งอาจนำไปสู่ปัญหาหลายอย่างในระบบ

มีหลายปัจจัยที่อาจทำให้น้ำมันไฮดรอลิกเสื่อมสภาพ ได้แก่:

อายุ: เมื่อเวลาผ่านไป น้ำมันไฮดรอลิกอาจเริ่มสลายตัวเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีปกติที่เกิดขึ้นภายในของเหลว สิ่งนี้สามารถนำไปสู่การก่อตัวของกากตะกอนและสารปนเปื้อนอื่น ๆ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบไฮดรอลิก

การปนเปื้อน: อนุภาคแปลกปลอมหรือสิ่งปนเปื้อนสามารถเข้าสู่ระบบไฮดรอลิกได้หลายวิธี รวมถึงการรั่วไหล ซิลคาร์บ หรือการบำรุงรักษาที่ไม่เหมาะสม สารปนเปื้อนเหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำมันไฮดรอลิก ทำให้เสื่อมสภาพและสูญเสียประสิทธิภาพ

ความร้อน: อุณหภูมิสูงอาจทำให้พันธะเคมีภายในน้ำมันไฮดรอลิกแตกตัว ซึ่งนำไปสู่การเสื่อมสภาพ สิ่งนี้สามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากอุณหภูมิภายในระบบสูง เช่น อุณหภูมิที่เกิดจากการเสียดสีหรือความดันสูง หรือเนื่องจากปัจจัยภายนอก เช่น อุณหภูมิโดยรอบหรือการสัมผัสกับแสงแดด

ออกซิเดชัน: ออกซิเจนสามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลภายในน้ำมันไฮดรอลิก ทำให้เสื่อมสภาพเมื่อเวลาผ่านไป สิ่งนี้สามารถนำไปสู่การก่อตัวของกากตะกอนและสารปนเปื้อนอื่น ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

แรงเฉือน: การเคลื่อนไหวอย่างต่อเนื่องภายในระบบไฮดรอลิกอาจทำให้น้ำมันได้รับแรงเฉือน ซึ่งอาจนำไปสู่การเสื่อมสภาพได้ สิ่งนี้สามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากน้ำมันไหลผ่านพื้นที่จำกัดหรือบริเวณที่มีแรงดันสูง หรือเนื่องจากการเคลื่อนตัวของส่วนประกอบภายในระบบ

สิ่งสำคัญคือต้องตรวจสอบสภาพของน้ำมันไฮดรอลิกในระบบเป็นประจำ และเปลี่ยนเมื่อจำเป็นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่อาจเกิดขึ้น

2.3 Arduino [1]

Arduino เป็นแพลตฟอร์มฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์สที่ใช้สำหรับสร้างระบบและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ สถาปัตยกรรมการพัฒนา และอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตที่หลากหลาย

ไมโครคอนโทรลเลอร์คือคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่สามารถตั้งโปรแกรมให้อ่านอินพุตจากเซ็นเซอร์ ทำการคำนวณ และควบคุมเอาต์พุต เช่น มอเตอร์และไฟ LED สถาปัตยกรรมพัฒนาคือแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์ที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถเขียนโค้ดในภาษาโปรแกรมต่าง ๆ เช่น C++ และอัปโหลดไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์

Arduino ถูกใช้อย่างแพร่หลายในโครงการต่าง ๆ รวมถึงหุ่นยนต์ ระบบอัตโนมัติภายในบ้าน และแอปพลิเคชัน Internet of Things (IoT) เป็นที่นิยมเนื่องจากใช้งานง่าย ต้นทุนต่ำ และทรัพยากรสนับสนุนและเอกสารที่มีอยู่มากมาย

2.3.1 Arduino Uno

Arduino Uno เป็นรูปแบบเฉพาะของแพลตฟอร์ม Arduino ที่ใช้กันทั่วไปสำหรับการสร้างต้นแบบและโครงการงานอดิเรก เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328 ซึ่งมีหน่วยความจำแฟลช 32KB, SRAM 2KB และ EEPROM 1KB

Arduino Uno มีพินอินพุตและเอาต์พุตจำนวนหนึ่งที่สามารถใช้เพื่อเชื่อมต่อเซ็นเซอร์ แอคทูเอเตอร์ และอุปกรณ์อื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในตัวมากมาย รวมถึงพอร์ต USB สำหรับตั้งโปรแกรมและสื่อสาร แจ็คไฟสำหรับจ่ายไฟภายนอก และส่วนหัว ICSP สำหรับตั้งโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์โดยตรง ดังรูปที่ 2.1

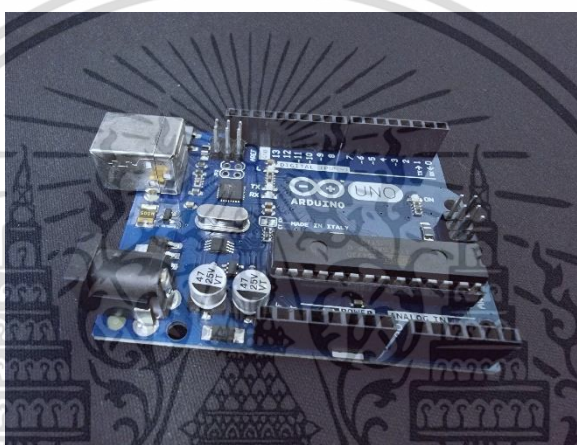
Arduino Uno ได้รับความนิยมเนื่องจากความเรียบง่ายและความสามารถรอบด้าน และมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในโครงการต่าง ๆ รวมถึงหุ่นยนต์ ระบบอัตโนมัติในบ้าน และแอปพลิเคชัน Internet of Things เข้ากันได้กับ Arduino Integrated Development Environment (IDE) ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้สามารถเขียนโค้ดในภาษาโปรแกรมต่าง ๆ และอัปโหลดไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์

คุณสมบัติหลักของ Arduino Uno:

- (1) ไมโครคอนโทรลเลอร์: ATmega328
- (2) แรงดันไฟฟ้าที่ใช้งาน: 5 V
- (3) แรงดันไฟเข้า (แนะนำ): 7-12 V
- (4) แรงดันไฟเข้า (จำกัด): 6-20 V
- (5) พิน I/O ดิจิตอล: 14 (โดย 6 ให้เอาต์พุต PWM)
- (6) พินอินพุตแบบอนาล็อก: 6
- (7) กระแสไฟตรงต่อ I/O Pin: 40 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (8) กระแสไฟตรงสำหรับขา 3.3 V : 50 mA
- (9) หน่วยความจำแฟลช: 32 kB (ซึ่ง 0.5 kB ใช้โดย Bootloader)
- (10)SRAM: 2 kB
- (11)EEPROM: 1 kB
- (12)ความเร็วสัญญาณนาฬิกา: 16 MHz
- (13)ความยาว : 68.6 mm
- (14)ความกว้าง: 53.4 mm
- (15)น้ำหนัก : 25 g



รูปที่ 2.1 Arduino

2.3.2 Arduino IDE [2]

Arduino Integrated Development Environment (IDE) เป็นซอฟต์แวร์แอปพลิเคชันที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถเขียนโค้ดในภาษาโปรแกรมต่าง ๆ เช่น C++ และอัปโหลดไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Arduino IDE พร้อมใช้งานสำหรับระบบปฏิบัติการ Windows, macOS และ Linux และดาวน์โหลดและใช้งานได้ฟรี

Arduino IDE มีโปรแกรมแก้ไขข้อความสำหรับเขียนโค้ด คอมไพเลอร์สำหรับแปลงโค้ดเป็นรูปแบบที่สามารถรันบนไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ และเครื่องมือสำหรับอัปโหลดโค้ดไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้ยังมีไลบรารีโค้ดที่เขียนไว้ล่วงหน้าซึ่งเรียกว่า "สเก็ตช์" ซึ่งสามารถแก้ไขและใช้ในโครงการได้ ดังรูปที่ 2.2

Arduino IDE เป็นที่นิยมในหมู่มือสมัครเล่นและมืออาชีพเนื่องจากความเรียบง่ายและความสามารถรอบด้าน มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในโครงการต่าง ๆ รวมถึงหุ่นยนต์ ระบบอัตโนมัติในบ้าน และแอปพลิเคชัน Internet of Things

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Arduino IDE เข้ากันได้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ที่หลากหลาย รวมถึง Arduino Uno, Arduino Mega และ Arduino Leonardo นอกจากนี้ยังรองรับอุปกรณ์ภายนอกและเซ็นเซอร์ที่หลากหลายผ่านการใช้ไลบรารีและทรัพยากรอื่น ๆ

Arduino Community มีขนาดใหญ่และกระตือรือร้น พร้อมด้วยแหล่งข้อมูลและการสนับสนุนที่หลากหลายทางออนไลน์ ซึ่งรวมถึงฟอรัม บทช่วยสอน และโปรเจกต์ที่แชร์โดยผู้ใช้อื่น

Arduino IDE สามารถขยายได้ด้วยคุณสมบัติและฟังก์ชันเพิ่มเติมผ่านการมีส่วนร่วมขยายซึ่งมีให้ใช้งานผ่านตัวจัดการส่วนขยายของ IDE ส่วนขยายเหล่านี้สามารถเพิ่มการรองรับสำหรับภาษาโปรแกรมใหม่ แพลตฟอร์มฮาร์ดแวร์ และคุณสมบัติอื่น ๆ



รูปที่ 2.2 หน้าจอ Arduino IDE

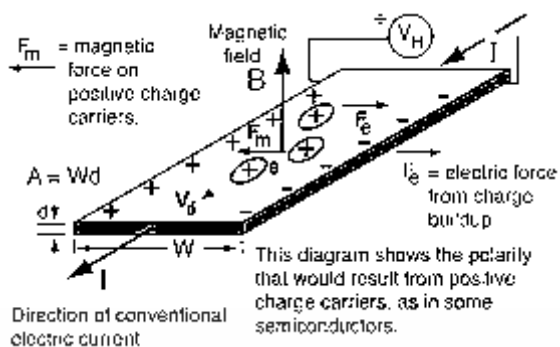
2.4 Hall Effect เซ็นเซอร์ [3]

เซ็นเซอร์ Hall Effect เป็นเซ็นเซอร์ประเภทหนึ่งที่ใช้หลักการ Hall Effect เพื่อวัดการมีหรือไม่มีสนามแม่เหล็ก Hall Effect เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าถูกวางไว้ในสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าในแนวตั้งฉากกับกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ดังรูปที่ 2.3

เซ็นเซอร์ Hall Effect ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการใช้งานที่หลากหลาย รวมถึงการตรวจจับตำแหน่ง การตรวจจับความเร็ว และการตรวจจับกระแสไฟฟ้า เป็นที่นิยมเนื่องจากต้นทุนต่ำ ความน่าเชื่อถือ และความสามารถรอบด้าน

เซ็นเซอร์ Hall Effect มีหลายรูปแบบและสามารถใช้เพื่อตรวจจับการมีอยู่ของสนามแม่เหล็ก วัดความแรงของสนาม หรือกำหนดทิศทางของสนามแม่เหล็ก มักใช้ในหุ่นยนต์ ยานยนต์ และอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 หลักการเซ็นเซอร์ Hall Effect

โดย Hall Effect เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อวางตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าอยู่ในสนามแม่เหล็ก มันถูกค้นพบครั้งแรกในปี พ.ศ. 2422 โดยนักฟิสิกส์ เอ็ดวิน ฮอลล์ ผู้ซึ่งสังเกตเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าถูกสร้างขึ้นบนตัวนำบาง ๆ เมื่อมีกระแสไหลผ่านตัวนำไฟฟ้าในสนามแม่เหล็ก

Hall Effect สามารถอธิบายได้ด้วยสมการ (2.1) ต่อไปนี้:

$$V_H = BIL \quad (2.1)$$

โดยที่ V_H คือแรงดัน Hall, B คือความแรงของสนามแม่เหล็ก, I คือกระแสที่ไหลผ่านตัวนำ และ L คือความยาวของตัวนำ

แรงดัน Hall ที่สร้างขึ้นโดย Hall Effect เป็นสัดส่วนกับความแรงของสนามแม่เหล็กและกระแสที่ไหลผ่านตัวนำ และจะตั้งฉากกับทั้งกระแสและสนามแม่เหล็ก

มีการใช้ Hall Effect ในการใช้งานที่หลากหลาย รวมถึงการตรวจจับตำแหน่ง การตรวจจับความเร็ว และการตรวจจับปัจจุบัน โดยทั่วไปจะใช้ในเซ็นเซอร์ที่เรียกว่าเซ็นเซอร์ Hall-effect ซึ่งใช้ในการตรวจจับการมีหรือไม่มีสนามแม่เหล็ก วัดความแรง หรือกำหนดทิศทาง

2.5 เซ็นเซอร์ Hall Effect เชิงเส้น

A1301 และ A1302 เป็น IC เซ็นเซอร์ Hall-effect เป็นอุปกรณ์ที่จะสร้างแรงดันไฟฟ้าเมื่อถูกนำไปวางไว้ในสนามแม่เหล็ก แสดงในรูปที่ 2.4 โดยอุปกรณ์เหล่านี้มีแรงดันเอาต์พุตคงที่ 50% ของแรงดันจากแหล่งจ่าย โดยเลือกเซ็นเซอร์ที่ต้องการนำมาใช้จากความไวของเอาต์พุตสองตัวได้แก่ 2.5 mV/G สำหรับ A1301 และ 1.3 mV/G สำหรับ A1302 [4]

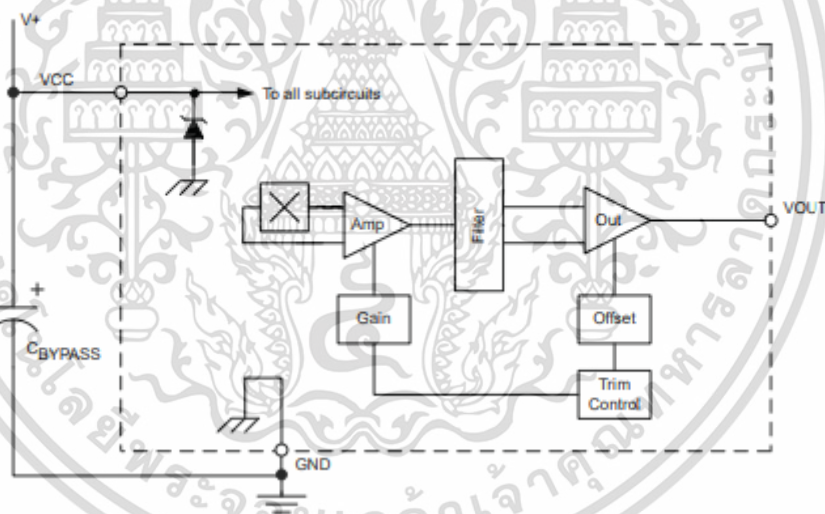
วงจรเอฟเฟกต์ฮอลล์ที่แต่ละชิ้นประกอบด้วยวงจรถอดลิเนียร์แอมพลิฟายเออร์ และโครงสร้างเอาต์พุต CMOS คลาส A ดังรูปที่ 2.5 การรวมวงจรถอดและแอมพลิฟายเออร์บนชิปตัวเดียวช่วยลดปัญหาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณอะนาล็อกระดับแรงดันต่ำและมีความแม่นยำสูง [5]

คุณสมบัติเหล่านี้ทำให้ A1301 และ A1302 เหมาะอย่างยิ่งสำหรับใช้ในระบบตรวจจับตำแหน่ง ทั้งการเคลื่อนที่ของเป้าหมายเชิงเส้นและการเคลื่อนที่ของเป้าหมายแบบหมุน เหมาะสำหรับงานอุตสาหกรรมในช่วงอุณหภูมิที่ขยาย ตั้งแต่ -40°C ถึง 125°C



รูปที่ 2.4 Hall Effect sensor A1301

Functional Block Diagram



รูปที่ 2.5 ไตอะแกรมการทำงานของ A1301

2.6 Precision Instrumentation Amplifier AD524 [6]

AD524 เป็นแอมพลิฟายเออร์เครื่องมือวัดขนาดใหญ่ที่มีความแม่นยำซึ่งออกแบบมาสำหรับแอปพลิเคชันการเก็บข้อมูลที่ต้องการความแม่นยำสูงภายใต้สภาวะการทำงานที่เลวร้ายที่สุด การผสมผสานที่โดดเด่นของความเป็นเชิงเส้นสูง การปฏิเสธโหมดร่วมสูง การเบี่ยงเบนของแรงดันออฟเซตต่ำ และสัญญาณรบกวนต่ำทำให้ AD524 เหมาะสำหรับใช้ในระบบเก็บข้อมูลจำนวนมาก แสดงในรูปที่ 2.6

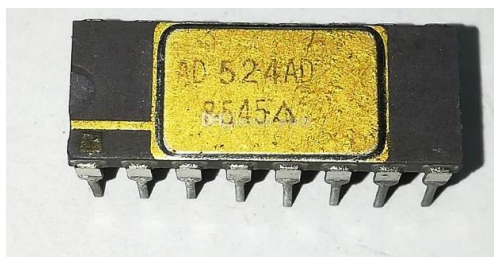
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD524 มีแรงดันออฟเซตดริฟต์เอาต์พุตน้อยกว่า $25 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$, ดริฟต์แรงดันออฟเซตอินพุตน้อยกว่า $0.5 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$, CMR สูงกว่า 90 dB ที่อัตราขยายแบบเอกภาพ (120 dB ที่ $G = 1000$) และค่าความไม่เชิงเส้นสูงสุด 0.003 % ที่ $G = 1$ นอกจากนี้ข้อกำหนด dc ที่โดดเด่นแล้ว AD524 ยังมีผลิตภัณฑ์แบนด์วิดท์ที่ได้รับ 25MHz ($G = 1,000$) เพื่อให้เหมาะสำหรับระบบการได้มาซึ่งข้อมูลความเร็วสูง AD524 มีอัตราการเปลี่ยนแปลงเอาต์พุตที่ $5 \text{ V}/\mu\text{s}$ และเข้าที่ที่ $15\mu\text{s}$ ถึง 0.01% เพื่อให้ได้กำไร 1 ถึง 100

ในฐานะที่เป็นแอมพลิฟายเออร์ที่สมบูรณ์ AD524 ไม่ต้องการส่วนประกอบภายนอกใด ๆ สำหรับอัตราขยายคงที่ที่ 1, 10, 100 และ 1,000 สำหรับการตั้งค่าอัตราขยายอื่น ๆ ระหว่าง 1 ถึง 1,000 จำเป็นต้องใช้ตัวต้านทานเพียงตัวเดียว อินพุต AD524 ได้รับการป้องกันอย่างสมบูรณ์สำหรับการเปิดและปิดเงื่อนไขข้อผิดพลาด ดังรูปที่ 2.7

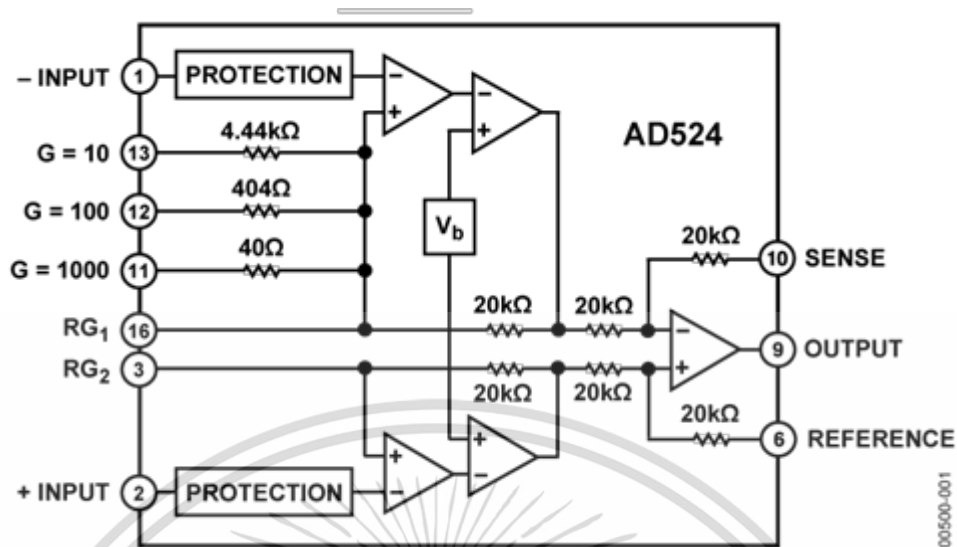
แอมพลิฟายเออร์เครื่องมือวัด IC AD524 มีสี่เวอร์ชันสำหรับความแม่นยำและช่วงอุณหภูมิการทำงานที่แตกต่างกัน เกรด "A" ที่ประหยัด, เกรดดริฟท์ต่ำ "B" และดริฟท์ต่ำ, เกรด "C" ที่มีความเป็นเส้นตรงสูงกว่าจะระบุตั้งแต่ -25°C ถึง $+85^{\circ}\text{C}$ เกรด "S" รับประกันประสิทธิภาพตามข้อกำหนดในช่วงอุณหภูมิที่ขยาย -55°C ถึง $+125^{\circ}\text{C}$ อุปกรณ์มีอยู่ในแพ็คเกจ DIP และ SOIC แบบเซรามิก 16 พิน และตัวพาชิปแบบไร้สารตะกั่ว 20 ขั้ว

- (1) AD524 รับประกันแรงดันออฟเซตต่ำ การลอยของแรงดันออฟเซต และสัญญาณรบกวนต่ำสำหรับการใช้งานอัตราขยายสูงที่แม่นยำ
- (2) AD524 ทำงานสมบูรณ์ด้วยพินที่ตั้งโปรแกรมได้ 1, 10, 100 และ 1000 และตัวต้านทานตัวเดียวที่ตั้งโปรแกรมได้สำหรับเกนใด ๆ
- (3) เทอร์มินัลออฟเซตออฟเซตอินพุตและเอาต์พุตมีไว้สำหรับการใช้งานที่มีความแม่นยำสูงมาก และเพื่อลดการเปลี่ยนแปลงแรงดันออฟเซตในแอปพลิเคชันช่วงเกน
- (4) AD524 ได้รับการป้องกันอินพุตสำหรับเงื่อนไขข้อผิดพลาดทั้งในการเปิดและปิดเครื่อง
- (5) AD524 แบนด์วิดท์ 25 MHz การตอบสนองพลังงานเต็มที่ 75 kHz และเวลาเข้าที่ $15 \mu\text{s}$ ถึง 0.01% ของขั้นตอน 20 V ($G = 100$)



รูปที่ 2.6 Signal amplifier AD524

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ไดอะแกรมการทำงานของ AD524

2.7 OP07 [7]

แอมพลิฟายเออร์สำหรับการดำเนินงาน (op-amp) เป็นแอมพลิฟายเออร์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่ใช้กันทั่วไปในวงจรและระบบต่าง ๆ เป็นแอมพลิฟายเออร์ดีฟเฟอเรนเชียลอัตราขยายสูงที่ออกแบบมาเพื่อขยายความแตกต่างเล็กน้อยของแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วอินพุต

ออปแอมป์ประกอบด้วยดีฟเฟอเรนเชียลแอมพลิฟายเออร์สเตจ ซึ่งขยายความแตกต่างระหว่างสัญญาณอินพุตและสเตจป้อนกลับ ซึ่งปรับเกนของแอมพลิฟายเออร์ตามสัญญาณเอาต์พุต อัตราขยายของ op-amp สามารถควบคุมได้โดยใช้ตัวต้านทานภายนอกเพื่อให้ข้อเสนอแนะ

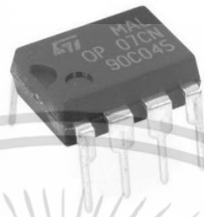
ออปแอมป์ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการใช้งานที่หลากหลาย รวมถึงการประมวลผลสัญญาณ ระบบควบคุม และเครื่องมือวัด เป็นที่นิยมเนื่องจากอัตราขยายสูง สัญญาณรบกวนต่ำ และอิมพีแดนซ์อินพุตสูง

OP07 มีแรงดันออฟเซตอินพุตที่ต่ำมาก (สูงสุด $75 \mu\text{V}$ สำหรับ OP07E) ที่ได้มาจากการตัดแต่งที่ระยะแผ่นเวเฟอร์ แรงดันไฟฟ้าออฟเซตต่ำเหล่านี้โดยทั่วไปจะขจัดความจำเป็นในการโรมช่ภายนอก นอกจากนี้ OP07 ยังมีกระแสไบแอสอินพุตต่ำ ($\pm 4 \text{ nA}$ สำหรับ OP07E) และอัตราขยายวงเปิดสูง (200 V/mV สำหรับ OP07E) ออฟเซตต่ำและอัตราขยายวงเปิดสูงทำให้ OP07 มีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการใช้งานเครื่องมือวัดอัตราขยายสูง ดังรูปที่ 2.8

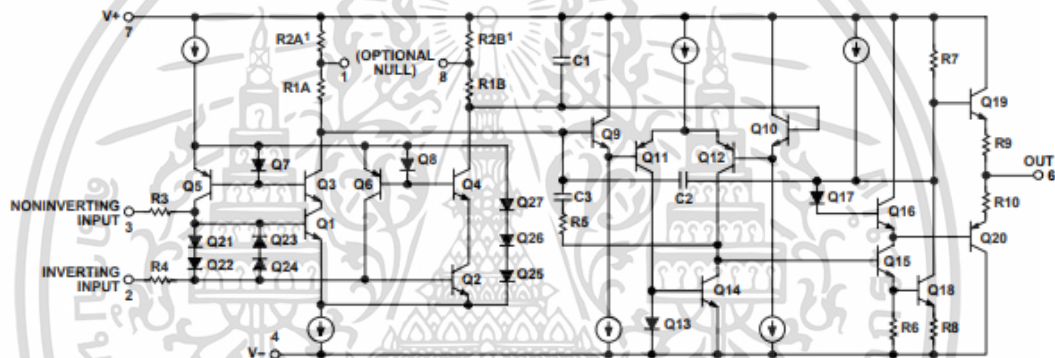
ช่วงแรงดันอินพุตกว้างขึ้นต่ำ $\pm 13 \text{ V}$ รวมกับ CMRR สูง 106 dB (OP07E) และอิมพีแดนซ์อินพุตสูงให้ความแม่นยำสูงในการกำหนดค่าวงจรที่ไม่กลับด้าน ความเป็นเส้นตรงที่ยอดเยียมและความแม่นยำในการรับสามารถรักษาไว้ได้แม้ในอัตราส่วนขยายวงปิดที่สูง ความเสถียรของการชดเชยและการเพิ่มตามเวลาหรือการแปรผันของอุณหภูมินั้นยอดเยี่ยม ความแม่นยำและความเสถียรของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OP07 แม้จะมีอัตราขยายสูง เมื่อรวมกับอิสระจากค่าโมฆะภายนอกทำให้ OP07 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมสำหรับการใช้งานเครื่องมือวัด OP07 มีให้เลือกสองเกรดประสิทธิภาพมาตรฐาน OP07E ถูกระบุสำหรับการทำงานในช่วง 0°C ถึง 70°C และ OP07C ถูกระบุในช่วงอุณหภูมิ -40°C ถึง $+85^{\circ}\text{C}$ OP07 มีอยู่ในแพ็คเกจจีโอพีท็อกซี 8-lead PDIP และ 8-lead SOIC แบบแคบ สำหรับแพ็คเกจ CERDIP และ TO-99 และรุ่น มาตรฐาน microcircuit drawing (SMD) ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.8 OP07



รูปที่ 2.9 ไดอะแกรมบล็อกการทำงานของ OP07

2.8 Microsoft Visual Studio [8]

Microsoft Visual Studio เป็นสภาพแวดล้อมการพัฒนาแบบรวม (IDE) ที่ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับระบบปฏิบัติการ Windows และแพลตฟอร์มอื่น ๆ ประกอบด้วยโปรแกรมแก้ไขข้อความ คอมไพเลอร์ และดีบักเกอร์ ตลอดจนเครื่องมือและคุณลักษณะต่าง ๆ สำหรับการสร้าง การทดสอบ และการปรับใช้ซอฟต์แวร์

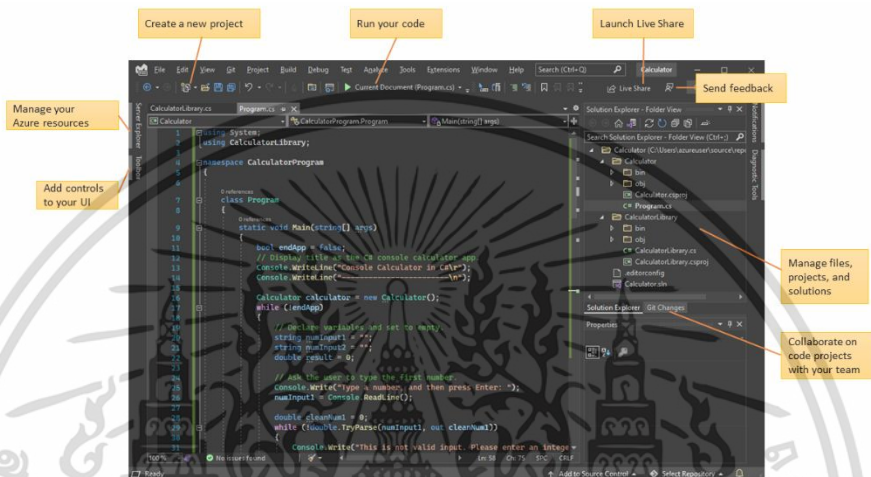
Visual Studio รองรับภาษาการเขียนโปรแกรมที่หลากหลาย รวมถึง C++, C# และ Visual Basic และสามารถใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับระบบปฏิบัติการ Windows เช่นเดียวกับ Android, iOS และเว็บ

หากต้องการใช้ Visual Studio นักพัฒนาจะเขียนโค้ดในโปรแกรมแก้ไขข้อความ จากนั้นจึงใช้คอมไพเลอร์เพื่อแปลงโค้ดให้เป็นรูปแบบที่สามารถเรียกใช้บนคอมพิวเตอร์ได้ สามารถใช้ดีบักเกอร์เพื่อระบุและแก้ไขข้อผิดพลาดในรหัส Visual Studio ยังมีเครื่องมือและคุณสมบัติที่หลากหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการทดสอบและดีบักโค้ด เช่น ความสามารถในการตั้งค่าเบรกพอยต์และขั้นตอนผ่านโค้ดที่ละบรรทัด ดังรูปที่ 2.10

Visual Studio ถูกใช้อย่างแพร่หลายโดยนักพัฒนาซอฟต์แวร์มืออาชีพเนื่องจากคุณสมบัติที่ทรงพลังและการรวมเข้ากับเครื่องมือและแพลตฟอร์มอื่น ๆ มีให้บริการในรุ่นต่าง ๆ รวมถึงรุ่นฟรีสำหรับนักพัฒนาแต่ละคนและรุ่นที่ครอบคลุมมากขึ้นสำหรับทีมพัฒนาองค์กร



รูปที่ 2.10 หน้าต่าง Microsoft Visual Studio Code

คุณสมบัติหลักของ Microsoft Visual Studio:

- (1) ระบบปฏิบัติการที่รองรับ: Windows 7, 8.1 และ 10; Windows Server 2012 R2 และใหม่กว่า
- (2) ภาษาโปรแกรมที่รองรับ: C++, C#, F#, Visual Basic, Python และอื่น ๆ
- (3) แพลตฟอร์มที่รองรับ: Windows, Android, iOS, เว็บ, Azure และอื่น ๆ
- (4) โปรแกรมแก้ไขข้อความ: การเน้นไวยากรณ์ การเติมโค้ด การปรับโครงสร้างใหม่ และอื่น ๆ
- (5) คอมไพเลอร์: คอมไพเลอร์โค้ดในรูปแบบปฏิบัติการสำหรับแพลตฟอร์มเป้าหมาย
- (6) ดีบักเกอร์: อนุญาตให้นักพัฒนาระบุและแก้ไขข้อผิดพลาดในโค้ด ด้วยคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น เบรกพอยต์ การดีบักทีละขั้นตอน และการตรวจสอบคอลแล็ค
- (7) เครื่องมือทดสอบ: อนุญาตให้นักพัฒนาสร้างและเรียกใช้การทดสอบสำหรับโค้ดของตน รวมถึงการทดสอบหน่วย การทดสอบการรวม และอื่น ๆ
- (8) การผสานรวมกับเครื่องมือและแพลตฟอร์มอื่น ๆ : Visual Studio ผสานรวมกับเครื่องมือและแพลตฟอร์มที่หลากหลาย เช่น Azure, GitHub และอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (9) รุ่นที่มีจำหน่าย: Visual Studio มีให้เลือกหลายรุ่น รวมถึง Visual Studio Community (ฟรีสำหรับนักพัฒนารายบุคคล), Visual Studio Professional และ Visual Studio Enterprise (สำหรับทีมพัฒนาระดับองค์กร)

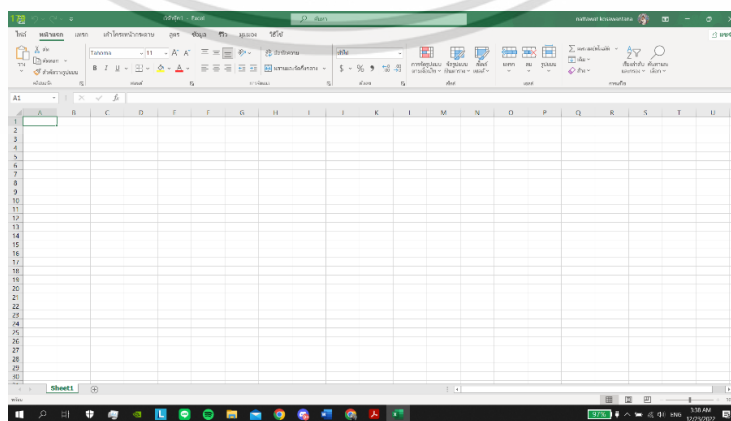
2.9 Microsoft Excel

Excel เป็นหนึ่งในโปรแกรมที่มีอยู่เป็นจำนวนมากที่ถูกพัฒนามาจาก Microsoft ที่อยู่ในชุด Microsoft Office โดย Excel เป็นโปรแกรม ที่มีจุดเด่นในเรื่องของการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับตัวเลข และมีข้อดีคือ สามารถสร้างและจัดรูปแบบของตารางในรูปแบบต่าง ๆ สามารถสร้างเอกสารที่มีการคำนวณและสามารถเชื่อมโยงกับสูตร และสามารถจัดเก็บข้อมูลได้มากถึงหลักแสนแถวแต่ไม่เกินล้าน นอกจากนี้ยังสามารถสร้างการนำเสนอในรูปแบบต่าง ๆ ในรูปแบบของกราฟได้หลากหลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็นกราฟเชิงเส้น วงกลม และจุด ซึ่งสามารถทำได้ทั้งรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ Microsoft Excel เป็นแอปพลิเคชันสเปรดชีตที่พัฒนาโดย Microsoft ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของชุดซอฟต์แวร์เพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน Microsoft Office ใช้เพื่อจัดระเบียบ วิเคราะห์ และจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบที่มีโครงสร้าง เช่น ตารางหรือเมทริกซ์ ดังรูปที่ 2.11

Excel ช่วยให้ผู้ใช้สามารถสร้างและแก้ไขสเปรดชีตซึ่งประกอบด้วยแถวและคอลัมน์ที่สามารถมีประเภทข้อมูลต่าง ๆ รวมถึงตัวเลข ข้อความ และสูตร สูตรต่าง ๆ ใช้ในการคำนวณข้อมูลในสเปรดชีต เช่น การบวก การลบ การหาค่าเฉลี่ย และอื่น ๆ

Excel ยังมีเครื่องมือและฟีเจอร์มากมายสำหรับการแสดงภาพและวิเคราะห์ข้อมูล เช่น แผนภูมิ ตาราง Pivot และตัวกรอง เครื่องมือเหล่านี้สามารถใช้เพื่อระบุแนวโน้ม รูปแบบ และความสัมพันธ์ในข้อมูล

Excel ถูกใช้อย่างแพร่หลายในหลากหลายอุตสาหกรรมและเป็นที่ยอมรับเนื่องจากความอ่อนโยนและความสามารถในการวิเคราะห์ที่ทรงพลัง พร้อมใช้งานสำหรับ Windows, macOS และออนไลน์



รูปที่ 2.11 หน้าต่างโปรแกรม Microsoft Excel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

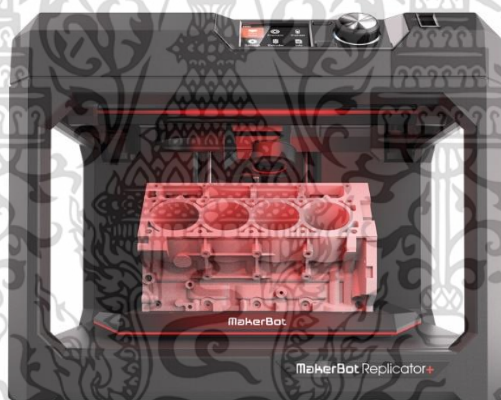
2.10 เครื่องพิมพ์สามมิติ

เครื่องพิมพ์ 3 มิติคือเครื่องจักรที่ใช้กระบวนการที่เรียกว่าการผลิตแบบเพิ่มเนื้อวัสดุเพื่อสร้างวัตถุสามมิติโดยการวางชั้นของวัสดุต่อเนื่องกัน เช่น พลาสติก โลหะ หรือเซรามิก

เครื่องพิมพ์ 3 มิติทำงานโดยทำตามชุดคำสั่งดิจิทัลที่เรียกว่าแบบจำลองหรือการออกแบบ 3 มิติ ซึ่งจะระบุรูปร่างและขนาดของวัตถุที่จะพิมพ์ เครื่องพิมพ์จะอ่านคำแนะนำเหล่านี้และเลื่อนหัวฉีดหรือหัวอัดรีดไปรอบ ๆ เพื่อฝากวัสดุไว้ในตำแหน่งที่ต้องการ สร้างวัตถุทีละชั้น ดังรูปที่ 2.12

เครื่องพิมพ์ 3 มิติถูกใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม รวมถึงการผลิต การออกแบบ วิศวกรรม และศิลปะ พวกเขาได้รับความนิยมเนื่องจากความสามารถในการผลิตวัตถุที่ซับซ้อนได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ และพวกเขามีศักยภาพในการปฏิวัติวิธีการออกแบบและผลิตผลิตภัณฑ์

มีเครื่องพิมพ์ 3 มิติหลายประเภทให้เลือก ตั้งแต่รุ่นเดสก์ท็อปขนาดเล็กราคาไม่แพง ไปจนถึงเครื่องจักรขนาดใหญ่ระดับอุตสาหกรรม พวกเขาใช้วัสดุที่หลากหลาย รวมถึงพลาสติก โลหะ และเซรามิก และพวกเขาสามารถผลิตวัตถุที่มีขนาดและรูปร่างที่หลากหลาย



รูปที่ 2.12 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ

JG Aurora A5 เป็นเครื่องพิมพ์ 3 มิติระดับกลางที่ออกแบบมาสำหรับใช้ในบ้านและธุรกิจขนาดเล็ก มีปริมาณงานพิมพ์ขนาดใหญ่ (300 x 300 x 330 มม.) ดังรูปที่ 2.13 ซึ่งช่วยให้สามารถพิมพ์วัตถุขนาดใหญ่ขึ้นได้ และมีแท่นทำความร้อนและคุณสมบัติปรับระดับแท่นอัตโนมัติ เพื่อให้แน่ใจว่างานพิมพ์จะสม่ำเสมอและแม่นยำ

JG Aurora A5 ใช้เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติที่ใช้เส้นใย ซึ่งหมายความว่า จะอัดพลาสติกที่หลอมเหลวผ่านหัวฉีดเพื่อสร้างวัตถุทีละชั้น เข้ากันได้กับเส้นใยต่าง ๆ เช่น ABS, PLA, PETG และอื่น ๆ

JG Aurora A5 ควบคุมผ่านอินเทอร์เน็ตเฟซที่ใช้งานง่ายและเข้ากันได้กับซอฟต์แวร์การสร้างแบบจำลอง 3 มิติที่หลากหลาย รวมถึง Simplify3D, Cura และ Repetier-Host สามารถซื้อได้ทางออนไลน์และผ่านตัวแทนจำหน่ายที่ได้รับอนุญาต

รายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับ JG Aurora A5:

- (1) เทคโนโลยีการพิมพ์: การพิมพ์ 3 มิติที่ใช้เส้นใย
- (2) ปริมาณการสร้าง: 300 x 300 x 330 มม
- (3) ความแม่นยำในการพิมพ์: 0.1-0.4mm
- (4) เส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด: 0.4 มม
- (5) ประเภทเส้นใยที่รองรับ: ABS, PLA, PETG, ไม้ และอื่น ๆ
- (6) อุณหภูมิเตียงสูงสุด: 110°C
- (7) ความเร็วในการพิมพ์: 20-100 มม./วินาที
- (8) การเชื่อมต่อ: USB, การ์ด SD
- (9) ความเข้ากันได้ของระบบปฏิบัติการ: Windows, macOS, Linux

JG Aurora A5 เป็นเครื่องพิมพ์ 3 มิติระดับกลางที่ออกแบบมาสำหรับใช้ในบ้านและธุรกิจขนาดเล็ก มีปริมาณงานพิมพ์ขนาดใหญ่และฐานทำความร้อน ซึ่งทำให้เหมาะสำหรับการพิมพ์วัสดุต่างๆ รวมถึงต้นแบบ แบบจำลอง และวัสดุอื่น ๆ ใช้งานง่ายและเข้ากันได้กับเส้นใยประเภทต่าง ๆ ซึ่งทำให้เป็นตัวเลือกที่หลากหลายและยืดหยุ่นสำหรับการพิมพ์ 3 มิติ



รูปที่ 2.13 เครื่องพิมพ์ 3มิติ รุ่น jgaurora a5

2.11 ไดโอดเปล่งแสงอินทรีย์ [9]

ไดโอดเปล่งแสงอินทรีย์ (OLED) เป็นเทคโนโลยีการแสดงผลประเภทหนึ่งที่ใช้วัสดุอินทรีย์เพื่อผลิตแสง จอภาพ OLED มีความบาง น้ำหนักเบา และยืดหยุ่น และมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในแอปพลิเคชันที่หลากหลาย รวมถึงสมาร์ทโฟน ทีวี และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จอแสดงผล OLED ประกอบขึ้นจากชั้นวัสดุอินทรีย์บาง ๆ ที่ประกบระหว่างขั้วไฟฟ้าสองขั้ว เมื่อใช้กระแสไฟฟ้ากับอิเล็กโทรด สารอินทรีย์จะเปล่งแสงออกมา ซึ่งใช้สร้างภาพบนจอแสดงผล ดังรูปที่ 2.14

จอภาพ OLED มีข้อดีหลายประการเหนือจอภาพประเภทอื่น ได้แก่ อัตราส่วนคอนทราสต์สูง อัตราการรีเฟรชที่รวดเร็ว มุมมองภาพกว้าง และการใช้พลังงานต่ำ ทั้งยังบางและเบากว่าจอแสดงผลประเภทอื่น ๆ จึงเหมาะสำหรับใช้ในอุปกรณ์พกพา

จอแสดงผล OLED มีหลายประเภท ได้แก่ Passive Matrix OLED (PMOLED) และ Active Matrix OLED (AMOLED) จอแสดงผล PMOLED นั้นง่ายกว่าและมีต้นทุนการผลิตที่ถูกกว่า แต่มีอัตราการรีเฟรชที่ช้ากว่าและความละเอียดต่ำกว่าจอแสดงผล AMOLED ในทางกลับกัน จอแสดงผล AMOLED มีราคาแพงกว่าในการผลิต แต่ให้ความละเอียดสูงกว่าและอัตราการรีเฟรชที่เร็วกว่า

หากต้องการใช้จอแสดงผล OLED กับบอร์ด Arduino คุณจะต้องเชื่อมต่อจอแสดงผล OLED กับ Arduino โดยใช้สายไฟหรือเตี๊ยมพันขมม จอแสดงผล OLED ใช้โปรโตคอลอนุกรมที่เรียกว่า I2C เพื่อสื่อสารกับ Arduino ดังนั้นคุณจะต้องเชื่อมต่อพิน I2C ของจอแสดงผล OLED กับพิน I2C ที่เหมาะสมบน Arduino

เมื่อเชื่อมต่อจอแสดงผล OLED กับ Arduino แล้ว คุณสามารถใช้ภาษาโปรแกรมและไลบรารีของ Arduino เพื่อควบคุมจอแสดงผล OLED ได้ ตัวอย่างเช่น คุณสามารถใช้ไลบรารีของ Arduino เพื่อวาดข้อความ รูปร่าง และรูปภาพบนจอแสดงผล OLED หรือคุณสามารถใช้จอแสดงผล OLED เพื่อแสดงข้อมูลเซ็นเซอร์หรือข้อมูลอื่น ๆ

ข้อมูลจำเพาะสำหรับจอแสดงผล OLED จะขึ้นอยู่กับรุ่นและผู้ผลิตเฉพาะ ต่อไปนี้เป็นข้อกำหนดทั่วไปบางประการที่คุณอาจพบในจอแสดงผล OLED ที่เข้ากันได้กับ Arduino:

- (1) ขนาดจอแสดงผล: จอแสดงผล OLED มีให้เลือกหลายขนาด ตั้งแต่ขนาดเล็ก 0.96 นิ้ว ไปจนถึงขนาดใหญ่ 7.5 นิ้ว ขนาดของจอแสดงผลจะขึ้นอยู่กับแอปพลิเคชันเฉพาะและจำนวนพื้นที่ว่างสำหรับการแสดงผล
- (2) ความละเอียด: จอแสดงผล OLED มีความละเอียดให้เลือกตั้งแต่ 128 x 64 พิกเซลถึง 1920 x 1080 พิกเซล ความละเอียดของการแสดงผลจะส่งผลต่อความคมชัดและรายละเอียดของรูปภาพและข้อความที่แสดงบนหน้าจอ
- (3) ความลึกของสี: จอแสดงผล OLED สามารถแสดงสีได้หลากหลายตั้งแต่ความลึกของสี 16 บิตถึง 24 บิต ความลึกของสีของจอแสดงผลจะส่งผลต่อความสมบูรณ์และความถูกต้องของสีที่แสดงบนหน้าจอ
- (4) มุมมองภาพ: จอภาพ OLED มีมุมมองกว้าง ซึ่งหมายความว่าสามารถรับชมได้จากทุกมุมโดยไม่มี การเปลี่ยนสีมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (5) เวลาตอบสนอง: จอแสดงผล OLED มีเวลาตอบสนองที่รวดเร็ว ซึ่งหมายความว่าสามารถแสดงภาพเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็วโดยไม่เบลอหรือมีแสงหลอก
- (6) การใช้พลังงาน: จอแสดงผล OLED มีการใช้พลังงานต่ำ ซึ่งทำให้เหมาะสำหรับใช้ในโครงการแบบพกพา
- (7) อุณหภูมิในการทำงาน: จอ OLED ไวต่ออุณหภูมิและอาจได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิที่สูงเกินไป จอแสดงผล OLED ส่วนใหญ่มีช่วงอุณหภูมิการทำงานที่ระบุ ซึ่งระบุช่วงอุณหภูมิที่สามารถใช้จอแสดงผลได้อย่างปลอดภัย
- (8) การเชื่อมต่อ: โดยปกติแล้วจอแสดงผล OLED จะใช้ I2C หรือ SPI เพื่อสื่อสารกับบอร์ด Arduino จอแสดงผล OLED บางรุ่นอาจมีตัวเลือกการเชื่อมต่อเพิ่มเติม เช่น USB หรือ Bluetooth



รูปที่ 2.14 I2C arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการออกแบบและพัฒนา

3.1 การออกแบบโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดสายไฮดรอลิกรุ่นต้นแบบ

ทดลองออกแบบอุปกรณ์จับยึดสายไฮดรอลิกรุ่นต้นแบบโดยใช้อุปกรณ์ พื้นฐานทางด้านการทำงานช่าง โดยจุดประสงค์ของการออกแบบของอุปกรณ์จับยึดสายได้ลิกรุ่นต้นแบบนี้มีไว้เพื่อทำการพิจารณาองค์ประกอบที่จำเป็นในการจับยึดสายไฮดรอลิก โดยเมื่อพิจารณาจากอุปกรณ์รุ่นต้นแบบ ดังรูปที่ 3.1 แล้วเราจะสามารถแยกได้ออกเป็นสองประการได้แก่

3.1.1 ส่วนที่ทำหน้าที่จับยึดสายไฮดรอลิก

เป็นอุปกรณ์ส่วนที่มีหน้าที่ในการจับยึดสายไฮดรอลิกไว้เพื่อป้องกันผลกระทบจากการสั่นสะเทือนในสายไฮดรอลิกและจากการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกภายในสาย ที่อาจจะส่งผลต่อความแม่นยำในการวัดค่า

3.1.2 ส่วนพื้นที่สำหรับการติดตั้งวงจรการวัด

เป็นพื้นที่ที่จัดเก็บ ส่วนประมวลผลและวงจรสำหรับการวัดค่ารวมถึงการส่งค่าจากเซ็นเซอร์มายังอุปกรณ์

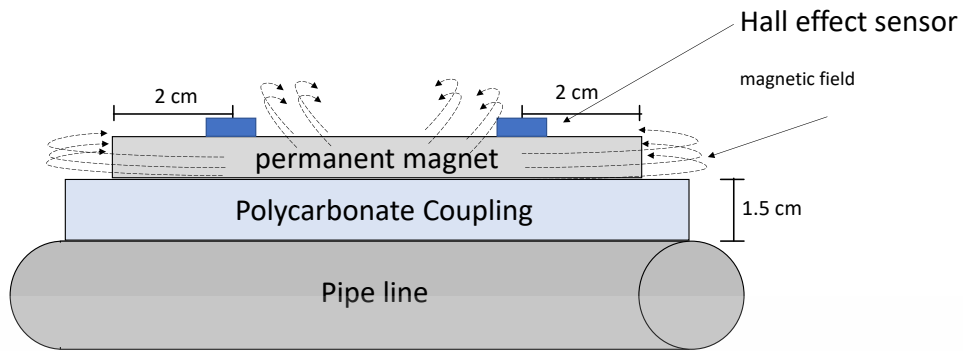


รูปที่ 3.1 แบบจำลองอุปกรณ์จับยึดสายไฮดรอลิกรุ่นต้นแบบ

3.2 การออกแบบลักษณะการจัดวางอุปกรณ์จับยึดสายไฮดรอลิกและอุปกรณ์การวัด

เนื่องจากระยะห่างระหว่าง สายไฮดรอลิก แม่เหล็ก และเซ็นเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็ก จะส่งผลต่อแนวการวิ่งของเส้นแรงแม่เหล็กและค่าที่ทำการวัด ดังรูปที่ 3.2 ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบลักษณะการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อป้องกันเซ็นเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กไม่ให้เกิดการอึดตัวในกรณีที่อยู่ใกล้กับแม่เหล็กถาวรมากเกินไป

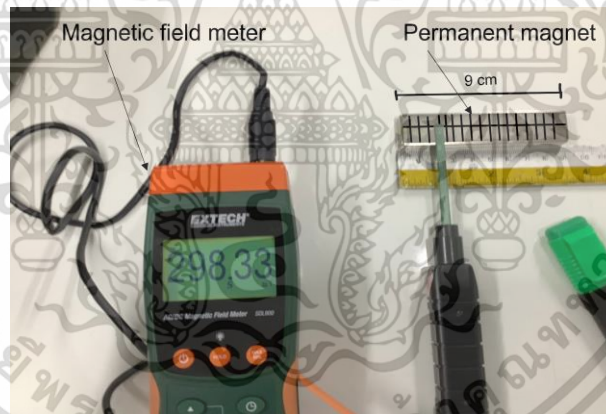
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ลักษณะการวางแนวของอุปกรณ์

3.3 การทดสอบวัดค่าสนามแม่เหล็ก

เพื่อตรวจวัดค่าแรงสนามแม่เหล็กของแม่เหล็ก แบบต่าง ๆ ตามระยะที่กำหนดเพื่อหาแม่เหล็กที่เหมาะสมต่อการติดตั้งตามอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบลักษณะการวางไว้ ดังรูปที่ 3.3 และ รูปที่ 3.4 โดยเส้นแรงของแม่เหล็กนั้นต้องส่งผลกระทบต่อเซ็นเซอร์วัดสนามแม่เหล็กเพียงตัวเดียวโดยไม่ไปรบกวนเซ็นเซอร์สนามวัดแม่เหล็กข้างเคียง



รูปที่ 3.3 การทดสอบวัดค่าสนามแม่เหล็ก ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิวของแม่เหล็ก

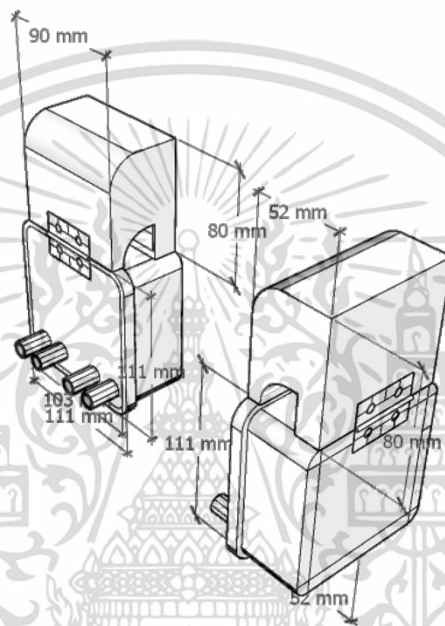


รูปที่ 3.4 การทดสอบวัดค่าสนามแม่เหล็ก ณ ระยะห่างใด ๆ เทียบกับผิวแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การออกแบบโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดสายไฮดรอลิกรุ่นแรก

ทำการออกแบบโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดสายไฮดรอลิกรุ่นแรก โดยเน้น ความเบา เพื่อให้สามารถยึดสายไฮดรอลิกได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสายโดยรวม ดังรูปที่ 3.5 และออกแบบให้มีลักษณะการใช้งานจับยึดสายได้โดยง่ายโดยมีวงจรถ่วงล่างในการเก็บรักษา อุปกรณ์สำหรับประมวลผลและวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก ดังรูปที่ 3.6 โดยอุปกรณ์นี้จะใช้แหล่งจ่ายจากภายนอก



รูปที่ 3.5 การออกแบบอุปกรณ์จับยึดสายไฮดรอลิกรุ่นแรก

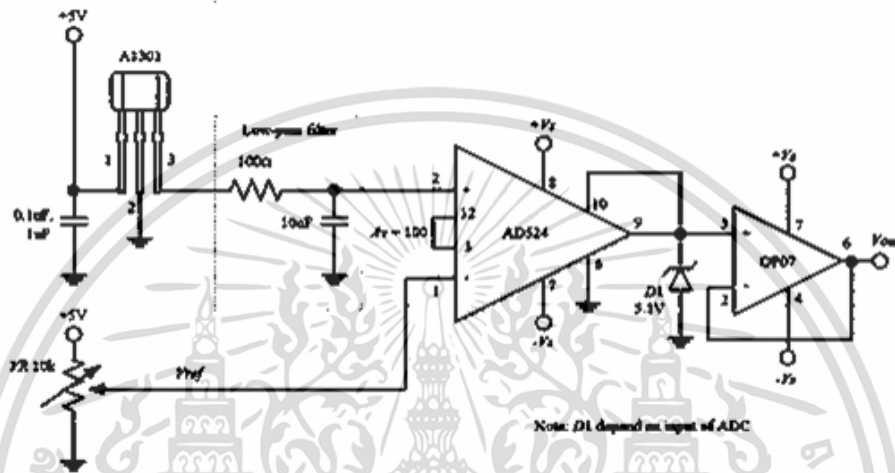


รูปที่ 3.6 ลักษณะการติดตั้งของ อุปกรณ์จับยึดสายไฮดรอลิกและเซ็นเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็ก

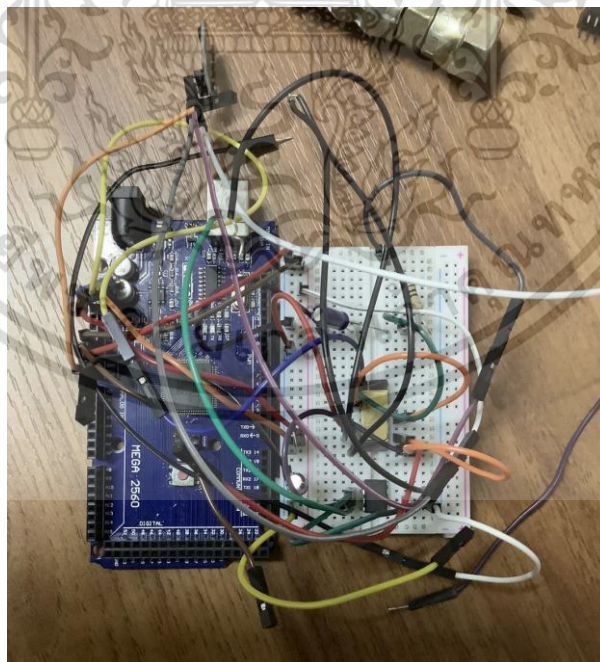
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การจัดทำวงจรขยายสัญญาณ

เนื่องจากค่าการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก ที่ถูกเหนี่ยวนำโดยผงโลหะภายในน้ำมันไฮดรอลิกนั้นเกิดขึ้นน้อยมาก จึงจำเป็นต้องมีการทำวงจรขยายสัญญาณเพื่อขยายสัญญาณ [10] ดังรูปที่ 3.7, 3.8 และ 3.9 ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากการเหนี่ยวนำโดยผงโลหะในน้ำมันไฮดรอลิก เพื่อให้สามารถนำมาวิเคราะห์ต่อไปได้

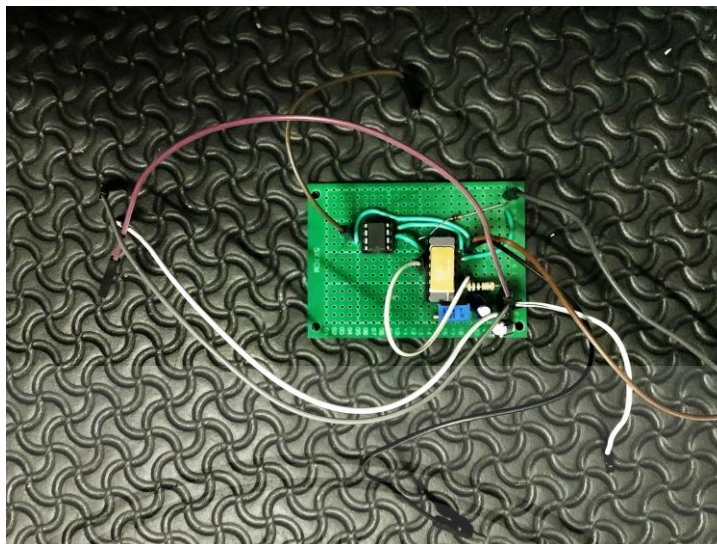


รูปที่ 3.7 ลักษณะวงจรของวงจรขยายสัญญาณ



รูปที่ 3.8 ทดลองต่อวงจรขยายสัญญาณ

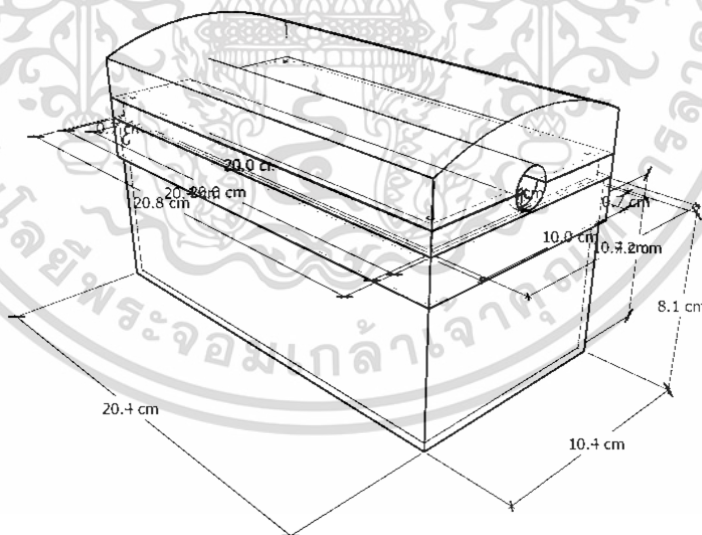
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 จัดทำวงจรขยายสัญญาณ

3.6 ออกแบบโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดสายไฮดรอลิกรุ่นสอง

เนื่องจากการเพิ่มวงจรขยายสัญญาณเข้ามาในกระบวนการการวัดค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงแบบโครงสร้างของอุปกรณ์จับยึดสายไฮดรอลิกให้มีขนาดพื้นที่เพิ่มมากขึ้น เพื่อให้สามารถรองรับ วงจรขยายสัญญาณที่เพิ่มขึ้นได้ ดังรูปที่ 3.10



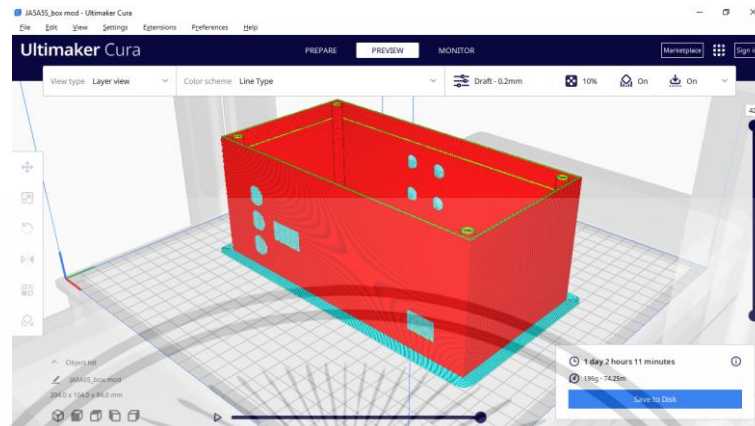
รูปที่ 3.10 ออกแบบอุปกรณ์จับยึดสายไฮดรอลิกรุ่นที่สอง

3.7 จัดทำโครงสร้างอุปกรณ์ใหม่ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ

เนื่องจากต้องการลักษณะของโครงสร้าง อุปกรณ์จับยึดสายให้เคอริงที่มีลักษณะเฉพาะให้เหมาะสมต่อกระบวนการดัดนั้นจึงต้องมีการออกแบบ ดังรูปที่ 3.11 และใช้เครื่องพิมพ์สามมิติ ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 3.12 ในการได้มาซึ่งโครงสร้างเฉพาะนั้น ๆ โดยแสดงผลงานที่เสร็จสมบูรณ์ในรูปที่ 3.13 และแผนผังการทำงานของอุปกรณ์ในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.11 การเตรียมแบบสามมิติเพื่อการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ

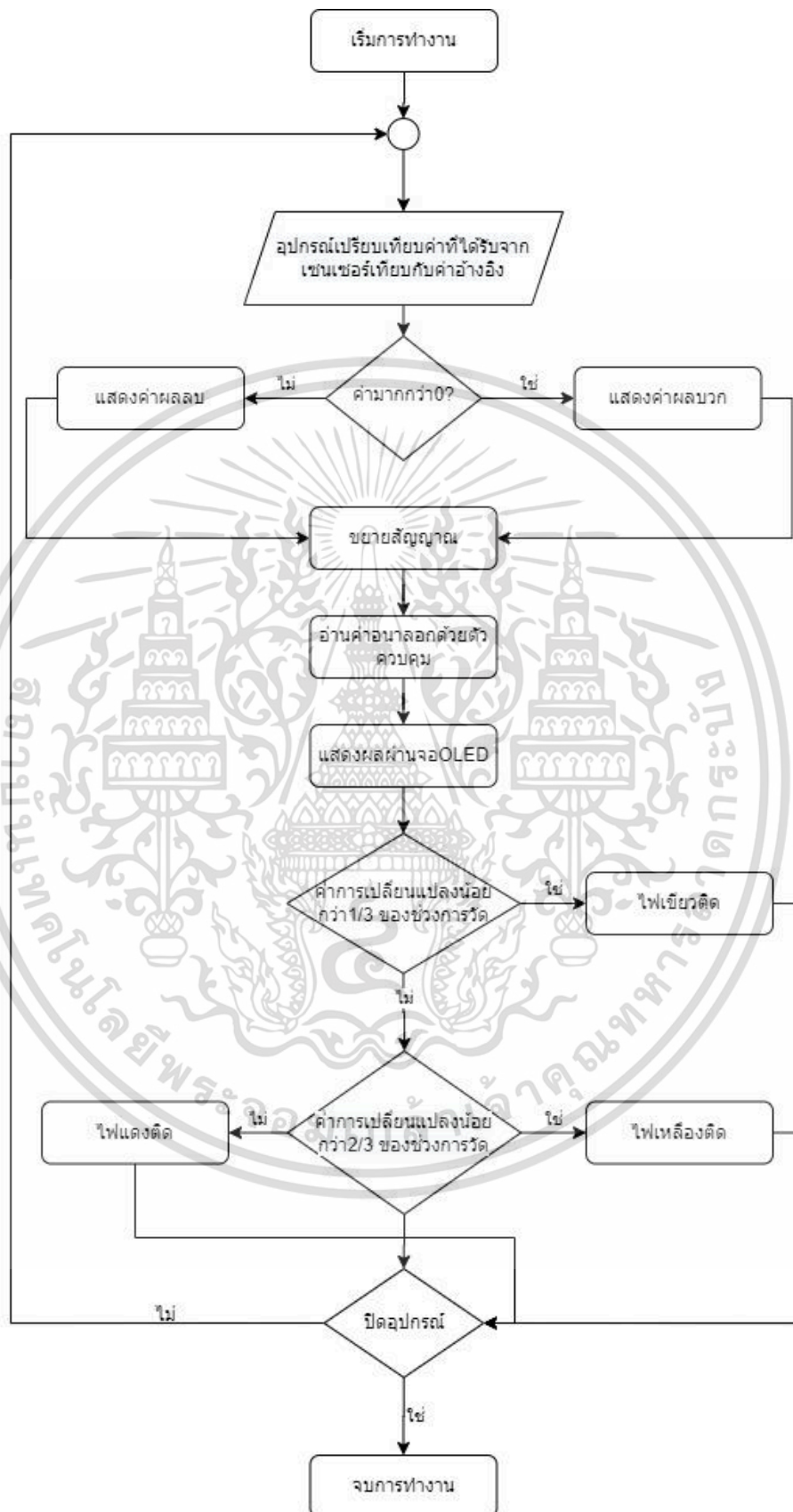


รูปที่ 3.12 พิมพ์โครงสร้างกล่องวงจรด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ



รูปที่ 3.13 อุปกรณ์จับยึดสายไฮดรอลิกรุ่นที่สองที่เสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แผนผังการทำงานของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

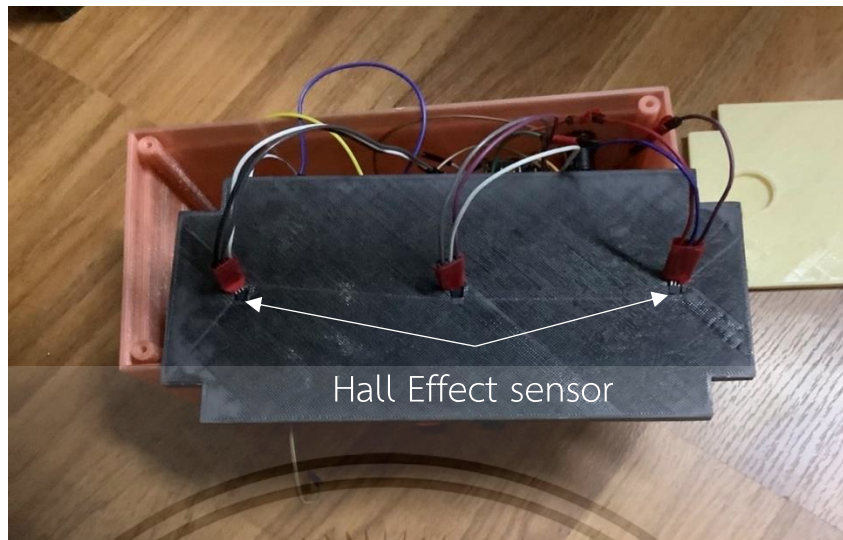
3.8 ประกอบอุปกรณ์จัดยึดสายไฮดรอลิก วงจรวัดค่าสนามแม่เหล็ก และวงจรขยายสัญญาณ

ประกอบอุปกรณ์จับยึดสายไฮดรอลิกที่ได้จากการพิมพ์สามมิติ เข้าด้วยกันเพื่อเป็นฐาน ส่วนนอกของอุปกรณ์ทั้งหมด ดังรูปที่ 3.15 หลังจากนั้นจึงทำการติดตั้ง ไฟแสดงค่าสถานะจอแสดงผลสัญญาณ ปุ่มเปิดปิดการทำงานของอุปกรณ์ และวงจรขยายสัญญาณที่ได้จัดทำไว้ก่อนหน้านี้ลงในส่วนรับวงจรของกล่อง หลังจากนั้น นำเซ็นเซอร์ตรวจวัดสนามแม่เหล็ก ดังรูปที่ 3.16 ติดเข้ากับช่องที่เตรียมไว้ภายในกล่อง และจัดวางแม่เหล็กลงในช่องแม่เหล็กในแนวที่ตรงกับเซ็นเซอร์รับสนามแม่เหล็ก ดังรูปที่ 3.17 หลังจากนั้นจึงทำการยึดอุปกรณ์ส่วนวงจร เข้ากับอุปกรณ์ส่วนจับยึดสายไฮดรอลิกด้วยสกรู ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.15 ส่วนประกอบภายนอกของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 ลักษณะการติดตั้งของเซ็นเซอร์วัดสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 3.17 ลักษณะการวางแม่เหล็กถาวร

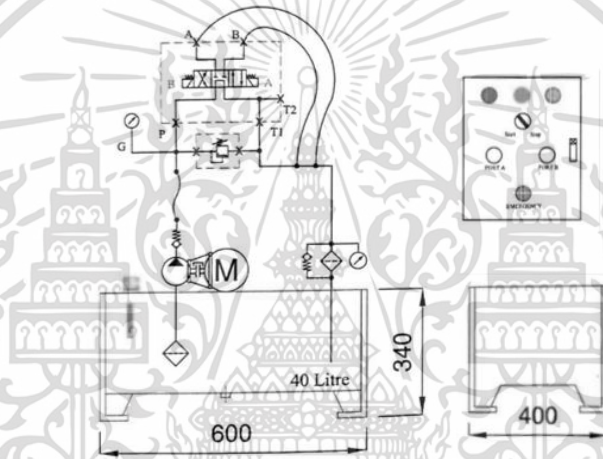


รูปที่ 3.18 อุปกรณ์จับยึดสายใยตรอลิกรุ่นที่สองที่เสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 อุปกรณ์จำลองเครื่องจักรไฮดรอลิก

อุปกรณ์จำลองการทำงานของเครื่องจักรไฮดรอลิก เนื่องจากในกระบวนการต้องมีการวัดการทำงานของเครื่องจักรไฮดรอลิกในสภาพก่อนมีการปนเปื้อนด้วยเศษโลหะ ดังนั้นจึงต้องมีการจัดทำอุปกรณ์จำลองการทำงานของเครื่องจักรไฮดรอลิก ดังรูปที่ 3.19 ที่ไม่เคยผ่านการทำงานเพื่อให้สามารถวัดค่าได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ อีกทั้งในขั้นกระบวนการทดลอง จำเป็นต้องมีการเพิ่มผงโลหะเข้าไปในกระบวนการทำงานของเครื่องจักร ถ้าทำการทดลองกับเครื่องจักรไฮดรอลิก ระดับอุตสาหกรรมของจริงนั้นอาจจะส่งผลให้เกิดปัญหาภายในเครื่องจักรตามมาได้ ดังนั้นในโครงการนี้จึงมุ่งเน้นการทดลองโดยใช้ อุปกรณ์เครื่องจักรจำลองระบบไฮดรอลิก ดังรูปที่ 3.20 ตัวนี้ในการทดลองแทนเครื่องจักรไฮดรอลิกทางอุตสาหกรรม



รูปที่ 3.19 แบบการทำงานของเครื่องจำลองเครื่องจักรไฮดรอลิก



รูปที่ 3.20 อุปกรณ์จำลองเครื่องจักรไฮดรอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

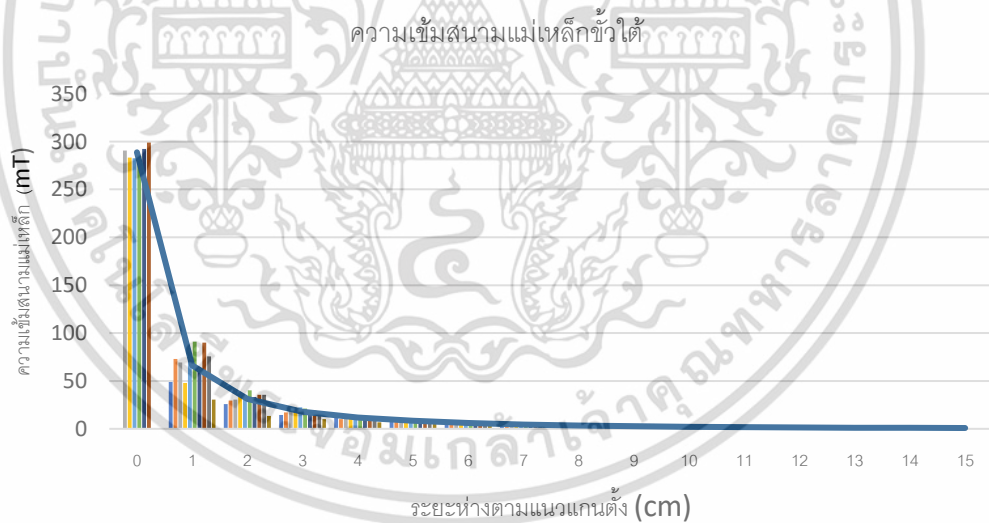
การนำเสนอผลของข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การทดลองวัดค่าสนามแม่เหล็กในระยะห่างต่าง ๆ ของแม่เหล็กถาวร

เป็นการทดลองที่ระบุถึงความสัมพันธ์ของเส้นแรงแม่เหล็กต่อระยะห่างจากตัวแม่เหล็กเพื่อนำไปพิจารณาในการคัดเลือกใช้แม่เหล็กถาวร ขนาดต่าง ๆ ในการประกอบกับอุปกรณ์วัดค่าการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กภายในอุปกรณ์ตรวจจับ โลหะภายในน้ำมันไฮดรอลิกต่อไป

4.1.1 ขั้นตอนการทดลองวัดค่าสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวร

ทำการวัดค่าสนามแม่เหล็ก โดยแบ่งทำการวัด เมื่อเด็กทั้งสองขั้ว โดยจะแบ่งพื้นผิวตามยาวตั้งแต่จุดที่ ศูนย์ ถึง จุดที่เก้า โดยทุกจุดระยะห่างกันหนึ่งเซนติเมตร และวัดเทียบกับระยะห่างจากพื้นผิวของแม่เหล็ก ทุก ๆ หนึ่งเซนติเมตร ตั้งแต่ผิวของแม่เหล็กจนถึงระยะห่างสิบห้าเซนติเมตร สามารถวัดค่าสนามแม่เหล็กได้ดังนี้ แสดงในตารางที่ 4.1 กับ ตารางที่ 4.2 และ รูปที่ 4.1 กับ รูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างตามแนวแกนตั้งและความเข้มของสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กขั้วใต้

ระยะห่าง แกนตั้ง (cm)	ความเข้มสนามแม่เหล็ก (mT)										เฉลี่ย (cm)
	ระยะห่างแกนนอน (cm)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	0.00	0.00	290.61	283.26	282.75	284.84	292.22	298.94	0.00	0.00	288.77
1	48.97	72.82	69.25	47.86	74.09	90.93	63.45	89.94	75.62	30.41	66.33
2	25.66	29.57	30.41	33.03	35.66	40.05	33.15	35.62	35.51	13.58	31.22
3	14.44	17.11	20.04	17.87	22.51	21.24	19.20	18.98	17.13	10.07	17.86
4	13.79	10.24	12.65	12.38	14.24	14.45	12.94	11.64	9.93	6.64	11.89
5	8.86	7.75	9.15	8.61	9.76	10.35	9.38	8.05	7.55	5.14	8.46
6	6.40	5.42	6.12	6.12	7.04	7.32	6.23	5.77	5.63	3.88	5.99
7	4.77	4.27	4.67	4.40	4.86	5.19	4.61	4.07	3.99	3.09	4.39
8	3.57	2.90	3.50	3.51	3.95	3.65	3.58	3.02	2.98	2.55	3.32
9	2.70	2.24	2.88	2.61	2.99	2.97	2.81	2.44	2.42	1.96	2.60
10	2.27	1.86	2.12	2.10	2.31	2.30	2.03	1.94	1.88	1.62	2.04
11	1.77	1.60	1.72	1.74	1.87	1.74	1.77	1.63	1.56	1.34	1.67
12	1.47	1.10	1.41	1.40	1.54	1.45	1.43	1.31	1.37	1.15	1.36
13	1.24	0.96	1.16	1.14	1.25	1.18	1.10	1.13	1.20	0.93	1.13
14	1.05	0.83	0.99	0.97	1.06	0.98	0.94	1.00	0.96	0.84	0.96
15	0.91	0.72	0.83	0.85	0.91	0.83	0.83	0.77	0.84	0.72	0.82

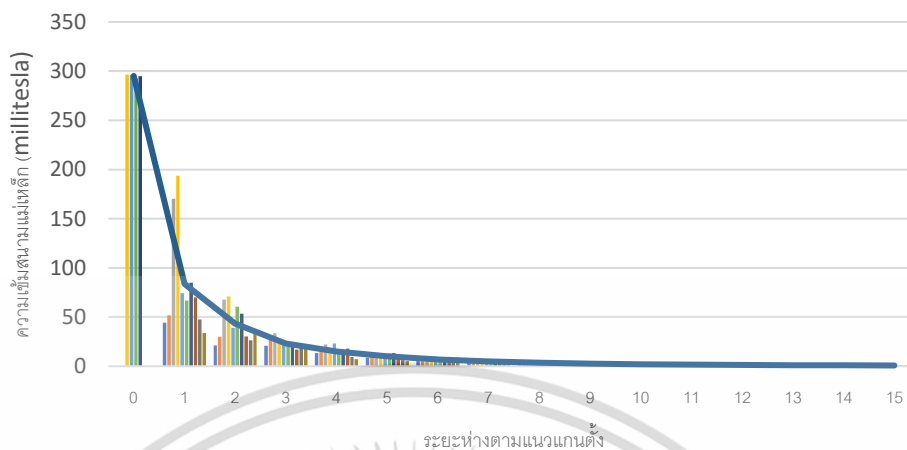
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กขั้วเหนือ

ระยะห่าง แกนตั้ง (cm)	ความเข้มสนามแม่เหล็ก (mT)										เฉลี่ย (cm)
	ระยะห่างแกนนอน (cm)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	0.00	0.00	0.00	296.63	296.16	292.81	295.01	0.00	0.00	0.00	295.15
1	44.13	51.84	170.37	193.53	74.07	66.63	85.02	69.86	47.48	33.97	83.69
2	21.24	29.94	67.74	70.92	39.01	60.41	53.55	30.20	26.42	32.73	43.22
3	20.99	29.63	33.63	23.02	23.26	24.90	20.37	17.05	18.71	18.10	22.97
4	13.46	15.01	22.05	15.11	23.03	14.87	13.20	17.95	9.42	7.31	15.14
5	8.83	10.45	13.21	9.77	10.35	12.89	13.21	10.75	6.34	5.25	10.11
6	6.61	6.77	8.85	6.70	9.94	8.74	8.75	4.80	4.43	3.98	6.96
7	4.63	5.27	6.41	4.81	5.79	6.45	4.75	4.42	3.29	2.89	4.87
8	3.52	3.53	4.36	4.71	3.79	3.37	3.45	3.80	2.58	2.24	3.54
9	2.58	2.72	3.39	3.53	3.75	2.45	2.61	2.59	1.94	1.72	2.73
10	2.04	2.08	2.56	2.72	2.70	2.49	2.01	1.61	1.51	1.40	2.11
11	1.68	1.58	2.01	2.13	2.22	1.58	1.61	1.44	1.33	1.26	1.68
12	1.24	1.29	1.59	1.63	1.69	1.51	1.41	1.18	1.19	0.98	1.37
13	1.03	1.10	1.31	1.34	1.27	1.24	1.12	0.89	0.83	0.85	1.10
14	0.89	0.84	1.11	1.14	1.03	0.99	0.90	0.75	0.76	0.72	0.91
15	0.71	0.65	0.87	0.91	0.83	0.81	0.74	0.61	0.65	0.6	0.738

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นแม่เหล็กขั้วใต้



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างตามแนวแกนตั้งและความเข้มของสนามแม่เหล็ก

4.1.2 สรุปผลการทดลองวัดความเข้มข้นแม่เหล็ก

จากการทดลองทำให้ทราบว่า ความเข้มของสนามแม่เหล็กทั้งสองพวกนั้นจะลดลงตามระยะห่างของแม่เหล็ก โดยเมื่อวันที่ผิวของแม่เหล็กจะมีความเข้มอยู่ที่ประมาณสองร้อยแปดสิบห้า มิลลิเทสลา ได้ และ จะลดลงอย่างมาก ในช่วงระยะห่างหนึ่งเซนติเมตรแรก เหลืออยู่ที่ประมาณเจ็ดสิบมิลลิเทสลา และมีค่าเข้าใกล้ศูนย์มิลลิเทสลา เมื่อวัดที่ระยะห่างสิบห้าเซนติเมตร

4.2 การทดลองวัดค่าการเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าเมื่อเพิ่มมวลของโลหะที่ใช้ในการเหนี่ยวนำ

4.2.1 เงื่อนไขการทดลอง

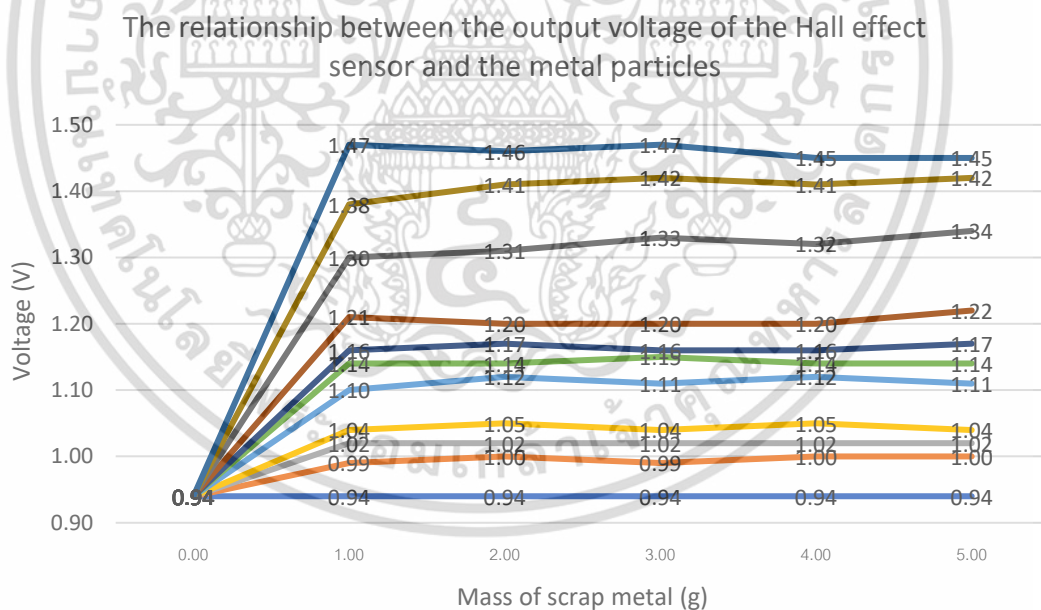
ในการทดลองนี้ จะใช้การวัดเซนเซอร์ Hall Effect เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้ากับความแตกต่างของมวลของเศษโลหะที่เกิดจากแม่เหล็กถาวร การทดลองอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.2 ถึง 2 ก. โดยมีแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นที่ 0.94 V ในการทดลอง วัดซ้ำ 5 ครั้งสำหรับน้ำหนักโลหะทุกก้อน เพื่อประเมินความแม่นยำและความสามารถในการวัดซ้ำ

4.2.2 ผลการทดลองเพิ่มมวลของโลหะที่ใช้ในการเหนี่ยวนำ

ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าของโลหะมวล 0.2 ถึง 2 ก. โดยระยะห่างระหว่างแม่เหล็กถาวรและอุปกรณ์วัดไม่เปลี่ยนแปลง ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตของเซนเซอร์ Hall Effect และปริมาณอนุภาคโลหะแสดงในตาราง 4.3 และรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ Hall Effect และอนุภาคโลหะ

Mass (g)	Voltage (V)					
	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
0.00	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
0.20	0.94	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00
0.40	0.94	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
0.60	0.94	1.04	1.05	1.04	1.05	1.04
0.80	0.94	1.10	1.12	1.11	1.12	1.11
1.00	0.94	1.14	1.14	1.15	1.14	1.14
1.20	0.94	1.16	1.17	1.16	1.16	1.17
1.40	0.94	1.21	1.20	1.20	1.20	1.22
1.60	0.94	1.30	1.31	1.33	1.32	1.34
1.80	0.94	1.38	1.41	1.42	1.41	1.42
2.00	0.94	1.47	1.46	1.47	1.45	1.45



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ Hall Effect และอนุภาคโลหะ

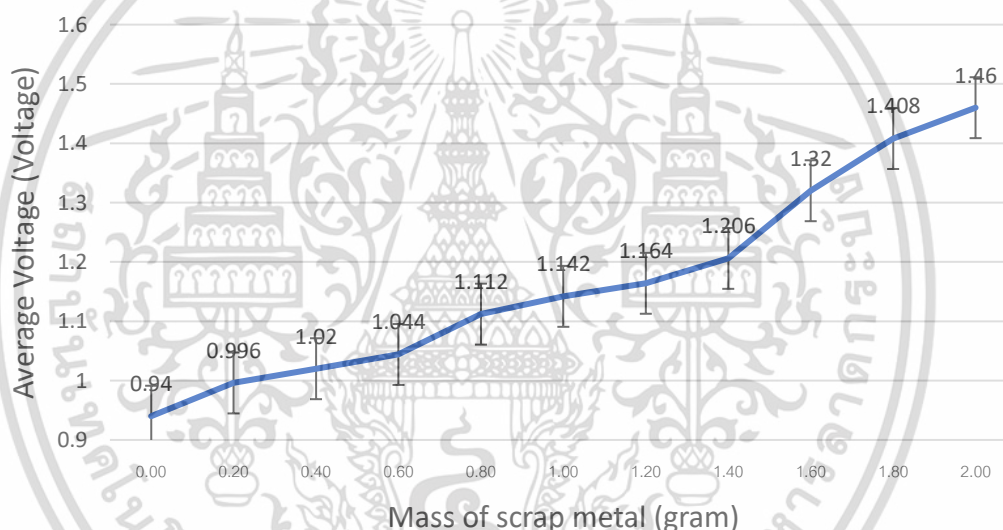
4.2.3 การวิเคราะห์การทดลอง

จากการทดลอง เนื่องจากแรงดันเอาต์พุตจากเซ็นเซอร์ Hall Effect เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณความเข้มข้นของสนามแม่เหล็ก จึงสังเกตได้ว่าแรงดันเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ Hall Effect นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Effect จะเพิ่มขึ้นตามมวลของเศษโลหะที่เกิดจากสนามแม่เหล็กจากแม่เหล็กถาวร . ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเฉลี่ยเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ Hall Effect และปริมาณอนุภาคโลหะแสดงในตาราง 4.4 และรูปที่ 4.4. ด้วยค่าความผิดพลาดสูงสุด 0.02V.

ตารางที่ 4.4. ความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตเซ็นเซอร์ Hall Effect แรงดันเฉลี่ยและปริมาณอนุภาคโลหะ

	Voltage (V)										
Mass (g)	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00
average	0.94	1.00	1.02	1.04	1.11	1.14	1.16	1.21	1.32	1.41	1.46
S.D.	0.000	0.005	0.000	0.005	0.008	0.004	0.005	0.009	0.016	0.016	0.010



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตเซ็นเซอร์ Hall Effect แรงดันเฉลี่ยและปริมาณอนุภาคโลหะ

4.3 ทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากับโมดูลจำลองเครื่องจักรไฮดรอลิก

ในการทดลองนี้ เราจะใช้การวัดเซ็นเซอร์ Hall Effect เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้ากับความแตกต่างของมวลของเศษโลหะที่เกิดจากแม่เหล็กถาวร การทดลองอยู่ในช่วงตั้งแต่ 2.5 ถึง 5.0 กรัมต่อลิตร โดยมีแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นที่ 1 V ในการทดลอง วัดซ้ำ 3 ครั้งสำหรับมวลโลหะทุกก้อน เพื่อประเมินความแม่นยำและความสามารถในการวัดซ้ำ

4.3.1 ผลการทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากับโมดูลจำลองเครื่องจักรไฮดรอลิก

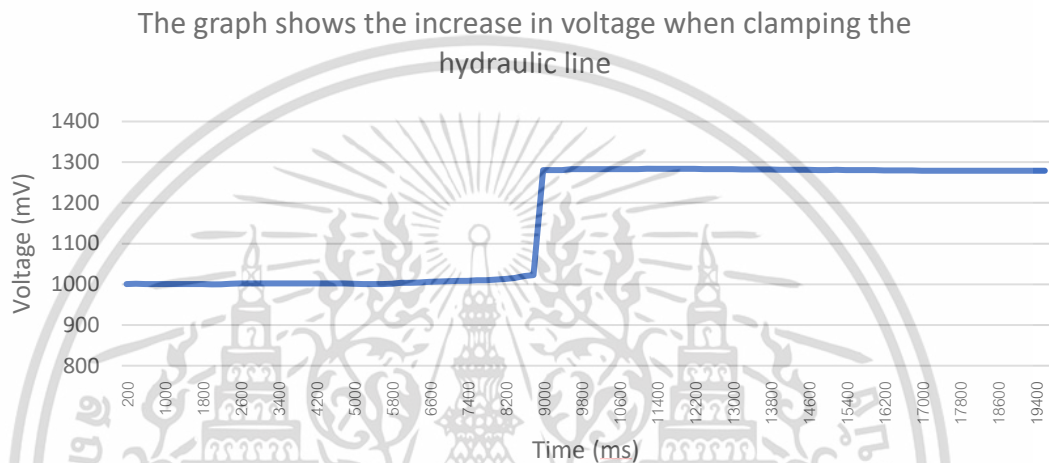
ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าของโลหะมวล 2.5 ถึง 5.0 กรัมต่อลิตร โดยระยะห่างระหว่างแม่เหล็กถาวรและอุปกรณ์วัดไม่เปลี่ยนแปลง ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ Hall

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

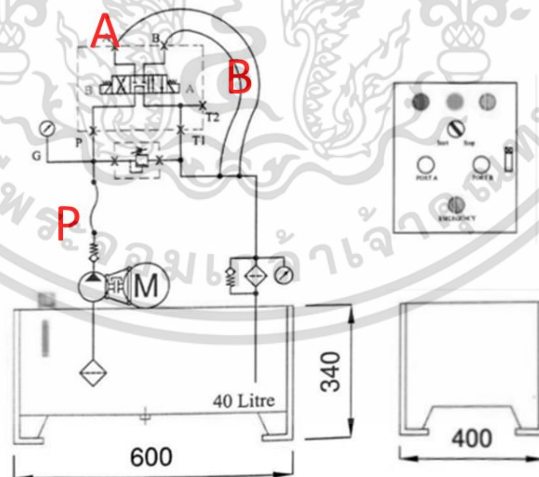
Effect และปริมาณอนุภาคโลหะของการวัดที่จุด P, A และ B แสดง ในตาราง 4.5 และรูปที่ 4.5. ถึง ตาราง 4.8 และรูป 4.12 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 แรงดันไฟขาออกเมื่ออุปกรณ์ตั้งแคมป์พร้อมสายไฮดรอลิก

	1st	2nd	3rd	Average	S.D.
Output (mV)	1281	1288	1286	1285	3.64



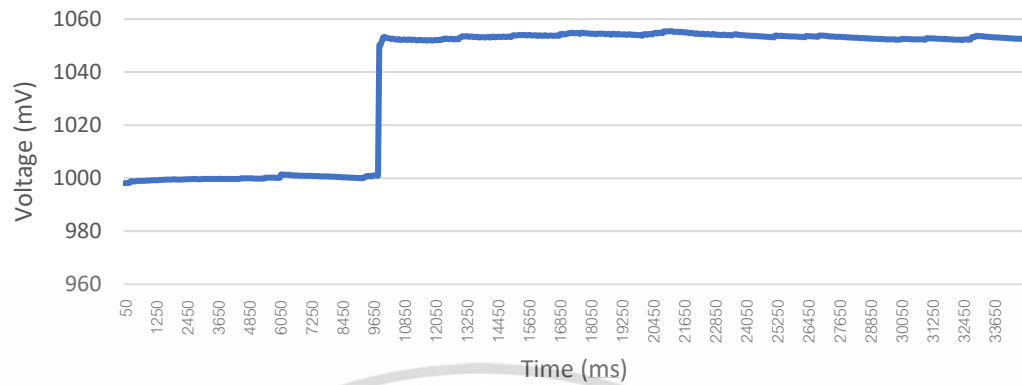
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเมื่อทำการหนีบสายไฮดรอลิก



รูปที่ 4.6 ตำแหน่งที่ทำการติดตั้งเครื่องมือวัด

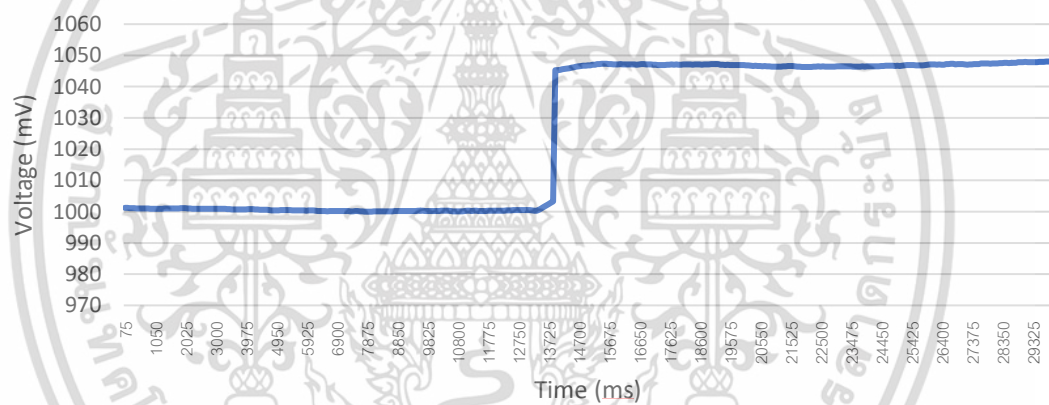
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The graph shows the increase in voltage with flow at point P.



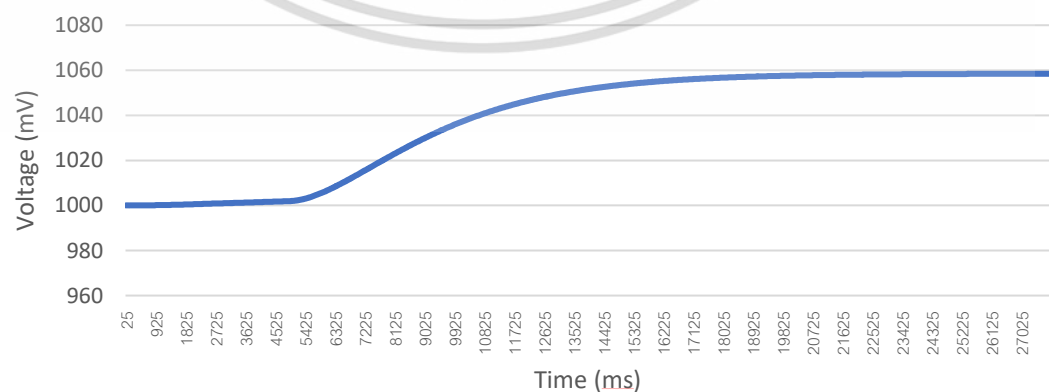
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าด้วยการไหลที่จุด P

The graph shows the increase in voltage with flow at point A.



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าด้วยการไหลที่จุด A

The graph shows the increase in voltage with flow at point B.

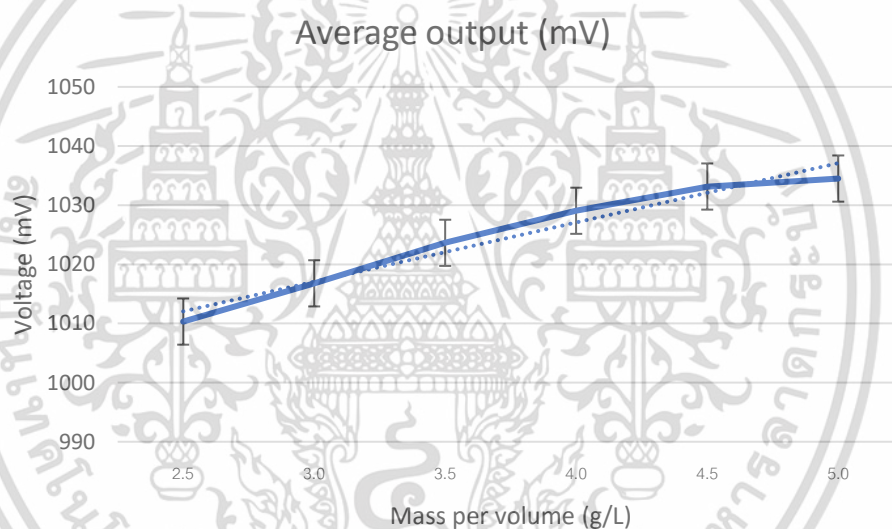


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าด้วยการไหลที่จุด B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ Hall Effect และอนุภาคโลหะที่จุด P

P Gram/Liter	Output (mV)			
	1st	2nd	3rd	Average
2.5	1014	1005	1012	1010
3.0	1015	1017	1018	1017
3.5	1024	1026	1021	1024
4.0	1028	1032	1028	1029
4.5	1035	1033	1032	1033
5.0	1035	1033	1035	1034

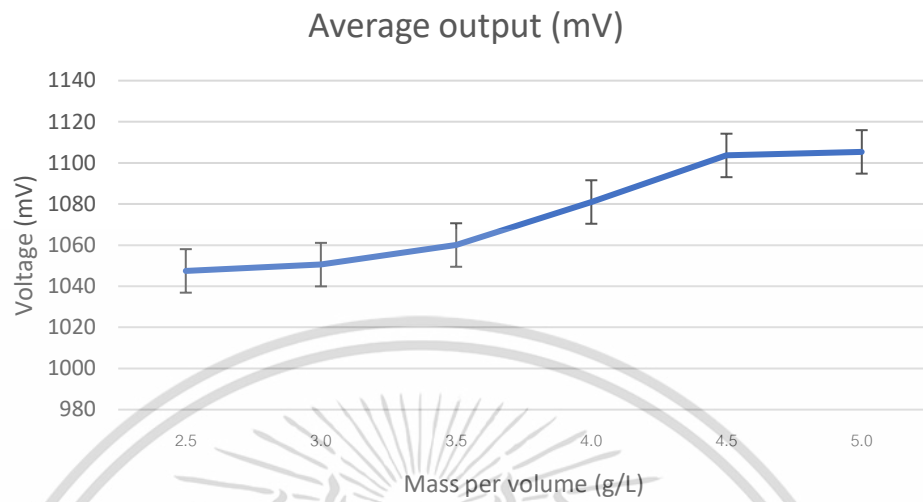


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ Hall Effect และอนุภาคโลหะที่จุด P

ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ Hall Effect และอนุภาคโลหะที่จุด A

A Gram/Liter	Output (mV)			
	1st	2nd	3rd	Average
2.5	1046	1048	1048	1047
3.0	1046	1048	1051	1049
3.5	1052	1052	1053	1052
4.0	1057	1060	1066	1061
4.5	1069	1069	1072	1070
5.0	1071	1070	1071	1071

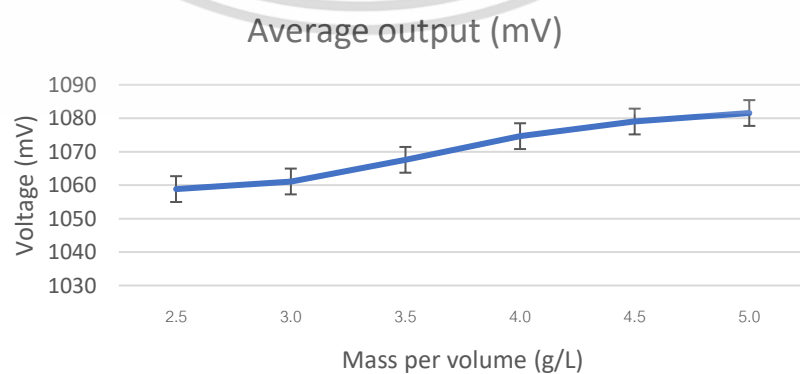
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ Hall Effect และอนุภาคโลหะที่จุด A

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ Hall Effect และอนุภาคโลหะที่จุด B

Gram/Liter	B			Output (mV)
	1st	2nd	3rd	Average
2.5	1059	1059	1058	1059
3.0	1060	1060	1064	1061
3.5	1072	1066	1065	1068
4.0	1078	1074	1072	1075
4.5	1078	1078	1080	1079
5.0	1081	1082	1082	1082



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ Hall Effect และอนุภาคโลหะที่จุด B
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การวิเคราะห์การทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากับโมดูลจำลองเครื่องจักรไฮดรอลิก

จากการทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากับโมดูลจำลองเครื่องจักรไฮดรอลิก จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า เมื่อเปิดการทำงานของโมดูลจำลองเครื่องจักรไฮดรอลิกและทำให้ น้ำมันไฮดรอลิก เกิดการไหลภายในสาย จะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้า เนื่องจาก เมื่อน้ำมันไฮดรอลิกเกิดการไหลภายในสายไฮดรอลิกจะทำให้เศษโลหะที่ปะปนอยู่ในน้ำมันไฮดรอลิกเกิดการวิ่งไล่ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก และทำให้สนามแม่เหล็กเกิดการเปลี่ยนแปลง จนทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ออกจากเซ็นเซอร์วัดค่าสนามแม่เหล็ก สามารถวัดความแตกต่างได้ โดยความรวดเร็วในการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับความเร็วการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกภายในสายไฮดรอลิก

เนื่องจากแรงดันเอาต์พุตจากเซ็นเซอร์ Hall Effect เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณความเข้มของสนามแม่เหล็ก จึงสังเกตได้ว่าแรงดันเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ Hall Effect จะเพิ่มขึ้นตามมวลของเศษโลหะที่เกิดจากสนามแม่เหล็กจากแม่เหล็กถาวร ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเฉลี่ยเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ Hall Effect และปริมาณอนุภาคโลหะแสดงในตาราง 4.6 และรูปที่ 4.1 ด้วยค่าความผิดพลาดสูงสุด 12 mV.

บทที่ 5

สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการนี้ได้นำเสนอเครื่องมือวัดค่าโลหะในน้ำมันไฮดรอลิก โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประเมินผลและแสดงผลผ่านหน้าจอแอลอีดี หลักการทำงานของเครื่องมือวัดการปนเปื้อนของโลหะในน้ำมันไฮดรอลิกนั้นจะใช้การวัดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

(1) ประสบความสำเร็จในการเปรียบเทียบความแตกต่างของมวลโลหะโดยพิจารณาจากแรงดันไฟฟ้า

(2) จากการทดลองพบว่ายิ่งโลหะมีมวลมากเท่าใดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าก็ยิ่งมากขึ้นเท่านั้น

(3) การรบกวนจากสิ่งแวดล้อมจะส่งผลน้อยลงหากพื้นที่การเหนี่ยวนำของแม่เหล็กถาวรลดลง

จากการทดลองเซ็นเซอร์ Hall Effect โดยดูการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 1-5 V เศษโลหะถูกเหนี่ยวนำด้วยแม่เหล็กถาวร มีค่าตั้งแต่ 2.5 ถึง 5.0 กรัม/ลิตร (เมื่อไม่มีเศษโลหะถูกเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าคือ 1 V) ซึ่งใช้อุณหภูมิโลหะอ้างอิงมากขึ้นเพื่อแสดงเวลาทดสอบที่สั้นลงภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน ถ้าอุณหภูมิโลหะยิ่งมากขึ้นก็จะมีแรงดึงดูดมากขึ้น

ยิ่งอุณหภูมิโลหะหนักเท่าไร ความดันก็จะเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้นเท่านั้น สิ่งนี้นำไปสู่แนวโน้มสูงสำหรับข้อผิดพลาดในการทดลอง โดยการวิเคราะห์แรงดันเอาต์พุต HES จะสามารถสังเกตความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันฮอลล์และความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้ จากการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ Hall Effect และปริมาณอนุภาคโลหะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 12 mV

5.2 ปัญหาที่พบขณะทำการทดลอง

(1) ในกรณีที่ใช้แม่เหล็กที่มีความสามารถในการเหนี่ยวนำสูงเกินไปหรือมีเส้นแรงแม่เหล็กมากเกินไป ในระหว่างการวัดจะก่อให้เกิดการรบกวนระหว่างแม่เหล็กถาวรนั้น ๆ กับแม่เหล็กถาวรข้างเคียงจนทำให้ ค่าที่ได้จากการวัดเกิดความผิดพลาดมาก

(2) การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก ไว้วัดกับแหล่งกำเนิดแม่เหล็กไฟฟ้า อาจเกิดการรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าต่อการวัดค่าสนามแม่เหล็กได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 วิธีการแก้ปัญหา

(1) ขนาดและแรงของแม่เหล็กถาวรไม่ควรสูงมาก เพื่อป้องกันไม่ให้สนามแม่เหล็กเบี่ยงเบนไปจากสัญญาณรบกวนทั้งหมด และ ป้องกันการอิ่มตัวของสนามแม่เหล็กในเซ็นเซอร์ Hall Effect

(2) การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับการปนเปื้อนของโลหะนั้น ควรติดตั้ง ในระยะที่ห่างจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอื่น ๆ เช่นมอเตอร์ไฟฟ้า ที่อาจจะส่งผลกระทบต่อการทำงานและสนามแม่เหล็ก ของแม่เหล็กถาวรได้

5.4 ข้อเสนอเชิงทฤษฎีจากการวิจัย

ควรเพิ่มความแม่นยำและความละเอียดของ เซ็นเซอร์วัดค่าสนามแม่เหล็กและอุปกรณ์รับสัญญาณ เพื่อให้สามารถ บ่งบอกค่าความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าได้ละเอียดขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์ให้มีความแม่นยำและถูกต้องมากยิ่งขึ้น อีกทั้ง อุปกรณ์ควรมีการป้องกันการรบกวนจากสนามแม่เหล็กภายนอกและการรบกวนจาก แหล่งจ่ายเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความผิดพลาดในการวัด

บรรณานุกรม

- [1] วงษ์ไชยมูล, อาจารย์กรัณวิณัฐ. 2542 “บทที่ 1 บอร์ด Arduino คืออะไร - สื่อการสอนออนไลน์วิชาเทคนิคการอินเทอร์เฟส. [Online]. <https://sites.google.com/site/karanwinatktech/unit1>. (สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2565)
- [2] Allnewstep. 2562 “สอน Arduino วิธีติดตั้งโปรแกรม Arduino” . [Online]. <https://www.allnewstep.com/article/201> (สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2565)
- [3] E. Ramsden. 2549. **Hall-Effect Sensor Theory and Applications**, Elsevier, Burlington MA01803 (สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2565)
- [4] Jameco. 2553. **Continuous-Time Ratiometric Linear Hall Effect Sensor ICs**. (สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2565)
- [5] Allegro MicroSystems. 2563. **Continuous-Time Ratiometric Linear Hall-Effect Sensor ICs Perimeter Road Manchester** (สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2565)
- [6] **AD524 Precision Instrumentation Amplifier**. 2551. [Online]. <https://www.analog.com/en/products/ad524.html#product-overview> (สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2565)
- [7] **Ultralow Offset Voltage Operational Amplifier**. 2554. [Online]. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/op07.pdf> (สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2565)
- [8] **Visual Studio**. 2557. [Online]. <https://www.mindphp.com/3639-visual-studio> (สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2565)
- [9] Jobit Joseph. “ESP32 OLED Display Tutorial: Displaying Text and Graphics on OLED Display with ESP32.”. 2565. [Online]. <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/displaying-text-and-characters-oled-module-with-esp32>. (สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2565)
- [10] W. Sriratana, K. Nakmee and L. Tanachaikhan. 2553. “**Subsidence Monitoring System for Industrial Machines Based on Magnetic Field Method,**” .International Conference on Control, Automation and Systems, Seoul, pp. 346-349. (สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2565)
- [11] **บอร์ดพัฒนา Arduino ชนิดต่างๆ**. 2564. [Online]. <https://www.artronshop.co.th/article/2/arduino> (สืบค้นเมื่อวันที่ 25 ตุลาคม 2565)

- [12] การแสดงผลด้วยจอแอลอีดี ขนาด 128x64 พิกเซล. 2556. [Online]. <http://suwitkiravittaya.eng.chula.ac.th/B2i2019BookWeb/pdf/oledisplay.pdf> (สืบค้นเมื่อวันที่ 25 ตุลาคม 2565)
- [13] BIMspaces. 2562. “รู้จัก SketchUp โปรแกรมยอดฮิต”. [Online]. <https://bimspaces.com/blog/free-model-sketchup/#>. (สืบค้นเมื่อวันที่ 25 ตุลาคม 2565)
- [14] Ultimaker Cura. 2562. [Online]. <https://metrosystems-des.com/3d-printers/ultimaker-cura-powerful-easy-to-use-3d-printing-software/>. [Online]. (สืบค้นเมื่อวันที่ 25 ตุลาคม 2565)
- [15] Paun, Maria-Alexandra. 2556 “Hall Effect Sensors Design, Integration and Behavior Analysis.” [Online]. (สืบค้นเมื่อวันที่ 25 ตุลาคม 2565)
- [16] S Sathamsakul, W Sriratana and L Sriratana. 2555. Empirical study on influences of electromagnetic field on Hall Effect sensor for analyzing oil lubricant deterioration. (สืบค้นเมื่อวันที่ 25 ตุลาคม 2565)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

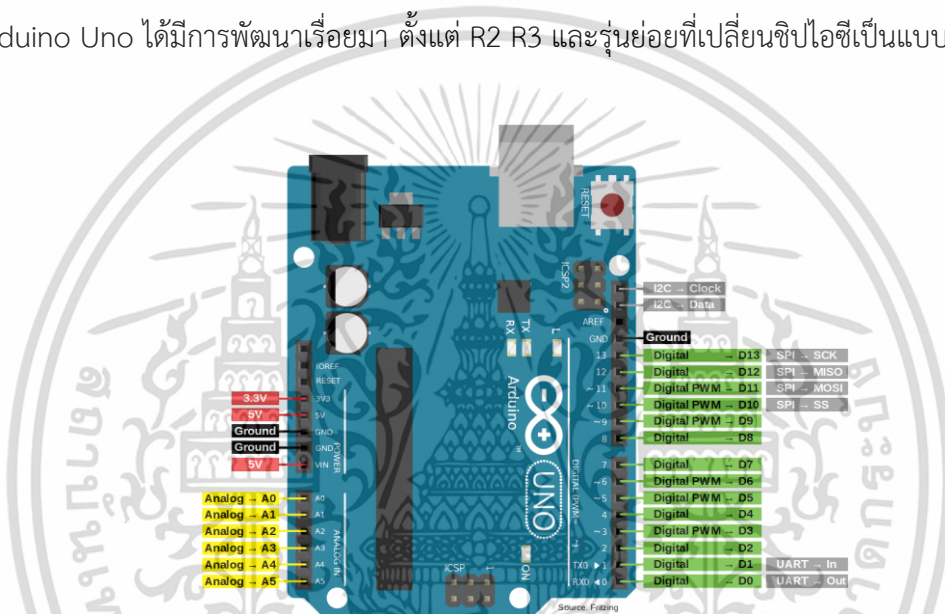
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ไมโครคอนโทรลเลอร์และโปรแกรมที่ใช้งาน

ก.1 คู่มือการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO

เป็นบอร์ด Arduino รุ่นแรกที่ยังคงมีขนาดประมาณ 68.6x53.4mm เป็นบอร์ดมาตรฐานที่นิยมใช้งานมากที่สุด เนื่องจากเป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับการเริ่มต้นเรียนรู้ Arduino และมี Shields ให้เลือกใช้งานได้มากกว่าบอร์ด Arduino รุ่นอื่น ๆ ที่ออกแบบมาเฉพาะมากกว่า โดยบอร์ด Arduino Uno ได้มีการพัฒนาเรื่อยมา ตั้งแต่ R2 R3 และรุ่นย่อยที่เปลี่ยนชิปไอซีเป็นแบบ SMD



ก.1.1 Pin OUT ของ Arduino UNO

ข้อมูลจำเพาะ

ชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์

ATmega328

ใช้แรงดันไฟฟ้า

5V

รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)

7 – 12V

รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)

6 – 20V

พอร์ต Digital I/O

14 พอร์ต (มี 6 พอร์ต PWM output)

พอร์ต Analog Input

6 พอร์ต

กระแสไฟที่จ่ายได้ในแต่ละพอร์ต

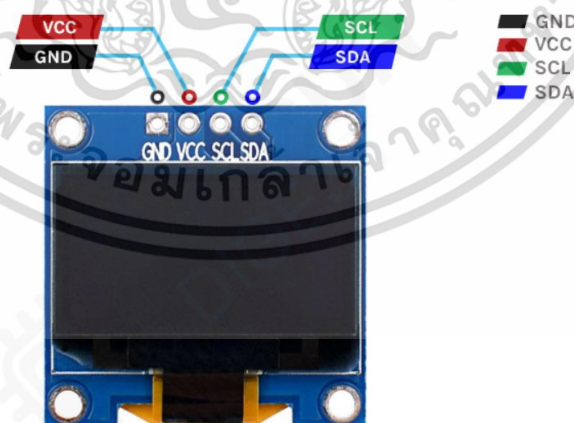
40mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไฟที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3V	50mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	32KB พื้นที่โปรแกรม, 500B ใช้โดย Bootloader
พื้นที่แรม	2KB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	1KB
ความถี่คริสตัล	16MHz
ขนาด	68.6x53.4 mm
น้ำหนัก	25 กรัม

ก.2 คู่มือการใช้งาน OLED I2C

โมดูล OLED ที่ได้เลือกมาทดลองใช้งานนี้ มีขนาด 1.3" (วัดตามเส้นทแยงมุม) มีความละเอียด 128x64 พิกเซล สามารถแสดงผลได้แบบสีเดียว ซึ่งถือว่าเป็นจอขนาดเล็ก และใช้แรงดันไฟเลี้ยง +3.3 V ได้ จอขนาดเล็กนี้เหมาะสำหรับนำไปใช้กับระบบสมองกลฝังตัว ที่ต้องการส่วนแสดงผลกราฟิกบนพื้นที่จำกัด ภายในโมดูลจะมีชิป SH1106 เป็นตัวควบคุมการทำงาน สามารถเชื่อมต่อแบบอนุกรมโดยใช้บัส SPI (Serial Peripheral Interface) หรือ I2C ถ้าต้องการแสดงข้อความจะต้องมีข้อมูลของฟอนต์ตัวอักษร แต่ละตัว ซึ่งจะมีลักษณะเป็นข้อมูลภาพแบบบิตแมปเก็บไว้ในหน่วยความจำ



ก.2.1 Pin out OLED I2C

GND Ground connection for the module. Connect to the GND pin of the ESP32 Devkit.

VCC Provides power for the module. Connect to the 3.3V pin of the ESP32 Devkit.

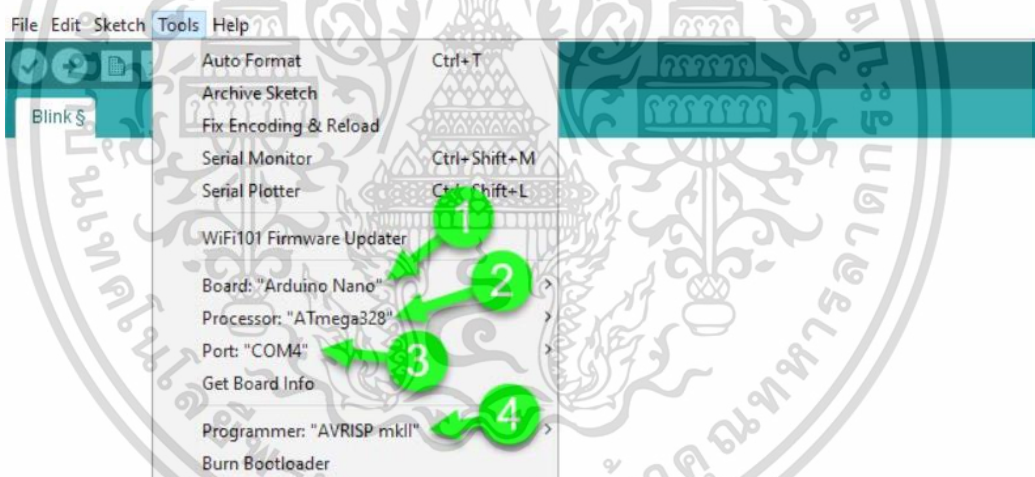
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCL Serial Clock pin. Used for providing clock pulse for I2C Communication.

SDA Serial Data pin. Used for transferring Data through I2C communication.

ก.3 ขั้นตอนการใช้งาน Arduino IDE

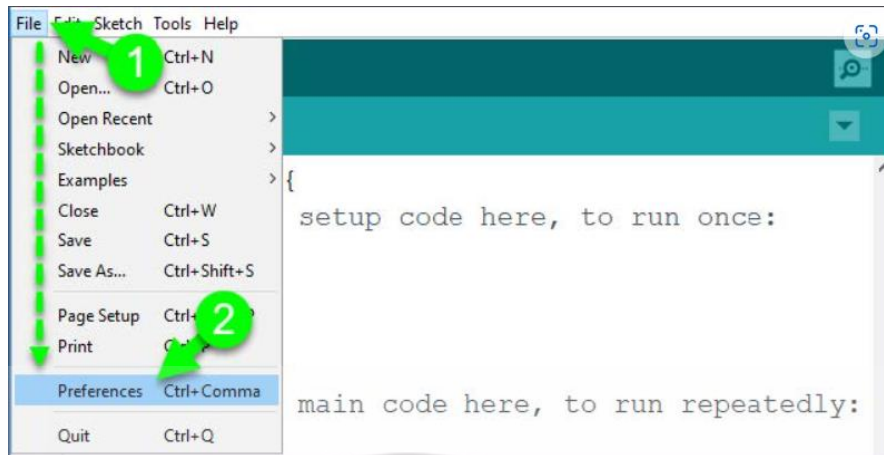
1. เรียกใช้โปรแกรมด้วยการดับเบิลคลิกที่ไอคอน Arduino.exe ในตำแหน่งที่ติดตั้งโปรแกรมไว้
2. ตั้งค่าบอร์ดให้ตรงกับที่ใช้งานซึ่งมีการตั้งค่าอยู่ด้วยกัน 4 รายการดังนี้
 - 1) ชนิดของบอร์ด Arduino ที่ใช้งาน (กำลังเชื่อมต่ออยู่)
 - 2) ชนิดของโปรเซสเซอร์ เลือกให้ตรงกับโปรเซสเซอร์ของบอร์ด (บอร์ดบางชนิดไม่ต้องเลือกเนื่องจากมีใช้งานเพียงเบอร์เดียว)
 - 3) คอมพอร์ตที่กำลังเชื่อมต่อ เลือกให้ตรงกับที่บอร์ด Arduino กำลังเชื่อมต่อ (ดูจาก Device manager)
 - 4) ชนิดของเครื่องโปรแกรม เลือก AVRISP



ก.3.1 เลือกเมนู Tools

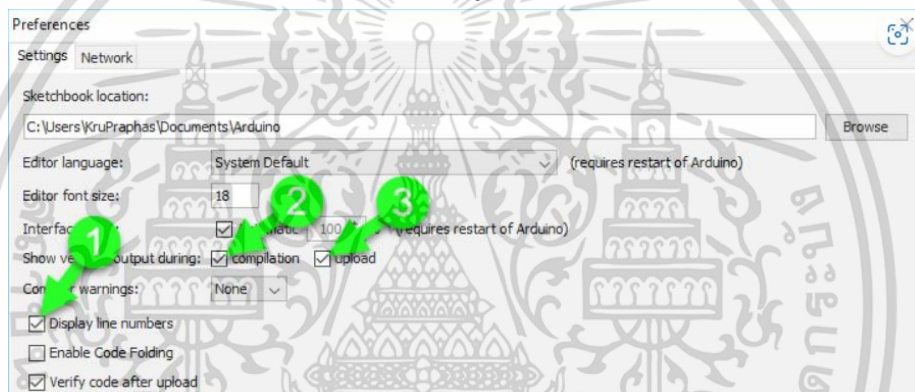
3. ตั้งค่าในโปรแกรม Arduino IDE ให้แสดงตำแหน่งของไฟล์ภาษาเครื่อง (HEX file) หลังจากการคอมไพล์ผ่าน การตั้งค่าดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



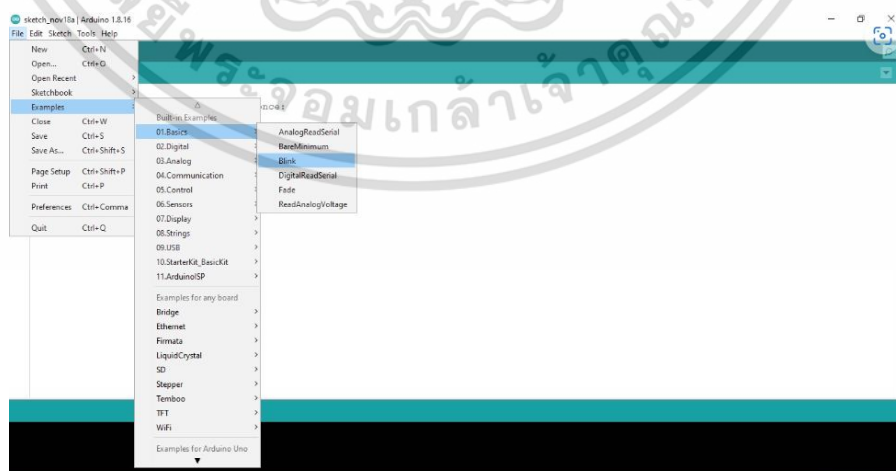
ก.3.2 เลือกเมนู Preferences

4. คลิกเลือกแสดงผลทั้ง 3 รายการดังรูป



ก.3.3 เลือกเมนูการแสดงผล

5. เขียนโปรแกรมหรือเรียกใช้งานโปรแกรมตัวอย่าง



ก.3.3 เลือกเมนู Blink

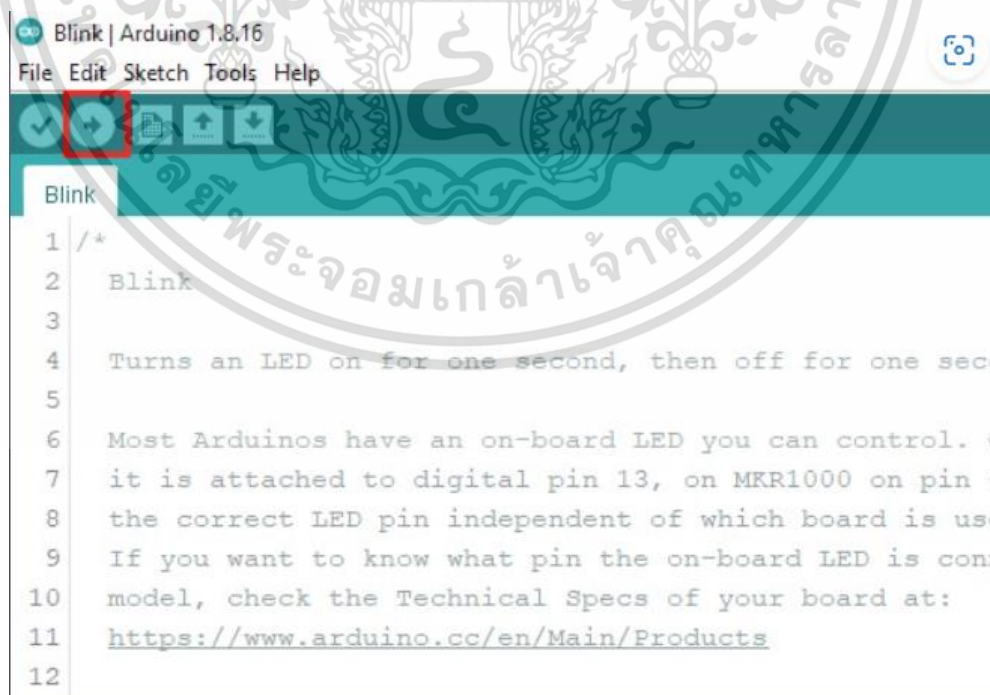
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. คลิกปุ่ม Verify ตรวจสอบความถูกต้องของโค้ดที่เขียน



ก.3.4 เลือกเมนู Verify

7. คลิกปุ่ม Upload ลงบอร์ด (กรณีต่อบอร์ดจริง)

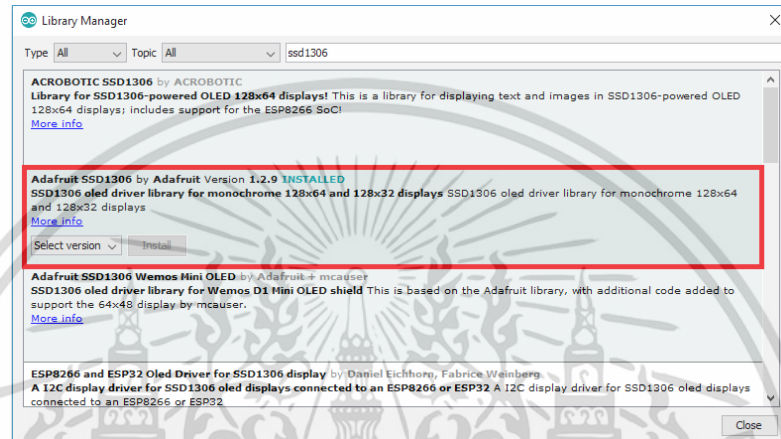


ก.3.4 เลือกเมนู Upload

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

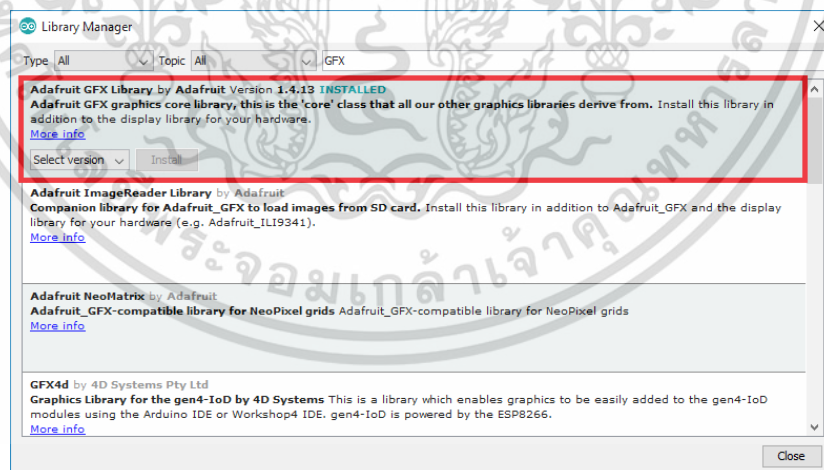
ก.4 ขั้นตอนการติดตั้ง Library OLED I2C

1. Open your Arduino IDE and go to Sketch > Include Library > Manage Libraries. The Library Manager should open.
2. Type “SSD1306” in the search box and install the SSD1306 library from Adafruit.



ก.4.1 ดาวน์โหลด Library

3. After installing the SSD1306 library from Adafruit, type “GFX” in the search box and install the library.



ก.4.1 ทำการติดตั้ง Library

4. After installing the libraries, restart your Arduino IDE.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.5 โปรแกรม Visual Studio



ก.5.1 โปรแกรม Visual Studio

Visual Studio (วิซวลสตูดิโอ) คือ โปรแกรมพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ช่วยให้นักพัฒนาสามารถสร้างระบบและแอปพลิเคชันที่สามารถโต้ตอบกับคอมพิวเตอร์ได้ เหมาะอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานกับภาษาโปรแกรม VB และ VB.NET เนื่องจากพัฒนาโดย Microsoft เพื่อให้ทำงานร่วมกับ Visual Studio ได้อย่างราบรื่น โปรแกรมเมอร์สามารถสร้างระบบและเว็บไซต์ได้หลากหลายโดยใช้เครื่องมือที่มีในโปรแกรม

ก.6 โปรแกรม Google SketchUp



ก.6.1 โปรแกรม SketchUp

SketchUp คือโปรแกรมสำหรับออกแบบโมเดล 3 มิติที่ได้รับความนิยมอย่างมากสำหรับการสร้างสถาปัตยกรรม วิศวกรรม การตกแต่งภายใน ไปจนถึงการออกแบบผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ถูกพัฒนาขึ้นจากบริษัท @Last Software ในช่วงปี 2000 เพื่อให้คนทั่วไปสามารถเข้าถึงการสร้างโมเดล 3 มิติได้ง่ายขึ้น มีฟังก์ชันพื้นฐานต่าง ๆ ครบถ้วน แต่ก็กินทรัพยากรเครื่องค่อนข้างน้อย ทำให้โปรแกรมนี้ถูกจับตาเป็นอย่างมากตั้งแต่ช่วงแรกที่เปิดตัวความสะดวกของการทำงานโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าวได้ไปเตะตาของ Google ที่ตอนนั้นได้ทำการพัฒนา Google Earth อยู่ ทางบริษัท Search Engine ยักษ์ใหญ่จึงทำการเข้าซื้อกิจการของ @Last Software พร้อมมีการพัฒนาฟังก์ชันใหม่ ๆ เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะส่วนสำคัญคือการอัปโหลดโมเดลที่สร้างไปใช้ร่วมกับ Google Earth

ก.7 โปรแกรม Ultimate CURA



โปรแกรม Cura นั้น ถือว่าเป็นโปรแกรม Slicer ยอดนิยมตัวหนึ่ง และใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะเป็นโปรแกรม ที่สามารถ Download มาใช้ฟรีได้ โดยไม่ต้องจ่ายเงินซื้อ ตัวโปรแกรม Cura นั้น ถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง เจ้าของโปรแกรม Cura นั้น ก็คือบริษัท Ultimaker ซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิต 3D Printer รายใหญ่จากประเทศเนเธอร์แลนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

Programming Code

ข.1 ข้อมูลภาษา VB.Net ในการเขียนโปรแกรม Visual Studio

```
Imports System.IO.Ports
```

```
Imports Excel = Microsoft.Office.Interop.Excel
```

```
Public Class Form1
```

```
Private stopwatch As New Diagnostics.Stopwatch
```

```
Dim _sec, _min As String
```

```
Dim Old, Ant, Bee, Cat, Dog As String
```

```
Dim AntL, Beel, CatL, DogL As Integer
```

```
Dim Limit As Integer = 11
```

```
Private Sub Form1_Load(sender As Object, e As EventArgs) Handles MyBase.Load
```

```
Me.CenterToScreen()
```

```
ButtonConnect.Enabled = False
```

```
ButtonRecord.Enabled = False
```

```
PictureBoxBadQuality.Visible = False
```

```
PictureBoxGreenn.Visible = False
```

```
For i = 0 To 30 Step 1
```

```
Chart1.Series("Series1").Points.AddXY("00:00", 0)
```

```
If Chart1.Series("Series1").Points.Count = Limit Then
```

```
Chart1.Series("Series1").Points.RemoveAt(0)
```

```
End If
```

```
Chart1.Series("Series2").Points.AddY(0)
```

```
If Chart1.Series("Series2").Points.Count = Limit Then
```

```
Chart1.Series("Series2").Points.RemoveAt(0)
```

```
End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Chart1.Series("Series3").Points.AddY(0)
If Chart1.Series("Series3").Points.Count = Limit Then
    Chart1.Series("Series3").Points.RemoveAt(0)
End If
Chart2.Series("Series1").Points.AddXY("00:00", 0)
If Chart2.Series("Series1").Points.Count = Limit Then
    Chart2.Series("Series1").Points.RemoveAt(0)
End If
Next
DoubleBuffer.DoubleBuffered(DataGridView1, True)
ComboBoxBaudRate.Text = "9600"
End Sub

Private Sub ButtonScanPort_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
ButtonScanPort.Click
    ComboBoxPort.Items.Clear()
    Dim myPort As Array
    Dim i As Integer
    myPort = IO.Ports.SerialPort.GetPortNames()
    ComboBoxPort.Items.AddRange(myPort)
    i = ComboBoxPort.Items.Count
    i = i - 1
    Try
        ComboBoxPort.SelectedIndex = i
        ButtonConnect.Enabled = True
    Catch ex As Exception
        MsgBox("COM-PORT not Detected", MsgBoxStyle.Critical, "Warning !!!")
        ComboBoxPort.Text = ""
        ComboBoxPort.Items.Clear()
        ButtonConnect.Enabled = False
        ButtonRecord.Enabled = False
    End Try
End Sub

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Return
End Try
ComboBoxPort.DroppedDown = True
End Sub

Private Sub ButtonConnect_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
ButtonConnect.Click
    Chart1.Series("Series1").Points.Clear()
    Chart2.Series("Series1").Points.Clear()

    If ButtonConnect.Text = "CONNECT" Then
        Try
            SerialPortArduino.PortName = ComboBoxPort.Text
            SerialPortArduino.BaudRate = ComboBoxBaudRate.Text
            SerialPortArduino.Open()
            TextBoxThreshold.Enabled = False
            DataGridView1.Rows.Clear()

            For i = 0 To 30 Step 1
                Chart1.Series("Series4").Points.AddY(TextBoxThreshold.Text)
                If Chart1.Series("Series4").Points.Count = 150 Then
                    Chart1.Series("Series4").Points.RemoveAt(0)
                End If
                Chart2.Series("Series2").Points.AddY(TextBoxThreshold.Text)
                If Chart2.Series("Series2").Points.Count = 150 Then
                    Chart2.Series("Series2").Points.RemoveAt(0)
                End If
            Next

            TimerSerialPort.Stop()
            ButtonConnect.Text = "DISCONNECT"
            ButtonRecord.Enabled = True

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
LabelConnect.Text = "Status : Connected"
```

```
ButtonScanPort.Enabled = False
```

```
ComboBoxPort.Enabled = False
```

```
ComboBoxBaudRate.Enabled = False
```

```
Catch ex As Exception
```

```
    MsgBox("Failed to open Port. Ensure that Arduino is connected to the  
computer correctly and that you have selected the correct port." & vbCrLf & "Error  
Message : " & ex.Message, MsgBoxStyle.Critical, "Error !!!")
```

```
End Try
```

```
Else
```

```
Try
```

```
TimerSerialPort.Stop()
```

```
Threading.Thread.Sleep(1000)
```

```
SerialPortArduino.Close()
```

```
Threading.Thread.Sleep(1000)
```

```
ButtonConnect.Text = "CONNECT"
```

```
ButtonRecord.Enabled = False
```

```
LabelConnect.Text = "Status : Disconnected"
```

```
ButtonScanPort.Enabled = True
```

```
ButtonRecord.Enabled = False
```

```
ComboBoxPort.Enabled = True
```

```
ComboBoxBaudRate.Enabled = True
```

```
TextBoxThreshold.Enabled = True
```

```
For i = 0 To 30 Step 1
```

```
    Chart1.Series("Series4").Points.RemoveAt(0)
```

```
    Chart2.Series("Series2").Points.RemoveAt(1)
```

```
Next
```

```
For i = 0 To 30 Step 1
```

```
    Chart1.Series("Series1").Points.AddXY(0)
```

```
    If Chart1.Series("Series1").Points.Count = Limit Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Chart1.Series("Series1").Points.RemoveAt(0)
End If

```

```

Chart1.Series("Series2").Points.AddY(0)
If Chart1.Series("Series2").Points.Count = Limit Then
    Chart1.Series("Series2").Points.RemoveAt(0)
End If

```

```

Chart1.Series("Series3").Points.AddY(0)
If Chart1.Series("Series3").Points.Count = Limit Then
    Chart1.Series("Series3").Points.RemoveAt(0)
End If

```

```

Chart2.Series("Series1").Points.AddXY(0)
If Chart2.Series("Series1").Points.Count = Limit Then
    Chart2.Series("Series1").Points.RemoveAt(0)
End If

```

```
Next
```

```
Catch ex As Exception
```

```
End Try
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub ButtonRecord_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
ButtonRecord.Click
```

```
    If ButtonRecord.Text = "Start Recording" Then
```

```
        ButtonRecord.Text = "Stop Recording"
```

```
        PictureBoxGreenn.Visible = True
```

```
        DataGridView1.Rows.Clear()
```

```
        Label7.Text = "Recording..."
```

```
        Chart1.Series("Series1").Points.Clear()
```

```
        Chart1.Series("Series2").Points.Clear()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Chart1.Series("Series3").Points.Clear()
Chart2.Series("Series1").Points.Clear()
ButtonConnect.Enabled = False
ButtonSaveToExcel.Enabled = False
ButtonClear.Enabled = False
TimerSerialPort.Start()
stopwatch.Start()
Else
    ButtonRecord.Text = "Start Recording"
    ButtonConnect.Enabled = True
    ButtonSaveToExcel.Enabled = True
    ButtonClear.Enabled = True
    PictureBoxGreen.Visible = False
    Label7.Text = "Record"
    stopwatch.Reset()
    stopwatch.Stop()
    LabelTime.Text = "00:00"
    TimerSerialPort.Stop()
End If
End Sub

Private Sub ButtonClear_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
ButtonClear.Click
    For i = 0 To 30 Step 1
        Chart1.Series("Series1").Points.AddXY("00:00", 0)
        If Chart1.Series("Series1").Points.Count = Limit Then
            Chart1.Series("Series1").Points.RemoveAt(0)
        End If

        Chart1.Series("Series2").Points.AddY(0)
        If Chart1.Series("Series2").Points.Count = Limit Then
            Chart1.Series("Series2").Points.RemoveAt(0)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End If
```

```
Chart1.Series("Series3").Points.AddY(0)
```

```
If Chart1.Series("Series3").Points.Count = Limit Then
```

```
    Chart1.Series("Series3").Points.RemoveAt(0)
```

```
End If
```

```
Chart2.Series("Series1").Points.AddXY("00:00", 0)
```

```
If Chart2.Series("Series1").Points.Count = Limit Then
```

```
    Chart2.Series("Series1").Points.RemoveAt(0)
```

```
End If
```

```
Next
```

```
DataGridView1.Rows.Clear()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub ButtonSaveToExcel_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles  
ButtonSaveToExcel.Click
```

```
    ButtonSaveToExcel.Text = "Please Wait..."
```

```
    ButtonSaveToExcel.Enabled = False
```

```
    ButtonRecord.Enabled = False
```

```
    ProgressBarProcess.Visible = True
```

```
Try
```

```
    If DataGridView1.Rows.Count > 0 Then
```

```
        Dim filename As String = ""
```

```
        Dim SV As SaveFileDialog = New SaveFileDialog()
```

```
        SV.Filter = "EXCEL FILES|*.xlsx;*.xls"
```

```
        Dim result As DialogResult = SV.ShowDialog()
```

```
        If result = DialogResult.OK Then
```

```
            Me.Text = "Monitoring Heart Rate (Saving to Excel. Please wait...)"
```

```
            ProgressBarProcess.Visible = True
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ProgressBarProcess.Value = 2
filename = SV.FileName
Dim multiselect As Boolean = DataGridView1.MultiSelect
DataGridView1.MultiSelect = True
DataGridView1.SelectAll()
DataGridView1.ClipboardCopyMode =
DataGridViewClipboardCopyMode.EnableAlwaysIncludeHeaderText
Clipboard.SetDataObject(DataGridView1.GetClipboardContent())
Dim results =
System.Convert.ToString(Clipboard.GetData(DataFormats.Text))
DataGridView1.ClearSelection()
DataGridView1.MultiSelect = multiselect
Dim XCELAPP As Microsoft.Office.Interop.Excel.Application = Nothing
Dim XWORKBOOK As Microsoft.Office.Interop.Excel.Workbook = Nothing
Dim XSHEET As Microsoft.Office.Interop.Excel.Worksheet = Nothing
Dim misValue As Object = System.Reflection.Missing.Value
ProgressBarProcess.Value = 4
XCELAPP = New Excel.Application()
XWORKBOOK = XCELAPP.Workbooks.Add(misValue)
XCELAPP.DisplayAlerts = False
XCELAPP.Visible = False
XSHEET = XWORKBOOK.ActiveSheet
ProgressBarProcess.Value = 6
XSHEET.Paste()
XWORKBOOK.SaveAs(filename,
Excel.XlFileFormat.xlOpenXMLWorkbook)
XWORKBOOK.Close(False)
XCELAPP.Quit()
ProgressBarProcess.Value = 8
Try
System.Runtime.InteropServices.Marshal.ReleaseComObject(XSHEET)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
System.Runtime.InteropServices.Marshal.ReleaseComObject(XWORKBOOK)
```

```
System.Runtime.InteropServices.Marshal.ReleaseComObject(XCELAPP)
```

```

    Catch
    End Try
    Me.Text = "Monitoring Signal"
    ProgressBarProcess.Value = 10
    ProgressBarProcess.Visible = False
    MessageBox.Show("Save Succesfully")
End If
End If
Catch ex As Exception
    Me.Text = "Data Log"
    MessageBox.Show(ex.Message, "Error Message", MessageBoxButtons.OK,
MessageBoxIcon.Error)
End Try

ButtonSaveToExcel.Text = "Save To MS Excel"
ButtonSaveToExcel.Enabled = True
ButtonRecord.Enabled = True
End Sub

Private Sub releaseObject(ByVal obj As Object)
    Try
        System.Runtime.InteropServices.Marshal.ReleaseComObject(obj)
        obj = Nothing
    Catch ex As Exception
        obj = Nothing
    Finally
        GC.Collect()
    End Try

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

End Sub

Private Sub TimerSerialPort_Tick(sender As Object, e As EventArgs) Handles
TimerSerialPort.Tick

Try

```

    Dim StrSerialIn As String = SerialPortArduino.ReadExisting
    Dim StrSerialInRam As String
    Dim AntLog, BeeLog, CatLog, DogLog As String
    Dim elapsed As TimeSpan = stopwatch.Elapsed
    Dim TB As New TextBox
    TB.Multiline = True
    TB.Text = StrSerialIn
    _sec = elapsed.Seconds.ToString("00")
    _min = elapsed.Minutes.ToString("00")
    LabelTime.Text = "" & _min & ":" & _sec

    AntLog = Mid(Ant, 2, AntL)
    BeeLog = Mid(Bee, 2, BeeL)
    CatLog = Mid(Cat, 2, CatL)
    DogLog = Mid(Dog, 2, DogL)
    DataGridView1.Rows.Add(New String() { _min & ":" & _sec, AntLog, BeeLog,
    CatLog, DogLog})
    Me.DataGridView1.FirstDisplayedScrollingRowIndex =
    Me.DataGridView1.RowCount - 1
    DataGridView1.ClearSelection()
    DataGridView1.Rows(DataGridView1.RowCount - 1).Selected = True

    Chart1.Series("Series1").Points.AddXY(_min & ":" & _sec, AntLog)
    If Chart1.Series("Series1").Points.Count = Limit Then
        Chart1.Series("Series1").Points.RemoveAt(0)
    End If

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Chart1.Series("Series2").Points.AddY(BeeLog)
If Chart1.Series("Series2").Points.Count = Limit Then
    Chart1.Series("Series2").Points.RemoveAt(0)
End If

Chart1.Series("Series3").Points.AddY(CatLog)
If Chart1.Series("Series3").Points.Count = Limit Then
    Chart1.Series("Series3").Points.RemoveAt(0)
End If

Chart2.Series("Series1").Points.AddXY(_min & ":" & _sec, DogLog)
If Chart2.Series("Series1").Points.Count = Limit Then
    Chart2.Series("Series1").Points.RemoveAt(0)
End If

StrSerialInRam = TB.Lines(0).Substring(0, 1)
If StrSerialInRam = "A" Then
    Ant = TB.Lines(0)
    AntL = Ant.Length
Else
    Ant = Ant
End If

StrSerialInRam = TB.Lines(1).Substring(0, 1)
If StrSerialInRam = "B" Then
    Bee = TB.Lines(1)
    BeeL = Bee.Length
Else
    Bee = Bee
End If

StrSerialInRam = TB.Lines(2).Substring(0, 1)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

If StrSerialInRam = "C" Then
    Cat = TB.Lines(2)
    CatL = Cat.Length
Else
    Cat = Cat
End If
StrSerialInRam = TB.Lines(3).Substring(0, 1)
If StrSerialInRam = "D" Then
    Dog = TB.Lines(3)
    DogL = Dog.Length
Else
    Dog = Dog
End If
If DogLog > 500 Then
    PictureBoxBadQuality.Visible = True
Else
    PictureBoxBadQuality.Visible = False
End If
Catch ex As Exception

If PictureBoxGreenn.Visible = True Then
    PictureBoxGreenn.Visible = False
Elseif PictureBoxGreenn.Visible = False Then
    PictureBoxGreenn.Visible = True
End If
End Try
End Sub
End Class

```

ข.2 ข้อมูลภาษา C ในการเขียนโปรแกรม Arduino IDE

```

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//----- OLED size configuration in Pixels
#define SCREEN_WIDTH 128 //--> OLED display width, in pixels
#define SCREEN_HEIGHT 64 //--> OLED display height, in pixels
//-----

//----- Declaration for an SSD1306 display connected to I2C (SDA, SCL pins)
#define OLED_RESET -1 // Reset pin # (or -1 if sharing Arduino reset pin)
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET);

int anteriorMillis = 0;
int tiempo = 0;
float valorAnalogico = 0;
float voltaje = 0;
float graficaVoltaje = 0;

int x[128]; //buffer de la grafica
int y[128]; //buffer secundario de la grafica
//////////

const int redPin = 9; // Red LED is connected to digital pin 9
const int greenPin = 10; // Green LED is connected to digital pin 10
const int bluePin = 11; // Blue LED is connected to digital pin 11
const int sensorPin = A0;
//////////

void setup(){
  pinMode(redPin, OUTPUT);
  pinMode(greenPin, OUTPUT);
  pinMode(bluePin, OUTPUT);
  // Set the sensor pin as an input
  pinMode(sensorPin, INPUT);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/////
delay(100); // se da una espera de 100ms para que el display inicie correctamente
display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C); // inicia la comunicacion I2C con el
display que tiene la direccion 0x3C
display.setRotation(0); // se escoje la orientacion del display puede ser 0 o 2
display.setTextColor(WHITE);
//display.setTextSize(1); // ajusta el tamaño de texto en el minimo valor
display.display();

for(int i=127;i>=0;i--){
  x[i]=9999;
}
for(int i=127;i>=0;i--){
  y[i]=9999;
}
/////////
}

void loop(){
  display.clearDisplay();

  display.setTextSize(1);
  display.setCursor(3, 9);
  display.print(F("5V"));
  display.setCursor(3, 20);
  display.print(F("4V"));
  display.setCursor(3, 31);
  display.print(F("3V"));
  display.setCursor(3, 41);
  display.print(F("2V"));

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

display.setCursor(3, 52);
display.print(F("1V"));

display.drawLine(18, 9, 25, 9, WHITE);
display.drawLine(18, 20, 25, 20, WHITE);
display.drawLine(18, 31, 25, 31, WHITE);
display.drawLine(18, 41, 25, 41, WHITE);
display.drawLine(18, 52, 25, 52, WHITE);

//dibuja eje X y Y
display.drawLine(18, 62, 127, 62, WHITE);
display.drawLine(25, 62, 25, 9, WHITE);

valorAnalogico = analogRead(A0)+analogRead(A1);
voltaje=(valorAnalogico*5)/1024/2; //calcula el valor en voltaje
graficaVoltaje=map(valorAnalogico,0,1023,62,9); //escala el valor analogico a un
pixel imprimible en pantalla

x[127]=graficaVoltaje; //asigna el valor escalado a el ultimo dato de la matriz

for(int i=127;i>=25;i--){
  display.drawPixel(i, x[i], WHITE); //dibuja punto a punto el contenido de x
  y[i-1]=x[i]; //guarda la informacion desplazada una posición temporalmente en y
}

//imprime el voltaje en texto
display.setTextSize(1);
display.setCursor(18, 0);
display.print("HALL EFFECT");
display.setCursor(88, 0);
display.print(voltaje);
display.print(F("V"));

display.display();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for(int i=127;i>=0;i--){
  x[i]=y[i];
}
////////////////////
int sensorValue = (analogRead(A0)+analogRead(A1))/2;

// Use an if statement to divide the range of sensor values into three sections
if (sensorValue < 341) {
  // Set the red LED to full brightness
  analogWrite(redPin, 255);
  // Set the green and blue LEDs to off
  analogWrite(greenPin, 0);
  analogWrite(bluePin, 0);
}
else if (sensorValue < 682) {
  // Set the green LED to full brightness77
  analogWrite(greenPin, 255);
  // Set the red and blue LEDs to off
  analogWrite(redPin, 0);
  analogWrite(bluePin, 0);
}
else {
  // Set the blue LED to full brightness
  analogWrite(bluePin, 255);
  // Set the red and green LEDs to off
  analogWrite(redPin, 0);
  analogWrite(greenPin, 0);
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

บทความทางวิชาการ

J. Sens. Actuator Netw. **2013**, 2, 85-97; doi:10.3390/jsan2010085

OPEN ACCESS

*Journal of Sensor
and Actuator Networks*

ISSN 2224-2708

www.mdpi.com/journal/jsan/

Article

Hall Effect Sensors Design, Integration and Behavior Analysis

Maria-Alexandra Paun *, Jean-Michel Sallese and Maher Kayal

STI-IEL-Electronics Laboratory, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL),
CH-1015 Lausanne, Switzerland; E-Mails: jean-michel.sallese@epfl.ch (J.-M.S.);
maher.kayal@epfl.ch (M.K.)

* Author to whom correspondence should be addressed; E-Mail: maria-alexandra.paun@epfl.ch;
Tel.: +41-216-934-610.

Received: 31 December 2012; in revised form: 30 January 2013 / Accepted: 1 February 2013 /
Published: 8 February 2013

Abstract: The present paper focuses on various aspects regarding Hall Effect sensors' design, integration, and behavior analysis. In order to assess their performance, different Hall Effect geometries were tested for Hall voltage, sensitivity, offset, and temperature drift. The residual offset was measured both with an automated measurement setup and by manual switching of the individual phases. To predict Hall sensors performance prior to integration, three-dimensional physical simulations were performed.

Keywords: Hall Effect sensors; residual offset; absolute sensitivity; temperature effects

1. Introduction

Hall Effect sensors are widely used in industrial applications for a series of low power applications, including current-sensing, position detection, and contactless switching. Such magnetic sensors, integrated in regular CMOS technology, prove to be cost-effective and offer high performance [1]. In order to guarantee Hall Effect sensors optimal behavior, high sensitivity, low offset, and low temperature drift are performance aspects that need to be achieved. Previous papers by the authors investigated the temperature effects on both sensitivity and offset [2,3]. The present paper is highly focused on Hall Effect sensors design, integration, and performance investigation. To achieve good results while still preserving the integration process, the sensors geometrical configuration is to be exploited [4,5]. As the extensive measurements performed and presented by the authors [6] prove, there is offset variance with geometry. The project specifications, a few times better than the actual

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

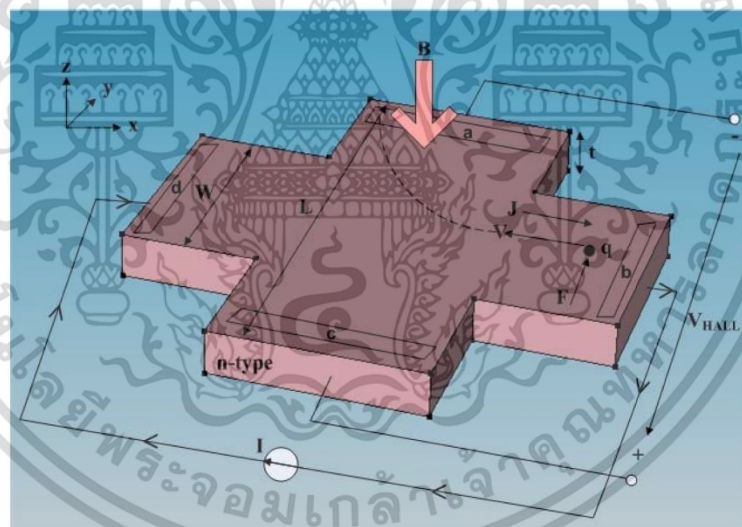
state-of-the-art in terms of offset and its drift, have been reached and various good candidates have been revealed. The present paper is structured as follows. The second section is intended to offer an overview on Hall Effect sensors basic considerations and the most important equations governing their behavior. Within this section, arguments for sensors geometry selection and design details are presented. Extensive measurements results concerning the sensors sensitivity, offset, and its temperature drift are incorporated in the third part of the present paper. The fourth section is devoted to presenting three-dimensional physical simulations used to predict the sensors' behavior. The results and discussion are part of the fifth section of this work. Finally, the conclusions are drawn.

2. Hall Effect Sensors Design and Integration

2.1 Hall Effect Sensors Basic Considerations

Figure 1 presents the classical Greek-cross shape of a Hall Effect sensor. We can observe the symmetrical and orthogonal character of the shape. The figure also depicts the biasing and sensing contacts. If a current is applied between two contacts (let us say b and d) and the probe is placed under a magnetic field, the carriers will be deviated by the Lorentz force and a voltage drop which is called the Hall voltage will appear between the other two opposite contacts (a and c).

Figure 1. Classical Greek-cross Hall Effect sensor representation.



In Hall Effect sensors performance assessment, the Hall voltage and sensitivity are important parameters. By consequence, the Hall voltage is defined by the relation:

$$V_{HALL} = G \frac{r_H}{nqt} I_{bias} B \quad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

where G is the geometrical correction factor, r_H is the scattering factor of Silicon, (usually 1.15), n is the carrier density, t is the thickness of the active region, I_{bias} is the biasing current, and B is the magnetic field induction, [7].

For a cross-like Hall cell, the geometrical correction factor G is defined as follows:

$$G = 1 - 5.0267 \frac{\theta_H}{\tan(\theta_H)} \exp\left(-\frac{\pi L}{2W}\right) \quad (2)$$

where L and W are the sensor's length and width respectively, according to Figure 1, and θ_H is the Hall angle [8].

The above equation has an accuracy better than 0.5% if $\frac{W}{2l} \leq 0.39$, where $l = \frac{L-W}{2}$ is the length of the arms.

The absolute, current-related, and voltage-related sensitivities of a Hall sensor are given by the following relations:

$$S_A = \frac{V_{HALL}}{B}; S_I = \frac{S_A}{I_{bias}}; S_V = \frac{S_A}{V_{bias}} \quad (3)$$

From Equations (1) and (3) we can see that the Hall voltage and absolute sensitivity are inversely proportional to the n-well doping concentration. Therefore, in order to achieve high sensitivities, a lightly doped n-well is normally used in the fabrication process of these magnetic sensors.

2.2. Hall Effect Sensors Geometry Selection and Design Guidelines

Nine different Hall shapes have been designed and integrated in a CMOS 0.35 μm technology in two different runs. The basic cell is a classical Greek-cross shape. It is primarily integrated as a reference shape, but it might suffer from a difference in the piezoresistance due to the orientation of the axes. The L and XL Hall cells are scaled versions of the basic cell. For these cells, the selection criterion relies on the fact that any errors on the contour will be less due to an averaging on a bigger size. The 45° cell is actually the basic cell turned 45° in order to cancel out the effect of the piezoresistance effect with respect to the Si crystallographic axes. Further on, the borderless cell is a square structure that has small contacts located further away from the p-n junction. This particular geometry might minimize the influence of any errors that could appear on the borders. In this case, the sensitivity is affected as well due to the decrease of the effective active region by the position of the contacts. The low doped Hall cells have a more lightly doped n-well, so there is an increase of the sensitivity, according to Equation (3). The optimum cell is a combination of increased square dimensions with contacts situated halfway between the n-well center and borders respectively.

In order to achieve maximum sensitivity, a geometrical correction factor G maximization was performed for rectangular Hall structures with small sensing contacts s . The analysis was initiated by the authors and presented in a recent paper [9]. G was maximized when design specifications act as constraints, such as imposed sensing contacts length s and area $A = LW$. Further on, in order to guarantee maximum sensitivity, a guiding procedure for selecting the Hall cells dimensions L and W respectively is represented in a flow-like sequence diagram in Figure 2. In this particular case, an approximation of the G is used which is valid for relatively long Hall plates, with $L/W > 1.5$, small sensing contacts $s/W < 0.18$ and small Hall angles [7].

Figure 2. Guiding procedure for L and W selection for rectangular Hall Effect structures with small sensing contacts.

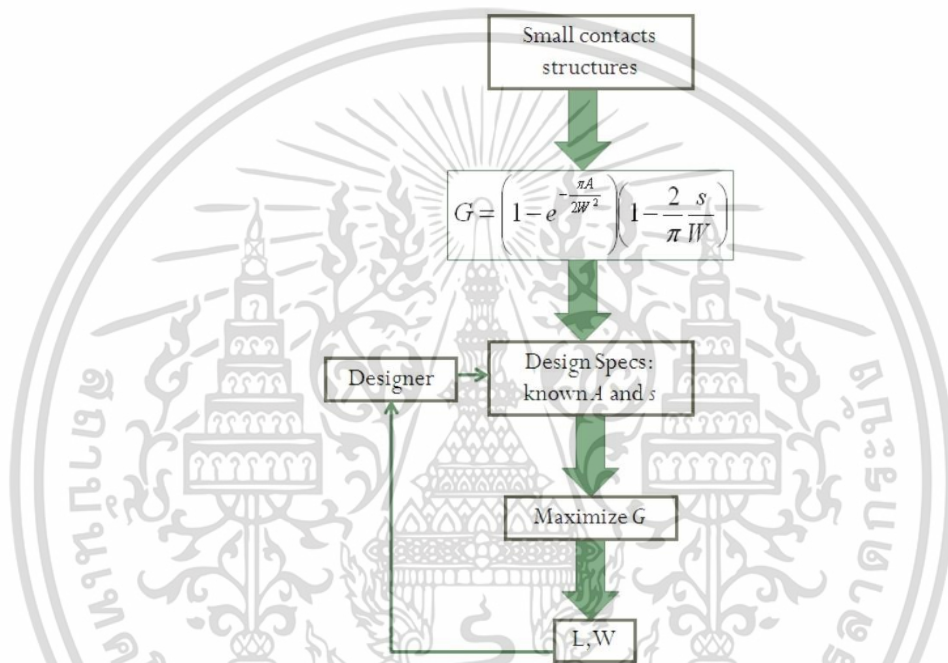
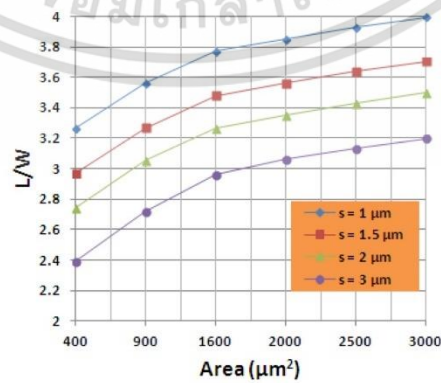


Figure 3 presents the choice of the length-to-width ratio plotted *versus* the area for different small sensing contacts length s . This analysis can guide the designer in selecting the best Hall cells' dimensions for getting maximum sensitivity, in the case of area A and sensing contacts length constraints.

Figure 3. Variation of L/W with respect to the area A , for different small sensing contact sizes, s .



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Experimental Section

3.1. Hall Effect Sensor Measurements







In order to accurately test the Hall Effect sensors, an automated measurements setup has been built [6]. Previous papers in the literature were devoted to Hall sensors current measurements [10].

The nine integrated Hall cells are presented in Table 1. Part 1 of the table refers to the cross-like Hall cells, while Part 2 focuses on the square Hall cells. The table summarizes both geometrical design parameters and measurements results for the input resistance at room temperature R_0 , absolute sensitivity S_A , offset drift, etc. The design parameters include L , W , and s , which stand for sensors length, width, and sensing contacts length respectively.

The information for the offset refers to the four-phases residual offset and it is an average on eleven tested samples. For offset drift measurements, a TEMPTRONICS temperature control system was used and the temperature was cycled from 0 to 90 °C.

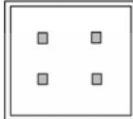

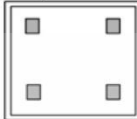
From the measurements results, we can see that there is offset and sensitivity variance with geometry. The XL cell proved to have the best performance in terms of offset drift. There is a decrease of the borderless sensitivity compared to the other cells due to the position of contacts with respect to the borders.

Table 1. Integrated Hall Effect devices characterization.

Geometry Type	Basic	Low-doped	L	XL	45 Deg	Narrow Contacts
Shape						
R_0 (k Ω) @ T=300 K, B=0 T	2.3	5.6	2.2	2.2	2.1	2.5
S_A (V/T) @ $I_{bias} = 1$ mA	0.0807	0.3392	0.0804	0.0806	0.0807	0.0822
Offset drift (μ T/°C) (4-phases current spinning)	0.409	0.067	0.264	0.039	0.373	0.344
L , W (μ m) of the Active Area (n-well)	L = 21.6 W = 9.5	L = 21.6 W = 9.5	L = 32.4 W = 14.25	L = 43.2 W = 19	L = 21.6 W = 9.5	L = 21.6 W = 9.5
L/W	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27
s (μ m) for Sensing Contacts	8.8	8.8	13.55	18.3	8.8	1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1. Cont.

Geometry Type	Borderless	Square	Optimum
Shape			
R_{θ} (k Ω) @ T=300 K, B=0 T	1.3	4.9	1.5
S_A (V/T) @ I_{bias} =1 mA	0.0325	0.0884	0.0635
Offset drift (μ T/ $^{\circ}$ C) (4-phases current spinning)	0.526	0.082	0.328
L, W (μ m) of the Active Area (n-well)	L = 50 W = 50	L = 20 W = 20	L = 50 W = 50
L/W	1	1	1
s (μ m) for Sensing Contacts	2.3	2.3	4.7

3.2. Offset Temperature Drift Measurement Results Using a DC Measurement Setup and Manual Phase Switching

The offset is a parasitic effect that adds to the total Hall voltage. The offset was measured in the absence of magnetic field ($B = 0$ T), by using a zero-Gauss chamber. The offset is defined as follows:

$$V_{out} = V_{HALL} + V_{offset} \quad (4)$$

In order to have information on the offset of each individual phase, manual phase switching was performed. Both two-phases and four-phases residual offsets were measured.

The four-phases residual offset in V is computed as follows:

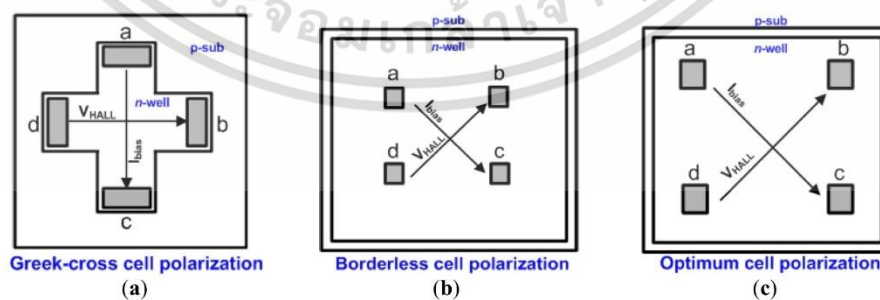
$$V_{residual(4\text{ phases})} = \frac{V_{P1} - V_{P2} + V_{P3} - V_{P4}}{4} \quad (5)$$

where $V_{P1,2,3,4}$ are the individual phases offsets.

The magnetic-equivalent offset (measured in T) is defined by dividing the four-phases residual offset in V by the absolute sensitivity, as follows:

$$B_{residual(4\text{ phases})} = \frac{V_{residual(4\text{ phases})}}{S_A} \quad (6)$$

Figure 4. Hall cells polarization for Greek-cross cells (a), borderless cell (b) and optimum cell (c).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

In Figure 4, the specific Hall cells polarization is represented, for the Greek-cross cells, borderless and optimum cells respectively.

Further on, Table 2 presents the four phases used for Hall cells polarization, including biasing and sensing contacts.

Table 2. The corresponding polarization phases.

Phases	I_{bias} (biasing)	V_{HALL} (sensing)
Phase 1	a to c	b to d
Phase 2	d to b	a to c
Phase 3	c to a	d to b
Phase 4	b to d	c to a

In Figures 5–7, the magnetic equivalent residual offset vs. absolute temperature for four different Hall Effect sensors is depicted. Two different biasing currents were taken into account, $I_{bias} = 0.5$ mA and $I_{bias} = 1$ mA respectively. The samples were placed into an oven and the temperature was cycled between -40 and 125 °C. We can observe the parabolic temperature dependence of the residual offset.

Figure 5. Magnetic-equivalent offset vs. absolute temperature for the basic (left) and L (right) Hall cells, for $I_{bias} = 0.5$ mA.

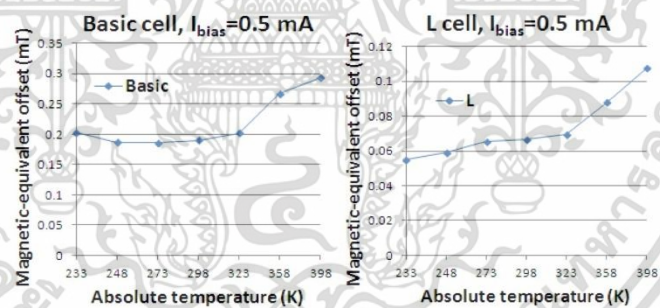
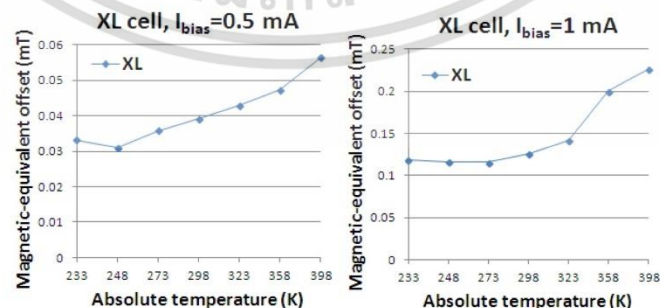
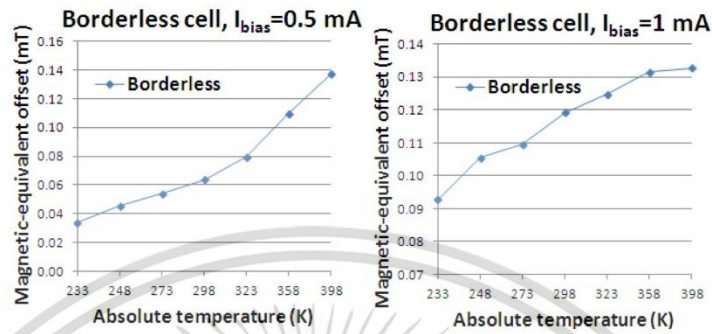


Figure 6. Magnetic-equivalent offset vs. absolute temperature for the XL Hall cell, for $I_{bias} = 0.5$ mA (left) and $I_{bias} = 1$ mA (right).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 7. Magnetic-equivalent offset vs. absolute temperature for the borderless Hall cell, for $I_{bias} = 0.5$ mA (left) and $I_{bias} = 1$ mA (right).



3.3. Room Temperature Offset Measurement Results Using an Automated AC Measurement Setup

Using an automated measurement setup presented in detail by the authors in a recent paper [6], the proposed Hall cells have been tested and subsequently evaluated. In this sense eleven samples, each one containing 64 cells (the first eight different geometries in Table 1 times eight locations), were tested. The positioning of the eight cells as repetitions of eight is presented in Figure 8. We wanted to have the same cell several times, and at different locations on the chip in order to investigate possible offset variation due to position. Therefore, the same cell was tested eight times on the same chip.

Figure 8. Location of the eight analyzed Hall cells on a tested chip.



Figures 9–10 present the 4-phases residual offset in T at room temperature *versus* the absolute sensitivity for four of the integrated Hall cells. The indications in the legend represent the specific positions of the tested cell within a chip containing 64 cells. To obtain the data in Figures 9 and 10, the biasing current was ramped, and the residual offset measured. It is to be mentioned that the residual offset is not a direct function of the sensitivity, but an implicit one via the biasing current. However, for more meaningfulness, we decided to display this information *versus* the absolute sensitivity, as it is useful to know how much residual offset corresponds to certain sensitivity.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 9. Room temperature residual offset for basic (a) and 45° (b) Hall cells.

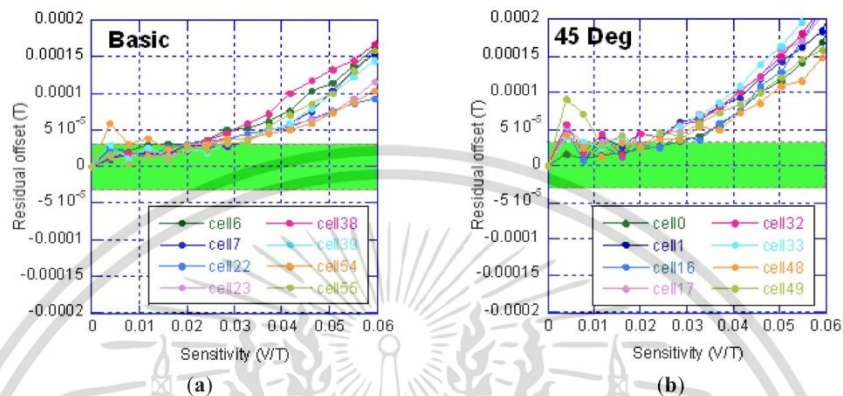
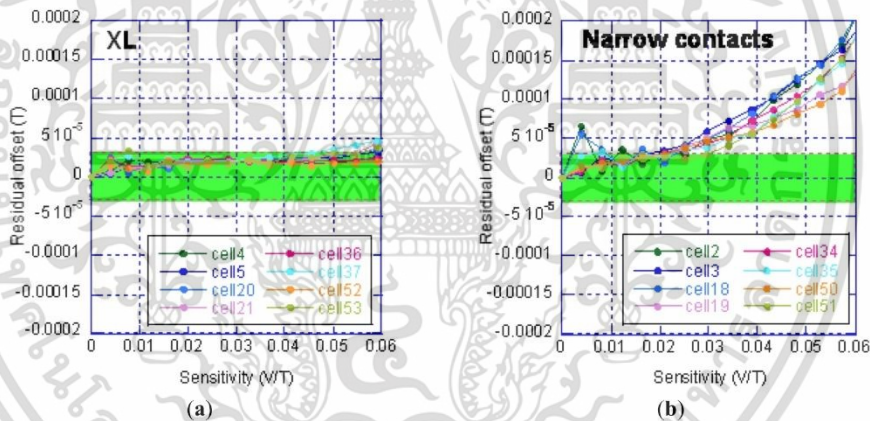


Figure 10. Room temperature residual offset for XL (a) and Narrow contacts (b) Hall cells.



By the green band we understand the project specifications in terms of offset at room temperature, which falls in the interval $\pm 30 \mu\text{T}$. We can observe that the best behavior is obtained for the XL cell.

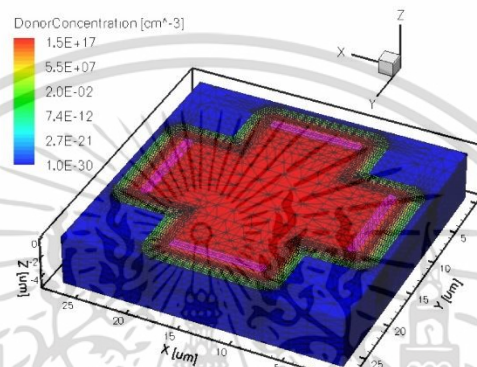
4. Three-Dimensional Physical Simulations

Regarding Hall Effect sensors behavior analysis, a finite element lumped circuit model was recently developed by the authors in [3]. Other models, based on six-resistance approach were proposed [11].

A powerful tool to predict the Hall Effect sensor's performance is based on three-dimensional physical simulations. In a recent paper, the authors presented 3D simulations as an instrument to assess Hall sensors behavior [12]. In this work, five different cells, including basic, L, XL, borderless, and optimum, were simulated and evaluated using TCAD Sentaurus Synopsys tool [13]. In Figure 11, the three dimensional structure of the basic cell with the donor concentration profile is displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 11. Three-dimensional simulated structure of the basic Hall cell.

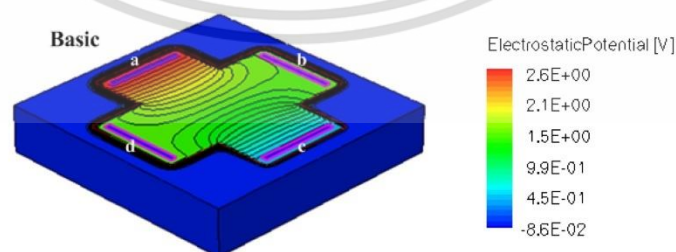


The structure is also endowed with four electrical contacts, located at the extremities of the arms. For the p-substrate, a Boron concentration of 10^{15} cm^{-3} is used while the active n-well region is implanted with an Arsenic doping concentration of $1.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ with a Gaussian profile. The thickness of the p-substrate is $5 \mu\text{m}$ while the n-profile implantation depth is $1 \mu\text{m}$. In this case, the average mobility is $0.0630 \text{ m}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$.

5. Results and Discussion

The three-dimensional structures for three of the five simulated Hall cells are incorporated in Figures 12–14, also depicting the electrostatic potential (V) distribution. A current in the range 0–1 mA was used to bias the Hall structures from *a* to *c* contacts and the Hall voltage was recorded between the opposite *b* and *d* contacts. For the cross Hall cells, the current has an orthogonal flow, while for the borderless and optimum cells, the current flow is on a diagonal path, according to Figure 4. In Table 3, the design parameters of the five simulated cells are summarized. *L*, *W*, and *s* stand for sensors length, width, and sensing contacts length respectively.

Figure 12. The three-dimensional representation of the simulated basic Hall cell.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 13. The three-dimensional representation of the simulated XL Hall cell.

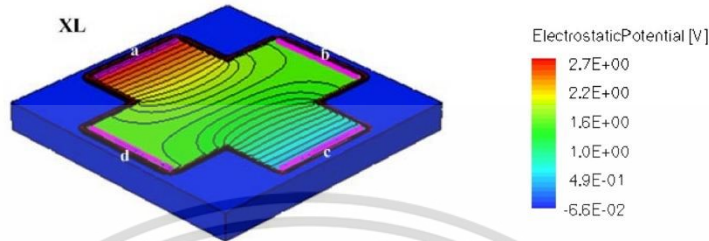


Figure 14. The three-dimensional representation of the simulated borderless Hall cell.

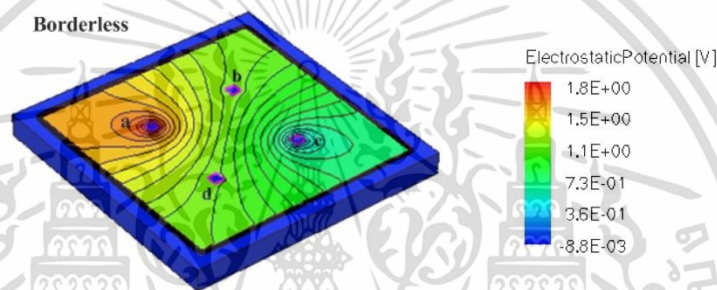
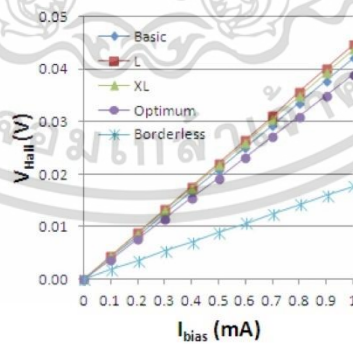


Table 3. Simulated Hall Effect devices geometrical parameters.

Hall Structure	L (μm)	W (μm)	s (μm)
Basic	21.6	9.5	8.8
L	32.4	14.25	13.55
XL	43.2	19	18.3
Borderless	50	50	4.7
Optimum	50	50	2.3

Figure 15. Hall voltage (V) vs. biasing current for the five simulated Hall cells.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

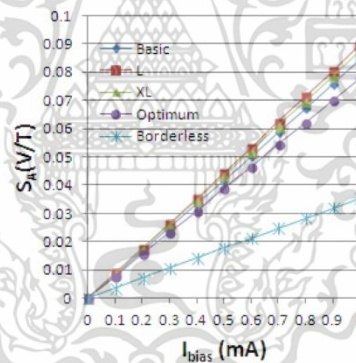
The five Hall cells were simulated for Hall voltage, by considering the influence of a magnetic field of strength $B = 0.5$ T. The following results were obtained as presented in Figure 15.

In Figure 16, the absolute sensitivity *versus* the biasing current is displayed for the five simulated Hall structures. We can observe that the cross Hall cells have the highest sensitivity, while there is a decrease in sensitivity for borderless and optimum cells, as confirmed by the measurements results presented in Table 1.

The sensitivity is directly related to the geometrical correction factor and G is in turn directly proportional to the length-to-width ratio. By consequence, it is expected for basic, L, and XL Hall cells to have approximately the same absolute sensitivity, as they are scaled up versions of a classical Greek-cross.

To explain the Hall voltage and sensitivity reduction in the square Hall cells compared to the cross structures, one has to take into consideration the geometrical correction factor G which is lower in the case of the square cells. Moreover, contacts on square structures located further away from the p-n junction considerably reduce the effective active n-well area, so they also produce a decrease in the sensitivity.

Figure 16. Absolute sensitivity (V/T) vs. biasing current for the five simulated Hall cells.



6. Conclusions

Different Hall effect sensors were integrated in a CMOS technology, and their performance, were evaluated. The measurements results corresponding to the sensitivity, residual offset, and its behavior with the temperature were presented, with a comparative analysis on different Hall cell types. To achieve the highest sensitivity, geometrical correction factor maximization was performed for long rectangular Hall structures with small sensing contacts. To model the Hall Effect sensors behavior and predict their performance, three-dimensional physical simulations were performed. This procedure can guide the designer in selecting the best integration process, adequate Hall cell shapes and dimensions.

Empirical study on influences of electromagnetic field on Hall Effect sensor for analysing oil lubricant deterioration

S Satthamsakul¹, W Sriratana¹ and L Sriratana²

¹Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand

²Faculty of Engineering, Ramkhamhaeng University, Bangkok, Thailand

E-mail: lerdlekha_s@ru.ac.th

Abstract. This study aims to present the procedure developed for detecting deterioration of oil lubricant under variation of electromagnetic field which was generated by a ferrite-core solenoid coil. The overall diameter of coil was 18.5 mm and the inductance was 22.421 mH from direct current stimulation. The results were then compared to those from frequency stimulation. The optimal efficiency of measurement systems was then assessed by real-time analyzing the metal particle contamination of 3 oil lubricants categorized by grade namely ISO 32, ISO 46 and ISO 68 as well as the viscosity under specific conditions which were flow rate and temperature ranging from 25 °C to 100 °C. The analysis was performed to compare the results from experiments of unused and used (approximately 6 months) oil lubricants. From experiments, the viscosity of oil lubricant was reduced when the temperature exceeded 50 °C. However, the stimulation of coil using 0.9 A direct current could clearly distinguish the difference between the unused and used oil lubricants with metal particle contamination comparing to other values of direct currents applied with 0.42 % of error. Also, the 0.5 kHz of frequency would be the most appropriate value for frequency stimulation with 0.38 % of error.

1. Introduction

Regular monitoring and maintenance of industrial machinery is necessary. Oil lubricant is one of the most important factors for mechanical performance to extend the lifetime of various parts and also increase the efficiency of the machine. Normally, the lifetime of oil lubricant is dependent on the type of oil and the hours of machine operation. However, in practice, oil lubricant could deteriorate sooner. There are many ways to check the properties for oil degeneration analysis such as ultrasonic measurement of viscosity of liquids [1], an IR-absorption sensor system for the determination of engine oil deterioration [2], influencing factors of viscosity measurement by rotational method [3], measurement and correlation of thermophysical properties of waste lubricant oil [4], photoacoustic measurement of liquid viscosity [5], oil contamination monitoring based on dielectric constant measurement [6], the viscosity measurement of oil lubricant based on Archimedes' principle including Newton's laws of motion using Hall Effect sensor [7] and application of magnetic field method for measuring lubricant viscosity [8].

This study used a Hall Effect sensor as an instrument measuring voltage variation due to metal particle contamination for analyzing oil lubricant deterioration. The intensity of electromagnetic field generated by coil which was stimulated by direct current and low frequency was also real-time

assessed in order to inspect and analyze the properties of oil lubricant during operation effectively. The results from analysis were then stored in the database for further assessment of machine conditions and maintenance plan.

2. Fundamental method

2.1. Principle of Hall Effect sensor

Galvanomagnetic effect is the phenomenon that electric charges can move in the medium under Lorentz force (F) of electromagnetic field on any electric charge (q) as illustrated in equation (1) [9]. When magnetic flux (B) acting in the direction perpendicular to the conductor sheet with the current flowing through, it can result in the deviation of the charge moving through the conductor that causes the potential different voltage or Hall voltage (V_H) between the two poles perpendicular to the direction of the current flow as shown in equation (2). [10]

$$F = qE + q[v \times B] \quad (1)$$

$$V_H = \frac{R_H}{d_1} IB \quad (2)$$

where E is the Hall field, v is the velocity of electron due to electric field, R_H is the Hall coefficient, I is the current through each coil and d_1 is the thickness of Hall Effect sensor

2.2. Viscosity and fluid dynamic

Viscosity (η) is an important parameter. It directly relates to the oil lubrication efficiency especially for industrial machinery that can contribute to high machine performance and can operate at full capacity. Equation (3) shows the relation of viscosity and time period when metal particles start moving through the solenoid coil until reaching saturation point under variation of the temperature due machine operation in real time. [11]

$$\eta = t_{moving} \frac{F'}{A} \rho_T \quad (3)$$

where t_{moving} is the time period when the particles start moving through the solenoid coil until reaching saturation point (sec), ρ_T is the density of fluid flow on south direction (kg/cm^3), F' is the force caused by flow (N) and A is the area of the pipe where the fluid flows through (cm^2).

3. Structure of the testing system

3.1. Measurement processing of oil lubricant

The system designed for analysis of oil lubricant deterioration can be divided into 2 parts: 1. the part which can real-time simulate the flow of oil lubricant while the machine is working, consisting of oil pipeline ($\varnothing 15$ mm), motor pump, flow control valve, flow meter, heater (1.5 kW), PID controller for temperature and thermocouple type K with measurement, and 2. the measuring and processing part including solenoid coil, Hall Effect sensor, signal conditioning and computer for processing and storing data as shown in Figure 1.

3.2. Sensing part and placement of Hall Effect sensor

In this study, the quality of oil was evaluated by creating an electromagnetic field of the solenoid coil at the specified time (ON = 60 sec and OFF = 60 sec) to determine the speed of metal particles accumulating in the cross-section of the ferrite core until reaching the saturation point. The amount of metal particles caused by corrosion and abrasion of industrial machine parts during the operation was directly proportional to the voltage at the output of the Hall Effect sensor. The highest electromagnetic field intensity was at the Hall generator located between the cross-sectional area of the ferrite core and oil pipeline as shown in Figure 2. The output voltage from measurement was then used to analyze the

amount of metal particles contaminated in the oil lubricant as well as the viscosity of the oil lubricant. The results could indicate the quality of the oil lubricant being used and also estimate the service life of the oil lubricant in order to reduce the risk of damage that may occur to industrial machinery.

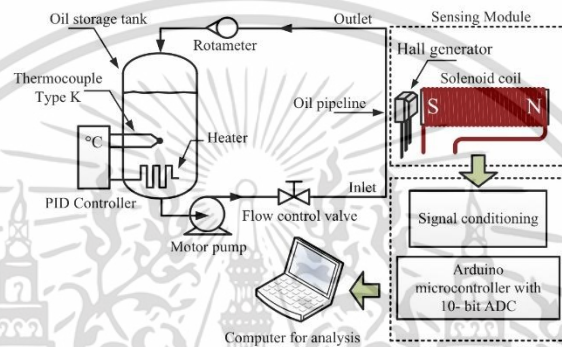


Figure 1. Block diagram of oil lubricant deterioration system.

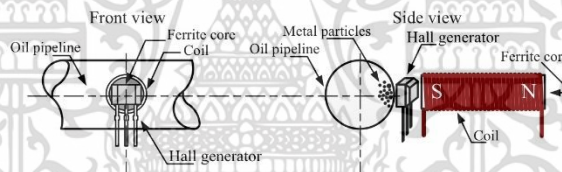


Figure 2. Installation of Hall Effect sensor located between the solenoid coil and the oil pipeline.

3.3. Experimental conditions

This study used hydraulic oils No. ISO 32, ISO 46 and ISO 68 as a case study to distinguish between the unused oils and the 6-months-used oils by generating electromagnetic fields using different stimulation methods under specific conditions. The sample of testing oils is as illustrated in Figure 3. The testing oil was placed in the tank with a heater to vary the oil temperature from 25 °C to 100 °C (increasing by the step of 10 °C) similarly to the real machine. Oil was pumped into the 15 mm diameter oil pipeline to measure the flow rate as well as the viscosity. The Hall generator positioned between the solenoid coil and the oil pipeline was used to measure and compare the amount of metal particles contaminating in the unused and used oils.



Figure 3. Sample of hydraulic oil No. ISO 32.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Electromagnetic field generation

The electromagnetic field generation using the solenoid coil excitation (cylindrical shape, diameter = 9.75 mm, and length = 56 mm), copper wire (SWG 22, 712 turns) with an inductance of 22.421 mH to enhance the Hall Effect sensor performance was calibrated with the measurement of reference metal particles (average diameter = 216 μm) and analyzed 5 times by a scanning electron microscope (SEM). The unused oil without contamination of metal particles were used as the reference voltage (V_{ref}) to be compared with the unused oils with metal particles in the amount of 0.2 g, 0.3 g, 0.4 g and 0.5 g, respectively. The relationship between the output voltage of Hall Effect sensor and the amount of metal particles is as shown in Figure 4. From the picture, an ISO 32 oil lubricant was tested at 32 °C with a magnetic field stimulated by a direct current of 0.9 A. From experiment, it was observed that the output voltage of the Hall Effect sensor would increase directly in proportion to the amount of metal particles and rise significantly to the saturation point when the amount of metal particles increased.

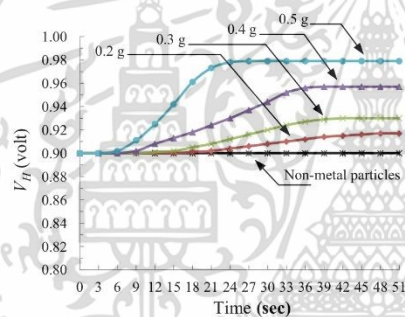


Figure 4. The relationship between the output voltage of the Hall Effect sensor and the reference amount of metal particles.

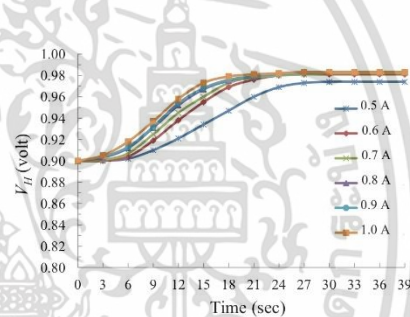


Figure 5. Comparison of different direct current stimulations with a sample of ISO 32 hydraulic oil at operating temperature of 50 °C.

4.1. Experimental results from direct current stimulation

The generation of the electromagnetic field by direct current stimulation was varied from the input current of 0.5 A to 1 A consisting of 0.5 A, 0.6 A, 0.7 A, 0.8 A, 0.9 A, and 1 A (increasing 0.1 A interval) under specific temperature of 50 °C. From experiment, it was found that the electrical current suitable for excitation of the solenoid coil was 0.9 A due to a high concentration of electromagnetic field generated at the cross-section of the ferrite core. Also, this electromagnetic field concentration was adequate for Hall generator to be operated without heat accumulating at the coil comparing to that excited by electric current of 1 A. Figure 5 is a sample test of an ISO 32 hydraulic oil used at operating temperature of 50 °C with an average estimating from 6 times of repeatability. The testing results of a sample of ISO 32 hydraulic oil used under temperature variation from 25 °C to 100 °C when flowing through the heater. Considering the flow rate of oil within the pipeline flowing through Hall Effect sensor, it can be observed that the viscosity of used oils could be reduced similarly to that of the hydraulic oil number ISO 46 and ISO 68 as shown in Figure 6.

4.2. Experimental results from frequency stimulation

The generation of electromagnetic fields using frequency stimulation was to assess the appropriate frequency for experiment by comparing the results of three frequencies: 0.5 kHz, 1 kHz and 1.5 kHz at 30 °C. The optimal frequency for solenoid coil excitation with the highest intensity electromagnetic field generator at the cross-section of the Ferrite core was at low frequency of 0.5 kHz. Comparing to

direct current stimulation, it can be noted that frequency excitation results in a higher voltage output from the Hall Effect sensor than that of direct current stimulation. As a result, distinguishing metal particles contaminated in oil lubricant using frequency excitation can be well performed and contributed to the better accurate results of oil lubricant deterioration analysis. Figure 7 illustrates a sample test of the hydraulic used oil number ISO 32 with an average estimating from 6 times of repeatability. The testing results of ISO 32 hydraulic used oil under temperature variation from 25 °C to 100 °C. Considering the flow rate of oil through the Hall generator placed in The position between the solenoid coil and the pipeline, it can be observed that the viscosity of used oil would be reduced similarly to that of the hydraulic oils No. ISO 46 and ISO 68 that could directly affect the efficiency of the lubricating oil. Details are as shown in Figure 8.

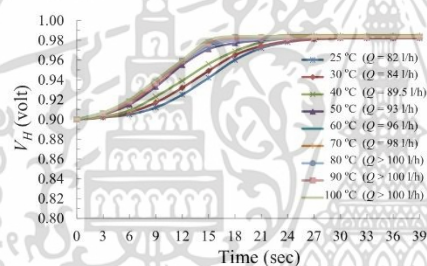


Figure 6. Test results of ISO 32 hydraulic oil used at temperature ranging from 25 °C to 100 °C with direct current stimulation of 0.9 A.

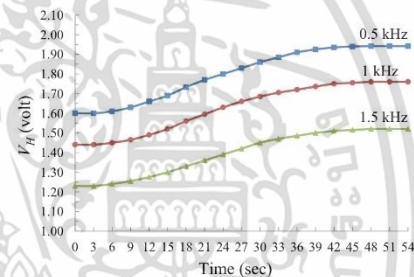


Figure 7. Comparison of the results from different frequency excitations of the hydraulic used oil No. ISO 32 at 30 °C.

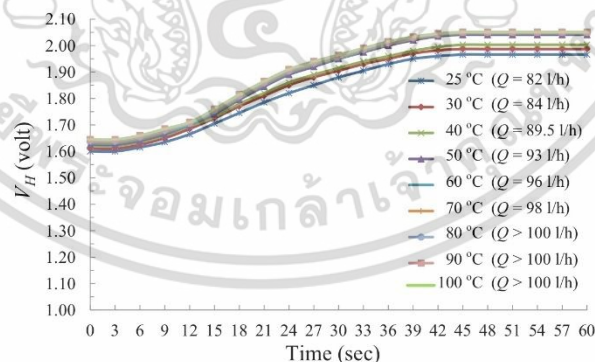


Figure 8. Testing results of the hydraulic oil No. ISO 32 used at temperature ranging from 25 °C to 100 °C with frequency stimulation of 0.5 kHz.

5. Conclusion and discussion

This study aims to compare the efficiency of the electromagnetic field generated by direct current stimulation and frequency stimulation in order to enhance the optimal efficiency of the Hall generator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

as the output voltage from the Hall Effect sensor is directly proportional to the amount of magnetic field intensity. Considering the excitation of the coil to create an electromagnetic field, the low frequency stimulation can increase the efficiency of the Hall Effect sensor due to higher Voltage Hall by more than 20 % without heat accumulation in the solenoid coil compared to the direct current stimulation. The frequency stimulation can also reduce the heat of the solenoid coil by about 48 % on average. However, when compared to other types of engine oil, such as fully synthetic SN 0W-20 of a 2,000 cc car with a 9-years lifespan, use of approximately 80,000 km, and engine oil changing period of 10,000 km, it can be observed that the viscosity of fully synthetic engine oil would increase proportionately with the temperature. It is because the engine oil has the ability to wash away soot from combustion caused by the engine's soot that results in increase of the viscosity. For the lubricant used for hydraulic machinery, the viscosity would decrease when the temperature rises due to oxidation reaction. Therefore, the analysis of oil lubricant or engine oil deterioration by considering the viscosity should also consider the type and nature of work of machinery or engine. For instant, the deterioration of the oil used for lubricating machinery without internal combustion systems would result in reduction of the viscosity. On the other hand, the deterioration of the oil used for lubricating engines with internal combustion systems that the oil can lubricate and wash away the soot from the combustion would contribute to increase of the viscosity.

Acknowledgments

Authors wish to thank Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang and Faculty of Engineering, Ramkhamhaeng University Thailand for supporting this research.

References

- [1] Buiochi F, Higuti R T, Furukawa C M and Adamowski J C 2000 Ultrasonic Measurement of Viscosity of Liquids *IEEE Ultrasonics Symposium*, vol 1 (Puerto Rico: USA) pp 525-528
- [2] Agoston A, Otsch C, Zhuravleva J and Jakoby B 2004 An IR-Absorption Sensor System for the Determination of Engine Oil Deterioration *Proceedings of IEEE, Sensor* vol 1, pp 463-466
- [3] Zhang Y, Huang M, Kan Y, Liu L, Dai X, Zheng G and Zhang Z 2018 Influencing Factors of Viscosity Measurement by Rotational Method *Polymer Testing* 70 pp 144-150
- [4] Pinheiro C T, Pais R F, Ferreira A G M, Quina M J and Gando-Ferreira L M 2018 Measurement and Correlation of Thermophysical Properties of Waste Lubricant Oil *The Journal of Chemical Thermodynamics* vol 116 pp 137-146
- [5] Lou C and Xing D 2010 Photoacoustic Measurement of Liquid Viscosity *Applied Physics Letters* vol 96
- [6] Dingxin Y, Xiaofei Z, Zheng H and Yongmin Y 2009 Oil Contamination Monitoring Based on Dielectric Constant Measurement *International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation* vol 3 pp 249-252
- [7] Sriratana W, Nakklinkoon S and Sathamsakul S 2018 Test of Oil Lubricant Viscosity by Using Hall Effect Sensor *The 4th International conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST 2018)*, (Phuket: Thailand)
- [8] Sriratana W and Murayama R 2013 Application of Magnetic Field Method for Measuring Lubricant Viscosity *Materials Science Forum* vol 750 pp 116-124
- [9] Popovic R 1989 Hall-effect devices *Sensor and Actuators* vol 17 pp 39-53
- [10] Rangan C S, Sarma G R and Mani V S V 2004 Instrumentation: Devices and System *Tata McGraw-Hill* (Publishing Company Limited: New Delhi)
- [11] Sriratana W and Murayama R 2013 Measurement of the Lubricant Properties Using Hall Effect Sensor: A Study on Contamination and Viscosity *Engineer* vol 4 No. 5 pp 386-393

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Authors' background

Your Name	Title*	Research Field	Personal website
Sutham Satthamsakul	Asst. Prof.	Sensors, Electromagnetic, Wireless communication	
Witsarut Sriratana	Assoc. Prof. Dr.	Sensor, Transducer, Measurement	
Lerdlekha Sriratana	Asst. Prof. Dr.	Industrial and energy management	

*This form helps us to understand your paper better; **the form itself will not be published. Please delete it in final paper.**

*Title can be chosen from: master student, Phd candidate, assistant professor, lecture, senior lecture, associate professor, full professor



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Measurement and Analysis of Hydraulic oil Deterioration Under Real Operating Condition

Kanin Arunathit , Chanatip Plubto , Nattawat Kosawantana

Department of Instrument and Control Engineering Faculty of Engineering, Ladkrabang, Bangkok, Thailand

Received May 19, 2022; revised May 20, 2022; accepted May 28, 2022

ABSTRACT

The purpose of this experiment was to develop measurement and analysis of hydraulic fluid deterioration. By measuring the amount of metal contaminants in hydraulic fluids, With the interaction of magnetic fields with HALL EFFECT SENSOR By using permanent magnets to induce scrap metal when the magnetic field is deflected, the voltage output from the HALL EFFECT SENSOR is changed and measured for analysis and recording. Metals weighing 0 to 2 grams From the experimental results, it was found that when the mass of metal increases, the electric voltage from the HALL EFFECT SENSOR increases as well. Thus, the changed voltage can be used in the analysis to determine metal contamination in hydraulic fluids.

Keywords: HALL EFFECT SENSOR , Permanent Magnet , Metal Contamination

I. INTRODUCTION

in modern times Industry and manufacturing processes are used hydraulic oil in a large number of machines But the cause of the malfunction of the machine is mainly from deterioration of hydraulic oil from the center of the hydraulic oil viscosity loss This is caused by many factors such as leakage and air into the system, the heat from friction. reaction, oxidation and metal contamination, etc. Therefore, the hydraulic oil must be replaced. regularly for a specified period of time but in the actual operating conditions of the machine with different uses This causes the hydraulic oil to deteriorate before it is due for replacement or to change the hydraulic fluid that is still in use within the scope of use. resulting in excessive wasting of expenses

Therefore, it is necessary to test the viscosity of hydraulic fluids. Testing can be done in several ways such as Ultrasonic Liquid Viscosity

Measurement , Optical Liquid Viscosity Measurement , Capacitive Sensor and IR-Absorption In this experiment, we will focus on testing for metal contamination as one of the contributing factors. to the deterioration of the hydraulic oil with the Hall Effect Sensor to analyze the deterioration of the hydraulic oil To be able to accurately measure the deterioration of the hydraulic oil.

II. Fundamental Methods

A. Scrap metal and hydraulic viscosity relationship

Viscosity directly affects hydraulic flow rate. If the viscosity of the hydraulic oil is too much or too little for the normal operating conditions, The malfunction of the machine may result in damage to the machine or the production, which is the cause of unnecessary spending. The relationship

between viscosity and metal particles in hydraulic oil can be obtained from the following equation:

$$\eta = t_{moving} \frac{F}{A \rho}$$

Where η is the viscosity (Pa.s);
 ρ is the density of the fluid (kg);
 F is the force (N);
 A is the area of oil containers (cm);
 t_{moving} is MOVING time to permanent magnet of metal particles (s).

B. The Hall Effect

The Hall Effect phenomenon was discovered by Edwin Hall. The HALL EFFECT SENSOR is a small passive sensor that can generate an output voltage when the current flowing through the semi-conductor is deflected. The magnetic flux (B) generated by the sensor module can be analyzed by the Lorentz force of the magnetic field (q). The Hall voltage generating the magnetic field is expressed in the following equation:

$$V_H = \frac{R_H}{W_h} I B$$

where

V_H is the Hall voltage (V).

B_H is the magnetic flux density (Tesla).

W_H is the thickness of the Hall generator (mm).

R_H is the Hall coefficient (Ω).

I_H is the constant current (mA).

Re-measurements or random measurements are estimates of uncertainty in a type A standard. The standard deviation (Sd) is assumed to be the

estimated standard deviation when n is a large number. x is the measured value.

$$Sd = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

C. The Permanent Magnet Principle

Ferromagnetic material type permanent magnets were selected in this study, and the maximum magnetic flux density is 298.94 mTesla. 10 mm wide by 3 mm thick flat round permanent magnet Permanent magnets are installed in parallel and the magnetic poles are positioned where magnetic forces can be generated perpendicular to the Hall Effect Sensor.



Figure 1. Permanent magnets.



Figure 2. Dimension of Permanent magnets.

III. Measuring System

In this project, a 5 V power supply for the HALL EFFECT SENSOR and, $\pm 15V$ for the A1301 amplifier module are used. In the experiment, the HALL EFFECT SENSOR is mounted on an acrylic

sheet and a permanent magnet is mounted on the Hydraulic pipe. Hydraulic The presence of metal in the hydraulic pipe will cause the magnetic field to deflect and a voltage will be generated from the HALL EFFECT SENSOR to the amplifier module. and to the controller to store the values and analyze them further.



Figure 3. Block diagram.

The HALL EFFECT SENSOR is installed on an acrylic model 20*20*160 mm in size, 5 cm from the permanent magnet in the south pole. The magnetic field and hydraulic pipes cause the HALL EFFECT SENSOR to have a voltage of 0.98 volts.

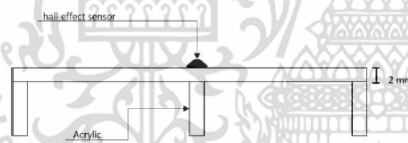


Figure 4. Installation of a Hall Effect Sensor.

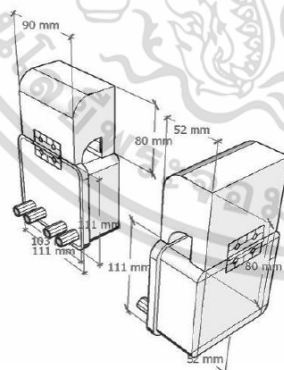


Figure 5. Hardware design

IV. EXPERIMENT

A. Experimental Condition

In this experiment, we will use the HALL EFFECT SENSOR measurement to compare the difference in electric potential with the difference in the mass of scrap metal induced by a permanent magnet. The experiments ranged from 0.2 to 2 g, with an electric voltage starting at 0.94 V. In the experiment, measurements were repeated five times for every weight of the metal. to assess accuracy and the ability to repeat measurements.

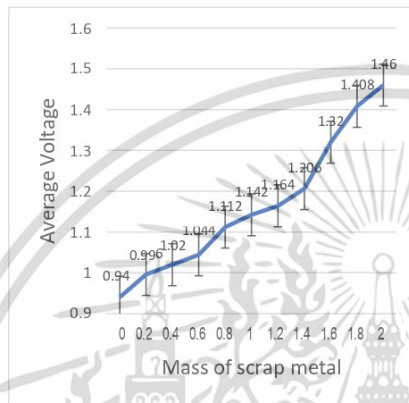
B. The Results of Experiments

Experimentally, since the output voltage from the Hall Effect Sensor is directly proportional to the amount of magnetic field intensity, it can be observed that the HALL EFFECT SENSOR output voltage increases with the mass of the scrap metal induced by the magnetic field from the permanent magnet. The relationship between the Hall Effect Sensor output voltage and the metal particle content is shown in Table 1 with a maximum error of 0.02V. The relationship between the Hall Effect Sensor output voltage and the metal particle content is shown in Graph 1.

Table 1. Average and S.D. of output voltage

Mass(g)	Voltage(Volt)	
	average	S.D.
0.00	0.94	0.0000
0.20	1.00	0.0055
0.40	1.02	0.0000
0.60	1.04	0.0055
0.80	1.11	0.0084
1.00	1.14	0.0045
1.20	1.16	0.0055
1.40	1.21	0.0089
1.60	1.32	0.0158
1.80	1.41	0.0164
2.00	1.46	0.0100

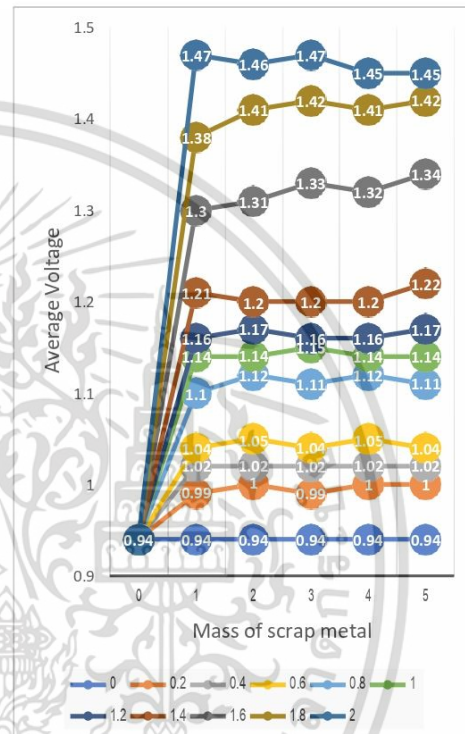
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Graph 1. The relationship between output voltage and the metal particle

Table 2. output voltage from the experiment

Mass(g)	Voltage(Volt)					
	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
0.00	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
0.20	0.94	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00
0.40	0.94	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
0.60	0.94	1.04	1.05	1.04	1.05	1.04
0.80	0.94	1.10	1.12	1.11	1.12	1.11
1.00	0.94	1.14	1.14	1.15	1.14	1.14
1.20	0.94	1.16	1.17	1.16	1.16	1.17
1.40	0.94	1.21	1.20	1.20	1.20	1.22
1.60	0.94	1.30	1.31	1.33	1.32	1.34
1.80	0.94	1.38	1.41	1.42	1.41	1.42
2.00	0.94	1.47	1.46	1.47	1.45	1.45



Graph 2. The relationship between output voltage and the metal particle for all mass values

C. Experimental Condition II

In this experiment We will use Hall Effect sensor measurements to compare the difference in electric potential with the difference in the mass of metal shards generated by the permanent magnet. The experiments ranged from 25 to 50 g/l with an initial voltage of 1 V. In the experiments, the measurements were repeated 3 times for every weight of metal. To assess accuracy and repeatability

Changed the design of the hardware to accommodate larger circuitry and to increase the contact area between the Hall effect sensor and the permanent magnet.

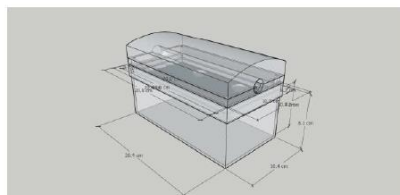


Figure 6. New hardware design



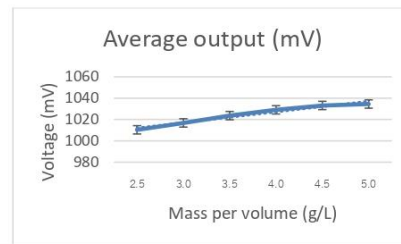
Figure 7. New hardware

D. The Results of Experiments II

Voltage measurement results of 25 to 50 g/l metal mass without change in distance between the permanent magnet and the measuring device. The relationship between the output voltage of the Hall effect sensor and the metal particle content of the measurement points P, A and B are shown in the table and graph, respectively

Table 3. The relationship between the output voltage of the Hall Effect sensor and the metal particles at point P.

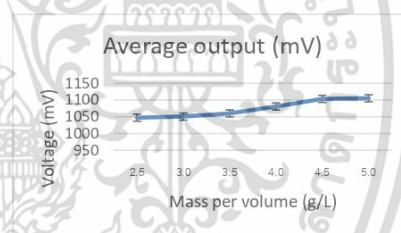
Gram/liter	Output (mV)			
	1st	2nd	3rd	Average
2.5	1014	1005	1012	1010
3.0	1015	1017	1018	1017
3.5	1024	1026	1021	1024
4.0	1028	1032	1028	1029
4.5	1035	1033	1032	1033
5.0	1035	1033	1035	1034



Graph 3. The relationship between the output voltage of the Hall Effect sensor and the metal particles at point P.

Table 4. The relationship between the output voltage of the Hall Effect sensor and the metal particles at point A.

Gram/liter	Output (mV)			
	1st	2nd	3rd	Average
2.5	1046	1048	1048	1047
3.0	1046	1048	1051	1049
3.5	1052	1052	1053	1052
4.0	1057	1060	1066	1061
4.5	1069	1069	1072	1070
5.0	1071	1070	1071	1071

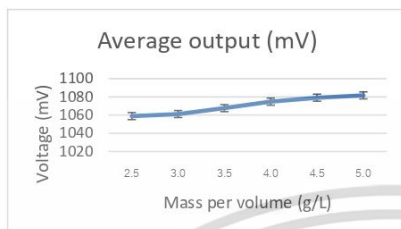


Graph 4. The relationship between the output voltage of the Hall Effect sensor and the metal particles at point A.

Table 5. The relationship between the output voltage of the Hall Effect sensor and the metal particles at point B.

Gram/liter	Output (mV)			
	1st	2nd	3rd	Average
2.5	1059	1059	1058	1059
3.0	1060	1060	1064	1061
3.5	1072	1066	1065	1068
4.0	1078	1074	1072	1075
4.5	1078	1078	1080	1079
5.0	1081	1082	1082	1082

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Graph 5. The relationship between the output voltage of the Hall Effect sensor and the metal particles at point B

V. Conclusion

from the HALL EFFECT SENSOR experiment, observed from the changing phase of the electric voltage from 1-5 V by inducing scrap metal from

0.2 to 2 g with a permanent magnet. (When no scrap metal is inducted, the voltage difference is 0.94 V), which uses more reference metal particles to represent a shorter test time under the same conditions. This is because the larger the metal particles, the greater the gravitational attraction. The heavier the metal particles, the faster the pressure changes. This leads to a high propensity for experimentation errors.

By analyzing the Hall Effect Sensor's output voltage, the relationship between Hall voltage and electromagnetic field density can be observed. From the experiment The relationship between the Hall Effect Sensor's output voltage and the amount of metal particles has a maximum error of 0.02V. And from the second experiment This is because the output voltage from the Hall Effect sensor is directly proportional to the amount of magnetic field strength. It is therefore observed that the output voltage of the Hall effect sensor increases with the mass of metal debris generated by the magnetic

field from the permanent magnet . The relationship between the average output voltage of the Hall effect sensor and the metal particle content with a maximum error of 13 mV.

REFERENCES

- [1] E. Ramsden, W. Hall-Effect Sensor Theory and Applications, Elsevier, Burlington MA01803, USA, 2006.
- [2] C. Chaiyachit, S. Saththamsakul, W. Sriratana and T. Suesut, Hall Effect Sensor for measuring metal particles in lubricant, International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists 2012(IMECS 2012), Hong Kong, Mar. 14- 16, (2012) 894-897
- [3] D. C. Crew, P. G. McCormick and R. Street, Measurement of magnetic viscosity in NdFeB, IEEE Transactions on magnetics, Vol. 32, Issue 5, Part 2, Sep. (1996) 4356- 4358. doi: 10.1109/20.538867
- [4] Z. Pang, N. Shi, G. Meng, W. Li, Development of in-line oil contamination sensor for lubricant of scraper conveyor reducer, Electronic Measurement & Instruments, ICEMI '09, 9th International Conference, Beijing, (2009) 4-808 - 4-812.
- [5] W. Sriratana, R. Murayama, Analysis of Lubricant Viscosity using Magnetic Field Method, The Eight International Forum on Advanced Material Science and Technology (IFAMST-8), Fukuoka, Aug. 1-4, (2012).
- [6] United Kingdom Accreditation Service, "The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement," United Kingdom Accreditation Service, London, 1997.
- [7] W. Sriratana, K. Nakmee and L. Tanachaikhan, "Subsidence Monitoring System for Industrial Machines Based on Magnetic Field Method," International Conference on Control, Automation and

- Systems, Seoul, 27-30 October 2010, pp. 346-349.
- [8] M. A. Plonus, Applied Electromagne-TICS International Edition, McGraw-Hill Book, Singapore, 1988
- [9] S. Chen, B. Mulgrew, and P. M. Grant, "A clustering technique for digital communications channel equalization using radial basis function networks," IEEE Trans. on Neural Networks, vol. 4 , pp. 570-578, July 1993.
- [10] Y. Dingxin, Z. Xiaofei, H. Zheng, and Y. Yongmin, "Oil Contamination Monitoring Based on Dielectric Constant Measurement," Measuring Technology and Mechatronics Automation, Zhangjiajie, Hunan, 2009, pp. 249-252.
- [11] Guide for Expression of Uncertainty in Measurement, International Organization for Standardization, second ed., Switzerland, 1995.
- [12] Allegro MicroSystems. Continuous-Time Ratiometric Linear Hall-Effect Sensor ICs Perimeter Road Manchester, NH 03103-3353 U.S.A ,2020
- [13] H. N. Norton, "Sensor and Analyzer Handbook", Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, NL 07632, USA., 1982.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

ข้อมูลอุปกรณ์



Arduino® UNO R3

Product Reference Manual
SKU: A000066



Description

The Arduino UNO R3 is the perfect board to get familiar with electronics and coding. This versatile microcontroller is equipped with the well-known ATmega328P and the ATmega 16U2 Processor. This board will give you a great first experience within the world of Arduino.

Target areas:

Maker, introduction, industries

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Features

- **ATMega328P Processor**
 - **Memory**
 - AVR CPU at up to 16 MHz
 - 32KB Flash
 - 2KB SRAM
 - 1KB EEPROM
 - **Security**
 - Power On Reset (POR)
 - Brown Out Detection (BOD)
 - **Peripherals**
 - 2x 8-bit Timer/Counter with a dedicated period register and compare channels
 - 1x 16-bit Timer/Counter with a dedicated period register, input capture and compare channels
 - 1x USART with fractional baud rate generator, and start-of-frame detection
 - 1x controller/peripheral Serial Peripheral Interface (SPI)
 - 1x Dual mode controller/peripheral I2C
 - 1x Analog Comparator (AC) with a scalable reference input
 - Watchdog Timer with separate on-chip oscillator
 - Six PWM channels
 - Interrupt and wake-up on pin change
 - **ATMega16U2 Processor**
 - 8-bit AVR® RISC-based microcontroller
 - **Memory**
 - 16 KB ISP Flash
 - 512B EEPROM
 - 512B SRAM
 - debugWIRE interface for on-chip debugging and programming
 - **Power**
 - 2.7-5.5 volts

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CONTENTS

1 The Board	4
1.1 Application Examples	4
1.2 Related Products	4
2 Ratings	4
2.1 Recommended Operating Conditions	4
2.2 Power Consumption	5
3 Functional Overview	5
3.1 Board Topology	5
3.2 Processor	6
3.3 Power Tree	6
4 Board Operation	7
4.1 Getting Started - IDE	7
4.2 Getting Started - Arduino Web Editor	7
4.3 Getting Started - Arduino IoT Cloud	7
4.4 Sample Sketches	7
4.5 Online Resources	7
5 Connector Pinouts	8
5.1 J ANALOG	9
5.2 J DIGITAL	9
5.3 Mechanical Information	10
5.4 Board Outline & Mounting Holes	10
6 Certifications	11
6.1 Declaration of Conformity CE DoC (EU)	11
6.2 Declaration of Conformity to EU RoHS & REACH 211 01/19/2021	11
6.3 Conflict Minerals Declaration	12
7 FCC Caution	12
8 Company Information	13
9 Reference Documentation	13
10 Revision History	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1 The Board

1.1 Application Examples

The UNO board is the flagship product of Arduino. Regardless if you are new to the world of electronics or will use the UNO as a tool for education purposes or industry-related tasks.

First entry to electronics: If this is your first project within coding and electronics, get started with our most used and documented board; Arduino UNO. It is equipped with the well-known ATmega328P processor, 14 digital input/output pins, 6 analog inputs, USB connections, ICSP header and reset button. This board includes everything you will need for a great first experience with Arduino.

Industry-standard development board: Using the Arduino UNO board in industries, there are a range of companies using the UNO board as the brain for their PLC's.

Education purposes: Although the UNO board has been with us for about ten years, it is still widely used for various education purposes and scientific projects. The board's high standard and top quality performance makes it a great resource to capture real time from sensors and to trigger complex laboratory equipment to mention a few examples.

1.2 Related Products

- Starter Kit
- Tinkerkit Braccio Robot
- Example

2 Ratings

2.1 Recommended Operating Conditions

Symbol	Description	Min	Max
	Conservative thermal limits for the whole board:	-40 °C (-40°F)	85 °C (185°F)

NOTE: In extreme temperatures, EEPROM, voltage regulator, and the crystal oscillator, might not work as expected due to the extreme temperature conditions



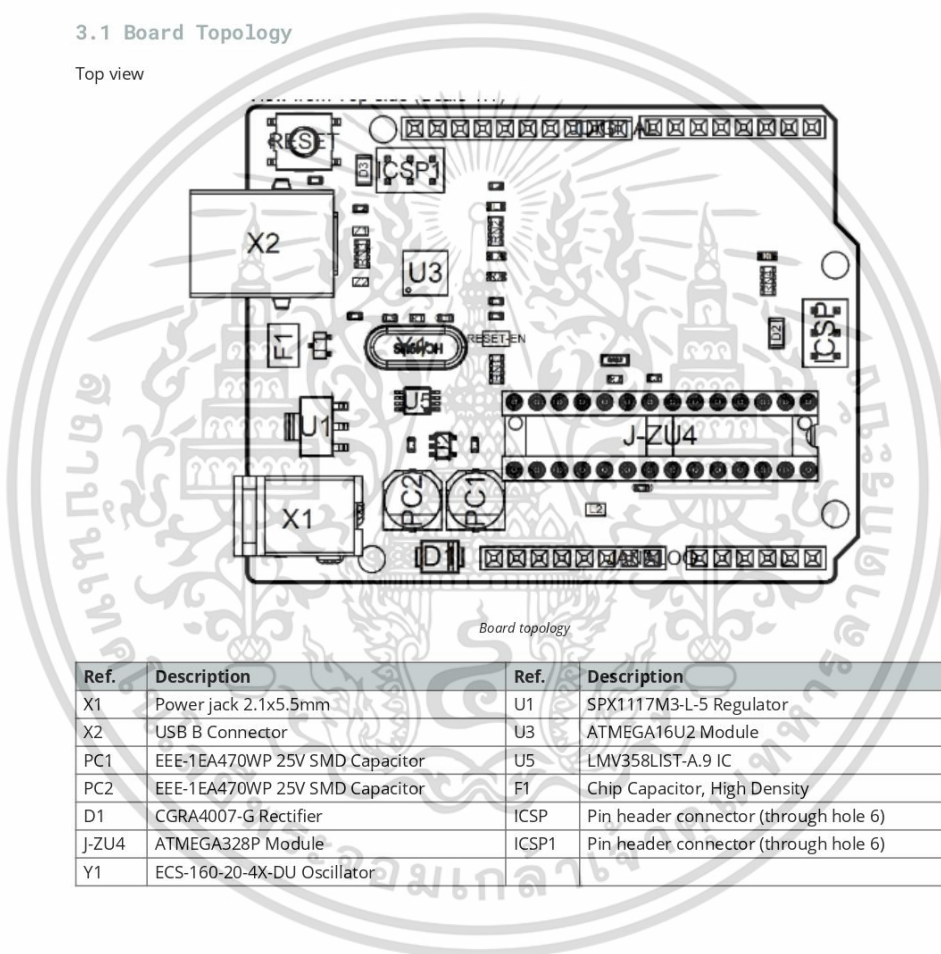
2.2 Power Consumption

Symbol	Description	Min	Typ	Max	Unit
VINMax	Maximum input voltage from VIN pad	6	-	20	V
VUSBMax	Maximum input voltage from USB connector	-	-	5.5	V
PMax	Maximum Power Consumption	-	-	xx	mA

3 Functional Overview

3.1 Board Topology

Top view



Ref.	Description	Ref.	Description
X1	Power jack 2.1x5.5mm	U1	SPX1117M3-L-5 Regulator
X2	USB B Connector	U3	ATMEGA16U2 Module
PC1	EEE-1EA470WP 25V SMD Capacitor	U5	LMV358LIST-A.9 IC
PC2	EEE-1EA470WP 25V SMD Capacitor	F1	Chip Capacitor, High Density
D1	CGRA4007-G Rectifier	ICSP	Pin header connector (through hole 6)
J-ZU4	ATMEGA328P Module	ICSP1	Pin header connector (through hole 6)
Y1	ECS-160-20-4X-DU Oscillator		

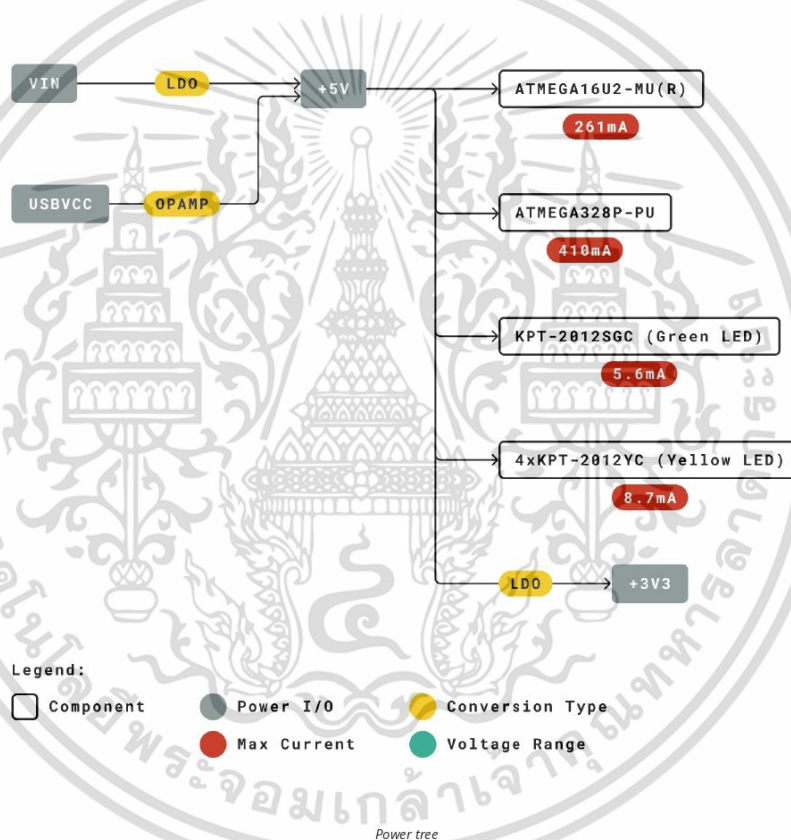
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



3.2 Processor

The Main Processor is a ATmega328P running at up to 20 MHz. Most of its pins are connected to the external headers, however some are reserved for internal communication with the USB Bridge coprocessor.

3.3 Power Tree



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4 Board Operation

4.1 Getting Started - IDE

If you want to program your Arduino UNO while offline you need to install the Arduino Desktop IDE [1] To connect the Arduino UNO to your computer, you'll need a Micro-B USB cable. This also provides power to the board, as indicated by the LED.

4.2 Getting Started - Arduino Web Editor

All Arduino boards, including this one, work out-of-the-box on the Arduino Web Editor [2], by just installing a simple plugin.

The Arduino Web Editor is hosted online, therefore it will always be up-to-date with the latest features and support for all boards. Follow [3] to start coding on the browser and upload your sketches onto your board.

4.3 Getting Started - Arduino IoT Cloud

All Arduino IoT enabled products are supported on Arduino IoT Cloud which allows you to Log, graph and analyze sensor data, trigger events, and automate your home or business.

4.4 Sample Sketches

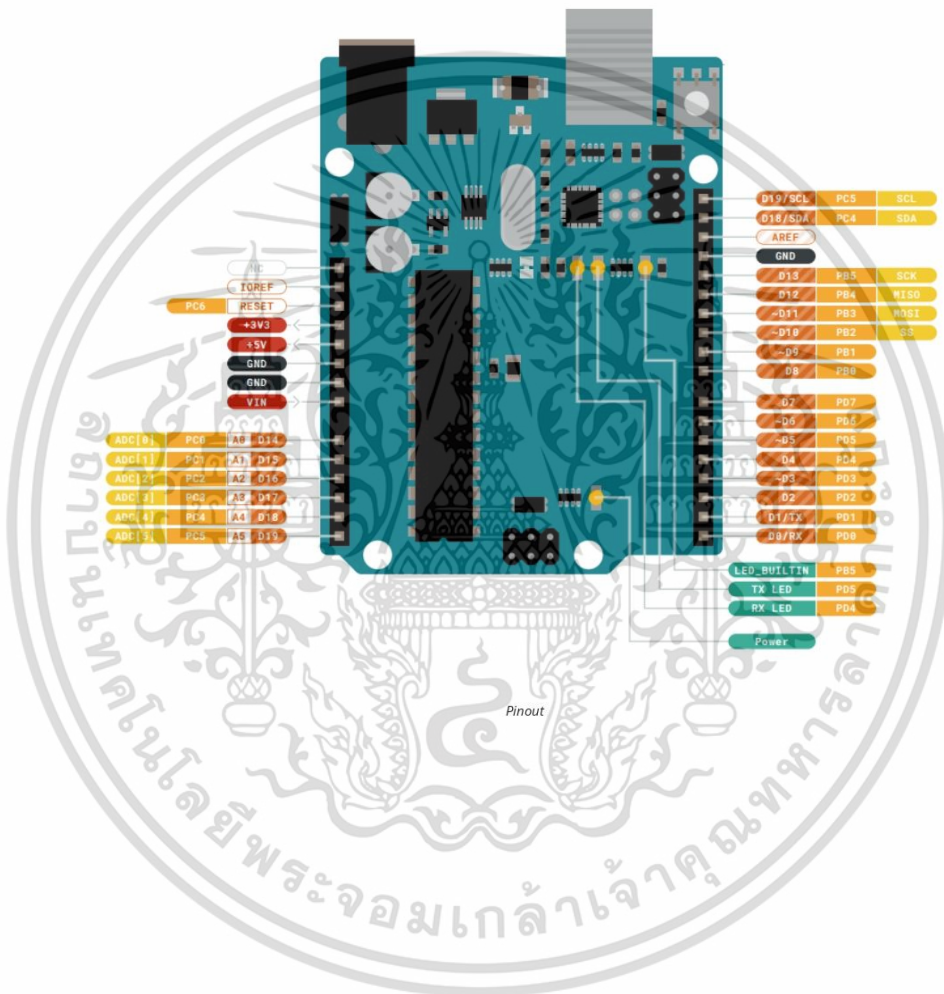
Sample sketches for the Arduino XXX can be found either in the "Examples" menu in the Arduino IDE or in the "Documentation" section of the Arduino Pro website [4]

4.5 Online Resources

Now that you have gone through the basics of what you can do with the board you can explore the endless possibilities it provides by checking exciting projects on ProjectHub [5], the Arduino Library Reference [6] and the online store [7] where you will be able to complement your board with sensors, actuators and more



5 Connector Pinouts



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



5.1 ANALOG

Pin	Function	Type	Description
1	NC	NC	Not connected
2	IOREF	IOREF	Reference for digital logic V - connected to 5V
3	Reset	Reset	Reset
4	+3V3	Power	+3V3 Power Rail
5	+5V	Power	+5V Power Rail
6	GND	Power	Ground
7	GND	Power	Ground
8	VIN	Power	Voltage Input
9	A0	Analog/GPIO	Analog input 0 /GPIO
10	A1	Analog/GPIO	Analog input 1 /GPIO
11	A2	Analog/GPIO	Analog input 2 /GPIO
12	A3	Analog/GPIO	Analog input 3 /GPIO
13	A4/SDA	Analog input/I2C	Analog input 4/I2C Data line
14	A5/SCL	Analog input/I2C	Analog input 5/I2C Clock line

5.2 DIGITAL

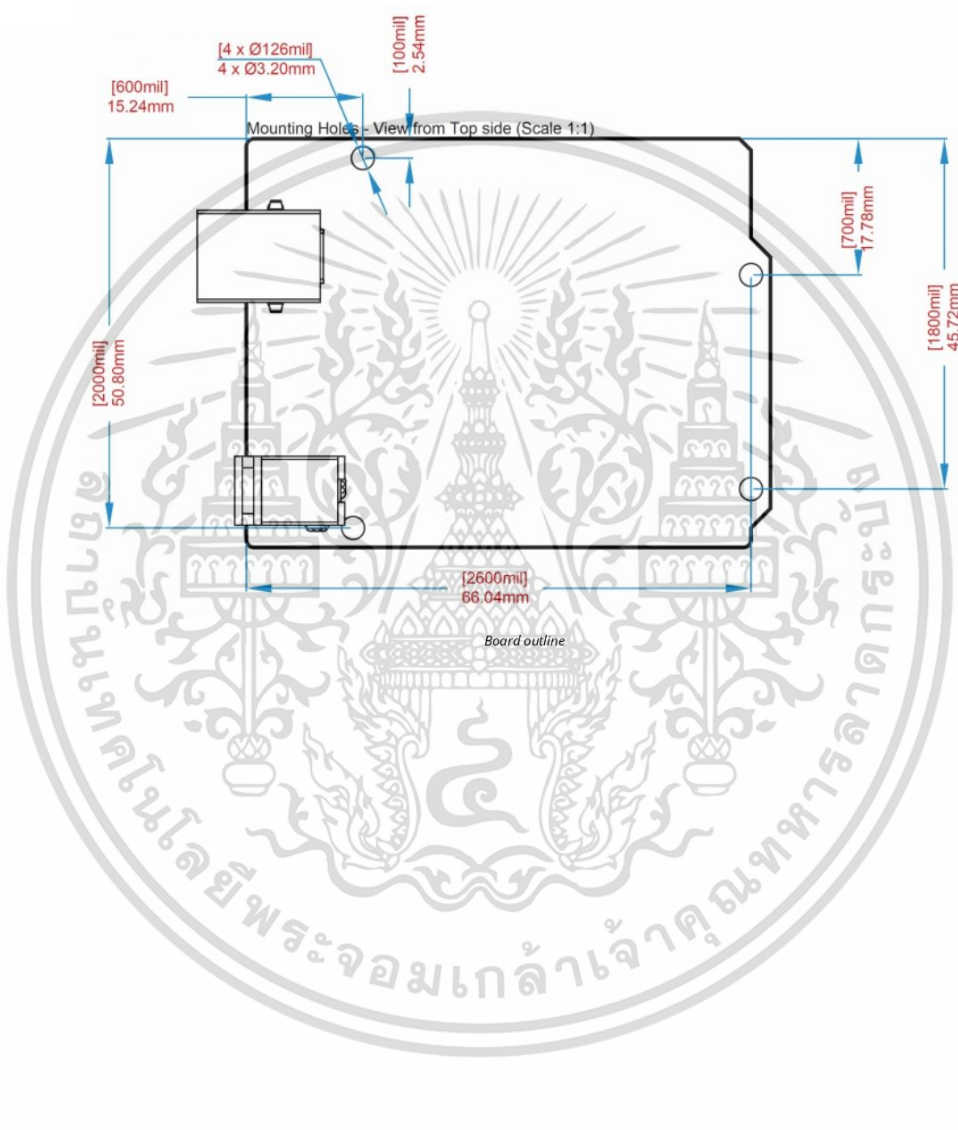
Pin	Function	Type	Description
1	D0	Digital/GPIO	Digital pin 0/GPIO
2	D1	Digital/GPIO	Digital pin 1/GPIO
3	D2	Digital/GPIO	Digital pin 2/GPIO
4	D3	Digital/GPIO	Digital pin 3/GPIO
5	D4	Digital/GPIO	Digital pin 4/GPIO
6	D5	Digital/GPIO	Digital pin 5/GPIO
7	D6	Digital/GPIO	Digital pin 6/GPIO
8	D7	Digital/GPIO	Digital pin 7/GPIO
9	D8	Digital/GPIO	Digital pin 8/GPIO
10	D9	Digital/GPIO	Digital pin 9/GPIO
11	SS	Digital	SPI Chip Select
12	MOSI	Digital	SPI1 Main Out Secondary In
13	MISO	Digital	SPI Main In Secondary Out
14	SCK	Digital	SPI serial clock output
15	GND	Power	Ground
16	AREF	Digital	Analog reference voltage
17	A4/SD4	Digital	Analog input 4/I2C Data line (duplicated)
18	A5/SD5	Digital	Analog input 5/I2C Clock line (duplicated)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



5.3 Mechanical Information

5.4 Board Outline & Mounting Holes



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



6 Certifications

6.1 Declaration of Conformity CE DoC (EU)

We declare under our sole responsibility that the products above are in conformity with the essential requirements of the following EU Directives and therefore qualify for free movement within markets comprising the European Union (EU) and European Economic Area (EEA).

ROHS 2 Directive 2011/65/EU	
Conforms to:	EN50581:2012
Directive 2014/35/EU. (LVD)	
Conforms to:	EN 60950-1:2006/A11:2009/A1:2010/A12:2011/AC:2011
Directive 2004/40/EC & 2008/46/EC & 2013/35/EU, EMF	
Conforms to:	EN 62311:2008

6.2 Declaration of Conformity to EU RoHS & REACH 211 01/19/2021

Arduino boards are in compliance with RoHS 2 Directive 2011/65/EU of the European Parliament and RoHS 3 Directive 2015/863/EU of the Council of 4 June 2015 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment.

Substance	Maximum limit (ppm)
Lead (Pb)	1000
Cadmium (Cd)	100
Mercury (Hg)	1000
Hexavalent Chromium (Cr6+)	1000
Poly Brominated Biphenyls (PBB)	1000
Poly Brominated Diphenyl ethers (PBDE)	1000
Bis(2-Ethylhexyl) phthalate (DEHP)	1000
Benzyl butyl phthalate (BBP)	1000
Dibutyl phthalate (DBP)	1000
Diisobutyl phthalate (DIBP)	1000

Exemptions: No exemptions are claimed.

Arduino Boards are fully compliant with the related requirements of European Union Regulation (EC) 1907 /2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals (REACH). We declare none of the SVHCs (<https://echa.europa.eu/web/guest/candidate-list-table>), the Candidate List of Substances of Very High Concern for authorization currently released by ECHA, is present in all products (and also package) in quantities totaling in a concentration equal or above 0.1%. To the best of our knowledge, we also declare that our products do not contain any of the substances listed on the "Authorization List" (Annex XIV of the REACH regulations) and Substances of Very High Concern (SVHC) in any significant amounts as specified by the Annex XVII of Candidate list published by ECHA (European Chemical Agency) 1907 /2006/EC.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



6.3 Conflict Minerals Declaration

As a global supplier of electronic and electrical components, Arduino is aware of our obligations with regards to laws and regulations regarding Conflict Minerals, specifically the Dodd-Frank Wall Street Reform and Consumer Protection Act, Section 1502. Arduino does not directly source or process conflict minerals such as Tin, Tantalum, Tungsten, or Gold. Conflict minerals are contained in our products in the form of solder, or as a component in metal alloys. As part of our reasonable due diligence Arduino has contacted component suppliers within our supply chain to verify their continued compliance with the regulations. Based on the information received thus far we declare that our products contain Conflict Minerals sourced from conflict-free areas.

7 FCC Caution

Any Changes or modifications not expressly approved by the party responsible for compliance could void the user's authority to operate the equipment.

This device complies with part 15 of the FCC Rules. Operation is subject to the following two conditions:

- (1) This device may not cause harmful interference
- (2) this device must accept any interference received, including interference that may cause undesired operation.

FCC RF Radiation Exposure Statement:

1. This Transmitter must not be co-located or operating in conjunction with any other antenna or transmitter.
2. This equipment complies with RF radiation exposure limits set forth for an uncontrolled environment.
3. This equipment should be installed and operated with minimum distance 20cm between the radiator & your body.

English: User manuals for license-exempt radio apparatus shall contain the following or equivalent notice in a conspicuous location in the user manual or alternatively on the device or both. This device complies with Industry Canada license-exempt RSS standard(s). Operation is subject to the following two conditions:

- (1) this device may not cause interference
- (2) this device must accept any interference, including interference that may cause undesired operation of the device.

French: Le présent appareil est conforme aux CNR d'Industrie Canada applicables aux appareils radio exempts de licence. L'exploitation est autorisée aux deux conditions suivantes :

- (1) l' appareil n' doit pas produire de brouillage
- (2) l' utilisateur de l' appareil doit accepter tout brouillage radioélectrique subi, même si le brouillage est susceptible d' en compromettre le fonctionnement.

IC SAR Warning:

English This equipment should be installed and operated with minimum distance 20 cm between the radiator and your body.

French: Lors de l' installation et de l' exploitation de ce dispositif, la distance entre le radiateur et le corps est d' au moins 20 cm.



Important: The operating temperature of the EUT can't exceed 85°C and shouldn't be lower than -40°C.

Hereby, Arduino S.r.l. declares that this product is in compliance with essential requirements and other relevant provisions of Directive 2014/53/EU. This product is allowed to be used in all EU member states.

8 Company Information

Company name	Arduino S.r.l
Company Address	Via Andrea Appiani 25 20900 MONZA Italy

9 Reference Documentation

Reference	Link
Arduino IDE (Desktop)	https://www.arduino.cc/en/Main/Software
Arduino IDE (Cloud)	https://create.arduino.cc/editor
Cloud IDE Getting Started	https://create.arduino.cc/projecthub/Arduino_Genuino/getting-started-with-arduino-web-editor-4b3e4a
Arduino Pro Website	https://www.arduino.cc/pro
Project Hub	https://create.arduino.cc/projecthub?by=part&part_id=11332&sort=trending
Library Reference	https://www.arduino.cc/reference/en/
Online Store	https://store.arduino.cc/

10 Revision History

Date	Revision	Changes
xx/06/2021	1	Datasheet release

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



A1301 and A1302

Continuous-Time Ratiometric Linear Hall-Effect Sensor ICs

Discontinued Product

This device is no longer in production. The device should not be purchased for new design applications. Samples are no longer available.

Date of status change: August 30, 2017

Recommended Substitutions: A1308

For existing customer transition, and for new customers or new applications, contact Allegro Sales.

NOTE: For detailed information on purchasing options, contact your local Allegro field applications engineer or sales representative.

Allegro MicroSystems reserves the right to make, from time to time, revisions to the anticipated product life cycle plan for a product to accommodate changes in production capabilities, alternative product availabilities, or market demand. The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems assumes no responsibility for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



A1301 and A1302

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.

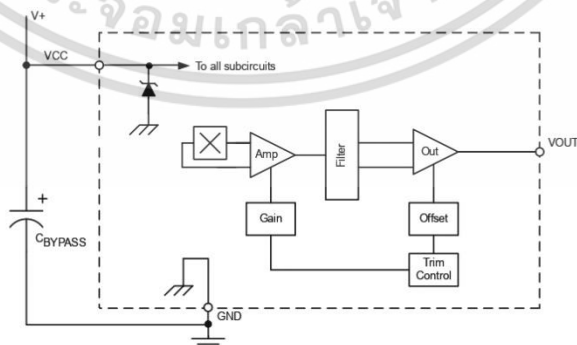
Packages:

3-Pin SOT23W (suffix LH)

3-Pin SIP (suffix UA)



Not to scale



Functional Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A1301 and A1302 Continuous-Time Ratiometric Linear Hall-Effect Sensor ICs

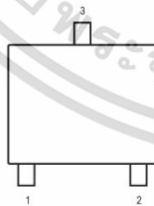
SPECIFICATIONS

Selection Guide				
Part Number	Packing*	Package	Ambient, T _A	Sensitivity (Typical)
A1301EUA-T	Bulk, 500 pieces/bag	SIP	-40°C to 85°C	2.5 mV/G
A1301KLHLT-T	7-in. reel, 3000 pieces/reel	Surface Mount	-40°C to 125°C	
A1301KLHLX-T	13-in. reel, 10000 pieces/reel	Surface Mount		
A1301KUA-T	Bulk, 500 pieces/bag	SIP	-40°C to 85°C	1.3 mV/G
A1302ELHLT-T	7-in. reel, 3000 pieces/reel	Surface Mount	-40°C to 125°C	
A1302ELHLX-T	13-in. reel, 10000 pieces/reel	Surface Mount		
A1302KLHLT-T	7-in. reel, 3000 pieces/reel	Surface Mount	-40°C to 125°C	
A1302KLHLX-T	13-in. reel, 10000 pieces/reel	Surface Mount		
A1302KUA-T	Bulk, 500 pieces/bag	SIP		

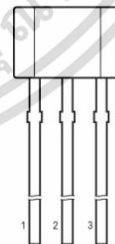
*Contact Allegro™ for additional packing options.

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Output Voltage	V _{OUT}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{RCC}		-0.1	V
Reverse Output Voltage	V _{ROUT}		-0.1	V
Output Sink Current	I _{OUT}		10	mA
Operating Ambient Temperature	T _A	Range E Range K	-40 to 85 -40 to 125	°C
Maximum Junction Temperature	T _{J(max)}		165	°C
Storage Temperature	T _{stg}		-85 to 170	°C



Package LH SOT23W Pin-out Diagram



Package UA, 3-Pin SIP Pin-out Diagram

Terminal List

Symbol	Number		Description
	Package LH	Package UA	
VCC	1	1	Connects power supply to chip
VOUT	2	3	Output from circuit
GND	3	2	Ground

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A1301 and A1302 Continuous-Time Ratiometric Linear Hall-Effect Sensor ICs

DEVICE CHARACTERISTICS over operating temperature range, T_A , and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise noted

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Electrical Characteristics						
Supply Voltage	V_{CC}	Running, $T_J < 165^\circ\text{C}$	4.5	–	6	V
Supply Current	I_{CC}	Output open	–	–	11	mA
Output Voltage	$V_{OUT(High)}$	$I_{SOURCE} = -1\text{ mA}$, Sens = nominal	4.65	4.7	–	V
	$V_{OUT(Low)}$	$I_{SINK} = 1\text{ mA}$, Sens = nominal	–	0.2	0.25	V
Output Bandwidth	BW		–	20	–	kHz
Power-On Time	t_{PO}	$V_{CC(min)}$ to $0.95 V_{OUT}$, B = $\pm 1400\text{ G}$, Slew rate = $4.5\text{ V}/\mu\text{s}$ to $4.5\text{ V}/100\text{ ns}$	–	3	5	μs
Output Resistance	R_{OUT}	$I_{SINK} \leq 1\text{ mA}$, $I_{SOURCE} \geq -1\text{ mA}$	–	2	5	Ω
Wide Band Output Noise, rms	V_{OUTN}	External output low pass filter $\leq 10\text{ kHz}$, Sens = nominal	–	150	–	μV
Ratiometry						
Quiescent Output Voltage Error with respect to ΔV_{CC} ¹	$\Delta V_{OUTQ(V)}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	–	± 3.0	%
Magnetic Sensitivity Error with respect to ΔV_{CC} ²	$\Delta \text{Sens}_{(V)}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	–	± 3.0	%
Output						
Linearity	Lin	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	–	± 2.5	%
Symmetry	Sym	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	–	± 3.0	%
Magnetic Characteristics						
Quiescent Output Voltage	V_{OUTQ}	B = 0 G ; $T_A = 25^\circ\text{C}$	2.4	2.5	2.6	V
Quiescent Output Voltage over Operating Temperature Range	$V_{OUTQ(\Delta T_A)}$	B = 0 G	2.2	–	2.8	V
Magnetic Sensitivity	Sens	A1301; $T_A = 25^\circ\text{C}$	2.0	2.5	3.0	mV/G
		A1302; $T_A = 25^\circ\text{C}$	1.0	1.3	1.6	mV/G
Magnetic Sensitivity over Operating Temperature Range	$\text{Sens}_{(\Delta T_A)}$	A1301	1.8	–	3.2	mV/G
		A1302	0.85	–	1.75	mV/G

¹Refer to equation (4) in Ratiometric section on page 4.
²Refer to equation (5) in Ratiometric section on page 4.



Allegro MicroSystems
 955 Perimeter Road
 Manchester, NH 03103-3353 U.S.A.
www.allegromicro.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A1301 and A1302

Continuous-Time Ratiometric Linear Hall-Effect Sensor ICs

CHARACTERISTIC DEFINITIONS

Quiescent Output Voltage

In the quiescent state (no significant magnetic field: $B = 0$), the output, V_{OUTQ} , equals one half of the supply voltage, V_{CC} , throughout the entire operating ranges of V_{CC} and ambient temperature, T_A . Due to internal component tolerances and thermal considerations, there is a tolerance on the quiescent output voltage, ΔV_{OUTQ} , which is a function of both ΔV_{CC} and ΔT_A . For purposes of specification, the quiescent output voltage as a function of temperature, $\Delta V_{OUTQ}(\Delta T_A)$, is defined as:

$$\Delta V_{OUTQ}(\Delta T_A) = \frac{V_{OUTQ}(T_A) - V_{OUTQ}(25^\circ\text{C})}{Sens(25^\circ\text{C})} \quad (1)$$

where Sens is in mV/G, and the result is the device equivalent accuracy, in gauss (G), applicable over the entire operating temperature range.

Sensitivity

The presence of a south-polarity (+B) magnetic field, perpendicular to the branded face of the device package, increases the output voltage, V_{OUT} , in proportion to the magnetic field applied, from V_{OUTQ} toward the V_{CC} rail. Conversely, the application of a north polarity (-B) magnetic field, in the same orientation, proportionally decreases the output voltage from its quiescent value. This proportionality is specified as the magnetic sensitivity of the device and is defined as:

$$Sens = \frac{V_{OUT(-B)} - V_{OUT(+B)}}{2B} \quad (2)$$

The stability of the device magnetic sensitivity as a function of ambient temperature, $\Delta Sens(\Delta T_A)$ (%) is defined as:

$$\Delta Sens(\Delta T_A) = \frac{Sens(T_A) - Sens(25^\circ\text{C})}{Sens(25^\circ\text{C})} \times 100\% \quad (3)$$

Ratiometric

The A1301 and A1302 feature a ratiometric output. This means that the quiescent voltage output, V_{OUTQ} , and the magnetic sensitivity, Sens, are proportional to the supply voltage, V_{CC} .

The ratiometric change (%) in the quiescent voltage output is defined as:

$$\Delta V_{OUTQ}(\Delta V) = \frac{V_{OUTQ}(V_{CC}) / V_{OUTQ}(5V)}{V_{CC} / 5V} \times 100\% \quad (4)$$

and the ratiometric change (%) in sensitivity is defined as:

$$\Delta Sens(\Delta V) = \frac{Sens(V_{CC}) / Sens(5V)}{V_{CC} / 5V} \times 100\% \quad (5)$$

Linearity and Symmetry

The on-chip output stage is designed to provide linear output at a supply voltage of 5 V. Although the application of very high magnetic fields does not damage these devices, it does force their output into a nonlinear region. Linearity in percent is measured and defined as:

$$Lim^+ = \frac{V_{OUT(+B)} - V_{OUTQ}}{2(V_{OUT(+B)} - V_{OUTQ})} \times 100\% \quad (6)$$

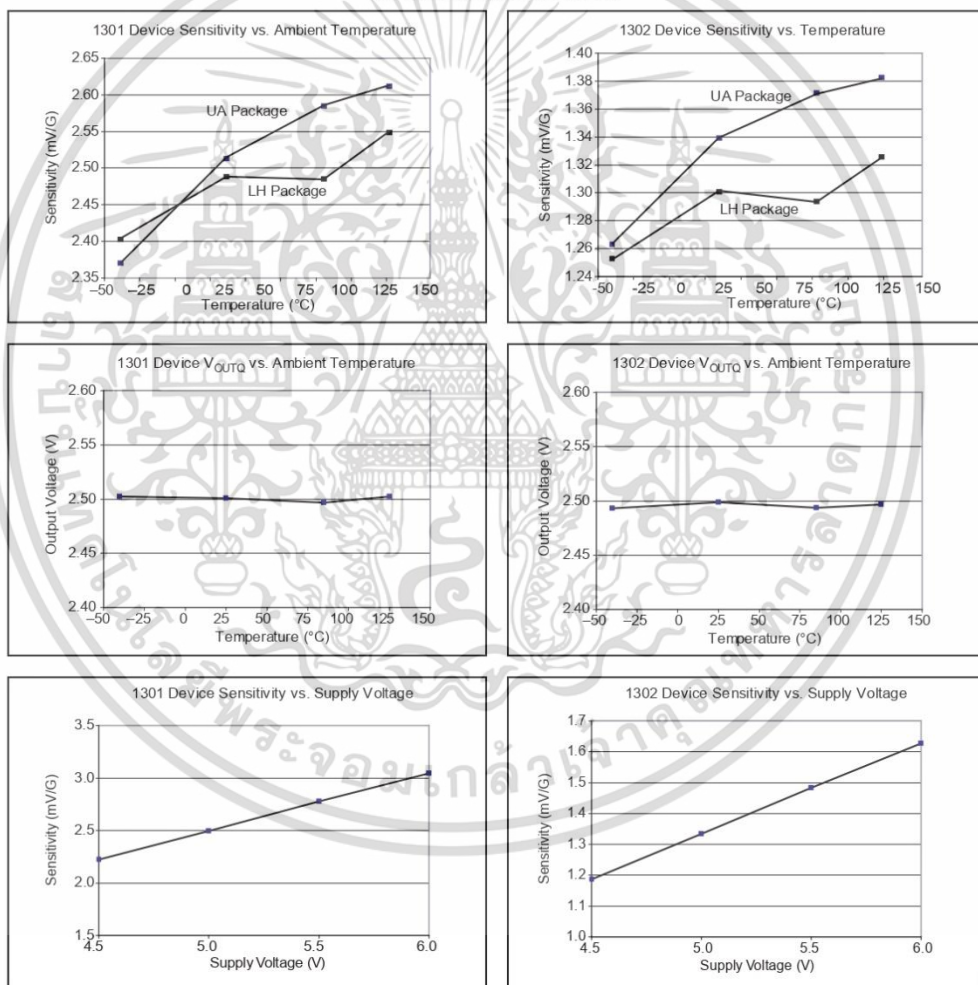
$$Lim^- = \frac{V_{OUT(-B)} - V_{OUTQ}}{2(V_{OUT(-B)} - V_{OUTQ})} \times 100\% \quad (7)$$

and output symmetry as:

$$Sym = \frac{V_{OUT(+B)} - V_{OUTQ}}{V_{OUTQ} - V_{OUT(-B)}} \times 100\% \quad (8)$$

A1301 and A1302 Continuous-Time Ratiometric Linear Hall-Effect Sensor ICs

TYPICAL CHARACTERISTICS
(30 pieces, 3 fabrication lots)

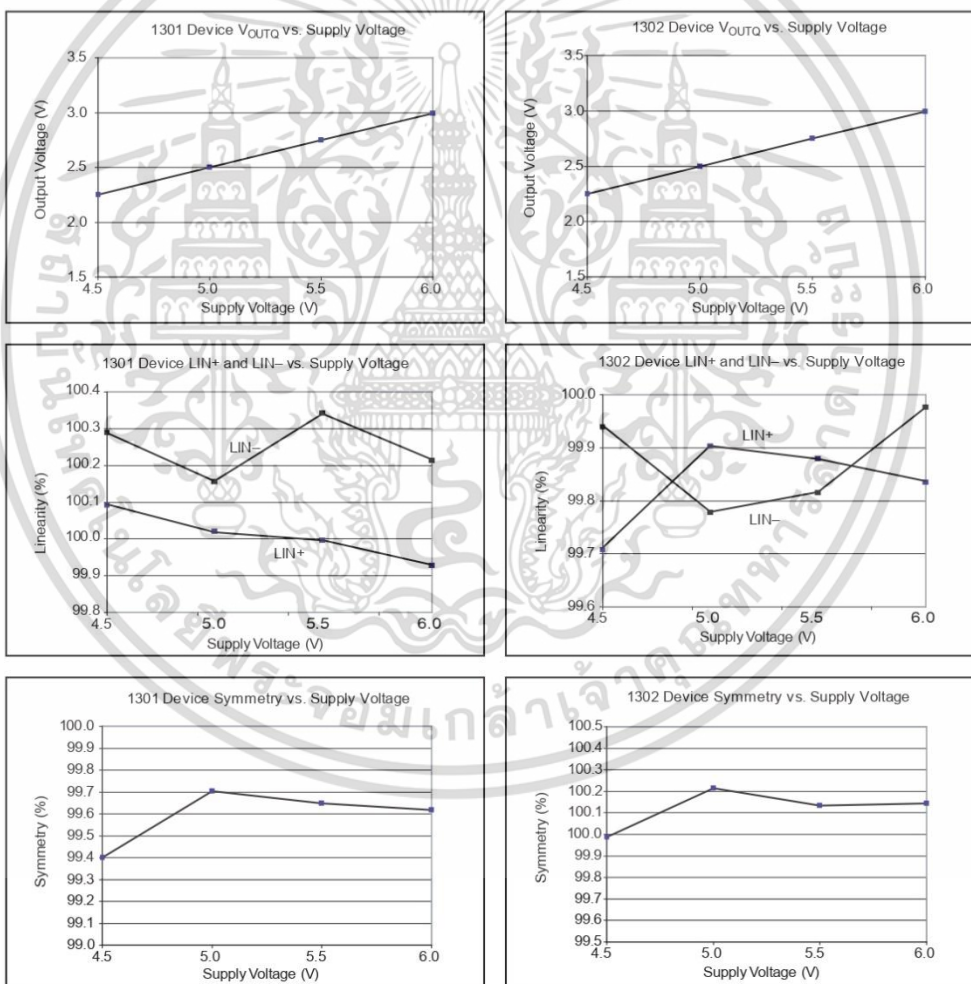


Continued on the next page...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A1301 and A1302 **Continuous-Time Ratiometric Linear Hall-Effect Sensor ICs**

TYPICAL CHARACTERISTICS CONTINUED
(30 pieces, 3 fabrication lots)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**A1301 and
A1302**

Continuous-Time Ratiometric Linear Hall-Effect Sensor ICs

CUSTOMER OUTLINE DRAWINGS

For Reference Only – Not for Tooling Use

(Reference DWG-284)

Dimensions in millimeters – NOT TO SCALE

Dimensions exclusive of mold flash, gate burrs, and similar protrusions.
Exact case and lead configuration at supplier discretion within limits shown

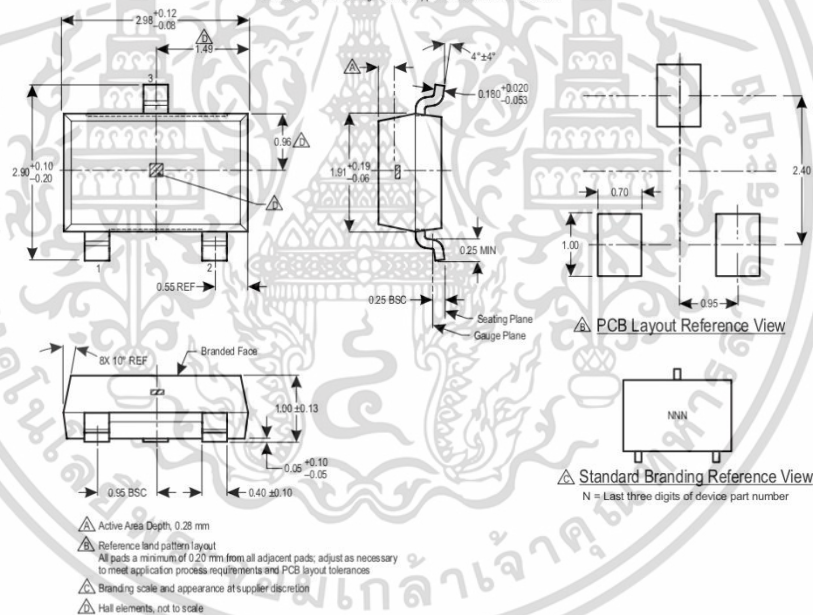


Figure 1: Package LH, 3-Pin; (SOT-23W)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**A1301 and
A1302**

Continuous-Time Ratiometric Linear Hall-Effect Sensor ICs

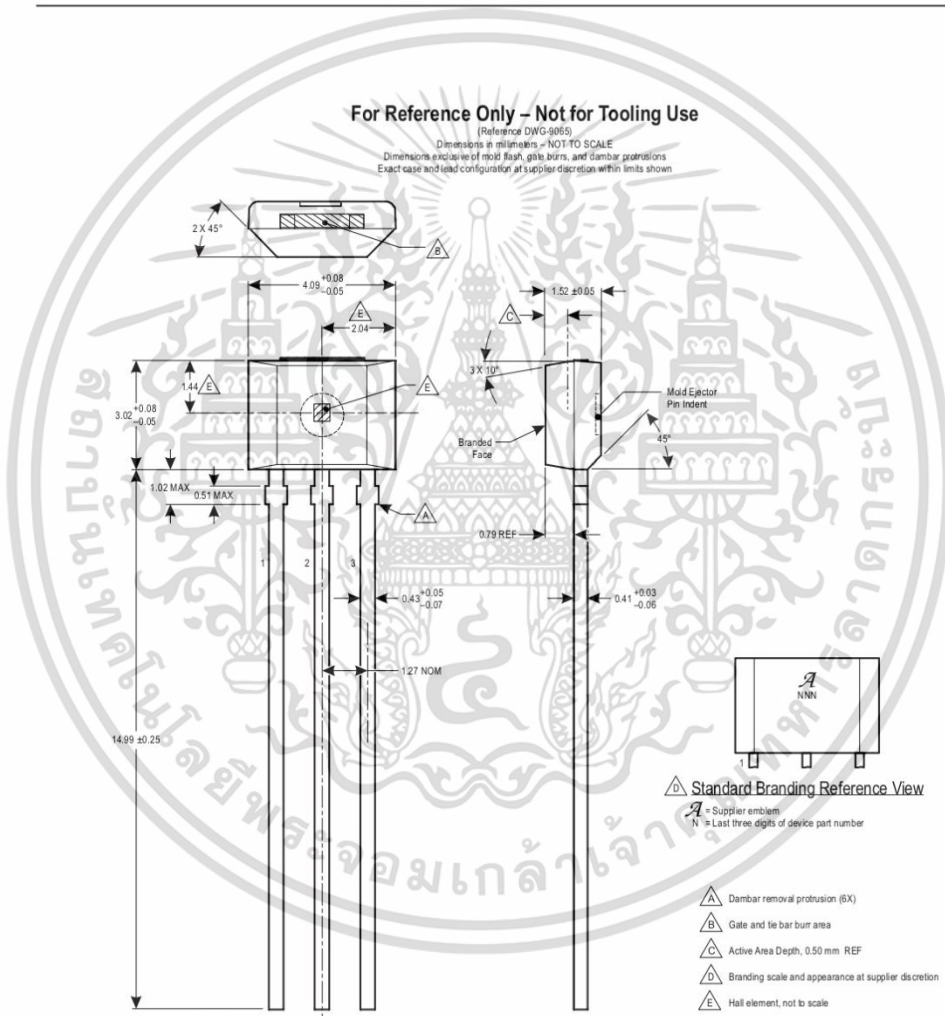


Figure 2: Package UA, 3-Pin SIP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A1301 and A1302 Continuous-Time Ratiometric Linear Hall-Effect Sensor ICs

Revision History

Revision	Revision Date	Description of Revision
18	April 26, 2013	Update UA package drawing
19	January 1, 2015	Add LX option to Selection Guide
20	July 13, 2015	Corrected LH package Active Area Depth value
21	December 1, 2015	Updated product status to "Not for New Design"
22	December 5, 2016	Updated product status to "Last Time Buy"
23	February 14, 2019	Updated product status to "Discontinued"
24	March 6, 2020	Minor editorial updates

Copyright 2020, Allegro MicroSystems.

Allegro MicroSystems reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability, or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current.

Allegro's products are not to be used in any devices or systems, including but not limited to life support devices or systems, in which a failure of Allegro's product can reasonably be expected to cause bodily harm.

The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems assumes no responsibility for its use; nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.

Copies of this document are considered uncontrolled documents.

For the latest version of this document, visit our website:

www.allegromicro.com



Allegro MicroSystems
955 Perimeter Road
Manchester, NH 03103-3353 U.S.A.
www.allegromicro.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Precision Instrumentation Amplifier

AD524

FEATURES

Low Noise: 0.3 μV p-p 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 Carriers Available
Available in Tape and Reel in Accordance
with EIA-481A Standard
Standard Military Drawing Also Available

PRODUCT 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 gain bandwidth product ($G = 1000$). 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.

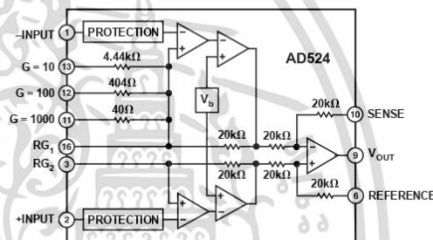
As a complete amplifier the AD524 does not require any external components for fixed gains of 1, 10, 100 and 1000. For other gain settings between 1 and 1000 only a single resistor is required. The AD524 input is fully protected for both power-on and power-off fault conditions.

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, 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 $+125^\circ\text{C}$. Devices are available in 16-lead ceramic DIP and SOIC packages and a 20-terminal leadless chip carrier.

REV. E

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 which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



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 ($G = 100$).

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
 Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: <http://www.analog.com>
 Fax: 781/326-8703 © Analog Devices, Inc., 1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD524—SPECIFICATIONS (@ $V_S = \pm 15\text{ V}$, $R_I = 2\text{ k}\Omega$ and $T_A = +25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Model	AD524A			AD524B			AD524C			AD524S			Units
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
GAIN													
Gain Equation (External Resistor Gain Programming)	$\frac{40,000}{R_G} + 1 \pm 20\%$			$\frac{40,000}{R_G} + 1 \pm 20\%$			$\frac{40,000}{R_G} + 1 \pm 20\%$			$\frac{40,000}{R_G} + 1 \pm 20\%$			
Gain Range (Pin Programmable)	1 to 1000			1 to 1000			1 to 1000			1 to 1000			
Gain Error ¹													
G = 1		± 0.05			± 0.03			± 0.02			± 0.05		%
G = 10		± 0.25			± 0.15			± 0.1			± 0.25		%
G = 100		± 0.5			± 0.35			± 0.25			± 0.5		%
G = 1000		± 2.0			± 1.0			± 0.5			± 2.0		%
Nonlinearity													%
G = 1		± 0.01			± 0.005			± 0.003			± 0.01		%
G = 10,100		± 0.01			± 0.005			± 0.003			± 0.01		%
G = 1000		± 0.01			± 0.01			± 0.01			± 0.01		%
Gain vs. Temperature													ppm/°C
G = 1		5			5			5			5		ppm/°C
G = 10		15			10			10			10		ppm/°C
G = 100		35			25			25			25		ppm/°C
G = 1000		100			50			50			50		ppm/°C
VOLTAGE OFFSET (May be Nulled)													
Input Offset Voltage vs. Temperature		250			100			50			100		μV
Output Offset Voltage vs. Temperature		2			0.75			0.5			2.0		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Offset Referred to the Input vs. Supply		100			3			2.0			3.0		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
G = 1	70			75			80			75			dB
G = 10	85			95			100			95			dB
G = 100	95			105			110			105			dB
G = 1000	100			110			115			110			dB
INPUT CURRENT													
Input Bias Current vs. Temperature		± 100	± 50		± 100	± 25		± 100	± 15		± 100	± 50	nA
Input Offset Current vs. Temperature		± 100	± 35		± 100	± 15		± 100	± 10		± 100	± 35	nA
INPUT													
Input Impedance		10^9			10^9			10^9			10^9		Ω
Differential Resistance		10^9			10^9			10^9			10^9		pF
Differential Capacitance		10^9			10^9			10^9			10^9		Ω
Common-Mode Resistance		10^9			10^9			10^9			10^9		pF
Common-Mode Capacitance		10^9			10^9			10^9			10^9		Ω
Input Voltage Range		± 10			± 10			± 10			± 10		V
Max Differ. Input Linear (V_{IL}) ²		± 10			± 10			± 10			± 10		V
Max Common-Mode Linear (V_{CM})		$12\text{ V} - \frac{G}{2} \times V_D$			$12\text{ V} - \frac{G}{2} \times V_D$			$12\text{ V} - \frac{G}{2} \times V_D$			$12\text{ V} - \frac{G}{2} \times V_D$		V
Common-Mode Rejection dc to 60 Hz with 1 k Ω Source Imbalance													dB
G = 1	70			75			80			70			dB
G = 10	90			95			100			90			dB
G = 100	100			105			110			100			dB
G = 1000	110			115			120			110			dB
OUTPUT RATING													
V_{OUT} , $R_L = 2\text{ k}\Omega$		± 10			± 10			± 10			± 10		V
DYNAMIC RESPONSE													
Small Signal – 3 dB													MHz
G = 1	1			1			1			1			kHz
G = 10	400			400			400			400			kHz
G = 100	150			150			150			150			kHz
G = 1000	25			25			25			25			kHz
Slew Rate	5.0			5.0			5.0			5.0			V/ μs
Settling Time to 0.01%, 20 V Step													μs
G = 1 to 100	15			15			15			15			μs
G = 1000	75			75			75			75			μs
NOISE													
Voltage Noise, 1 kHz													nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
R.T.I.	7			7			7			7			nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
R.T.O.	90			90			90			90			nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
R.T.I., 0.1 Hz to 10 Hz													μV p-p
G = 1	15			15			15			15			μV p-p
G = 10	2			2			2			2			μV p-p
G = 100, 1000	0.3			0.3			0.3			0.3			μV p-p
Current Noise													pA p-p
0.1 Hz to 10 Hz	60			60			60			60			pA p-p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD524

Model	AD524A			AD524B			AD524C			AD524S			Units
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
SENSE INPUT													
R_{IN}		20			20			20			20		$k\Omega \pm 20\%$
I_{IN}		15			15			15			15		μA
Voltage Range	± 10			± 10			± 10			± 10			V
Gain to Output		1			1			1			1		%
REFERENCE INPUT													
R_{IN}		40			40			40			40		$k\Omega \pm 20\%$
I_{IN}		15			15			15			15		μA
Voltage Range	± 10			± 10			10			10			V
Gain to Output		1			1			1			1		%
TEMPERATURE RANGE													
Specified Performance	-25		+85	-25		+85	-25		+85	-55		+125	$^{\circ}C$
Storage	-65		+150	-65		+150	-65		+150	-65		+150	$^{\circ}C$
POWER SUPPLY													
Power Supply Range	± 6	± 15	± 18	± 6	± 15	± 18	± 6	± 15	± 18	± 6	± 15	± 18	V
Quiescent Current		3.5	5.0		3.5	5.0		3.5	5.0		3.5	5.0	mA

NOTES

¹Does not include effects of external resistor R_E .

² V_{OL} is the maximum differential input voltage at $G = 1$ for specified nonlinearity.

V_{OL} at the maximum = 10 V/G.

V_{IN} = Actual differential input voltage.

Example: $G = 10$, $V_{IN} = 0.50$.

$V_{CM} = 12 V - (10/2 \times 0.50 V) = 9.5 V$.

Specification subject to change without notice.

All min and max specifications are guaranteed. Specifications shown in **boldface** are tested on all production units at final electrical test. Results from those tests are used to calculate outgoing quality levels.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD524

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS¹

Supply Voltage	±18 V
Internal Power Dissipation	450 mW
Input Voltage ²	<36 V
(Either Input Simultaneously) $ V_{IN} + V_S $	
Output Short Circuit Duration	Indefinite
Storage Temperature Range	
(R)	-65°C to +125°C
(D, E)	-65°C to +150°C
Operating Temperature Range	
AD524A/B/C	-25°C to +85°C
AD524S	-55°C to +125°C
Lead Temperature (Soldering 60 secs)	+300°C

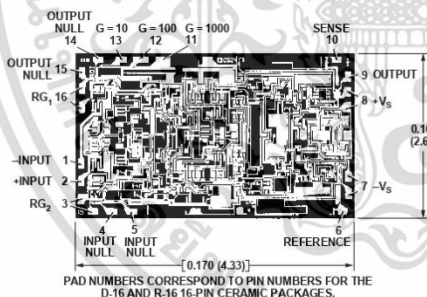
NOTES

¹Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational section of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

²Max input voltage specification refers to maximum voltage to which either input terminal may be raised with or without device power applied. For example, with ±18 volt supplies max V_{IN} is ±18 volts, with zero supply voltage max V_{IN} is ±36 volts.

METALIZATION PHOTOGRAPH

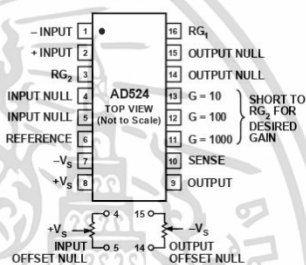
Contact factory for latest dimensions.
Dimensions shown in inches and (mm).



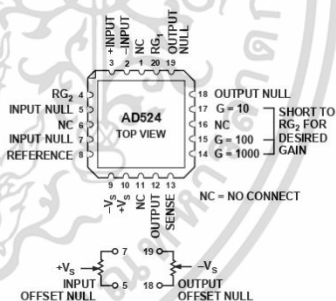
PAD NUMBERS CORRESPOND TO PIN NUMBERS FOR THE D-16 AND R-16 16-PIN CERAMIC PACKAGES.

CONNECTION DIAGRAMS

Ceramic (D) and SOIC (R) Packages



Leadless Chip Carrier



ORDERING GUIDE

Model	Temperature Ranges	Package Descriptions	Package Options
AD524AD	-40°C to +85°C	16-Lead Ceramic DIP	D-16
AD524AE	-40°C to +85°C	20-Terminal Leadless Chip Carrier	E-20A
AD524AR-16	-40°C to +85°C	16-Lead Gull-Wing SOIC	R-16
AD524AR-16-REEL	-40°C to +85°C	Tape & Reel Packaging 13"	
AD524AR-16-REEL7	-40°C to +85°C	Tape & Reel Packaging 7"	
AD524BD	-40°C to +85°C	16-Lead Ceramic DIP	D-16
AD524BE	-40°C to +85°C	20-Terminal Leadless Chip Carrier	E-20A
AD524CD	-40°C to +85°C	16-Lead Ceramic DIP	D-16
AD524SD	-55°C to +125°C	16-Lead Ceramic DIP	D-16
AD524SD/883B	-55°C to +125°C	16-Lead Ceramic DIP	D-16
5962-8853901EA*	-55°C to +125°C	16-Lead Ceramic DIP	D-16
AD524SE/883B	-55°C to +125°C	20-Terminal Leadless Chip Carrier	E-20A
AD524SCHIPS	-55°C to +125°C	Die	

*Refer to official DESC drawing for tested specifications.

CAUTION

ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Electrostatic charges as high as 4000 V readily accumulate on the human body and test equipment and can discharge without detection. Although the AD524 features proprietary ESD protection circuitry, permanent damage may occur on devices subjected to high energy electrostatic discharges. Therefore, proper ESD precautions are recommended to avoid performance degradation or loss of functionality.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD524—Typical Characteristics

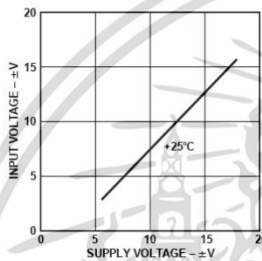


Figure 1. Input Voltage Range vs. Supply Voltage, $G = 1$

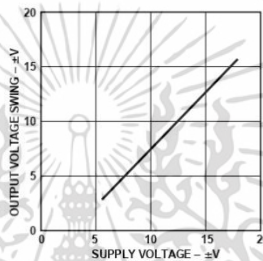


Figure 2. Output Voltage Swing vs. Supply Voltage

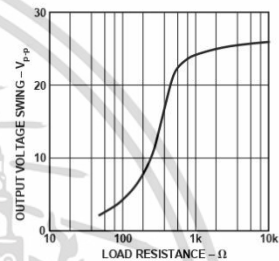


Figure 3. Output Voltage Swing vs. Load Resistance

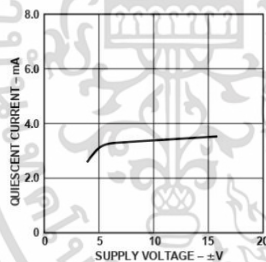


Figure 4. Quiescent Current vs. Supply Voltage

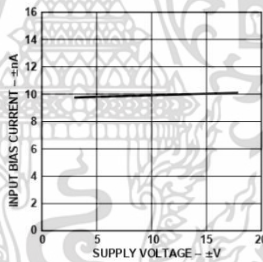


Figure 5. Input Bias Current vs. Supply Voltage

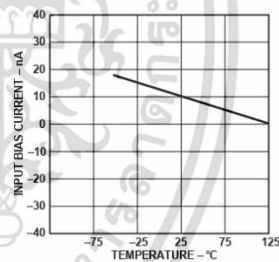


Figure 6. Input Bias Current vs. Temperature

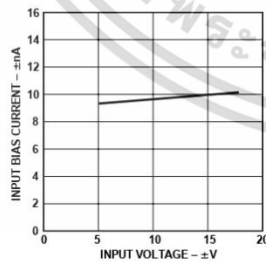


Figure 7. Input Bias Current vs. Input Voltage

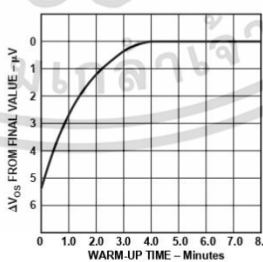


Figure 8. Offset Voltage, RTI, Turn On Drift

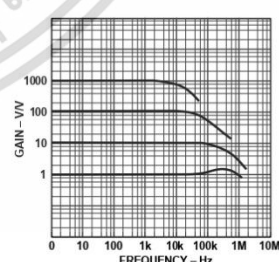


Figure 9. Gain vs. Frequency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD524

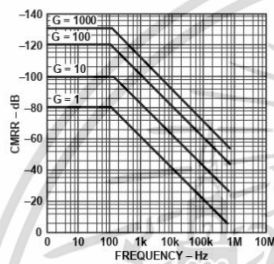


Figure 10. CMRR vs. Frequency RTI, Zero to 1k Source Imbalance

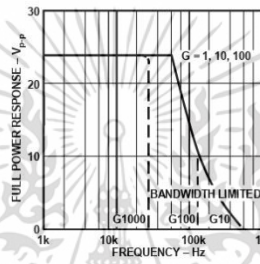


Figure 11. Large Signal Frequency Response

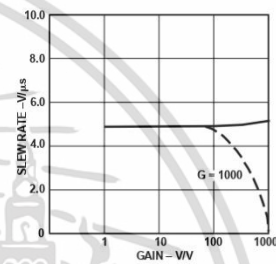


Figure 12. Slew Rate vs. Gain

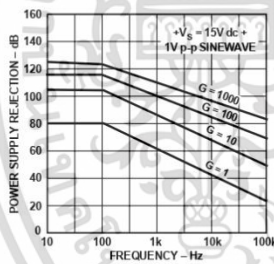


Figure 13. Positive PSRR vs. Frequency

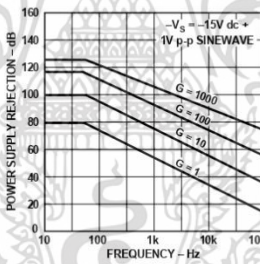


Figure 14. Negative PSRR vs. Frequency

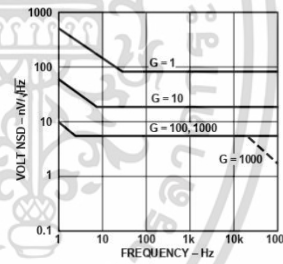


Figure 15. RTI Noise Spectral Density vs. Gain

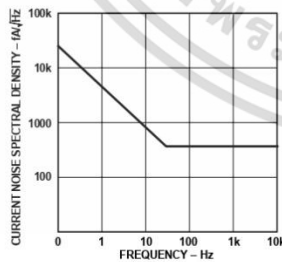


Figure 16. Input Current Noise vs. Frequency

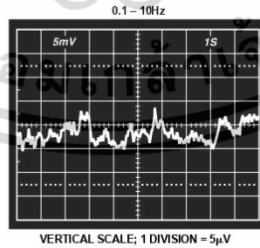


Figure 17. Low Frequency Noise - G = 1 (System Gain = 1000)

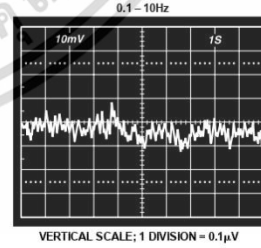


Figure 18. Low Frequency Noise - G = 1000 (System Gain = 100,000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD524

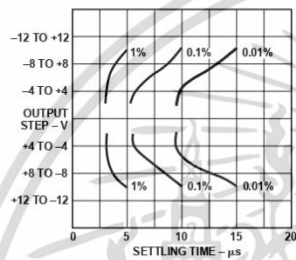


Figure 19. Settling Time Gain = 1

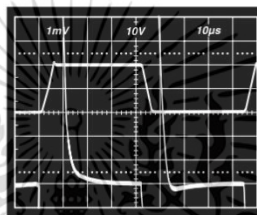


Figure 20. Large Signal Pulse Response and Settling Time - G = 1

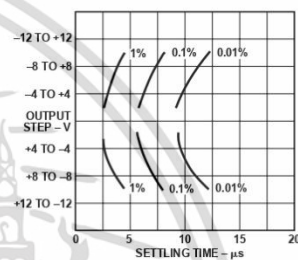


Figure 21. Settling Time Gain = 10

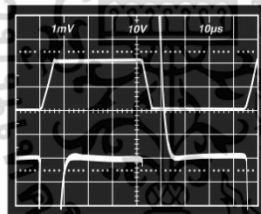


Figure 22. Large Signal Pulse Response and Settling Time G = 10

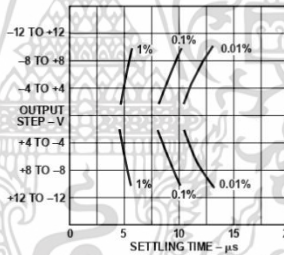


Figure 23. Settling Time Gain = 100

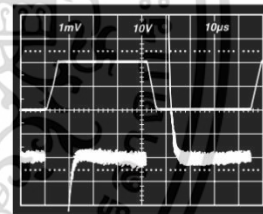


Figure 24. Large Signal Pulse Response and Settling Time G = 100

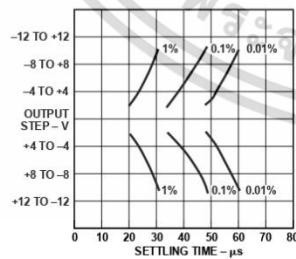


Figure 25. Settling Time Gain = 1000

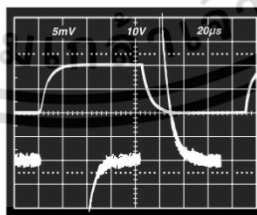


Figure 26. Large Signal Pulse Response and Settling Time G = 1000

AD524

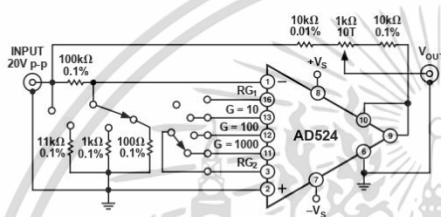


Figure 27. Settling Time Test Circuit

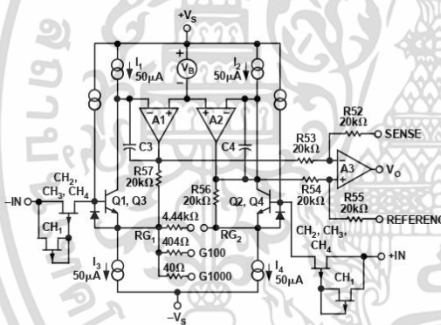


Figure 28 Simplified Circuit of Amplifier; Gain Is Defined as $((R56 + R57)/(R_G)) + 1$. For a Gain of 1, R_G Is an Open Circuit

Theory of Operation

The AD524 is a monolithic instrumentation amplifier based on the classic 3 op amp circuit. The advantage of monolithic construction is the closely matched components that enhance the performance of the input preamp. The preamp section develops the programmed gain by the use of feedback concepts. The programmed gain is developed by varying the value of R_G (smaller values increase the gain) while the feedback forces the collector currents Q1, Q2, Q3 and Q4 to be constant, which impresses the input voltage across R_G .

As R_G is reduced to increase the programmed gain, the transconductance of the input preamp increases to the transconductance of the input transistors. This has three important advantages. First, this approach allows the circuit to achieve a very high open loop gain of 3×10^8 at a programmed gain of 1000, thus reducing gain-related errors to a negligible 30 ppm. Second, the gain bandwidth product, which is determined by C3 or C4 and the input transconductance, reaches 25 MHz. Third, the input voltage noise reduces to a value determined by the collector current of the input transistors for an RTI noise of 7 nV/√Hz at $G = 1000$.

INPUT PROTECTION

As interface amplifiers for data acquisition systems, instrumentation amplifiers are often subjected to input overloads, i.e., voltage levels in excess of the full scale for the selected gain range. At low gains, 10 or less, the gain resistor acts as a current limiting element in series with the inputs. At high gains the lower value of R_G will not adequately protect the inputs from excessive currents. Standard practice would be to place series limiting resistors in each input, but to limit input current to below 5 mA with a full differential overload (36 V) would require over 7k of resistance which would add 10 nV/√Hz of noise. To provide both input protection and low noise a special series protect FET was used.

A unique FET design was used to provide a bidirectional current limit, thereby, protecting against both positive and negative overloads. Under nonoverload conditions, three channels CH₂, CH₃, CH₄, act as a resistance ($\approx 1 \text{ k}\Omega$) in series with the input as before. During an overload in the positive direction, a fourth channel, CH₁, acts as a small resistance ($\approx 3 \text{ k}\Omega$) in series with the gate, which draws only the leakage current, and the FET limits I_{DSS} . When the FET enhances under a negative overload, the gate current must go through the small FET formed by CH₁ and when this FET goes into saturation, the gate current is limited and the main FET will go into controlled enhancement. The bidirectional limiting holds the maximum input current to 3 mA over the 36 V range.

INPUT OFFSET AND OUTPUT OFFSET

Voltage offset specifications are often considered a figure of merit for instrumentation amplifiers. While initial offset may be adjusted to zero, shifts in offset voltage due to temperature variations will cause errors. Intelligent systems can often correct for this factor with an autozero cycle, but there are many small-signal high-gain applications that don't have this capability.

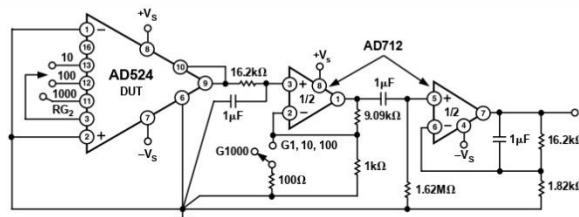


Figure 29. Noise Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD524

Voltage offset and drift comprise two components each; input and output offset and offset drift. Input offset is that component of offset that is directly proportional to gain i.e., input offset as measured at the output at $G = 100$ is 100 times greater than at $G = 1$. Output offset is independent of gain. At low gains, output offset drift is dominant, while at high gains input offset drift dominates. Therefore, the output offset voltage drift is normally specified as drift at $G = 1$ (where input effects are insignificant), while input offset voltage drift is given by drift specification at a high gain (where output offset effects are negligible). All input-related numbers are referred to the input (RTI) which is to say that the effect on the output is "G" times larger. Voltage offset vs. power supply is also specified at one or more gain settings and is also RTI.

By separating these errors, one can evaluate the total error independent of the gain setting used. In a given gain configuration both errors can be combined to give a total error referred to the input (R.T.I.) or output (R.T.O.) by the following formula:

$$\text{Total Error R.T.I.} = \text{input error} + (\text{output error}/\text{gain})$$

$$\text{Total Error R.T.O.} = (\text{Gain} \times \text{input error}) + \text{output error}$$

As an illustration, a typical AD524 might have a $+250 \mu\text{V}$ output offset and a $-50 \mu\text{V}$ input offset. In a unity gain configuration, the total output offset would be $200 \mu\text{V}$ or the sum of the two. At a gain of 100, the output offset would be -4.75 mV or: $+250 \mu\text{V} + 100(-50 \mu\text{V}) = -4.75 \text{ mV}$.

The AD524 provides for both input and output offset adjustment. This simplifies very high precision applications and minimize offset voltage changes in switched gain applications. In such applications the input offset is adjusted first at the highest programmed gain, then the output offset is adjusted at $G = 1$.

GAIN

The AD524 has internal high accuracy pretrimmed resistors for pin programmable gain of 1, 10, 100 and 1000. One of the preset gains can be selected by pin strapping the appropriate gain terminal and RG_2 together (for $G = 1$ RG_2 is not connected).

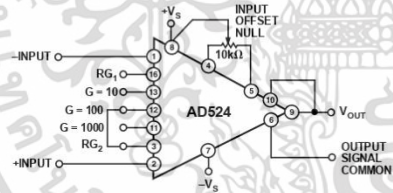


Figure 30. Operating Connections for $G = 100$

The AD524 can be configured for gains other than those that are internally preset; there are two methods to do this. The first method uses just an external resistor connected between pins 3 and 16, which programs the gain according to the formula

$$R_G = \frac{40k}{G - 1}$$

(see Figure 31).

For best results R_G should be a precision resistor with a low temperature coefficient. An external R_G affects both gain accuracy and gain drift due to the mismatch between it and the internal thin-film resistors. Gain accuracy is determined by the tolerance of the external R_G and the absolute accuracy of the internal resistors ($\pm 20\%$). Gain drift is determined by the mismatch of the temperature coefficient of R_G and the temperature coefficient of the internal resistors ($-50 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ typ).

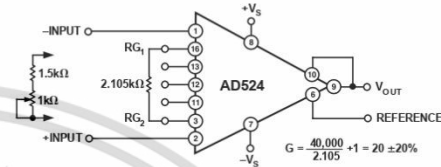


Figure 31. Operating Connections for $G = 20$

The second technique uses the internal resistors in parallel with an external resistor (Figure 32). This technique minimizes the gain adjustment range and reduces the effects of temperature coefficient sensitivity.

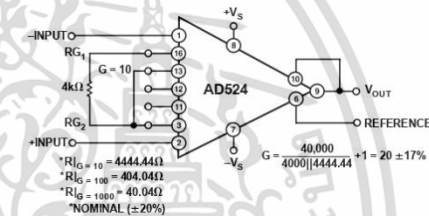


Figure 32. Operating Connections for $G = 20$, Low Gain T.C. Technique

The AD524 may also be configured to provide gain in the output stage. Figure 33 shows an H pad attenuator connected to the reference and sense lines of the AD524. R_1 , R_2 and R_3 should be made as low as possible to minimize the gain variation and reduction of CMRR. Varying R_2 will precisely set the gain without affecting CMRR. CMRR is determined by the match of R_1 and R_3 .

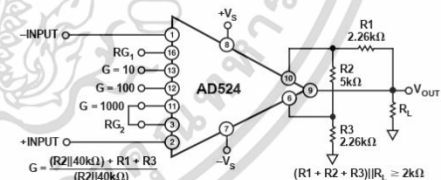


Figure 33. Gain of 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD524

Table I. Output Gain Resistor Values

Output Gain	R2	R1, R3	Nominal Gain
2	5 kΩ	2.26 kΩ	2.02
5	1.05 kΩ	2.05 kΩ	5.01
10	1 kΩ	4.42 kΩ	10.1

INPUT BIAS CURRENTS

Input bias currents are those currents necessary to bias the input transistors of a dc amplifier. Bias currents are an additional source of input error and must be considered in a total error budget. The bias currents, when multiplied by the source resistance, appear as an offset voltage. What is of concern in calculating bias current errors is the change in bias current with respect to signal voltage and temperature. Input offset current is the difference between the two input bias currents. The effect of offset current is an input offset voltage whose magnitude is the offset current times the source impedance imbalance.

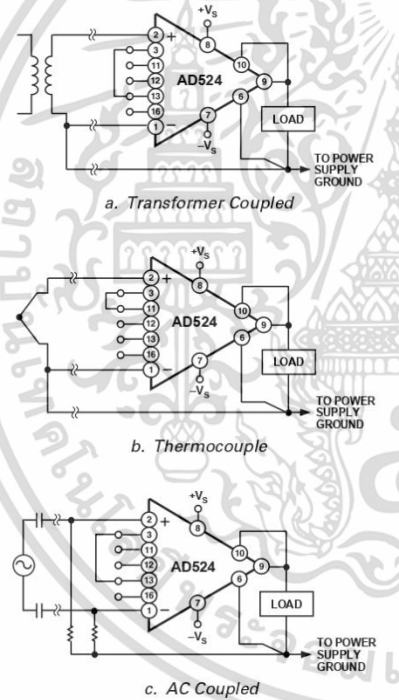


Figure 34. Indirect Ground Returns for Bias Currents

Although instrumentation amplifiers have differential inputs, there must be a return path for the bias currents. If this is not provided, those currents will charge stray capacitances, causing the output to drift uncontrollably or to saturate. Therefore, when amplifying “floating” input sources such as transformers and thermocouples, as well as ac-coupled sources, there must still be a dc path from each input to ground.

COMMON-MODE REJECTION

Common-mode rejection is a measure of the change in output voltage when both inputs are changed equal amounts. These specifications are usually given for a full-range input voltage change and a specified source imbalance. “Common-Mode Rejection Ratio” (CMRR) is a ratio expression while “Common-Mode Rejection” (CMR) is the logarithm of that ratio. For example, a CMRR of 10,000 corresponds to a CMR of 80 dB.

In an instrumentation amplifier, ac common-mode rejection is only as good as the differential phase shift. Degradation of ac common-mode rejection is caused by unequal drops across differing track resistances and a differential phase shift due to varied stray capacitances or cable capacitances. In many applications shielded cables are used to minimize noise. This technique can create common mode rejection errors unless the shield is properly driven. Figures 35 and 36 shows active data guards that are configured to improve ac common mode rejection by “bootstrapping” the capacitances of the input cabling, thus minimizing differential phase shift.

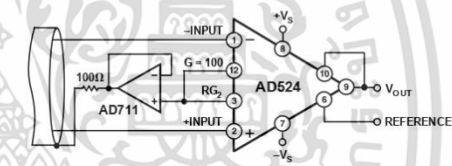


Figure 35. Shield Driver, $G \geq 100$

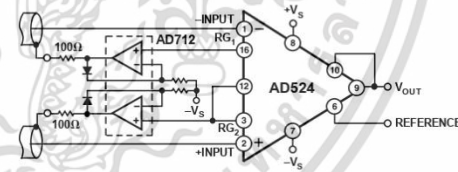


Figure 36. Differential Shield Driver

GROUNDING

Many data acquisition components have two or more ground pins that are not connected together within the device. These grounds must be tied together at one point, usually at the system power-supply ground. Ideally, a single solid ground would be desirable. However, since current flows through the ground wires and etch stripes of the circuit cards, and since these paths have resistance and inductance, hundreds of millivolts can be generated between the system ground point and the data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD524

acquisition components. Separate ground returns should be provided to minimize the current flow in the path from the sensitive points to the system ground point. In this way supply currents and logic-gate return currents are not summed into the same return path as analog signals where they would cause measurement errors.

Since the output voltage is developed with respect to the potential on the reference terminal, an instrumentation amplifier can solve many grounding problems.

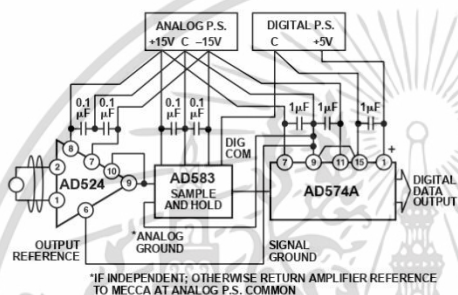


Figure 37. Basic Grounding Practice

SENSE TERMINAL

The sense terminal is the feedback point for the instrument amplifier's output amplifier. Normally it is connected to the instrument amplifier output. If heavy load currents are to be drawn through long leads, voltage drops due to current flowing through lead resistance can cause errors. The sense terminal can be wired to the instrument amplifier at the load, thus putting the $I \times R$ drops "inside the loop" and virtually eliminating this error source.

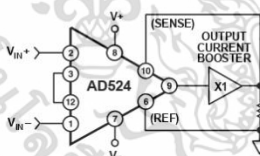


Figure 38. AD524 Instrumentation Amplifier with Output Current Booster

Typically, IC instrumentation amplifiers are rated for a full ± 10 volt output swing into $2 \text{ k}\Omega$. In some applications, however, the need exists to drive more current into heavier loads. Figure 38 shows how a high-current booster may be connected "inside the loop" of an instrumentation amplifier to provide the required current boost without significantly degrading overall performance. Nonlinearities, offset and gain inaccuracies of the buffer are minimized by the loop gain of the IA output amplifier. Offset drift of the buffer is similarly reduced.

REFERENCE TERMINAL

The reference terminal may be used to offset the output by up to $\pm 10 \text{ V}$. This is useful when the load is "floating" or does not share a ground with the rest of the system. It also provides a direct means of injecting a precise offset. It must be remembered that the total output swing is ± 10 volts to be shared between signal and reference offset.

When the IA is of the three-amplifier configuration it is necessary that nearly zero impedance be presented to the reference terminal.

Any significant resistance from the reference terminal to ground increases the gain of the noninverting signal path, thereby upsetting the common-mode rejection of the IA.

In the AD524 a reference source resistance will unbalance the CMR trim by the ratio of $20 \text{ k}\Omega/R_{\text{REF}}$. For example, if the reference source impedance is 1Ω , CMR will be reduced to 86 dB ($20 \text{ k}\Omega/1 \Omega = 86 \text{ dB}$). An operational amplifier may be used to provide that low impedance reference point as shown in Figure 39. The input offset voltage characteristics of that amplifier will add directly to the output offset voltage performance of the instrumentation amplifier.

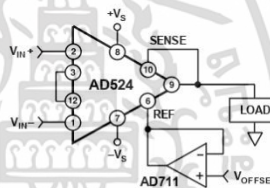


Figure 39. Use of Reference Terminal to Provide Output Offset

An instrumentation amplifier can be turned into a voltage-to-current converter by taking advantage of the sense and reference terminals as shown in Figure 40.

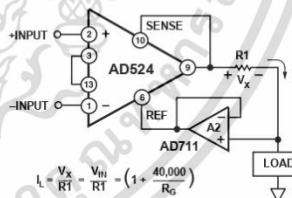


Figure 40. Voltage-to-Current Converter

By establishing a reference at the "low" side of a current setting resistor, an output current may be defined as a function of input voltage, gain and the value of that resistor. Since only a small current is demanded at the input of the buffer amplifier A_2 , the forced current I_L will largely flow through the load. Offset and drift specifications of A_2 must be added to the output offset and drift specifications of the IA.

AD524

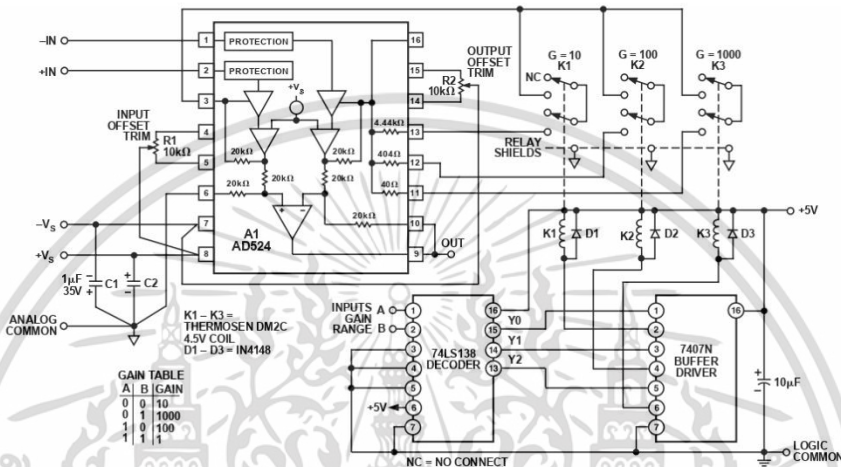


Figure 41. Three Decade Gain Programmable Amplifier

PROGRAMMABLE GAIN

Figure 41 shows the AD524 being used as a software programmable gain amplifier. Gain switching can be accomplished with mechanical switches such as DIP switches or reed relays. It should be noted that the “on” resistance of the switch in series with the internal gain resistor becomes part of the gain equation and will have an effect on gain accuracy.

The AD524 can also be connected for gain in the output stage. Figure 42 shows an AD711 used as an active attenuator in the output amplifier’s feedback loop. The active attenuation presents a very low impedance to the feedback resistors, therefore minimizing the common-mode rejection ratio degradation.

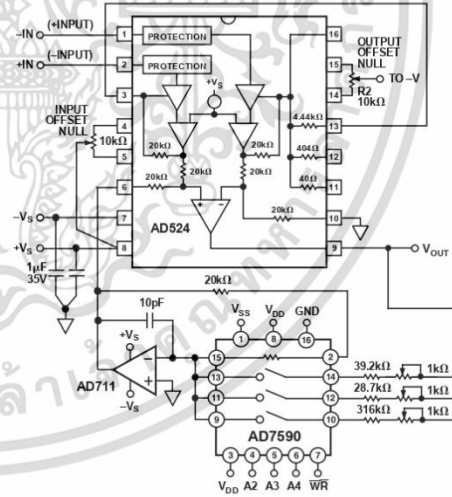


Figure 42. Programmable Output Gain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD524

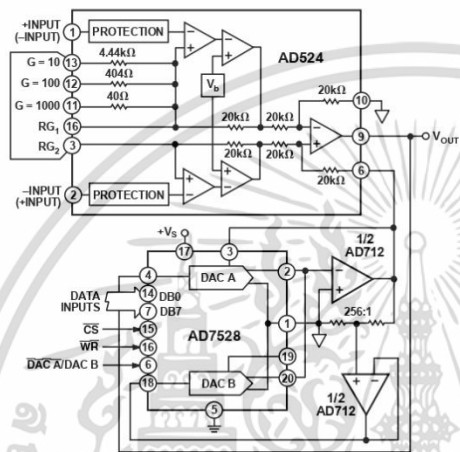


Figure 43. Programmable Output Gain Using a DAC

Another method for developing the switching scheme is to use a DAC. The AD7528 dual DAC, which acts essentially as a pair of switched resistive attenuators having high analog linearity and symmetrical bipolar transmission, is ideal in this application. The multiplying DAC's advantage is that it can handle inputs of either polarity or zero without affecting the programmed gain. The circuit shown uses an AD7528 to set the gain (DAC A) and to perform a fine adjustment (DAC B).

AUTOZERO CIRCUITS

In many applications it is necessary to provide very accurate data in high gain configurations. At room temperature the offset effects can be nulled by the use of offset trim pots. Over the operating temperature range, however, offset nulling becomes a problem. The circuit of Figure 44 show a CMOS DAC operating in the bipolar mode and connected to the reference terminal to provide software controllable offset adjustments.

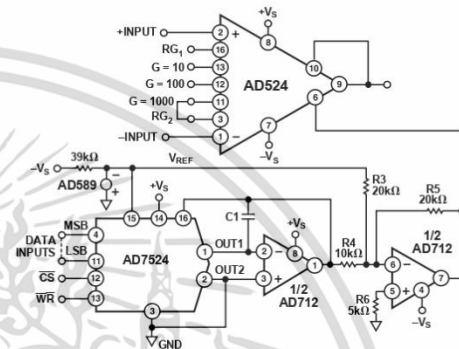


Figure 44. Software Controllable Offset

In many applications complex software algorithms for autozero applications are not available. For those applications Figure 45 provides a hardware solution.

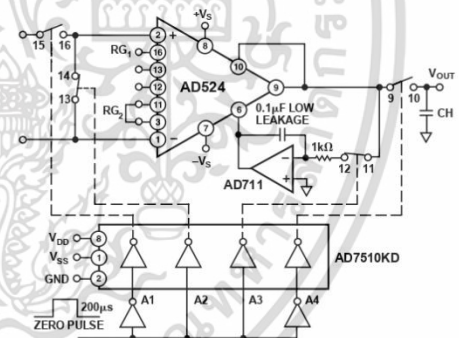


Figure 45. Autozero Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD524

ERROR BUDGET ANALYSIS

To illustrate how instrumentation amplifier specifications are applied, we will now examine a typical case where an AD524 is required to amplify the output of an unbalanced transducer. Figure 46 shows a differential transducer, unbalanced by 100 Ω, supplying a 0 to 20 mV signal to an AD524C. The output of the IA feeds a 14-bit A-to-D converter with a 0 to 2 volt input voltage range. The operating temperature range is -25°C to +85°C. Therefore, the largest change in temperature ΔT within the operating range is from ambient to +85°C (85°C - 25°C = 60°C).

In many applications, differential linearity and resolution are of prime importance. This would be so in cases where the absolute value of a variable is less important than changes in value. In these applications, only the irreducible errors (45 ppm = 0.004%) are significant. Furthermore, if a system has an intelligent processor monitoring the A-to-D output, the addition of an auto-gain/autozero cycle will remove all reducible errors and may eliminate the requirement for initial calibration. This will also reduce errors to 0.004%.

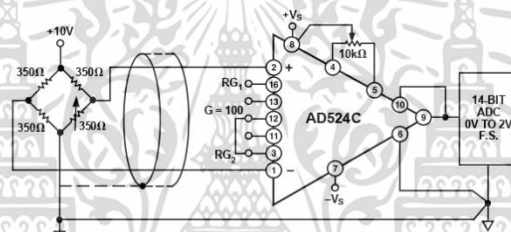


Figure 46. Typical Bridge Application

Table II. Error Budget Analysis of AD524CD in Bridge Application

Error Source	AD524C Specifications	Calculation	Effect on Absolute Accuracy at T _A = +25°C	Effect on Absolute Accuracy at T _A = +85°C	Effect on Resolution
Gain Error	±0.25%	±0.25% = 2500 ppm	2500 ppm	2500 ppm	-
Gain Instability	25 ppm	(25 ppm/°C)(60°C) = 1500 ppm	-	1500 ppm	-
Gain Nonlinearity	±0.003%	±0.003% = 30 ppm	-	-	30 ppm
Input Offset Voltage	±50 μV, RTI	±50 μV/20 mV = ±2500 ppm	2500 ppm	2500 ppm	-
Input Offset Voltage Drift	±0.5 μV/°C	(±0.5 μV/°C)(60°C) = 30 μV 30 μV/20 mV = 1500 ppm	-	1500 ppm	-
Output Offset Voltage*	±2.0 mV	±2.0 mV/20 mV = 1000 ppm	1000 ppm	1000 ppm	-
Output Offset Voltage Drift*	±25 μV/°C	(±25 μV/°C)(60°C) = 1500 μV 1500 μV/20 mV = 750 ppm	-	750 ppm	-
Bias Current-Source Imbalance Error	±15 nA	(±15 nA)(100 Ω) = 1.5 μV 1.5 μV/20 mV = 75 ppm	75 ppm	75 ppm	-
Bias Current-Source Imbalance Drift	±100 pA/°C	(±100 pA/°C)(100 Ω)(60°C) = 0.6 μV 0.6 μV/20 mV = 30 ppm	-	30 ppm	-
Offset Current-Source Imbalance Error	±10 nA	(±10 nA)(100 Ω) = 1 μV 1 μV/20 mV = 50 ppm	50 ppm	50 ppm	-
Offset Current-Source Imbalance Drift	±100 pA/°C	(100 pA/°C)(100 Ω)(60°C) = 0.6 μV 0.6 μV/20 mV = 30 ppm	-	30 ppm	-
Offset Current-Source Resistance-Error	±10 nA	(10 nA)(175 Ω) = 3.5 μV 3.5 μV/20 mV = 87.5 ppm	87.5 ppm	87.5 ppm	-
Offset Current-Source Resistance-Drift	±100 pA/°C	(100 pA/°C)(175 Ω)(60°C) = 1 μV 1 μV/20 mV = 50 ppm	-	50 ppm	-
Common Mode Rejection	115 dB	115 dB = 1.8 ppm × 5 V = 8.8 μV 8.8 μV/20 mV = 444 ppm	444 ppm	444 ppm	-
Noise, RTI (0.1 Hz-10 Hz)	0.3 μV p-p	0.3 μV p-p/20 mV = 15 ppm	-	-	15 ppm
Total Error			6656.5 ppm	10516.5 ppm	45 ppm

*Output offset voltage and output offset voltage drift are given as RTI figures.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD524

Figure 47 shows a simple application, in which the variation of the cold-junction voltage of a Type J thermocouple-iron(+)-constantan-is compensated for by a voltage developed in series by the temperature-sensitive output current of an AD590 semiconductor temperature sensor.

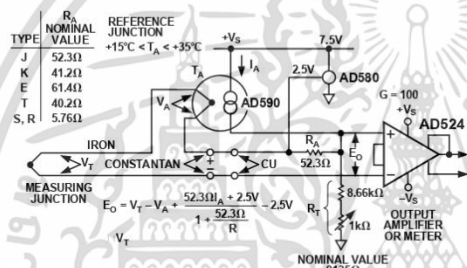


Figure 47. Cold-Junction Compensation

The circuit is calibrated by adjusting R_T for proper output voltage with the measuring junction at a known reference temperature

and the circuit near 25°C. If resistors with low tempcos are used, compensation accuracy will be to within ±0.5°C, for temperatures between +15°C and +35°C. Other thermocouple types may be accommodated with the standard resistance values shown in the table. For other ranges of ambient temperature, the equation in the figure may be solved for the optimum values of R_T and R_A.

The microprocessor controlled data acquisition system shown in Figure 48 includes both autozero and autogain capability. By dedicating two of the differential inputs, one to ground and one to the A/D reference, the proper program calibration cycles can eliminate both initial accuracy errors and accuracy errors over temperature. The autozero cycle, in this application, converts a number that appears to be ground and then writes that same number (8-bit) to the AD7524, which eliminates the zero error since its output has an inverted scale. The autogain cycle converts the A/D reference and compares it with full scale. A multiplicative correction factor is then computed and applied to subsequent readings.

For a comprehensive study of instrumentation amplifier design and applications, refer to the *Instrumentation Amplifier Application Guide*, available free from Analog Devices.

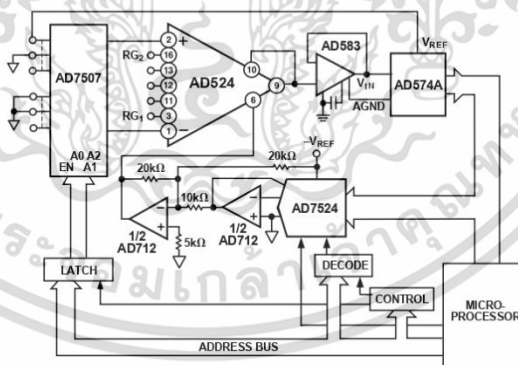


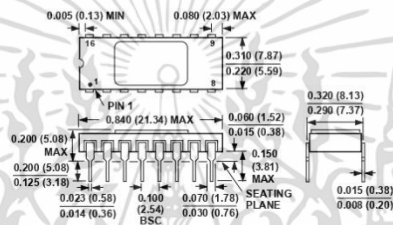
Figure 48. Microprocessor Controlled Data Acquisition System

AD524

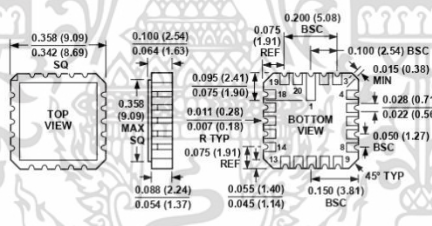
OUTLINE DIMENSIONS

Dimensions shown in inches and (mm).

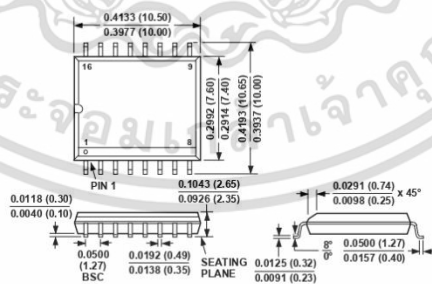
16-Lead Ceramic DIP
(D-16)



20-Terminal Leadless Chip Carrier
(E-20A)



16-Lead SOIC
(R-16)



C722e-0-499

PRINTED IN U.S.A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Ultralow Offset Voltage Operational Amplifier

OP07

FEATURES

- Low V_{OS} 25 μ V Max
- Low V_{OS} Drift 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C Max
- Ultra-Stable vs Time 1.0 μ V/Month Max
- Low Noise 0.6 μ V_{p-p} Max
- Wide Input Voltage Range \pm 14V
- Wide Supply Voltage Range \pm 3V to \pm 18V
- Fits 725, 108A/308A, 741, AD510 Sockets
- 125 $^{\circ}$ C Temperature-Tested Dice

ORDERING INFORMATION [†]

$T_a = +25^{\circ}$ C V_{OS} MAX (μ V)	PACKAGE			LCC 20-CONTACT	OPERATING TEMPERATURE RANGE
	TO-99	CERDIP 8-PIN	PLASTIC 8-PIN		
25	OP07AJ*	OP07AZ*	—	—	MIL
75	OP07EJ	OP07EZ	OP07EP	—	COM
75	OP07J*	OP07Z*	—	OP07RC/883	MIL
150	OP07CJ	OP07CZ	OP07CP	—	XIND
150	—	—	OP07CS ^{††}	—	XIND
150	OP07DJ	—	OP07DP	—	XIND

* For devices processed in total compliance to MIL-STD-883, add /883 after part number. Consult factory for 883 data sheet.
[†] Burn-in is available on commercial and industrial temperature range parts in Cer-DIP, plastic DIP, and TO-can packages.
^{††} For availability and burn-in information on SO and PLCC packages, contact your local sales office.

GENERAL DESCRIPTION

The OP-07 has very low input offset voltage (25 μ V max for OP-07A) which is obtained by trimming at the wafer stage. These low offset voltages generally eliminate any need for external nulling. The OP-07 also features low input bias current (\pm 2nA for OP-07A) and high open-loop gain (300V/mV for OP-07A). The low offsets and high open-loop gain make the OP-07 particularly useful for high-gain instrumentation applications.

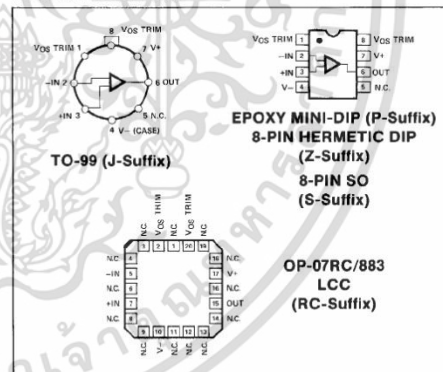
The wide input voltage range of \pm 13V minimum combined with high CMRR of 110dB (OP-07A) and high input impedance provides high accuracy in the noninverting circuit configuration. Excellent linearity and gain accuracy can be maintained

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 OP-07, even at high gain, combined with the freedom from external nulling have made the OP-07 a new industry standard for instrumentation and military applications.

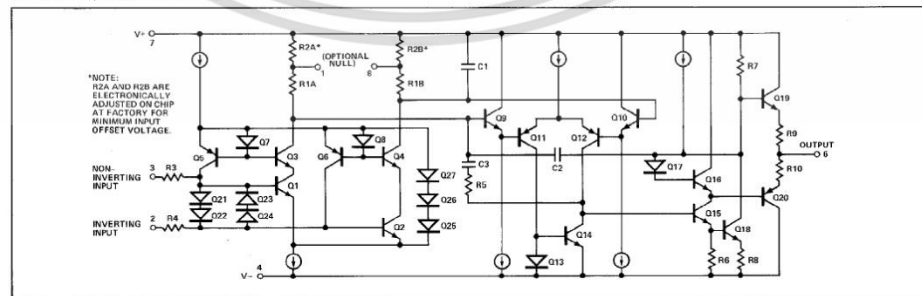
The OP-07 is available in five standard performance grades. The OP-07A and the OP-07 are specified for operation over the full military range of -55° C to $+125^{\circ}$ C; the OP-07E is specified for operation over the 0° C to $+70^{\circ}$ C range, and OP-07C and D over the -40° C to $+85^{\circ}$ C temperature range.

The OP-07 is available in hermetically-sealed TO-99 metal can or ceramic 8-pin Mini-DIP, and in epoxy 8-pin Mini-DIP. It is a direct replacement for 725, 108A, and OP-05 amplifiers; 741-types may be directly replaced by removing the 741's nulling potentiometer. The OP-207, a dual OP-07, is available for applications requiring close matching of two OP-07 amplifiers. For improved specifications, see the OP-77/OP-177.

PIN CONNECTIONS



SIMPLIFIED SCHEMATIC



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OP07

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Note 1)

Supply Voltage	±22V
Differential Input Voltage	±30V
Input Voltage (Note 2)	±22V
Output Short-Circuit Duration	Indefinite
Storage Temperature Range	
J, RC and Z Packages	-65°C to +150°C
P Package	-65°C to +125°C
Operating Temperature Range	
OP-07A, OP-07, OP-07RC	-55°C to +125°C
OP-07E	0°C to +70°C
OP-07C, OP-07D	-40°C to +85°C
Lead Temperature (Soldering, 60 sec)	+300°C
Junction Temperature (T _J)	+150°C

PACKAGE TYPE	θ _{JA} (Note 3)	θ _{JC}	UNITS
TO-99 (J)	150	18	°C/W
8-Pin Hermetic DIP (Z)	148	16	°C/W
8-Pin Plastic DIP (P)	103	43	°C/W
20-Contact LCC	98	38	°C/W
8-Pin SO (S)	158	43	°C/W

NOTES:

1. Absolute maximum ratings apply to both DICE and packaged parts, unless otherwise noted.
2. For supply voltages less than ±22V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.
3. θ_{JA} is specified for worst case mounting conditions, i.e., θ_{JA} is specified for device in socket for TO, CerDIP, P-DIP, and LCC packages; θ_{JA} is specified for device soldered to printed circuit board for SO package.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS at V_S = ±15V, T_A = 25°C, unless otherwise noted.

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP-07A			OP-07			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	V _{OS}	(Note 1)	—	10	25	—	30	75	μV
Long-Term Input Offset Voltage Stability	ΔV _{OS} /Time	(Note 2)	—	0.2	1.0	—	0.2	1.0	μV/Mo
Input Offset Current	I _{OS}		—	0.3	2.0	—	0.4	2.8	nA
Input Bias Current	I _B		—	±0.7	±2.0	—	±1.0	±3.0	nA
Input Noise Voltage	e _{np-p}	0.1Hz to 10Hz (Note 3)	—	0.35	0.6	—	0.35	0.6	μV _{p-p}
Input Noise Voltage Density	e _n	f _O = 10Hz (Note 3)	—	10.3	18.0	—	10.3	18.0	nV/√Hz
		f _O = 100Hz (Note 3)	—	10.0	13.0	—	10.0	13.0	
		f _O = 1000Hz (Note 3)	—	9.6	11.0	—	9.6	11.0	
Input Noise Current	i _{np-p}	0.1Hz to 10Hz (Note 3)	—	14	30	—	14	30	pA _{p-p}
Input Noise Current Density	I _n	f _O = 10Hz (Note 3)	—	0.32	0.80	—	0.32	0.80	pA/√Hz
		f _O = 100Hz (Note 3)	—	0.14	0.23	—	0.14	0.23	
		f _O = 1000Hz (Note 3)	—	0.12	0.17	—	0.12	0.17	
Input Resistance — Differential-Mode	R _{IN}	(Note 4)	30	80	—	20	60	—	MΩ
Input Resistance — Common-Mode	R _{INCM}		—	200	—	—	200	—	GΩ
Input Voltage Range	IVR		±13	±14	—	±13	±14	—	V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	V _{CM} = ±13V	110	126	—	110	126	—	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	V _S = ±3V to ±18V	—	4	10	—	4	10	μV/V
Large-Signal Voltage Gain	A _{VO}	R _L ≥ 2kΩ, V _O = ±10V	300	500	—	200	500	—	V/mV
		R _L ≥ 500Ω, V _O = ±0.5V, V _S = ±3V (Note 4)	150	400	—	150	400	—	
Output Voltage Swing	V _O	R _L ≥ 10kΩ	±12.5	±13.0	—	±12.5	±13.0	—	V
		R _L ≥ 2kΩ	±12.0	±12.8	—	±12.0	±12.8	—	
		R _L ≥ 1kΩ	±10.5	±12.0	—	±10.5	±12.0	—	
Slew Rate	SR	R _L ≥ 2kΩ (Note 3)	0.1	0.3	—	0.1	0.3	—	V/μs
Closed-Loop Bandwidth	BW	A _{VCL} = +1 (Note 3)	0.4	0.6	—	0.4	0.6	—	MHz
Open-Loop Output Resistance	R _O	V _O = 0, I _O = 0	—	60	—	—	60	—	Ω
Power Consumption	P _d	V _S = ±15V, No Load	—	75	120	—	75	120	mW
		V _S = ±3V, No Load	—	4	6	—	4	6	
Offset Adjustment Range	R _P	20kΩ	—	±4	—	—	±4	—	mV

NOTES:

1. OP-07A grade V_{OS} is measured approximately one minute after application of power. For all other grades V_{OS} is measured approximately 0.5 seconds after application of power.
2. Long-Term Input Offset Voltage Stability refers to the averaged trend line of V_{OS} vs. Time over extended periods after the first 30 days of operation.

3. Sample tested.
4. Guaranteed by design.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OP07

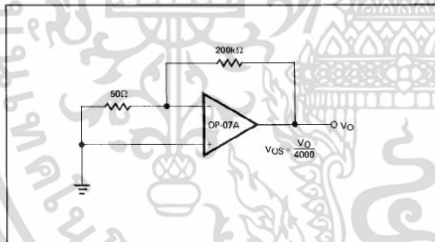
ELECTRICAL CHARACTERISTICS at $V_S = \pm 15V$, $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$, unless otherwise noted.

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP-07A			OP-07			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	V_{OS}	(Note 1)	—	25	60	—	60	200	μV
Average Input Offset Voltage Drift Without External Trim	TCV_{OS}	(Note 2)	—	0.2	0.6	—	0.3	1.3	$\mu V/^\circ C$
With External Trim	TCV_{OSn}	$R_P = 20k\Omega$ (Note 3)	—	0.2	0.6	—	0.3	1.3	$\mu V/^\circ C$
Input Offset Current	I_{OS}		—	0.8	4	—	1.2	5.6	nA
Average Input Offset Current Drift	TCI_{OS}	(Note 2)	—	5	25	—	8	50	$pA/^\circ C$
Input Bias Current	I_B		—	± 1	± 4	—	± 2	± 6	nA
Average Input Bias Current Drift	TCI_B	(Note 2)	—	8	25	—	13	50	$pA/^\circ C$
Input Voltage Range	IVR		± 13	± 13.5	—	± 13	± 13.5	—	V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = \pm 13V$	106	123	—	106	123	—	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$	—	5	20	—	5	20	$\mu V/V$
Large-Signal Voltage Gain	A_{VO}	$R_L \geq 2k\Omega$, $V_O = \pm 10V$	200	400	—	150	400	—	V/mV
Output Voltage Swing	V_O	$R_L \geq 2k\Omega$	± 12	± 12.6	—	± 12	± 12.6	—	V

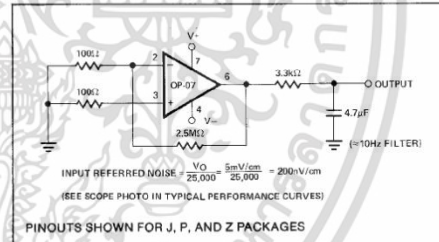
NOTES:

1. OP-07A grade V_{OS} is measured approximately one minute after application of power. For all other grades V_{OS} is measured approximately 0.5 seconds after application of power.
2. Sample tested.
3. Guaranteed by design.

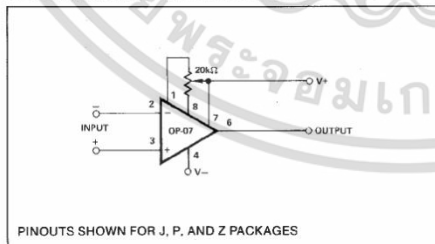
TYPICAL OFFSET VOLTAGE TEST CIRCUIT



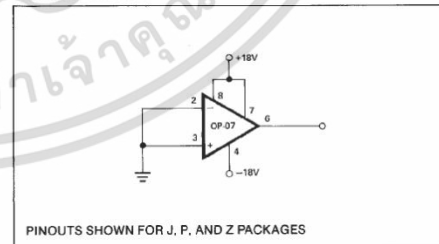
TYPICAL LOW-FREQUENCY NOISE TEST CIRCUIT



OPTIONAL OFFSET NULLING CIRCUIT



BURN-IN CIRCUIT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OP07

ELECTRICAL CHARACTERISTICS at $V_S = \pm 15V$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise noted.

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP-07E			OP-07C			OP-07D			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	V_{OS}	(Note 1)	—	30	75	—	60	150	—	60	150	μV
Long-Term V_{OS} Stability	$V_{OS}/Time$	(Note 2)	—	0.3	1.5	—	0.4	2.0	—	0.5	3.0	$\mu V/Mo$
Input Offset Current	I_{OS}		—	0.5	3.8	—	0.8	6.0	—	0.8	6.0	nA
Input Bias Current	I_B		—	± 1.2	± 4.0	—	± 1.8	± 7.0	—	± 2.0	± 12	nA
Input Noise Voltage	e_{np-p}	0.1Hz to 10Hz (Note 3)	—	0.35	0.6	—	0.38	0.65	—	0.38	0.65	μV_{p-p}
Input Noise Voltage Density	e_n	$f_O = 10Hz$	—	10.3	18.0	—	10.5	20.0	—	10.5	20.0	nV/\sqrt{Hz}
		$f_O = 100Hz$ (Note 3)	—	10.0	13.0	—	10.2	13.5	—	10.3	13.5	
		$f_O = 1000Hz$	—	9.6	11.0	—	9.8	11.5	—	9.8	11.5	
Input Noise Current	i_{np-p}	0.1Hz to 10Hz (Note 3)	—	14	30	—	15	35	—	15	35	pA_{p-p}
Input Noise Current Density	i_n	$f_O = 10Hz$	—	0.32	0.80	—	0.35	0.90	—	0.35	0.90	pA/\sqrt{Hz}
		$f_O = 100Hz$ (Note 3)	—	0.14	0.23	—	0.15	0.27	—	0.15	0.27	
		$f_O = 1000Hz$	—	0.12	0.17	—	0.13	0.18	—	0.13	0.18	
Input Resistance — Differential-Mode	R_{IN}	(Note 4)	15	50	—	8	33	—	7	31	—	M Ω
Input Resistance — Common-Mode	R_{INCM}		—	160	—	—	120	—	—	120	—	G Ω
Input Voltage Range	IVR		± 13	± 14	—	± 13	± 14	—	± 13	± 14	—	V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = \pm 13V$	106	123	—	100	120	—	94	110	—	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_S = \pm 3V$ to $\pm 16V$	—	5	20	—	7	32	—	7	32	$\mu V/V$
Large-Signal Voltage Gain	A_{VO}	$R_L \geq 2k\Omega$, $V_O = +10V$, $R_I \geq 500\Omega$, $V_S = \pm 0.5V$, $V_S = \pm 3V$ (Note 4)	200	500	—	120	400	—	120	400	—	V/mV
		$R_L \geq 10k\Omega$, $R_L \geq 2k\Omega$, $R_L \geq 1k\Omega$	± 12.5	± 13.0	—	± 12.0	± 13.0	—	± 12.0	± 13.0	—	V
Output Voltage Swing	V_O		± 12.0	± 12.8	—	± 11.5	± 12.8	—	± 11.5	± 12.8	—	V
Slew Rate	SR	$R_L \geq 2k\Omega$ (Note 3)	0.1	0.3	—	0.1	0.3	—	0.1	0.3	—	V/ μs
Closed-Loop Bandwidth	BW	$A_{VC} = +1$ (Note 5)	0.4	0.6	—	0.4	0.6	—	0.4	0.6	—	MHz
Open-Loop Output Resistance	R_O	$V_O = 0$, $I_O = 0$	—	60	—	—	60	—	—	60	—	Ω
Power Consumption	P_d	$V_S = \pm 15V$, No Load	—	75	120	—	80	150	—	80	150	mW
		$V_S = \pm 3V$, No Load	—	4	6	—	4	8	—	4	8	
Offset Adjustment Range	R_P	$R_P = 20k\Omega$	—	± 4	—	—	± 4	—	—	± 4	—	mV

NOTES:

- Input Offset Voltage measurements are performed by automated test equipment approximately 0.5 seconds after application of power.
- Long-Term Input Offset Voltage Stability refers to the averaged trend line of V_{OS} vs. Time over extended periods after the first 30 days of operation. Excluding the initial hour of operation, changes in V_{OS} during the first 30 operating days are typically $2.5\mu V$ — refer to typical performance curves. Parameter is sample tested.
- Sample tested.
- Guaranteed by design.
- Guaranteed but not tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OP07

ELECTRICAL CHARACTERISTICS at $V_S = \pm 15V$, $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$ for OP-07E, and $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$ for OP-07C/D, unless otherwise noted.

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP-07E			OP-07C			OP-07D			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	V_{OS}	(Note 1)	—	45	130	—	85	250	—	85	250	μV
Average Input Offset Voltage Drift Without External Trim	TCV_{OS}	(Note 3)	—	0.3	1.3	—	0.5	1.8	—	0.7	2.5	$\mu V/^\circ C$
With External Trim	TCV_{OSn}	$R_p = 20k\Omega$ (Note 3)	—	0.3	1.3	—	0.4	1.6	—	0.7	2.5	$\mu V/^\circ C$
Input Offset Current	I_{OS}		—	0.9	5.3	—	1.6	8.0	—	1.6	8.0	nA
Average Input Offset Current Drift	TCI_{OS}	(Note 2)	—	8	35	—	12	50	—	12	50	$pA/^\circ C$
Input Bias Current	I_B		—	± 1.5	± 5.5	—	± 2.2	± 9.0	—	± 3.0	± 14	nA
Average Input Bias Current Drift	TCI_B	(Note 2)	—	13	35	—	18	50	—	18	50	$pA/^\circ C$
Input Voltage Range	IVR		± 13.0	± 13.5	—	± 13.0	± 13.5	—	± 13.0	± 13.5	—	V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = \pm 13V$	103	123	—	97	120	—	94	106	—	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$	—	7	32	—	10	51	—	10	51	$\mu V/V$
Large-Signal Voltage Gain	A_{VO}	$R_L \geq 2k\Omega$ $V_O = \pm 10V$	180	450	—	100	400	—	100	400	—	V/mV
Output Voltage Swing	V_O	$R_L \geq 2k\Omega$	± 12	± 12.6	—	± 11	± 12.6	—	± 11	± 12.6	—	V

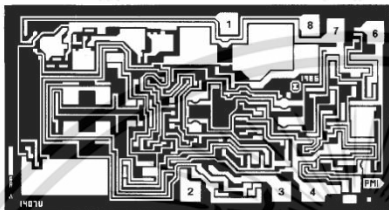
NOTES:

1. Input offset voltage measurements are performed by automated test equipment approximately 0.5 seconds after application of power.
2. Sample tested.
3. Guaranteed by design.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OP07

DICE CHARACTERISTICS (125°C TESTED DICE AVAILABLE)



1. BALANCE
2. INVERTING INPUT
3. NONINVERTING INPUT
4. V-
6. OUTPUT
7. V+
8. BALANCE

DIE SIZE 0.100 × 0.055 inch, 5500 sq. mils
(2.54 × 1.40 mm, 3.56 sq. mm)

WAFER TEST LIMITS at $V_S = \pm 15V$, $T_A = 25^\circ C$ for OP-07N, OP-07G and OP-07GR devices; $T_A = 125^\circ C$ for OP-07NT and OP-07GT devices, unless otherwise noted.

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP-07NT LIMIT	OP-07N LIMIT	OP-07GT LIMIT	OP-07G LIMIT	OP-07GR LIMIT	UNITS
Input Offset Voltage	V_{OS}		140	40	210	80	150	μV MAX
Input Offset Current	I_{OS}		4.0	2.0	5.6	2.8	6.0	nA MAX
Input Bias Current	I_B		± 4	± 2	± 6	± 3	± 7	nA MAX
Input Resistance Differential-Mode	R_{IN}	(Note 2)	—	20	—	20	8	M Ω MIN
Input Voltage Range	IVR		± 13	± 13	± 13	± 13	± 13	V MIN
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = \pm 13V$	160	110	100	110	100	dB MIN
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$	20	10	20	10	30	$\mu V/V$ MAX
Output Voltage Swing	V_O	$R_L = 10k\Omega$ $R_L = 2k\Omega$ $R_L = 1k\Omega$	—	± 12.5 ± 12.0 ± 10.5	—	± 12.0 ± 11.5 ± 10.5	± 12.0 ± 11.5 —	V MIN
Large-Signal Voltage Gain	A_{VO}	$R_L = 2k\Omega$ $V_O = \pm 10V$	200	200	150	120	120	V/mV MIN
Differential Input Voltage			± 30	± 30	± 30	± 30	± 30	V MAX
Power Consumption	P_d	$V_{OUT} = 0V$	—	120	—	120	150	mW MAX

NOTES:
1. For 25°C characteristics of OP-07NT and OP-07GT, see OP-07N and OP-07G characteristics, respectively.
2. Guaranteed by design.

Electrical tests are performed at wafer probe to the limits shown. Due to variations in assembly methods and normal yield loss, yield after packaging is not guaranteed for standard product dice. Consult factory to negotiate specifications based on dice lot qualification through sample lot assembly and testing.

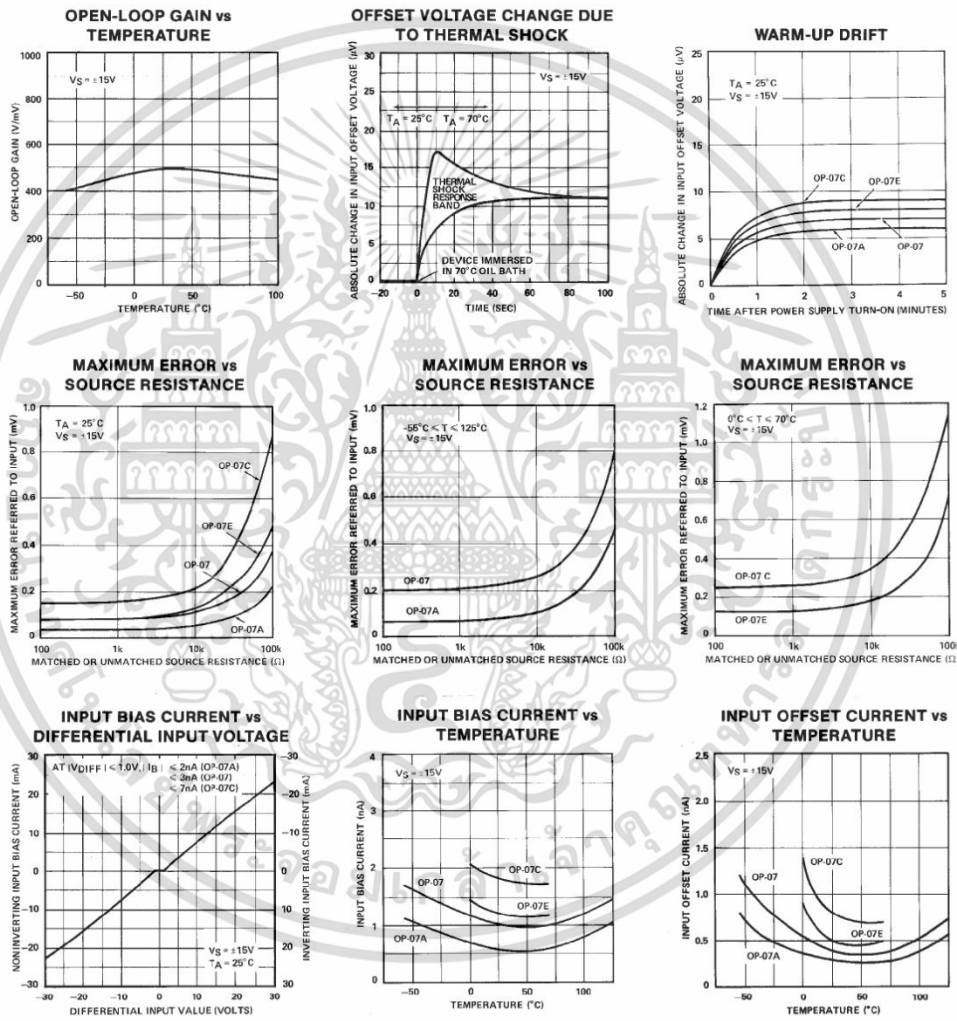
TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS at $V_S = \pm 15V$, $T_A = +25^\circ C$, unless otherwise noted.

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP-07NT TYPICAL	OP-07N TYPICAL	OP-07GT TYPICAL	OP-07G TYPICAL	OP-07GR TYPICAL	UNITS
Average Input Offset Voltage Drift	TCV_{OS}	$R_S = 50\Omega$	0.2	0.2	0.3	0.3	0.7	$\mu V/^\circ C$
Nullified Input Offset Voltage Drift	TCV_{OSn}	$R_S = 50\Omega$, $R_P = 20k\Omega$	0.2	0.2	0.3	0.3	0.7	$\mu V/^\circ C$
Average Input Offset Current Drift	TCI_{OS}		5	5	8	8	12	pA/°C
Slew Rate	SR	$R_L \geq 2k\Omega$	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	V/ μs
Closed-Loop Bandwidth	BW	$A_{VCL} = +1$	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OP07

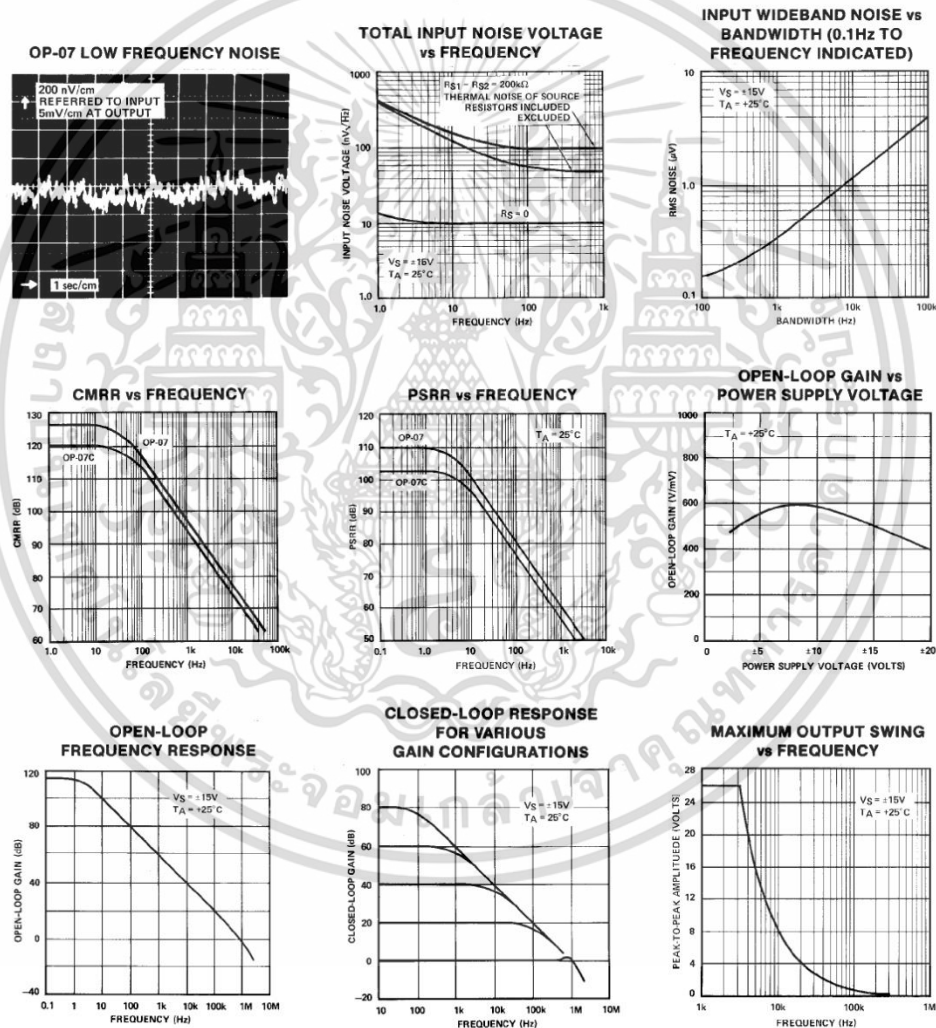
TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OP07

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

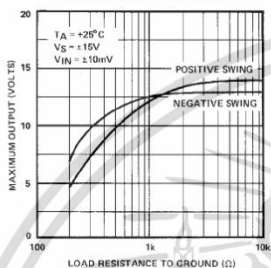


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

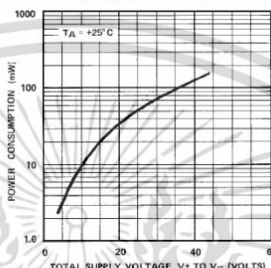
OP07

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

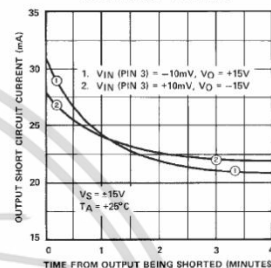
MAXIMUM OUTPUT VOLTAGE vs LOAD RESISTANCE



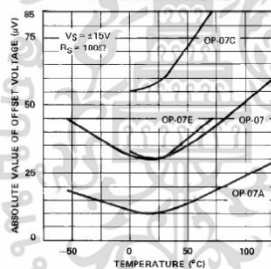
POWER CONSUMPTION vs POWER SUPPLY



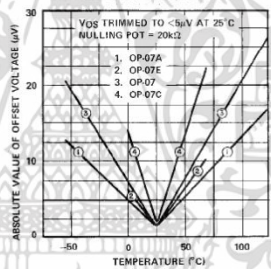
OUTPUT SHORT-CIRCUIT CURRENT vs TIME



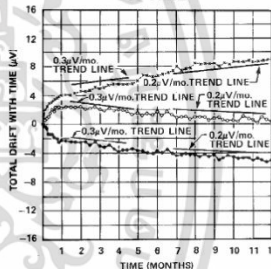
UNTRIMMED OFFSET VOLTAGE vs TEMPERATURE



TRIMMED OFFSET VOLTAGE vs TEMPERATURE

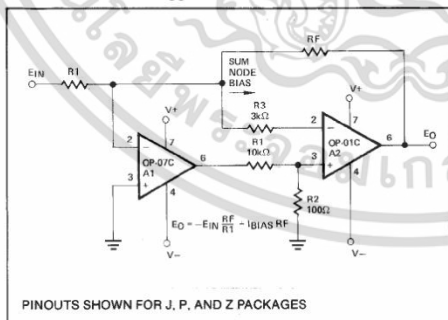


OFFSET VOLTAGE STABILITY vs TIME

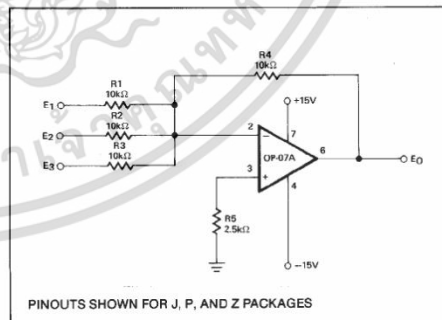


TYPICAL APPLICATIONS

HIGH SPEED, LOW V_{OS} COMPOSITE AMPLIFIER



ADJUSTMENT-FREE PRECISION SUMMING AMPLIFIER

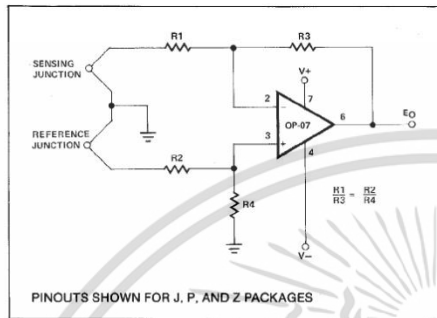


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

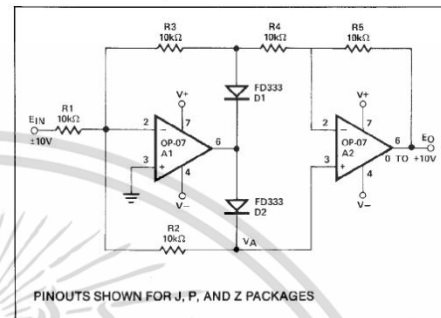
OP07

TYPICAL APPLICATIONS

HIGH-STABILITY THERMOCOUPLE AMPLIFIER



PRECISION ABSOLUTE-VALUE CIRCUIT



APPLICATIONS INFORMATION

OP-07 series units may be substituted directly into 725, 108A/308A* and OP-05 sockets with or without removal of external compensation or nulling components. Additionally, the OP-07 may be used in unnull'd 741-type sockets. However, if conventional 741 nulling circuitry is in use, it should be modified or removed to enable proper OP-07 operation. OP-07 offset voltage may be nulled to zero through use of a potentiometer (see offset nulling circuit diagram).

The OP-07 provides stable operation with load capacitance of up to 500pF and $\pm 10V$ swings; larger capacitances should be decoupled with a 50 Ω decoupling resistor.

Stray thermoelectric voltages generated by dissimilar metals at the contacts to the input terminals can degrade drift performance. Therefore, best operation will be obtained when both input contacts are maintained at the same temperature, preferably close to the package temperature.

*TO-99 Package only

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้